

Mr Panto Maslak,
potpukovnik, dipl. inž.
Mr Lajoš Tot,
dipl. inž.
Vojnotehnički institut VJ,
Beograd

ISPITIVANJA UTICAJA SREDNJEG MASENOG UDELA AZOTA U NITROCELULOZI I VELIČINE ČESTICA MODIFIKATORA NA BRZINE SAGOREVANJA DVOBAZNIH RAKETNIH GORIVA

UDC: 621.45.07-6 : 541.128

Rezime:

Istraživana je katalitička aktivnost balističkih modifikatora: baznog olovo-stearata, kalcijum-karbonata, kobalt (III)-oksida i čadi, za različite masene udele azota u nitrocelulozi, kao komponenti dvobaznog raketnog goriva, kao i uticaj veličine čestica balističkih modifikatora na brzinu sagorevanja dvobaznih raketnih goriva. Kao mera katalitičke aktivnosti korišćen je koeficijent katalitičke aktivnosti, koji predstavlja odnos brzine sagorevanja referentnog modela dvobaznog raketnog goriva sa modifikatorima i brzine sagorevanja referentnog modela dvobaznog raketnog goriva bez balističkih modifikatora. Prikazani su eksperimentalni rezultati ispitivanja brzina sagorevanja dvobaznog raketnog goriva. Izvedeni su odgovarajući modeli zavisnosti brzina sagorevanja od pritiska u raketnom motoru.

Cljučne reči: dvobazno raketno gorivo, katalitička aktivnost, brzina sagorevanja.

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF THE MASS AVERAGE RATIO OF NITROGEN IN NITROCELLULOSE AND THE PARTICLE SIZE ON BURNING RATES OF DOUBLE BASE PROPELLANTS

Summary:

The investigation described in this paper concerns the experimental phenomenological study of catalytic activity of ballistic catalysts: basic lead-stearate, calcium carbonate, cobalt trioxide and carbon black for different mass portions of nitrogen in nitrocellulose as components of a double base propellant, as well as the influence of the dimensions of ballistic catalyst particles on the double base propellants burning rate. The catalyst activity ratio is used as a measure of catalyst activity, and it represents the ratio of the burning rate of a double base propellant with catalysts referent model to the burning rate of a double base propellant without ballistic catalysts referent model. The paper gives the experimental results of the double base propellant burning rate. The appropriate models of the burning rate dependence on the pressure within the rocket motor are derived.

Key words: double base propellant, catalyst activity, burning rate.

Uvod

U toku proizvodnje opitnih modela dvobaznih raketnih goriva dodavani su balistički modifikatori u osnovne sastave,

što omogućava da se reguliše nivo brzine sagorevanja ovih pogonskih materija, i da se istovremeno smanje vrednosti temperaturnog koeficijenta i eksponenta pritiska u zakonitosti brzine sagorevanja [1,

2, 3, 4], pri čemu se dobija stabilna tačka rada raketnog motora.

Pored balističkih modifikatora, osnovni sastav, stepen nitracije nitroceluloze i veličina čestica balističkih modifikatora imaju znatan uticaj na reakciju sagorevanja dvobaznih raketnih goriva. U radu su ispitivana četiri modaliteta nitroceluloze sa stepenom nitracije od 12,0% do 13,2% azota.

Iz eksperimentalno dobijenih rezultata brzine sagorevanja u standardnom eksperimentalnom motoru izvedeni su matematički modeli zakonitosti brzine sagorevanja opitnih modela dvobaznih raketnih goriva, i određeni odgovarajući koeficijenti katalitičke aktivnosti u funkciji udela azota u nitrocelulozi kao komponenti dvobaznih raketnih goriva.

Rezultati eksperimentalnih istraživanja

Modeli dvobaznih raketnih goriva (DRG) izrađivani su tehnologijom ekstrudovanja [5, 6] koja obuhvata izradu „jake smeše“ (smeša nitroceluloze, nitroglicerina, stabilizatora i plastifikatora), doziranje balističkih modifikatora i homogenizaciju barutne mase, želatinizaciju nitroceluloze nitroglicerinom na diferencijalnim i homokinetičkim valjcima i ekstrudovanje cilindričnih barutnih blokova spoljnog prečnika 32 mm, unutrašnjeg prečnika 16 mm i dužine 125 mm, čija površina sagorevanja ostaje približno konstantna tokom sagorevanja u standardnom eksperimentalnom motoru.

Nitroceluloza (NC) je korišćena u obliku četiri modaliteta koji se razlikuju po sadržaju azota i viskozitetu, a či-

Tabela 1

Karakteristike nitroceluloze u osnovnim sastavima

Karakteristika	Nitroceluloza			
	NC1	NC2	NC3	NC4
Azot u NC (mas.%)	12,0	12,35	12,68	13,2
Viskozitet po Hopleru (mPas)	30,40	43,79	27,78	32,13
Finoća (cm ³)	80	80	80	80
Oznaka referentnog (osnovnog sastava)	DB10	DB20	DB30	DB40
Toplotni potencijal osnovnog sastava (J/g)	4172,6	4259,0	4389,0	4617,2

je su osnovne karakteristike prikazane u tabeli 1.

Nitroglicerina je korišćen kao energetski želatinizator nitroceluloze. Dietilftalat je korišćen kao plastifikator nitroceluloze. Simetrična dimetildifenilurea (centralit I), korišćen je kao stabilizator DRG. Sastavi referentnih (osnovnih) modela DRG (opitni modeli bez balističkih modifikatora) su identični osim masenog udela azota.

Za izradu opitnih modela iz tabele 2, na bazi osnovnih sastava DB10, DB20 i DB30, kao balistički modifikatori korišćeni su:

- bazni olovo-stearat (PbS), beli prah, specifične površine 38.000 cm²/cm³;
- kalcijum-karbonat (WS), beli prah, srednjeg prečnika čestica ispod 0,044 mm;
- čađ, crni prah, srednjeg prečnika čestica većeg od 0,045 mm,
- kobalt (III)-oksid, (CO₂O₃) crni prah, prečnika čestica ispod 0,005 mm.

Za izradu opitnih modela prikazanih u tabeli 3, na bazi osnovnih sastava DB10 i DB40, korišćena je acetilenska

Tabela 2

Sastavi opitnih modela na bazi DB10, DB20 i DB30

Oznaka DRG	Osnovni sastav	Maseni udeli balističkih modifikatora na 100 delova referentnog (osnovnog) sastava					mas. %N ₂
		PbS	WS	CO ₂ O ₃	čad		
NS-8128	DB10	2	1	1	1	1	12,00
NS-8129	DB20	2	1	1	1	1	12,35
NS-8130	DB30	2	1	1	1	1	12,68
NS-8138	DB10:DB30 (50:50)	2	1	1	1	1	12,34
NS-8139	DB20:DB30 (50:50)	2	1	1	1	1	12,51

Tabela 3

Sastavi opitnih modela na bazi osnovnih sastava DB10 i DB40

Oznaka DRG	Osnovni sastav	Maseni udeli balističkih modifikatora na 100 delova referentnog (osnovnog) sastava					mas. % N ₂
		PbS	WS	CO ₂ O ₃	čad		
NS-8251	DB10	2	1	1	1	1	12,00
NS-8252	DB10:DB40 90:10	2	1	1	1	1	12,12
NS-8253	DB10:DB40 40:60	2	1	1	1	1	12,72
NS-8247	DB10:DB40 80:20	2	1	1	1	1	12,24
NS-8250	DB10:DB40 60:40	2	1	1	1	1	12,48
NS-8249	DB10:DB40 50:50	2	1	1	1	1	12,60
NS-8254	DB10:DB40 10:90	2	1	1	1	1	13,08
NS-8248	DB10:DB40 20:80	2	1	1	1	1	12,96
NS-8245	DB10	2	1	1	1	1	12,00

čad sa prečnikom čestica manjim od 0,045 mm i kobalt trioksid sa srednjim prečnikom čestica manjim od 0,001 mm.

Iz eksperimentalno dobijenih rezultata izvedeni su matematički modeli zakonitosti brzine sagorevanja, $V=bP^n$, sa odgovarajućim kvadratom koeficijenta korelacije (r^2) koji su prikazani u tabeli 4.

Kao mera efikasnosti balističkih modifikatora korišćen je koeficijent katalitičke aktivnosti [3], K_v , tj. odnos brzine

sagorevanja DRG sa balističkim modifikatorima (katalizovana DRG) i brzine sagorevanja odgovarajućih referentnih modela bez modifikatora (nemodifikovana DRG):

$$K_v = \frac{V_k}{V_o}$$

gde je:

V_k – brzina sagorevanja katalizovanog DRG;

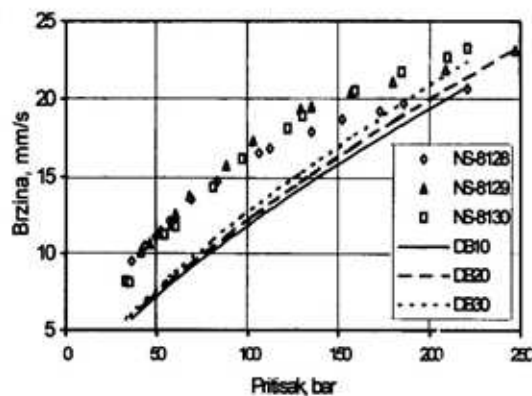
V_o – brzina sagorevanja nekatalizovanog DRG.

Sem toga, imajući u vidu ulogu balističkih modifikatora (regulisanje nivoa brzine sagorevanja i istovremenog sma-

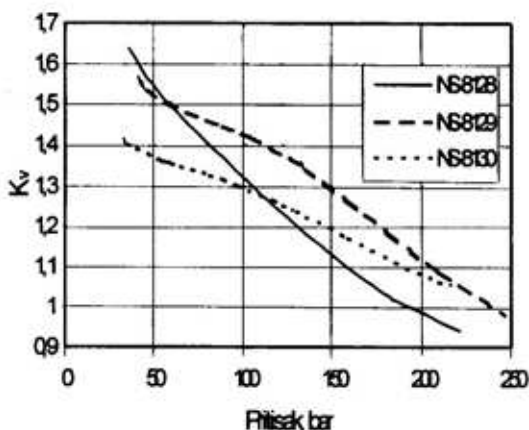
Tabela 4

Parametri u zakonitosti brzine sagorevanja DRG

Oznaka DRG	$V=b \cdot P^n$			
	b (mm/s)	n (-)	r^2 (-)	Interval pritiska (bar)
NS-8128	1,440	0,527	0,998	36–100
	4,010	0,302	0,995	100–221
NS-8129	1,163	0,580	0,996	41–129
	5,110	0,273	0,998	129–247
NS-8130	0,902	0,627	0,997	33–130
	2,900	0,385	0,998	130–221
NS-8138	1,215	0,570	0,997	40–125
	4,487	0,297	0,999	125–234
NS-8139	0,828	0,652	0,992	55–127
	3,809	0,334	0,984	127–207
NS-8251	1,676	0,535	0,951	67–154
	21,522	0,025	0,600	154–234
NS-8252	1,012	0,652	0,998	58–124
	16,140	0,081	0,967	141–194
NS-8245	2,696	0,440	0,995	81–150
	29,045	-0,036		150–207
NS-8248	1,977	0,497	0,976	119–148
	7,576	0,227	0,850	148–186
NS-8254	0,652	0,740	0,999	46–108
	4,047	0,353	0,988	123–223
NS-8247	1,517	0,553	0,998	65–134
	12,940	0,115	0,966	134–191
NS-8249	1,649	0,538	0,989	70–152
	7,800	0,222	0,957	152–260
NS-8250	0,989	0,640	0,993	47–143
	10,270	0,166	0,998	143–242
NS-8253	1,029	0,643	0,993	57–128
	6,938	0,248	0,980	142–231



Sl. 1 – Zavisnosti brzine sagorevanja od pritiska za sastave NS-8128, NS-8129 i NS-8130, na bazi čistih jakih smeša DB10, DB20 i DB30



Sl. 2 – Zavisnosti koeficijenta katalitičke aktivnosti od pritiska za sastave NS-8128, NS-8129 i NS-8130

njenja eksponenta pritiska i temperaturnog koeficijenta) [3, 5, 7], kao mera njihove efikasnosti korišćena je i vrednost eksponenta pritiska (n) modifikovanih DRG, tabela 4.

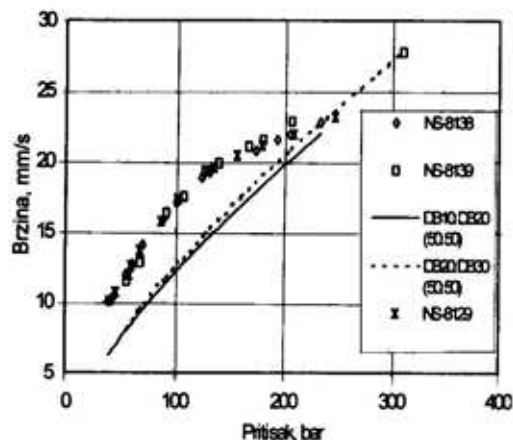
Eksperimentalno određene vrednosti brzine sagorevanja, za sastave NS-8128, NS-8129 i NS-8130, na bazi čistih jakih smeša (DB10, DB20 i DB30), tabela 2, sa odgovarajućim teorijski izračunatim brzinama sagorevanja za pomenute jake smeše, korišćenjem vrednosti toplotnih potencijala iz tabele 1, prikazane su na slici 1.

Određene vrednosti koeficijena katalitičke aktivnosti za sastave NS-8128, NS-8129 i NS-8130 prikazane su na slici 2.

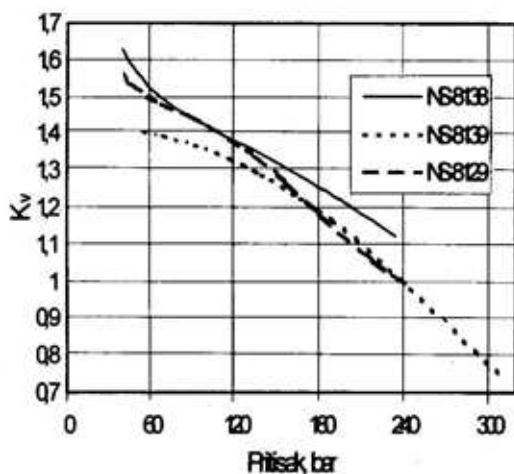
Eksperimentalno određene vrednosti brzine sagorevanja, za sastave NS-8138 i NS-8139 na bazi mešavine jakih smeša DB10:DB20 (u masenom odnosu 50:50) i DB20:DB30 (u masenom odnosu 50:50) i NS-8129 na bazi čiste jake smeše DB20, tabela 2, sa odgovarajućim teorijski izračunatim brzinama sagorevanja, korišćenjem vrednosti toplotnih potencijala iz tabele 1 [3], za pomenute mešavine jakih smeša, prikazane su na slici 3.

Određene vrednosti koeficijena katalitičke aktivnosti za sastave NS-8138, NS-8139 i NS-8129 prikazane su na slici 4.

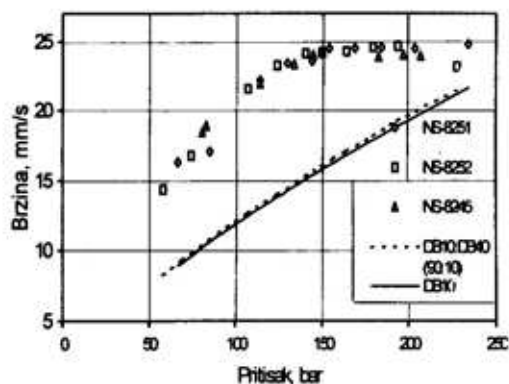
Eksperimentalno određene vrednosti brzine sagorevanja, za sastave NS-8251 i NS-8245 (na bazi čiste jake smeše DB10) i NS-8252 na bazi mešavine jakih smeša DB10:DB40 (u masenom odnosu 90:10) tabela 3, sa odgovarajućom teorij-



Sl. 3 – Zavisnosti brzine sagorevanja od pritiska za sastave NS-8138 i na bazi mešavine jakih smeša DB10:DB20 (50:50) i DB20:DB30 (50:50) i NS-8129 na bazi jake smeše DB20



Sl. 4 – Zavisnosti koeficijenta katalitičke aktivnosti od pritiska za sastave NS-8138, NS-8139 i NS-8129



Sl. 5 – Zavisnosti brzine sagorevanja od pritiska za sastave NS-8251 i NS-8245 (na bazi jake smeše DB10) i NS-8252 na bazi mešavine jakih smeša DB10:DB40 (90:10)

ski izračunatom brzinom sagorevanja za pomenute jake smeše, korišćenjem vrednosti toplotnih potencijala iz tabele 1 [3], prikazane su na slici 5.

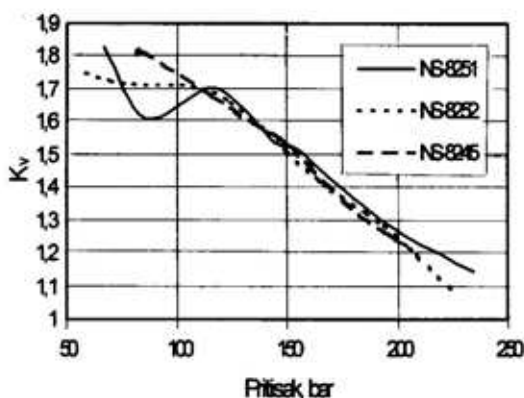
Odredene vrednosti koeficijena katalitičke aktivnosti za sastave NS-8251, NS-8245 i NS-8252 prikazane su na slici 6.

Eksperimentalno određene vrednosti brzine sagorevanja, za sastave NS-8248 i NS-8254, na bazi mešavine jakih smeša

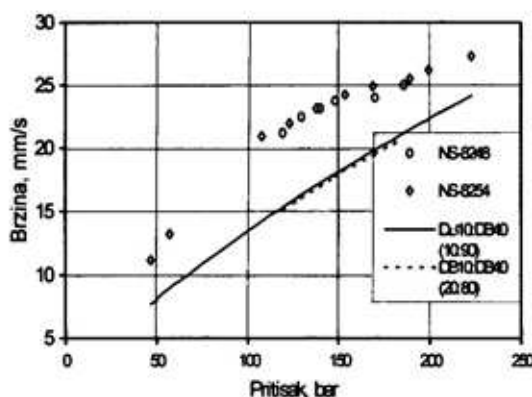
DB10:DB40 (u masenom odnosu 10:90 odnosno 20:80), tabela 3, sa odgovarajućim teorijski izračunatim brzinama sagorevanja, korišćenjem vrednosti toplotnih potencijala iz tabele 1 [3], za pomenute mešavine jakih smeša, prikazane su na slici 7.

Odredene vrednosti koeficijena katalitičke aktivnosti za sastave NS-8248 i NS-8254 prikazane su na slici 8.

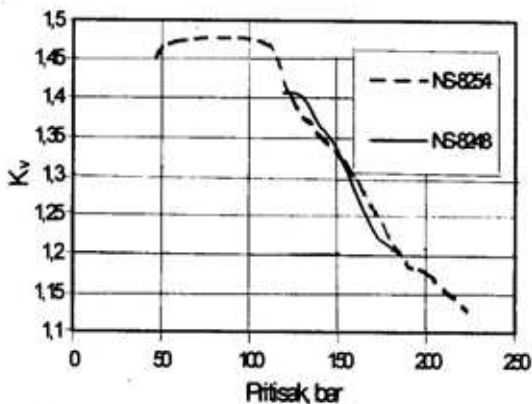
NS-8138 i NS-8139, identičnog sastava samo različitog srednjeg sadržaja azota. Odredene vrednosti koeficijena



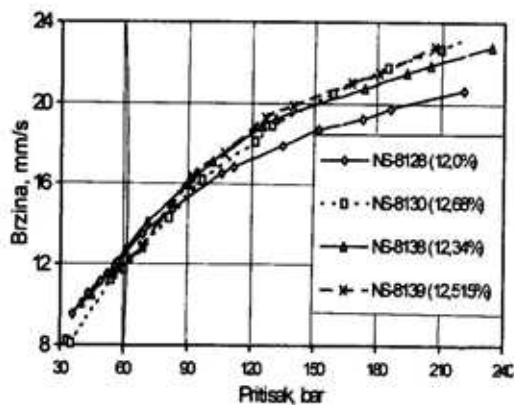
Sl. 6 – Zavisnosti koeficijenta katalitičke aktivnosti od pritiska za sastave NS-8251, NS-8245 i NS-8252



Sl. 7 – Zavisnosti brzine sagorevanja od pritiska za NS-8248 i NS-8254, na bazi mešavine jakih smeša DB10:DB40 (10:90 odn. 20:80)



Sl. 8 – Zavisnosti koeficijenta katalitičke aktivnosti od pritiska za sastave NS-8248 i NS-8254



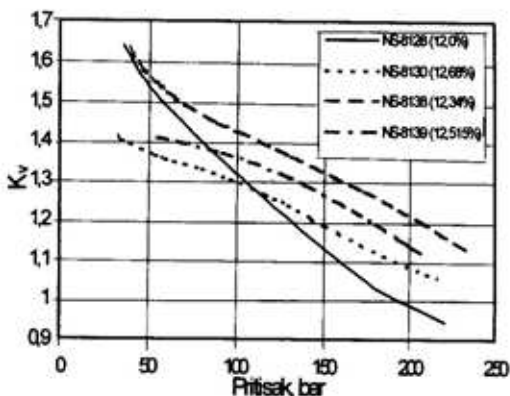
Sl. 9 – Zavisnosti brzine sagorevanja od pritiska za NS-8128, NS-8130, NS-8138 i NS-8139

katalitičke aktivnosti za sastave NS-8128, NS-8130, NS-8138 i NS-8139, date su na slici 10.

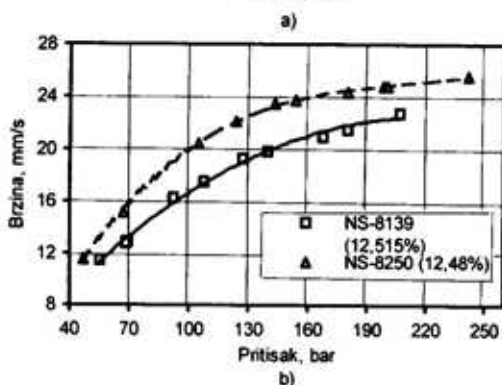
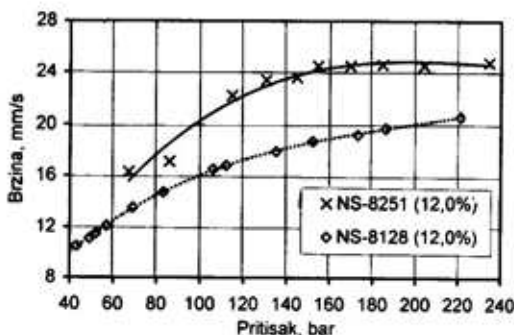
Na slikama 11 i 12 prikazane su eksperimentalno određene vrednosti brzine sagorevanja sastava identičnog sadržaja balističkih katalizatora, a različite veličine čestica.

Odnosi brzina sagorevanja sastava sa finijim česticama modifikatora prema brzinama sagorevanja sastava sa krupnijim česticama, na pritisku od 120 bara (u području „super brzina“) iznose: 1,275

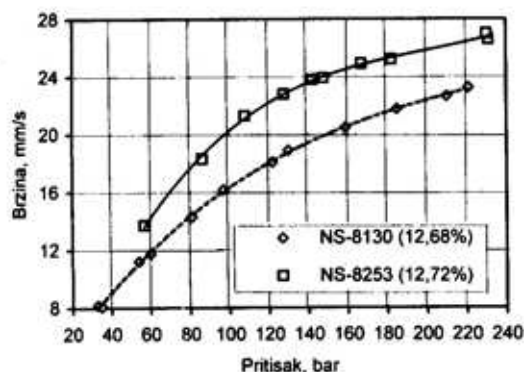
za sastave NS-8251 i NS-8128, 1,127 za sastave NS-8250 i NS-8139 i 1,232 za sastave NS-8253 i NS-8130. Odnos brzi-



Sl. 10 – Zavisnosti koeficijenta katalitičke aktivnosti od pritiska za sastave NS-8128, NS-8130, NS-8138 i NS-8139



Sl. 11 – Zavisnosti brzine sagorevanja od pritiska za sastave NS-8251, NS-8128, NS-8250 i NS-8139, identičnog sadržaja balističkih katalizatora, a različite veličine čestica



Sl. 12 – Zavisnosti brzine sagorevanja od pritiska za sastave NS-8130 i NS-8253, identičnog sadržaja balističkih katalizatora, a različite veličine čestica

na sagorevanja sastava NS-8129 (12,35% N₂) prema NS-8128 (12,0% N₂) iznosi 1,098. Analizom navedenih odnosa brzina sagorevanja uočava se da je uticaj veličine čestica modifikatora dominantniji od uticaja masenog udela azota u ugrađenim nitrocelulozama u ispitivanim opitnim modelima.

Analiza rezultata eksperimentalnih ispitivanja

Rezultati ispitivanja (slika 2) pokazuju da najveću katalitičku aktivnost balističkih modifikatora (u intervalu pritiska od 60 do 220 bara) ima sastav NS-8129. Iz tabela 2 i 4 i sa slika 1 i 3 vidi se da sa porastom masenog udela azota dolazi do pomeranja plato-efekta ka području većih pritisa. Takođe, vidi se da je eksponent pritiska najveći kod sastava NS-8130 (sastav sa najvećim srednjim masenim sadržajem azota).

Sa slike 4 vidi se da najveću katalitičku aktivnost balističkih modifikatora ima sastav NS-8138. Iz tabela 4 i sa slike 3 može se uočiti da sastavi NS-8129 i

NS-8138 imaju vrlo slične zakonitosti brzine sagorevanja, što navodi na zaključak da barutni sastavi identičnog sastava (bez obzira na način dobijanja takvog srednjeg sadržaja azota) imaju vrlo slične zakonitosti brzine sagorevanja.

Najveći eksponent pritiska ima sastav NS-8139 (sastav sa najvećim srednjim masenim sadržajem azota).

Sa slike 6 vidi se da je katalitička aktivnost balističkih modifikatora sastava NS-8251 i NS-8245 u intervalu pritiska od 110 do 200 bara veoma slična. Iz tabela 4 i sa slike 5 vidi se da pomenuti sastavi imaju vrlo slične zakonitosti brzine sagorevanja (u oblasti platoa), što navodi na zaključak da barutni sastavi identičnog sastava (bez obzira na način dobijanja takvog srednjeg sadržaja azota) imaju vrlo slične zakonitosti brzine sagorevanja. Na osnovu dobijenih zakonitosti brzine sagorevanja, za NS-8251 i NS-8245, može se videti i odlična reproduktivnost rezultata pomenutih ispitivanja. Ista ispitivanja važe i za sastave NS-8248 i NS-8254 (u području pritisa 120 do 180 bara).

Sa porastom srednjeg sadržaja azota iznad 12,34%, tabela 4, dolazi do porasta eksponenta u zakonitosti brzine sagorevanja, kao i do pomeranja pritiska početka plato-oblasti ka višim pritiscima.

Najmanju katalitičku aktivnost u intervalu pritisa od 100 do 220 bar, slika 10, pokazuje sastav sa najmanjim srednjim sadržajem azota. Sastav sa 12,34% azota u intervalu pritisa od 50 do 220 bar pokazuje najveću katalitičku aktivnost.

Na osnovu zakonitosti brzine sagorevanja, tabela 4, za sastave NS-8251, NS-8247, NS-8249 i NS-8254 jasno se

vidi da sa porastom srednjeg masenog udela azota (u oblasti platoa) dolazi do porasta eksponenta pritiska.

Sa slika 11 i 12 vidi se znatan porast brzine sagorevanja pri korišćenju balističkih modifikatora manjih veličina čestica (CO_2O_3 , ispod 0,005 mm, odnosno ispod 0,001 mm).

Zaključak

Na osnovu eksperimentalnih rezultata iznetih u ovom radu može se konstatovati sledeće:

– katalitička aktivnost u opitnim modelima DRG, posmatrana preko K_V , raste sa porastom udela azota u nitrocelulozi. Plato-efekat balističkih modifikatora pomera se ka većem nivou pritiska sa povećanjem stepena nitracije nitroceluloza ugrađenih u opitne modele;

– uzimajući u obzir kvalitet opitnih modela, posmatrano preko koeficijenta n , u zakonitosti sagorevanja, uočava se da nitroceluloza sa manjim stepenom nitraci-

je, ispod 12,5%, uslovljava uvećanje brzine gorenja uz smanjenje koeficijenta n za ispitivane tipove balističkih modifikatora;

– uticaj masenog udela azota na brzinu sagorevanja nije uslovljen načinom dobijanja srednjeg udela azota u nitrocelulozi;

– uočava se da je uticaj veličine čestica modifikatora dominantniji na brzinu sagorevanja od uticaja masenog udela azota u ugrađenim nitrocelulozama u ispitivanim opitnim modelima.

Literatura:

- [1] Preckel, R. F.: Plateau Ballistics in nitrocelulose Propellants, AIAA Journal, Vol 3, Feb. 1965, pp. 346–347.
- [2] Kubota, N.: Determination of plateau burning effect of catalyzed double-base propellants, 17th Symposium on combustion institute, Pittsburgh, Pa., 1979, pp. 1435–1441.
- [3] Maslak, P.: Uperedno ispitivanje različitih balističkih modifikatora u dvobaznim barutima, magistarski rad, Beograd, 1990.
- [4] Kubota, N.: Role of additives in Combustion waves and effects on stable combustion limit of double-base propellants, Propellants and Explosives, 3, 1978, pp. 163–168.
- [5] Maslak, P.: Novi sastavi dvobaznih raketnih baruta, TI-636, 1984.
- [6] Opšti tehnološki postupak proizvodnje ekstrudovanih dvobaznih raketnih goriva i pogonskih punjenja, TP 5000.
- [7] Maslak, P.: Katalitička aktivnost jedinjenja olova i bakra u reakciji sagorevanja dvobaznih raketnih goriva, ITI-13, 1985.