

Mr Obrad Čabarkapa,

major, dipl. inž.

Uprava za naučnu i izdavačku
delatnost GŠ VJ,

Beograd

Dr Ljubiša Tančić,

pukovnik, dipl. inž.

Vojna akademija VJ, Odsek logistike,
Beograd

KOREKCIJA TEORIJSKIH I EKSPERIMENTALNIH REZULTATA JEDINIČNE BRZINE SAGOREVANJA BARUTA U CEVI ORUŽJA

UDC: 623.52:531.57

Rezime:

Jedinična brzina sagorevanja (u_{z0}) polazni je parametar za koji je na osnovu faktorske analize ustanovljeno da najviše utiče na izlazne unutrašnjobalističke karakteristike, kako samostalno, tako i u kombinaciji sa ostalim parametrima. Pored analize uticaja jedinične brzine sagorevanja (sa minimalno i maksimalno dozvoljenim odstupanjima od srednje vrednosti), na izlazne unutrašnjobalističke karakteristike (maksimalni pritisak i početna brzina), u radu je prikazan postupak usaglašavanja teorijskih sa eksperimentalnim rezultatima.

Ključne reči: jedinična brzina sagorevanja, teorijski rezultati, eksperimentalni rezultati, usaglašavanje rezultata proračuna.

CORRECTION OF THEORETICAL AND EXPERIMENTAL RESULTS OF THE POWDER COMBUSTION UNIT VELOCITY IN WEAPON BARREL

Summary:

The factor analysis found out that the combustion unit velocity (u_{z0}) is the initial parameter which affects mostly the outlet internal ballistic characteristics, both independently and combined with other parameters. Beside the analysis of the impact of the combustion unit velocity (with the minimum and the maximum allowed deviations from its average value) on the outlet internal ballistic characteristics (maximum pressure and initial velocity), the paper deals with the procedure of matching the theoretical with the experimental results.

Key words: combustion unit velocity, theoretical results, experimental results, matching of the calculation results.

Uvod

Klasični modeli unutrašnje balistike analiziraju određeni broj parametara (pritisak i temperaturu barutnih gasova, brzinu i put projektila, vreme trajanja procesa), dajući njihove srednje vrednosti u zapremini iza projektila. Pored ovih postoje brojni parametri (poroznost, gustina, energija barutnih gasova, brzina barutnih gasova i barutnih zrna, ...) koje

treba istražiti. Za sve parametre zajedničko je da u određenom momentu imaju različite vrednosti u zapremini iza projektila. Za analizu ovih parametara koriste se dvofazni modeli, odnosno gasodinamičke teorije strujanja.

Uticaj jedinične brzine sagorevanja analiziran je na maksimalnom pritisku barutnih gasova (p_{max}) i početnoj brzini zrna (V_0), kao veoma važnim izlaznim unutrašnjobalističkim karakteristikama

svakog oružja. Za korekciju proračunskih rezultata sa eksperimentalnim rezultatima jedinične brzine sagorevanja baruta odabrana je Boks-Vilsonova metoda, koja se može veoma uspešno primeniti, jer kod eksperimentalnog modeliranja sadrži postupna približenja rezultata do usvajanja definitivnog modela.

Predmet istraživanja u ovom radu je korekcija teorijskih sa eksperimentalnim vrednostima jedinične brzine sagorevanja baruta na modelu dvofaznog strujanja kod automatske puške 7,62 mm M70, kao najzastupljenijeg streljačkog oružja u naoružanju VJ.

Faktorska analiza uticaja jedinične brzine sagorevanja na model dvofaznog strujanja

Brzina sagorevanja baruta linearno je zavisna od pritiska, i može se prikazati izrazom:

$$u_z = u_{z0}p \quad (1)$$

gde je:

u_z – brzina sagorevanja baruta,
 u_{z0} – jedinična brzina sagorevanja baruta,
 p – pritisak barutnih gasova.

Jedinična brzina sagorevanja baruta (u_{z0}) predstavlja konstantu u izrazu za brzinu sagorevanja baruta i zavisi od hemijskog sastava baruta.

Ako se sa r označi dubina prodiranja plamena u barutno zrno u jednom smeru, onda je:

$$\frac{\partial r}{\partial t} = u_z \quad (2)$$

Veličina r se menja od nule do r_0 , gde je r_0 polovina najmanje dimenzije barutnog zrna. Kako je pritisak funkcija

od (t, x) , to je i u_z funkcija od (t, x) . Za fiksni položaj x , integracijom izraza (1) dobija se zavisnost r od t .

Korektnost izraza (1) dokazana je eksperimentom u manometarskoj bombi – uređaju za ispitivanje sagorevanja baruta u konstantnoj zapremini.

Iz izraza (1) i (2), integracijom po r od nule (početak sagorevanja) do r_0 (kraj sagorevanja), dobija se:

$$r_0 = u_{z0} \int_0^{t_k} p dt = u_{z0} I_k \quad (3)$$

gde je:

t_k – ukupno vreme sagorevanja,
 I_k – ukupan impuls pritiska barutnih gasova.

Kako je $r_0 = \text{const.}$ i $u_{z0} = \text{const.}$, tako je i $I_k = \text{const.}$ Drugim rečima, bez obzira na to kolika masa baruta sagoreva u manometarskoj bombi, uvek će se za istu vrstu baruta dobijati ista površina ispod krive pritiska, čime je dokazana korektnost izraza (1).

Postoji niz izlaznih karakteristika, ali kao veoma važne kod svakog oružja smatraju se maksimalni pritisak i početna brzina, te su sve dalje analize uticaja jedinične brzine sagorevanja u ovom radu vršene na osnovu dobijenih rezultata proračuna za ove dve veličine.

Srednje vrednosti jedinične brzine sagorevanja, kao i maksimalno i minimalno dozvoljena odstupanja od srednje vrednosti, i svi ostali polazni parametri propisani su prema [5, 6].

Da bi se što realnije sagledao uticaj jedinične brzine sagorevanja na model dvofaznog strujanja, neophodno je realizovati jednofaktorni eksperiment. Pri realizaciji ovog eksperimenta, radi sticanja uvida u karakter promena izlaznih karakteristika, pri proračunu su kod jedi-

	Parametar u_{z0}	P_{max} (bar)	ΔP_{max}		V_0 (m/s)	ΔV_0	
			bar	%		m/s	%
srednja vrednost	7,767 E-10 (uz dozvoljeno odstupanje od $\pm 1,2\%$)						
maks. vrednost	7,859 E-10	3222 ↑	77 ↑	2,45	735,50 ↑	8,20 ↑	1,13
min. vrednost	7,675 E-10	3069 ↓	76 ↓	2,42	718,63 ↓	8,66 ↓	1,19

nične brzine sagorevanja varirane vrednosti za minimalno i maksimalno dozvoljena odstupanja, dok su ostali parametri zadržavani na konstantnom nivou.

Na isti način, analizirajući uticaj svih ostalih polaznih parametara, dolazi se do zaključka da jedinična brzina sagorevanja baruta samostalno, pri promeni u granicama dozvoljenih odstupanja, najviše utiče na maksimalni pritisak i početnu brzinu.

Dozvoljena odstupanja od srednje vrednosti za jediničnu brzinu sagorevanja, kao i karakter promene (\uparrow – rast, \downarrow – pad) maksimalnog pritiska barutnih gasova (p_{max}) i početne brzine projektila (V_0), prikazani su u tabeli 1.

Pored samostalnog uticaja na izlazne karakteristike u_{z0} utiče i u kombinaciji sa drugim parametrima. Postavlja se pitanje kako pored jedinične brzine sagorevanja odabrati ostale parametre koje treba analizirati u faktorskom eksperimentu. Odgovor na pitanje kakav je taj uticaj daje faktorska analiza. Svaki od posmatranih parametara može da ima niz vrednosti unutar dozvoljenih odstupanja od svoje srednje vrednosti, koji se zove broj nivoa faktora. U radu se navode dva: donji (minimalna vrednost faktora) i gornji (maksimalna vrednost faktora).

Da bi se odredili parametri koji najviše utiču na promenu izlaznih karakteristika, pored jednofaktorskog eksperimenta, realizovana su i dva faktorska plana eksperimenta 2^3 i jedan 2^4 . Iz svih sprovedenih faktorskih analiza dolazi se

do zaključka da na maksimalni pritisak barutnih gasova i početnu brzinu projektila, na osnovu dobijenih podataka za v_0 – parametar značaja izvora, uvek najveći uticaj ima jedinična brzina sagorevanja.

U realizaciji faktorskog plana eksperimenta 2^4 , prema modelu [7], pored jedinične brzine sagorevanja analizirani su: početna masa barutnog zrna, početna površina barutnog zrna i početna masa baruta, kao parametri koji, takođe, znatno utiču na izlazne karakteristike.

Za odabrana četiri parametra realizovan je potpuni faktorski plan eksperimenta 2^4 i izvršena disperziona i regresivna analiza uticaja signifikantnih faktora na maksimalni pritisak i početnu brzinu, što je detaljnije prikazano u radu [10].

Na osnovu realizovane disperziona analize može se zaključiti da je uticaj posmatranih parametara na rezultate eksperimenta veoma značajan i da se njihov uticaj na maksimalni pritisak može rangirati prema sledećem:

- 1 – jedinična brzina sagorevanja baruta,
- 2–3 – početna masa barutnog zrna,
- 2–3 – početna površina barutnog zrna,
- 4 – početna masa baruta.

Najveći uticaj na veličinu maksimalnog pritiska barutnih gasova ima jedinična brzina sagorevanja baruta, dok isti uticaj imaju početna masa barutnog zrna i početna površina barutnog zrna, a najmanji uticaj ima početna masa baruta.

Međudejstva ovih parametara, takođe, utiču na maksimalni pritisak, ali u znatno manjoj meri od samostalnog dejstva faktora.

Matematički model za maksimalni pritisak barutnih gasova, zasnovan na dobijenim rezultatima, ima sledeći oblik:

$$Y_{ijkl} = \mu + u_{z0i} + m_{z0j} + S_{z0k} + m_{b0l} + m_{z0j}u_{z0i} + m_{z0j}m_{b0l} + u_{z0i}m_{b0l} + m_{z0j}S_{z0k} + u_{z0i}S_{z0k} + m_{b0l}S_{z0k} + \varepsilon_{ijkl} \quad (4)$$

gde je:

Y_{ijkl} – vrednost rezultata eksperimenta za bilo koju kombinaciju faktora (p_{max}),

μ – srednja vrednost svakog od faktora (posmatranih veličina),

u_{z0i} – doprinos maksimalnom pritisku koji daje jedinična brzina sagorevanja baruta,

m_{z0j} – doprinos maksimalnom pritisku koji daje početna masa barutnog zrna,

m_{b0l} – doprinos maksimalnom pritisku koji daje početna masa baruta,

S_{z0k} – doprinos maksimalnom pritisku koji daje početna površina barutnog zrna,

ε_{ijkl} – greška eksperimenta,

$i = j = k = l = 1 = 2$ – broj nivoa svakog od faktora.

Rangiranje uticaja posmatranih parametara na početnu brzinu može se izvršiti prema sledećem:

- 1 – jedinična brzina sagorevanja baruta,
- 2 – početna masa baruta,
- 3–4 – početna masa barutnog zrna,
- 3–4 – početna površina barutnog zrna.

Najveći uticaj na veličinu početne brzine projektila ima jedinična brzina sagorevanja baruta, drugi po uticaju je početna masa baruta, dok su treći, odnosno četvrti po uticaju početna masa barutnog zrna i početna površina barutnog

zrna. Disperziona analiza, za sve veličine, pokazuje da su i uticaji međudejstva faktora na početnu brzinu zanemarljivi. To znači da ova četiri faktora utiču na početnu brzinu projektila, ali među njima nema međudejstva, tj. svaki od njih deluje samostalno na posmatrani proces.

Analogno, kao i za maksimalni pritisak, matematički model za početnu brzinu projektila zasnovan na dobijenim rezultatima, ima sledeći oblik:

$$Y_{ijkl} = \mu + u_{z0i} + m_{b0j} + m_{z0k} + S_{z0l} + \varepsilon_{ijkl} \quad (5)$$

gde je:

Y_{ijkl} – vrednost rezultata eksperimenta za bilo koju kombinaciju faktora (vrednost početne brzine),

μ – srednja vrednost svakog od faktora (posmatranih veličina),

u_{z0i} – doprinos početnoj brzini koji daje jedinična brzina sagorevanja baruta,

m_{b0j} – doprinos početnoj brzini koji daje početna masa baruta,

m_{z0k} – doprinos početnoj brzini koji daje početna masa barutnog zrna,

S_{z0l} – doprinos početnoj brzini koji daje početna površina barutnog zrna,

ε_{ijkl} – greška eksperimenta, $i = j = k = l = 1 = 2$ – broj nivoa svakog od faktora.

Matematički modeli disperziona analize za maksimalni pritisak i početnu brzinu (izrazi 4 i 5) koriste se u regresivnoj analizi rezultata eksperimenta i, u suštini, znače da se maksimalni pritisak i početna brzina projektila rasipaju oko neke srednje vrednosti pod uticajem analiziranih faktora.

Regresivnom analizom dolazi se do kodiranih regresivnih polinoma (svaki od faktora koji su njegovi članovi može da ima samo dve vrednosti: +1 kada su na gornjem nivou i -1 kada su na donjem nivou):

– za veličinu maksimalnog pritiska barutnih gasova:

$$p_m = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4 + b_{12}X_1X_2 + b_{13}X_1X_3 + b_{23}X_2X_3 + b_{14}X_1X_4 + b_{24}X_2X_4 + b_{34}X_{34} \quad (6)$$

– za veličinu početne brzine zrna:

$$V_0 = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4 \quad (7)$$

gde je:

b_0 – srednja vrednost,

b_i – regresivni koeficijenti,

X_i – faktori.

Iz regresivnih polinoma dobijaju se dve vrednosti za maksimalni pritisak i to: $p_m = 3430,6875$ (kada su faktori na gornjem nivou) i $p_m = 2862,4375$ (kada su faktori na donjem nivou). U odnosu na srednju vrednost maksimalnog pritiska dobija se odstupanje od $\pm 284,125$ bara, što ukazuje na to da ovi parametri bitno utiču na maksimalni pritisak barutnih gasova, jer ga menjaju za 9% od srednje vrednosti.

Analogno je i za početnu brzinu $V_0 = 756$ m/s (kada su faktori na gornjem nivou) i $V_0 = 697,75$ m/s (kada su faktori na donjem nivou). U odnosu na srednju vrednost početne brzine zrna dobija se odstupanje od $\pm 29,125$ m/s, što ukazuje na to da ovi parametri bitno utiču na početnu brzinu projektila, jer je menjaju od srednje vrednosti za 4%.

Na osnovu programskog rešenja [1, 2] i srednjih vrednosti analiziranih polaznih parametara izvršen je proračun prema opisanom modelu dvofaznog strujanja. Dobijeni rezultati proračuna mogu se prikazati tabelarno i grafički [10]. Sve karakteristike procesa opaljenja u cevi oružja funkcije su dve nezavisne promen-

ljive (t, x). To znači da zavise i od vremena i od položaja u cevi i biće opisane prostornim krivim površinama. U tome je i osnovna razlika između klasične teorije i teorije dvofaznog strujanja.

Eksperimentalni rezultati proračuna

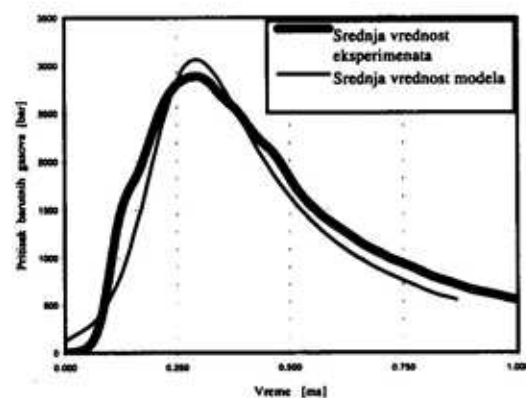
Eksperimentalna istraživanja [2] realizovana su na cevima automatske puške kalibra 7,62 mm. Za realizaciju eksperimenata konstruisan je poseban uređaj za merenje pritiska duž cevi, koji je adaptiran tako da se mogu menjati cevi različitih vrsta oružja i različitih kalibara, tj. radi se o uređaju univerzalne namene. Pritisak barutnih gasova duž cevi automatske puške meren je na 9 mernih mesta pomoću piezoelektričnih pretvarača pritiska. Na mestima gde je meren pritisak vršeno je bušenje cevi, gde su pomoću posebno uređenih nosača fiksirani pretvarači pritiska. Izvršeno je 46 opaljenja, dok je na osnovu statističke teorije za dalje analize vršena obrada uzorka od 30 opaljenja, što se smatra velikim uzorkom koji verno oslikava posmatrani proces.

Za upoređivanje rezultata proračuna po modelu, i rezultata eksperimenata korišćeni su rezultati merenja na mernom mestu 1, koje se nalazi na 387,80 mm od usta cevi, odnosno na 26,50 mm od dna čaure. Udaljenost projektila od dna čaure iznosi 28 mm. Dakle, merno mesto 1 nalazi se u čauri metka i počinje da registruje pritisak odmah nakon opaljenja kapisle. Prema tome, početak krive pritiska na mernom mestu 1 je i početak procesa opaljenja. Za upoređivanje sa rezultatima proračuna koristi se srednji pritisak eksperimenata za merno mesto 1, dobijen kao srednja vrednost svih analiziranih pojedinačnih opaljenja.

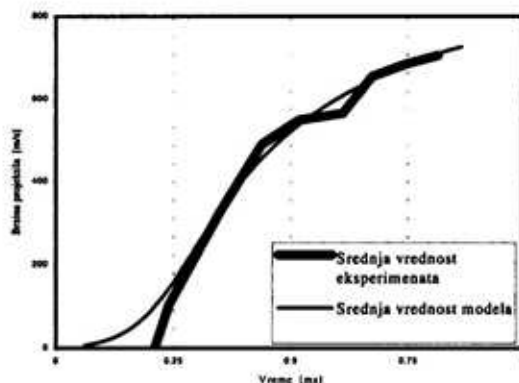
Pritisak barutnih gasova u cevi je rastuća pa opadajuća funkcija. Vrednosti pritiska barutnih gasova na različitim mestima u cevi, za isti trenutak, imaju različitu vrednost u modelu i u eksperimentu, što ukazuje na to da je pritisak funkcija puta i vremena. Kako krive predstavljaju vremensku promenu pritiska na određenom mestu u cevi, to se sukcesivnim vertikalnim presecanjima krivih dobijaju pritisci na datim mernim mestima u fiksnom vremenu, i mogu se uporediti sa podacima proračuna.

Eksperimentalna brzina projektila u cevi određena je na osnovu udaljenosti mernih mesta i vremena dolaska pritiska na merno mesto. Kako su merna mesta relativno blizu jedno drugom, na osnovu rezultata eksperimenata može se izvesti zaključak o promeni brzine projektila duž cevi. Na taj način dolazi se do prosečne srednje vrednosti početne brzine projektila eksperimenata od 723,6 m/s, a srednja vrednost po modelu iznosi 726,8 m/s. To odstupanje je neznatno.

Rezultati maksimalnog pritiska i početne brzine, dobijeni eksperimentalnim istraživanjima [2] i proračunom [7], grafički su prikazani na slikama 1 i 2.



Sl. 1 – Dijagrami $p(t)$ srednjih vrednosti modela i eksperimenata



Sl. 2 – Dijagrami $v(t)$ srednjih vrednosti modela i eksperimenata

Usaglašavanje teorijskih i eksperimentalnih rezultata jedinične brzine sagorevanja baruta

Za usaglašavanje teorijskih i eksperimentalnih rezultata jedinične brzine sagorevanja baruta postoje dva načina, i to korekcija rezultata eksperimenata ili korekcija modela. Da bi se znalo koji način treba izabrati, potrebno je piezoelektrične merne pretvarače pritiska postaviti bliže zidu cevi, zatim utvrditi stvarni razlog odstupanja, pa tek onda izvršiti korekciju modela, ako je potrebno.

Pri korekciji rezultata eksperimenata poželjno je: prvo realizovati eksperiment iz cevi sa 1 mernim mestom, zatim redom realizovati eksperimente iz cevi sa 2 merna mesta, pa sa 3 merna mesta i tako redom. Na ovaj način realizacija eksperimenata iziskuje znatno više finansijskih sredstava i duže vreme. Na kraju se vrši analiza iz „bušene“ i „nebušene“ cevi.

Kod modela je neophodno: izvršiti korekciju polaznih pretpostavki, zatim korekciju za povećanje zapremine zbog bušenja cevi radi postavljanja piezoelektričnih mernih pretvarača pritiska i korekciju zbog postojanja prelaznog konusa i postupnog urezivanja.

Poželjno je da se izvrše obe korekcije – i modela i eksperimenata.

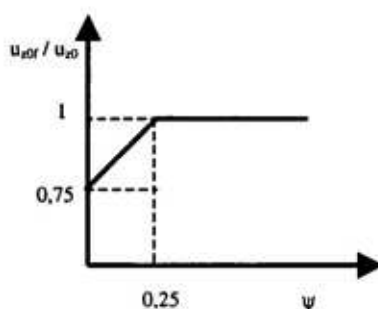
Ukoliko je moguće izvršiti usaglašavanje rezultata modela i eksperimenata, model se može koristiti kao simulator procesa opaljenja.

Kako je kod svih provedenih faktorskih analiza utvrđeno da jedinična brzina sagorevanja baruta najviše utiče na promenu izlaznih karakteristika, tim se parametrom vrši korekcija rezultata modela i usaglašavanje sa rezultatima eksperimenata.

U polaznim podacima za proračun po modelu za jediničnu brzinu sagorevanja baruta uzima se konstantna vrednost tokom celog vremena trajanja procesa opaljenja. Jedinična brzina sagorevanja određuje se eksperimentalno [8, 9]. Ona zavisi od hemijskog sastava barutne mase i menja se promenom isparljivih materija i sadržajem azota u barutnoj masi. Veća jedinična brzina sagorevanja u početnom delu procesa opaljenja omogućuje veći priliv barutnih gasova, a samim tim i veći pritisak barutnih gasova.

S druge strane, da bi izvršili korekciju rezultata radi dobijanja nižih vrednosti pritisaka, neophodno je da jedinična brzina sagorevanja bude manja. To se može postići sa flegmatizovanim barutom i to variranjem dubine prodora flegmatizatora, odnosno smanjenjem jedinične brzine sagorevanja do dubine barutnog zrna do koje je prodro flegmatizator. Najveća koncentracija flegmatizatora je na površini barutnog zrna, dok je hemijski sastav barutnog zrna promenljiv do dubine prodora flegmatizatora, pa je samim tim i jedinična brzina sagorevanja promenljiva. Zbog smanjene brzine sagorevanja priliv barutnih gasova je sporiji, što usporava i porast pritiska barutnih gasova. Vrednosti krive $p(t)$ kod flegma-

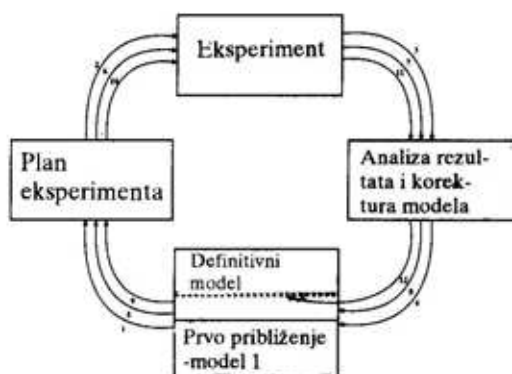
tizovanog baruta su niže u odnosu na isti barut koji nije flegmatizovan. Posle određenog vremena, kada sagori debljina barutnog zrna do koje je prodro flegmatizator, krive pritisaka se poklapaju jer više nema flegmatizatora. Odnos jediničnih brzina sagorevanja flegmatizovanog (u_{zof}) i neflegmatizovanog (u_{z0}) baruta, u odnosu na relativno sagorelu masu baruta (ψ), prikazan je na slici 3. Vrednost za ψ od 0,25 podrazumeva da je flegmatizator prodro do jedne četvrtine debljine barutnog zrna.



Sl. 3 – Grafički prikaz jediničnih brzina sagorevanja flegmatizovanog i neflegmatizovanog baruta

Prema prethodnim razmatranjima za jediničnu brzinu sagorevanja i korekcijom modela na taj način da se ovaj polazni parametar ne razmatra kao konstantan sve vreme trajanja procesa opaljenja, već da u početnom delu ima manju vrednost, a da je kasnije konstantan, postiže se bolja podudarnost srednjih krivih pritisaka po modelu i eksperimentu.

Korekcija rezultata proračuna po modelu, putem variranja jedinične brzine sagorevanja flegmatizovanog baruta, može se izvršiti primenom Boks-Vilsonove metode [4]. Boks-Vilsonova metoda, koja sadrži postupna približenja kod eksperimentalnog modeliranja, prikazuje se u vidu spiralnog dijagrama (slika 4).



Sl. 4 – Spiralni dijagram Boks-Vilsonove metode

Postupna približenja se ponavljaju sve dok se ne ostvari zadovoljavajuća saglasnost rezultata modela sa rezultatima eksperimenata. U tabeli 2 dat je pregled dobijenih vrednosti maksimalnog pritiska barutnih gasova i početne brzine projektila sa flegmatizovanim barutom i uz primenu postupka postupnog približavanja rezultata proračuna.

U tabeli 2 * označava nepotpuno sagorevanje baruta. Upoređujući rezulta-

te iz tabele 2 sa srednjim eksperimentalnim rezultatima za merno mesto 1, uočava se da se najbolja usaglašenost postiže primenom flegmatizovanog baruta kod kojeg je flegmatizator prodro do jedne trećine debljine barutnog zrna, i sa početnom jediničnom brzinom sagorevanja od $7,5 \text{ E-}10 \text{ m/s}$. Nakon što sagori debljina barutnog zrna do koje je prodro flegmatizator, preostali deo barutnog zrna sagoreva sa jediničnom brzinom sagorevanja od $7,767 \text{ E-}10 \text{ m/s}$, tj. sa njenom srednjom vrednošću koja je razmatrana kod proračuna u faktorskoj analizi. Sa ovim barutom postiže se usaglašenost maksimalnog pritiska ispod 1%, a početne brzine ispod 5 m/s .

Zaključak

Jedinična brzina sagorevanja baruta u modelu dvofaznog strujanja je parametar za koji je realizacijom jednofaktornog eksperimenta dokazano da dominantno utiče na maksimalni pritisak barutnih ga-

Tabela 2

Jedinična brzina sagorevanja u_{20}	Dubina prodora flegmatizatora u barutno zrno (m)	Maksimalni pritisak (bar)	Početna brzina (m/s)
7,5 E-10	1/2	2933	718,68
	1/3	2960	722,13
	1/4	2985	724,06
	1/5	3002	725,35
7,0 E-10	1/2	2638	690,12
	1/3	2709	700,99
	1/4	2778	707,71
	1/5	2829	712,19
6,5 E-10	1/2	2348	664,38*
	1/3	2451	676,31
	1/4	2560	688,39
	1/5	2645	696,21
6,0 E-10	1/2	2064	655,59*
	1/3	2189	656,84*
	1/4	2332	665,26
	1/5	2449	677,76

sova i početnu brzinu projektila, kao bitne karakteristike procesa opaljenja. Faktorskom analizom ispitan je uticaj ovog parametra u sadejstvu sa sledećim parametrima: početna masa barutnog zrna, početna površina barutnog zrna i početna masa baruta. Kod svih realizovanih faktorskih analiza utvrđeno je da na promenu izlaznih karakteristika najviše utiče jedinična brzina sagorevanja.

Disperzionom i regresivnom analizom izvršeno je rangiranje analiziranih signifikantnih parametara, kako samostalno tako i njihovog međudejstva. Formirani su regresivni polinomi za maksimalni pritisak i početnu brzinu, gde su dobijene srednje vrednosti, kao i dozvoljene granice rasipanja oko srednjih vrednosti.

Izvršena je komparativna analiza dobijenih rezultata proračuna sa rezultatima eksperimenata i dat grafički prikaz rezultata. Pri komparativnoj analizi rezultata modela i eksperimenata u postupku modeliranja prikazana je korekcija rezultata modela primenom Boks-Vilsonove metode postupnih približenja, radi usaglašavanja sa rezultatima eksperimenata, do

trenutka prihvatanja definitivnog modela. Korekcija teorijskih i eksperimentalnih rezultata jedinične brzine sagorevanja vršena je putem primene flegmatizovanog baruta, do trenutka postizanja usaglašenosti maksimalnog pritiska ispod 1% i početne brzine ispod 5 m/s.

Literatura:

- [1] Cvetković, M.: Unutrašnja balistika, Vojnoizdavački zavod, Beograd, 1998.
- [2] Tančić, Lj.: Numeričko rešenje nestacionarnog modela unutrašnje balistike malih kalibara, doktorska disertacija, Beograd, 1997.
- [3] Cvetković, M., Tančić, Lj.: A comparisons analysis experimental and calculations results for twophase flow in the small arms, II International Symposium Contemporary Problems of Fluid Mechanics, Beograd, 1996.
- [4] Pantelić, I.: Uvod u teoriju inženjerskog eksperimenta, Radnički univerzitet – Radivoj Ćirpanov, Novi Sad, 1976.
- [5] ***: Propis o kvalitetu proizvoda (PKS), SOUR Prvi partizan RO Namenska proizvodnja, Užice, 1987.
- [6] ***: Commission Internationale Permanente (CIP), Geneve, 1985.
- [7] Čabarkapa, O.: Istraživanje polaznih parametara za model dvofaznog strujanja u cevi oružja, magistarski rad, Beograd, 2000.
- [8] Budiselić, M.: Unutrašnja balistika I i II, TŠC KoV JNA, Zagreb, 1971.
- [9] Viličić, J., Gajić, M.: Balistika, Vojnoizdavački zavod, Beograd, 1979.
- [10] Čabarkapa, O.: Faktorska analiza najuticajnijih polaznih parametara na model dvofaznog strujanja u cevi automatske puške, članak VTG br. 3 i 4-5, VIZ, Beograd, 2000.