Mr Ljubiša Tančić,
kapetan I klase, dipl. inž.,

Mr Mirko Kukolj,
kapetan I klase, dipl. inž.

Povećanje početne brzine projektila pomoću računara

Uvod

Razvojem vazduhoplovne tehnike povećavaju se manevarske mogućnosti i otpornost (žilavost) aviona. Za uništavanje takvih ciljeva potrebni su savremeni vazduhoplovni topovi. Na njihovu efikasnost utiču: kalibar, početna brzina projektila, brzina gađanja, masa projektila, manje vreme leta projektila do cilja, itd. Početna brzina projektila je jedan od važnijih faktora efikasnosti, tako da većina zemalja razvija novu ili modifikuje postojeću municiju.

Kod savremenih topova početna brzina dostiže 1200 m/s. Međutim, ima i topova koji imaju brzinu gađanja 3000—3400 metaka u minuti, ali relativno malu početnu brzinu projektila. Top, odabran za ovaj rad, ima maksimalni pritisak barutnih gasova u cevi $p_m < 330$ MPa, i $V_0 = 715 \pm 15$ m/s.

Cilj ovog stručnog rada jeste istraživanje mogućnosti povećanja početne brzine projektila. Usvojeno je da kriterij za izbor optimalne varijante bude $p_m \leq 330$ MPa, s obzirom na to da je na osnovu njega konstruisana cev odabranog oruđa. Ideja je da se simulacijom procena opaljenja na računaru odredi optimalni model i tip, kao i masa baruta za ostvarenje što veće V_0 bez promene ostalih karakteristika metka i cevi.

Gasodinamička analiza procesa opaljenja u cevi oruđa

Radi određivanja zakonitosti razvoja pritiska barutnih gasova i kretanja projektila u cevi oruđa, potrebno je razviti određenu teoriju tj. definisati neophodne zavisnosti između karakterističnih veličina. Polazi se od sistema jednačina unutrašnje balistike [1]. Sistem čine sledeće jednačine:

1. Osnovna jednačina unutrašnje balistike:

$$pS(X_d + X) = f_0 \Psi \cdot \frac{\Theta}{2} \varphi m V^2$$

2. Jednačina kretanja projektila:

$$\varphi M \frac{dV}{dt} = pS$$

3. Definicija brzine projektila:

$$\frac{dx}{dt} = V$$

4. Brzina sagorevanja baruta:

$$\frac{de}{dt} = u = u_1 p$$

Umesto ove jednačine često se koristi izraz za promenu relativne sago-rele debljine baruta:

$$\frac{dy}{dt} = \frac{u_1}{e_0} p = \frac{p}{I_k}$$

5. Relativna sagorela masa baruta:

$$\Psi = \chi y (1 + \lambda y + \mu y^2)$$

ili

$$\Psi = \chi_1 y (1 + \lambda_1 y)$$

6. Svedena dužina slobodne zapremine:

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

7. Relativna sagorevajuća površina barutnog zrna:

$$\sigma = 1 + 2\lambda y + 3\mu y^2$$

ili

$$\sigma = 1 + 2\lambda_1 y$$

gde je:

p [Pa]	— pritisak barutnih gasova,
S [m ²]	— površina poprečnog preseka cevi,
X [m]	— put projektila u cevi,
f [J/kg]	— specifičan rad barutnih gasova,
ω [kg]	— masa baruta,
Θ	— odnos specifičnih toplota umanjen za jedan,
φ	— koeficijent fiktivnosti projektila,
m [kg]	— masa projektila,
V [m/s]	— brzina kretanja projektila,
u_1 [m/s · Pa]	— jedinična brzina sagorevanja baruta,
e_0 [m]	— polovina debljine barutnog zrna,
I_k [Pa s]	— ukupni impuls pritiska barutnih gasova,
y	— relativna sagorevajuća debljina baruta,
$\chi, \chi_1, \lambda, \lambda_1, \mu$	— koeficijenti oblika barutnog zrna,
α [m ³ /kg]	— kovolumen barutnih gasova,
W_0 [m ³]	— zapremina barutne komore.

Za unutrašnji balistički proračun odabira se jedna od metoda koja se koristi za oruđa sa jednom vrstom baruta. Rešenje sistema jednačina vrši se po periodima u procesu opaljenja.

Deo procesa opaljenja do stvaranja pritiska p_0 u kojem se javlja samo sagorevanje baruta u konstantnom volumenu naziva se PRETHODNI PERIOD. Nakon njega započinje PRVI PERIOD i traje do momenta završetka sagorevanja baruta. Kretanjem projektila povećava se volumen iza projektila u kojem sagoreva barut. U početku, zbog male brzine projektila, priraštaj volumena, dobiven kretanjem projektila, manji je od volumena koji zahtevaju novostvoreni barutni gasovi. Rezultat toga je povećanje pritiska barutnih gasova. U momentu kada se izjednače ova dva uslova po pitanju volumena javlja se maksimalni pritisak. Nakon toga dolazi do pada pritiska. Karakteristike kraja sagorevanja, odnosno »prvog perioda«, označavaju se indeksom »k«. Razlika između p_m i p_k iznosi 10 do 30%.

Od kraja sagorevanja započinje DRUGI PERIOD i traje do momenta kada projektil napusti usta cevi, odnosno kada se ravnina dna projektila poklopi sa ravninom usta cevi. U »drugom periodu« nastavlja se kretanje projektila, barutni gasovi se šire, opada pritisak barutnih gasova, a raste brzina projektila. Brzina projektila na kraju »drugog perioda« naziva se početnom brzinom projektila.

Ovakvim razmatranjem, postojeće programsko rešenje unutrašnjeg-balističkog proračuna na Katedri naoružanja VVTŠ-a je modificirano, tako da se variraju različite vrste baruta, mase baruta i dužine cevi. Odabrani su baruti namenjeni za srodna oruđa. Korak za variranje dužine cevi je dva kalibra, a masa baruta varira do dozvoljene gustine barutnog punjenja. Programsko rešenje se ne daje zbog njene obim-

nosti, već se daju samo ulazno-izlazne karakteristike bitne za analizu. Za odabrano oruđe ulazne karakteristike su uzete iz tabele 1 (redni broj 6), tabele 2 ($\omega = 0,038$ kg) i tabele 3 ($X_u = 0,916$ m).

Ovaj uslov ispunjava veći broj kombinacija, ali su neke od njih sa relativno malim povećanjem početne brzine. Radi eliminisanja takvih kombinacija uvodi se dopunski kriterij o početnoj brzini projektila, tako da se raz-

Tabela 1

Karakteristike baruta

Br.	Model	Θ	f	α	u_1	e_0	x_1	λ_1
1	BARUT-V	0,265	1024470	0,00109	$6,83 \cdot 10^{-10}$	0,00025	1,17612	-0,14975
2	BARUT-B	0,31	875000	0,0009	$7,6 \cdot 10^{-10}$	0,00022	1,052	-0,0476
3	BARUT-Z	0,27	970000	0,00094	$9,00 \cdot 10^{-10}$	0,00023	0,69132	0,20818
4	BARUT-P	0,25	909000	0,00092	$6,83 \cdot 10^{-10}$	0,00018	0,77687	0,17782
5	BARUT-H	0,27	975000	0,000912	$7,40 \cdot 10^{-10}$	0,00025	1,27027	-0,21277
6	BARUT-G	0,2	922000	0,001015	$7,53 \cdot 10^{-10}$	0,000285	1,18	-0,152

Tabela 2

Moguće mase baruta

Red. broj	1	2	3	4
ω	0,037	0,038	0,039	0,040

Tabela 3

Moguće dužine cevi

Red. br.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
X_u	0,916	0,966	1,016	1,066	1,116	1,166	1,216	1,266	1,316

Analiza rezultata i izbor najbolje kombinacije

Variranje šest modela baruta, četiri mase baruta i devet dužina cevi daje 216 kombinacija. Međutim, sve kombinacije ne ispunjavaju postavljeni cilj. Kriterij za izbor najbolje kombinacije jeste da maksimalni pritisak barutnih gasova mora biti manji od 330 MPa, pošto postojeće konstrukciono rešenje odabranog topa ima upravo takav maksimalni pritisak.

matraju samo one kombinacije koje daju $V_0 > 800$ m/s. Na taj način dobivene su 23 kombinacije koje su prikazane u tabeli 4.

Analizom rezultata iz tabele 4 uočava se da model BARUT-Z daje najbolje rezultate za sve mase baruta i dužine cevi.

Tako, na primer, ako se upotrebi model BARUT-Z za odabrani top, zadrži ista dužina cevi, a masa baruta povećava za 1 g (kombin. br. 15), dobija se

Rezultati proračuna za $p_m < 330 \text{ MPa}$ i $V_o > 800 \text{ m/s}$

Red. br.	Model	Omega	X_u	P_{MAX}	V_o
1	BARUT-Z	0,0370	1,266	269611937.	801,952
2	BARUT-Z	0,0370	1,316	269611937.	806,724
3	BARUT-P	0,0370	1,316	278591744.	800,856
4	BARUT-Z	0,0380	1,066	295540828.	803,987
5	BARUT-Z	0,0380	1,116	295540828.	809,969
6	BARUT-P	0,0380	1,116	305504718.	803,832
7	BARUT-Z	0,0380	1,166	295540828.	815,389
8	BARUT-P	0,0380	1,166	305504718.	809,157
9	BARUT-Z	0,0380	1,216	295540828.	820,586
10	BARUT-P	0,0380	1,216	305504718.	814,176
11	BARUT-Z	0,0380	1,266	295540828.	825,490
12	BARUT-P	0,0380	1,266	305504718.	818,916
13	BARUT-Z	0,0380	1,316	295540828.	830,130
14	BARUT-P	0,0380	1,316	305504718.	823,406
15	BARUT-Z	0,0390	0,916	324898046.	808,520
16	BARUT-Z	0,0390	0,966	324898046.	815,557
17	BARUT-Z	0,0390	1,016	324898046.	822,095
18	BARUT-Z	0,0390	1,066	324898046.	828,194
19	BARUT-Z	0,0390	1,116	324898046.	833,902
20	BARUT-Z	0,0390	1,166	324898046.	839,261
21	BARUT-Z	0,0390	1,216	324898046.	844,306
22	BARUT-Z	0,0390	1,266	324898046.	849,069
23	BARUT-Z	0,0390	1,316	324898046.	853,576

$V_o = 808 \text{ m/s}$, što je za 80 m/s veća od realizovane V_o sa odabranim topom. Ako se poveća i dužina cevi za 40 cm , dobija se $V_o = 854 \text{ m/s}$, što je za 125 m/s

veća od realizovane V_o na odabranom topu sa njegovim barutom. Za kombinaciju br. 15 napravljen je kompletan unutrašnji balistički proračun koji ilu-

Sl. 1 Dijagram zavisnosti $p(X)$ i $V(X)$ Sl. 2 Dijagram zavisnosti $p(t)$ i $V(t)$

strira zakonitosti kretanja projektila i razvoja pritiska barutnih gasova u cevi topa.

Dijagrami su prikazani na slikama 1 i 2.

Zaključak

Ovaj rad ilustrira kako se variranjem polaznih podataka gasodinamičkog proračuna može doći do boljih izlaznih parametara. Radom je obuhvaćeno šest modela i tipova baruta, četiri mase baruta i devet dužina cevi. Analizirane su 23 kombinacije koje daju znatno veće početne brzine. Najveću početnu brzinu ($V_0 = 855 \text{ m/s}$) dala je

kombinacija broj 23, koja zahteva primenu modela i tipa BARUT-Z, povećanje mase baruta za dva grama i dužine cevi za 40 cm. Međutim, za realizaciju ove kombinacije trebalo bi menjati konstrukciju topa. Zato je odabrana kombinacija br. 15 kao povoljnija. U daljim istraživanjima trebalo bi povećati broj parametara koji se kombinuju radi dobijanja optimalnog rešenja. Prezentirana analiza može se primeniti i na ostala oruđa-oružja gde je prisutan problem povećanja V_0 . Usvojena kombinacija može se opitno proveriti. Ukoliko opiti potvrde prezentirane zaključke, onda se ideja izmene barutnog punjenja može vrlo lako realizirati u redovnoj proizvodnji municije za razmatrani top.

Literatura:

- [1] M. Cvetković: »Unutrašnja balistika«, lekcije, Tehnička vojna akademija KoV JNA, Zagreb, 1981.