

## **Miljøvennlig ammunisjon**

Øyvind Voie

Forsvarets forskningsinstitutt/Norwegian Defence Research Establishment (FFI)

Oktober 2009

FFI-rapport 2009/02254

108903

P: ISBN 978-82-464-1698-4

E: ISBN 978-82-464-1699-1

## **Emneord**

Miljøvennlig

Ammunisjon

## **Godkjent av**

Kjetil Sager Longva

Prosjektleder

Jan Ivar Botnan

Avdelingssjef

## Sammendrag

Miljøvennlige produkter indikerer varer som gir mindre skadelige påvirkninger på miljøet. "Miljøvennlig ammunisjon" er et uttrykk som beskriver målsetningen om å redusere påvirkningen av ammunisjon på helse og miljø. Målet med denne litteraturstudien er å få en oversikt over hvilke typer miljøvennlig ammunisjon som finnes på markedet, eventuelt er under utvikling, slik at Forsvaret står bedre rustet til å velge miljøvennlige produkter.

Litteraturstudien tyder på at det ikke er gjort et særlig omfattende arbeid på utvikling av miljøvennlig ammunisjon. Det meste har vært fokusert på substitusjon av bly i håndvåpen. Her finnes det mange produkter på markedet hvor blykjernen i hovedsak er byttet ut med stål, eller wolfram. Mantelen inneholder imidlertid fortsatt kobber som kan ha effekter på miljøet. Det er ikke kjent hvorvidt også wolfram kan være skadelig. Løsningen kan være å fremstille inerte legeringer hvor de giftige stoffene ikke har anledning til å lekke ut fra ammunisjonsrestene.

Når det gjelder grovkalibrede våpen er det fremstilt noen få miljøvennlige ammunisjonstyper for øving. Dette er en lovende strategi, ettersom ammunisjon til øvelse kan forenkles i forhold til skarp ammunisjon og at det derfor er lettere å implementere miljøvennlig design. Det er også under øvelse at den største delen av forurensningen skjer og reduksjon av forurensning under øvelse vil være en viktig miljøforbedring. For grovkalibret skarp ammunisjon ser man foreløpig på miljøforbedringer på delsystemnivå. Her er det foreslått flere punkter for forbedringer bl.a. utskiftning av RDX og TNT i sprengladningen og eliminering av bly og perklorater i drivladningen. I tillegg er det foreslått tekniske løsninger som selvødeleggesmekanisme for å redusere blindgjengerraten og biodegraderbare granathylser. Det synes foreløpig kostbart å fremstille alternative energetiske stoffer og man har lite informasjon om miljørisiko for de alternativene som allerede er fremstilt. En mulig løsning kan være å tilsette stoffer i støpen som gir inerte restprodukter uten utlekking og biotilgjengelighet.

## English summary

Environmentally responsible products are products that have reduced impact on the environment compared with ordinary products. “Environmentally responsible munitions” is a phrase that describes the goal of making munitions more environmentally friendly. The aim of the current literature study is to give an overview of environmentally responsible munitions that are available on the market, or that are under development.

The study indicates that the field of environmentally responsible munitions is quite new. Most environmentally responsible products available on the market are ammunition for small calibre guns, where lead have been substituted by steel and tungsten alloys. These products still contain metals that can have negative effects on the environment, and it seems difficult to remove all toxic metals from the product. A solution could be to produce inert alloys that disallow metal leakage.

For medium and large calibre weapon systems a few environmentally friendly ammunitions for the purpose of practice have been produced. This is a promising strategy since live firing practice is the most important contributor to the pollution. Further, ammunitions for practice are more simplistic when it comes to functionality which makes the implementation of environmentally responsible design easier.

Regarding live ammunition, environmental improvement is currently developed on the sub system level. Several points of improvement are suggested like substitution of RDX and TNT in the grenades, and elimination of lead and perchlorates in the propellants. Technical improvements include self-destruction of duds and biodegradable shell casings. It seems costly to produce substitutes for energetic materials such as RDX and TNT and there is limited information about the environmental risk of these emerging compounds. A good solution might be to use additives that render the cast inert in order to prevent leakage and biouptake of RDX and TNT from residues.

# Innhold

	<b>Forord</b>	<b>6</b>
<b>1</b>	<b>Introduksjon</b>	<b>7</b>
1.1	Bakgrunn	7
1.2	Formål	8
<b>2</b>	<b>Metoder</b>	<b>8</b>
2.1	Litteraturundersøkelse	8
<b>3</b>	<b>Resultater</b>	<b>8</b>
3.1	Generelle prinsipper for miljøvennlig ammunisjon	8
3.2	Prioriteringsliste for relativ miljøvennlighet av ammunisjon	11
3.3	Eksempler på produkter som blir lansert som miljøvennlig ammunisjon	11
3.3.1	Blyfri ammunisjon for håndvåpen	11
3.3.2	MK281 40 mm (Rheinmetall)	12
3.3.3	Non-metallic Training Hand Grenade (KOREA C.N.O. TECH CO.,LTD)	13
3.3.4	Revolutionary Insensitive, Environmentally responsible and Healthier Training Technology with Reduced Adverse Contamination (RIGHTTRAC)	13
3.4	Miljøvennlige energetiske stoffer	14
3.4.1	Drivladninger	14
3.4.2	Tennsatser	15
3.4.3	Sprengladning	15
3.4.4	Pyrotekniske stoffer	16
3.4.5	Programmert nedbrytning	16
<b>4</b>	<b>Diskusjon</b>	<b>16</b>
<b>5</b>	<b>Referanser</b>	<b>18</b>

## **Forord**

Denne studien ble gjort under prosjektet 1089 Forsvarets ammunisjonsbruk. Forurensning miljørisiko og tiltak.

# 1 Introduksjon

## 1.1 Bakgrunn

”Miljøvennlige” eller miljøvennlige produkter indikerer varer som gir mindre skadelige påvirkninger på miljøet. Miljøvennlig ammunisjon er et uttrykk som beskriver målsetningen om å redusere påvirkningen fra ammunisjon på helse og miljø. Prosessen med å gjøre produkter mer miljøvennlige blir sett på som en viktig global strategi for å bevare miljø, og naturressurser. Strengere miljøkrav og forventninger fra samfunnet har ført til at våpenprodusentene har begynt å produsere miljøvennlig ammunisjon. Det er i dag lovpålagt å ta miljøhensyn ved offentlige anskaffelser slik det er uttrykt i paragraf 6 i Lov om offentlige anskaffelser: ” *Statlige, kommunale og fylkeskommunale myndigheter og offentligrettslige organer skal under planleggingen av den enkelte anskaffelse ta hensyn til livssyklus kostnader, universell utforming og miljømessige konsekvenser av anskaffelsen.* ” Forsvaret har implementert og vektlagt miljøhensyn i sitt prosjektstyringsverktøy. Det er i den forbindelse etablert en egen veileder for miljøhensyn ved anskaffelser i Forsvaret som blant annet gir hjelp til å vurdere miljøvennligheten til ammunisjon. Dette legger et press på våpenprodusentene til å fremstille miljøvennlige produkter.

Ved utvikling og anskaffelse av ammunisjon må to hovedmål balanseres; ammunisjonen skal gi ønsket virkning, og utilsiktede effekter av ammunisjonens skal reduseres i størst mulig grad. Ved utvikling og anskaffelse av miljøvennlig ammunisjon følges dette prinsippet, men begrepet ”miljøvennlig” henviser til at helse- og miljøkonsekvenser inkluderes i utilsiktede effekter. Dette kan i mange sammenhenger gjøres uten at den ønskede virkningen av ammunisjonen kompromitteres.

Miljøvennlig ammunisjon som et konsept handler ikke bare om å fjerne giftige stoffer fra produkter for eksempel slik som å produsere blyfri ammunisjon. Målsetningen er å minimere alle miljøeffektene av produktet sett i et livsløpsperspektiv, noe som gjør at man ser på design for gjenbruk, design for resirkulering, design for øvelse, miljøvennlige materialer osv. for å finne muligheter for forbedring.

Miljøvennlig ammunisjon er et konsept som er basert på at ethvert system uansett bruksområde kan bli designet, eller forvaltet på en måte som minimerer effekten eller potensial for effekt på miljøet. Dette kan gjøres på flere måter, blant annet ved å substituere miljøfarlige materialer; unngå bruk av visse materialer; forbedre nøyaktigheten og effektiviteten av systemet; utvikle øvelsesvarianter som er mer miljøvennlige; og eller utruste systemet med utskiftbare komponenter slik som sprenghoder med lavere støynivå. Andre måter er å velge ut materialer som egner seg bedre for resirkulering, forbedringer som gir lavere blindgjengerrate og høyere omsetning under detonasjon m.m.

Det er viktig å være klar over at varer har betegnelsen ”miljøvennlige” selv om det er vagt hva som er miljøforbedringen i forhold til andre produkter. Det er derfor viktig at miljøforbedring dokumenteres med kvantitative metoder. For å kunne være bedre rustet til å velge miljøvennlige produkter er Forsvaret tjent med en oversikt over ”miljøvennlige” alternativer som finnes på markedet, eller er under utvikling.

## **1.2 Formål**

Målet med denne litteraturstudien er å få en oversikt over hvilke typer miljøvennlig ammunisjon som finnes på markedet, eventuelt er under utvikling, slik at Forsvaret står bedre rustet til å velge miljøvennlige produkter.

## **2 Metoder**

### **2.1 Litteraturundersøkelse**

Databaser over vitenskapelig litteratur som [www.scirus.com](http://www.scirus.com) og [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com) ble besøkt og søkeord som ble benyttet var ”environmentally friendly”, ”green”, ”munitions”, ”explosives”, ”energetics” i ulike kombinasjoner. Etersom ikke alle miljøforbedringer av ammunisjon vil publiseres i vitenskapelige tidsskrift ble det også gjort søk på Google. Det er naturlig at produsenter av miljøvennlig ammunisjon ønsker å skape en eller annen form for publisitet rundt sine produkter som kan spores på internett. Videre ble også en rekke hjemmesider for våpenprodusenter besøkt for å undersøke hva som finnes av miljøvennlig ammunisjon. I desember 2009 ble det årlige møtet for Strategic Environmental Research and Development Program holdt i Washington DC, USA. Postere og foredrag om miljøvennlig ammunisjon ble notert.

## **3 Resultater**

### **3.1 Generelle prinsipper for miljøvennlig ammunisjon**

Våpen og ammunisjon skiller seg ikke i vesentlig grad ut fra andre komplekse sivile produkter i og med at materialene som benyttes i produktene er felles. Plast, metaller, keramikk, kjemiske tilsetningsstoffer, maling, organiske og uorganiske stoffer finnes nesten i ethvert fabrikk. En forskjell i forhold til sivile produkter er at mye av ammunisjonen blir liggende ubrukt på lager til den skal avhendes. En annen forskjell er at konsekvensene kan bli katastrofale dersom noe går galt med systemet.

Det er tre viktige faser i livssyklusen til våpen og ammunisjon som har stor effekt, eller har stort potensial for effekt på miljøet. Utvikling og produksjonsfasen er viktig og kan for eksempel gi utslipp til luft og vann. Videre kan forbedringer i denne fasen ha stor effekt slik som bedre utnyttelse av materialer, reststoffer og energi. Imidlertid er denne fasen dekket av annen



lovgivning og retningslinjer som gjelder for industrien. Problemer knyttet til produksjon og utslipp er også best forstått av industrien selv. Denne rapporten vil derfor konsentrere seg om de to andre fasene som er drifts- og avhendingsfasen. Miljøeffekter fra driftsfasen kommer av transport, lagring, øvelse og operasjoner, og eventuelle ulykker. Miljøeffekter forårsaket av avhending kommer gjerne av stort volum som trenger avhending og avhendingsmetoder slik som åpen brenning og sprengning, og restavfallet som kanskje må sendes til videre behandling eller deponi. Alle våpen, det være seg et avansert missil, en enkel bombe, småkalibret ammunisjon, eller en pyroteknisk sats har potensial til å få en forbedret miljøvennlighet. De følger alle generelle prinsipper som er oppsummert i følgende punkter:

- Samlet reduksjon av iboende miljøfarlighet
  - Helsekadelige stoffer
  - Miljøskadelige stoffer
  - Farlige stoffer (eksplosjonsfare med mer)
  - Ozonnedbrytende stoffer
  - Klimagasser
- Forhindre forurensning ved bruk
  - Miljøfarlige stoffer
  - Støy
- Redusere forurensning ved bruk
  - Miljøfarlige stoffer
  - Støy
- Gjenvinnbare materialer
- Lang levetid

I Tabell 1 er det listet opp forslag til endringer som kan gjøre ammunisjon mer miljøvennlig.

Tabell 1 Forslag til endringer som kan gjøres med ammunisjon for å gjøre den mer miljøvennlig (modifisert etter Ministry of Defence GB, 2005).

	<b>Design for trening</b>	<b>Design for operasjoner</b>	<b>Design for ombygging</b>	<b>Design for avhending</b>	<b>Miljøvennlige komponenter</b>
<b>Materialer (plast, metaller, coating, keramikk etc)</b>	Spesialdesignet ammunisjon for øving med redusert funksjonalitet kan tillate færre materialer, lav støy, bio-degraderbare produkter	Minimere miljøfarlige materialer, og bruk av miljøvennlige materialer hvor det er mulig	Valg av materialer som forenkler vedlikehold, for eksempel lang varighet på maling. Substitusjon av farlige materialer under ombygging	Minimere bruken av miljøfarlige materialer. Unngå coating med metaller og giftig plast	Minimer bruk av miljøfarlige materialer
<b>Kjemikalier</b>	Redusert funksjonalitet for øving kan tillate å utelate enkelte kjemikalier	Minimere miljøfarlige kjemikalier og bruke miljøvennlige produkter hvor det er mulig	Design som krever mindre vedlikehold og bruk av farlige kjemikalier	Bruk av færre kjemikalier med redusert miljøfarlighet	
<b>Mekanisk design</b>	Utskiftbare komponenter som gjør en i stand til å gå fra øving til skarp ammunisjon	Utskiftbare komponenter for spesielt sensitive forhold	Design som gjør det lett å bytte ut komponenter, eller spesielle materialer	Design som forenkler avhending og demontering, gjenbruk og resirkulering	Design som tillater fjerning av energetiske materialer, for resirkulering, og gjenvinning
<b>Pålitelighet</b>	Reduksjon av blindgjengere mot null		Økt pålitelighet reduserer behovet for testskyting	Reduksjon av blindgjengere mot null	
<b>Sikkerhet</b>	Redusere risiko for feilfunksjon			Redusert risiko for feilfunksjon tillater flere alternativer for avhending	Reduserte risiko for feilfunksjon
<b>Optimert levetid</b>	Lenger levetid gir bedre utnyttelse av ressurser		Design for å redusere vedlikehold	Lenger levetid på systemer betyr færre systemer i omløp og færre systemer som trenger avhending (gjelder ammunisjon hvor turnover pga. bruk er lavere enn turnover pga. begrenset levetid)	

## **3.2 Prioriteringsliste for relativ miljøvennlighet av ammunisjon**

Det kan være hensiktsmessig å etablere en prioriteringsliste for ammunisjon som man vil gjøre mer miljøvennlig. Her bør ammunisjon med størst iboende miljøfarlighet, som brukes ofte, og som er teknisk mulig å forbedre, og som ikke skal utfases prioriteres først. Ammunisjon på konseptstadiet bør bygge inn miljøvennlige akkreditiver. For å gjøre en prioritering av iboende miljøfarlighet finnes det automatiserte prosedyrer som kobler kjemiske stoffer fra ammunisjonsdatabasen MIDAS opp mot databaser over stoffenes miljøegenskaper som giftighet etc. for å gjøre en samlet vurdering av ammunisjonen med hensyn på en rekke endepunkter (Thompson m. fl. 2005). Dermed kan man lage prioriteringslister over enkeltkjemikalier i ammunisjon så vel som fullstendige ammunisjonstyper ved at de er assosiert med en relativ poengsum for miljøvennlighet. En karakterisering av stoffer i ammunisjon benyttet av Forsvaret basert på fareklassifisering av individuelle kjemikalier er nylig gjennomført (Johnsen, 2009).

## **3.3 Eksempler på produkter som blir lansert som miljøvennlig ammunisjon**

### **3.3.1 Blyfri ammunisjon for håndvåpen**

Tradisjonell ammunisjon består som regel av en utvendig kobbermantel med en innvendig blykjerne. Begge metallene er leget med andre metaller for å øke hardheten og for å bedre støpbarheten. I blyfri ammunisjon er blykjernen substituert med en kjerne av stål, men mantelen er fortsatt av en legering av kobber og sink (ofte tambac). Ammunisjonsleverandørene kaller slik ammunisjon for "non toxic", noe som kan være misvisende ettersom kobber er svært giftig for akvatiske organismer. Ved bruk av blyfri ammunisjon unngår man spesielt problemet med blyeksponering av mennesker under øvelser og inntak av blyfragmenter hos fugl noe som har ført til mange tilfeller av fugledød. Man unngår også avrenning av bly fra skytebaner til akvatiske miljøer. Imidlertid unngår man ikke avrenning av kobber som gir effekter på akvatiske organismer. I nyere studier har man også funnet helsemessige konsekvenser av kobber på mennesker ved bruk av ammunisjon (Strømseng m. fl. 2009). På grunn av kobberets giftighet, anbefales det at Forsvaret på lengre sikt prøver å finne alternativ ammunisjon som er fri for miljøgifter. Innenfor sivil sektor er det utviklet enkelte massive messingprosjektiler (tambac) fremfor å benytte en stålkjerne. Fordelen med å forenkler ammunisjonen slik, ved å bruke færre stoffer i fremstillingen, kan gi en miljøgevinst ved at det forenkler forurensningsproblemet og for eksempel avrenningstiltak på skytebaner. Det bør også tilrettelegges for avrenningssikre skytebaner. En liste med eksempler på leverandører av ulike typer blyfri ammunisjon er listet opp i Tabell 2. Eksempel på blyfri ammunisjon er vist i Figur 1.

Tabell 2 Eksempler på blyfri småkalibret ammunisjon med produsenter.

Produsent	Ammunisjon
Metallwerk Elisenhütte GMBH Nassau	MEN 9 mm
RUAG AMMOTEC	RUAG 5,56 mm, RUAG 5,56 mm, RUAG 9 mm Luger, RUAG 9 mm GR
SNC Technologies Inc.	SNC-TEC 5,56 mm, SNC-TEC 7,62 mm
NAMMO	NAMMO 5,56 mm NT 4 HP, NAMMO 5,56 mm gesch. NT 4 HP, NAMMO 5,56 mm gesch. Tracer NT 4
Kilgore	Kilgore 9 mm RRLP lead free 124 grain, Kilgore 5,56 mm NATO 74 grain, Kilgore 9 mm Lead free 71 grain, Kilgore 5,56 mm NATO 41 grain



Figur 1 5,56 mm ammunisjon fra NAMMO (FOTO: NAMMO, 2009).

Wolfram har vært benyttet i ammunisjon som erstatning for bly, imidlertid er det studier som tyder på at dette metallet også kan være giftig og lekke ut fra skytebaner (Thomas m. fl., 2009; Strigul m.fl., 2005; Koutsospyros m.fl., 2006). Flere økotoksikologiske og helserelevante studier bør utføres for wolfram og wolframbaserte legeringer (Langenberg, 2009). Tilsetning av jern i legering med wolfram har vist seg å senke utlekkingen av wolfram og gjøre ammunisjonsrestene mer inerte (McGrath m.fl., 2009). FFI og NAMMO med finansiering fra FD skal i disse dager innlede et prosjekt hvor man skal satse på ny håndvåpenammunisjon.

### 3.3.2 MK281 40 mm (Rheinmetall)

Det har vært problemer med treningsammunisjon av typen M918 40-mm granater, som er mindre kraftig enn stridsammunisjon, men som likevel eksploderer for å gi et smell. 3 til 8 prosent av ammunisjonen går imidlertid ikke av som den skal, men blir liggende igjen som blindgjengere og skaper et problem for EOD personell. For å gjøre noe med dette har man introdusert ”miljøvennlig” øvingsammunisjon. Det er blant annet laget en 40 mm granat ved navnet MK281. Den nye granaten lager et lysglimt og farget røyk for å angi hvor det traff. Produsenten Rheinmetall har eliminert alle miljøfarlige stoffer i granaten og det er benyttet biodegraderbar plast, glass og andre inerte materialer (American Rheinmetall Munitions, 2009). Granaten er avbildet i Figur 2.



Figur 2 MK281 40 mm granat.

### 3.3.3 Non-metallic Training Hand Grenade (KOREA C.N.O. TECH CO.,LTD)

En øvelseshåndgranat er utviklet i Korea (Figur 1) som betegnes som miljøvennlig ettersom skallet er laget av biodegraderbare produkter. Bombeskallet er laget av leire og mineralsk pulver, mens sikringen er laget av en type stivelse. Det er imidlertid ikke dokumentert om granaten kan etterlate seg rester av energetiske stoffer på bakken (KOREA C.N.O.TECH CO.,LTD., 2009).



Figur 3 Non-metallic training hand grenade med biodegraderbare bestanddeler (FOTO: KOREA C.N.O. TECH CO.,LTD).

### 3.3.4 Revolutionary Insensitive, Environmentally responsible and Healthier Training Technology with Reduced Adverse Contamination (RIGHTTRAC)

Canadiske forskere har foreslått et helhetlig granatsystem med flere forbedringer. Foreløpig demonstrer man denne teknologien på en 105 mm Howitzer granat. Dagens ingredienser i drivladningen blir byttet ut på grunn av erfaring med forurensning og miljøfarlighet fra disse ingrediensene. Som erstatning er tre kandidater foreløpig vurdert, en dobbeltbase drivladning basert på nitrocellulose (NC) og trietylenglykoldinitrat (TEGDN), en modifisert trippelbase drivladning basert på NC, Nitroguanidin (NQ) og TEGDN, og en drivladning ved navn HELOVA (High Energy Low Vulnerability Ammunition som er basert på NC, TEGDN, HMX, og ETPE (Energetic Thermo Plastic Elastomer). I sprengladningen bør RDX byttes ut med HMX ettersom HMX skal være mindre giftig og mindre løselig i vann. Som erstatning er Environmentally responsible Insensitive Material (GIM) basert på HMX, TNT og ETPE foreslått, samt PBX som er hydroxy-terminert polybutadien (HTPB) og HMX. I tillegg er det implementert en selvødeleggelsesmekanisme i brannrøret som aktiveres dersom brannrøret ikke fungerer. Dette vil redusere antall blindgjengere med flere prosent (Brochu m. fl., 2009).



Figur 4 Brannrør med implementert selvødeleggesmekanisme (Brochu m.fl. 2009).

### 3.4 Miljøvennlige energetiske stoffer

Det er i dag et globalt program for å utvikle energetiske stoffer som er mer miljøvennlige (Talawar m. fl., 2009). Man vektlegger miljøvennlige prinsipper for produksjonen, men denne rapporten vil begrense seg til å se på miljøgevinstene for det ferdige produktet. Viktige elementer er i hvilken grad produktet er nedbrytbart, eller inert i naturen og om det er benyttet stoffer som er lite toksiske har lite toksiske omdannelsesprodukter. Høy grad av omsetning av de energetiske stoffene ved bruk er viktig for å motvirke forurensning av skyte- og øvingsfelt.

Miljøforbedringer i forbindelse med produksjon av energetiske stoffer vil ikke bli dekket av denne rapporten som skal ta for seg miljøforbedringer som minimerer forurensning ved bruk og avhending. Energetiske stoffer inngår flere steder i ammunisjonen. Generelt er ammunisjonen bygget opp med en hylse, eller rakettmotor som inneholder drivladning assosiert med en tenner, og selve granaten eller stridshodet som inneholder hovedladning, overdrager og brannrør. Tennsatser kan inngå i tenner for drivladning samt brannrør. Kapitlene under er inndelt etter hvor i ammunisjonen miljøforbedringene er gjort.

#### 3.4.1 Drivladninger

Forslag til miljøforbedringer ved energetiske stoffer blant annet vært blyfrie ballistiske modifikatorer. Blysalter har hvert brukt for å øke forbrenningsraten til dobbeltbase rakettmotorer. En rekke stoffer er foreslått som erstatning; blant annet wolfram- og kobbersalter, eventuelt ammoniumnitrat (Talawar m. fl., 2009; Thompson, 2009). En hybrid rakettmotor er foreslått som erstatning for motorer som inneholder ammonium perklorat. Rakettmotoren benytter seg av en inhibert rød rykende salpetersyre i gel og flytende form som oksidasjonsmiddel sammen med et kornet fossilt brensel (Thompson, 2009). Det er også gjort tester med en perkloratfri drivladning basert på HMX og triaminoguanidinium azotetrazolat (TAGzT), sammen med metyletylnitrattoetylnitramin (metyletyl NENA) med lovende resultater (Allen, 2009). Se for øvrig forslagene til endringer i drivladningen i RIGHTTRAC systemet beskrevet i kapittel 3.3.4.

### 3.4.2 Tensatser

Tensatser inneholder eksplosiver med toksiske metalliske komponenter som kvikksølvfulminat og blyazid. Nikkel hydrazinium nitrat har vært foreslått som en erstatter. Andre blyfrie produkter av interesse er sølvazid og carbohydrazid (Talawar m. fl., 2009). En del av disse stoffene inneholder fortsatt en metallisk komponent som har andre toksiske effekter enn bly og er i den forstand fortsatt uheldig for miljøet. Det er derfor foreslått eksplosiver basert på 5-Nitrotetrazolato-N<sub>2</sub> ferrater (Huynh m. fl., 2006), som kan erstatte ikke bare blyholdige stoffer, men også termisk ustabile stoffer og andre giftige stoffer enn bly (Huynh m. fl., 2006). Problemet med alternative eksplosiver er at de foreløpig er opp til 100 ganger mer kostbare å fremstille enn konvensjonelle eksplosiver (Talawar m. fl., 2009). En annen tilnærming hvor det er gjort innledende studier har vært å benytte en tensats basert på nitrocellulose (Headrick, 2009).

### 3.4.3 Sprengladning

Høyenergetiske stoffer med som er foreslått som mulige arvtagere av dagens eksplosiver er Hexanitrohexaazaisowurtzitane (CL-20), 3,3'-Dinitro-4,4'-azoxyfurazan (DNAF), Octanitrocuban (ONC), og N<sup>5+</sup>. Økotoksikologiske studier er utført på CL-20 og indikerer at stoffet er giftig for meitemark og fugler (Kuperman m. fl., 2006; Robidoux m. fl., 2004; Gong m. fl., 2008). Studier kan imidlertid tyde på at stoffet er noe mindre persistent i miljøet enn RDX (Crocker m. fl., 2005). Det er grunn til å spørre seg om dette stoffet gir særlig stor miljøgevinst i forhold til kostnaden forbundet med produksjon. Hvorvidt de andre stoffene har lav giftighet og gir lav forurensning ved bruk er ikke kjent. Innledende toksisitetsstudier er utført på triaminoguanidinium azotetrazolat (TAGzT). Dette stoffet hadde lavere akutt giftighet enn RDX og TNT (Johnson, 2009). Alternativer til TNT som 2,4-dinitroanisol (DNAN) og 1,3,3-trinitroazetidid (TNAZ) er foreslått, men flere forsøk må gjennomføres for å sikre miljøvennlighet (Roos, 2009). Det er observert at TNT kan omdannes til produkter som bindes irreversibelt til organiske stoffer i jorden (Hawari, m. fl., 2000; Lenke m. fl., 1998). Adsorpsjonen øker med antall aminogruupper i molekylet og når de tre NO<sub>2</sub>-gruppene i TNT blir substituert av NH<sub>2</sub>-grupper blir bindingen irreversibel. ADNT-derivatene er imidlertid reversibelt bundet til humusstoffer. Det er vist at det er 2-HADNT/4-HADNT (hydroksyl-ADNT) og triaminotoluen (TAT) som står for den irreversible bindingen (Daun m. fl., 1998; Achtninch m. fl., 1999). Den irreversible bindingen gjør at forbindelsene får redusert biotilgjengelighet og blir mindre mobile. TNT er derfor foreslått som et miljøvennlig eksplosiv av Canadiske forskere (Hawari m. fl., 2000). TNT er fremstilt i blanding med det mindre toksiske eksplosivet HMX i et produkt som kalles Environmentally responsible Insensitive Material (GIM) (Monteil-Riviera m. fl., 2010). Produktet utnytter et gummibasert bindemiddel som gjør støpen av eksplosiver mer stabil og inert. Ved ufullstendig detonering er det målt mindre utlekking av eksplosiver fra partiklene (Monteil-Riviera m. fl., 2010). Dette løser imidlertid ikke faren for utilsiktet oralt inntak av slike partikler med mindre man også får redusert opptak av eksplosiver over tarmen.

#### 3.4.4 Pyrotekniske stoffer

De fleste fargede signallys eller narrellys (flares) inneholder perklorater som er skadelig for helse- og miljø. Vellykkede forsøk er utført med en rødfarget kandidat basert på kalsiumnitrat, og strontiumnitrat og uten halogenerte forbindelser. Tester på gule og miljøvennlige alternativer er underveis (Shortridge, 2007; Pliskin, 2009). Pyroteknisk røyk slik som røyk basert på hexachlorobenzon (HC-røyk), eller hvitt fosfor (WP-røyk) er lite miljøvennlige. En røyk basert på kaliumnitrat og magnesium ved navnet KM-røyk utviklet midt på 80-tallet bestod imidlertid alle helse- og miljøtester med glans. Basert på KM-røyk er det igjen utviklet en annen røyk som også fungerer i IR-spekteret og har navnet NG-røyk (Krone, 2004).

Et forslag for å redusere miljøfarligheten til pyrotekniske produkter har vært å produsere en biologisk nedbrytbar granathylse i termofil flytende krystall polymer basert på polyetylen-tereftalat. Granaten skal også bære med seg bakterier som kan produsere enzymer som bryter ned plasten. Det er meningen at enzymene skal bryte ned granathylsen etter bruk, for å hindre at rester av granathylser blir liggende på bakken (Gilman, 2009). FFI samarbeider i dag med NAMMO under et forskningsprogram ved navn artilleri og teknologiprogrammet (ARTAM) hvor et av målene er å fremstille en mer miljøvennlig røyksats til artilleriammunisjon.

#### 3.4.5 Programmert nedbrytning

En alternativ løsning dersom det ikke er mulig å finne erstatninger for giftige eksplosiver er å tilsette stoffer som gjør at de farlige stoffene brytes ned raskt og effektivt etter bruk. Noen innledende studier er utført ved å tilsette metaller og oksider som  $\text{TiO}_2$ , Fe og FeNi til PBXN-107 som er en akrylbundet RDX og Comp B, en blanding av RDX og TNT. Ingen effektiv nedbrytning ble imidlertid observert med disse stoffene (Grath og Damavarapu, 2009).

## 4 Diskusjon

Litteraturstudien tyder på at det ikke er gjort et særlig omfattende arbeid på utvikling av miljøvennlig ammunisjon. Det meste har vært fokusert på substitusjon av bly i håndvåpen. Her finnes det mange produkter på markedet hvor blykjernen i hovedsak er byttet ut med stål, eller wolfram. Mantelen inneholder imidlertid fortsatt kobber som kan ha effekter på miljøet. Det stilles også spørsmål om wolfram kan være skadelig. Det er derfor anbefalt at man arbeider videre med å videreutvikle ammunisjonen til alle farlige stoffer er eliminert. Det kan være utfordrende å finne gode erstatninger ettersom mange metaller har høy pris, er radioaktive, eller er giftige (Figur 5). Løsningen kan være å fremstille inerte korrosjonsfrie legeringer hvor de giftige stoffene ikke har anledning til å lekke ut fra ammunisjonsrestene. Da kan man også tillate seg å inkludere stoffer som individuelt har høy giftighet.



H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac	Rf	Ha	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cp						

  

Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lw

  

<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color: #808080; border: 1px solid black;"></span> Gass, væske	<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color: #ffff00; border: 1px solid black;"></span> Reagerer med luft / giftig
<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color: #90ee90; border: 1px solid black;"></span> Radioaktivt	<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color: #ff69b4; border: 1px solid black;"></span> Dyrt (> 200 US\$/kg)

Figur 5 Det periodiske system hvor grunnstoffer i hvitt indikerer stoffer som egner seg i ammunisjon til håndvåpen basert på individuelle egenskaper (Ove Dullum, FFI).

Når det gjelder grovkalibrede våpen er det fremstilt noen miljøvennlige ammunisjonstyper for øving. Dette er en lovende strategi, ettersom ammunisjon til øvelse kan forenkles i forhold til skarp ammunisjon slik at det er lettere å implementere miljøvennlig design. Det er også under øvelse at den største delen av forurensningen skjer og reduksjon av forurensning under øvelse vil være en viktig miljøforbedring.

For skarp grovkalibret ammunisjon ser man foreløpig på miljøforbedringer på delsystemnivå. Her er det foreslått flere punkter for forbedringer, bl.a. utskiftning av RDX og TNT i sprengladningen og eliminering av bly og perklorater i drivladningen. I tillegg er det foreslått tekniske løsninger som selvødeleggelsesmekanisme for å redusere blindgjengerraten og biodegraderbare granathylser. Det synes foreløpig kostbart å fremstille alternative energetiske stoffer og man har lite informasjon om miljørisiko for de alternativene som allerede er fremstilt. En mulig løsning kan være å tilsette stoffer i støpen som gir inerte restprodukter uten utlekking og biotilgjengelighet.

Det er viktig å være klar over at det kan være barrierer rundt anskaffelsesprosessen som kan hemme implementering av krav til miljøvennlig design, og spesielt i en stor organisasjon kan dette være utfordrende. Noen av barrierene kan være mangel på kunnskap hos interessenten, mangel på autoritet og innflytelse i forhold til å drive implementeringen, en oppfatning om at dette koster ekstra tid og penger, utrygghet og mistro til nye produkter.

## Referanser

- Allen, T. (2009) Development of an environmentally sustainable propellant for use in cartridge actuated devices (CADs). Partners in Environmental Technology Technical Symposium & Workshop, Washington, D.C. December 1–3, 2009.
- American Rheinmetall Munitions, Inc. (2009) <http://www.americanrheinmetall.com/>
- Bardai, G., Sunahara, G.I., Spear, P.A., Martel, M., Gong, P., Hawari, J. (2005) Effects of dietary administration of CL-20 on Japanese quail *Coturnix coturnix japonica*. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 49(2), 215-222.
- Brochu, S., Brassard, M., Amplemann, G., Thiboutot, S., Diaz, E., Poulin, I., Brousseau, P., Côté, F., Lussier, L., Tanguay, V., Beauchemin, M., (2009) RIGHTTRAC: Revolutionary insensitive, green and healthier training technology with reduced adverse contamination. Partners in Environmental Technology Technical Symposium & Workshop, Washington, D.C. December 1–3, 2009.
- Crocker, F.H., Thompson, K.T., Szecsody, J.E., Fredrickson, H.L. (2005) Biotic and abiotic degradation of CL-20 and RDX in soils. Journal of Environmental Quality, 34(6), 2208-2216.
- Gilman, V. (2009) Rapidly degradable pyrotechnic system. Partners in Environmental Technology Technical Symposium & Workshop, Washington, D.C. December 1–3, 2009.
- Gong, P., Escalon, B.L., Hayes, C.A., Perkins, E.J. (2008) Uptake of hexanitrohexaazaisowurtzitane (CL-20) by the earthworm *Eisenia fetida* through dermal contact. Science of the Total Environment, 390(1), 295-299.
- Hawari, J., Beaudet, S., Halasz, A., Thiboutot, S., Ampleman, G. (2000) Microbial degradation of explosives: biotransformation versus mineralization. Applied Microbiology and Biotechnology, 54, 605-618.
- Headrick, S. (2009) Development toward the removal of lead from military applications. Partners in Environmental Technology Technical Symposium & Workshop, Washington, D.C. December 1–3, 2009.
- Huynh, M.H.V., Coburn, M.D., Meyer T.J., Wetzler, M. (2006) Green primary explosives: 5-Nitrotetrazolato-N<sub>2</sub>-ferrate hierarchies, Proceedings of the National Academy of Sciences U.S.A., 103,10322–10327.
- Johnsen, A. (2009) Vurdering av kjemiske stoffer i ammunisjon. FFI-rapport 2009/02048.
- KOREA C.N.O.TECH CO.,LTD. (2009) <http://www.cnotech.com/>
- Koutsospyros, A., Braida, W., Christodoulatos, C., Dermatas, D., Strigul, N. (2006) A review of tungsten: From environmental obscurity to scrutiny. Journal of Hazardous Materials, 136, 1–19.
- Krone, U. (2004) Replacement of toxic and ecotoxic components of military smokes for screening. In Defense Industries: Science and Technology Related to Security. Impact of Conventional Munitions on Environment and Population. Eds. Branco, P.C., Schubert, H., Campos, J. NATO Science Series, IV Earth and Environmental Sciences, 44, 221-223.

- Kuperman, R.G., Checkai, R.T., Simini, M., Phillips, C.T., Anthony, J.S., Kolakowski, J.E., E.A., Davis (2006) Toxicity of emerging energetic soil contaminant CL-20 to potworm *Enchytraeus crypticus* in freshly amended or weathered and aged treatments. *Chemosphere*, 62, 1282–1293.
- Langenberg, J.P. (2009) Evaluation of health and environmental risks associated with the life-cycle of tungsten-based ammunition. Partners in Environmental Technology Technical Symposium & Workshop, Washington, D.C. December 1–3, 2009.
- McGrath, C.J., Bednar, A.J., Weiss, C.A., Schuster, B.E., Miller, C.E. (2009) Explosives self-remediation with metal & oxide additives. Partners in Environmental Technology Technical Symposium & Workshop, Washington, D.C. December 1–3, 2009.
- McGrath, C.J., Damavarapu, R. (2009) Explosives self-remediation with metal & oxide additives. Partners in Environmental Technology Technical Symposium & Workshop, Washington, D.C. December 1–3, 2009.
- Ministry of Defence, Great Britain (2005) JSP 418 - The MOD Sustainable Development and Environment Manual, Volume 2, Leaflet 6.
- Monteil-Rivera, F., Deschamps, S., Ampleman, G., Thiboutot, S., Hawari, J. (2010) Dissolution of a new explosive formulation containing TNT and HMX: Comparison with octol. *Journal of Hazardous Materials*, 174 (1-3), 281-288.
- Pliskin, S.K. (2009) Elimination of perchlorate oxidizers from pyrotechnic flare compositions. Partners in Environmental Technology Technical Symposium & Workshop, Washington, D.C. December 1–3, 2009.
- Robidoux, P.Y., Sunahara, G.I., Savard, K., Berthelot, Y., Dodard, S., Martel, M., Gong, P., Hawari, J. (2004) Acute and chronic toxicity of the new explosive CL-20 to the earthworm (*Eisenia andrei*) exposed to amended natural soils. *Environmental Toxicology and Chemistry*, SETAC, 23 (4), 1026-1034.
- Roos, B. (2009) Formulation of an environmentally benign explosive. Partners in Environmental Technology Technical Symposium & Workshop, Washington, D.C. December 1–3, 2009.
- Shortridge, R. (2007) Elimination of perchlorate oxidizers from pyrotechnic flare compositions. Strategic Environmental Research Program (SERDP), 2007.
- Strigul, N., Koutsospyros, A., Arienti, P., Christodoulatos, C., Dermatas, D., Braida, W. (2005) Effects of tungsten on environmental systems. *Chemosphere*, 61, 248–258.
- Talawar, M.B., Sivabalan, R., Mukundan, T., Muthurajan, H., Sikder, A.K., Gandhe, B.R., Subhananda Rao, A. (2009) Environmentally compatible next generation green energetic materials (GEMs). *Journal of Hazardous Materials*, 161(2-3), 589-607.
- Thomas, V.G., Roberts, M.J., Harrison P.T.C. (2009) Assessment of the environmental toxicity and carcinogenicity of tungsten-based shot. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 72, 1031–1037.
- Thompson, G.R., Kennedy, K., Nordquist, T.D. (2005) Acquisition of “green” products and munitions – automated assessments. *Federal Facilities Environmental Journal*, 8, 19-38.
- Thompson, D. (2009) Hybrid rocket motor technology as replacement for ammonium perchlorate. Partners in Environmental Technology Technical Symposium & Workshop, Washington, D.C. December 1–3, 2009.

Thompson, D. (2009) Lead-free ballistic modifier for rocket motor propellants. Partners in Environmental Technology Technical Symposium & Workshop, Washington, D.C. December 1–3, 2009.