

Mr Jangel Malinov,
major, dipl. inž.
Miljenko Jovanović,
dipl. inž.
Zoran Vučković,
dipl. inž.

Utjecaj tolerancije kalibra oružja na početnu brzinu projektila

Uvod

Cijev svakog oružja služi da se u njoj energija barutnih plinova, koja se dobija pri sagorjevanju barutnog punjenja, pretvori u mehanički rad potreban za postizanje početne brzine projektila, a ako je cijev izljebljena i za ostvarivanje potrebne rotacione brzine projektila.

Pri gađanju cijev je izložena velikom naprezanju uslijed dejstva barutnih plinova, sa visokim pritiskom i visokom temperaturom, i sili trenja između projektila i unutrašnjosti cijevi.

Unutrašnji dio streljčkog oružja sastoji se od ležišta metka, prelaznog konusa i vodišta projektila.

Problem konstrukcije vodišta svodi se, prije svega, na ispravno određivanje promjera polja i žljebova u odnosu na promjer projektila, kao i na pravilan izbor duljine cijevi. Mjere projektila i mjere vodišta imaju bitan utjecaj na preciznost i pouzdanost oružja, pa je zato izuzetno važno naći optimalne odnose ovih veličina, sa gledišta balističkih osobina oružja i mogućnosti proizvodnje municije i cijevi. Na današnjem nivou tehnologije, u velikim serijama, promjer projektila može se napraviti sa tolerancijom 0,02 do 0,03 mm, dok se cijevi mogu napraviti sa tolerancijom promjera žljebova 0,03 do 0,06 mm. U proizvodnji uvijek može doći, sa odre-

đenom vjerojatnošću, do odstupanja, i zato je zadatak konstrukcije da obezbijedi dovoljan broj kombinacija, navedenih dimenzija, sa kojima će oružje imati zadovoljavajuće osobine. To istovremeno olakšava i pojeftinjuje proizvodnju.

Ispitivanja su pokazala da maksimalni promjer projektila treba da bude nešto veći od minimalnog promjera žljebova. Iskustvo govori da se najbolji rezultati u preciznosti postižu kada je promjer projektila jednak promjeru žljebova ili manji od njega do 0,05 mm. U armiji SAD usvojena je praksa da se projektil municije 7,62 mm M2 izrađuje sa promjerom 7,81 do 7,84 mm, što za minimalni promjer žljebova od 7,82 mm daje preklop od 0,02 mm [1].

Upravo ovaj problem, izbor tolerancije kalibra oružja i njihov utjecaj na vrijednost početne brzine projektila, želi se ovim radom malo rasvijetliti.

Izbor utjecajnih faktora

Na vrijednost početne brzine projektila utječu mnogi faktori koji se mogu svrstati u nekoliko grupa. To su:

- faktori uslovljeni izborom geometrije unutrašnjosti cijevi;
- faktori uslovljeni izborom čahure i projektila, i
- faktori uslovljeni izborom baruta.

U ovom radu detaljno će biti obrađena tolerancija kalibra oružja, odnosno promjer polja vodišta projektila, što je jedan od faktora iz prve grupe.

Iz osnovne jednadžbe unutrašnje balistike (1) i jednadžbe svedene duljine slobodne zapremine (2) može se uočiti da na vrijednost početne brzine projektila najznačajniji utjecaj imaju dimenzije koje određuju veličine poprečnog presjeka S , zapremine barutne komore W_0 i ukupnog puta zrna kroz cijev oružja X_n [2].

$$p S (X_\psi + X) = f\omega\psi - \frac{\Theta}{2} \rho m V^2 \quad (1)$$

$$X_\psi = -\frac{W_\psi}{S} = \frac{1}{S} \left[W_0 - \frac{\omega}{\delta} - \omega\psi \left(\alpha - \frac{1}{\delta} \right) \right] \quad (2)$$

Analizirajući ove tri veličine, može se utvrditi da su one funkcije velikog broja geometrijskih veličina, odnosno faktora. Tako se može napisati da je početna brzina projektila $V_0 = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, gdje su x_1, x_2, \dots, x_n utjecajni faktori. Za analizu utjecaja faktora na vrijednost početne brzine u ovom radu načinjen je potpuni pasivni faktorni pokus tipa 2^4 . Četiri faktora koja se ovdje analiziraju su: tolerancija širina žljebova, tolerancija promjera žljebova i tolerancija duljine cijevi.

Faktorni plan pokusa

Kada je riječ o faktornom planu pokusa, sam naziv ukazuje da se radi o takvom pokusu u kome postoji veći broj faktora koji utiču na posmatrani proces. U pasivnom pokusu, koji je ovdje primjenjen, svaki od faktora ima dva nivoa, jedan je donja granica tolerancije, a drugi gornja granica tolerancije.

Ovaj pasivni pokus je realizovan tako da se unutrašnjobalistički problem riješava jednom numeričkom metodom onoliko puta koliko predviđa tip pokusa 2^4 . Program je napisan u programskom jeziku FORTRAN 77 i izvršen na računaru ATARI 2080ST [3], [4].

Matematički model ovog pokusa sa četiri faktora glasi:

$$X_{ijkln} = \mu + A_i + B_j + C_k + D_l + AB_{ij} + AC_{ik} + AD_{il} + BC_{jk} + BD_{jl} + CD_{kl} + ABC_{ijk} + ABD_{ijl} + BCD_{jkl} + ACD_{ikl} + ABCD_{ijkl} + \varepsilon_{ijkln}$$

gdje je:

- i, j, k, l — brojevi nivoa odgovarajućih faktora;
- X — posmatrana veličina u procesu;
- μ — srednja vrijednost posmatrane veličine;
- ε — greška pokusa;
- n — broj ponavljanja pokusa;
- $A \dots D$ — utjecaj pojedinih faktora;
- $AB \dots ABCD$ — međudejstva faktora.

Ovdje realiziran pokus odnosi se na jedan sistem streljačkog oružja, a posmatrana veličina je početna brzina projektila, kao jedna od najinteresantnijih sa gledišta unutrašnje i spoljne balistike.

Analiza rezultata

Dobiveni rezultati realiziranog pokusa tipa 2^4 analizirani su dvjema statističkim metodama (disperziona i regresiona analiza), a statistička sigurnost dobivenih rezultata iznosi 99%.

Rezultati disperzione analize (tabela) nedvojbeno pokazuju da najveći utjecaj na vrijednost početne brzine projektila, od promatranja četiri faktora, ima kalibar oružja, a drugi po redu je promjer žljebova. Ostala dva faktora nemaju nikakvog utjecaja. Kriterij za određivanje utjecaja pojedinih faktora na vrijednost početne brzine jeste, da li je koeficijent v_0 veći ili manji po apsolutnoj vrijednosti od Fisherovog kriterija C . Ako je $v_0 > C$, onda on ima utjecaja i obrnuto.

Rezultati disperzione analize provedenog pokusa

Disperziona analiza veličine poč. brzina, sa verovatnoćom $V=99\%$					
Izvor promjena	Step slob.	Suma kv.	Sr. kv.	DIO	C
1	1	0,459	0,459	-5,54	9,65
2	1	59,6	59,6	-720	9,65
3	1	122	122	-147,1E-01	9,65
4	1	0,124	0,124	-1,50	9,65
Greška	11	-0,911	-827,8E-04		

Analizirajući rezultate provedenog pokusa regresionom analizom dobijaju se odgovori na često postavljana pitanja, kao što su:

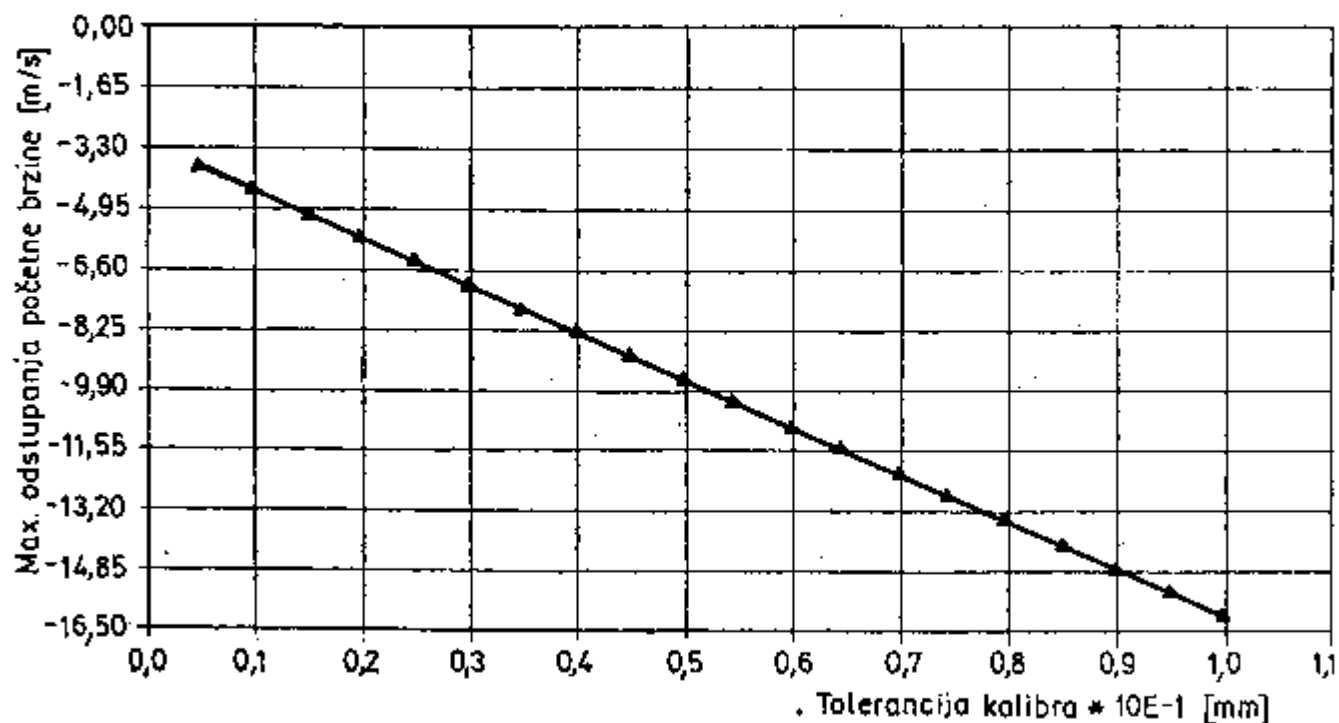
- koliki je utjecaj određenog faktora na posmatranu veličinu,
- kolika je srednja vrijednost posmatrane veličine,
- kolika su rasipanja srednje vrijednosti, i
- kako izgleda matematički model posmatranog procesa.

Regresioni polinom za početnu brzinu, dobiven kao rezultat regresione analize rezultata pokusa, ima slijedeći oblik:

$$V_0 = 721,4 - 2d' - 3d \quad (3)$$

Ovo je kodirani regresioni polinom, u kome je vrijednost svakog od posmatranih faktora kodirana tako da iznosi (+1) kada je faktor na gornjem nivou, a (-1) kada je faktor na donjem nivou.

Iz ovog polinoma se, također, može vidjeti da na vrijednost početne brzine utječu kalibar oružja i promjer žljebova. Ustanovljeno je da ovaj polinom sa vjerojatnošću od 99% aproksimira utjecaj razmatranih faktora na vrijednost početne brzine. Kada su oba faktora na gornjem nivou, što je najnepovoljniji slučaj, vrijednost početne brzine iznosi $V_0 = 716,7$ m/s, što je pad od 0,65% u odnosu na njezinu srednju vrijednost. Razlika između najveće i naj-



Slika. Dijagram ovisnosti pada početne brzine od tolerancije kalibra

manje početne brzine iznosi 9,35 m/s, što je 1,3% srednje vrijednosti brzine.

Za dalju analizu utjecaja kalibra oružja na vrijednost početne brzine uzeto je deset različitih vrijednosti tolerancije kalibra oružja. Pri ovoj analizi nisu posmatrane apsolutne vrijednosti početne brzine, već njeno odstupanje od referentne vrijednosti. Za referentnu vrijednost uzeta je početna brzina kada su sva četiri faktora na donjim nivoima, a to je slučaj kada su sve dimenzije na nominalnoj vrijednosti.

Rezultat ovakve analize prikazan je na slici, sa koje se vidi da je odstupanje vrijednosti početne brzine u funkciji tolerancije kalibra linearno.

Sa dijagrama se može vidjeti da pri postojećoj toleranciji kalibra oružja dolazi do pada početne brzine za 9,3 m/s,

a pri povećanju tolerancije za 0,01 mm pad početne brzine iznosi 1,15 m/s, što je 0,16% od referentne vrijednosti.

Zaključak

Na osnovu disperziona i regresione analize rezultata ovog pokusa može se zaključiti da na vrijednost početne brzine najviše utječe tolerancija kalibra oružja. Analiza koja je provedena pokazuje i to da je linearna ovisnost promjene odstupanja brzine u ovisnosti od vrijednosti tolerancije. Na tom se dijagramu uočava da je pad početne brzine jako mali u odnosu na promjene tolerancije kalibra oružja (0,16% za 0,01 mm), što daje mogućnost promjene tolerancije, a time se smanjuje i cijena oružja.

Literatura:

- [1] Ćirić M. Osvrt na rešenja odnosa dijametra zrna i vodišta zrna u cevima streljačkog oružja, Beograd, 1971.
- [2] Cvetković M. Unutrašnja balistika, CVTŠ, Zagreb, 1985.

- [3] Jovanović M. Diplomski rad, VVTŠ, Zagreb, 1989.
- [4] Vučković Z. Diplomski rad, VVTŠ, Zagreb, 1988.