

Sc Slobodan Ilić,

major, dipl. inž.

Vojna akademija VJ, Odsek logistike,
Beograd

ODREĐIVANJE PADA POČETNE BRZINE PROJEKTILA NA OSNOVU MERE PRODUŽENJA BARUTNE KOMORE

UDC: 623.522.4

Rezime:

U radu je prikazan postupak za proračun pada početne brzine projektila na osnovu mere produženja barutne komore. Proračuni su urađeni za artiljerijska oruđa koja koriste dvodelni metak. Za poznate unutrašnjobalističke metode Drozdova i Opokova modifikovano je programsko rešenje i prilagođeno rešavanju navedenog problema. Dobijeni rezultati su upoređeni sa spoljnobalističkim tablicama i remontnom dokumentacijom.

Ključne reči: početna brzina projektila, barutna komora, prelazni konus, model Opokova, model Drozdova, unutrašnja balistika.

CALCULATION OF MUZZLE VELOCITY LOSS BASED ON PROPELLANT CHAMBER ELONGATION

Summary:

A method for calculation the loss of muzzle velocity is presented. The model is based on an erosion of the origin of rifling (elongation of propellant chamber and the known models of interior ballistics of Opokov and Drozdov. First, a computer version of these models is modified. The calculations are made for howitzers using a two-part cartridge. The numerical model has been applied to repair documents and ballistic tables.

Key words: muzzle velocity, propellant chamber, origin of rifling, models of Opokov and Drozdov.

Uvod

Pod pojmom erozije (trošenja) cevi artiljerijskih oruđa može se definisati promena dimenzija unutrašnje trase cevi (povećanje zapremine barutne komore i kalibra), uz istovremeno opadanje početne brzine projektila, dometa, tačnosti, a samim tim i efektivnosti oruđa [1].

Do ovih neželjenih efekata, u zavisnosti od intenziteta erozije, može doći i mnogo pre nego što se dostigne projekto-

vani upotrebnii vek cevi. Postoje oštećenja cevi koja nisu uzrokovana erozijom, a koja je čine neupotrebljivom. To su velika mehanička oštećenja, kao što su proboji, uboji, pokidanost polja i iskrivljenost cevi. Međutim, ovakvi oblici oštećenja umnogome govore o stanju cevi, i nisu razmatrani u ovom radu.

Kod nas se pojava erozije cevi veoma malo istraživala. Razlog takvom interesovanju je i dugogodišnji mirnodopski period, kada su cevi artiljerijskih naoru-

žanja imala mali koeficijent eksploatacije. Osim toga, znatno povoljnija finansijska situacija nije dovela u pitanje ekonomsku opravdanost zamene cevi, ukoliko su tadašnji kriterijumi za njenu zamenу bili po nekom osnovu ispunjeni. Međutim, poslednje decenije prošlog veka na ovim prostorima artiljerijska oruđa su ispalila po nekoliko hiljada projektila, što je neminovno izazvalo eroziju cevi.

Interesantno je istaći da su kod nas kriterijumi za ocenu stanja cevi artiljerijskih oruđa definisani prema literaturi [1] i [2].

Prema literaturi [1] kao osnovni kriterijum za kategorizaciju cevi (predviđanje preostalog upotrebnog veka) koristi se pad početne brzine projektila do određenog procenta, u zavisnosti od vrste i kalibra naoružanja. Budući da je ekonomski neopravdano direktno merenje početne brzine, u praksi se koristi posredna metoda – merenje produžetka dužine barutne komore. Zemlje NATO koriste isti osnovni kriterijum, s tim što u posrednoj metodi koriste utvrđivanje kalibra oruđa na tačno definisanom rastojanju od zadnjeg preseka cevi.

S obzirom na ekonomsku opravdanost i borbenu gotovost jedinica, važno je utvrditi tačan kriterijum dozvoljenog pada početne brzine projektila – v_0 za svaku vrstu artiljerijskih oruđa. Osim toga, za oruđa koja su još uvek u dozvoljenim granicama istrošenja cevi, potrebno je znati koliki je pad početne brzine projektila ispaljenih iz njihovih cevi. Koliko je taj podatak važan u pripremi elemenata za gađanje govore i balističke tablice [3], iz kojih se na osnovu stanja barutne komore uzima vrednost v_0 za određeno punjenje.

U teoriji i praksi održavanja artiljerijskih oruđa, kod nas nije propisana jedinstvena metodologija za ocenu stanja cevi. Metodologija pristupa merenju cevi određena je na osnovu podataka zemlje izvoznika naoružanja ili licence za proizvodnju naoružanja. Mogu se uočiti dve različite koncepcije. Prvu koncepciju, koja se uslovno može nazvati „istočna“, karakteriše:

- jednostavnost merenja i mernog alata (moguće je izvršiti merenje i uz pomoć orudnog RAP-a),

- masovnost mernog alata (kod nas se koristi na tri nivoa održavanja),

- neodređenost u pogledu preostalog upotrebnog veka oruđa (nije dat preostali broj opaljenja za ekvivalentni metak),

- „manja tačnost“, prema komentarima suprotne koncepcije.

Drugu koncepciju, nazvanu uslovno „zapadna“, karakteriše:

- konstrukcijski složeniji alat za merenje cevi (mikrometerska zvezda ili kontrolnik kalibra sa klizačem);

- veća cena mernog alata (mikrometerske zvezde se koriste samo na najvišem nivou održavanja);

- određivanje preostalog upotrebnog veka cevi (u broju ekvivalentnih metaka);

- tačnije definisanje pada početne brzine, prema sopstvenim tvrdnjama [2].

U procesu održavanja kod nas se primenjuju obe koncepcije, zavisno od porekla naoružanja. To stvara poteškoće u održavanju naoružanja, obuci korisnika i jednoznačnosti kriterijuma za ocenu i kategorizaciju cevi.

U ovom radu prikazan je postupak za proračun pada početne brzine projektila

la na osnovu promene zapremine barutne komore (njenog produženja), korišćenjem metode Drozdova i Opokova. Obe metode primenjene su na više modela haubica koje koriste dvodelni metak i metak bez čaure: X-122 mm D30J, 155 mm M1 i 105 mm M56, zatim za top 130 mm M46 i top-haubicu 152 mm M84. Dobijeni rezultati upoređeni su i komentarisani u odnosu na kriterijume za ocenu stanja cevi navedenim u tehničko-remontnoj dokumentaciji za konkretno sredstvo, prema „istočnoj“ ili „zapadnoj“ koncepciji. Pored toga, dobijeni rezultati upoređeni su i sa podacima iz spoljnobalističkih tablica koji se odnose na definisanje početnih elemenata za gađanje.

Osnovni pojmovi o eroziji cevi

Pod pojmom „život cevi artiljerijskog oruđa“ podrazumeva se upotrebnost cevi, pri čemu ona ispunjava svoju namenu pod određenim kriterijumima i definisanim uslovima. Ranije terminološko određenje pojma „život cevi“ odnosilo se na svojstvo cevi da se suprotstavi trošenju (eng. wear; rus. iznos) pri opaljenju u uslovima normalne eksploatacije. Život cevi meri se brojem ispaljenih projektila određenog tipa, pri određenom punjenju i režimu vatre do kojeg se balistička svojstva cevi menjaju u dozvoljenim granicama [1].

Erozija cevi vodi ka promeni (smanjenju) vrednosti maksimalnog pritiska barutnih gasova u kanalu cevi i samim tim padu početne brzine projektila. Pad početne brzine projektila dovodi do smanjenja maksimalnog dometa, a za kraj životnog veka cevi obično se uzima pad

početne brzine za 10%. Naravno, dozvoljeni pad početne brzine može biti i manji, što je obično uslovljeno konstrukcijskim karakteristikama sredstva i specifikacijom proizvođača.

Osim prethodnog kriterijuma, za kraj životnog veka cevi uzima se i pravilnost urezivanja vodećeg prstena projektila u cevi, kao i slika rasturanja projektila. U slučaju nepravilnog urezivanja vodećeg prstena projektila u izlebljenom delu cevi može doći do njegovog smicanja. To se karakteriše reskim zvukom u trenutku kada projektil napusti usta cevi, drastičnim padom tačnosti pogađanja i učestalim neaktiviranjem projektila na cilju [2]. Slika rasturanja pogodaka takođe se koristi kao kriterijum za ocenu stanja cevi, tako što se kontroliše rasturanje projektila po pravcu (Vp) i daljini (Vd). Ukoliko je proizvod izmerenih vrednosti Vd i Vp veći za osam puta od njihove tablične vrednosti, takva cev je neupotrebljiva, odnosno, nastupila je „balistička smrt“ cevi (deklasirana cev) [4].

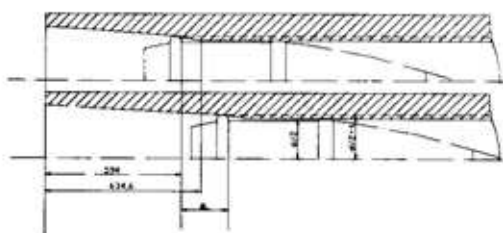
Iz navedenih kriterijuma za ocenu stanja cevi može se primetiti da se svi kriterijumi zasnivaju na proverama efekata pri ispaljivanju projektila, osim prvog kriterijuma koji, pored mogućnosti neposrednog merenja, omogućava i posredan način merenja preko promene dimenzija unutrašnje trase cevi. Svakako da je ovakav način neuporedivo ekonomičniji, jednostavniji i brži od prethodnih. U tom smislu razvijene su i različite metode za posredno određivanje pada početne brzine projektila, i to preko mere produžetka dužine barutne komore, i drugi način preko mere kalibra cevi.

Merne metode za određivanje pada početne brzine projektila

Pošto erozija cevi izaziva oštećenje ili skidanje materijala, koje ima za posledicu promenu dimenzija unutrašnjosti cevi, najbolji način za ocenu stanja cevi jeste merenje dimenzija na tačno određenom mestu u cevi, i dovođenje u vezu ove izmerene dimenzije sa ostatkom životnog – upotrebnog veka. U postojećoj teoriji i praksi održavanja sredstava naružanja, kod nas se primenjuju dva načina za određivanje pada početne brzine projektila posrednim merenjem [4], i to:

- merenje prelaznog konusa ili dubine zalaženja projektila,
- merenje kalibra cevi na tačno određenom rastojanju od zadnjeg preseka cevi.

Merenje prelaznog konusa ili dubine zalaženja projektila. Pri ubacivanju projektila u ležište metka (slika 1) primenjeno je da sa povećanjem broja ispaljenih projektila, projektil dvodelnog metka zalazi sve dalje u unutrašnjost cevi. Ova pojava poznata je kao povećanje dubine (ΔL) zalaženja projektila. Prema literaturi [2] njena primena je osnovana za haubice sa dvodelnim metkom i malim početnim brzinama. Već kod oruđa sa jednodelnim metkom, ili kod haubica i topova sa velikim početnim brzinama, ova-



Sl. 1 – Zalaženje projektila u cevi oruđa

kav način određivanja pada početne brzine daje manje tačne rezultate. U tabeli 1 prikazan je pad početne brzine projektila u zavisnosti od produžetka barutne komore za top 130 mm M46 [5].

Tabela 1

Pad početne brzine projektila u zavisnosti od produžetka barutne komore za top 130 mm M46

Produženje barutne komore (mm)	10	26	53	210	600	675	706	732	757
Pad početne brzine (%)	1	2	3	4	5	6	7	8	9

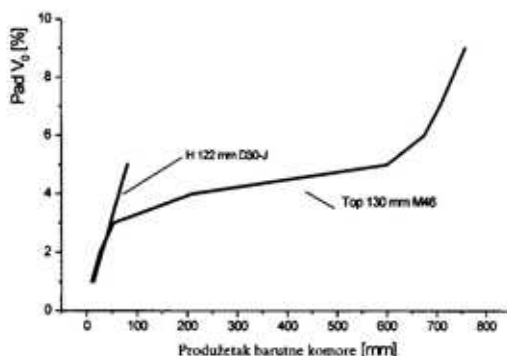
U tabeli 2 prikazan je pad početne brzine projektila za haubicu 122 mm D30J u zavisnosti od produžetka barutne komore [5].

Tabela 2

Pad početne brzine projektila za haubicu 122 mm D30J u zavisnosti od produžetka barutne komore

Produženje barutne komore (mm)	14	22	30	39	47	55	64	72	81
Pad početne brzine (%)	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5

Uočava se relativno velika razlika u promeni dubine zalaženja projektila kod topa 130 mm i mala promena pada početne brzine. Radi ilustracije na slici 2 prikazani su uporedni grafici pada početne



Sl. 2 – Uporedni pregled pada početne brzine u zavisnosti od produžetka barutne komore

brzine za ova dva oruđa u zavisnosti od produžetka barutne komore.

Ova očigledna disproporcija otvara pitanje relevantnosti podataka koji se koriste u procesu održavanja. U prilog osnovanoj sumnji ide i činjenica da se habanje cevi, pojednostavljeno rečeno, može tretirati kao težnja projektila da se uz što manje otpora provuče kroz cev. To znači da se od mesta početnog položaja projektila, deo cevi iza vodećeg prstena znatno manje troši od dela cevi koji se nalazi ispred vodećeg prstena, gde se urezuje i vodi projektil kroz cev. S druge strane, pomeranjem projektila ka ustima cevi povećava se zapremina barutne komore, čime se gustina punjenja i vrednost pritiska barutnih gasova smanjuje, a samim tim i brzina projektila na ustima cevi.

Merenje kalibra cevi na određenom mestu. Ova metoda [2] predstavlja jedan od pouzdanijih načina za određivanje pada početne brzine projektila. Prema literaturi [6] predviđeno je da se kalibar meri na udaljenosti od jedne širine vodećeg prstena projektila od početka izlebljenog dela cevi (mesta gde polja postižu punu visinu).

U literaturi se može naći i podatak da se merenje vrši na udaljenosti od jednog inča (25,4 mm) od početka izlebljenog dela cevi. To, u stvari, predstavlja prosečnu vrednost širine vodećeg prstena projektila kod savremenih artiljerijskih oruđa (15 do 40 mm). Merenjem kalibra oruđa na tom mestu dozvoljeno je povećanje kalibra za 1,7 ili 2% u zavisnosti od vrste oruđa. Primera radi, za kalibar X 155 mm M1 (154,94 mm nominalna je vrednost kalibra za novu cev) dozvoljeno je povećanje kalibra za 3,098 mm, tako da maksimalna vrednost kalibra može iz-

nositi $154,94 + 3,0988 = 158,0388$ mm. Zbog zahtevane tačnosti merenja, najpouzdanije merno sredstvo predstavlja mikrometerska zvezda. Međutim, zbog svoje osetljivosti i visoke cene, kao merni alat, ona nema primenu na nivou tehničkog održavanja i srednjem remontu. Na pomenuta dva nivoa održavanja kod nas se koristi kontrolnik kalibra sa klizačem, koji ima nešto manju tačnost merenja.

Proračunske metode za određivanje pada početne brzine projektila

Određivanje vrednosti pada početne brzine projektila može se izvršiti i proračunskim putem, korišćenjem poznate analitičke metode unutrašnje balistike.

Ukoliko se u barutnom punjenju nalazi jedna vrsta baruta koristi se metoda Drozdova, odnosno, za dve vrste baruta metoda Opokova. Programska rešenja za navedene metode razvijena su na Katedri mehanike naoružanja i balističkih sistema Vojne akademije, Odsek logistike [7]. Radi izračunavanja početne brzine projektila kod cevi artiljerijskog naoružanja koje imaju povećanu zapreminu barutne komore (produženja barutne komore), a do čega dolazi usled habanja prelaznog konusa, izvršene su određene izmene u programskom rešenju [8] za obe metode:

- varirana je zapremina barutne komore za vrednost njenog produženja (korak variranja jedan milimetar);
- za vrednost produženja barutne komore skraćena je dužina puta projektila kroz cev;
- u odnosu na nominalnu vrednost početne brzine projektila za određeno pu-

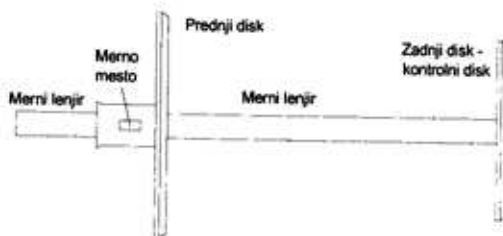
njenje izračunat je pad početne brzine za svaku vrednost produženja barutne komore.

Za ulazne podatke korišćene su vrednosti iz [9], koje su dobijene pri eksperimentalnim ispitivanjima unutrašnjebalističkih karakteristika baruta. Podaci koji se odnose na geometriju barutne komore pojedinih sredstava naoružanja, kao i vrednosti dimenzija vodećeg prstena na konkretnim vrstama projektila, uzeti su prema [10] i [11].

Osnovni problem koji se pojavio pri definisanju ulaznih podataka je vrednost dijametralnog prečnika cevi kod kojeg, prilikom punjenja, dolazi do pomeranja projektila ka ustima cevi. To, u stvari, predstavlja dimenziju kontrolnog (zadnjeg) diska [5] koji se koristi pri merenju produžetka barutne komore.

U teoriji i praksi održavanja kod nas navedeni merni alat je nazvan PZK, što je skraćenica od ruskog naziva mernog alata, pribor dlja pradalženija zarjadnoj komori [1]. Izgled navedenog alata prikazan je na slici 3.

Definisanje vrednosti prednjeg diska ne predstavlja poseban problem, budući da je njegova vrednost uslovljena geometrijom zadnjeg preseka cevi na koji naleže. U praksi se pri merenju cevi naoružanja koriste vrednosti date prema



Sli. 3 – Merni alat (PZK)

literaturi [5], koje su preuzete od proizvođača sredstva ili preuzete za slično sredstvo na upotrebi. U tabeli 3 prikazano je nekoliko ključnih vrednosti kako bi se uočila nedoslednost u kriterijumu za izbor mere zadnjeg (kontrolnog) diska, gde je:

- d – nominalna vrednost kalibra,
- d_1 – rastojanje između dva dijametralno suprotna žleba (mera preko žleba),
- $d_{1,7}$ – granična vrednost kalibra prema kriterijumu povećanja kalibra za 1,7%,
- d_2 – granična vrednost kalibra prema kriterijumu povećanja kalibra za 2%,
- d_{VP} – prečnik vodećeg prstena projektila,
- d_{PZK} – prečnik kontrolnog diska [5],
- h – visina polja, odnosno dubina žleba.

Na osnovu analize podataka u tabeli može se zaključiti da kriterijum „zapadne“ koncepcije povećanja kalibra cevi (za 1,7, odnosno 2%) ima svoju opravdanost za izlebljene cevi koje imaju relativ-

Osnovni konstrukcijski podaci za cevi i projekte artiljerijskih oruda

Tabela 3

Red. broj	Naziv oruda	Vrsta projektila	d (mm)	d_1 (mm)	$d_{1,7}$ (1,7%) (mm)	d_2 (2%) (mm)	d_{VP} (mm)	d_{PZK} (mm)	h
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	H 105 mm M56	HE 107	105,05	106,55	106,83	107,15	106,2	–	0,75
2.	H 122 mm D30J	OF 462	121,92	123,95	123,99	124,295	124,72	124,29	1,15
3.	T 130 mm M46	TF M79	130,00	135,4	132,21	132,60	135,7	135,5	2,7
4.	T H 152 mm M84	TF M84	152,40	155,4	154,65	155,45	155,96	155,96	1,5
5.	H 155 mm M1	M 107	154,94	157,48	157,573	158,038	157,99	–	1,27
6.	T 100 mm D10 TG	TF M63	100,00	103,00	101,70	102,00	106,5	103,19	1,5

no malu dubinu žleba (visinu polja). Pod rednim brojevima 1 i 5 navedena su artijerijska oruđa koja imaju takvu geometriju unutrašnje trase cevi. Ukoliko visina polja prelazi vrednost od 2% kalibra, ovaj kriterijum se ne može primeniti. Osim toga, samo kod ovih oruđa prečnik vodećeg prstena projektila ima manju vrednost od prečnika kalibra koji je uvećan za 2%. Otuda se za izlebljene cevi sa relativno višim poljem (visina polja veća od 2% nominalne vrednosti kalibra) ovakav kriterijum ne može usvojiti. Za merenja prema „zapadnoj“ koncepciji, za ovakve cevi, procenat graničnog povećanja kalibra treba posebno odrediti.

Budući da dubinu zalaženja projektila određuje geometrija vodećeg prstena (d_{vp}) barutne komore, kao i vrednost njenog trošenja, logično je da se za vrednost kontrolnog diska uzima vrednost d_{vp} .

Usvajanjem vrednosti d_{vp} za prečnik kontrolnog diska kompletirani su podaci za programsko rešenje metoda Drozdova i Opokova.

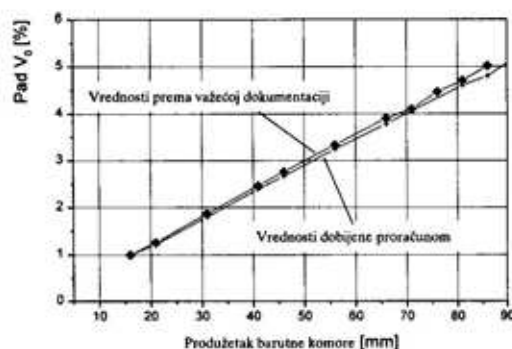
Rezultati programskog rešenja za haubicu 122 mm D30J prikazani su na slici 4.

Sa slike 4, može se uočiti da su proračunske vrednosti, dobijene primenom metode Opokova, i vrednosti date u važećoj dokumentaciji približno iste. Na slici su prikazane vrednosti produžetka barutne komore za pad početne brzine projektila samo do 5%. Valjanost tako postavljenog kriterijuma treba razmotriti i rešiti posebnim spoljnobalističkim proračunima i proveriti eksperimentalnim putem. Presudnu ulogu u svakom slučaju ima dozvoljeno rasturanje projektila na cilju i eventualno neaktiviranje upaljača pri padu projektila.

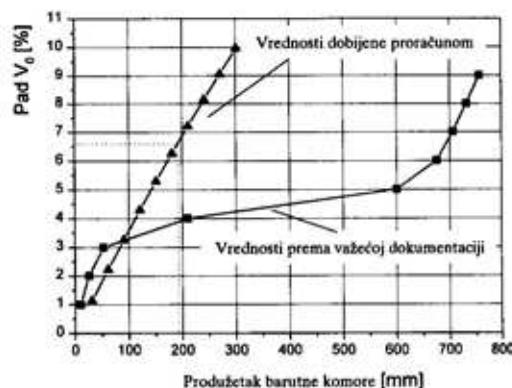
Na slici 5 prikazani su rezultati proračuna dobijeni metodom Drozdova za top 130 mm M46, i vrednosti prema remontnoj dokumentaciji.

Proračunske vrednosti pada početne brzine projektila u znatnoj meri odstupaju od vrednosti iz remontne dokumentacije, odnosno tablica gađanja za navedeno sredstvo. Pri razmatranju podataka koji se odnose na važeću dokumentaciju treba napomenuti sledeće:

– nije poznat način na koji su dobijene vrednosti pada početne brzine projektila za dati produžetak barutne komore;



Sli. 4 – Pad početne brzine projektila u zavisnosti od produžetka barutne komore za haubicu 122 mm D30J



Sli. 5 – Pad početne brzine projektila u zavisnosti od produžetka barutne komore za top 130 mm M46

– podaci su preuzeti iz inostrane literature, mada nije poznata stvarna vrednost kontrolnog diska (kriterijum određenja);

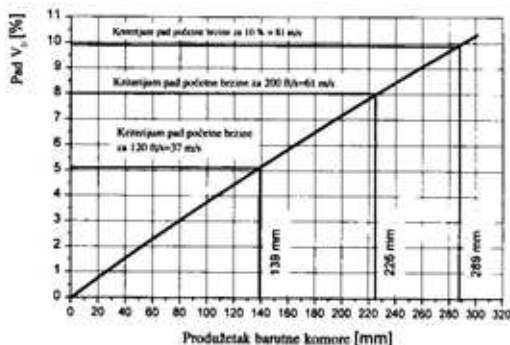
– relativno mali pad početne brzine projektila (od 4 do 5%) odgovara relativno velikom produžetku barutne komore od 200 mm i 600 mm;

– posle produžetka barutne komore od 600 mm za relativno mali produžetak nastupa nagli pad početne brzine.

Navedene činjenice upućuju na to da je osnovana sumnja u verodostojnost ovih podataka. Nasuprot njima, proračunske vrednosti daju realniju sliku o odnosu produžetka barutne komore i pada početne brzine projektila. Iz razloga koji su navedeni za haubicu 122 mm D30J i za ovo oruđe, proračun pada početne brzine projektila izvršen je do granice od 10%, ne ulazeći u dalje razmatranje koja vrednost pada početne brzine projektila je granična. Prema literaturi [2, 6] dozvoljeni pad početne brzine projektila iznosi 200 fita u sekundi ili 61 m/s. Imajući u vidu da je početna brzina projektila TF M79 za puno punjenje 930 m/s, pad početne brzine za 61 m/s iznosi 6,55%, što bi prema proračunskim vrednostima odgovaralo produžetku barutne komore od oko 190 mm (slika 5).

Na slici 6 prikazan je pad početne brzine projektila za top-haubicu 152 mm M84 u zavisnosti od produžetka barutne komore. Proračun je raden za projektil TF M84 sa punim punjenjem, korišćenjem metode Drozdova.

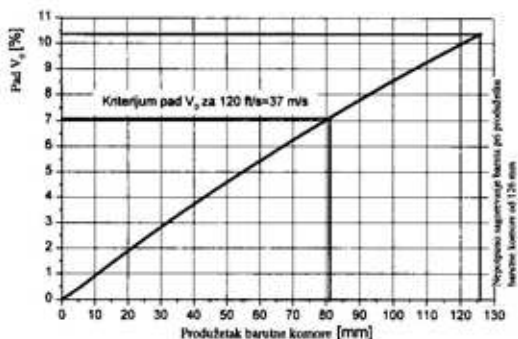
Budući da u praksi održavanja ovih sredstava ne postoje podaci sa kojima bi se mogle uporediti proračunske vrednosti, na slici su prikazane granice pada početne brzine koje se odnose za haubice (37 m/s) prema literaturi [2], 61 m/s pre-



Sli. 6 – Pad početne brzine projektila u zavisnosti od produžetka barutne komore za top-haubicu 152 mm M84

ma [6] i pad početne brzine od 10%. Za projektil TF M84 sa punim punjenjem nominalna vrednost početne brzine iznosi 806 m/s. Pad početne brzine od 37 m/s iznosi 5,05% od nominalne vrednosti, što odgovara produžetku barutne komore od 139 mm. Pad početne brzine od 61 m/s iznosi 8% od nominalne vrednosti, što odgovara produžetku barutne komore od 226 mm. I, na kraju, padu početne brzine od 10% odgovara produžetak barutne komore od 289 mm.

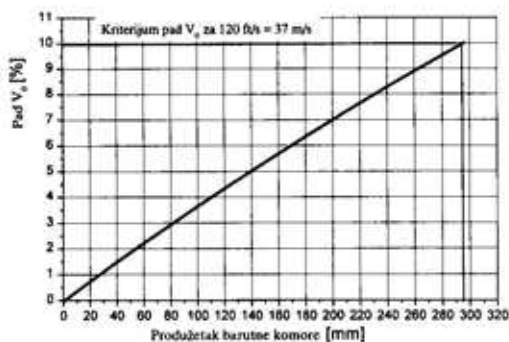
Za haubicu 105 mm M56 sa projektilom HE 107 izvršen je proračun metodom Opokova. Dobijeni proračunski rezultati prikazani su na slici 7. Kao i u prethodnom slučaju, u domaćoj teoriji i praksi održavanja ovog sredstva nije dokumentovana zavisnost produžetka barutne komore i pada početne brzine. Važeći kriterijumi odnose se na merenje kalibra cevi na tačno određenom rastojanju, pri čemu je dozvoljen pad početne brzine od 37 m/s. Za projektil HE 107 nominalna vrednost početne brzine projektila je 492 m/s, a s obzirom na prethodno iznet kriterijum dobija se da je dozvoljen pad početne brzine projektila do 7,1%. Prema



Sl. 7 – Pad početne brzine projektila u zavisnosti od produžetka barutne komore za haubicu 105 mm M56

slici 7 ta vrednost dobija se za produžetak barutne komore od 82 mm. Vrednost pada početne brzine od 10% dobija se pri produženju barutne komore od 120 mm. Kriterijum pada početne brzine od 61 m/s ne može se primeniti, jer kao što se sa slike može videti, pri produžetku barutne komore od 126 mm zapremina barutne komore toliko naraste da usled smanjenja gustine punjenja dolazi do nepotpunog sagorevanja baruta u cevi.

Sledeći primer proračuna urađen za haubicu 155 mm M1 (slika 8) pokazuje koliko je bitno uspostaviti zavisnost od-

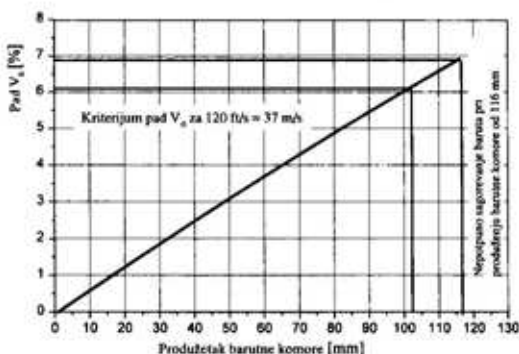


Sl. 8 – Pad početne brzine projektila u zavisnosti od produžetka barutne komore za haubicu 155 mm M1 sa projektilom M107 (HE) i barutnim punjenjem M3

ređivanja pada početne brzine projektila na osnovu mere produžetka barutne komore. Osim vrednosti zapremine barutne komore, vrlo značajan uticaj na početnu brzinu projektila imaju masa projektila, vrsta i masa barutnog punjenja. U konkretnom slučaju analizirane su dve različite vrste barutnog punjenja za identičan projektil M107 (HE). Prva vrsta baruta (oznaka barutnog punjenja M3) prema nominalnim vrednostima daje početnu brzinu projektilu od 372 m/s. Budući da je reč o jednoj vrsti baruta korišćena je metoda Drozdova, a dobijeni rezultati prikazani su na slici 8. Do pada početne brzine projektila za 37 m/s (približno 10%) dolazi pri produžetku barutne komore za 296 mm.

Za identični metak haubica 155 mm M1 postiže veće domete koristeći barutno punjenje M4A1. Početna brzina projektila iznosi 546 m/s. Budući da je reč o dve vrste baruta korišćena je metoda Opokova. Dobijeni rezultati prikazani su na slici 9.

Može se uočiti da se pad početne brzine za 37 m/s (6,29%) dobija pri produžetku barutne komore od 105 mm, a već kod



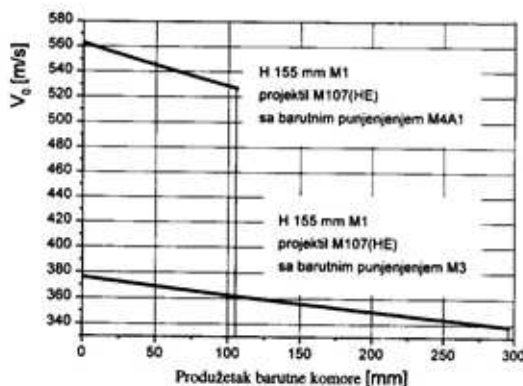
Sl. 9 – Pad početne brzine projektila u zavisnosti od produžetka barutne komore za haubicu 155 mm M1 sa projektilom M107 (HE) i barutnim punjenjem M4A1

produžetka barutne komore za 116 mm nastupa nepotpuno sagorevanje baruta.

Na osnovu prikazanih rezultata na slikama 8 i 9 može se konstatovati da kod savremenih artiljerijskih oruđa koja koriste različite vrste projektila, različite vrste baruta i različite mase barutnog punjenja, maksimalno dozvoljeno produženje barutne komore ne sme biti jednoznačno definisano (slika 10).

Osim toga, može se reći da je kriterijum dozvoljenog pada početne brzine projektila od 37 m/s za haubicu 155 mm M1 dobro definisan. Potvrdu ove konstatacije mogu dati jedino spoljnobalistička ispitivanja za konkretno oruđe i projekte. Slično ovom primeru, radi potpunog uvida u uticaj produženja barutne komore na pad početne brzine projektila, potrebno je izvršiti proračune za sve vrste projektila i sva barutna punjenja. Radi bolje ilustracije ove problematike, poslužiće citat iz tablica za gađanje haubice 122 mm D30J:

„Svi podaci su dati za početne brzine iz nove cevi. Pošto se cevi upotrebom



Sl. 10 – Pad početne brzine projektila u zavisnosti od produžetka barutne komore za različita barutna punjenja

troše, smanjuje se početna brzina i povećava rasturanje pogodaka. Opadanje početne brzine projektila zavisi od broja ispaljenih projektila i produženja barutne komore. Ako je broj ispaljenih projektila iz oruđa manji od 4000, onda se odstupanje početne brzine određuje u zavisnosti od broja ispaljenih projektila (Pregled 1), a u ostalim slučajevima kao zavisnost od produženja barutne komore (Pregled 2).

Pregled 1

Broj ispaljenih projektila	0	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000
za puno punjenje									
Odstupanje početne brzine (%)	0	0,125	0,250	0,375	0,500	0,375	0,250	0,125	0
za smanjeno, prvo, drugo, treće i četvrto punjenje									
Odstupanje početne brzine (%)	0	0,250	0,500	0,750	1,000	0,750	0,500	0,250	0

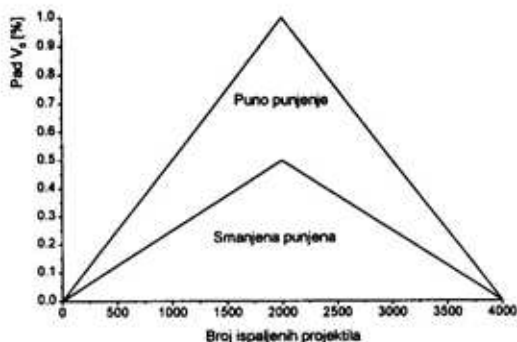
Pregled 2

Pad početne brzine (%)	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
za puno punjenje										
Produženje barutne komore (mm)	7	14	22	30	39	47	55	64	72	81
za smanjeno, prvo, drugo, treće i četvrto punjenje										
Produženje barutne komore (mm)	9	20	31	42	53	64	76	88	100	113

Za određivanje produžetka barutne komore potrebno je izmeriti dubinu zalaženja iste i od izmerene dužine oduzeti dubinu zalaženja barutne komore za novu cev (594 mm). Merenje dužine barutne komore vrši se priborom PZK sa meričkim prstenom prečnika 124,29 mm i korišćenjem diska usmerivača, prečnika 139,8 mm¹.

Brojna literatura [2, 6, 12, 13, 14, 15 i 16] u kojoj se, pored ostalog, razmatra zavisnost broja ispaljenih metaka u odnosu na pad početne brzine projektila, obavezno dovodi u vezu eroziju cevi sa svakim ispaljenim metkom. Za artiljerijska oruđa projektovani životni vek cevi iznosi od 15 000 za pojedine vrste haubica¹ do 1000 opaljenja za protivoklopne i tenkovske topove. Drugim rečima, sa svakim opaljenjem cev se troši i približava ispunjenju projektovanog resursa. Iz toga sledi da je nemoguće da prvih par stotina ispaljenih projektila daje isti pad početne brzine kao nekoliko hiljada projektila (slika 11), kao što je to prikazano u Pregledu I u literaturi [3].

Navedene činjenice upućuju na neophodnost revizije podataka koji su prisutni u procesu eksploatacije i održavanja sredstava artiljerijskog naoružanja, a radi dovođenja u vezu geometrije istrošene cevi sa početnom brzinom projektila i preostalim upotrebnim vekom (resursom). Na osnovu tačno uspostavljenih zakonitosti za svaki model artiljerijskih



Sl. 11 – Pad početne brzine projektila u zavisnosti od broja ispaljenih metaka za haubicu 122 mm D30J



Sl. 12 – Efekti poboljšanja

¹ Radi bolje prodaje naoružanja, proizvođači često iznose reklamne podatke o projektovanom životnom veku cevi. Provera tačnosti prospektivnih podataka vrlo je skupa, jer zahteva brojna ispaljenja projektila. Kako način održavanja i režim vatre takođe imaju uticaj na intenzitet erozije cevi, proizvođači uvek imaju vremena i način da opravdaju svoje tvrdnje u slučaju reklamacije kupca.

oruđa, mogu se očekivati poboljšanja u pogledu tačnosti gađanja, uštede novčanih sredstava i povećanja borbene gotovosti (slika 12).

Zaključak

U teoriji i praksi održavanja sredstava naoružanja kod nas postoje određeni problemi vezani za dijagnostiku stanja cevi artiljerijskih oruđa, a uzrokovani su brojnim različitim modelima naoružanja, kao i oskudnošću relevantnih podataka za proces održavanja. To se, pre svega, odnosi na:

- izbor dijagnostičkog parametra,
- izbor metode merenja,
- definisanje kriterijuma kojim bi se vrednovala dobijene vrednosti dijagnostičkog parametra,
- tumačenje brojnih podataka iz inostrane literature koji se odnose na eksploataciju i održavanje.

Jedan od mogućih puteva za prevazilaženje ovih problema jeste definisanje sopstvene metodologije za dijagnostiku stanja cevi artiljerijskih oruđa. Dosadašnja iskustva i brojna dokumentacija iz eksploatacije i održavanja sredstava naoružanja, zatim institucije u zemlji koje direktno ili indirektno učestvuju u procesu razvoja ili modifikacija artiljerijskih oruđa, više su nego dovoljan osnov za uspešno rešenje navedenog problema.

U ovom radu prikazan je samo jedan segment neophodnih analiza i proračuna koji bi pri definisanju sopstvene metodologije u dijagnostici cevi artiljerijskih oruđa morao da se sprovede. U razvoju sopstvene metodologije, uopšteno govoreći, potrebno je izvršiti:

- spoljnobalističke proračune na konkretnim sredstvima i projektilima radi definisanja minimalne dozvoljene brzine na ustima cevi,

- teorijska istraživanja uticaja erozije cevi na pad početne brzine projektila,
- teorijska istraživanja međusobnog uticaja cevi i projektila,
- unutrašnjobalističke proračune kojima bi se definisala početna brzina projektila za istrošenu cev,
- proračun mere erozije cevi po jednom opaljenju,
- eksperimentalno potvrđivanje i eventualnu reviziju dobijenih rezultata.

Literatura:

- [1] Ministarstvo odbrane SSSR: Instrukcija po kategorizovanju artiljerijskovo vuženija, Vojno izdavaštvo ministarstva odbrane, Moskva 1951.
- [2] TU SSNO: Uputstvo o oštećenjima cevi artiljerijskih oruđa i načini ocene ishabanosti, TU JNA, bilten br. 25, Beograd, 1959.
- [3] Uprava artiljerije GŠ VJ: Tablice gadanja za haubice 122 mm D30J i D30, Vojna štamparija, Beograd, 1998.
- [4] Maričić, Z.: Tehnologije održavanja naoružanja, VTA VJ, Beograd, 2001.
- [5] TRZ Čačak: Instrukcija za korišćenje alata za proveru dubine zalaženja zrna, 2001.
- [6] Progress in Astronautics and Aeronautics: Gun Propulsion Technology, American Institute of Astronautics and Aeronautics, vol. 109, Washington, 1984.
- [7] Cveković, M.: Unutrašnja balistika, SŠONID, VTA VJ, Beograd, 2000.
- [8] Ilić, S.: Modifikacija programskog rešenja metode Drozdov i Opokov, katedra naoružanja, VA VJ, Beograd, 2002.
- [9] VTI VJ: Fizičko-hemijske karakteristike baruta, Interna dokumentacija, Beograd, 2002.
- [10] VTI VJ: Konstrukcijska dokumentacija cevi artiljerijskih oruđa, Interna dokumentacija, Beograd, 2002.
- [11] VTI VJ: Konstrukcijska dokumentacija artiljerijske municije, Interna dokumentacija, Beograd, 2002.
- [12] Paul J. Conroy: Theoretical Thermal and Erosion Investigations, Technical report, Army Research Laboratory, Aberdeen Proving Ground, 2001.
- [13] Sopok, S.; Fleszar M.: Ablative erosion model for the M256-M829E3 gun system, US Army Armament Research, Development and Engineering Center, Watervliet, New York, 2001.
- [14] Conroy, Paul J. i dr.: An Investigation of the Erosion Physics-Mechanisms of Current Army Systems, Technical report, Army Research Laboratory, Aberdeen Proving Ground, 2001.
- [15] Sopok, S.; Vottis P.: Comprehensive erosion model for the 120 mm gun system, US Army Armament Research, Development and Engineering Center, Watervliet, New York, 2001.
- [16] Weinacht P.: A numerical method for predicting thermal erosion in gun tubes, Technical report, Army Research Laboratory, Aberdeen Proving Ground, 2001.