

Novi visokobrizantni eksploziv – policiklični nitramin heksanitroheksaazaizovurcitan (HNIW, CL-20)

Dr Mirjana Anđelković-Lukić, dipl.inž.¹⁾

Prikazane su fizičko-hemijske i detonacijske karakteristike novog visokobrizantnog eksploziva koje su poredene sa oktogenom. CL-20 postoji u četiri kristalne forme stabilne na različitim temperaturama, i ima jednu hipotetičku formu koja je stabilna samo na visokim temperaturama. Za eksploataciju se koriste epsilon i beta forma. Eksploziv CL-20 je po detonacijskim karakteristikama bolji od oktogena, ima veću gustinu i veću brzinu detonacije, ali je mnogo osjetljiviji na udar i trenje (reda pentrita), te se mora flegmatizovati kako bi mogao da se koristi u naoružanju. Temperatura topljenja CL-20 je približno 240°C i niža je od temperature topljenja oktogena.

Ključne reči: Visokobrizantni eksploziv, policiklični nitramin, CL-20, oktogen, flegmatizovani sastavi.

Uvod

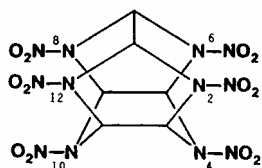
U protekloj deceniji, u američkim, francuskim i nemačkim laboratorijama vojnih centara, sintetisano je i ispitano više tipova novih energetskih jedinjenja, među kojima i policiklični nitramin– 2,4,6,8,10,12-heksanitro-2,4,6, 8,10,12-heksaazaizovurcitan, HNIW, ili CL-20. Cilj istraživanja novih energetskih materijala je bio dobijanje eksploziva boljih energetskih osobina od do tada poznatih, kao i traženje alternative (po mogućstvu jeftinije) za heksogen (RDX) i oktogen (HMX) koji su po svojim eksplozivnim, fizičko-hemijskim i termodinamičkim karakteristikama do danas neprevaziđeni.

Spajanjem više radikala sa eksplozofornim, energetskim molekulskim grupama, ili sintezom nižih energetskih jedinjenja [1], dobijaju se viši homolozi boljih energetskih karakteristika. Povećanjem broja metilnitraminskih grupa (CH_2NNO_2) u molekulu energetskog jedinjenja dobija se novo jedinjenje boljih detonacijskih performansi od oktogena. Polazeći od ovog principa, sintetisan je novi visoko-brizantni eksploziv HNIW (CL-20), koji u svom molekulu sadrži šest metilnitraminskih grupa povezanih u policiklično nitraminsko jedinjenje.

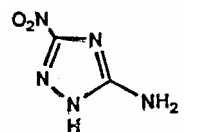
Novi eksplozivi, policiklični nitramin CL-20

Najmlađi član porodice ciklonitraminskih jedinjenja je policiklični nitramin, 2,4,6,8,10,12-heksanitro-2,4,6,8,10,12--heksaazaizovurcitan, nazvan HNIW prema podvučenim slovima u hemijskom nazivu jedinjenja, bruto formule $\text{C}_6\text{H}_6\text{N}_{12}\text{O}_{12}$. Pored naziva HNIW, u stručnoj literaturi se koristi i naziv CL-20, koji će se primenjivati u daljnjem tekstu.

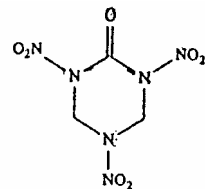
CL-20 ima sledeću strukturnu formulu:



CL-20 prvi je sintetisao A.T.Nielsen 1989.god. u *Naval Weapons Center* u China Lake, a rezultate je objavio 1991.god. [2]. Pored ovog eksploziva u laboratorijama LLNL (*Lawrence Livermore National Laboratory*, Livermor) sintetisano je više novih eksploziva, od kojih autor izdvaja dva: - aminonitrotriazol, ANTA, strukturne formule [3]:



2-okso-1,3,5-triazacikloheksan, Keto RDX ili K-6, strukturne formule [4]:



Oba eksploziva su kristalna jedinjenja koja se radi korišćenja flegmatizuju određenim polimerima. Eksploziv AN-TA se flegmatizuje Kel-F-om*, i daje sastav RX-45-AA, koji sadrži 95% ANTA i 5% Kel-F-a. Izmerena brzina detonacije ovog sastava je 7710 m/s za gustinu punjenja 1,7529 g/cm³ [3].

I eksploziv keto-RDX se flegmatizuje. Flegmatizator za ovaj eksploziv je kopolimer Viton-A**. Sastav RX-41-AB sadrži 95% keto-RDX-a i 5% vitona-A. Izmerena brzina detonacije je 8814 m/s za gustinu punjenja 1,857 g/cm³ [4].

Nova energetska jedinjenja su nastala ispitivanjem mogućnosti nitrovanja različitih heterocikličnih struktura da bi se u njih na najpogodniji način uvela eksplozoforna

* Kel-F je polimer politrifluorohloroetilen

** Viton A je kopolimer heksafluoropropilen/vinilidifluorid, 1:2

¹⁾ Tehnički opitni centar, 11000 Beograd, Vojvode Stepe 445

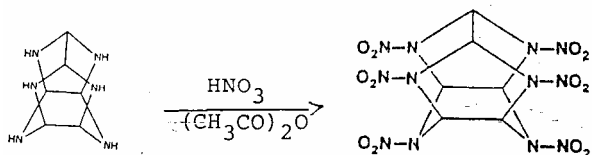
grupa NO_2 . Ove grupe se uvode direktnom nitracijom postojećih NH grupa u heterocikličnim jedinjenjima, ili indirektno, nitrolizom NR- grupa u heterocikličnim jedinjenjima.

Sintezom novih energetskih materijala teži se da se dobije eksploziv boljih detonacijskih karakteristika od RDX-a i HMX-a, koji već dugo suvereno zauzimaju prvo mesto po hemijskim, termodinamičkim i detonacijskim karakteristikama.

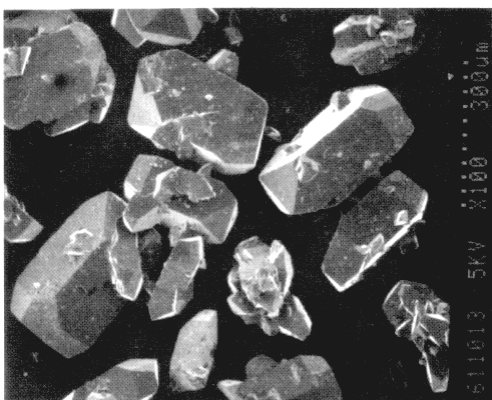
Sinteza CL-20

Način sinteze, ili početni uslovi, za dobijanje CL-20 nisu prikazani u dostupnoj literaturi. Na osnovu dosadašnjih saznanja o sintezi nižih homologa, cikličnih nitramina heksogena i oktogena, može se pretpostaviti da su početni uslovi sinteze CL-20 slični kao kod heksogena i oktogena i da se kao polazno jedinjenje koristi heksametilentetramin uz nitraciju sa azotnom kiselinom i anhidridom sircetne kiseline.

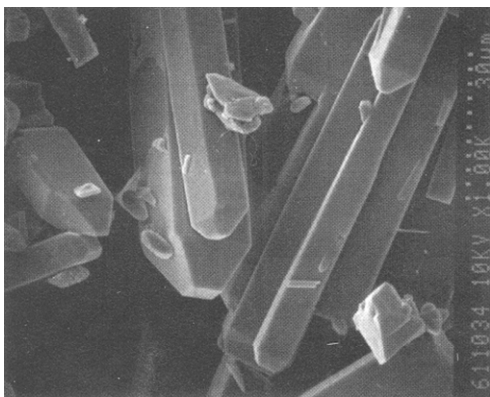
Teoretski se CL-20 može da dobije direktnom nitracijom heksaazatetraciklododekana [7] prema reakciji:



CL-20, kao i oktogen, ima više kristalnih modifikacija. Poznate su četiri: alfa, beta, gama i epsilon; peta, delta kristalna faza je hipotetična. Od četiri forme, koriste se samo epsilon i beta, (prikazane na sl.1a i 1b) jer su stabilne na sobnoj temperaturi.



a) SEM snimak epsilon faze



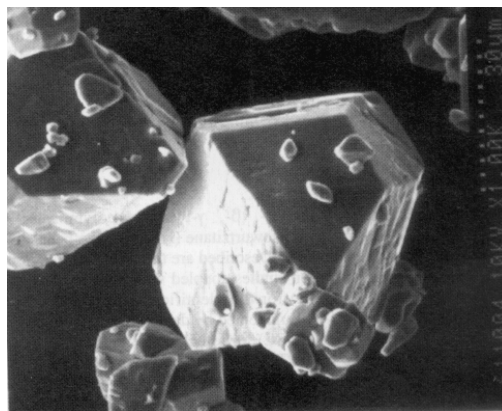
***Fotografije SEM preuzete iz [9]

b) SEM snimak beta faze

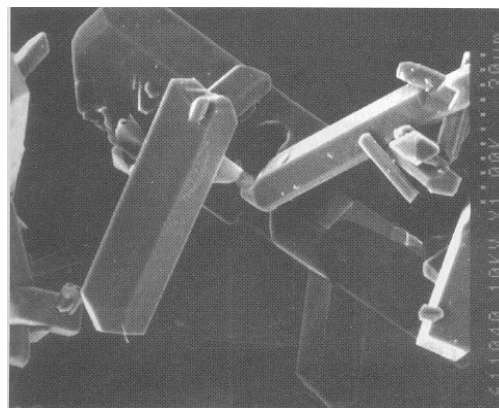
Slika 1. Kristalna modifikacije eksploziva CL-20 ***

Alfa i gama kristalne modifikacije eksploziva CL-20 su metastabilne, nestabilne su na sobnoj temperaturi i ne primenjuju se. SEM snimci alfa i gama kristalne modifikacije, prikazani su na slikama 2a i 2b.

Analogno CL-20 i oktogen ima četiri kristalne modifikacije, od kojih je jedino beta modifikacija stabilna na sobnoj temperaturi i koristi se kao eksploziv [5,6].



a) SEM snimak alfa faze



b) SEM snimak gama faze

Slika 2. Kristalne modifikacije CL-20***

Eksploziv CL-20 pored SAD, proizvodi i Francuska u istraživačkom centru u Buržeu, (SNPE).

Fizičko-hemijske karakteristike eksploziva CL-20

Eksploziv CL-20 je kristalno jedinjenje velike gustine, koja zavisi od polimorfne faze: epsilon faza ima najveću, gustinu $2,044 \text{ g/cm}^3$, a beta faza $1,985 \text{ g/cm}^3$ [8].

Osnovna struktura molekula CL-20 se sastoji od krute izovurcitan rešetke sa nitrogrupama vezanim za azotove atome. Egzo- i endo- prostorna orijentacija ovih nitro grupa u rešetki molekula definiše četiri različita polimorfa [9]. Kristali su igličasti ili rombični, što zavisi od kristalne modifikacije (sl.1 i 2).

Od četiri modifikacije u upotrebi je uglavnom epsilon faza zbog najveće gustine, dok se beta faza rede koristi.

Epsilon faza sadrži uvek male količine (reda 10%) beta faze. Iz epsilon faze ne mogu sasvim da se uklone

metastabilne, alfa i gama. Ove dve faze mogu da nastanu termičkom transformacijom iz epsilon faze. Produženim grejanjem na 100°C i 105°C, voluminozna epsilon faza u toku 96 sati prelazi u alfa i gama fazu niske gustine [10].

Temperatura topljenja epsilon faze je 240°C. Epsilon faza je stabilna na temperaturi od 120°C tokom 22 dana. U odnosu na mnoge hemijske supstance, CL-20 se ponaša slično kao i drugi nitramini, heksogen i oktogen [8].

Rastvorljivost CL-20 je ispitana u više rastvarača i prikazana je u tabeli 1 [8].

Tabela 1. Rastvorljivost CL-20 na 25°C

Rastvarač	g(CL-20)/ 100 g rastvarača
Aceton	94,6 – 109
Etanol	0,63 – 0,87
Etil acetat	45,0
FEFO ⁽¹⁾	0,12 – 0,19
FM-1 ⁽²⁾	1,35
Metilhenlorid	0,03
Voda	0,005 – 0,0095

⁽¹⁾bis(2,2,2-fluorodinitroetil)formal, [1],

⁽²⁾smeša nitroformala, [12]

CL-20 se bolje rastvara u acetonu od RDX-a i HMX-a: rastvorljivost RDX-a u acetonu na 20°C je 6,81 g/100 g rastvarača, i na 30°C 8,38 g/100 g rastvarača, a rastvorljivost HMX-a na 25°C iznosi 2,2 g/100 rastvarača [19].

CL-20 se dobro rastvara u etil acetatu, slabo u FEFO i FM-1, a veoma slabo u metilhenloridu i vodi.

Prekristalizacija CL-20

Sirovi CL-20 se najverovatnije prekristalizuje iz acetona da bi se, po analogiji sa HMX-om, maksimalno uklonile kristalne forme (alfa i gama), koje doprinose nestabilnosti i osetljivosti CL-20.

Posle prekristalizacije, CL-20 ima raznoliki granulometrijski sastav. Ovaj sastav se ujednačava mehaničkim metodama usitnjavanja mlevenjem i dovodi na željeni prečnik čestica od 5 μm do 6 μm potreban kada se CL-20 dodaje čvrstom raketnom gorivu kao energetska komponenta. Mlevenje se vrši u rotor-stator mlinovima [11]. U ovim mlinovima mogu da se melju i drugi nitramini (heksogen i oktogen) s obzirom da se i oni koriste kao energetske dodaci čvrstim raketnim gorivima.

Osetljivost na mehanička dejstva

Epsilon i beta kristalne modifikacije CL-20 su osetljivije na udar i trenje od oktogena, pa čak i od pentrita.

Osetljivost na mehaničke uticaje (udar i trenje) kristalnog CL-20 u odnosu na PETN i HMX, kao i njegovih flegmatizovanih sastava, prikazana je u tabeli 2.

Tabela 2. 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	
RX-39-AB	34	9-10,8
LX-19	40	11,2-14,4
PBXC-19	38	14,4
RX-49-AE	38-48	
PETN	13-16	8,0
HMX	32	11,6

LX-14	53	
-------	----	--

* Dobijen u različitim laboratorijama

Iz tabele 2 se vidi da je osetljivost na udar beta i epsilon faze slična kao kod PETN-a, ali je osetljivost na trenje beta i epsilon forme veća od osetljivosti pentrita, što je posledica krute izovurcitan veze u molekulu. Flegmatizovani sastavi zasnovani na CL-20 su pokazali znatno smanjenje osetljivosti na udar i trenje.

Osetljivost na udar ispitana je padom tega od 2,5 kg. na tabletirani uzorak od 35 mg. a osetljivost na trenje ispitana je na uređaju *Julius-Peters*, Berlin 12 [1].

Produkti detonacije

Eksploziv CL-20 ima uravnotežen bilans kiseonika, te se u njegovim produktima detonacije ne nalaze tragovi čvrste faze, ugljenika. Produkti detonacije su prikazani u tabeli 3.

Tabela 3. Produkti detonacije epsilon CL-20 [8]

Epsilon CL-20		
gustina (g/cm ³)		1,965
TMG * (%)		95,9
masa uzorka za ispitivanje (g)		24,96
Produkti detonacije (mol/mol CL-20)	N ₂	5,61
	H ₂ O	2,31
	CO ₂	3,60
	CO	2,02
	H ₂	0,27
	NH ₄	0,166
	HCN	0,032
	CH ₄	0,013
C ₂ H ₆	0,002	
C (čvrst)	nema tragova	

* Teorijska maksimalna gustina

Izostanak čvrste faze u produktima detonacije značajna je karakteristika, radi primene ovog eksploziva u novim sastavima čvrstih raketnih goriva.

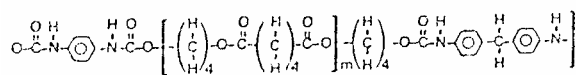
Kritična temperatura na kojoj dolazi do eksplozije CL-20 je niža od one za heksogen i oktogen, za HMX temperatura eksplozije je 190°C posle 30 minuta, za RDX 184°C posle 12,5 minuta, a za CL-20 je 163°C posle 20 minuta [8].

Flegmatizovani sastavi zasnovani na CL-20

Flegmatizacija je tehnološki postupak prekrivanja kristalnih eksploziva određenim supstancama da bi im se smanjila osetljivost na mehanička dejstva.

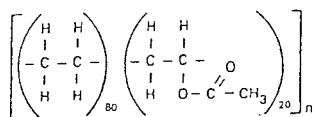
Eksploziv CL-20 je veoma osetljiv na mehaničke uticaje, ali su mu ostale performanse kao eksploziva (termička stabilnost, gustina, brzina detonacije) izuzetne.

Smanjenje osetljivosti vrši se prekrivanjem kristala eksploziva CL-20 nekim polimerom (prema literaturnim podacima). Za flegmatizaciju se koriste dva polimera: estan 5702 i etilenvinilacetat (EVA). Formule ovih polimera su prikazane na slikama 3 i 4 [12].



Slika 3. Estan 5700

Estan 5700 je poliester kopolimer-estan ili poliuretan estar MDI. Visoka reaktivnost krajnjih izocijanatnih grupa na kraju lanca čini ga osetljivim na vodu.



Slika 4. Etilenvinilacetat (EVA)

Etilenvinilacetat-EVA, koristi se kao flegmatizator u granuliranim eksplozivnim sastavima na bazi CL-20.

Pored granuliranih sastava proizvode se i plastični eksplozivni sastavi, spravljani sa CL-20, FEFO i smešom nitroformala FM-1.

FM-1 je tečni eksploziv koji je razvijen u laboratoriji LLNL. Sastoji se od 25% FEFO, 25% bis(dinitroetil)formala, i 50% fluorodinitroetil-dinitropropil formala [13].

U oba sastava, granulisanom i plastičnom, granulacija početnog kristalnog CL-20 predstavlja važan parametar za uspešnost flegmatizacije i presovanje flegmatizovanog eksploziva.

Eksplozivi zasnovani na CL-20 su načinjeni u skladu sa sastavima baziranim na HMX-u [14]. Za razliku od sastava sa HMX-om u kojima se koristio samo FEFO [15], tečni eksploziv, kao energetski dodatak koji se teže inicira [1], za sastave na bazi CL-20, koristi se smeša tečnih eksploziva: FEFO i FM-1.

Granulisani sastavi na bazi CL-20 i estana ili EVA-e, proizvode se na sledeći način: estan ili EVA rastvaraju se u etilendihloridu u koncentraciji koja je potrebna za taj sastav. Zatim se u taj rastvor dodaje kristalni CL-20 i na pogodan način se raspodeljuje po sistemu. Rastvarač etilendihlorid se iz sistema za flegmatizaciju uklanja destilacijom pod smanjenim pritiskom, a polimer se izdvaja na granulama CL-20.

Flegmatizovani sastavi epsilon i beta CL-20, kao i njima analogni sastavi na bazi HMX-a, prikazani su u tabeli 4. Njihova osetljivost na udar i trenje prikazana je u tabeli 2. Iz tabele se vidi da je osetljivost flegmatizovanih sastava znatno smanjena u odnosu na kristalni CL-20, a posebno na trenje. Smanjenje osetljivosti na trenje flegmatizovanih eksploziva je važan zahtev, jer su sile trenja i naponi u eksplozivu posebno izraženi u alatu za presovanje tokom presovanja [16].

Tabela 4. Flegmatizovani sastavi na bazi eksploziva CL-20 i oktogena

Red. br.	Oznaka eksploziva	Flegmatizator – sadržaj (% m/m)	Eksploziv – sadržaj (% 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(RX-39-AC)	estan 5702-P 4,5	epsilon CL-20 95,5
4	PBX-19	EVA 5	CL-20 95
5	RX-49-AE	FEFO 9,77+FM-1 9,77 (smeša formala)	CL-20 80,46
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 (sastava prikazanih u tabeli 4) date su u tabeli 5.

Tabela 5. Brzine detonacije flegmatizovanog CL-20 i oktogena

Red. br.	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

U dostupnoj literaturi nisu prikazane vrednosti za brzinu detonacije plastičnog RX-49-AE eksploziva, ali se može pretpostaviti da je nešto niža od granuliranih sastava imajući u vidu analogne sastave na bazi oktogena (tabela 4). Eksplozivi na bazi HMX-a imaju manju brzinu detonacije od eksploziva na bazi CL-20, jer je kristalna gustina CL-20 veća od kristalne gustine HMX-a (1,96 g/cm³ beta modifikacija, [17]), a samim tim veća je brzina detonacije. U dostupnoj literaturi nije nađen podatak za brzinu detonacije kristalnog epsilon i beta CL-20, ali je realno pretpostaviti da je veća od 10 000 m/s.

Gustina presovanog eksploziva takođe je veća kod eksploziva zasnovanog na CL-20. Rezultati za brzinu detonacije za eksploziv RX-39-AB mogu da se prihvate kao rezultati za RX-39-AA i LX-19 (označava se i kao RX-39-AC, [12]) pošto imaju skoro isti maseni sastav komponentata. Granulisani eksplozivi na bazi CL-20, RX-39-AA, RX-39-AB i LX-19 međusobno se razlikuju po početnom granulometrijskom sastavu kristalnog CL-20. RX-39-AB sadrži monomodalnu raspodelu granulacije epsilon CL-20; (srednji prečnik čestice 120 μm), dok RX-39-AA i LX-19 imaju sledeći polazni granulometrijski sastav: 75% čestice prečnika 160 μm i 25% čestica prečnika 6 μm. Ovi granulirani eksplozivi se presuju na visokim temperaturama (iznad 100°C) što olakšava presovanje i postizanje gustina do visokog procenta od teorijski maksimalne gustine (TMG) [8].

Novi policiklični nitramin, CL-20, spada u veoma brizantne eksplozive i po svojim detonacijskim karakteristikama prevazilazi oktogen.

Gustina CL-20 je veća od gustine HMX-a, te su i brzine detonacije i ostali parametri detonacije, veće od njihovih vrednosti za HMX.

Oktogen je manje osetljiv na mehaničke uticaje i termički je stabilniji. Njegova temperatura topljenja je 282°C [17], dok je temperatura topljenja epsilon CL-20 234°C [8]. Po termičkoj stabilnosti CL-20 se nalazi između heksogena i oktogena (heksogen se topi na 204°C [17]).

Druga nepogodnost CL-20 se ogleda u postojanju njegovih nestabilnih kristalnih polimorfa, koji se ne mogu potpuno eliminisati iz epsilon i beta faze. Zavisno od rastvarača i vremena izlaganja povišenoj temperaturi, epsilon i beta CL-20 mogu termički da se transformišu u alfa i gama nestabilne, voluminozne forme [9].

Eksplozivu CL-20 (prema dostupnoj literaturi) posvećuje se velika pažnja svetskih, posebno američkih stručnjaka, što ukazuje na realnu mogućnost da se ovaj eksploziv već nalazi u eksploataciji u zemljama u kojima se sintetizuje – SAD i Francuska.

Zaključak

Eksploziv CL-20 pripada familiji nitraminskih eksploziva iz grupe policikličnih nitramina sa jakim energetskim karakteristikama.

CL-20 ima veću kristalnu gustinu od oktogena – od 1,98 do 2,044 g/cm³ i bolje eksplozivne karakteristike. Postoji u četiri registrovane kristalne modifikacije (polimorfa): alfa, beta, gama i epsilon delta kristalna modifikacije (peti

polimorf) je hipotetička. U upotrebi je uglavnom epsilon, ređe beta forma, jer su stabilne na sobnoj temperaturi, a alfa i gama forme su neupotrebljive jer su metastabilne. Svi polimorfni oblici mogu da prelaze iz jednog u drugi u zavisnosti od temperature i rastvarača.

Eksploziv CL-20 se flegmatizuje polimerom estanom i etilenvinilacetatom (EVA). Pored granuliranih, izrađuju se i plastični sastavi na bazi CL-20 i fluoronitroformala, FEFO i FM-1, tečnih eksploziva. Svi sastavi imaju veće brzine detonacije od analognih sastava na bazi HMX-a.

Međutim, i pored izvanrednih detonacijskih karakteristika CL-20 – veća gustina i veća brzina detonacije, po termičkim osobinama nije prevazišao oktogen. Oktogen je i dalje termički najstabilniji nitramin sa izrazito manjom osetljivošću na mehaničke uticaje, dok se CL-20 po osetljivosti svrstava u red sa pentritom, eksplozivom koji je po osetljivosti na mehaničke uticaje bliži inicijalnim nego sekundarnim eksplozivima.

Karakteristike kristalnog i flegmatizovanog CL-20 detaljno su ispitane u laboratorijama LLNL (SAD) i SNPE (Francuska) i sasvim je izvesno da se već nalazi u eksploataciji u njihovim armijama.

Literatura

- [1] ANĐELKOVIĆ-LUKIĆ, M. Tendencije razvoja brizantnih eksploziva. *Vojnotehnički glasnik*, 1998, vol. XLVI, no. 6, p. 681-690.
- [2] NIELSEN, A.T. *Amine Chemistry of energetics Materials*. Academic Press, San Diego, 1991, p. 95-124.
- [3] SIMPSON, R.L. Synthesis, Properties and Performance of the High Explosive ANTA. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 1994, no. 19, p. 174-179.
- [4] MITCHEL, A.R. i dr. Nitroureas I. Synthesis, Scale-up and Characterization of K-6. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 1994, no. 20, p. 232-239.
- [5] SENTHILKUMAR, U.P. i dr. High Energetics High Density Materials: A BASIC Program (FCALC) for the Design and Selection of Efficient High Energetic Materials Containing Nitro and Azido Groups. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 1994, no. 19, p. 249-299.
- [6] HOLTZ, E.V. i dr. The Solubility of CL-20 in Selected Materials. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 1994, no. 19, p. 206-212.
- [7] ORLOVA, E. *Himija i tehnologija brizantnih vzrivčjatih veščest*. Leningrad, 1981.
- [8] SIMPSON, R.L. i dr. CL-20 Performance Exceeds of HMX and its Sensitivity is Moderate. *Propellants*, 1997, no. 22, p. 249-255.
- [9] FOLTZ, M.F. i dr. The thermal Stability of the of Heksanitroheksaazaizowurčitane, Part I. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 1994, no. 19, p. 19-25.
- [10] BUNTE, G., PONTIUS, H. Analytical Characterization of Impurities of Byproducts in New Energetic Materials. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 1999, no. 24, p. 149-155.
- [11] FOLTZ, M.F. Thermal Stability of - heksanitroheksaazaizowurtitan in an Estane Formulation, *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 1994, no. 19, p. 63-69.
- [12] MUELLER, D. New Gun Propellant with CL-20, *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 1999, no. 24, p. 176-181.
- [13] TEIPEL, U. Production of Particles of Explosives. *Propellants, explosives, Pyrotechnics*, 1999, no. 24, p. 134-139.
- [14] COON, C.L. i dr. *The Synthesis and Pilot Plant Production of FM-1, UCRL-LR-110156*, Lawrence Livermore National, Livermore, California, 1992.
- [15] DOBRATZ, B.M. *LLNL Explosives Handbook*. UCRL 52997, Livermore, 1981.
- [16] GUIMONT, M. i dr. *Desenzitation of Explosives Materials*, A. AD. 058467, Arlington, USA, 1978.
- [17] ANĐELKOVIĆ-LUKIĆ, M. Promena gustine presovanog punjenja flegmatizovanog oktogena u funkciji fizičkih osobina kristalnog oktogena. *Naučnotehnički pregled*, 1995, vol. XLV, no. 6-7, p. 3-5.
- [18] MEYER, R. *Explosives*. Verlag Chemie, Weinheim New York, 1977.
- [19] MAKSIMOVIĆ, P. *Eksplozivne materije*. Vojnoizdavački zavod, Beograd, 1985.

Rad primljen: 25.10.2000.god.