

Mr Ljubiša Tančić,
potpukovnik, dipl. inž.
Vojnotehnička akademija VJ,
Beograd

UTICAJ POČETNE TEMPERATURE NA BRZINU SAGOREVANJA BARUTA U OBLASTI VISOKOG PRITISKA

UDC: 632.522.001.573

Rezime:

Razmatran je uticaj početne temperature na balističke karakteristike baruta i izlazne parametre gasodinamičkog proračuna. Za termohemijske i unutrašnjebalističke proračune korišćene su analitičke metode. Proračuni se izvode programskim rešenjima u fortranu na personalnom računaru tipa 486, sa odabranim barutom za oruđe konkretnog kalibra. Analizom rezultata proračuna izvedeni su određeni zaključci.

Ključne reči: brzina sagorevanja, početna temperatura, karakteristike baruta, gasodinamički proračun.

INITIAL TEMPERATURE INFLUENCE ON THE POWDER SPEED COMBUSTION IN THE HIGH PRESSURE RANGE

Summary:

The initial temperature influence on the ballistics characteristics of powder is considered as well as the parameters of gas dynamics calculations. Analytical methods for thermal chemical and interior ballistics calculations are used. The calculations are derived on the basis of FORTRAN language programs in 486 type PC computer using particular artillery gun powder. The results of calculations are analyzed and some conclusions are defined.

Key words: speed combustion, initial temperature, characteristics of powder, gas dynamics calculations.

Uvod

Proces opaljenja metka je složen termodinamički i gasodinamički proces vrlo brzog pretvaranja hemijske energije baruta najpre u toplotnu, a zatim u kinetičku energiju barutnih gasova koji prouzrokuju kretanje sistema: »projektil — cev — punjenje — lafet«. Ovaj proces se odvija pri visokim pritiscima (do 400 MPa) i temperaturi barutnih gasova pri njihovom stvaranju 2500 do 3700 K. Proces traje vrlo kratko, svega nekoliko hiljaditih, odnosno stotih delova sekunde. Početne brzine projektila su

do 1600 m/s, a maksimalna ubrzanja do 200000 m/s². To ukazuje da su oruđa — oružja praktično toplotne mašine snage jedne velike hidroelektrične centrale. U ovakvom procesu opaljenja pojavljuju se ogromne sile koje zahtevaju odgovarajući tretman pri razmatranju ove problematike.

Osnovni zadatak unutrašnje balistike je definisanje zakonitosti kretanja projektila za poznato oruđe — oružje. Za rešenje osnovnog zadatka potrebni su polazni podaci vezani za: cev, projektil i barut. Polazni podaci za barut su model i tip sa fizičko-hemijskim i balističkim karakteristikama.

Oruđa — oružja dejstvuju u različitim vremensko-klimatskim uslovima, tako da početna temperatura deluje na: rad posluge, odziv elektronskih, optičkih, hidropneumatskih i mehaničkih sklopova, kao i na promenu balističkih i fizičko-hemijskih karakteristika baruta. U ovom radu je analiziran uticaj početne temperature na fizičko-hemijske i balističke karakteristike baruta u oblasti visokog pritiska.

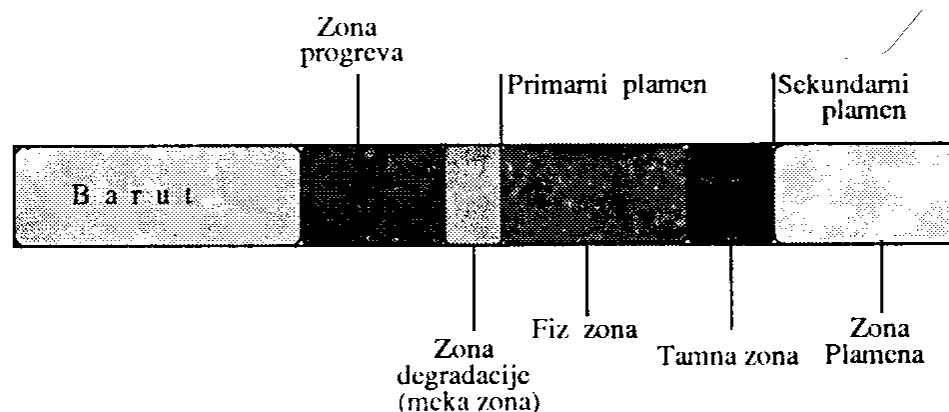
Termička dekompozicija baruta

Pri deflagraciji baruta dolazi do konduktivnog prenosa toplote sa površine u unutrašnjost baruta, čime se i energija aktivacije procesa hemijskog razlaganja predaje sa sloja na sloj, od površine u dubinu. Sagorevanjem baruta, komponente (nitroceluloza, nitroglicerina, plastifikator, balistički modifikatori, itd.) »prolaze« nepromenjene kroz zonu progrevanja debljine nekoliko desetina mikrona (slika 1) i dolaze do površinske zone degradacije, koja se naziva i meka zona [1]. Na ovom mestu temperatura je dovoljno visoka da izazove termičku dekompoziciju baruta koja predstavlja kompleksnu reakciju u čvrstoj fazi i koja se sastoji od niza paralelnih reakcija koje su nedovoljno ispitane.

sa dekompozicije: mase i homogenosti baruta, atmosfere u kojoj se vrši sagorevanje, pritiska, brzine grejanja baruta itd. Za ispitivanje procesa dekompozicije baruta primenjuju se termoanalitičke metode koje su poslednjih godina često zastupljene u hemijskim istraživanjima i kontroli kvaliteta [2].

Struktura plamena je funkcija sastava baruta i uslova pod kojima se odvija proces sagorevanja: pritiska i početne temperature. Pri tome barut proizvodi toplotu i produkte sagorevanja. Toplota se sa vrelih gasova prenosi nazad na čvrst barut i zagreva ga do temperature dekompozicije, što izaziva termičku dekompoziciju površinskih slojeva, uz sagorevanje produkata dekompozicije iznad površine baruta.

Sagorevanjem se hemijska energija baruta pretvara u toplotnu. Nosilac toplotne energije su barutni gasovi, koji imaju visoku temperaturu i pritisak. Zakonitosti sagorevanja baruta detaljno su razmatrane samo pri niskim pritiscima ($p < 10$ MPa) dok je pri visokim pritiscima istraživan samo uticaj pritiska na brzinu sagorevanja [3]. Uticaj početne temperature, T_0 , na balističke karakteristike baruta i izlazne parametre gasodinamičkog proračuna praktično nije istraživan. U is-

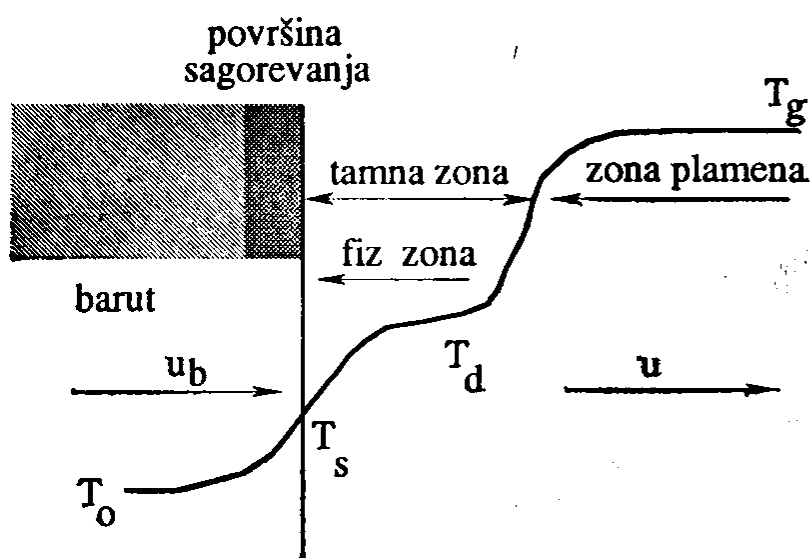


Sl. 1 — Zone sagorevanja baruta

Brzina procesa dekompozicije zavisi od jedne ili više simultanih reakcija, kao i od uslova odvijanja proce-

to vreme poznate zavisnosti brzine sagorevanja u funkciji početne temperature $u(T_0)$ omogućavaju da se u ovom

radu dođe do odgovora o mehanizmu sagorevanja baruta pri visokim pritiscima do 300 MPa i $T_0=223-323$ K.



Sl. 2 — Pojednostavljen model sagorevanja baruta

w_s — brzina reakcije komponenata, Q_s — količina toplote u gasovitoj fazi

Autori [3] su za svoje istraživanje odabrali balistite koji su energetske naj snažniji baruti i imaju veliku br-

zinu sagorevanja. Oni se koriste kod oruđa gde se traži velika impulzivnost (bacači, haubice, brdski topovi). Balistiti imaju visoku temperaturu sagorevanja (oko 3700 K), pa se zbog toga prvenstveno koriste kod oruđa sa malim punjenjima, a samo izuzetno kod oruđa sa velikim punjenjima, zbog erozije cevi. Kod odabranih baruta odnos između želatinizatora i nitroceluloze se menja od 26,5/56 do 60/40. Kao želatinizator i energetska komponenta može se naći nitroglicerina (NGL), nitroglikol (EGDN) i dietilenglikoldinitrat (DEGN). Tako se dobijaju različiti modeli baruta, koji se razlikuju po temperaturi sagorevanja. Karakteristike svih istraživanih sastava baruta svrstane su u tabeli 1. Inače, svi baruti iz tabele sadrže po 0,5—1,0% centralita i vazelina kao aditiva.

Slova u oznakama baruta označavaju tip želatinizatora, tj. druge energetske aktivne komponente, pored ni-

Karakteristike baruta

Tabela 1

Barut	Energetska komponenta	Q (kJ/kg)	T _g (K) pri p=300 MPa	f (kJ/kg)
N265	NGL	3278	2062	970
N280		3866	2322	1048
N330		4359	2627	1110
N453		4796	2889	1164
N490A		5198	3126	1196
N495		5363	3229	1203
N545		5543	3329	1220
N600		5887	3509	1237
D330	DEGN	3281	2029	965
D430		3869	2286	1052
NG280	EGDN	3889	2298	1042
NG490		5239	2994	1180

troceluloze, a brojke njegov sadržaj u desetinkama procenta, (Q — predstavlja toplotnu moć baruta, a f — specifičan rad baruta tj. »silu baruta«).

Analizom karakteristika baruta iz tabele 1 dolazi se do zaključka da porastom toplotne moći baruta raste »sila« baruta, temperatura barutnih gasova i jedinična brzina sagorevanja baruta, a opada kovolumen barutnih gasova [4].

U literaturi [3] dati su rezultati eksperimenata koji su realizovani radi određivanja brzine sagorevanja, a korišćene su metode Veljua i ugaonih tačaka.

Za metodu Veljua usvaja se jednačina brzine sagorevanja baruta

$$u = Bp^v \quad (1)$$

Koeficijenti B i v određuju se metodom najmanjih kvadrata na osnovu dobijenih eksperimentalnih podataka.

Metodom ugaonih tačaka brzina sagorevanja određuje se eksperimentalno i to na osnovu veličine svoda barutnog zrna e i vremena njegovog sagorevanja τ :

$$u = 2e/2(\tau_2 - \tau_1) \quad (2)$$

Promenom mase dopunskog punjenja menja se i jednačina pritiska. Za svaku temperaturu u intervalu $p = 25-40$ MPa realizovana su po 15-20 opita s različitim masama dopunskog punjenja kako bi se dobila kriva $u(p)$ metodom ugaonih tačaka.

Metodika ispitivanja obezbeđuje srednje kvadratno odstupanje brzine sagorevanja, za metodu Veljua, manje od 5 do 7%, a za metodu ugaonih tačaka manje od 2 do 3%. Podaci za brzinu sagorevanja pri 25-40 MPa, dobijeni u manometarskoj bombi promenljivog pritiska, slažu se sa rezultatima dobijenim u bombi konstantnog pritiska. Zavisnost $u(T_0)$ definiše

se temperaturnim koeficijentom brzine sagorevanja:

$$\beta = \left. \frac{\partial \ln u}{\partial T_0} \right|_{p = \text{const}} \quad (3)$$

Autori [3] ukazuju da tačno određivanje β iziskuje izvesne metodičke poteškoće, i daju konkretniji odnos:

$$\delta_\beta = \frac{2\delta_u}{\beta(T_2 - T_1)} + \frac{T_2 + T_1}{T_2 - T_1} \delta_T$$

gde je:

— δ_β , δ_u , δ_T — odstupanja pri određivanju veličina β , u i T ;

— $T_2 - T_1$ — temperaturni interval ispitivanja.

Na osnovu rezultata datih u tabeli 2, za smanjenje δ_β neophodno je sprovesti ispitivanja u što je moguće širem temperaturnom intervalu, na primer 223-323K. Pri tome, treba primeniti metodu koja obezbeđuje visoku tačnost određivanja brzine sagorevanja (odstupanje manje od 3%), kao

Tabela 2

Temperaturni koeficijent

$\beta \left(\frac{\%}{\text{K}} \right)$	$\delta_u (\%)$	$\delta_\beta (\%)$ — pri T (K)	
		223—323	293—323
	2	46	116
1	3	66	166
	5	106	266
	7	146	—
	2	19	49
3	3	26	66
	5	39	99
	7	52	—

* $\delta_T = 1\%$

Tabela 3

Brzina sagorevanja baruta

Barut	T ₀ (K)	B $\left(\frac{\text{mm}}{\text{sMPa}} \right)$	v	u (mm/s) — pri p (MPa)	
				100	300
1	2	3	4	5	6
N265	223	0,30	1,11	50	168
	293	0,52	1,05	65	207
	323	0,48	1,08	69	225
N280	223	0,53	1,06	69	219
	293	1,03	0,96	87	249
	323	1,02	0,97	89	259
N330	223	0,79	1,00	79	236
	293	1,54	0,88	89	233
	323	1,29	0,95	103	291
N453	223	0,96	0,99	92	272
	293	1,37	0,96	114	327
	333	1,46	0,96	121	349
N490	223	1,27	0,97	109	317
	293	1,84	0,94	139	391
	323	1,97	0,94	151	426
N495	223	1,47	0,95	117	332
	293	1,91	0,94	145	407
	323	2,18	0,94	165	465
N545	223	1,41	0,99	135	400
	293	2,62	0,90	165	444
	323	2,38	0,93	172	479
N600	223	1,72	0,93	126	350
	293	2,16	0,94	161	450
	323	2,54	0,91	169	459
D330	223	0,31	1,10	49	163
	293	0,45	1,07	63	203
	323	0,45	1,07	62	202
D430	223	0,42	1,08	62	205
	293	0,60	1,06	79	255
	323	0,67	1,04	82	259
NG280	223	0,34	1,12	60	206
	293	0,54	1,07	75	245
	323	0,56	1,07	78	253
NG490	223	0,42	1,16	87	310
	293	0,80	1,08	115	377
	323	0,86	1,07	118	380

što je metoda ugaonih tačaka u manometarskoj bombi konstantnog pritiska.

Veličine brzine sagorevanja, pri različitim p i T_0 , prikazane su u tabeli 3.

Analizom rezultata prikazanih u tabeli 3 uočava se da porastom početne temperature baruta raste jedinična brzina sagorevanja, koeficijent v i brzina sagorevanja baruta. Očigledno je da sa povećanjem pritiska barutnih gasova raste brzina sagorevanja.

Veličina temperaturnog koeficijenta brzine gorenja za različite barute prikazana je u tabeli 4. Karakteristika β opada sa porastom pritiska p i praktično ne zavisi od sastava baruta.

Tabela 4

Temperaturni koeficijent

Barut	$\beta \left(\frac{\%}{K} \right) - \text{pri } p \text{ (MPa)}$			
	50	100	200	300
N265	3,5	3,3	3,1	3,0
N280	3,2	2,6	2,0	1,7
N330	3,0	2,6	2,3	2,1
N453	3,6	3,3	3,1	2,9
N490	3,4	3,2	3,1	3,0
N495	3,6	3,5	3,4	3,4
N545	3,4	2,9	2,4	2,1
N600	3,1	2,9	2,8	2,7
D330	2,6	2,4	2,2	2,1
D430	3,1	2,8	2,5	2,3
NG280	2,9	2,6	2,2	2,0
NG490	3,7	3,0	2,4	2,0

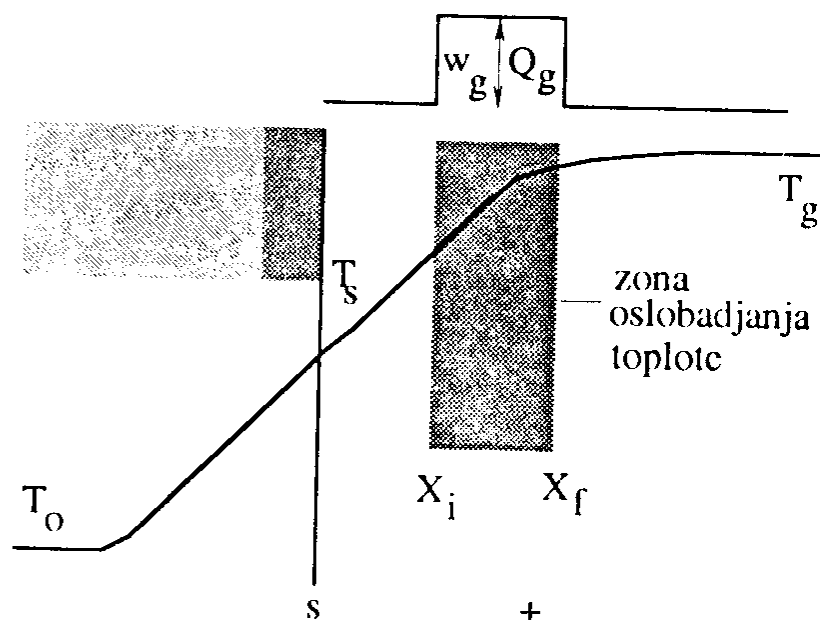
Na osnovu literature i kritičkog razmatranja mogućih mehanizama sagorevanja baruta pri visokom pritisku dolazi se do spoznaje da teorija sagorevanja baruta nije u potpunosti proučena. Razvoj savremene elektronike i mogućnosti koje ona pruža u

pogledu sve potpunijeg merenja pojava i procesa sagorevanja baruta verovatno će u skoroj budućnosti upotpuniti postojeću teoriju sagorevanja baruta. Više istraživača merilo je temperaturu površine sagorevanja i energiju aktivacije za reakcije u kondenzovanoj fazi. Njihovi rezultati su dosta dobro usaglašeni i zadovoljavaju teorijske procene, pa se može izvesti zaključak da je degradacija baruta termički fenomen [1, 2].

Gasovita faza je posebno kompleksna pošto sadrži veliki broj komponenti i reakcionih procesa. Da bi se shvatili reakcioni procesi koji se dešavaju u gasovitoj fazi, moraju se poznavati brzine reakcija svake komponente. Samo na taj način u ovoj zoni mogu se rešiti bilansne jednačine, odnosno odrediti brzina prenošenja toplote sa gasovite faze na površinu sagorevanja i na taj način odrediti brzina sagorevanja.

Moguća su tri slučaja od kojih zavisi brzina reakcije u gasovitoj fazi:

1. Ako se pretpostavi da se hemijska reakcija dešava samo u ograničenom području i da je brzina reakcije konstantna u području $X=X_i$



Sl. 3 — Pretpostavljena reakciona zona pri sagorevanju baruta

i $X=X_f$, kao što je prikazano na slici 3. Brzina reakcije u gasovitoj fazi može se izraziti stepenastom funkcijom.

Debljina reakcione zone $\delta_g = X_f - X_i$ određuje se na osnovu reakcionih mehanizama u gasovitoj fazi.

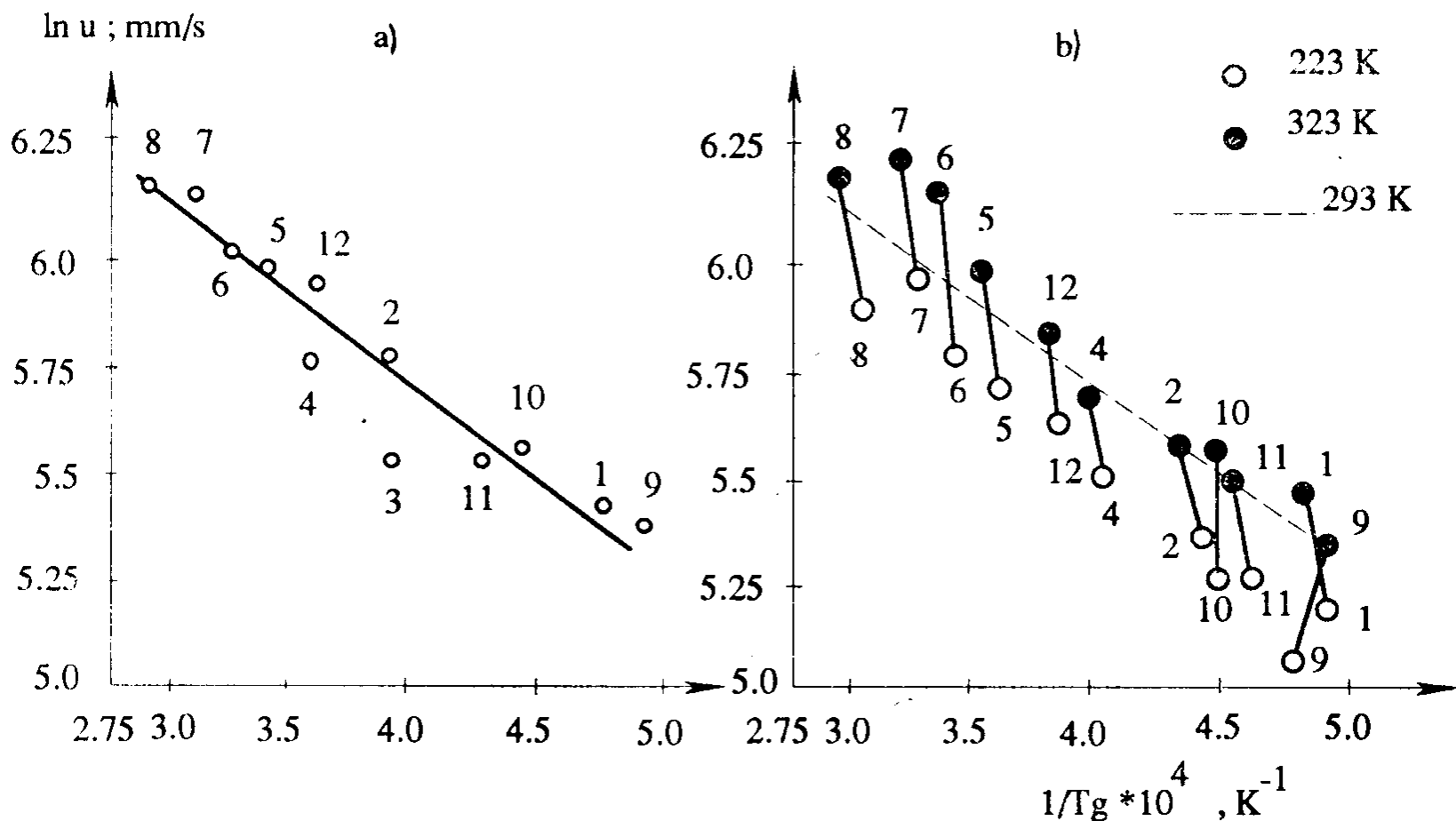
2. U ekstremnim uslovima primene slučaja 1, može se usvojiti da je $X_i = 0$. U tom slučaju reakcija startuje na površini sagorevanja. Odavde se može izračunati koliko toplote se iz reakcione zone u gasovitoj fazi vrati na površinu sagorevanja.

3. Ako se pretpostavi drugi ekstremni slučaj za brzinu reakcije u gasovitoj fazi, i da je $X_i = X_f$, znači da je debljina reakcione zone ekstremno mala, a brzina reakcije beznačajna ili beskonačna.

Usvaja se pretpostavka da pri povećanju pritiska p vodeća reakcija*

ni najmanje nije isključeno da se vodeća reakcija odvija pri visokom pritisku i u ovoj fazi.

Određivanje veličine β u pri visokom pritisku vrši se u gasnoj fazi pri maksimalnoj temperaturi T_g i jednakoj energiji aktivacije E za sve razmatrane sastave. Odabira se model i tip baruta, a zatim se postavlja verovatni model termičkog raspada nitroceluloze na osnovu kinetike mogućih hemijskih reakcija [5]. Tada je veličina $\beta = E/(2RT_g^2)$ veća što je T_g manje, i ne zavisi od p , pošto se T_g u oblasti visokog pritiska ne menja bitno sa porastom pritiska. Pri tome bi veličina β , za sastave H265 i D330, bila skoro tri puta veća od veličine za H600. Me-



Sl. 4 — Zavisnost u (T_g) za $p = 300$ MPa (brojevi oko tačaka odgovaraju barutima iz tabele 1)

prethodi transformaciji kondenzovane u gasnu fazu, zanemarujući porast temperature na površini T_s [3]. Time

* Pod terminom vodeća reakcija ovde se podrazumeva sveukupnost odvijanja mnogih istovremenih reakcija s učešćem takvih oksidatora kao što su NO_2 i NO koji se stvaraju u toku procesa razlaganja komponenata baruta [3].

đutim, analizom karakteristika β za sastave H265 i H600 uočava se razlika od samo 8—12%, što se nalazi u području dozvoljenog odstupanja tokom eksperimentisanja, a za barut D330 karakteristika β je čak nešto niža nego kod baruta H600.

Ako se brzina sagorevanja baruta određuje na osnovu reakcije gasovite faze pri maksimalnoj temperaturi, tada se koordinatama $\ln u$ ($1/T_g$) mora dobiti prava linija. Prema tome, kako se uočava na slici 4a, eksperimentalne tačke (osim sastava H330) dobro definišu pravu liniju s tangensom ugla nagiba, koji odgovara $E=74$ KJ/mol. Ako se u istim koordinatama (slika 4b), nanesu brzine sagorevanja, određene pri različitim T_0 ($dT_g/dT_0=1$), tada se uočava da promena početne temperature izaziva nesrazmerno veći uticaj na brzinu sagorevanja, što takođe menja T_g . Ako je veličina $dT_g/dT_0 < 1$, to je razlika još veća. Pri kazani rezultati mogu se objasniti samo uz pretpostavku da se pri visokim pritiscima sagorevanja baruta, vodeća reakcija pomera iz gasovite u kondenzovanu fazu. Prema tome, temperaturni koeficijent brzine sagorevanja opada pri povećanju p i vrlo slabo se menja pri prelazu sa jednog sastava na drugi, upravo tako kako T_s raste pri povećanju p uz neznatno menjanje pri promeni sastava baruta [3].

Unutrašnji balistički proračun konkretnog oruđa i diskusija rezultata

Očigledno je da početna temperatura baruta utiče na fizičko-hemijske i balističke karakteristike baruta. Za proračun određenih karakteristika baruta koristi se analitička metoda termohemije baruta [6]. Osnov za proračun je njegov tačan hemijski sastav. Postavljaju se određene relacije za produkte sagorevanja i bilans energije, a iz tih relacija slede i obrasci za proračun karakteristika baruta. Pri njegovom sagorevanju stvaraju se barutni gasovi — produkti sagorevanja, koji mogu biti glavni i sporedni. U glavne spadaju CO_2 , CO , H_2O , H_2 , N_2 a u sporedne OH , H , NO , O , N , O_2 . Podela je izvršena prema njihovoj međusobnoj zastupljenosti u smeši. Sporedni se javljaju u znatno manjoj ko-

ličini od glavnih produkata, i njihova veća količina se javlja tek iznad temperature sagorevanja od 2850 K. Pošto su karakteristike baruta polazni podaci pri gasodinamičkom proračunu, treba utvrditi kako i koliko početna temperatura baruta utiče na izlazne parametre proračuna.

Za rešavanje osnovnog zadatka kod nas se i danas, uglavnom, koristi klasična teorija koja polazi od tzv. geometrijskog zakona sagorevanja baruta. Na osnovu pretpostavki geometrijskog zakona izvodi se nekoliko osnovnih jednačina koje čine sistem jednačina. U tim jednačinama brzina sagorevanja baruta je linearna funkcija pritiska barutnih gasova. Kako je proces opaljenja u termodinamičkom i gasodinamičkom smislu složen neophodno ga je, na odgovarajući način, matematički opisati. Stoga je u matematičkom modelu definisano sagorevanje baruta, kretanje projektila, kretanje barutnih gasova i nesagorelog baruta, a nakon završetka sagorevanja baruta kretanje projektila i širenje barutnih gasova.

Jednačina bilansa energije postavljena je na osnovu I zakona termodinamike, a jednačina kretanja projektila na osnovu II Njutnovog zakona. Pri tome se smatra da se barutni gasovi šire po adijabatskom zakonu. Za rešenje postavljenog sistema jednačina unutrašnje balistike koriste se različite metode poznate u široj literaturi. Ove metode, međutim, imaju određene prednosti i nedostatke. Kako sve polaze od istog sistema jednačina, tačnost im je približno ista, samo je postupak različit. Sve metode daju približno zadovoljavajuća rešenja za oruđa većih kalibara. Pretpostavke na kojima se ove metode zasnivaju ne odstupaju bitno od stvarne slike procesa opaljenja pa se zbog toga koriste u ovom radu.

Za navedenu analizu potrebna su programska rešenja za:

— termohemijski proračun baruta [6],

— unutrašnji balistički proračun [7].

Za testiranje programskih rešenja odabrano je oruđe konkretnog kalibra sa svojim konstruktivnim parametrima, a varirane su samo fizičko-hemijske i balističke karakteristike baruta H265 iz tabele 1, za početne temperature od 223, 293 i 323 K. Rezultati proračuna daju karakter promena: relativne sagorele mase baruta (γ), relativne sagorele debljine baruta (ψ), pritiska barutnih gasova (p), brzine projektila (V), puta projektila u cevi (X) i vreme trajanja procesa opaljenja (t). Zbog obimnosti rezultata proračuna date su samo karakteristične tačke i to one koje su vezane za:

Tabela 5

Maksimalni pritisak

T(K)	p_m (MPa)	V_m (m/s)	X_m (m)	t_m (s)
223	205,1	290,8	0,56	0,0058
293	318,6	373,4	0,60	0,0053
323	389,9	417,3	0,62	0,0050

trenutak ostvarivanja maksimalnog pritiska barutnih gasova (indeks »m«), momenat kraja sagorevanja (indeks »k«) i momenat napuštanja usta cevi (indeks »u«).

Tabela 6

Kraj sagorevanja

T(K)	p_k (MPa)	V_k (m/s)	X_k (m)	t_k (s)
223	nepotpuno sagorevanje			
293	233	705,3	1,917	0,00768
323	342,9	649,18	1,306	0,00631

Rezultati proračuna u tabeli 5 ukazuju na to da sa povećanjem početne temperature baruta raste maksima-

lni pritisak barutnih gasova, kao i brzina i put projektila u trenutku ostvarivanja maksimalnog pritiska, a opada vreme ostvarivanja maksimalnog pritiska.

Rezultati proračuna u tabeli 6, ukazuju na to da se sa povećanjem početne temperature baruta povećava pritisak i brzina projektila, a smanjuje put projektila i vreme sagorevanja barutnog punjenja. Prvi red tabele ukazuje na to da se kod početne temperature od 223 K dobija nepotpuno sagorevanje koje znači da je projektil napustio usta cevi, a nije završeno sagorevanje barutnog punjenja. Takva kombinacija ulazno-izlaznih parametara ne daje dobro balističko niti ekonomično rešenje oruđa.

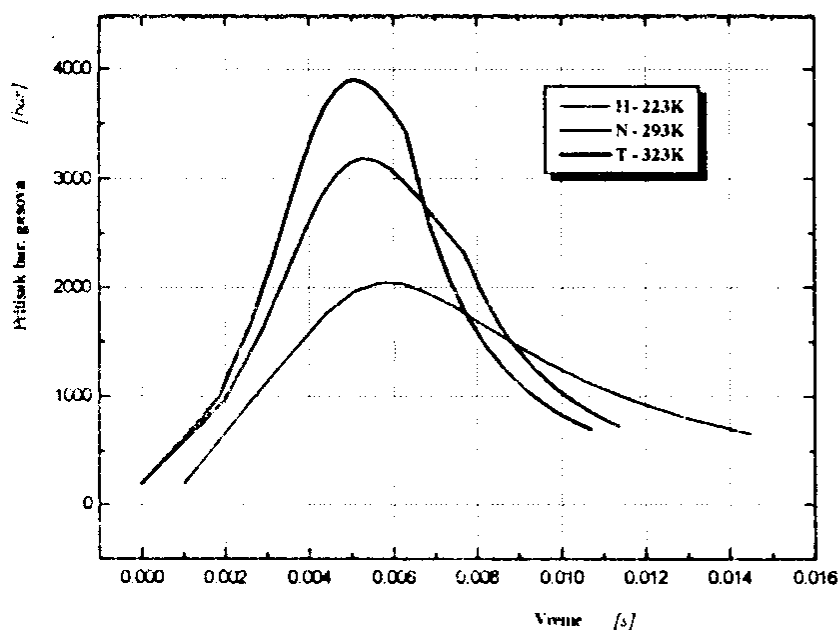
Tabela 7

Usta cevi

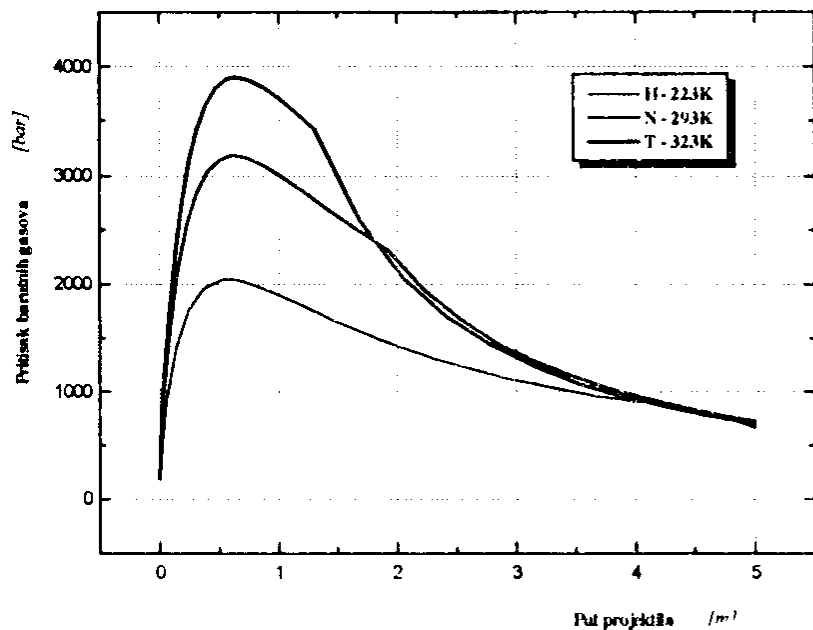
T(K)	p_u (MPa)	V_u (m/s)	X_u (m)	t_u (s)
223	67	828	5,0	0,0145
293	73,17	923,61	5,0	0,01137
323	70,49	957,12	5,0	0,0107

Analiza rezultata proračuna u tabeli 7 ukazuje da sa povećanjem početne temperature baruta raste pritisak barutnih gasova, kao i brzina projektila na ustima cevi, a opada vreme trajanja procesa opaljenja.

Kompletni unutrašnji balistički proračun za tri različite početne temperature dijagramski je prikazan na slikama 5 i 6. Na dijagramima je pritisak barutnih gasova prikazan u funkciji vremena i puta projektila, a uslovno su tri različite temperature označene slovima H-N-T. Slovo H znači »hladno« i odgovara temperaturi od 223 K, N — »normalno« i odgovara temperaturi od 293 K, a T — »toplo« i odgovara temperaturi od 323 K.

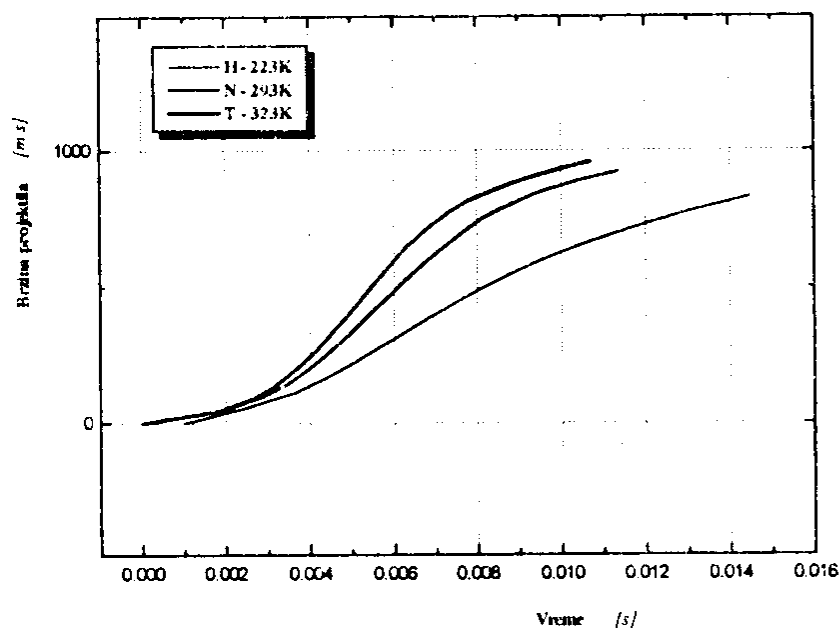


Sl. 5 — Zavisnost $p(t)$ za H-N-T



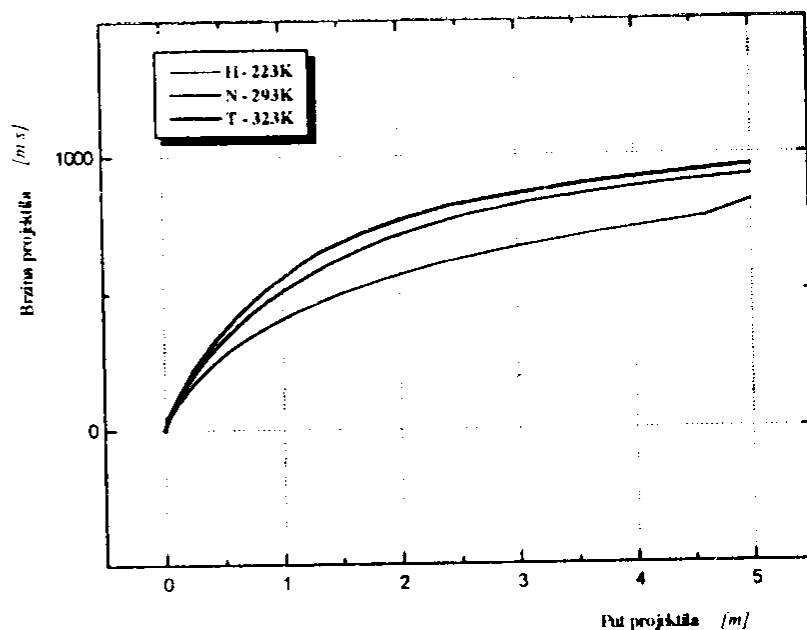
Sl. 6 — Zavisnost $p(X)$ za H-N-T

Krive brzine projektila u funkciji vremena i puta projektila za ceo tok procesa opaljenja i tri različite poč-



Sl. 7 — Zavisnost $V(t)$ za H-N-T

tne temperature baruta (H-N-T), prikazane su dijagramima na slikama 7 i 8.



Sl. 8 — Zavisnost $V(X)$ za H-N-T

Na osnovu dijagrama i tabela može se zaključiti da ako se kao etalon uzme unutrašnji balistički proračun za normalnu sobnu temperaturu od 293 K i sa njim uporede proračuni za 323 K i 223 K, dobija se povećanje p_m za 22,5% i V_0 za 3,6% odnosno smanjenje p_m za 35,6% i V_0 za 10,3%. Ako se uporede rezultati za interval promene od 100 K, tj. 223 i 323 K, dobija se povećanje p_m za 90% i V_0 za 15,57% odnosno smanjenje p_m za 47,5% i V_0 za 13,5%.

Ovakav gasodinamički proračun napravljen je za sve barute iz tabele 1 i za različita oruđa — oružja. Proračun je realizovan korišćenjem istih programskih rešenja i ustanovljeno je da ranije doneti zaključci generalno vrede i za ostale modele i tipove baruta. Rezultati proračuna se ne daju, zbog obimnosti, a oni ukazuju na sličnost karaktera promena izlaznih parametara i kod ostalih oružja — oruđa.

Zaključak

U radu je analiziran uticaj početne temperature baruta na fizičko-hemijske i balističke karakteristike ba-

ruta, kao i na izlazne parametre gasodinamičkog proračuna. Korišćeni su eksperimentalni rezultati brzine sagorevanja, fizičko-hemijskih i balističkih karakteristika baruta [3], i korektnije razmatran uticaj početne temperature na maksimalni pritisak barutnih gasova i početnu brzinu projektila. Testiran je primer gasodinamičkog proračuna na personalnom računaru za oruđe konkretnog kalibra. Odabran je model i tip baruta kome je varirana početna temperatura baruta, a ti-

me i karakteristike baruta. Rezultati proračuna ukazuju na to da sa povećanjem početne temperature baruta raste maksimalni pritisak barutnih gasova, kao i impuls pritiska barutnih gasova koji prouzrokuje povećanje početne brzine projektila, a time i doomet oruđa. Na osnovu krive pritiska barutnih gasova dimenzionišu se cevi oruđa. Dimenzionisanje na osnovu krive $p(t)$ za $T=323$ K garantuje pouzdanije i sigurnije balističko rešenje za sve meteorološke i borbene uslove.

Literatura:

- [1] Timnat, Y. M.: Advanced Chemical Rocket Propulsion, Department of Aeronautical Engineering and Space Research Institute, Technion-Israel Institute of Technology, Haifa, Israel, 1987.
- [2] Kubota, N.: Survey of Rocket Propellants and Their Combustion Characteristics, Japan Defense Agency, Tokyo, Japan, 1982.
- [3] Šepelev, Yu. G., Fogelzang, A. E., Denisjuk, A. P., Demidov, A. E.: Vlijanije načalnoj temperaturi na skorost gorenija ballistitnih porohov v oblasti visokoga davlenija, Fizika gorenija i vzriva, br. 4/90, Moskva, 1990.
- [4] Cvetković, M.: Unutrašnja balistika, lekcije, TŠC VTA KoV JNA, Zagreb, 1981.
- [5] Shechadri, T. S., Jain, V. K.: Propellant Gas Phase Chemical Kinetics, Department of Aerospace Engineering, Indian Institute of Science, Bangalore, Propellants, Explosives, Pyrotechnics 14, 1989. strana 193 do 198.
- [6] Cvetković, M.: Termohemija baruta, lekcije, TŠC VTA KoV JNA, Zagreb, 1980.
- [7] Tančić, Lj.: Zbirka zadataka iz unutrašnje balistike, VTA VJ Beograd, 1995.