

# TROKOMPONENTNE GRANULISANE SMEŠE NA BAZI HEKSOGENA, ALUMINIJUMA I POLISTIRENA KAO FLEGMATIZATORA

Anđelković-Lukić N. *Mirjana*

UDC: 662.21:662.234.8

## Sažetak:

*U radu je prikazan način dobijanja i karakteristike trokomponentnih smeša RDX/Al/PS. Primenjen flegmatizator heksogena je termostabilni polimer polistiren čija je karakteristika da dobro prekriva. Primenjivan je konstantan sadržaj od 5% PS za različite sadržaje heksogena i aluminijuma. Sadržaj aluminijuma u smešama je 10, 15, 20 u 25% m/m. Ispitan je sastav i određena brzina detonacije.*

*Ključne reči: trokomponentne smeše, heksogen, polistiren, aluminijum, brzina detonacije.*

## Uvod

Granulisani flegmatizovani eksplozivi primenjuju se u presovanim punjenjima, koja su izložena povišenim radnim naponima i temperaturama (punjenja u raketama koje se nalaze ispod krila supersoničnih aviona, artiljerijska punjenja velikih početnih ubrzanja koja trpe naprezanja prilikom leta projektila, punjenja za eksploataciju u dubokim naftnim bušotinama, i dr.) tako da je poželjno da flegmatizator ima temperaturu topljenja iznad 100°C i da obezbeđuje dobre mehaničke karakteristike, kako ne bi dolazilo do prskotina i krzanja otpresaka u uslovima povišenih temperatura i radnih pritisaka. Flegmatizatori koji se koriste moraju da imaju dobru sposobnost prekrivanja granula eksploziva, da su kompatibilni sa eksplozivom i da uz minimalan sadržaj obezbede kompaktnost eksplozivnog punjenja, poboljšaju mehaničke karakteristike otpreska i omoguće postizanje velikih gustina punjenja.

U industriji granuliranih eksploziva u svetu kao flegmatizatori se i dalje koriste uglavnom voskovi i polimeri, ali se u novim savremenim eksplozivnim sastavima, koji su u skladu sa strožim zahtevima za municiju, primenjuju jedinjenja ugljenika i fluora, kao što su: (CF)<sub>4</sub>, C<sub>4</sub>(CF<sub>3</sub>)<sub>4</sub>, (CF)<sub>8</sub>, i dr. [1], zatim energetski polimeri – linearni polietilenamini ili polivinilamini [2]. Novi

energetski aditivi primenjuju se u raketnim gorivima i kao vezivo i kao plastifikatori koji sadrže nitro-, nitrato-, fluorodinitro-, i druge hemijske grupe čije prisustvo obezbeđuje stvaranje velike količine energije [3,4]. U Rusiji je najčešće primenjivan kao inertan flegmatizator vosak oksizin, smeša cerezin stearina, a kao aktivan trotil, ali ne isključuje se i primena drugih polimernih materijala, što je svakako u skladu sa zahtevima municije velikih kalibara. U zemljama Atlantskog saveza koristi se čitava paleta različitih polimernih materijala [5]: stan (poliuretanestar), viton (heksafluoropropilen/vinilidinfluorid), Kel-F (polihlorotrifluoroetilen), ekson (polimer nukleinske kiseline), teflon (politetrafluoroetilen), poliamid, polistien, ali i trotil kao aktivni flegmatizator.

Flegmatizovanim eksplozivima se ponekad dodaju određene supstance koje olakšavaju presovanje kao što su grafit ili kalcijumstearat [7]. Njihov sadržaj u eksplozivima je veoma mali, nalazi se u opsegu od 0,5 do 1% mase. Ove supstance imaju veliku specifičnu površinu, tako da se raspodeljuju po celoj zapremini flegmatizovanog eksploziva, bez obzira na njegovu granulaciju. Ne utiču na performanse eksploziva, već se njihov uticaj odražava na olakšavanje presovanja, jer smanjuju unutrašnja trenja.

Kao aditivi eksplozivima se dodaju i razni metali od kojih je najčešći aluminijum [4] koji se flegmatizovanim eksplozivima najčešće dodaje mehaničkim mešanjem u rotacionim bubnjevima. U livene eksplozive aluminijum se dodaje u toku postupka livenja. Sadržaj aluminijuma u flegmatizovanim eksplozivima je mnogo veći od sadržaja inertnih aditiva, (grafita i kalcijumstearata) i kreće se od 10 do 30% mase. On reaguje sa produktima detonacije i, mada smanjuje brzinu detonacije eksploziva, povećava njegovu unutrašnju energiju, što se odražava u povećanom fugasnom dejstvu takvih eksplozivnih punjenja.

U radu su prikazane trokomponentne granulisane smeše na bazi heksogena, aluminijuma i termostabilnog polimera polistirena koji je istovremeno i flegmatizator i vezivo u smeši.

## Tehnološki postupak dobijanja trokomponentnih granulisanih smeša

Trokomponentne granulisane smeše u našim uslovima proizvodnje sastoje se od brizantne eksplozivne komponente, heksogena ili oktogena, flegmatizatora – voska i aluminijuma u prahu [7] i dobijaju se mokrim tehnološkim postupkom iz vruće vodene suspenzije eksploziva i metala.

Ovaj postupak dobijanja trokomponentnih smeša ima određen nedostatak, jer aluminijum u prahu reaguje sa vodom na povišenoj temperature, oslobađajući vodonik i stvarajući aluminat, pa aluminijum mora da se pasivizira. Pasivizacija se vrši bilo fizički, bilo hemijski. Najpogodniji je hemijski način uz korišćenje pufera sredine, koji će regulisati pH vrednost sredine i održavati je slabo kiselom oko 5, tako da ne dolazi do hemijske reakcije aluminijuma i vode. Pufer se dodaje u zagrejanu vodenu suspenziju eksploziva i tek posle dodatka pufera u sistem se dodaje aluminijum u prahu.

Tehnološki postupak granulisanja ovakvih trokomponentnih smeša je sledeći: u vruću puferovanu vodenu suspenziju eksploziv-metal dodaje se, uz odgovarajuće mešanje sistema, rastopljen vosak u željenom sadržaju (uglavnom je to 5% mase). Kada se sav rastopljeni vosak doda u sistem zagrejan iznad temperature topljenja voska (obično na temperaturi oko 80°C), sistem se homogenizuje i posle završene homogenizacije, uz regulisano mešanje, hladi se do temperature 40°C.

Kada temperatura sistema dostigne oko 40°C prekida se mešanje i sadržaj suda prebacuje na ceđenje, gde se iz trokomponentne smeše iscedi voda uz pomoć vakuum pumpe, posle čega se vlažan eksploziv raspoređuje u pogodne sudove (tave) i odnosi na sušenje. Sušenje je obično u vakuum sušnicama ili na 60°C, ukoliko se koriste obične parne sušnice.

Ovako dobijeni trokomponentni sastavi na bazi heksogena, voska i aluminijuma koriste se za podvodna rušilačka dejstva, ali i u zapaljivoj municiji. Presovanje ovih smeša vrši se na temperaturi pogona, posle temperiranja na oko 30°C [8].

## Tehnološki postupak dobijanja trokomponentnih smeša na bazi heksogena, polistirena i aluminijuma

Tehnološki postupak dobijanja trokomponentnih granuliranih smeša, u kojima se kao vezivo i flegmatizator koristi polimeran materijal polistiren, ima određenih prednosti u odnosu na postupak flegmatizacije s voskovima.

Polimerni materijali su mnogo pogodniji za formiranje tankog filma oko granula (ne samo trokomponentnih sastava), jer čvrsto povezuju sadržaj granule koji se sastoji od eksploziva i određenog metala, u ovom slučaju heksogena i aluminijuma u prahu.

Na slici 1 prikazane su granule trokomponentne smeše heksogena (80% m/m), polistirena (5% m/m) i aluminijuma (15% m/m).



Slika 1 – Izgled granula trokomponentne smeše (RDX, PS, Al),

Na slici se vide pravilno formirane granule trokomponentne smeše, čiji je sadržaj, eksploziv i aluminijum, čvrsto povezan filmom polimera.

Tehnološki postupak flegmatizacije heksogena polistirenom [6] iskorisćen je za proizvodnju trokomponentnih smeša sa različitim sadržajem heksogena i aluminijuma, i konstantnim sadržajem polistirena (5% m/m). Ovakve trokomponentne smeše izrađene su za potrebe dobijanja višekomponentnih livenih aluminijumskih eksploziva na bazi trotila.

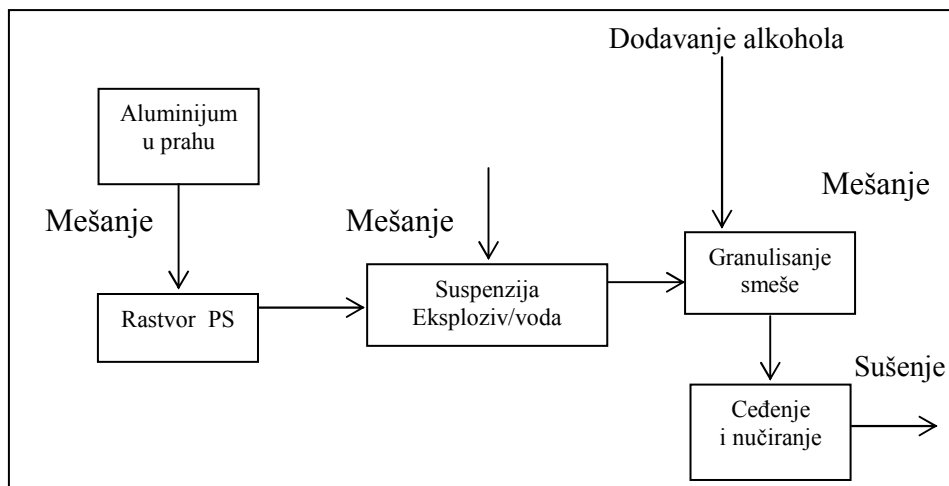
Dodavanje aluminijuma u prahu trokomponentnim smešama u toku samog postupka flegmatizacije, bilo da je vezivo vosak ili polimer, pogodnije je u odnosu na mehaničko, suvo dodavanje metala eksplozivu, uz homogenizaciju mešanjem u rotacionim bubnjevima. Izbegava se stvaranje metalne prašine, što uvek predstavlja latentnu opasnost od moguće eksplozije i pored izuzetno dobre ventilacije koja u takvim pogonima mora da postoji.

Rad sa aluminijumom ili nekim drugim metalom u prahu koji se dodaje eksplozivu, mora da se prilagodi tehnološkim uslovima koji diktiraju flegmatizaciju, odnosno mora da se izbegne reakcija metala sa vodom, kao u slučaju flegmatizacije voskovima u vrućoj vodenoj suspenziji.

U tehnološkom postupku flegmatizacije eksploziva polistirenom, uz dodatak aluminijuma, pasivizacija aluminijuma dodavanjem pufera nije potrebna, jer se tehnološki postupak flegmatizacije sa polistirenom izvodi na hladno, bez grejanja sistema. Aluminijum sa hladnom vodom praktično ne reaguje, odnosno reakcija je toliko slaba da je zanemarljiva.

Postupak se zasniva na sledećim operacijama: prvo se u nepolaranom rastvaraču, trihloretilenu, rastvara polistiren [6] i u taj rastvor se dodaje aluminijum. Rastvor polimera sa dodatim aluminijumom u prahu dozira se vodenoj suspenziji eksploziva koja se prethodno homogenizuje mešanjem. Oko granula aluminijuma u kontaktu sa vodom stvara se film rastvorenog polimera čiji je rastvarač nemešljiv sa vodom, te se na taj način granule aluminijuma fizički pasiviziraju, što je poželjno bez obzira na to što je reakcija na sobnoj temperaturi između aluminijuma i vode veoma spora. Očvršćavanje, odnosno izdvajanje polimera iz sistema i formiranje granula trojne smeše (flegmatizacija) vrši se dodavanjem nerastvarača za polimer – etil alkohola uz pogodno mešanje sistema, čime se reguliše oblik i veličina granula. Sistem se ne greje, ceo postupak granulisanja odvija se na sobnoj temperaturi. Posle završetka dodavanja etil alkohola, u sistemu se odvajaju dve faze: čvrsta faza od granulisanog flegmatizovanog heksogena i aluminijuma i tečna faza u kojoj je smeša vode, rastvarača i etil alkohola. Odvajanje čvrste faze, granulisanog trokomponentnog proizvoda, vrši se ceđenjem smeše na vakuum nučevima, a zatim sušenjem na 60°C u parnim sušnicama.

Šematski prikaz tehnološkog postupka dobijanja trokomponentnih smeša prikazan je na sici 2.



Slika 2 - Šema tehnološkog postupka dobijanja trokomponentnih granuliranih smeša RDX/Al/PS

Ovakav „hladni“ postupak flegmatizacije polimerom ima prednosti u odnosu na tehnološki postupak u kojem se granulacija smeše vrši destilacijom rastvarača pod smanjenim pritiskom, jer nema utroška energije, a koristi se jednostavna tehnološka oprema: sud za flegmatizaciju i mešalica.

Koristeći utvrđene parametre za tehnološki postupak flegmatizacije [6] izvršeno je istovremeno prekrivanje aluminijuma i heksogena polistirenom.

U tabeli 1 prikazan je granulometrijski sastav korišćenog heksogena.

Granulometrijski sastav kristalnog heksogena

Tabela 1

Eksploziv heksogen	Ostaje masenih % na sitima otvora u $\mu\text{m}$											Prolazi kroz sito otvora 53 $\mu\text{m}$
	840	600	500	300	200	180	150	125	100	90	53	
	0	3,0	7,7	14,4	11,6	4,8	5,2	13,5	9,3	5,4	10,3	14,8

Iz tabele se vidi da je raspon granulacija u opsegu 600 $\mu\text{m}$  do 53 $\mu\text{m}$ , a da kroz sito od 53 $\mu\text{m}$  prolazi samo 14,8%. Raspodela granulacije je pogodna za flegmatizaciju.

U tabeli 2 prikazan je sastav trokomponentne smeše sa različitim sadržajem aluminijuma, koji je urađen u laboratorijskim uslovima posle sušenja trokomponentne smeše na temperaturi 60°C.

Tabela 2

Sastav dobijenih trokomponentnih granuliranih smeša

Nominalni sastav smeše, RDX/ PS /Al	Zapreminska masa (g/cm <sup>3</sup> )	Sadržaj flegmatizatora (% m/m)	Sadržaj aluminijuma (% m/m)	Sadržaj heksogena (% m/m)
85/ 5/ 10	650	5,2	10	84,8
80/ 5/ 15	820	4,9	14,8	80,4
75/ 5/ 20	940	5,3	20,2	71,0
70/ 5/ 25	973	4,87	24,5	70,6

Za trokomponentne granulirane smeše korišćen je aluminijum čistoće 99,98% [6] u obliku granula. Brzina detonacije sastava prikazanih u tabeli 2 određena je metodom elektronskog brojača, a rezultati su prikazani u tabeli 3.

Tabela 3

Brzina detonacije trokomponentnih granuliranih smeša

N <sup>o</sup>	Naziv	Heksogen (% m/m)	PS (% m/m)	Aluminijum (% m/m)	Gustina (g/cm <sup>3</sup> )	Brzina detonacije (m/s)
1	RDX/PS/Al-10	85	5	10	1,50	6416
2	RDX/PS/Al-15	80	5	15	1,65	7440
3	RDX/PS/Al-15	80	5	15	1,70	7733
4	RDX/PS/Al-15	80	5	15	1,78	7800
5	RDX/PS/Al-25	75	5	20	1,75	7650
6	RDX/PS/Al-25	75	5	20	1,80	7720
7	RDX/PS/Al-25	70	5	25	1,88	7560

Rezultati brzine detonacije, prikazani u tabeli 2, približno su isti u odnosu na flegmatizovane sastave vosak/heksogen/aluminijum (tab. 4), ali prednost sastava na bazi polimera PS kao flegmatizatora je u tome što je temperatura topljenja PS veća u odnosu na vosak i mogu se koristiti u sredinama sa povećanom radnom temperaturom [7].

Tabela 4

Upoređenje brzine detonacije heksogena na bazi voska i aluminijuma u prahu i voska

N <sup>o</sup>	Naziv	Heksogen (% m/m)	Vosak (% m/m)	Aluminijum (%)	Gustina (g/cm <sup>3</sup> )	Brzina detonacije (m/s)	Literatura
1	Heksal-15	80	5	15	1,78	7910	[7]
2	Heksal-20	75	5	20	1,75 1,80	7678 7811	[7]
3	Heksal-30	65	5	30	1,88	7559	[7]
4	FH-5	95	5	–	1,67	8244	[7]

Upoređujući vrednosti brzine detonacije trokomponentnih smeša sa brzinama detonacije dvokomponentnih smeša (tabela 4, N<sup>o</sup> 4) kojima je flegmatizator vosak bez dodatka aluminijuma, vidi se da su brzine deto-

nacije dvokomponentnih sastava veće u odnosu na brzine detonacije trokomponentnih smeša sa voskom i polistirenom, čak i za manje gustine.

Ova razlika je posledica prisustva aluminijuma koji prilikom detonacije oslobađa veliku količinu gasova, pri čemu troši određenu energiju na račun energije detonacije. Ovi sastavi imaju veća fugasna dejstva, odnosno veća rušilačka dejstva, a flegmatizator ima temperaturu topljenja iznad 100°C, tako da se mogu koristiti i kao privredni eksplozivi za specijalne namene, na primer za proizvodnju sekača ili metaka za naftne bušotine. Takođe, mogu se koristiti za livene smeše sa trotilom za specijalne namene, pri čemu se dobijaju odlivci izuzetnih mehaničkih karakteristika.

## Zaključak

Tehnološki postupak dobijanja trokomponentnih granuliranih smeša, u kojima se kao flegmatizator koristi polimeran materijal, polistiren, ima određenih prednosti u odnosu na postupak flegmatizacije voskovima, jer se izvodi na temperaturi ambijenta, usled čega praktično ne dolazi do reakcije aluminijuma i vode.

Flegmatizacija se odvija tako što se rastvor polistirena u nepolarnom rastvaraču, kojem je posle rastvaranja dodat aluminijum, dodaje hladnoj vodenoj suspenziji kristalnog heksogena.

Taloženje polimera na granulama vrši se dodavanjem nerastvarača etil alkohola u sistem, u kojem dolazi do separacije čvrste faze – trokomponentnih granula i tečne faze – smeše vode, rastvarača i etil alkohola. Sistem se ne greje, ceo postupak granulisanja se odvija na temperaturi ambijenta uz primenu jednostavne tehnološke opreme: suda za flegmatizaciju i mešalice.

Dobijeni proizvod je pravilno granulisan, sa ravnomerno raspodeljenim aluminijumom. Brzine detonacije su u skladu sa gustinom i sadržajem aluminijuma. Može se primenjivati u livenim eksplozivnim smešama sa trotilom.

## Literatura

[1] Koch, E. C., Metal/Fluorocarbon Pyrolants: v. Theoretical Evaluation of the Combustion Performance of Metal/Fluorocarbon Pyrolants based on Strained Fluorocarbons, Propellants, Explosives, Pyrotechnics, vol 29, No 1, (p. 9–18), 2004.

[2] Kala, P. C. R., Aarun, K. S. and another, Studies on n-Butyl Nitroxyethylnitramine (n-Butena): Synthesis, Characterization and Propellant Evaluation, Propellants, Explosives, Pyrotechnics, vol.29, No. 2, (p. 93–98), 2004.

[3] Belami, A., J., King, D. S. and another, Synthesis of Energetic polymers by the Introduction of Energetic Groups onto Polymeric Primary and Secondary Amines, Propellants, Explosives, Pyrotechnics, Vol. 29. No 3, (p. 163–177), 2004.

- [4] US Patent 6843868 – “Propellants and explosives with fluoro-organic additives to improve energy release efficiency”, 2005
- [5] Dobratz, B. M., LLNL Explosives Handbook, UCRL 5297, Livermore 1981.
- [6] Anđelković-Lukić, M., *Flegmatizacija heksogena polistirenom i polikarbonatom*, magistarski rad, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd, 1983.
- [7] Anđelković-Lukić, M., *Granulisani brizantni eksplozivi*, Kumulativna naučno-tehnička informacija, Vojnotehnički institut Beograd, 2000.
- [8] Anđelković-Lukić, M., *Primena i laboracija granulisanih brizantnih eksploziva*, Kumulativna naučno-tehnička informacija, Vojnotehnički institut, Beograd, 2003.

### THREE-COMPONENT GRANULAR MIXTURES ON THE BASIS OF HEXOGEN, ALUMINIUM AND POLYSTYRENE AS A BINDER

#### *Summary:*

*The characteristics of three-component RDX/PS/Al mixtures have been described as well as the method for their preparation. Polystyrene as a binder is a thermostable polymer with satisfactory characteristics for bonding explosives. The constant content of 5% m/m PS was applied for different contents of hexogen and aluminium. The content of Al in the mixtures was 10, 15, and 20% m/m. The composition of the bonded explosives was examined as well as the detonation velocity of these mixtures.*

*Key words: Three-component mixtures, hexogen, polystyrene, aluminium, detonation velocity.*

Datum prijema članka: 22. 07. 2008.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 21. 12. 2008.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 12. 01. 2009.