

EKOLOŠKI ASPEKTI PROCESA DEMILITARIZACIJE I UNIŠTAVANJA UBOJNIH SREDSTAVA

Jeremić B. *Radun*, Vojna akademija, Katedra
vojnohemijskog inženjerstva, Beograd

OBLAST: hemijske tehnologije

VRSTA ČLANKA: stručni članak

Rezime:

U poslednjih desetak godina Vojska Srbije suočava se sa problemom viškova različitih ubojnih sredstava koji su posledica promene organizacione strukture i racionalizacije. Pored toga, na više lokacija u Srbiji još je prisutan određen broj neeksploziviranih ubojnih sredstava zaostalih nakon NATO bombardovanja. U radu su razmatrani ekološki aspekti uništavanja viškova ubojnih sredstava kao i neeksploziviranih ubojnih sredstava. Dat je kratak pregled metoda uništavanja i tehnoloških uslova za njihovu primenu. Posebno su analizirani toksični efekti sastojaka ubojnih sredstava na zdravlje ljudi i životnu sredinu. Dati su i odgovarajući predlozi za umanjenja ekoloških rizika u procesu demilitarizacije ubojnih sredstava.

Ključne reči: ubojna sredstva, demilitarizacija, uništavanje ubojnih sredstava, toksični efekti, životna sredina.

Uvod

Kao i mnoge druge zemlje u svetu, i Vojska Srbije se u poslednjih dvadesetak godina suočava sa problemom viškova različitih ubojnih sredstava (UbS) koja više nisu perspektivna ili nisu pouzdana za dalje čuvanje i upotrebu, kao i sa relativno velikim brojem neeksploziviranih UbS (NUS) zaostalih nakon NATO bombardovanja [1]. Pored ostalog, ova UbS predstavljaju značajan bezbednosni rizik za ljude i životnu sredinu. Zato uklanjanje viškova UbS i rashodovanih UbS (demilitarizacija), kao i uništavanje NUS treba posmatrati kao praktičan bezbednosni zahtev.

Demilitarizacija podrazumeva prevođenje UbS u stanje u kojem više ne mogu imati funkciju za koju su namenjena. Načelno, demilitarizaciju sledi faza uništavanja eksplozivnih komponenti sadržanih u UbS.

Uklanjanje zastarelih ili neispravnih UbS je u poslednjih nekoliko godina sve urgentniji problem; sa jedne strane, zato što postoji potreba da se oslobodi skladišni prostor, a sa druge strane zbog toga što se vremenom, zbog odvijanja različitih fizičko-hemijskih procesa u UbS, povećava opasnost i verovatnoća nastanka neželjenog akcidenta koji mogu imati izrazito negativne posledice po okolinu i bezbednost ljudi [2].

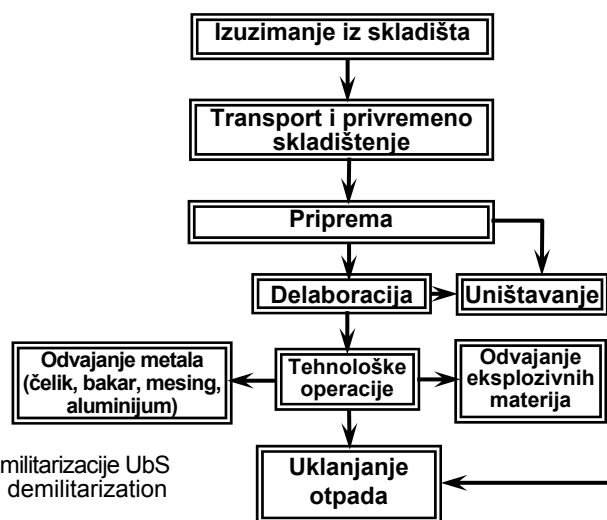
Pri izboru metode uništavanja UbS uzimaju se u obzir vrsta UbS, ko vrši uništavanje (vojska, policija, specijalizovane komercijalne kompanije), mesto uništavanja kao i količina UbS za uništavanje. Pri izboru najprihvatljivije metode uništavanja moraju se uzeti u obzir i troškovi kao i posledice na životnu sredinu.

Na slici 1 prikazana je opšta metodologija demilitarizacije. Postoje mnoge prateće faze i opcije izbora. Svaka faza sastoji se od skupa procesa, a mnogi procesi od više potprocesa. Najprikladniji proces demilitarizacije koji će biti primenjen zavisi od brojnih faktora, kao što su raspoložive tehnologije, problemi zaštite životne sredine, bezbednosni problemi, komercijalna pitanja itd.

UbS su u suštini opasna i proces demilitarizacije obavezno uključuje i analizu pirotehničke bezbednosti kao i ekološke rizike. Konkretno, procesi rastavljanja i sečenja UbS, kao i tretmana eksplozivnih komponenti mogu biti opasni, što zavisi od metoda rada, osetljivosti eksplozivnih komponenti itd. Pored toga, procesi moraju da budu što je moguće manje štetni po zdravlje i bezbednost radnika, atmosferu, zemljište i vodu.

Da bi se uštedeli resursi i zaštitila životna sredina, cilj procesa demilitarizacije mora biti maksimalan stepen reciklaže i minimalno stvaranje otpada. Značajne količine skupih metala (bakar, čelik, mesing, aluminijum) mogu se dobiti reciklažom (delaboracijom) UbS. Takođe, moguće je delaborisane barute i eksplozive iskoristiti za proizvodnju komercijalnih eksploziva [3].

Ubojna sredstva su, uz retke izuzetke, konstruisana sa akcentom na postizanje efekta na cilju, pri čemu se vrlo malo ili nimalo nije uzimala u obzir potreba za demilitarizacijom na kraju veka upotrebe. Shodno tome, demilitarizacija UbS je često složeniji proces nego njihova proizvodnja. Savremena UbS su sve složenije konstrukcije, pa je zato neophodno još u fazi konstruisanja uzeti u obzir i proces demilitarizacije.



Slika 1 – Opšta šema procesa demilitarizacije UbS
Fig. 1 – General scheme of the demilitarization process of EO

Osnovne karakteristike ubojnih sredstava i lokacije na kojima se mogu naći

Uslovi i stanje u kojem se nalaze UbS važan je parametar u proceni verovatnoće njihove neželjene detonacije. UbS su konstruisana tako da budu bezbedna za transport i manipulaciju pre upotrebe. Međutim, napuštena UbS ili UbS koja se nalaze ukopana u zemlju ne mogu se smatrati sigurnim za transport i manipulaciju bez detaljnog pregleda. Pored toga, upotrebljena UbS čije je dejstvo izostalo na cilju (neeksplozivna UbS) mogu biti armirana ili delimično armirana. Kao posebna kategorija UbS, NUS su najopasnija i po pravilu nisu bezbedna za manipulaciju i transport.

Za razliku od napuštenih UbS, kod kojih se lako može utvrditi da li su sa upaljačem ili bez upaljača, kog ukopanih UbS ili NUS u principu to nije moguće pouzdano zaključiti. Mnoga UbS imaju više sistema aktiviranja, pa jedan upaljač može biti armiran, a drugi ne. To znači da se iz bezbednosnih razloga sva UbS inicijalno tretiraju kao armirana, sve dok se pouzdano ne utvrdi stanje upaljača, ako je to moguće. Pored toga, opasnost od detonacije NUS zavisi od vrste UbS i od stanja u kojem se nalaze.

Karakteristične lokacije na kojima se u većem ili manjem broju mogu naći UbS su: pogoni za proizvodnju UbS, skladišta UbS, poligoni za ispitivanje UbS, remontni zavodi, poligoni za uništavanje UbS, strelišta, poligoni za obuku i lokacije na kojima su prisutna NUS kao posledica ratnih dejstava. NUS se mogu naći i na strelištima i poligonima za obuku. Kao što je istaknuto, NUS predstavljaju i najveću opasnost po ljude i okolinu. Značajna potencijalna opasnost prisutna je i u pogonima za proizvodnju eksplozivnih materija, pirotehničkih komponenti i UbS, kao i u remontnim zavodima, gde u slučaju akcidenta dolazi do ozbiljnog ugrožavanja kako života i zdravlja radnika u pogonima tako i šire životne sredine (karakterističan primer za to je eksplozija municije u kompaniji „Sloboda“ – Čačak, u decembru 2010).

Vrste elemenata UbS koji se potencijalno mogu naći na poligonima zavise od tipa i namene poligona. Na primer, treba očekivati da strelišta za gađanja iz streljačkog naoružanja budu kontaminirana metalnim zrnima i čahurama, dok se na artiljerijskim poligonima, avio-poligonima ili poligonima za uništavanje UbS, pored metalnih delova, NUS, može očekivati i prisustvo manjih količina eksplozivnih jedinjenja u zemlji i vodi, kao što je TNT, heksogen i drugi eksplozivi kojima su laborisana UbS. Na primer, prilikom bacanja avio-bombe ili ispaljivanja artiljerijskog projektila moguće su sledeće situacije:

- potpuna detonacija projektila (bombe), pri čemu dolazi do razbacivanja fragmenta košuljice i male količine municijskih komponentata (npr. TNT, heksogena, olova i drugih teških metala) u okolinu,

- nepotpuna detonacija pri čemu dolazi do razbacivanja u okolinu, ne samo parčadi i većih količina municijskih komponentata već i većih delova ili sklopova UbS,

– otkaz funkcije (laganje), što dovodi do pojave NUS, koje može biti neoštećeno (nema oslobađanja sastavnih komponenata u okolinu) ili će imati oštećenja koja će uzrokovati oslobađanje eksplozivnih i drugih hemijskih komponenti u okolinu.

Pored toga, UbS mogu biti izgubljena, napuštena ili ukopana, sa upaljačem ili bez upaljača. Ako su ta UbS oštećena ili se nađu u korozivnoj sredini, može doći do oslobađanja hemijskih komponenti u okolinu.

Poseban problem za bezbednost ljudi i životnu sredinu predstavljaju NUS zaostala nakon ratnih dejstava, kao u slučaju NATO bombardovanja naše zemlje. Ona se mogu naći na različitim lokacijama – na zemlji, ukopana u zemlju ili pod vodom. Pod zemljom se mogu naći na različitim dubinama koje se kreću i do 10 m, što zavisi od vrste UbS i karakteristika zemljišta.

Migracija i ponašanje nekih komponenata UbS u životnoj sredini još nisu ni blizu istraženi kao u slučaju drugih zagađivača, kao što su ugljovodonici [4]. Na primer, TNT apsorbuje čestice zemlje i zato se ne očekuje da brzo migrira kroz zemlju u podzemne vodotokove. Međutim, ponašanje produkata degradacije TNT-a u životnoj sredini nije dovoljno istraženo [5].

Hemijska reaktivnost standardnih vojnih eksplozivnih materija zavisi od materijala sa kojim su u kontaktu, uslova skladištenja i uslova okoline kojima su izložene. Zato se moraju preduzeti mere predostrožnosti da se spreči njihova reakcija sa drugim materijalima. Na primer, olovo azid će reagovati sa bakrom u prisustvu vode i CO₂, formirajući bakar azid koji je još osetljiviji eksploziv. Amonijum nitrat reaguje u prisustvu vode sa čelikom ili aluminijumom formirajući amonijak i metalne okside. TNT reaguje sa bazama pri čemu dolazi do stvaranja opasnih i osetljivih jedinjenja.

Zbog ovih i mnogih drugih reakcija, UbS moraju biti zaštićena od uticaja vlage i drugih primesa. U suprotnom dolazi do ubrzanog pada kvaliteta i pouzdanosti UbS, a naročito hemijske stabilnosti eksplozivnih komponenti, zbog čega ona postaju opasna za upotrebu i dalje skladištenje.

Načelno, na pogoršanje stanja UbS, pored kvaliteta i otpornosti (hermetičnosti) ambalaže, dominantno utiču uslovi okoline kojima su UbS izložena, kao i stepen njihovog oštećenja u slučaju NUS.

UbS su konstruisana tako da budu bezbedna pri transportu i manipulaciji. Međutim, u slučaju laganja na cilju, nepotpune detonacije ili oštećenja na drugi način postoji mogućnost da eksplozivne materije i drugi sadržaji, kojima su UbS laborisana, iscure i kontaminiraju tlo i podzemne vodotokove.

Korozioni procesi umnogome doprinose brzini degradacije i propadanja NUS. Na brzinu korozije utiču brojni faktori, od kojih su najznačajniji: stepen vlažnosti tla, vrsta tla, pH tla, otpornost, elektrohemijski potencijal, količina kiseonika, prisustvo mikroorganizama itd.

Metode uništavanja ubojnih sredstava

Danas se u svetu i kod nas u praksi primenjuje veliki broj metoda i tehnika uništavanja UbS, počev od najjednostavnijih, kao što su detonacija ili spaljivanje na otvorenom prostoru, pa do visoko sofisticiranih industrijskih procesa.

Načelno, sve metode uništavanja mogu se svrstati u tri glavne grupe (tabela 1):

- klasične metode,
- dopunske metode i
- eksperimentalne metode.

Tabela 1
Table 1

Metode uništavanja UbS i uslovi primene
Destruction processes of EO and the conditions of application

Grupa	Metoda	Tehnološki uslovi primene
Klasične metode	Detonacija na otvorenom prostoru	<ul style="list-style-type: none"> • nema druge raspoložive tehnologije • transport nije moguć • relativno veliki bezbednosni rizik • moguće uništavanje UbS bez potrebe za specijalnom opremom
	Spaljivanje na otvorenom prostoru	<ul style="list-style-type: none"> • nema druge raspoložive tehnologije • ograničene količine municije • visoke koncentracije opasnih produkata koji se formiraju za vreme sagorevanja
	Zatvoreno spaljivanje	<ul style="list-style-type: none"> • veliki broj municije manjih kalibara • velika količina eksploziva i pogonskih EM • mogućnost korišćenja energije • velika količina otpadnog metala
	Detonacija u detonacionoj komori	<ul style="list-style-type: none"> • mali bezbednosni rizik • ograničena količina municije
	Odlaganje UbS	<ul style="list-style-type: none"> • uticaj na životnu sredinu • nacionalna i međunarodna zakonska ograničenja
Dopunske metode	Delaboracija Mehanički tretman Kriogeno drobljenje Separacione tehnologije itd.	<ul style="list-style-type: none"> • mogućnost recikliranja i ponovne upotrebe nekih komponenata UbS • ove procese moguće je realizovati u fabrikama ili prilagođenim objektima
Eksperimentalne metode	Hidrotermička oksidacija Hemijska reakcija Plazma-lučna piroliza Elektrohemijska oksidacija Biodegradacija itd.	<ul style="list-style-type: none"> • specifična primena za opasne materije i visokotoksične supstance radi zaštite okoline • zahteva specijalnu opremu

Detaljnije opisivanje pojedinih metoda nije tema rada, ali je značajno istaći da izbor najpogodnije metode zavisi od brojnih faktora koji su sumirani u tabeli 2.

Tabela 2
Table 2

Parametri koji utiču na izbor metode uništavanja
The parameters that influence the choice of methods of destruction

Parametar	Komentar
Fizičko stanje UbS	<ul style="list-style-type: none"> • Utiče na bezbednost postupka uništavanja, što može da bude presudno da metoda uništavanja detonacijom na otvorenom ima prednost u odnosu na industrijske tehnologije. • Može diktirati da li su UbS bezbedna za transport do postrojenja za uništavanje ili da se moraju uništavati što je moguće bliže mestu skladištenja
Količina UbS	<ul style="list-style-type: none"> • Veće količine povećavaju efikasnost uništavanja. U takvoj situaciji moguć je veći izbor raspoloživih tehnologija.
Raspoloživi kapaciteti i resursi	<ul style="list-style-type: none"> • Mali broj zemalja poseduju tehnologije za uništavanje koje su bezbedne, bezopasne po okolinu, efektivne i efikasne. Obično su zadovoljeni jedan ili dva navedena zahteva.
Zakonska regulativa	<ul style="list-style-type: none"> • Zakonska regulativa iz oblasti zaštite životne sredine i pirotehničke bezbednosti utiče i na primenljivost određene tehnike uništavanja.
Tehnološke opcije	<ul style="list-style-type: none"> • Industrijska demilitarizacija može se sprovesti kroz mehaničko rastavljanje i delaboraciju, kao i spaljivanje u ekološki kontrolisanim postrojenjima, sa kontinuiranim radom u toku cele godine.

Detonacija na otvorenom prostoru, odnosno uništavanje na zatečenom mestu, kao i spaljivanje na otvorenom prostoru, tradicionalne su i ujedno najjednostavnije metode uništavanja UbS. Međutim, treba naglasiti da su, zbog strogih ekoloških propisa, neke zemlje sveta zabranile ove metode uništavanja [6].

Druge klasične metode, kao što su zatvoreno sagorevanje i detonacija u detonacionoj komori, mogu biti dobre alternative za uništavanje, pre svega sa aspekta bezbednosti i zaštite životne sredine.

Kombinacija faktora bezbednosti, logističke podrške, kapaciteta i ekonomskog faktora često diktiraju primenljivost određene tehnologije. Da bi se došlo do najprihvatljivije metode, moraju se analizirati sledeći kriterijumi:

1. primenjena tehnologija mora obezbediti potpuno uništavanje municije, eksplozivnih i pogonskih materija, kao i pirotehničkih komponenti sadržanih u UbS;

2. primenjena tehnologija ne sme imati posledica po životnu sredinu i mora biti bezbedna po ljude; principi sistemskog praćenja stanja životne sredine moraju biti primenjeni;

3. primenjena tehnologija mora biti ekonomski opravdana, sa minimalnim utroškom energije i minimalnim otpadom;

4. primenjena kombinacija tehnologija treba da bude pogodna za uništavanje većine vrsta UbS;

5. u nekim slučajevima, kada UbS nisu bezbedna za transport, primenom odgovarajuće tehnologije moraju se dovesti u bezbedno stanje na samoj lokaciji gde se nalaze.

Konstrukcija konvencionalnih UbS trebala bi da omogući lako rastavljanje na sklopove i delove, jednostavnu delaboraciju eksplozivnih i pirotehničkih komponenti, ekonomično recikliranje materijala i njihovu ponovnu upotrebu, bezbednu manipulaciju i minimalni uticaj na životnu sredinu.

Analiza uticaja na životnu sredinu

U pogledu uticaja na životnu sredinu i ljudsko zdravlje, klasične metode uništavanja UbS, pre svega detonacija i spaljivanje na otvorenom prostoru, mogu imati značajne posledice zbog oslobađanja teških metala (olovo, antimon i barijum), toksičnih gasova u produktima sagorevanja, odnosno detonacije (HCl, CO, NO, NO₂, HCN), što za posledicu ima zagađenje vazduha, podzemnih voda i zemljišta. Količina produkata sagorevanja i detonacije varira od 30 do 45 mol/kg za različite eksplozivne materije [7]. Neka istraživanja su pokazala da je količina toksičnih azotnih oksida i ugljen-monoksida kojim se zagađuje atmosfera, u slučaju detonacije ili spaljivanja na otvorenom, i do deset puta veća u odnosu na savremene metode uništavanja [8, 9]. To znači da je osoblje koje radi na uništavanju UbS, kao i stanovništvo koje živi relativno blizu mesta za uništavanje, izloženo povećanom riziku obolevanja od kancerogenih bolesti i trovanja teškim metalima. Pored toga, rizik po ljudsko zdravlje i životnu sredinu predstavljaju i drugi sastojci UbS kao što su eksplozivne materije i druge hemijske komponente, uključujući olovo, živu i druga jedinjenja koja se koriste prilikom proizvodnje UbS ili koja nastaju prilikom uništavanja UbS.

U tabeli 3 prikazani su neki rezultati merenja zagađenja vazduha pri različitim metodama uništavanja eksplozivnih materija, a u tabeli 4 isti rezultati prikazani su preko NO₂ – ekvivalenta emisije toksičnih gasova [8]. Treba istaći da nijedna metoda u tabeli 4 ne ispunjava standarde Evropske unije u pogledu zaštite životne sredine, pre svega zbog emisije azotnih gasova. Međutim, ako se pri zatvorenom spaljivanju doda urea (kolona 6), količina azotnih oksida opada na dozvoljene granice, što znači da metoda zatvorenog spaljivanja, uz primenu adekvatnog postupka denitrifikacije, može zadovoljiti standarde.

Tabela 3
Table 3

Prosečne količine štetnih produkata pri uništavanju eksplozivnih materija u gramima po kg eksplozivne materije [8]
The average amount of harmful products during the destruction of explosive substances (in grams per kg of explosive materials) [8]

Produkt uništavanja	Sagorevanje na otvorenom	Detonacija na otvorenom	Zatvorena detonacija	Zatvoreno spaljivanje TNT	Zatvoreno spaljivanje TNT + urea
CO	2,46	34,04	0	1,26	2,30
NO _x	5,41	10,82	7,912	69,03	3,50
Sitne čestice	56	26	1,3	0,208	0,056
Ugljovodonici	0,03	0,18		0,1x10 ⁻³	0,06x10 ⁻³
SO ₂	– ^b			0,11x10 ⁻³	0,07x10 ⁻³
Hg				0,06x10 ⁻³	0,05x10 ⁻³
NH ₃				18,1x10 ⁻³	5,135
HCl	– ^b			3,9x10 ⁻³	4,8x10 ⁻³
HF				0,3x10 ⁻³	0,3x10 ⁻³
Teški metali	– ^b			0,2x10 ⁻³	0,1x10 ⁻³
Dioksini				0,5x10 ⁻³	0,4x10 ⁻³

^a Rezultati se odnose na pentrit, TNT i tetril

^b Zavisi od sastava

Tabela 4
Table 4

Emisija zagađivača vazduha izražena preko NO₂-ekvivalenta
Emissions of air pollutants expressed by NO₂-equivalent

Metoda uništavanja	Emisija NO ₂ -ekvivalenta (g/kg) ^a
Sagorevanje na otvorenom	285
Detonacija na otvorenom	141
Zatvorena detonacija	14
Zatvoreno spaljivanje	70
Zatvoreno spaljivanje + urea	4

^aNO₂-ekvivalent uključuje emisiju CO, NO₂ i čestice koje se mogu udisati

Pri spaljivanju dolazi do stvaranja i čvrstog otpada koji treba da se odlaže. Čvrsti otpad se sastoji od donjeg ostatka i pepela. Obično se odlaže na deponije, iako se neki ostaci mogu koristiti u građevinskim materijalima (cement, asfalt). U nekim zemljama (npr. Nemačka i Holandija) čvrsti ostatak spaljivanja je klasifikovan kao otrovan opasan otpad zbog mogućih primesa dioksina [8, 9].

Pepeo i druge čestice dima mogu sadržavati poliaromatske ugljovodonike. Sagorevanje i detonacija na otvorenom mogu dovesti do taloženja ovih materija u neposrednoj blizini mesta uništavanja UbS. Ovakvo nekon-

trolisano odlaganje produkata uništavanja može se smatrati najvažnijim negativnim uticajem na životnu sredinu. Smatra se da nekontrolisano odlaganje oko sto puta više ugrožava životnu sredinu u odnosu na kontrolisano uništavanje (detonacija i spaljivanje u zatvorenom prostoru) [8].

Iako ne postoji potpuno ekološki bezbedan postupak uništavanja UbS, gde god je to moguće treba izbegavati metode detonacije i spaljivanja na otvorenom prostoru i preduzimati mere da se smanji štetan uticaj na vazduh, zemljište i vodu. Prilikom planiranja uništavanja UbS uvek se moraju predvideti i mere kontrole zagađenja. Prikupljanje otpada i ostataka nakon uništavanja znatno doprinosi smanjivanju negativnog uticaja na životnu sredinu i ljudsko zdravlje.

Najčešće eksplozivne materije koje se primenjuju u UbS ili su nusproizvod prilikom proizvodnje, upotrebe ili uništavanja UbS prikazane su u tabeli 5. Ostali toksični materijali, kao što su olovo, nalaze se u streljačkoj municiji.

Tabela 5
Table 5

Glavna primena eksplozivnih materijala u UbS
Main use of explosives in EO

Jedinjenje	Pogonske EM	Inicijalni elementi	Pojačnik	Eksplozivno punjenje UbS	Pirotehnički elementi
TNT				+	
RDX	+		+	+	
HMX	+		+	+	+
Pentrit		+	+	+	+
Tetril			+		
Tetrazen		+			
DEGDN	+				
Nitroceluloza	+				
Dinitrotoluen	+			+	
Nitrogvanidin	+				
Amonijum nitrat	+			+	
Nitroglicerol	+				
Olovo azid		+			
Olovo stiftat		+			
Živin fulminat		+			
Beli fosfor					+
Perhlorati	+				+

Navedene eksplozivne materije i druga potencijalno toksična jedinjenja mogu se naći u zemljištima, podzemnim vodama, površinskim vodama i vazduhu i mogu imati potencijalno ozbiljne posledice po ljudsko zdravlje i životnu sredinu. Karakter i intenzitet ovih uticaja, kao i pitanja da li oni predstavljaju neprihvatljiv rizik po zdravlje ljudi i životnu sredinu zavise od doze, trajanja, mesta i smera kretanja opasne supstance, kao i od osetljivosti populacije koja je izložena njihovom uticaju.

Uticaj sastojaka ubojnih sredstava na zdravlje ljudi

Od svih eksplozivnih i drugih hemijskih jedinjenja, TNT je svakako najznačajniji kontaminant životne sredine jer je najzastupljeniji u UbS. On može dospeti u ljudski organizam udisanjem vazduha kontaminiranog TNT-om. Radnici u proizvodnji eksploziva, koji su izloženi visokim koncentracijama TNT u vazduhu na radnom mestu imaju probleme sa različitim telesnim organima, imunim sistemom, kao i iritacijom kože. Istraživanja su pokazala da je TNT potencijalno kancerogen za ljudski organizam.

TNT, RDX i druga nitroaromatična jedinjenja mogu se akumulirati u biljkama iz kontaminiranih zemljišta, i to može biti potencijalni put ugrožavanja ljudi i životinja. Utvrđeno je da biljke apsorbuju visok nivo TNT-a, uključujući i jestive vrste kao što su zelena salata, pasulj i šargarepa. Zato se pri proceni rizika mora uzeti u obzir da je opasnost po ljude i životinje veća putem lanca ishrane.

U tabeli 6 sumirani su potencijalni toksični efekti na ljudsko zdravlje najznačajnijih eksplozivnih materija i drugih hemijskih jedinjenja koja se mogu naći u UbS [5, 9].

Tabela 6

Table 6

Potencijalni toksični efekti eksplozivnih materija i drugih jedinjenja na ljudski organizam
Potential toxic effects of explosives and other compounds on the human body

Kontaminant	Hemijski sastav	Potencijalna toksičnost/Efekti
TNT	2,4,6-trinitrotoluen $C_7H_5N_3O_6$	Moguće kancerogen, jetra je najugroženija, iritacija kože, katarakta
RDX	1,3,5-trinitro-2,4,6-triazacikloheksan	Moguće kancerogen, problemi sa prostatom, problemi nervnog sistema, mučnina, povraćanje. Rezultati ispitivanja životinja ukazuju na potencijalna oštećenja organa
HMX	1,3,5,7-tetranitro-2,4,6,8-tetraazaciklooktan	Studije ispitivanja životinja ukazuju na potencijalno oštećenje jetre i centralnog nervnog sistema
Pentrit	Pentaeritrol tetranitrat $C_5H_8N_4O_{12}$	Iritacija očiju i kože; inhalacija uzrokuje glavobolju, slabost i pad krvnog pritiska
Tetril	2,4,6-trinitrofenil-N-metilnitramin $C_7H_5N_5O_8$	Kašalj, zamor, glavobolja, iritacija očiju, gubitak apetita, krvarenje iz nosa, mučnina i povraćanje.
Tetrazen	$C_2H_6N_{10}$	Dovodi se u vezu sa profesionalnom astmom; izaziva iritaciju i grčenje, toksičan za jetru, iritira i oštećuje oči, izaziva srčane smetnje, nizak pritisak, razaranje bronhijalne mukozne membrane, edem pluća, smrt.
DEGDN	Dietilenglikol dinitrat $(C_2H_4NO_3)_2O$	Meta su bubrezi; mučnina, nesvestica, bol u predelu bubrega. Uzrokuje akutnu bubrežnu insuficijenciju.

Kontaminant	Hemijski sastav	Potencijalna toksičnost/Efekti
Dinitrotoluen	$C_7H_7N_2O_4$	Može uzrokovati methemoglobinemiju, anemiju, leukopeniju, nekrozu jetre, vrtoglavicu, zamor, nesvesticu, slabost, mučninu, povraćanje, nesanicu, drhtavicu, paralizu, bol u grudima, otežano disanje, lupanje srca, anoreksiju i gubitak telesne težine.
Nitrogvanidin	$CH_4N_4O_2$	Nema podataka o karcinogenom dejstvu na ljude i životinje. Specifični toksični efekti nisu dokumentovani.
Difenilamin	N,N-difenilamin $C_{12}H_{11}N$	Iritacija sluzokože i očiju; čista supstanca ima malu toksičnost, ali onečišćen može sadržavati 4-bifenilamin koji je potencijalno kancerogen
N-nitrozodifenilamin	$C_{12}H_{10}N_2O$	Potencijalno kancerogen
Ftalati	Različiti	Uočeno pojačanje toksičnog polineuritisa kod radnika koji su bili izloženi dibutilftalatu
Amonijum nitrat	NH_4NO_3	Nagli pad krvnog pritiska; zujanje u ušima sa glavoboljom i vrtoglavicom; mučnina i povraćanje; kolaps i koma
Nitroglicerol (Glicerol trinitrat)	$C_3H_5N_3O_9$	Iritacija očiju, pad krvnog pritiska, glavobolja i kolaps
Olovo azid	N_6Pb	Glavobolja, razdražljivost, slabljenje memorije, poremećaj sna, potencijalno oštećenje mozga i bubrega, anemija
Olovo stifnat	$PbC_6HN_3O_8 \cdot H_2O$	Utiče na centralni nervni sistem, imunološki sistem i bubrege. Izaziva bolove u mišićima i zglobovima, slabost, rizik od visokog krvnog pritiska, gubitak apetita, grčevi u stomaku, mučnina.
Živin fulminat	$Hg(OCN)_2$	Nije pouzdano dokazana kancerogenost; izaziva konjunktivnu iritaciju i svrab; trovanje živom izaziva drhtavicu, oticanje ruku, nogu, obraza i nosa praćeno gubitkom kose i ulcerom; teški grčevi u stomaku, proliv, krvarenja i nekrozu gastrointestinalnog trakta, šok i cirkulatorni kolaps, slabosti bubrega
Beli fosfor	P_4	Uticao na reproduktivnu sposobnost. Oštećenje jetre, srca i bubrega; smrt; kožne opekotine, iritacija grla i pluća, povraćanje, grčevi u stomaku
Perhlorati	ClO_4^-	Izloženost izaziva svrab i bol. Ingestija može izazvati gastroenteritis sa bolom u stomaku, mučninu, povraćanje i dijareju; zujanje u ušima, vrtoglavicu, povišen krvni pritisak, zamagljen vid i drhtavicu. Hronični poremećaji mogu uključivati metaboličke poremećaja štitaste žlezde

Uticaj sastojaka ubojnih sredstava na životnu sredinu

Kao i u pogledu uticaja na zdravlje ljudi, uticaj hemijskih jedinjenja na životnu sredinu, kao posledica upotrebe ili uništavanja UbS, zavisi od više faktora: toksičnosti samog jedinjenja, puta kojim jedinjenje dolazi do receptora, koncentracije kojoj je receptor izložen i reakcije određenog receptora na jedinjenje. Svako specifično mesto zahteva procenu potencijalnog štetnog uticaja na okolinu da bi se razumeo način na koji određeni ekosistem omogućava sastojcima UbS da dođu do potencijalnih receptora. Krajnji receptori mogu da obuhvate ne samo životinjske vrste već i njihova staništa, uključujući kopneni i vodeni biljni i životinjski svet.

Istraživanja ekoloških efekata komponenata UbS do sada nisu sprovedena sveobuhvatno i sistematski. Procena graničnih koncentracija najčešćih sastojaka UbS izvedena je ekstrapolacijom na osnovu rezultata istraživanja u literaturi toksičnih efekata na sličnim biljnim i životinjskim vrstama. Malo ovih podataka se dobija na osnovu posmatranja realnog sveta životne sredine, već se zaključci izvode na osnovu laboratorijskih istraživanja toksičnosti sastojaka UbS.

Na osnovu različitih podataka iz literature u tabeli 7 sumirani su potencijalni neželjeni efekti ovih jedinjenja na okolinu, a pre svega na divlje životinje [5].

*Tabela 7
Table 7*

Potencijalni efekti eksplozivnih jedinjenja na životnu sredinu
Potential effects of explosive compounds on the environment

Kontaminant	Potencijalni toksični i ekološki efekti
TNT	Biljke mogu preuzeti TNT iz zagađenog zemljišta, uključujući i jestive sorte vrtnih biljaka, vodenih i močvarnih biljaka i drveća. Mužjaci životinja, tretiranih velikim dozama TNT-a, imali su ozbiljne reproduktivne probleme, znake akutne toksičnosti – ataksiju, tremor i blage konvulzije.
RDX	Neke studije zaključuju da se RDX ne vezuje u ribama i ljudima. Javne zdravstvene procene zaključuju da usevi ne akumuliraju RDX i da su bezbedni za ljudsku upotrebu. Pored toga, studije na nekim drugim vojnim objektima, kao i laboratorijska istraživanja, ukazuju da jeleni i goveda ne akumuliraju RDX u svom tkivu. Međutim, istraživanja pokazuju da RDX preuzet od strane biljaka iz kontaminiranih zemljišta može ugroziti divlje životinje – biljojede.
HMX	Zaključak istraživanja je da nije poznato da li biljke, ribe ili životinje koje žive u kontaminiranim područjima akumuliraju određeni nivo HMX u tkivima. Nije poznato da li HMX može izazvati rak ili reproduktivne probleme kod životinja.
Pentrit	Razvijeni su pokazatelji procene toksičnosti za životinje – sisare, a studije toksikoloških efekata na laboratorijskim životinjama korišćene su za utvrđivanje referentnih toksičnih vrednosti za divlje životinje koje uključuju gubitak težine, krvni pritisak i bolesti disajnih organa.

Kontaminant	Potencijalni toksični i ekološki efekti
Tetрил	Identifikovani su negativni efekti na biljne i životinjske vrste. Nije poznato da li se tetрил akumulira u ribama, biljkama ili kopnenim životinjama, niti da li prouzrokuje kancerogenost i probleme razmnožavanja divljih životinja. Razvijeni su pokazatelji toksičnosti za sisare.
Tetrazen	Nema podataka
DEGDN	Nema podataka
2,4-Dinitrotoluen	DNT se može preneti na biljke preko korena putem zagađene vode ili zemljišta. Životinje izložene visokim nivoima DNT imaju umanjenu reproduktivnu sposobnost. Kod životinja je takođe uočeno smanjenje crvenih krvnih zrnaca, oštećenje nervnog sistema i jetre, kao i rak jetre i bubrega.
Difenilamin	Nema podataka
Ftalati	Nema podataka
N-nitrozo difenilamin	Vodeni organizmi apsorbuju N-nitrozodifenilamin ali ne dolazi do akumulacije u njima. Nije poznato da li ga kopnene životinje i biljke preuzimaju i skladište u sebi. Ispitivanja na životinjama su identifikovala nivo izloženosti koje mogu da izazovu smrt. Kod životinja kojima su u ishrani davani visoki nivoi N-nitrozodifenilamina tokom dužeg vremenskog perioda, došlo je do oticanja, pojave raka mokraćne bešike, kao i promene telesne mase.
Amonijum nitrat	Nema podataka
Nitroglicerín (Glicerol trinitrat)	Efekti na sisarima uključuju kardiovaskularne smetnje, smanjenje mase, kao i oštećenje jetre, krvi i reproduktivne probleme.
Olovo azid	Nema podataka
Olovo stífnat	Nema podataka
Živin fulminat	Nema podataka
Beli fosfor	Dokazano je da su čestice belog fosfora, koje su dospеле do sendimenata na dnu plitkih jezera, kao posledica vojne obuke sa belim fosforom, visoko otrovne.
Perhlorati	Nema podataka
Nitrogvanidin	Nema podataka

Studije klijavosti semena i rasta, sprovedena na više zemaljskih biljaka, utvrdile su različite pragove fitotoksičnosti na eksplozivne i druge komponente UbS. Neke biljke (na primer, ovas) pokazale su tako visoke tolerancije za TNT, zbog čega su razmatrane kao potencijalne biljke za bioremedijaciju zemljišta kontaminiranog TNT-om.

Zaključak

Cilj rada bio je da se sagledaju i analiziraju moguće posledice procesa demilitarizacije i uništavanja UbS na zdravlje ljudi i životnu sredinu. U tom pogledu najveću opasnost predstavljaju NUS kojih još ima na više lokacija u našoj zemlji.

Pri uništavanju UbS oslobađaju se teški metali i toksični gasovi koji mogu zagaditi vazduh, vodu i zemlju. Pored toga, mnogi sastojci UbS, pre svega eksplozivne i druge hemijske materije, imaju štetno dejstvo na zdravlje ljudi i životnu sredinu.

Sa ekološkog aspekta, najnepovoljnije metode uništavanja UbS su detonacija i spaljivanje na otvorenom prostoru, pa je zato neophodno u svakom pojedinačnom slučaju uništavanja obavezno sagledati ekološki aspekt i razmotriti mogućnost primene drugih metoda koje mnogo manje ugrožavaju životnu sredinu.

Literatura

- [1] Jeremić, R., Dimitrijević, R., *Neki aspekti rešavanja problema neeksploziranih UbS*, Novi glasnik, 3/2006.
- [2] Alverbroa, A. i dr., *A life cycle assessment of destruction of ammunition*, Journal of Hazardous Materials, 170, str. 1101–1109, 2009.
- [3] Dimitrijević, R., Jeremić, R., *Ispitivanje nekih detonacionih osobina malodimnih baruta*, Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier, Vol. 45, No. 1, pp. 37–49, Ministarstvo odbrane Republike Srbije, Beograd, 1997.
- [4] Vuruna, M., Antonović, D., *Migracija dizel goriva izlivenog u površinske slojeve zemljišta*, Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier, Vol. 53, No. 5, pp. 451–460, Ministarstvo odbrane Republike Srbije, Beograd, 2005.
- [5] *Handbook on the Management of Munitions Response Actions*, United States Environmental Protection Agency, Washington, 2005.
- [6] Mitchell, J W. i dr., *Improving the Environmental safety of munitions disposal by OB and OD*, Proceedings of the Fifth Global Demilitarization Symposium and Exhibition, Reno, NV, May, 1997.
- [7] Mader, C. L., *Numerical modeling of Explosives and Propellants*, CRC Press, New York, 1998.
- [8] Duijm, J. N., Markert F., *Assessment of technologies for disposing explosive waste*, Journal of Hazardous Materials, Vol. 90, 2/2002, str. 137–153.
- [9] Anđelković-Lukić, M., *Sinteza i fizičko-hemijske karakteristike eksploziva HNIW (CL-20)*, Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier, Vol. 57, No. 2, pp. 86–94, Ministarstvo odbrane Republike Srbije, Beograd, 2009.

ENVIRONMENTAL ASPECTS OF THE DEMILITARIZATION AND DESTRUCTION OF ORDNANCE

FIELD: Chemical Technology

ARTICLE TYPE: Professional Paper

Summary

In the last ten years, the Serbian Army has been facing the problem of surplus of various ordnance, which resulted from the changes in the organizational structure and rationalization. In addition, at several locations in Serbia there is still a large amount of unexploded ordnance remaining after the NATO bombing. The paper examined the environmental aspects of the destruction of surplus ammunition and unexploded ordnance. A brief survey of the methods of destruction and the technolo-

gical conditions for their implementation are presented. The impact of toxic constituents of ordnance on human health and the environment is analyzed in particular. In order to minimize environmental risks during the demilitarization process of ordnance, appropriate proposals are given.

Introduction

The Serbian Army is faced with the problem of surplus munitions and the presence of UXO at many locations. The nature of hazards and potential harmful effects of these munitions on human health and the environment are explained.

Basic characteristics of EO and the locations where it can be found

The locations where munitions can be found are listed, their conditions in different situations are briefly explained as well as the dangers posed by munitions depending on their current state. The chemical and corrosion processes leading to the impairment of ammunition quality are briefly explained as well as the parameters that affect them.

Methods of the destruction of munitions

Different methods of explosive ordnance disposal and the basic conditions for their implementation are presented. The parameters that influence the selection of methods and the criteria that must be analyzed in the choice of destruction methods are explained.

Environmental impact analysis

The toxic products of the destruction of munitions are described in correlation with the applied method. A spreadsheet gives the literature results of toxic products emission for different methods of destruction.

Impact of ammunition constituents on human health

The so far investigated toxic effects of explosives and other chemical compounds found in explosive ordnance on human health are specially explained as well as their possible consequences.

Impact of ammunition constituents on the environment

This part describes the so far observed toxic effects of constituents of explosive ordnance on the environment, especially wildlife.

Conclusion

From the environmental aspect, the greatest danger comes from UXO, and the least favorable methods of UXO destruction are open burning and detonation.

Key words: environment, ordnance, demilitarization, destruction of ordnance, toxic effects

Datum prijema članka: 17. 03. 2011.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 24. 07. 2011.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 25. 07. 2011.