Dr Mirjana Anđelković-
-Lukić,
dipl. inž.
Tehnički opitni centar KoV,
Beograd

TENDENCIJE RAZVOJA BRIZANTNIH EKSPLOZIVA

UDC: 662.21/.22.001

Rezime:

Nova eksplozivna jedinjenja mogu se dobiti kondenzacijom manjih molekula u veće ili povećanjem broja aktivnih grupa, kao što su nitraminske. Heksogen sadrži tri grupe, oktogen četiri, a najnoviji policiklični nitramin CL-20 šest. Kao regulatori energetske karakteristike u eksplozivne sastave se dodaju fluoro-nitro formalni. Oni smanjuju osetljivost na mehaničke uticaje, doprinose povećanju energetske karakteristike, a sami su, kao i njihovi produkti detonacije, izuzetno toksični. U radu je prikazan novi policiklični nitramin, CL-20, sintetisan 1991. godine.

Ključne reči: brizantni eksplozivi, nitroalifatični eksplozivi, ciklični nitramini, fluoro-nitro formalni, CL-20.

TENDENCY OF DEVELOPMENT OF HIGH EXPLOSIVES

Summary:

New explosive compounds can be made by association of small molecules or connection (linkages) of chemicals groups, like nitramine groups. The molecule of hexogen has 3 nitramine groups, octogen has 4 groups, but CL-20, a new explosive, has 6 groups. Explosives can be prepared by adding high-energy materials, fluoro-nitro compounds, as regulators of energy performances of explosives. These fluoro-nitro compounds reduce sensitivity to mechanical influences and increase energy properties, being extremely toxic like products of their detonation. In this paper a polycyclic nitramine a new high explosive synthesized in 1991, was presented.

Key words: high explosives, nitroaliphatic explosives, nitroaromatic explosives, cyclo-nitramines, fluoro-nitro compounds, CL-20.

Uvod

Većina eksplozivnih punjenja bojnih projektila velikih kalibara sadrži uglavnom konvencionalne eksplozive: trotil, heksogen, oktogen, pentrit. To su eksplozivi čije su fizičko-hemijske i eksplozivne karakteristike dobro poznate.

Kao eksplozivno punjenje najviše se, ipak, koristi trotil, i to: presovan, liven ili u kombinaciji sa pentritom, heksogenom ili oktogenom. To mu obe-

zbeđuje niska cena i relativno laka primenljivost. Međutim, za neke posebne namene, kao što su program svemirskih istraživanja ili radovi na velikim dubinama (naftne bušotine), koriste se eksplozivi posebnih karakteristika, pre svega dobrih termičkih i visokih energetske svojstava.

Za primenu eksploziva u vojne svrhe postoje strogo definisani zahtevi: da budu sigurni za rukovanje, da, po mogućnosti nisu higroskopski, da su hemijski postojani, da imaju veliku br-

zinu detonacije, visok pritisak detonacije, dobru termičku stabilnost, visoke temperature topljenja i da (po mogućnosti) nisu skupi. Naravno, kada su u pitanju specijalne namene, cena nije presudna.

Uopšteno može se reći da su tendencije razvoja novih eksploziva u svetu usmerene ka:

— uvođenju nitro grupe u pogodne molekule;

— uvođenju fluora na mesto vodonika u molekule tipa CHNO jedinjenja;

— aglomeraciji manjih molekula eksplozivnih jedinjenja ili aktivnih hemijskih grupa, radikala, u jedinjenja većih molekula koja imaju bolje energetske osobine od polaznih komponenta.

Eksplozofore — nosioci eksplozivnih karakteristika u molekulu

Sva eksplozivna jedinjenja u svom molekulu sadrže određene molekulске grupe, koje su nosioci eksplozivnih karakteristika. Još je Van't Hoff, [1], zapazio njihov uticaj na eksplozivne karakteristike. Nazvao ih je eksplozoforima i svrstao prema jedinjenjima u kojima se nalaze:

— NO_2 , — NO_3 , $=\text{C}=\text{N}-\text{NO}_2$, nitro jedinjenja, nitrati i nitramini,

— $\text{O}-\text{Cl}_2$, — $\text{O}-\text{Cl}_3$, hlorati i perhlorati,

— $\text{O}-\text{O}-$, — $\text{O}-\text{O}-\text{O}-$, peroksidi i ozonidi,

— $\text{N}=\text{N}-$, — $\text{N}=\text{N}_2-$, diazo i triazo jedinjenja,

$\text{N}\equiv\text{C}-$, jedinjenja fulminske kiseline,

— $\text{C}=\text{C}-$ jedinjenja acetilena,

— $\text{N}\equiv\text{C}-$, cijanidi.

Uvođenjem ovih grupa, a posebno nitro grupe kao jake eksplozofore, u

neki pogodan molekul, može se dobiti jedinjenje koje ispoljava eksplozivne karakteristike. Nitro grupa, zbog svoje specifične energije veze u molekulu [2, 3], pod uticajem određenog impulsa, omogućuje brzo razlaganje molekula, uz oslobađanje velike količine energije. Oslobodena energija se raspoređuje po ostalim molekulima u eksplozivu, čime se izaziva lančana reakcija koja dovodi do hemijskog razlaganja, odnosno do eksplozije.

Svi sekundarni eksplozivi, koji se primenjuju u vojne svrhe, sadrže nitro grupu kao eksplozoforu u svom molekulu [1, 4, 5, 6].

Nitroalifatična jedinjenja

Nitro grupe mogu se uvesti u alkane (alifatične ugljovodonike), čime se dobijaju nova jedinjenja eksplozivnih karakteristika. Broj nitro grupa koje se uvode u molekul nekog alkana može biti jednak broju vodonikovih atoma u molekulu, jer se nitro grupa vezuje na mesto vodonika (primer tetranitrometan). Međutim, i za uvođenje nitro grupa u veći molekul alkana postoje ograničenja. Veći broj nitro grupa dovodi do poboljšanja eksplozivnih karakteristika i, u isto vreme, dovodi do destabilizacije molekula, koji je tada sklon spontanoj termičkoj dekompoziciji. Nitro grupa je zapreminski veća od atoma vodonika, na čije se mesto u molekulu vezuje, i ispoljava delta negativno naelektrisanje. Zbog toga se nitro grupe međusobno odbijaju, ukoliko su smeštene blizu jedna drugoj u molekulu.

Poznata eksplozivna jedinjenja na bazi alkana su: metilnitrat, etilnitrat, nitroetan, propilnitrat, heksanitroetan, trinitrometan, tetranitrometan [5]. Sva ova jedinjenja su u tečnom stanju, isparljiva i otrovna. Sa kiseonikom iz vazduha stvaraju eksplozivnu smešu i lako ih iniciraju alkalni metali [4].

Nitrovani polimeri

Sekundarni eksplozivni uglavnom spadaju u organska jedinjenja, pa je uvođenje nitro grupe u organsko jedinjenje (alkan) postao opšti princip za dobijanje novih eksplozivnih sastava. Uvođenjem nitro grupe u bilo koji organski molekul, pogodan za nitraciju, može se dobiti jedinjenje koje ispoljava eksplozivne karakteristike. Dobijanje velikog broja eksplozivnih polimera, njenim uvođenjem na mesto vodonika u makromolekul pokazano je u [7]. Tako su, polazeći od polistirena, polivinila, poliuretana, poliestera, uvođenjem nitro grupe u molekul, dobijeni nitropolimeri sa karakteristikama eksploziva.

Nitropolimeri su malo osetljivi na mehaničke uticaje, ali imaju određene eksplozivne karakteristike (brzina detonacije oko 3500 m/s), pa se mogu koristiti kao slabi eksplozivi. Takođe, mogu se koristiti kao dodaci visokobrizantnim eksplozivima (kao flegmatizatori), kako bi smanjili njihovu osetljivost pri manipulaciji, ali ne i njihove eksplozivne performanse. Najčešće se, ipak, koriste kao komponente u dvobaznim gorivima.

Uvođenjem nitro grupe u polimere tipa polifenilena dobijen je amorfní nitropolimer-polinitropolifenilen, koji ima karakteristike eksploziva i dobru termičku stabilnost. Koristi se kao dodatak inicijalnim eksplozivima [13].

Fluoro-nitro jedinjenja

Ideja da se neko eksplozivno jedinjenje hemijski desenzibilizuje novijeg je datuma [8, 9, 10].

U radu [9] prikazano je dobijanje mono- i tri-nitrozo derivata heksogena, zamenom nitro grupe u molekulu, nitrozo grupom. Isto tako, prikazan je i amino-trotil, u kojem je atom vodo-

nika zamenjen amino grupom. Dobijeni derivati manje su osetljivi na mehanički impuls, a brizantnost im je znatno smanjena. U [10] je prikazana zamena atoma vodonika deuterijumom u molekulu oktogena, kako bi se detaljnije ispitao mehanizam gorenja, odnosno detonacije.

Povećanje stabilnosti jedinjenja, ne samo hemijske, moguće je postići uvođenjem jakog elektronegativnog agensa u molekul na mesto vodonika. Najpovoljniji takav agens je fluor. On spada u najelektronegativnije elemente, sa velikom sklonošću ka elektronu, a uvođenje fluora u molekul doprinosi povećanju unutrašnje energije veze i opštoj stabilnosti molekula. Na taj način dobija se jedinjenje koje je slabo osetljivo na mehanička dejstva i može da se koristi kao eksploziv bez flegmatizacije.

Radovi na sintezi jedinjenja koja u sebi sadrže fluor, a imaju povećana energetska svojstva, dugo su bili nedostupni javnosti. Šezdesetih godina se intenzivno radilo na ispitivanju mogućnosti uvođenja fluora u visokoenergetska jedinjenja, kao što su: nitramini, urea, cijanamid, nitroalkoholi, nitroalifatična jedinjenja. Cilj je bio da se dobije jedinjenje koje će biti hemijski desenzibilisano, a istovremeno imati eksplozivne karakteristike.

U izveštaju Vojnotehničke informativne agencije iz Arlingtona, Virdžinija [11], nalaze se prikazane sinteze velikog broja jedinjenja u kojima je vodonik zamenjen fluorom. Očigledno je da se težilo dobijanju što većeg broja jedinjenja koja u sebi sadrže atome azota i fluora. Ova kombinacija elemenata u molekulu daje veoma dobra energetska, ali istovremeno i toksična svojstva. Ispitivanja su obuhvatila i fluorovanje jedinjenja tipa formalna. Istraživanja su prvobitno bila usmerena ka dobijanju novih energetskih komponenti, kao dodatak čvrstom raketnom gorivu. Iz velikog broja jedi-

njenja sa kojima se eksperimentisalo izdvajao se FEFO i njegov fluorovani derivat DFF. Neke karakteristike ova dva tečna jedinjenja prikazane su u tabeli 1 [8].

Tabela 1

Karakteristike FEFO i DFF

Karakteristike	FEFO Bis (2, 2, 2-fluorodinitroetil) formal [FC(NO ₂)CH ₂ O] ₂ CH ₂	DFF Bis (2, 2, 2-fluorodinitroetil) difluoroformal [FC(NO ₂) ₂ CH ₂ O] ₂ CF ₂
Molekulska masa	320,1	356,1
Temperatura ključanja (°C)	110	70
Temperatura topljenja (°C)	+14	-17
Gustina na T(°C) (g/cm ³)	1,59 (25)	1,67 (27)
Brzina detonacije (m/s)	7272	6849
Pritisak detonacije (kbar)	229	213

Uvođenjem još dva atoma fluora u molekul FEFO dobio se eksploziv DFF, jedinjenje koje je slabo osetljivo na mehaničke impulse, kao i na inicijaciju, pogotovu ako se iniciranje vrši eksplozivom male brzine detonacije [8].

Pored uvođenja fluora u molekule formala radilo se i na ispitivanju desenzibilizacije eksploziva tipa nitramina, npr. heksogena, kako bi se dobio eksploziv koji bi već u kristalnom obliku bio »flegmatizovan« [8].

Fluorovana jedinjenja dobijena laboratorijski detaljno su okarakterisana. Ispitana su i definisana njihova fizičko-hemijska svojstva: pritisak pare, gustina, temperatura topljenja, termička stabilnost i osetljivost na inicijaciju koja je određivana u namenskim laboratorijama. Takođe, ispitane su toplote formiranja, kompresibilnost, brzine detonacije i pritisak detonacije.

Zamena vodonika fluorom u molekulu doprinosi povećanju energetskih svojstava polaznog jedinjenja (eksploziva), dovodi do povećanja gustine i do smanjenja čvrste faze (ugljenika) u produktima detonacije, odnosno, doprinosi potpunijoj oksidaciji.

Treba naglasiti da su ova jedinjenja vrlo otrovna (a posebno fluorodinitrometil jedinjenja) i izazivaju jake opekotine u kontaktu sa kožom. Svi gasoviti reaktanti i produkti fluorovanja izuzetno su toksični. Takođe, veoma su otrovni i produkti razlaganja (detonacije) ovih visokoenergetskih jedinjenja. Rukovanje ovim materijalima zahteva izuzetne mere predostrožnosti [8].

Nitroaromatična jedinjenja

Za praktičnu primenu su mnogo interesantnija jedinjenja sa benzenskom grupom (aromatična jedinjenja) u koja može da se uvodi nitro grupa. Polazeći od benzena, zamenjujući jedan ili više vodonika različitim atomskim grupama, radikalima, dobijaju se: benzoeva kiselina, fenol, toluen, ksilen, krezol, i druga. Ova jedinjenja su polazne supstance za nitrovanje. Uvođenjem nitro grupe u aromatični molekul dobijaju se stabilna eksplozivna jedinjenja. Tokom sinteze nekog nitrojedinjenja postupak se vodi tako da broj uvedenih nitro grupa u molekulu bude što veći, a da u isto vreme ne destabilišu molekul. Najčešći broj nitro grupa u molekulu je tri, a sa povećanjem broja nitro grupa molekul

postaje nestabilan. Primer je heksanitrobenzen, koji sadrži šest nitro grupa, dakle, svi atomi vodonika u benzenu su zamenjeni nitro grupama. Heksanitrobenzen je sekundarni eksplo-

ziv visoke gustine i velike brzine detonacije, ali veoma osetljiv na hidrolizu, jer ima izražen kiseo karakter i nije našao primenu kao eksploziv [14].

Tabela 2

Osobine nekih nitroaromatičnih eksploziva

N ^o	Eksploziv	Hemijski naziv	Formula		Temp. toplj. (°C)	Gustina (g/cm ³)	Brzina detonacije (m/s)
			Bruto	Struktura			
1	TNT Trotil	2,4,6-trinitrotoluen	C ₇ H ₅ N ₃ O ₆		80,9	1,654	6930, za gustinu 1,64 g/cm ³
1.1	HNS Heksa- nitro- stilben	2,2',4,4',6,6'-heksanitro- stilben	C ₁₄ H ₆ N ₆ O ₁₂		316	1,74	7000, za gustinu 1,70 g/cm ³
2	DATB	2,4,6-trinitro- 1,3-benzen- diamin	C ₆ H ₅ N ₅ O ₆		286	1,837	7520, za gustinu 1,79 g/cm ³
2.1	DIPAM	3,3-diamino- 2,2',4,4',6,6'- heksanitro- difenil	C ₁₂ H ₆ N ₈ O ₁₂		304	1,79	7400, za gustinu 1,76 g/cm ³
3	Melinit	2,4,6-trinitrofenil	C ₆ H ₅ N ₃ O ₇		122,5	1,76	7300, za gustinu 1,63 g/cm ³
3.1	Heksa- nitrodi- fenilok- sid	2,2',4,4',6,6'- heksanitrodi- feniloksid	C ₁₂ H ₄ N ₆ O ₁₃		269	1,70	7180, za gustinu 1,70 g/cm ³
4	TNB Trinitro- benzen	1,3,5-trinitrobenzen	C ₆ H ₃ N ₃ O ₆		123	1,76	7300, za gustinu 1,76 g/cm ³
4.1	Heksa- nitrodi- fenil	2,2',4,4',6,6'- heksanitro- difenil	C ₁₂ H ₄ N ₆ O ₁₂		263	1,6	7200, za gustinu 1,60 g/cm ³

Najnovija istraživanja ukazuju na to da se pažnja i dalje posvećuje uvođenju nitro grupe u aromatični molekul, tačnije u molekul tipa naftalena. Tako je vršeno nitrovanje metilnaftalena [12]. U polazni molekul, metilnaftalen, uvedene su jedna, dve i tri nitro grupe i ispitivane eksplozivne karakteristike dobijenih nitronaftalena. Utvrđeno je da nova jedinjenja imaju eksplozivne karakteristike slične eksplozivu heksanitrostilbenu (HNS).

Nitroaromatična jedinjenja, koja se primenjuju kao eksplozivi, predstavljaju stabilne eksplozive zahvaljujući benzenskoj grupi, koja doprinosi stabilnosti celog molekula. Stabilnost nitroaromata opada sa povećanjem broja benzenskih grupa u molekulu, a najčešće sadrže dve benzenske grupe.

Najviše se koristi trotil, jer je njegova cena najniža i najlakše se prerađuje. Viši homolog trotila — HNS veoma je skup proizvod zbog izuzetno skupih reagensa u toku sinteze. Prime-nu je našao, uglavnom, kao dodatak trotilu u rastopljenom stanju, kako bi se poboljšao kvalitet livenog TNT u košuljici bojnog artikla. Dodaje se u veoma malom procentu mase i u rastopljenom trotilu ima ulogu stvaranja jezgara kristalizacije [14, 15].

Nekoliko primera aromatičnih eksploziva (u paru sa prostim i složenim molekulom) prikazano je u tabeli 2 [3, 6, 14].

Ciklični nitramini

Veoma snažni eksplozivi, ciklični nitramini, heksogen i oktogen [1, 5, 14, 15] novijeg su datuma. Heksogen je počeo da se primenjuje u toku Drugog svetskog rata, a oktogen pedesetih godina. Oktogen je pronađen slučajno kao nečistoća u proizvodnji heksogena. Kada se »nečistoća« ispitata, ispostavilo se da je to eksploziv sličan heksogenu. Određivanjem hemijske for-

mule videlo se da je on viši homolog heksogena, čemu se pripisuju njegove izuzetne fizičko-hemijske i detonacione karakteristike.

Oba eksploziva spadaju u veoma snažne sekundarne eksplozive i koriste se u konvencionalnom naoružanju svih armija sveta. Primenjuju se ili u smeši sa trotilom ili flegmatizovani. Ukoliko se flegmatizuju (postupak kojim se smanjuje osetljivost na mehaničke uticaje, čime se olakšava manipulacija), mogu biti u granulisanom obliku (praškasti), u vidu plastelina ili elastičnog materijala, što zavisi od pretrade i namene.

Heksogen i oktogen sastoje se od više metilnitraminskih grupa (radikala) CH_2NNO_2 . Heksogen sadrži tri grupe: $(\text{CH}_2\text{NNO}_2)_3$, a oktogen četiri: $(\text{CH}_2\text{NNO}_2)_4$.

Imajući u vidu podatke iz tabele 2 gde se može zapaziti da se spajanjem (sintezom) nižih jedinjenja dobijaju viši homolozi aromatičnih nitrojedinjenja, pretpostavlja se da se može dobiti novi nitraminski sastav povećanjem broja metilnitraminskih grupa u molekulu. To se potvrdilo dobijanjem novog eksploziva, nazvanog CL-20, koji sadrži čak šest metilnitraminskih grupa u molekulu: $(\text{CHNNO}_2)_6$.

Neke karakteristike cikličnih nitramina, heksogena i oktogena, kao i novog CL-20 [16] prikazane su u tabeli 3.

Policiklični nitramin CL-20

Najmlađi član porodice ciklonitraminskih jedinjenja je CL-20. To je policiklično jedinjenje (2, 4, 6, 8, 10, 12-heksanitro-2, 4, 6, 8, 10, 12-heksaazoizovürcitan, nazivan i HNIW, prema podvučenim slovima iz hemijskog naziva, bruto formule $\text{C}_6\text{H}_6\text{N}_{12}\text{O}_{12}$.

Eksploziv CL-20 prvi je sintetizovao A. Nielsen i objavio 1991. godine [17].

Neke karakteristike cikličnih nitramina

N ^o	Eksploziv	Formula		Temp. toplj. (°C)	Gustina (g/cm ³)	Brzina detonacije (m/s)
		Bruto	Struktura			
1	* heksogen (RDX)	C ₃ H ₆ N ₆ O ₆ (CH ₂ NNO ₂) ₃		204	1,82	8520, za gustinu 1,71 g/cm ³
1.1	* Oktogen (HMX)	C ₄ H ₈ N ₈ O ₈ (CH ₂ NNO ₂) ₄		280	1,91	9100, za gustinu 1,84 g/cm ³
2	** CL-20 (HNIW)	C ₆ H ₆ N ₁₂ O ₁₂ (CHNNO ₂) ₆		240	1,96– 2,044	–
* /3/ ** /16/						

Osobine eksploziva CL-20

CL-20 je eksploziv čiji se molekul sastoji od dva molekula heksogena, prostorno povezana preko ugljenika, tako da predstavlja policiklično jedinjenje dobrog kiseoničnog balansa. Njegova strukturna formula je:

To je kristalno jedinjenje, koje se javlja u četiri kristalne forme — alfa, beta, epsilon i gama. U literaturi su prikazani rezultati ispitivanja koji se, uglavnom, odnose na epsilon formu, nešto malo na beta formu, dok o alfa i gama formama nema mnogo informacija. Pretpostavlja se da se prve dve jedino i koriste, zbog svojih fizičko-

-hemijskih karakteristika, a moguće je da su alfa i gama forme nestabilne.

CL-20 je eksploziv velike gustine, koja u zavisnosti od kristalne forme varira od 1,96 g/cm³, za epsilon formu, i od 1,985 do 2,044 g/cm³ za beta formu. Temperatura topljenja iznosi 240°C. Upoređivanjem ovih vrednosti sa vrednostima za oktozen, može se uočiti da je gustina CL-20 veća od gustine HMX, a temperatura topljenja niža.

Podatak o brzini detonacije čistog CL-20 nije dat u literaturi; iz njegovih flegmatizovanih sastava može se zaključiti da je velika, čak veća od one za oktozen.

Osetljivost na mehanička dejstva ispitivana je za beta i epsilon formu CL-20 i upoređena sa osetljivošću kristalnog HMX i PETN. Uporedni rezultati za navedene kristalne eksplozive, kao i za neke flegmatizovane sastave, prikazani su u tabeli 4 [16].

Tabela 4

Osetljivost na udar i trenje

Eksploziv	Udar (cm)	Trenje (kg)
β -CL-20	14	6,4
ϵ -CL-20*	12—16	6,4—7,2
ϵ -CL-20*	17	6,4
ϵ -CL-20*	21	6,2
RX-39-AA	65	na
RX-39-AB	34	9—10,8
LX-19	40	11,2—14,4
PBXC-19	38	14,4
RX-49-AE	38—48	na
PETN	13—16	8,0
HMX	32	11,6
LX-14	53	na

* Dobijen u različitim laboratorijama.

Iz tabele se vidi da je osetljivost na udar beta i epsilon faze slična kao kod PETN, ali je osetljivost na trenje obeju formi (i beta i epsilon) niža od osetljivih PETN.

Osetljivost na udar ispitivana je padom tega od 2,5 kg na tabletiran uzorak od 35 mg, a osetljivost na trenje Julius-Peters-Berlin 12, uređajem za trenje.

Flegmatizovani sastavi na bazi CL-20

Eksploziv CL-20 veoma je osetljiv na mehaničke uticaje i da bi se mogao primeniti osetljivost mu se mora smanjiti. Smanjenje osetljivosti na mehanička dejstva postiže se prekrivanjem kristala CL-20 polimerima na bazi estana (analogno kao kod sastava LX-14, na bazi HMX i estana), etil-vi-

Tabela 5

Flegmatizovani sastavi na bazi eksploziva CL-20 i oktogena

N ^o	Oznaka eksploziva	Flegmatizator — sadržaj (°/o m/m)	Eksploziv — sadržaj (°/o m/m)
1	RX-39-AA	estan 5702-P 4,5	beta CL-20 95,5
2	RX-39-AB	estan 5702-P 4,2	epsilon CL-20 95,8
3	LX-19	estan 5702-P 4,5	epsilon CL-20
4	PBXC-19	EVA 5	CL-20 95
5	RX-49-AE	FEFO 9,77 + FM-1 9,77 (smeša formala)	CL-20 78,67
6	LX-14	estan 5701-F 4,5	oktogen 95,5
7	LX-09-0	FEFO 2,4 pDNPA 4,6	oktogen 93
8	LX-09-1	FEFO 2,3 pDNPA 4,4	oktogen 93,3

Brzine detonacije flegmatizovanog CL-20 i oktogena

N ^o	Eksploziv	Gustina (g/cm ³)	TMG* (%)	Brzina detonacije (m/s)
1	RX-39-AB	1,942	97,9	9208
2	PBX-19	1,896	97,5	9083
3	LX-14 [6]	1,831	99,0	8785
4	LX-09-0 [6]	1,837	98,4	8100

* Teorijska maksimalna gustina.

nil-acetata (EVA) i mešanjem sa određenim vrstama nitroformala: FEFO i FM-1 (smeša formalna).

Neke karakteristike flegmatizovanih sastava eksploziva CL-20 u poređenju sa sastavima na bazi HMX (LX-14, i LX-09-0 i LX-09-1 [6], prikazani su u tabeli 5 [16].

Brzina detonacije flegmatizovanih eksploziva na bazi CL-20 i eksploziva na bazi HMX (analognih sastava), prikazana je u tabeli 6.

U dostupnoj literaturi nisu prikazane vrednosti za brzinu detonacije livenog RX-49-AE eksploziva, ali se može pretpostaviti da je nešto niža od granuliranih sastava, imajući u vidu analogne sastave na bazi oktogena prikazane u tabeli 6 (N^o 3 i 4).

Eksplozivi na bazi HMX imaju manju brzinu detonacije u odnosu na eksplozive na bazi CL-20. Gustina presovanog eksploziva takođe je veća kod eksploziva na bazi CL-20.

Rezultati za eksploziv RX-39-AB mogu se prihvatiti kao rezultati za

RX-39-AA i LX-19, pošto imaju skoro isti maseni sastav komponenata.

Zaključak

Tendencije razvoja novih, brizantnih eksploziva u svetu, usmerene su ka dobijanju stabilnih, energetski bogatih jedinjenja koja, pored ostalog, mogu da se dobiju kondenzacijom molekula već poznatih jedinjenja ili hemijskih grupa, radikala. Na taj način dobijen je novi kristalni eksploziv CL-20, dobrih fizičko-hemijskih i detonacionih karakteristika.

Različitim hemijskim postupcima obavlja se intervencija u molekulu jedinjenja eksploziva, čime se dobija novo hemijski desenzibilisano jedinjenje.

Novi eksplozivi u svetu, osim povećanih energetskih (razornih) svojstava, istovremeno ispoljavaju i toksična dejstva, jer u svom sastavu sadrže fluoro-nitro formale, regulatore energetskih karakteristika, čiji su produkti detonacije veoma otrovni.

Literatura:

- [1] Calzia, J.: *Les Substances Explosives et leurs Nuissances*, Dunod Paris, 1969.
- [2] Delpuech, A. i dr.: *Relation entre la Structure Electronique et la Sensibilité au Choc des Explosifs Secondaires Nitrés. Critère Moléculaire de Sensibilité II. Cas des esters nitriques, Propellants and explosives* 4, 121—128, 1979.
- [3] M. Anđelković-Lukić i dr.: *Određivanje stepena prekrivenosti flegmatizovanog pentrita metodom početne brzine rastvaranja*, Naučno-tehnički pregled, Vol. XXXV, br. 7—8, 36—38, 1985.
- [4] Meyer, R.: *Explosives*, Verlag Chemie, Weinheim, New York, 1977.
- [5] Orlova E.: *Himija i tehnologija brizantnih vzrivičjatih vešćestv*, Himija, Leningrad 1981.
- [6] Dobratz, B. M.: *LLNL Explosives Handbook*, UCRL 52997, Livermore, 1981.
- [7] Urbanski, T.: *Chemistry and Technology of Explosives*, volume 4, Pergamon Press, Oxford, 1984.
- [8] Guimont, J. M. i dr.: *Desensitization of Explosives Materials*, AD.A.058467, Arlington, USA, 1978.
- [9] Iyer, S.: *Explosive Desensitization Stydies via Chemical Group Modification. Nitrozo-Derivatives of RDX and 3-Amino-TNT Propellants*, Explosives, Pyrotechnics, 7, 37—39, 1982.
- [10] Sliackeiford, S. A. i dr.: *Deuterium Isotope Effects during HMX Combustion: Chemical Kinetic Burn Rate Control Mechanism Verified*, Propellants, Explosives, Pyrotechnics 14, 93—102, 1989.
- [11] Baum, K. i dr.: *Research in Fluoro-Nitro Compounds*, AD 321447, US Navy, 1961.
- [12] Bergman, J. S. i dr.: *Studies on 2, 4, 6-Trinitrophenyl Substituted Naphthalenes. Part III: Synthesis of Nitro- and Polynitro-1-Methyl-4-(2, 4, 6-Trinitrophenyl) naphthalenes*, Propellants, Explosives, Pyrotechnics 22, 301—305, 1997.
- [13] Redecker, K. H. i dr.: *Polynitrophenylene, a High-Temperature Resistant, Non-Crystalline Explosive*, Propellants, Explosives, Pyrotechnics, 12, 196—201, 1987.
- [14] Hristovski, M.: *Eksplzivne materije*, Novinsko-izdavačka ustanova Vojska, Beograd, 1994.
- [15] Maksimović, P.: *Eksplzivne materije*, Vojno-izdavački zavod, Beograd, 1987.
- [16] Simpson, R. I. i dr.: *CL-20 Performance Exceeds That and its Sesity is Moderate*, Propellants, Explosives, Pyrotechnics 22, 249—255, 1997.
- [17] Nielsen, A.: *Polycyclic Amine Chemistry in G.A. Olah, R.R. Squire, Chemistry of Energetic Materials*, Academic Press, San Diego, 95—124, 1991.
- [18] M. Anđelković-Lukić: *Prilog proučavanju fizičkih, hemijskih i eksplozivnih karakteristika flegmatizovanog oktogena*, doktorska disertacija, Tehnološko-metalurški fak. Beograd, 1994.
- [19] M. Anđelković-Lukić i dr.: *Oktogen flegmatizovan polikarbonatom*, XV Simpozijum o eksplozivnim materijama, Užice, 1984.