

**Dr Radun Jeremić,**  
pukovnik, dipl. inž.  
Vojna akademija – Odsek logistike,  
Beograd  
**mr Luka Grbović,**  
pukovnik, dipl. inž.  
Tehnička uprava GŠ VSCG,  
Beograd

## **EKSPLOZIVNE MATERIJE ZA NEOSETLJIVA UBOJNA SREDSTVA**

UDC: 662.1/4

### *Rezime:*

*U skladu sa sve strožim zahtevima za očuvanje životne sredine i većom bezbednošću, tendencije u razvoju savremenih ubojnih sredstava (UbS), pored povećanja pouzdanosti i efikasnosti, usmerene su i na povećanje sigurnosti pri njihovoj proizvodnji, skladištenju, manipulaciji i upotrebi. Na taj način dobijena je nova kategorija UbS, tzv. neosetljiva UbS, kod kojih je verovatnoća neželjenog aktiviranja pod dejstvom spoljnih impulsa svedena na minimum. Suština rešavanja ovog problema je primena eksplozivnih materija koje su mnogo manje osetljive na spoljne uticaje u odnosu na standardne. Osnovni zahtev koji se pri tome postavlja je da taktičko-tehničke karakteristike ostanu na nivou ili budu bolje u odnosu na postojeća UbS. U radu je ukratko objašnjen koncept razvoja neosetljivih UbS i dat pregled najznačajnijih rezultata istraživanja u oblasti eksplozivnih materija koje zadovoljavaju zahteve za primenu u neosetljivim UbS.*

*Ključne reči: neosetljiva UbS, neosetljivi baruti, neosetljivi eksplozivi, neosetljiva raketna goriva.*

---

## **EXPLOSIVE SUBSTANCES FOR INSENSITIVE MUNITIONS**

### *Summary:*

*According to severe environment protection and safety requirements, tendencies in development of modern munitions, besides of increasing reliability and efficiency, are directed to decreasing of danger during their processing, storing, handling and operating. In that manner the new category of munitions has been obtained, named insensitive munitions, with a minimum probability of unplanned activating. The best method for solving this problem is using of explosive substances that are more insensitive according to standard ones. The main requirement is the tactical and technical characteristics stay at the level or to be better according to the existing munitions. In this paper the developing concept of insensitive munitions is shortly explained and presented a review of most important research results of explosive materials that fulfill requirements for applying in insensitive munitions.*

*Key words: insensitive munitions, insensitive explosives, insensitive rocket propellants, insensitive gun propellants.*

---

### **Uvod**

Neosetljiva ubojna sredstva (ili UbS malog rizika, neranjiva UbS), definišu se kao sredstva koja pouzdano ostvaruju svoje projektovane performanse, ali kod kojih je verovatnoća aktiviranja pod dej-

stvom različitih neplaniranih spoljnih impulsa svedena na minimum [1]. To je jedan od zahteva koji dobija sve veći značaj pri projektovanju i proizvodnji savremenih UbS. U svetu, a i kod nas, dešavali su se mnogi akcidenti sa katastrofalnim posledicama koji su posledica prevelike

osetljivosti UbS na udar i toplotu. Do njih može dolaziti u transportu, manipulaciji, rutinskim operacijama, usled terorističkih napada, a naročito u uslovima izvođenja borbenih dejstava kada su UbS (na nosačima i spremnicima municije u avionima, brodovima, tenkovima, oruđima vatrene podrške, itd.) izložena dejstvu neprijateljeve vatre.

Neosetljiva UbS ne smeju detonirati čak ni pri prostrelu zrna ili parčadi projektila, kao ni pod dejstvom toplotnog impulsa, pri čemu mogu sagorevati, ali bez prelaska u detonaciju. Na taj način povećava se pirotehnička bezbednost i omogućuje istovremeno pakovanje, manipulacija, skladištenje i transportovanje većeg broja UbS u odgovarajućim kontejnerima, što ima i pozitivan ekonomski efekat.

Ovom problemu u svetu se u poslednje vreme poklanja velika pažnja. Tako je u okviru NATO formiran informacioni centar za neosetljiva UbS – NI-MIC (NATO Insensitive Munitions Information Center) sa sedištem u Briselu [2] čiji je osnovni zadatak unapređenje tehnologije neosetljivih UbS.

Pri razvoju novih UbS i kod nas se kao jedan od osnovnih zahteva postavlja pitanje lične bezbednosti korisnika, što je u poslednje vreme posebno izraženo kod tromblonske municije i municije za potcevni bacač granata. Međutim, pristup u rešavanju ovog problema još uvek nije sistemski.

Aktivnosti Ujedinjenih nacija na klasifikaciji „neosetljivih brizantnih eksploziva“ u pogledu transportnih sigurnosnih zahteva pokazali su potrebu za izradom protokola za testove opasnosti koji će zadovoljiti veliki broj različitih sigurnosnih zahteva.

U tom smislu Ministarstvo odbrane SAD izdalo je jedinstven tehnički bilten u kojem je data procedura za klasifikaciju eksplozivnih materija i UbS u pogledu opasnosti [3].

U tabeli 1 prikazani su testovi i kriterijumi koje UbS moraju da zadovolje da bi bila kvalifikovana kao neosetljiva [4, 5].

Tabela 1  
Testovi za neosetljiva UBS

Vrsta testa	Uslovi ispitivanja	Kriterijum za prijem
Brzi „cookoff“	prema standardu gorivo: tečno ili drvo	bez intenzivnije reakcije od tipa V (sagorevanje)
Udar zrna	1 do 3 tipa zrna 12,7 mm 850±60 m/s, 80±40 ms interval dejstva	bez intenzivnije reakcije od tipa V (sagorevanje)
Prenos detonacije	prema standardu	bez reakcije tipa I (detonacija) od bilo kog donora
Spori „cookoff“	brzina grejanja 3,3 °C/h	bez intenzivnije reakcije od tipa V (sagorevanje)
Udar fragmenata	12,7 mm čel. kocka (2530±90 m/s)	bez intenzivnije reakcije od tipa V (sagorevanje)
Kumulativni mlaz	50 mm specijalni donor prema standardu	bez reakcije tipa I (detonacija)

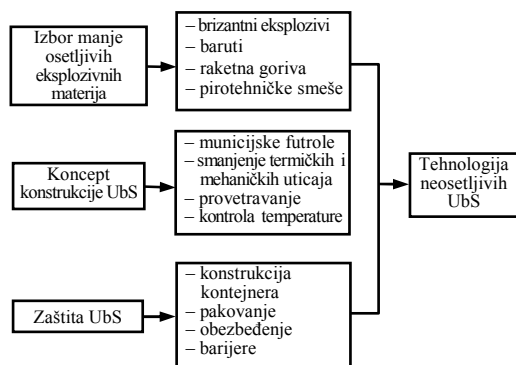
Reakcije UbS pri sprovođenju testova za neosetljivost rangirane su na sledeći način:

- tip V – sagorevanje,
- tip IV – deflagracija ili propulzija,
- tip III – eksplozija,
- tip II – delimična detonacija,
- tip I – detonacija.

Treba istaći da se, bez obzira na zadovoljenje kriterijuma navedenih testova, mogućnost neželjenog aktiviranja neosetljivih UbS ne može u potpunosti eliminisati.

Za ispitivanje ponašanja UbS zahvaćenih požarom primenjuje se metoda brzog grejanja (Fast Cookoff) [4]. Na osnovu ovakvih rezultata istraživanja može se vršiti optimizacija konstrukcije bojnih glava i raketnih motora, tako da u uslovima požara ne može doći do njihove detonacije.

Na slici 1 prikazan je opšti pristup razvoju neosetljivih UbS [6].



Sl. 1 – Opšti tehnički pristup razvoju neosetljivih UbS

Problem osvajanja neosetljivih UbS rešava se primenom manje osetljivih eksplozivnih materija, prilagođavanjem konstruktivnih karakteristika i dodatnom zaštitom.

Eksplozivne materije (eksplozivi, baruti i raketna goriva) osetljive su na toplotu i mehaničke uticaje (udar zrna streljačke municije, parčadi projektila, potresa i sl.), usled čega može doći do njihovog neželjenog aktiviranja, što može imati katastrofalne posledice.

Eksplozivne materije, kao osnovne komponente UbS, diktiraju i njihovu osetljivost na spoljne uticaje. Kako od primenjenih eksplozivnih materija zavise i performanse UbS, tehnologija, toksičnost, cena, itd., izbor eksplozivnih materija za konkretno UbS je složen proces.

### Izbor eksplozivnih materija za neosetljiva UbS

Generalni princip pri osvajanju neosetljivih UbS je primena eksplozivnih materija koje su manje osetljive na spolj-

ne uticaje u odnosu na standardne, a da pri tome performanse UbS budu iste ili bolje u poređenju sa onima koje su laborisane standardnim eksplozivnim materijama. U poslednje vreme intenzivno se radi na osvajanju manje osetljivih eksploziva i eksplozivnih sastava, čvrstih raketnih goriva, kao i klasičnih baruta.

### Čvrsta raketna goriva

Sigurnost raketnih motora, i njihovo pouzdano funkcionisanje, u najvećoj mери zavisi od primenjenog raketnog goriva, ali je pri tome bitna i propisna integracija svih komponenti raketnog motora (pogonsko punjenje, komora, lajner, inhibitor, termički izolator i dr.). Krična komponenta je pogonsko punjenje, jer ono može reagovati nepredvidivo pod dejstvom spoljnih uticaja, a i u toku funkcionisanja raketnog motora (pojava eksplozije, odnosno detonacije).

Raketno gorivo kod raketnih projektila može činiti i do 80% eksplozivnog materijala u raketi. Sva goriva imaju određen nivo osetljivosti. Tendencije u razvoju raketnih goriva uvek su bile na poboljšanju energetske karakteristika što je imalo za posledicu i povećanje njihove osetljivosti.

Prema dostupnim podacima [1] može se zaključiti da standardno metalizirano gorivo na bazi hidroksi-terminiranog polibutadiena i amonijumperhlorata (AP/HTPB) reaguje na mnoge impulse pri testiranju sa neprihvatljivim intenzitetom reakcija. Pored toga, kod nekih sastava, na osnovu „cookoff“ testova, zaključeno je da proces sagorevanja može preći u detonaciju. Takođe, kod goriva na bazi poliuretana i amonijumperhlorata

ta sa bakarhromitom, kao katalizatorom brzine sagorevanja, uočena je detonacija pri sporom „cookoff“ testu, čak i kada gorivo nije bilo zatvoreno.

Koncept razvoja neosetljivih UbS nalaže neophodnost redukovanja osetljivosti i nepredvidivih reakcija raketnih goriva bez umanjena energetske svojstava, što je vrlo složen problem. Postizanje potrebne energije i gustine goriva, uz zadovoljenje zahteva neosetljivih UbS, poseban je problem kod bezdimnih i nemetaliziranih goriva. Pored toga, pri osvajanju raketnih goriva za konkretni raketni motor prisutna su razna konstrukciona ograničenja, što dodatno usložava problem.

Može se smatrati da za raketni motor nema opasnosti od detonacije ako je zadovoljen bar jedan od sledećih uslova:

- gorivo ne može detonirati u motoru ako je prečnik pogonskog punjenja manji od kritičnog;

- mogući spoljni uticaji na pogonsko punjenje ne mogu da dostignu neophodan minimalni pritisak za inicijaciju detonacije;

- rastojanje od površine iniciranja do tačke u kojoj dolazi do potpunog razvoja detonacije veće je od dužine pogonskog punjenja.

Uprkos činjenici da je raketno gorivo samo jedan aspekt raketnog sistema, postoje specifične karakteristike koje se moraju identifikovati, a koje doprinose smanjenju osetljivosti UbS.

Prema karakteristikama raketnih goriva mogu se izdvojiti tri generalna pristupa smanjenju njihove osetljivosti [2]:

1. Promena čvrstoće, odnosno žilavosti goriva. Goriva sa dobrim deforma-

cionim osobinama (posebno na niskim temperaturama), koja dobro apsorbuju energiju i deformaciju sa minimalnim oštećenjima, mogu dobro podnositi i potrebe i udare.

2. Upravljanje raspodelom energije:

- smanjenje udela čvrste komponente. Uopšte, smanjenje ukupne čvrste faze (za ekvivalentan energetski nivo) poboljšava mehaničke karakteristike i smanjuje detonabilnost goriva. To se može postići: povećanjem gustine kristalnog oksidatora (razvoj novih oksidansa); primenom energetskog veziva koje omogućuje odgovarajuće smanjenje čvrste faze bez smanjenja ukupne energije; primenom aditiva visokih gustina radi održavanja ili povećanja zapreminskog impulsa uz smanjenje udela čvrste faze;

- kontrolisanje veličine i raspodele čestica – primena raspodele čestica koja je optimalna za kvašenje vezivom i za jačinu veza između čestica. Na primer, fino mlevenje nitramina smanjuje osetljivost na udar;

- primena manje osetljivih čvrstih komponenti (tj. smanjenje udela nitramina, smanjenje ili zamena balističkih modifikatora, smanjenje udela amonijumperlorata). To može uključiti i razvoj novih komponenti, upotrebu novih kombinacija postojećih komponenti raketnih goriva, kao što su energetski plastifikatori.

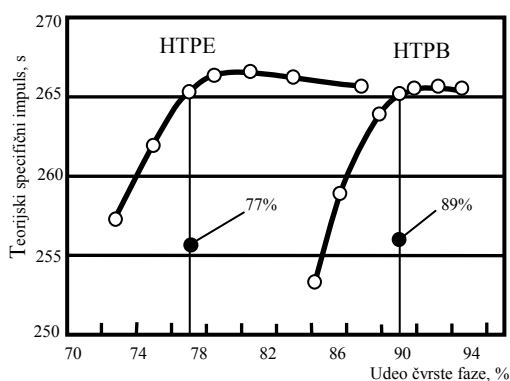
3. Razvoj goriva koja se mogu gasiti – goriva koja tinjaju ili se gase na atmosferskom pritisku.

Kao rezultat primene ovog pristupa osvojeno je nekoliko novih raketnih goriva smanjene osetljivosti koja zadovoljavaju zahteve neosetljivih UbS. Međutim, podaci o istraživanjima i sastavima čvr-

stih raketnih goriva, proizvedenih prema zahtevima neosetljivih UbS, vrlo su restriktivni, pa će biti izneti samo neki osnovni podaci o gorivima na kojima je rađeno u poslednje vreme, a koja su zadovoljila propisane testove [7].

*Hidroxi-terminirani polietar (HTPE)* – vrsta raketnog goriva sa smanjenom količinom dima u produktima sagorevanja, na bazi hidroksi-terminiranog polietera (HTPE) kao veziva, testirana je na više vrsta raketnih motora različitih dimenzija i konfiguracija u poslednjih desetak godina. Ova goriva razvijena su kao manje osetljive zamene za HTPB/AP goriva koje se primenjuje u mnogim raketnim motorima taktičkih sistema.

Osnovni pristup je smanjenje udela čvrste faze što je postignuto primenom energetskog plastifikatora koji je kompatibilan sa HTPE polimerom. To omogućuje HTPE gorivu da ima isti ili veći specifični impuls u odnosu na odgovarajuće HTPB gorivo (slika 2).



Sl. 2 – Prednost HTPE goriva: redukovan udeo čvrste faze za isti nivo energije [7]

Osetljivost se dodatno smanjuje zamenom dela amonijumperhlorata sa sekundarnim oksidansom.

Performanse HTPE goriva su na nivou ili iznad HTPB goriva u pogledu specifičnog impulsa (Isp), brzine gorevanja, mehaničkih karakteristika, „pot lajfa“. U tabeli 2 dati su rezultati ispitivanja prema zahtevima neosetljivih UbS u poređenju sa rezultatima ispitivanja HTPB goriva [7].

Tabela 2  
Poređenje rezultata ispitivanja osetljivosti HTPB i HTPE goriva

Vrsta testa	Rezultati testa (Analogni RM od 10 inča)	
	HTPB	HTPE
Spori „cookoff“	eksplozija	sagorevanje
Brzi „cookoff“	sagorevanje	sagorevanje
Udar zrna	deflagracija	sagorevanje
Udar fragmenata	eksplozija	gašenje

*Umrežena dvobazna goriva (XLDB)* – vrsta raketnih goriva male osetljivosti na bazi umreženih dvobaznih goriva poznata kao „nitramiti“. Ovi sastavi bazirani su na energetskom vezivu (hidroksiterminirani polietar ili polietar plastifikovan pomoću nitroglicerina), punjeno nitraminima (HMX ili RDX). Varijanta sa minimalnom količinom dima ne sadrži AMP. Radi dodatnog smanjenja osetljivosti na udar razvijeni su sastavi sa smanjenom količinom nitramina koji sadrže manje osetljive energetske plastifikatore (trimetiletantrinitrat – TMETN i butantrioletrinitrat – BTTN umesto nitroglicerina). Iako su ovi sastavi slabo osetljivi na toplotne i mehaničke uticaje, zbog znatnog sadržaja nitramina relativno lako prihvataju detonaciju.

*Goriva na bazi HTCE* – aluminizirani sastavi sa smanjenom količinom dima na bazi blok-kopolimera politetrahidrofurana i polikaprolaktona, kao jeftinija alternativa za HTPE goriva.

Jedna verzija sadrži 10% amonijumnitrata kao sekundarnog oksidatora, a određena količina HTCE zamjenjena je polietrom. Ovo gorivo sadrži izvanredne proizvodne i mehaničke karakteristike sa istim nivoom energetske karakteristika.

*Goriva na bazi polietilenglikola (PEG)* – slabo aluminizirana goriva (5% Al) sa 65% nitramina, visokoenergetska, malodimna goriva, na bazi polietilenglikola kao veziva, plastifikovana sa mešavinom nitratnih estara. Ovaj sastav zadovoljava testove za neosetljiva UbS (tabela 3) [7]. Isti sastav može se primeniti i kao neosetljivo eksplozivno punjenje ukazujući na trend energetske materijala prema karakteristikama između goriva i eksploziva.

Pored ovih, razvijeno je još nekoliko vrsta raketnih goriva smanjene osetljivosti, kao što su:

- bezdimna raketna goriva na bazi hidroksilamonijumnitrata (HAN) kao zamene za amonijumperhlorat [1];
- goriva na bazi nitratnog estera-polietra (NEPE);
- goriva na bazi energetske veziva, kao što je poliglicidilnitrat (GAP), energetskim plastifikatorima i amonijumnitratom kao oksidansom [7], itd.

Tabela 3  
Rezultati ispitivanja goriva na bazi PEG

Vrsta testa	Rezultati testa	
	debela čelična komora	tanka čelična komora
Spori „cookoff“	–	Tip V
Brzi „cookoff“	Tip V	Tip V
Udar zrna	Tip V	Tip V
Udar fragmenata	–	Tip V
Prenos detonacije	nema detonacije	nema detonacije

Iako je napravljen veliki pomak u razvoju neosetljivih raketnih goriva, u mnogim slučajevima rešenja nisu zadovoljavajuća tako da se sprovode intenziv-

na istraživanja komponenti koje bi mogle ući u sastav ovih goriva. Biće navedene samo neke od njih [8].

*Oksidatori* – u poslednje vreme najviše se radi na istraživanju sledećih oksidatora za raketna goriva: amonijumdinitrat (ADN), heksanitroformat (HNF) i CL-20. Ovi oksidatori mogu se primeniti i za goriva smanjene osetljivosti, a za razliku od amonijumperhlorata ne sadrže hlor, pa su pogodni i sa ekološkog aspekta.

Amonijumdinitrat (ADN),  $\text{NH}_4\text{N}(\text{NO}_2)_2$ , ima tendenciju da zameni amonijumperhlorat kao oksidator. Ima visok višak kiseonika, veliku brzinu gorenja i može se primeniti za goriva sa velikim specifičnim impulsom. Pored toga, njegova proizvodnja je relativno jeftina. Sa aspekta sigurnosti manje je osetljiv na udar od RDX, HMX i CL-20, a nije osetljiv na trenje i statički elektricitet. Nedostatak mu je što je osetljiv na svetlost i što je vrlo higroskopan. Ovaj problem rešava se inkorporiranjem u polimerno vezivo. ADN ima i neke probleme nekompatibilnosti. Kompatibilan je sa HTPB, ali reaguje sa izocijanatima koji se koriste kao umreživači polimernih veziva, uključujući i HTPB. Reakcija se može ograničiti korišćenjem manje reaktivnih izocijanata i prekidom reakcije umrežavanja. Ima nižu tačku topljenja od HNF i CL-20.

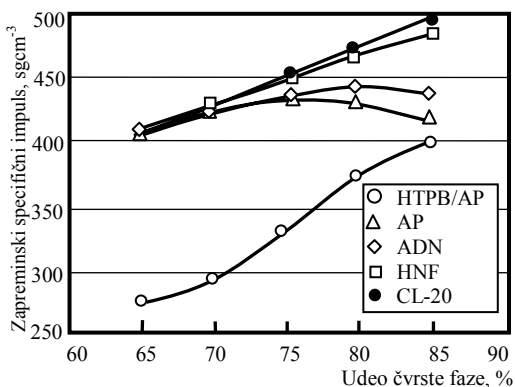
Heksanitroformat (HNF),  $\text{N}_2\text{O}_5\text{-C}(\text{NO}_2)_3$ , visokoenergetski je oksidator i potencijalna zamena za amonijumperhlorat. Ima veliki višak kiseonika i veću gustinu od ADN, i dobre balističke osobine. Zamenom amonijumperhlorata sa HNF dobija se povećanje performansi za 3 do 4%. Međutim, postoji nekoliko problema koje treba rešiti. Mora se poboljšati termička stabilnost iznad  $60^\circ\text{C}$ . Takođe, do-

sta je osetljiv, mada mu se osetljivost smanjuje sa dodatkom veziva. Ima tendenciju stvaranja igličastih kristala koji su nepoželjni pri proizvodnji goriva. Vrlo je reaktivan, nekompatibilan sa izocijanatima, što izaziva probleme prilikom umrežavanja. Uprkos toga sačinjen je i testiran sastav HNF/Al/HTPB.

CL-20 je vrlo interesantan sa aspekta specifičnog impulsa. Ima niži bilans kiseonika od prethodna dva oksidansa, ali i veću gustinu i toplotu formiranja. Vrlo je osetljiv (kao pentrit), ali mu se osetljivost znatno smanjuje kada se inkorporira u sastav raketnih goriva.

Sastavi raketnih goriva sa CL-20 pokazali su se izuzetno bezbednim za upotrebu i manipulaciju.

Poređenje relativnih performansi tri oksidansa AMP prikazano je na slici 3. Sva tri oksidansa imaju bolje karakteristike od amonijumperhlorata. U pogledu osetljivosti ADN ima najbolje osobine. Sastavi koji sadrže velike količine CL-20 slični su brzantnim eksplozivima, pa ne mogu da ispune zahteve za neosetljivu municiju. U primeni HNF ima mnogo problema, ali se nastavlja istraživanje za njihovo rešavanje.



Sl. 3 – Performanse novih oksidanasa

*Energetska polimerna veziva i plastifikatori* – razvijaju se da bi se zadovoljili zahtevi savremenih raketnih goriva. Oni su posebno interesantni, jer omogućuju smanjenje masenog udela čvrste faze u gorivu. U tabeli 4 dat je pregled nekih veziva koja su razvijena za primenu u raketnim gorivima, barutima i eksplozivima.

Tabela 4  
Pregled nekih novih energetskekih veziva

Komponenta	Gustina (g/cm <sup>3</sup> )	$\Delta H_f$ (kJ/mol)	T <sub>g</sub> (°C)
PoliAMMO <sup>1</sup>	1,17	46	-40
PoliBAMO <sup>2</sup>	1,30	440	
GAP <sup>3</sup>	1,29	138	-45
PoliNIMMO <sup>4</sup>	1,31	-335	-30 do -35
PoliGlin <sup>5</sup>	1,47	-285	-35

<sup>1</sup> poliazidomethylmethyloxetane, <sup>2</sup> poli(bis-azidomethylloxetane), <sup>3</sup> poliglicidilazid, <sup>4</sup> poli(3-nitrometil-3-metiloksetan), <sup>5</sup> poliglicidilnitrat.

Ovi polimeri se mogu upotrebiti za dobijanje umrežene polimerne matrice (poliuretani) pomoću izocijanata. Međutim, mogu se upotrebiti i za dobijanje blok-kopolimera koji nisu umreženi i mogu se topiti (termoplastični elastomeri). Oni su interesantni za primenu u raketnim gorivima jer omogućuju njihovu ponovnu preradu nakon isteka životnog veka.

Neki primeri novih razvijenih sastava čvrstih raketnih goriva prikazani su u tabeli 5.

Osvojen je i određen broj energetskekih plastifikatora od kojih su neki uključeni u sastave raketnih goriva iz tabele 5. Pravilan izbor plastifikatora zavisi od mnogih faktora, kao što su: efekat plastifikacije, što manja sklonost ka migraciji, dobra kompatibilnost, jednostavna proizvodnja i mali rizici.

Tabela 5  
Pregled osnovnih karakteristika novih sastava  
raketnih goriva

Osnovni sastav	Specifični impuls (teorijski) (s)	$\rho \cdot I_{sp}$ (sgcm <sup>-3</sup> )	Brzina gorenja (pri 7 MPa) (mm/s)
HTPB/AP/Al	265	464	9,0
GAP/AP/Al		492	9,9
GAP/AN/Al	262	463	
GAP/AN/CL-20/Al	264	475	
GAP/CL-20/Al	273	521	
GAP/ADN/Al	274	491	
GAP/HNF/Al	273	492	
PoliNIMMO/AP/Al			9,5
PGA/TMETN/BTTN/RDX	284	405	
GAP/TMETN/BTTN/RDX	242	411	14,6
GAP/TMETN/BTTN/CL-20	252	452	20
HTPB malodimno	247	421	

Butantrioiltrinitrat (BTTN) vrlo je osjetljiv na udar i zato se primenjuje u kombinaciji sa trimetiletantrinitratom (TMETN) da bi mu se smanjila osjetljivost. Diglicidilitionaftalen (DGTN) razmatra se kao moguća zamena za BTTN, jer raketnom gorivu daje bolje mehaničke karakteristike i povećava sigurnost pri upotrebi i manipulaciji.

Razvoj čvrstih raketnih goriva diktiran je zahtevima za poboljšanjem performansi. Međutim, postoji nekoliko drugih konstrukcionih zahteva koji se moraju uzimati u obzir pri razvoju novih sastava, od kojih je jedan vezan za neosetljiva UbS.

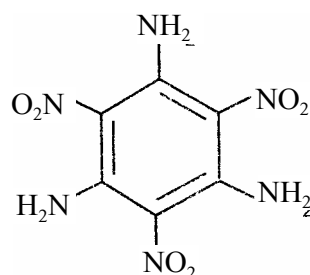
Osvojene komponente i sastavi raketnih goriva pokazuju da je moguće smanjiti osjetljivost raketnih goriva za potrebe neosetljivih UbS bez narušavanja ostalih zahteva.

#### Neosetljivi brizantni eksplozivi

Tendencija razvoja neosetljivih UbS nametnula je potrebu osvajanja novih eksploziva i eksplozivnih sastava koji

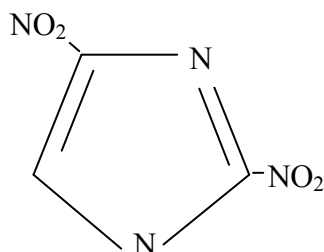
imaju manju osjetljivost na spoljne uticaje u odnosu na standardne sastave. Navodimo samo neke od njih.

*Triamino-trinitrobenzen (TATB)* jedno je od najznačajnijih dostignuća hemičara laboratorija za nuklearno naoružanje u drugoj polovini 20. veka.



To je visokobrizantni eksploziv male osjetljivosti na udar, trenje i toplotu [9]. Njegova otpornost na toplotni i mehanički impuls veća je od svih poznatih materija sličnog sadržaja energije. Zbog ovih karakteristika primenjuje se u nuklearnim bojnim glavama. Zadovoljava sve kriterijume za primenu u neosetljivim UbS, ali problem predstavlja vrlo visoka cena proizvodnje. Njegova brzina detonacije iznosi 7760 m/s ( $\rho = 1,88 \text{ g/cm}^3$ ), a temperatura topljenja 325°C.

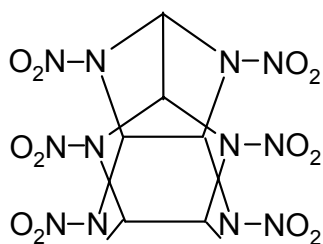
*Dinitroimidazol (DNI)* (2, 4-dinitroimidazol) relativno je novi aromatski heterociklični eksploziv izuzetno male osjetljivosti [10]. Njegova kristalna gustina iznosi oko 1,8 g/cm<sup>3</sup>, a temperatura topljenja oko 270°C.



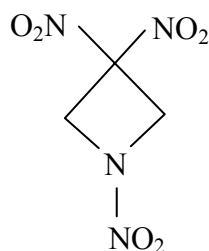


Nema podataka o njegovoj brzini detonacije, ali je sigurno da su mu eksplozivne karakteristike između TNT-a i HMX-a. Međutim, mnogo je manje osjetljiv na toplotne i mehaničke uticaje i može se relativno jeftino proizvoditi, što ga čini vrlo atraktivnim za masovnu primenu u UbS, posebno za neosetljiva UbS.

*CL-20, HNIW* (2, 4, 6, 8, 10, 12-heksanitro-2, 4, 6, 8, 10, 12-heksaazaozovurcitan) jedan je od najnovijih i do sada naj snažnijih sintetizovanih eksploziva [11]. Topi se na 240°C i ima brzinu detonacije oko 10 000 m/s ( $\rho = 2 \text{ g/cm}^3$ ). Međutim, vrlo je osjetljiv, pa se mora flegmatizovati različitim polimerima ili energetskim vezivima, kao što je fluoronitroformal.



*TNAZ (1, 1, 3 Trinitroazetidin)* ima slične eksplozivne karakteristike kao HMX ali manju osjetljivost. Stabilan je i iznad temperature topljenja (101°C), ali vrlo lako isparava. Ovaj problem ublažava se različitim dodacima ili stvaranjem smeša sa drugim eksplozivima, što ga čini pogodnim za smanjenje osjetljivosti visokobrizantnih eksploziva bez većeg umanjavanja eksplozivnih karakteristika. Smeša CL-20 i TNAZ-a u odnosu 70:30 ima brzinu detonacije 8700 m/s i malu osjetljivost. Za sada je većoj primeni TNAZ-a najveća prepreka njegova visoka cena proizvodnje (mnogo veća u odnosu na HMX) [12].



*Eksplozivi sa polimernim vezivom (PBX)*. Razvijen je veliki broj eksplozivnih sastava koji se sastoje od jednog ili dva visokobrizantna eksploziva, polimernog veziva i, eventualno, drugih dodataka, poznatih kao PBX eksplozivi (Plastic Bonded Explosives) [13]. Imaju odlična eksplozivna i mehanička svojstva i izuzetno su hemijski stabilni. Široko se primenjuju za izradu različitih eksplozivnih punjenja UbS, detonatorskih pojačnika, za seizmička ispitivanja, itd. Međutim, za potrebe neosetljivih UbS razvijani su posebni sastavi PBX eksploziva.

Eksplozivi sa polimernim vezivom na bazi TATB-a, poznati kao LX-17 i PBX-9502, kvalifikovani su kao jedini „neosetljivi“ brizantni eksplozivi koji zadovoljavaju stroge zahteve za primenu u nuklearnom oružju [12]. Oni imaju sledeći sastav:

– LX-17: 92,5% TATB / 7,5% Kel-F 800,

– PBX-9502: 95% TATB / 5% Kel-F 800.

Kel-F 800 je oznaka za polimerno vezivo na bazi kopolimera hlortrifluoroetilena i vinolidinfluorida.

Brzina detonacije sastava LX-17 iznosi 7630 m/s ( $\rho=1,91 \text{ g/cm}^3$ ), a PBX-9502 je 7710 m/s ( $\rho=1,90 \text{ g/cm}^3$ ) [13].

*MNX-194* je livljiv eksploziv na bazi RDX-a i voska kao veziva, kojim se, umesto TNT-a, laborišu neki artiljerijski

projektili (155 mm u SAD). Razvijena je i aluminizirana verzija MNX-194 koja treba da zameni sastave na bazi TNT u nekim vrstama aviobombi [14].

*Eksplozivi tipa PAX* predstavljaju posebnu grupu livljivih eksploziva sa energetskim vezivom, relativno su jeftini, male osetljivosti na udar i toplotu. Zadovoljili su sva ispitivanja za primenu u nuklearnim UbS. Ovi sastavi bazirani su na 2,4-dinitroanizolu (DNAN) kao energetskom vezivu, RDX-u ili HMX-u i amonijumperhloratu [14]. Do sada su proizvedeni sledeći sastavi:

- PAX-21 – zamena za kompoziciju B: RDX, DNAN, AP i male količine plastifikatora MNA (2-metil-5-acetil neuraminska kiselina);

- PAX-24 – zamena za TNT: DNAN, AP and MNA;

- PAX-25 – zamena za kompoziciju B: RDX, DNAN, AP and MNA (različiti odnosi RDX, DNAN i AP), ima bolje performanse od PAX-21;

- PAX-26 – zamena za tritonal: DNAN, Al, AP, MNA;

- PAX-28 – za određene bojne glave: RDX, DNAN, Al, AP, MNA. Faktor ekvivalencije radne sposobnosti između kompozicije B i PAX-28 je 1,62;

- PAX-40 – zamena za oktol: HMX, DNAN, MNA;

- PAX-41 – zamena za heksotol: RDX, DNAN, MNA.

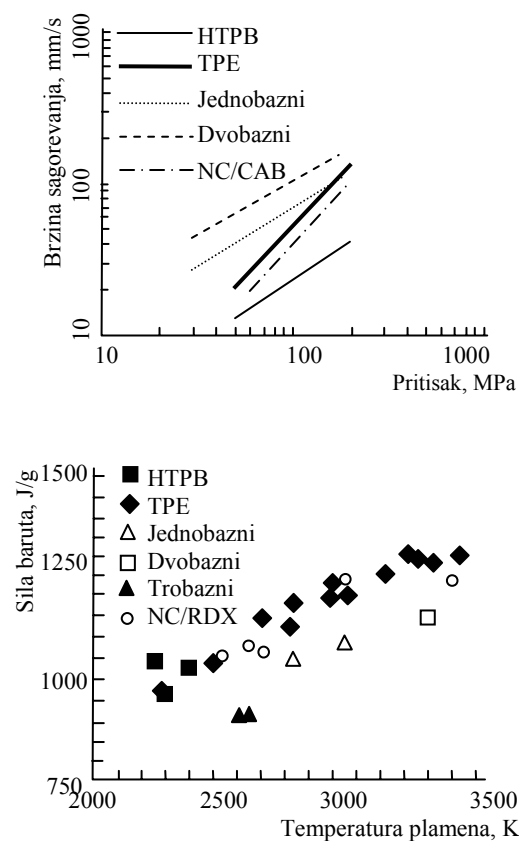
*PBXN-109* je eksplozivna smeša sastava RDX/Al/HTPB-64/20/16, čija je brzina detonacije 7480 m/s ( $\rho = 1,70 \text{ g/cm}^3$ ). Primenjuje se za laboraciju bojnih glava različitih UbS namenjenih za probijanje tvrdih ciljeva [14].

*PBXIH-135* je termobarični eksploziv na bazi livenih umreženih eksploziva

tipa PBX i precizno definisane smeše aluminijumskog praha koji sagoreva u vrelim gasovitim produktima tek nakon određenog vremena posle detonacije uz oslobađanje velike količine toplote i produženje faze visokog pritiska koji deluje na okolinu. Ima bolje eksplozivne karakteristike i manju osetljivost u odnosu na PBXN-109 [14].

### Baruti

Pri razvoju savremenih baruta akcentat se daje na što većoj specifičnoj energiji (sili), nižoj temperaturi sagorevanja,



Sl. 4 – Uporedne karakteristike standardnih i novih baruta za neosetljiva UbS [15]

većoj stabilnosti i manjoj osetljivosti na spoljne uticaje. Ovo je dovelo do razvoja nove vrste baruta pri čemu su primenjena znanja i iskustva iz razvoja raketnih goriva. Tako su dobijeni baruti na bazi HTPB, termoplastičnih (TPE) ili energetskih termoplastičnih polimera (ETPE), čiji sastav nije objavljen, ali se pretpostavlja da se kao energetska komponenta primenjuje RDX [15]. Takođe, navodi se da su nove vrste baruta zadovoljile većinu testova za potrebe neosetljivih UbS. Na slici 4 prikazane su neke uporedne karakteristike ovih baruta u poređenju sa standardnim sastavima [15]. Može se uočiti da ovi baruti imaju čak i bolje energetske karakteristike u odnosu na standardne, dok im je zakonitost brzine sagorevanja slična.

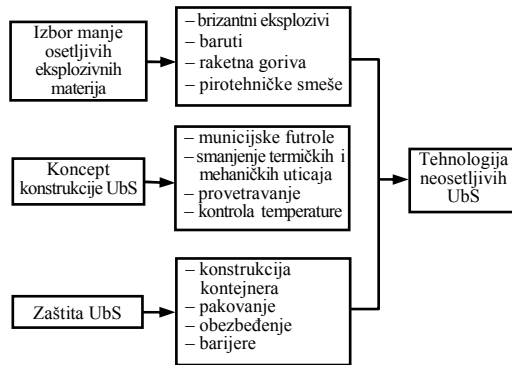
### Zaključak

U razvoju savremenih UbS jedan od osnovnih zahteva je smanjenje ranjivosti, odnosno smanjenje osetljivosti na spoljne impulse (toplotne i mehaničke), čime se smanjuje mogućnost neželjenog aktiviranja. Problem se rešava, pre svega, primenom novih, manje osetljivih eksplozivnih materija, prilagođavanjem konstrukcije, pakovanja, skladištenja i sl. Da bi se određena eksplozivna materija mogla primeniti za neosetljiva UbS ona mora zadovoljiti stroge zahteve u pogledu osetljivosti. Modifikacijom postojećih eksplozivnih materija i sintezom no-

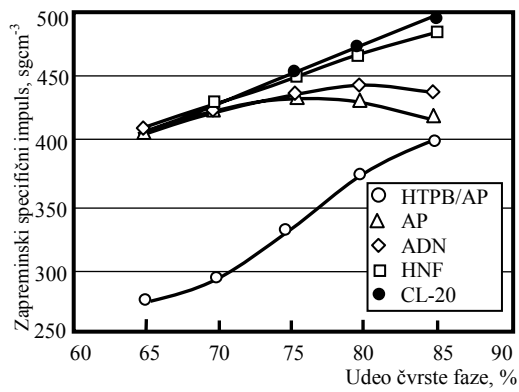
vih, dobijeni su eksplozivi, baruti i raketna goriva smanjene osetljivosti u skladu sa zahtevima za proizvodnju neosetljivih UbS. U svetu se u tom pravcu nastavljaju dalja intenzivna istraživanja.

### Literatura:

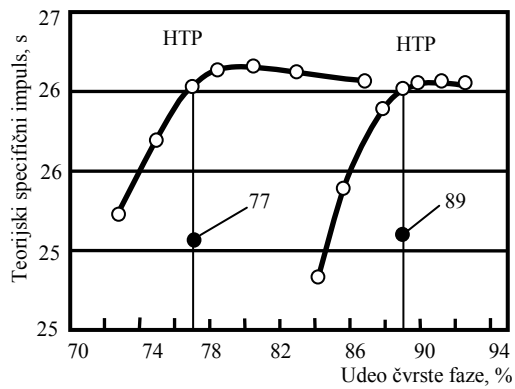
- [1] Victor, C. A.: Insensitive Munitions Technology for Tactical Rocket Motors, <http://members.aol.com/victec/AIAAIM.pdf>.
- [2] Lettre du Lettre du Newsletter, 4th Quarter 2002, <http://www.nato.int/related/nimic/welcome.html>
- [3] Department of Defense, Department of Defense – Explosives Hazard Classification Procedures, TB 700-2, NAVSEAINST 8020.8B, TO 11A-1-47, DLAR 8220.1, 1998.
- [4] Military Standard, Hazard Assessment Tests for Non-Nuclear Ordnance, MIL-STD-2105C 1994.
- [5] Advisory Group for Aerospace Research and Development, Hazard Studies for Solid Propellant Rocket Motors, AGARDograph No. 316, AGARD, Neuilly sur Seine, France, 1990.
- [6] DoD Acquisition Manager's Handbook for Insensitive Munitions, <http://akss.dau.mil/guidebookalphabeticLinks.do>
- [7] Lettre du Lettre du Newsletter, 1st Quarter 2003, <http://www.nato.int/related/nimic/welcome.html>
- [8] Lettre du Lettre du Newsletter, 2nd Quarter 2003, <http://www.nato.int/related/nimic/welcome.html>
- [9] Delistraty, J.; Brandt, H.: Detonation Properties of 1,3,5-triamino 2,4,6-trinitrobenzene When Impacted by Hypervelocity Projectiles, Propellants, Explosives, and Pyrotechnics 7, 1982.
- [10] Minier, L.; Behrens, R.; Bulusu, S.: Solid-phase Thermal Decomposition of 2,4-dinitroimidazole (2,4-DNI), Symposium: DECOMPOSITION, COMBUSTION, AND DETONATION CHEMISTRY OF ENERGETIC MATERIALS, Boston, 1995.
- [11] Bazaki, H.; Kawabe, S.; Miya, H.; Kodama, T.: Synthesis and Sensitivity of Hexanitrohexaaza-isowurtzitane (HNIW), Propellants, Explosives, Pyrotechnics, Vol. 23, 6, (333–336), 1999.
- [12] Insensitive High Explosives, <http://www.globalsecurity.org/military/systems/munitions/im.htm>
- [13] Dobratz, B. M.: LLNL Explosives Handbook, Lawrence Livermore National Laboratory, 1981.
- [14] Insensitive High Explosives [IHE], <http://www.globalsecurity.org/military/systems/munitions/explosives-im.htm>
- [15] Karthaus, W.; Hordijk, A. C.; Driel, C. A.; Schoolderman, C.: Development, production and characterisation of LOVA gun propellants, 1<sup>st</sup> International Symposium of Energetic Materials and their Application (ISEM), Tokyo, Japan, 2002.



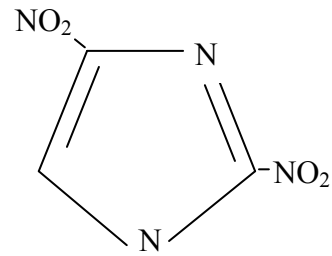
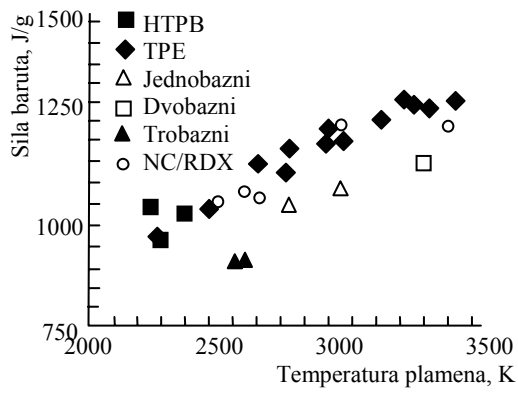
Sl. 1 – Opšti tehnički pristup razvoju neosetljivih UbS



Sl. 2 – Prednost HTPE goriva: redukovan udeo čvrste faze za isti nivo energije [7]



Sl. 3 – Performanse novih oksidanasa



Slika 4. Uporedne karakteristike standardnih i novih baruta za neosetljiva UbS [15]

