

Mr Luka Grbović,
pukovnik, dipl. inž.
Uprava za odbrambene tehnologije MO,
Beograd
Slaviša Stoilković,
major, dipl. inž.
Tehnički remontni zavod,
Kragujevac

KORELACIJA REZULTATA ISPITIVANJA HEMIJSKE STABILNOSTI PRIRODNO I UBRZANO STARENIH BARUTA

UDC: 662.312.1 : 543.544.5

Rezime:

Praćenje sadržaja stabilizatora jedna je od savremenih i pouzdanih metoda koja se u svetu, a i kod nas, primenjuje za kontrolu hemijske stabilnosti i prognoziranje veka upotrebljivosti baruta. Radi ocene pouzdanosti metode ispitivani su uzorci prirodno starenog jednobaznog baruta tipa NC i dvobaznog baruta tipa NGB različitih godina proizvodnje. Uzorci su uzimani iz ubojnih sredstava. Određene su konstante brzine reakcije utroška stabilizatora i vremena upotrebljivosti baruta. Ove vrednosti upoređene su sa analognim rezultatima dobijenim za iste barute pre dvadeset godina pri čemu je utvrđeno zadovoljavajuće slaganje kako za prirodno tako i ubrzano starenje. Pored toga, utvrđeno je da NC baruti iz dehermetizovanog pakovanja municije pokazuju znatno manju stabilnost od baruta iz originalnog pakovanja.

Ključne reči: barut, hemijska stabilnost, stabilizator, tečna hromatografija.

CORRELATION OF CHEMICAL STABILITY ESTIMATION RESULTS OF NATURALLY AND ACCELERATED AGGING GUN POWDERS

Summary:

Monitoring the content of the stabilizer is one of the most reliable and modern methods used all over the world as well as in our country for chemical stability control and shelf life prediction of gun powders. For reliability rating of the used method, there has been examined samples of naturally aged single-based gun powder NC type and double-based gun powder NGB type all manufactured in different years. The samples were taken from explosive ordnance. Reaction rates constants of stabilizer consumption and shelf life of gun powders have been determined. These values were compared to analog results taken for the same gun powders tested 20 years ago. Satisfactory agreement either for naturally or accelerating aging gun powders has been confirmed. Beside that, it was determined that NC gun powder from non hermetic munitions cases proved to be considerably less stable than the originally packed NC gun powder.

Key words: gun powder, chemical, stability, stabilizer, liquid chromatography.

Uvod

Osnovne komponente baruta – estri azotne kiseline (nitroceluloza, nitro-glicerin, dietilenglikoldinitrat) – nestabilna su hemijska jedinjenja, podložna dekompoziciji (razgradnji) i na običnim temperaturama. Produkti dekompozicije baruta

su azotni oksidi, koji autokataliziraju dalju razgradnju i tako uzrokuju promenu fizičko-hemijskih osobina baruta. Da bi se usporila razgradnja azotnih estera, barutima se dodaju stabilizatori, supstance koje reaguju sa azotnim oksidima. Reakcije dekompozicije baruta i reakcije stabilizatora sa azotnim oksidima su egzo-

termne – uzrokuju akumuliranje toplote i povećanje temperature u masi baruta, što u određenim kritičnim uslovima može dovesti i do samozapaljenja baruta.

Stabilnost baruta je rezultat uticaja brojnih parametara od kojih neki, još uvek, nisu dovoljno proučeni, pa je postizanje zadovoljavajuće stabilnosti u dužem periodu čuvanja i danas predmet mnogih istraživanja.

Stabilnost i vek trajanja baruta

Od kada je napravljen prvi barut na bazi nitroceluloze (pre više od 150 godina), prisutan je problem njegove stabilnosti i veka trajanja [1, 2]. Pojam „stabilnost“ baruta podrazumeva zadržavanje početnih karakteristika na nivou koji garantuje bezbednu upotrebu i čuvanje bez rizika u uslovima skladištenja, a obuhvata hemijsku, balističku i mehaničku stabilnost.

Pojam „vek trajanja – život baruta“ obuhvata vreme tokom kojeg barut, u uslovima skladištenja, zadržava svoje početne fizičko-hemijske, balističke i mehaničke osobine. U okviru tog pojma posebno se razmatraju period sigurnog skladištenja i period upotrebljivosti (vreme do početka gubitka fizičko-hemijskih, balističkih i mehaničkih osobina).

U barutnoj masi se, vremenom, dešavaju promene koje uzrokuju dekompoziciju – starenje baruta, pri čemu dolazi do sledećih pojava:

- oslobađanja gasova: NO (koji u prisustvu vazduha daje NO₂), CO₂, CO, N₂, N₂O i vodene pare,

- nastajanja ostalih produkata razgradnje (voda, aldehidi, manje ili više složene organske kiseline i sl.),

- gubitka mase,
- promene molarnih masa,
- promene sadržaja azota u nitrocelulozi,
- promene sadržaja stabilizatora,
- oslobađanja toplote.

Hemijska stabilnost baruta bavi se problemom njegove termičke dekompozicije. Produkti razgradnje nitroestera (azotni oksidi) autokataliziraju dalju razgradnju baruta. Budući da se radi o egzotermnim reakcijama, dolazi do akumuliranja toplote (barut je loš provodnik toplote) i povećanja temperature u masi baruta, što može prouzrokovati samozapaljenje. Da bi se usporila autokatalizirajuća razgradnja estera azotne kiseline, barutima se dodaju stabilizatori, centralit (CI) i difenilamin (DPA) – supstance koje akceptiraju produkte razgradnje (azotne okside). Autokataliza odlaže se zahvaljujući tome što NO₂ reaguje oko 20 000 puta brže sa CI i DPA nego sa osnovnim komponentama baruta (nitrocelulozom i nitroglicerinom) [3, 4].

Stabilizatori su aromatska organska jedinjenja sa sledećim karakteristikama:

- ne reaguju sa nitroestrima,
- tačka topljenja im je niža od 100°C,
- ne isparavaju,
- ne stvaraju higroskopna jedinjenja,
- tokom vremena ne utiču na balističke osobine baruta,
- bazičnog su karaktera, pa brzo apsorbuju produkte razgradnje koji su kiseli.

Markrol (Marquerol) je utvrdio da je DPA odličan stabilizator nitroceluloznih baruta, ali samo u količinama do 5%, jer pri većoj količini DPA uzrokuje hidrolizu nitroceluloze [1]. U reakcijama DPA sa azotnim oksidima prvo nastaju mononitro-

derivati DPA (N-nitrozodifenilamin, 2-nitrodifenilamini, 4-nitrodifenilamin), koji su bazičnog karaktera i veoma dobri stabilizatori nitroceluloznih i dvobaznih baruta. Pod daljim uticajem azotnih oksida, nastaju dinitroderivati DPA, a stabilizirajuće dejstvo DPA prestaje nastajanjem trinitrodifenilamina [3, 4].

Šreder (Schoeder) je utvrdio da je dietildifenilkarbamid – centralit I odličan stabilizator za dvobazne i trobazne barute. U prvoj fazi reakcije centralita sa azotnim oksidima nastaju mononitroderivati (2-nitrocentralit, 4-nitrocentralit, N-nitrozo-N-etilnilin) koji imaju stabilizirajuće delovanje (akceptiraju azotne okside). U kasnijim fazama nastaju dinitro i trinitro derivati koji nemaju stabilizirajućih svojstava [1].

Metode za kontrolu hemijske stabilnosti i prognoziranje veka trajanja baruta

Da bi se neka metoda mogla koristiti za ocenu hemijske stabilnosti baruta, ona treba da bude brza, jednostavna, pouzdana, reproduktivna i da omogućava predviđanje ponašanja baruta u toku dugogodišnjeg čuvanja municije u skladištima. Postoji veliki broj metoda koje se koriste za kontrolu hemijske stabilnosti baruta, odnosno za prognoziranje njegovog veka trajanja. U procesu skladištenja ubojnih sredstava prema SNO 8069/91 kod nas se koriste sledeće tri metode [2]:

- metoda grejanja na 100°C,
- metoda praćenja sadržaja stabilizatora,
- metoda merenja toplotne aktivnosti – mikrokalorimetrija.

Metoda grejanja na 100°C

Postoji više klasičnih metoda za kontrolu hemijske stabilnosti baruta, koje se zasnivaju na ubzanoj razgradnji nitroestera grejanjem na povišenim temperaturama, a kvalitet baruta ocenjuje se kvalitativnim i kvantitativnim određivanjem produkata degradacije nitroestera. Naime, iz uzorka nestabilnog baruta će se, za isto vreme grejanja, izdvojiti veća količina azotnih oksida, u odnosu na uzorak nekog stabilnog baruta.

Vremenom je uočeno više nedostataka klasičnih metoda, a najveći su sledeća tri [4]:

- nemogućnost ocene sklonosti baruta prema samozapaljenju,
- kriterijumi za ocenu hemijske stabilnosti baruta po ovim metodama nisu eksperimentalno određeni i naučno potvrđeni,
- nemogućnost predviđanja veka trajanja baruta.

Kriterijum za ocenu hemijske stabilnosti baruta po metodi grejanja na 100°C jeste broj dana i sati od početka stavljanja uzorka baruta u aparat, da se greje na povišenoj temperaturi, do početka izdvajanja okom vidljivih azotnih oksida (gasoivi žuto-smeđe boje).

Metoda grejanja na 100°C je indikativna – barut koji zadovoljava po ovoj metodi hemijski je stabilan i, obrnuto, barut koji ne zadovoljava po ovoj metodi ima narušenu hemijsku stabilnost, u manjoj ili većoj meri zavisno od rezultata. Zbog svoje jednostavnosti i dugogodišnjeg iskustva ona je pogodna za primenu kao indikativna metoda u kontroli hemijske stabilnosti.

Određivanje sadržaja stabilizatora

Reakcija utroška stabilizatora usled termičke dekompozicije baruta može se smatrati nepovratnom reakcijom prvog reda. U tom slučaju konstanta brzine reakcije k izračunava se po obrascu [2, 4]:

$$k = \frac{1}{t} \ln \frac{C_0}{C} \quad (1)$$

gde je:

C_0 – početna koncentracija stabilizatora,
 C – koncentracija stabilizatora u nekom vremenu t odvijanja reakcije.

Za reakcije prvog reda, kakva je reakcija utroška stabilizatora, konstanta se ne menja tokom odvijanja reakcije na stalnoj temperaturi. Osim toga, zavisnost $\ln C_0/C$ od t je, u slučaju reakcija prvog reda, linearna i konstanta brzine reakcije može se odrediti iz nagiba pravca. Ako se jednačina (1) izrazi u eksponencijalnom obliku, ona glasi:

$$C = C_0 \cdot e^{-kt} \quad (2)$$

Uočljivo je da se koncentracija stabilizatora tokom vremena eksponencijalno smanjuje.

Zavisnost konstante brzine reakcije od temperature opisuje se Arrheniusovom (Arrhenius) jednačinom:

$$k = A \cdot e^{-E/RT} \quad (3)$$

gde je:

A – predeksponencijalni faktor,
 R – univerzalna gasna konstanta.

Njen logaritamski oblik omogućuje određivanje energije aktivacije:

$$\ln k = -\frac{E}{R} \cdot \frac{1}{T} + \ln A \quad (4)$$

Kako sledi iz jednačine (4), grafički prikaz zavisnosti $\ln k$ od $1/T$ daje pravac s nagibom $-E/R$ iz kojeg se računa energija aktivacije procesa utroška stabilizatora.

Energija aktivacije može se izračunati i kada su poznate vrednosti konstanti brzina reakcije na dve različite temperature, na osnovu izraza:

$$\ln \frac{K_1}{K_2} = -\frac{E}{R} \cdot \frac{T_2 - T_1}{T_1 \cdot T_2} \quad (5)$$

Izraz (5) omogućuje da se na osnovu konstante brzine reakcije na povišenoj temperaturi odredi konstanta brzine reakcije utroška stabilizatora na normalnoj temperaturi, odnosno temperaturi skladištenja.

Poznavanjem konstante brzine reakcije utroška stabilizatora može se, na osnovu izraza (1), prognozirati promena sadržaja stabilizatora sa vremenom, a time i vek trajanja baruta zavisno od usvojenog kriterijuma kritičnog sadržaja stabilizatora. Ovi kriterijumi još uvek nisu jedinstveni i predmet su istraživanja. Ako se za kriterijum stabilnosti usvoji pad sadržaja stabilizatora na 50% od početne vrednosti, onda je vek trajanja baruta jednak poluvremenu reakcije utroška stabilizatora:

$$\tau = \frac{\ln 2}{k} \quad (6)$$

Vek trajanja baruta $t = \tau$ je vreme za koje koncentracija stabilizatora dostigne polovinu svoje početne vrednosti, tj. $C = C_0/2$.

Mikrokalorimetrija

Ova metoda podrazumeva merenje brzine razvijanja toplote u najkritičnijem delu uzorka (geometrijskom centru) za vreme termostiranja na određenoj temperaturi [2, 3, 4]. Poznavanjem količine toplote koja se akumulira u jedinici vremena, pri dekompoziciji uzorka baruta onih dimenzija koje odgovaraju realnim dimenzijama zrna, ili kalibru municije, može se odrediti:

- energija aktivacije procesa dekompozicije baruta;
- vreme do gubitka određene količine toplote u uslovima skladištenja, što može poslužiti kao mera balističke stabilnosti baruta;
- veličina kritičnog prečnika na osnovu kojeg se može proceniti mogućnost samozapaljenja baruta.

Mikrokalorimetrija je savremena metoda koja jedina prati direktni uzročnik samozapaljenja – brzinu oslobađanja toplote. U nekim zemljama veoma je usavršena (Švedska). Kod nas je uvedena pre 15 godina i još uvek je u fazi usavršavanja. Dobijeni rezultati uglavnom korrespondiraju sa rezultatima dobijenim merenjem sadržaja stabilizatora. Unapređenje ove metode kod nas zahteva nabavku veoma skupe opreme, jer je postojeća skromnih mogućnosti.

Opis eksperimenta

Izvršeno je određivanje sadržaja stabilizatora metodom spektrofotometrije

(UV-VIS) i tečne hromatografije (HPLC) na uzorcima prirodno starenih baruta NC-08 i NGB-061 različitih godina proizvodnje. Uzorci baruta delaborisani su iz municije, s tim da je barut NC-08 uzet iz municije koja se nalazila u hermetizovanom i dehermetizovanom pakovanju (oko 10 do 15 godina), a barut NGB-061 uzet je samo iz mina u originalnom poluhermetizovanom pakovanju. Sva municija je raseljavana u toku NATO dejstava i bila je uskladištena u poljskim uslovima oko 6 meseci.

Osnovni sastav ispitivanih baruta prikazan je u tabeli 1 [5, 6].

Tabela 1

Sastav ispitivanih baruta

Komponenta	Količina	
	NC-08	NGB-061
% NC	maks. 97,00	57,50±2,00
% N, u NC	min. 13,15	12,75±0,10
% NGL		40,50±1,50
% DFA	1,30±0,20	
% CI	maks. 1,50	1,70±0,20

Ispitivanje je izvršeno prema SNO 8069/91 na UV-VIS spektrofotometru „Perkin Elmer lambda 25“ i tečnom hromatografu EDC „Milton Roy 3000“ sa UV detektorom.

Rezultati i diskusija

NC barut

Rezultati ispitivanja sadržaja stabilizatora baruta NC-08 različitih godina proizvodnje prikazani su u tabeli 2. Poređenja radi, u ovoj tabeli dati su i rezultati ispitivanja sadržaja stabilizatora koji su na analogan način dobijeni 1985. godine, s tim što je stabilizator određivan samo spektroskopski [4].

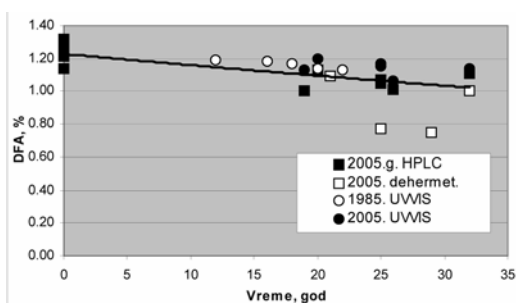
Tabela 2

Rezultati ispitivanja sadržaja stabilizatora NC baruta različitih starosti

Red. br.	Serija baruta	t_E	C_0	C					Primedba
				DFA UV-VIS	DFA HPLC	NNO-DFA	2N-DFA	4N-DFA	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ispitivanje izvršeno 2005.									
1.	MBL 7353	32	1,26	1,14	1,11	0,22	0,08	0,06	hermet.
2.		32	1,26	1,00	0,97	0,29	0,00	0,08	dehermet.
3.	MBL 7690	29	1,21	0,75	0,60	0,44	0,12	0,11	dehermet.
4.	MBL 79140	26	1,14	1,06	1,01	0,21	0,09	0,07	hermet.
5.	MBL 80154	25	1,21	1,17	1,05	0,23	0,08	0,07	hermet.
6.	MBL 80157	25	1,25	1,15	1,07	0,22	0,08	0,08	hermet.
7.		25	1,25	0,77	0,61	0,41	0,12	0,12	dehermet.
8.	MBL 84191	21	1,30	1,09	1,08	0,22	0,08	0,07	dehermet.
9.	MBL 85208	20	1,32	1,20	1,13	0,20	0,07	0,06	hermet.
10.	MBL 86222	19	1,24	1,13	1,00	0,26	0,08	0,07	hermet.
Ispitivanje izvršeno 1985.									
1.	1963	22	1,30	1,01					barut iz KB-2
2.	1965	20	1,30	1,02					
3.	1967	18	1,30	1,05					
4.	1969	16	1,30	1,08					
5.	MBL 7353	12	1,26	1,13					

Na slici 1 prikazana je promena sadržaja stabilizatora sa vremenom za ovu vrstu baruta različitih godina starosti. Uočava se korespondiranje rezultata sa rezultatima iz 1985. godine za hermetizovanu municiju, i neznatno odstupanje rezultata sadržaja stabilizatora određenih po UV-VIS i HPLC metodi. Takođe, sa slike se može zaključiti da dehermetizovani baruti pokazuju veći pad stabilnosti u odnosu na hermetizovane.

Radi određivanja konstante brzine reakcije utroška stabilizatora u prirodnim



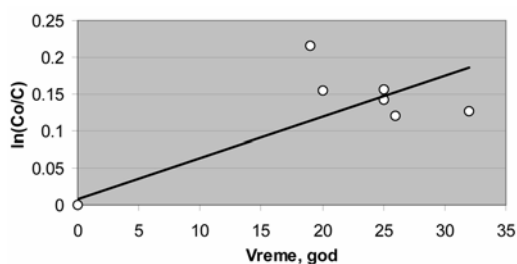
Sl.1 – Promena sadržaja stabilizatora sa vremenom prirodnog starenja za barut NC-08

uslovima starenja na slici 2 dat je grafički prikaz promene sadržaja stabilizatora za hermetizovane barute u skladu sa jednačinom (1). Pri tome su uzeti u obzir samo rezultati dobijeni metodom tačne hromatografije, jer su najpouzdaniji.

Konstanta brzine reakcije predstavlja nagib prave na slici 2 i iznosi $0,00556 \text{ god}^{-1}$.

Radi definisanja temperature za uslove prirodnog starenja (prosečna temperatura skladištenja) za koju bi vezali dobijenu konstantu, analizirani su rezultati sistematskog praćenja temperature u skladištima UbS, koja se nalaze u kontinentalnom delu naše zemlje [7]. Za magacine tipa M-40 temperatura se u toku godine kreće od 2 do 20°C , tj. može se smatrati da je prosečna temperatura skladištenja 15°C .

Ako se uzme u obzir da je municija u toku dugogodišnjeg skladištenja neko-

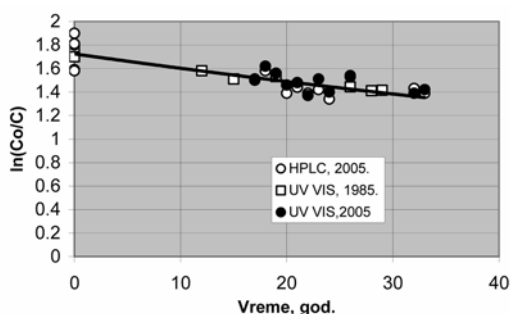


Sl. 2 – Određivanje konstante brzine reakcije utroška stabilizatora NC baruta u uslovima prirodnog starenja

liko puta seljena i da je pri tome određeno vreme provela i u lošijim uslovima, može se zaključiti da je realnim uslovima približnija prosečna temperatura skladištenja 20°C.

Ako se žele uključiti svi faktori koji utiču na hemijsku stabilnost baruta (kvalitet sirovina, sastav baruta, proces proizvodnje, uslovi smeštaja, preseljenja i dr.) i time uvede određeni stepen sigurnosti, još je pouzdanije računati da prosečna temperatura skladištenja iznosi 25°C. Na taj način praktično se može unapred definisati garantovani vek trajanja baruta.

Na osnovu dobijene vrednosti konstante, pomoću izraza (5) preračunate su konstante brzine reakcije za temperature skladištenja 20°C i 25°C i izračunat vek trajanja baruta po izrazu (6). Pri tome je uzeta



Sl. 3 – Promena sadržaja stabilizatora sa vremenom prirodnog starenja za NGB barut

vrednost energije aktivacije za NC barut od 122 kJ/mol [3]. Rezultati proračuna dati su u tabeli 3. Poređenja radi, dati su i rezultati dobijeni ispitivanjem iste vrste baruta 1985. godine [4]. Može se zaključiti da nema velikog odstupanja rezultata.

Tabela 3 pokazuje da temperatura skladištenja ima presudan uticaj na vek trajanja baruta (eksponencijalna zavisnost). Ako se temperatura skladištenja poveća za 5°C, dobija se približno duplo kraći vek trajanja, skladištenja.

Tabela 3
Konstante brzine reakcije utroška stabilizatora i vek trajanja baruta NC-08

T °C	k (god ⁻¹)		τ (god)	
	1985. UV-VIS	2005. HPLC	1985. UV-VIS	2005. HPLC
15	0,0062	0,0056	111,80	124,67
20	0,0147912	0,0132643	46,86	52,26
25	0,0352868	0,0316443	19,64	21,90

Analizom rezultata određivanja sadržaja mononitroderivata DPA, dobijenih 2005. godine HPLC metodom (tabela 2), uočava se da je porast koncentracije NNO-DPA od 2,5 do 3,0 puta veći od koncentracije 2N-DPA i 4N-DPA, s tim da je koncentracija 2N-DPA neznatno veća od koncentracije 4N-DPA. To korepondira sa mehanizmom degradacije NC baruta [3]. Takođe, primetno je da uzorci baruta iz dehermetizovane municije daju veću koncentraciju mononitroderivata DPA u odnosu na uzorke baruta iz hermetizovane municije.

Barut NGB-061

Rezultati ispitivanja sadržaja stabilizatora baruta NGB-061 različitih godina proizvodnje prikazani su u tabeli 4, analogno kao i za barut NC-08. Takođe, u istoj tabeli su i rezultati ispitivanja ovog baruta iz 1985. godine.

Tabela 4

Rezultati ispitivanja sadržaja stabilizatora NGB baruta različitih godina starosti

Red. br.	Serija baruta	t_E	C_0	C		Primedba
				CI UV-VIS	CI HPLC	
1	2	3	4	5	6	7
Ispitivanje izvršeno 2005.						
1.	SPV 7738	33	1,70	1,42	1,39	Barut delaborisan iz UbS koja su raseljavana u toku NATO dejstava Barut delaborisan iz UbS koja su raseljavana u toku NATO dejstava (u poljskim uslovima nalazila se 6 meseci)
2.	SPV 7839	32	1,73	1,39	1,43	
3.	SPV 7941	26	1,75	1,54	1,53	
4.	SPV 8149	24	1,70	1,40	1,34	
5.	SPV 8253	23	1,59	1,51	1,42	
6.	SPV 8356	22	1,76	1,37	1,39	
7.	SPV 8458	21	1,70	1,48	1,44	
8.	SPV 8560	20	1,80	1,46	1,39	
9.	SPV 8662	19	1,58	1,56	1,55	
10.	SPV 8763	18	1,81	1,62	1,58	
11.	SPV 8864	17	1,90	1,50	1,51	
Ispitivanje izvršeno 1985.						
1.	1956	29	1,50	1,000		Barut iz KB-2.
2.	1957	28	1,50	1,048		
3.	1959	26	1,50	1,068		
4.	1966	19	1,50	1,174		
5.	1970	15	1,50	1,240		
6.	1978	12	1,50	1,410		

Na slici 3 prikazana je promena sadržaja stabilizatora sa vremenom za barute ove vrste različitih godina proizvodnje. Uočava se dobra korelacija sa rezultatima iz 1985. godine, kao i neznatno odstupanje rezultata između metoda UV-VIS i HPLC.

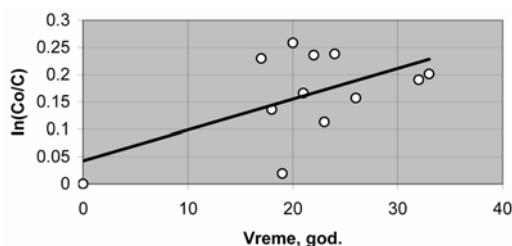
Analogno kao i kod baruta NC-08 na slici 4, prikazana je zavisnost $\ln C_0/C$ od vremena prirodnog starenja i iz nagiba prave određena konstanta brzine utroška stabilizatora koja iznosi $0,00563 \text{ god}^{-1}$.

Pomoću izraza (5) preračunate su konstante brzine reakcije za temperature skladištenja 20°C i 25°C i izračunat vek trajanja baruta po izrazu (6). Izračunate vrednosti konstante brzine reakcije i veka trajanja baruta prikazane su u tabeli 5. Poređenja radi, dati su i rezultati dobijeni 1985. godine metodom UV-VIS [4]. S obzirom na to da je za ovu vrstu baruta 1985. godine izvršeno i ubrzano starenje na temperaturama 80°C , 90°C i 100°C [4], u tabeli su date i vrednosti za k i τ

Tabela 5

Konstante brzine reakcije utroška stabilizatora i vek trajanja baruta NGB-061

$T^\circ\text{C}$	k, god^{-1} (dan^{-1} za ubrz. star.)			τ (god)		
	1985. UV-VIS prirodno starenje	1985. UV-VIS ubrzano starenje	2005. HPLC	1985. prirodno starenje	1985. ubrzano starenje	2005. HPLC
15	0,0063200	1,71597E-05	0,00563	109,68	110,67	123,12
20	0,0126708	3,44031E-05	0,0112875	54,70	55,20	61,41
25	0,0248174	6,73829E-05	0,0221079	27,93	28,18	31,35



Sl. 4 – Određivanje konstante brzine reakcije utroška stabilizatora NGB baruta u uslovima prirodnog starenja

dobijene preračunavanjem iz kinetičkog modela. Vidi se da se rezultati ne razlikuju mnogo, tj. da je odstupanje u granicama dozvoljene eksperimentalne greške.

Rezultati određivanja sadržaja stabilizatora iz 1985. godine [4] ujednačeniji su od rezultata iz 2005. godine, što se objašnjava činjenicom da su 1985. godine ispitivani baruti uzeti iz kolekcije baruta, a 2005. godine delaborisani su iz UbS, koja su predislocirana tokom 1991–1992. godine i raseljavana tokom NATO dejstava 1999. godine. Zbog toga je došlo do neujednačenosti kvaliteta baruta, čak i u okviru iste serije.

Zaključak

Prognoziranje veka trajanja baruta metodom merenja sadržaja stabilizatora pouzdana je metoda, pogotovo kada se koriste savremene analitičke tehnike (HPLC).

Po rezultatima iz 2005. godine, prosečan vek trajanja baruta NC-08 i NGB-061,

na osnovu prirodnog starenja, iznosi 52 godine, odnosno 61 godinu, što je za oko 5% više u odnosu na rezultate dobijene 1985. godine (UV-VIS). Pored toga, dobijeni vek trajanja za barut NGB-061 dobro se slaže i sa prognoziranim vekom trajanja na osnovu kinetičkog modela koji je dobijen ubrzanim starenjem 1985. Pri tome je računato da temperatura skladištenja iznosi 20°C. Ako se žele uzeti u obzir i ostali faktori koji utiču na hemijsku stabilnost baruta (kvalitet sirovina, proces proizvodnje, uslovi smeštaja i dr.) uzima se da prosečna temperatura skladištenja iznosi 25°C. U tom slučaju dobija se da vek trajanja iznosi 22 godine za NC-08, odnosno 31 godinu za NGB-061 barut, što se može smatrati garantovanim vekom trajanja ovih baruta, a zavisi od brojnih parametara, od kojih neki nisu dovoljno istraženi i predmet su stalnih istraživanja u svetu i kod nas.

Literatura:

- [1] Maksimović, P.: Eksplozivne materije, VIZ, Beograd, 1985.
- [2] Praćenje hemijske stabilnosti baruta i raketnih goriva – SNO 8069/91, Beograd, 1991.
- [3] Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Science and Technology 935 Reactions in the System Nitro-cellulose/ Diphenylamine with Special Reference to the Formation of a Stabilizing Product Bonded to Nitro-cellulose, BY TORBJORN LINDBLON, ACTA UNIVERSITATIS UPSALIENSIS, Uppsala, 2004.
- [4] Grbović, L.: Hemijska degradacija baruta, magistarski rad, Tehnološki fakultet, Zagreb, 1985.
- [5] Barut jednobazni NC-08, SNO 1165/94, Beograd, 1994.
- [6] Nitroglicerinski barut balistički NGB-061, SNO 1269/84, Beograd, 1984.
- [7] Zbornik radova Kvalitet uskladištenih UbS, tematski skup TU GŠVI, Beograd, 1994.