

## NEKI ASPEKTI UTVRĐIVANJA I PRIMENE KRITERIJUMA ZA DEKLASIRANJE I PROGNOZU PREOSTALOG VEKA CEVI ARTILJERJSKIH ORUĐA

UDC: 623.423.1:620.169.1

### Rezime:

*U radu se ukazuje na nedostatke i nedorečenosti prisutnih kriterijuma za utvrđivanje stanja cevi, i metoda prognoze preostalog veka cevi. Na osnovu toga daje se mogući pristup pri donošenju odluka o akcijama korektivnog održavanja, posebno kod savremenih artiljerijskih oruđa kod kojih je bitna primena kriterijuma za određivanje radnog veka cevi u odnosu na zamor materijala.*

*Ključne reči: cev artiljerijskog oruđa, stanje cevi, deklasiranje, zamor.*

---

## SOME ASPECTS OF DETERMINING AND APPLYING CRITERIA FOR THE REJECTING AND THE FORECASTING OF CANON TUBE REMAINING SERVICE LIFE

### Summary:

*The paper points out disadvantages and ambiguities of existing criteria for canon tubes condition determination as well as of forecasting methods for their remaining service life. A possible approach in making decisions about corrective maintenance actions is given, particularly when concerning modern artillery weapons in which the application of criteria for determining tube service life in relation to material fatigue is of utmost importance.*

*Key words: canon tube, tube condition, rejecting, fatigue.*

---

### Uvod

Kroz aktivnosti razvoja i osvajanja proizvodnje artiljerijskih oruđa, primenjenim konstrukcionim rešenjima i tehnologijama proizvodnje, nastoji se obezbediti da oruđe obavlja svoju funkciju u uslovima i u toku perioda koji su utvrđeni taktičko-tehničkim zahtevima, odnosno nastoji se da se ostvari zahtevana pouzdanost, raspoloživost i vek. Takođe, kroz razvoj se obezbeđuje da, uz primenu zahtevanog (ili posebno definisanog)

koncepta održavanja, oruđe izvršava svoju funkciju na zadovoljavajući način u bilo kom trenutku u predviđenim uslovima okoline, sa zahtevanom verovatnoćom, čime se obezbeđuje gotovost predviđena taktičko-tehničkim zahtevima. To znači da se kroz razvoj nastoji da se definišu aktivnosti i periodičnost preventivnog i korektivnog održavanja, i kriterijumi za ocenu stanja delova i sklopova oruđa, radi donošenja odluke o njihovoj daljoj primeni i/ili zameni, imajući u vidu zahtevanu pouzdanost i gotovost i inten-

zitet degradacije karakteristika, zbog čuvanja ili eksploatacije.

Pri preduzimanju akcija preventivnog i korektivnog održavanja nužno je utvrditi da li je oruđe „u radu“ i/ili prognozirati vreme rada do graničnog stanja, pa na osnovu toga preduzeti preventivne i korektivne mere. S obzirom na to da je cev vitalni deo oruđa, problem odlučivanja često se svodi na utvrđivanje stanja cevi. Zbog toga se, još u procesu razvoja, ulažu veliki naponi radi obezbeđenja potrebnih nivoa pokazatelja pouzdanosti cevi u celom životnom (balističkom) veku i stvaranja realnih uslova za efikasno upravljanje procesom eksploatacije (planiranje režima eksploatacije i borbene upotrebe), održavanja (planiranje akcija preventivnog i korektivnog održavanja, snabdevanja rezervnim delovima i dr.) i sprečavanja otkaza.

Uz sva raspoloživa naučna saznanja i tehnološka dostignuća, problemi prognoze veličine trošenja cevi i utvrđivanja graničnog stanja, još u fazi projektovanja, nisu rešeni. I pored brojnih i opsežnih istraživanja nisu definisani univerzalni, za primenu pogodni, analitički modeli. Zbog toga su prisutni različiti kriterijumi za ocenu stanja cevi i prognožiranje preostalog veka koji, u praksi, otežavaju proces odlučivanja, posebno pri donošenju odluke o deklasiranju (odbacivanju-zameni) cevi. Ova odluka je veoma delikatna, jer mora da pomiri dva oprečna zahteva: minimum troškova akcija korektivnog održavanja (cene cevi kreću se od 30% do 50% cene kompletnog oruđa) i obezbeđenje zahtevanog nivoa pouzdanosti, raspoloživosti i sigurnosti pri upotrebi.

U radu se ukazuje na nedostatke i nedorečenosti prisutnih kriterijuma za utvrđivanje stanja cevi i metoda prognoze

preostalog veka cevi. Na osnovu toga dat je mogući pristup pri donošenju odluka o akcijama korektivnog održavanja.

### **Ključni uzroci promena tehničkog stanja cevi i njihov uticaj na eksploatacione karakteristike i pouzdanost**

Oruđe je moćna toplotna mašina<sup>1)</sup> u kojoj se potencijalna energija barutnog punjenja transformiše u kinetičku energiju (projektila, barutnih gasova, trzajućih masa oruđa i dr.) i druge vidove energije koja se prenosi na delove oruđa i okolinu (toplotna, kinetička energija vazdušnih masa okoline i dr.). U ovom procesu ispoljavaju se različiti uticaji koji dovode do promene tehničkog stanja cevi, pre svega njene unutrašnje konfiguracije i strukture materijala, radijalno u zidu cevi.

Ranije su autori [1], uglavnom, bili saglasni u vezi s procesima koji se odvijaju u cevi pri opaljenju i koji prouzrokuju degradaciju karakteristika cevi, ali su se njihova mišljenja razilazila oko toga koji od njih su dominantni sa stanovišta uticaja na brzinu trošenja.

Prema teoriji Černova, gusta i užarena masa gasova zagreva tanak unutrašnji sloj cevi do visokih temperatura. Kada se zatvaračem cev otvori nastaje intenzivno strujanje i naglo hlađenje cevi. Zbog toga dolazi do naprsnuća ovog tankog sloja. Erozijska je intenzivnija na poljima ožljebljenih cevi, jer su ona jače izložena udarima gasova.

Prema teoriji Vjeja, kod visokih temperatura dolazi do cementacije površine

<sup>1)</sup> Savremeni tenkovski top, pri opaljenju metka sa potkalibarnim projektilom, uzimajući u obzir samo kinetičku energiju projektila, ima snagu od oko 830 MW, što odgovara snazi srednje termoelektrane.

kanala cevi (vezivanja slobodnog ugljenika), što uz delovanje intenzivnog strujanja gasova (kaljenje) uzrokuje da, pri ponovnom opaljenju, taj sloj naprsne, a kroz pukotine oko vodećeg prstena, prostrujavaju usijani gasovi, i pukotine usmeravaju u uzdužnom pravcu. Brzina prodiranja gasova (pa i efekti koji se time ostvaruju) utoliko je veća što je manja lokalna brzina projektila, a veći pritisak barutnih gasova (na početku vodišta projektila).

Po Šarbonjeu, kretanje projektila kroz cev praćeno je odbijanjem talasa gasova od dna projektila i dna cevi (zatvarača), pri čemu je brzina talasa oko 1500 m/s. Prelaz s barutne komore na vodište predstavlja prigušnicu struja gasova, koja prouzrokuje vrtloge, pri čemu nesagorele čestice deluju kao mikrobrusevi koji skidaju materijal cevi.

Po teoriji Justrava, osnovni uzrok habanja je prodor usijanih gasova oko vodećeg prstena projektila, zbog širenja cevi pod pritiskom barutnih gasova.

Neosporno je da se, pri opaljenju, u kanalu cevi odvijaju:

- klasični procesi trenja projektila i cevi;

- erozija, prouzrokovana strujanjem barutnih gasova iza i oko projektila i kretanjem vazdušnih masa ispred projektila;

- termička naprezanja, zbog trenja i prenosa toplote sa barutnih gasova na zid cevi;

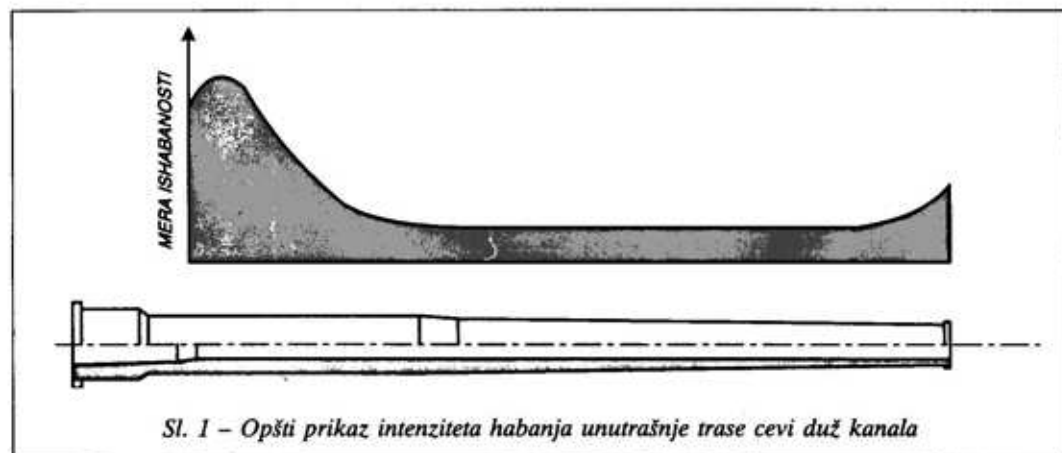
- mehanička oštećenja, zbog udara delova projektila o cev pri njegovom kretanju;

- promene strukture unutrašnjeg površinskog sloja materijala cevi, zbog hemijsko-termičkih dejstava barutnih gasova;

- ciklična naprezanja zida cevi, usled pritiska barutnih gasova.

S obzirom na to da ovi procesi nisu istog intenziteta duž kanala cevi, brzina i intenzitet trošenja su različiti u raznim presecima cevi (slika 1).

Ukupnim dejstvom ovih procesa dolazi do oštećenja i promene geometrije kanala cevi, najintenzivnije u predelu prelaznog konusa, na odstojanju tri do pet kalibara od početka vodišta projektila i oko tri do pet kalibara ispred usta cevi. Ova oštećenja prouzrokuju produženje barutne komore i proširenje vodišta projektila (intenzivnije u vertikalnoj ravni), što ima za posledicu pogoršanje uslova



Sl. 1 - Opšti prikaz intenziteta habanja unutrašnje trase cevi duž kanala

kretanja projektila kroz cev i promenu unutrašnjebalističkih uslova sagorevanja barutnog punjenja, odnosno degradaciju unutrašnjebalističkih i spoljnobalističkih karakteristika cevi. Degradacija ovih karakteristika manifestuje se kroz:

– pad početne brzine projektila i povećanje rasturanja vrednosti početnih brzina projektila;

– povećanje slike pogodaka projektila (smanjenje tačnosti i preciznosti);

– ugrožavanje i izostajanje funkcije delova projektila u cevi (odvajanje nosača kod potkalibarnih projektila) i na putanji (izostajanje armiranja upaljača, „tumbanje“ projektila na putanji i dr.).

### **Kriterijumi za klasiranje cevi i utvrđivanje njenog preostalog veka**

Rukovođeni činjenicom da postoji uzajamna veza između stanja unutrašnje trase cevi i njenih balističkih svojstava, svi konstruktori su nastojali da, na osnovu izučavanja posledica, otklone ili smanje uticaj dominantnih uzroka i definišu granično stanje cevi nakon kojeg se ona odbacuje (deklasira) i kada za cev nastupa „balistička smrt“.

Za oruđa starijih generacija smatralo se da je granica balističkog života cevi dostignuta kada je:

– kod protivtenkovskih i protivavionskih oruđa pad početne brzine projektila 10%;

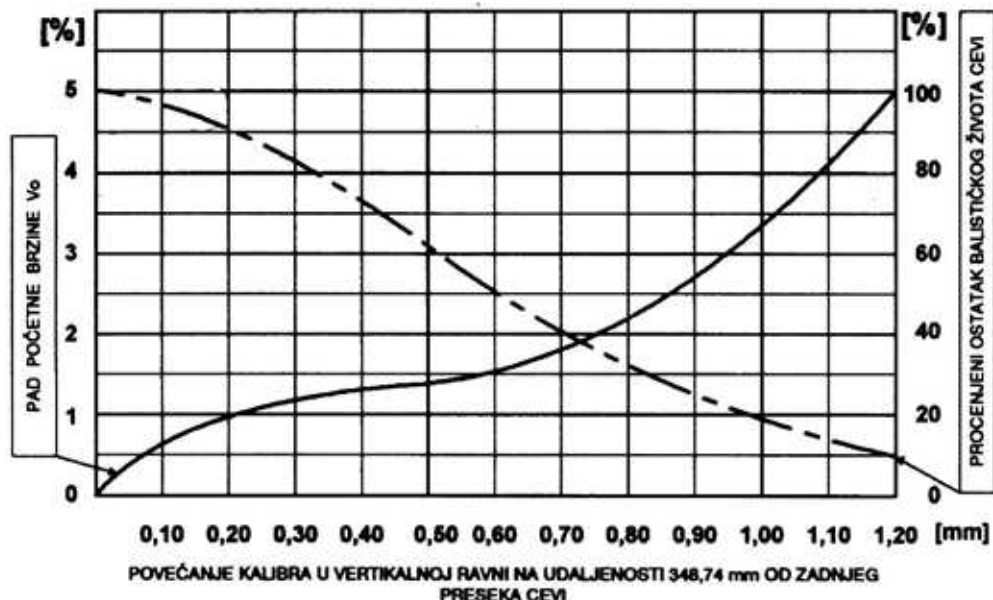
– kod oruđa opšte vatrene podrške slika rasturanja povećana osam puta ili kada kod 30% projektila izostane funkcija na cilju zbog nearmiranja upaljača.

Očigledno je da ovakvi kriterijumi nisu pogodni za praktičnu primenu pri planiranju i organizovanju akcija preventivnog i korektivnog održavanja, kao i pri

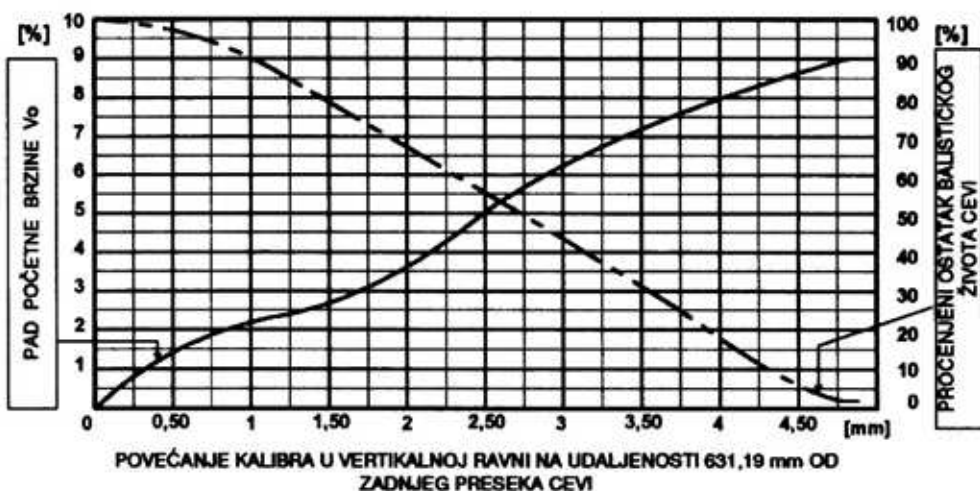
odlučivanju o stanju cevi, jer zahtevaju veoma skupa opitna gađanja. Opitnim gađanjima u toku razvoja i praćenjem stanja cevi tokom eksploatacije uspostavljena je veza između karakterističnih dimenzija cevi (dužine barutne komore i/ili povećanja kalibra na određenoj udaljenosti od zadnjeg preseka cevi) i pada početne brzine, kao ključnog kriterijuma za utvrđivanje graničnog stanja cevi. Takođe, na osnovu velikog broja opita za određeno oruđe definisana je iskustvena (slike 2 i 3) zavisnost između kritične dimenzije cevi i preostalog radnog veka cevi („balističkog života“).

Za korisnike oruđa, iz praktičnih razloga, neophodan je pokazatelj preostalog radnog veka cevi, izražen u broju metaka. Zbog toga se radni vek cevi definiše brojem dozvoljenih opaljenja ekvivalentnih bojnih metaka,<sup>2)</sup> pa se procenjeni preostali radni vek može, samo za potrebe planiranja eksploatacije, izraziti i u broju metaka. Međutim, u dostupnoj izvornoj dokumentaciji uglavnom se ne mogu naći podaci o zavisnosti preostalog (ili utrošenog) života cevi od promene kritičnih dimenzija cevi. S obzirom na to da se iz iskustva zna da ova zavisnost nije linearna, često je nemoguće na osnovu dostupnih podataka o balističkom veku cevi i izmerenih kritičnih dimenzija, čak i za potrebe planiranja, proceniti ostatak radnog veka cevi i izraziti ga u broju EFC. Proizvođači, često iz marketinških razloga, daju neprecizne podatke o balističkom životu cevi (u broju EFC), a sigurnost upotrebe obezbeđuju propisi-

<sup>2)</sup> Zapadni izvori koriste termin „ekvivalentno puno punjenje“ – EFC. S obzirom na to da intenzitet trošenja cevi zavisi, pored ostalog, i od vrste projektila, prihvatljiviji je termin „ekvivalentni bojni metak“ koji, osim barutnog punjenja, definiše i vrstu projektila. Na primer, prema [2] za američki top 90 mm M1 i M2 propisani radni vek cevi je 1600 EFC, pri čemu je EFC metak sa pancirno-obeležavajućim projektilom sa balističkom kapom, APC M82.



Sl. 2 – Zavisnost pada početne brzine i procenjenog ostatka balističkog života cevi od promene kritičnih dimenzija cevi usled habanja kod protivavionskog topa 40 mm M1



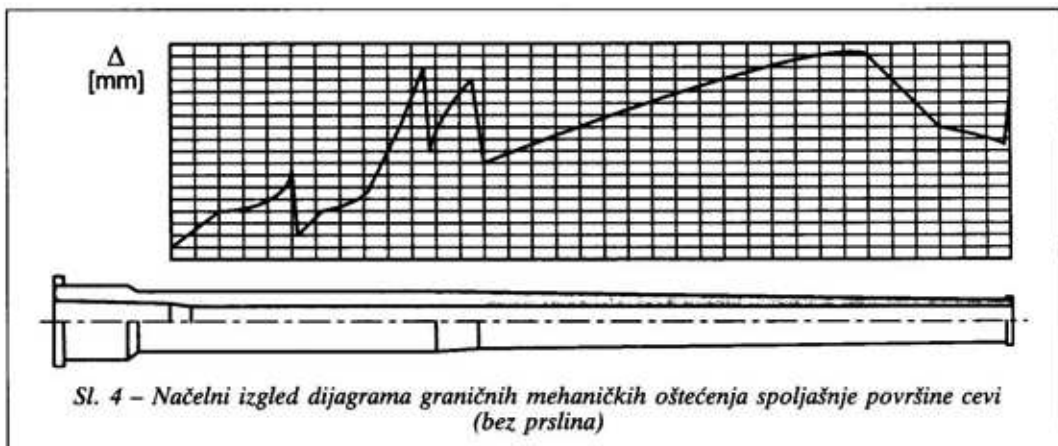
Sl. 3 – Zavisnost pada početne brzine i procenjenog ostatka balističkog života cevi od promene kritičnih dimenzija cevi usled habanja kod topa 90 mm M1, M2 i M3

vanjem dozvoljenih promena karakterističnih dimenzija cevi.

Tehnička dokumentacija, na osnovu koje se donosi odluka o deklasiranju cevi

za oruđa zapadnog i istočnog porekla, utvrđuje sledeće kriterijume:

– granična mehanička oštećenja spoljne površine cevi (bez prslina), data



Sl. 4 – Načelni izgled dijagrama graničnih mehaničkih oštećenja spoljašnje površine cevi (bez prslina)

u obliku dijagrama (slika 4);

- granično proširenje kalibra na određenoj udaljenosti od zadnjeg preseka cevi;
- granično produženje barutne komore;
- postojanje i granične dimenzije prslina (dužina i dubina) u kanalu cevi;
- iskrivljenost cevi;
- granične mere oslone ploče zatvarača za uravnoteženje reaktivne sile, kod bestrajnih oruđa.

Ispunjenje bilo kojeg od ovih graničnih uslova obavezuje donošenje odluke o odbacivanju cevi,<sup>3)</sup> bez obzira na broj ispaljenih metaka evidentiran u pratećoj tehničkoj dokumentaciji oruđa. Izvršiocu preventivnog i korektivnog održavanja, na osnovu stanja cevi koje nije granično, ne mogu dati procenu o preostalom radnom veku cevi, imajući u vidu da tehnička dokumentacija ne daje vezu između istrošenosti relevantnih mera i broja ispaljenih metaka. Za oruđa istočnog porekla se, osim izvorne tehničke dokumentacije,

<sup>3)</sup> Ranije su se primenjivali postupci renoviranja cevi, tzv. „slobodnim“ ili „ojačanim“ košuljicama ili „prekalibriranjem“ cevi. Sada ti postupci nisu aktuelni (osim, možda, u ratnim uslovima) zbog njihovih troškova i razvoja moćnih oruđa kod kojih su veoma značajni kriterijumi za odbacivanje, zasnovani na broju ispaljenih metaka.

može koristiti i Instrukcija za kategorizaciju cevi artiljerijskog oruđa, In. MO N<sup>o</sup> AO 8817–78, ali samo za odluku o tome da li je određena cev pogodna za ispitivane projekte i drugih elemenata metka na poligonu [3].

Dakle, očito je da se, na osnovu dostupnih podataka, ne može u svakom trenutku dati odgovor, čak ni u vidu procene, o preostalom radnom veku cevi, i obezbediti elementi za planiranje eksploatacije i narednih mera preventivnog i korektivnog održavanja. Takođe, kroz utvrđivanje stanja cevi ne mogu se pribaviti podaci za procenu veka cevi, odnosno o tome kojim koeficijentom sigurnosti je određen radni vek cevi, kada je proizvođač deklarirao njen vek u EFC.

Uz sve nedostatke, primena navedenih kriterijuma u praksi potvrdila je da se njima ostvaruje zahtevana pouzdanost i bezbednost u eksploataciji. Međutim, primena ovakvih kriterijuma na savremena artiljerijska oruđa treće generacije ne garantuje zahtevanu pouzdanost u preostalom radnom veku cevi.

Pred savremena oruđa postavljaju se sve oštriji zahtevi – visoki radni pritisci barutnih gasova (preko 550 MPa) radi ostvarivanja početnih brzina projektila i

preko 1700 m/s. Za izradu cevi takvih oruđa koriste se materijali visoke čvrstoće ( $\sigma_{0,2} > 1100$  MPa). Primena takvih materijala praćena je učestalom pojavom rasprskavanja cevi. Istraživanja, prezentirana u [4], [5] i [6], objašnjavaju ovu pojavu pomoću mehanike loma.

Dokazano je da je radni vek cevi savremenih oruđa uslovljen karakteristikama materijala i postojanjem, nastajanjem i širenjem prslina u unutrašnjem površinskom sloju cevi. Bez obzira na primenu savremenih tehnologija za izradu polufabrikata i završnu obradu unutrašnje trase cevi (kovanje na trnu, završna obrada ljuštenjem i rolovanjem, žljebljenje elektrohemijским postupcima nagrivanja i sl.), nakon obrade ostaju prsline u površinskom sloju kanala cevi. Takođe, pri opaljenju, zajedno sa erozijom kanala cevi pojavljuju se i prsline na početnom delu površine vodišta projektila, koje se mogu uočiti već posle nekoliko opaljenih metaka. Prsline se povećavaju u zavisnosti od broja opterećenja. Brzina povećanja dubine i dužine prsline zavisi od veličine napona u zoni vrha prsline. Prema [6] prsline može da se širi ako je faktor intenziteta napona veći od praga širenja prsline ( $190 \text{ Nmm}^{-3/2}$ ).

Eksperimentalno i teorijski dokazano je da je, pri dejstvu pritiska barutnih gasova kod savremenih artiljerijskih oruđa i, posebno, tenkovskih topova, faktor intenziteta napona znatno viši od praga širenja prsline.<sup>4)</sup> Sa porastom dubine prsline rastu faktor intenziteta napona i brzina širenja prsline, tako da faktor intenziteta napona  $K_I$  relativno brzo dostiže kritičnu vrednost  $K_{IC}$  pri

kojoj se cev rasprskava.<sup>5)</sup> Dakle, opterećenja koja cev može da izdrži, sa stanovišta zamora, zavise od pritiska barutnih gasova, početnih prslina, žilavosti loma materijala cevi  $K_{IC}$  i karakteristika zakona (Parisovog) širenja prsline  $C$  i  $m$ , odnosno veličine kritične dubine prsline pri kojoj dolazi do rasprskavanja.

Očigledno je da kod savremenih oruđa, *vek trajanja cevi*, koji se iskazuje brojem ciklusa do rasprskavanja, i potrebni koeficijent sigurnosti služe kao osnov za određivanje *radnog (balističkog) veka cevi* u odnosu na zamor pri kojem je bezbedna upotreba oruđa, odnosno mala verovatnoća pojave rasprskavanja cevi. Ovo ukazuje na nužnost poznavanja uzajamne zavisnosti trošenja kanala cevi i broja ispaljenih metaka, odnosno, poznavanja kriterijuma za deklasiranje cevi po osnovu zamora materijala. Primena ovog kriterijuma još je bitnija kod tankostenih cevi, kakve su zastupljene kod bestrajnih topova i savremenih minobacača kod kojih je, zbog konstrukcionih rešenja, intenzitet habanja cevi veoma nizak a debljina stenke cevi takva da dubina prskotine može veoma lako da dostigne kritičnu dubinu. Za navedena oruđa nužno je raspolagati urednom evidencijom o broju ispaljenih metaka, i opremom koja omogućuje merenje dubine unutrašnjih prslina sa prihvatljivom greškom (manjom od 0,1 mm).

Kod savremenih artiljerijskih sistema kriterijumi vezani za pad početne brzine, primenjivani na sisteme starije proizvodnje, preblagi su pa se, u slučaju nepoznavanja graničnih mera cevi koje je propisao proizvođač za savremeno oruđe, one ne

<sup>4)</sup> Za cev topa 100 mm, pri pritisku  $300 \text{ N/mm}^2$  i početnoj dubini prsline 0,1 mm, faktor intenziteta napona, pri odnosu spoljašnjeg i unutrašnjeg prečnika cevi  $d_2/d_1 = 2$ , ima vrednost  $K_I = 357,3 \text{ Nmm}^{-3/2}$ , što je znatno iznad praga širenja prsline [6].

<sup>5)</sup> Ako bi u cevi topa 100 mm dubina prsline dostigla 10 mm, faktor intenziteta napona bio bi  $K_I = 2517 \text{ mm}^{-3/2}$ , što je blizu kritične vrednosti  $K_{IC} = 3478 \text{ Nmm}^{-3/2}$  za materijal koji se koristi za izradu ove cevi (30NiCrMo16) [6].

moгу formirati metodom sličnosti. Prihvatljivi pad početne brzine, za savremene tenkovske topove i topove PAA, iznosi ispod 5% zbog njihove namene i mogućnosti unošenja popravki koje mogu prihvatiti implementirani računarski sistemi, a za oruđa opšte vatrene podrške ispod 7,5 %.

### **Neki od mogućih postupaka za određivanje broja ispaljenih metaka**

Iz prethodno navedenih argumenata vidi se da je veoma važno raspolagati podacima o broju ispaljenih metaka zbog:

- planiranja eksploatacije oruđa i ujednačavanja balističkih karakteristika oruđa u osnovnoj jedinici;

- procene preostalog veka cevi i planiranja i organizacije preventivnog i korektivnog održavanja;

- stvaranja baza podataka kod upravnih i izvršnih organa tehničke službe, radi uspostavljanja aproksimativne funkcionalne zavisnosti trošenja cevi, degradacije balističkih karakteristika i broja ispaljenih metaka.

Obaveza korisnika jeste da, u tehničku knjižicu oruđa, uredno evidentira podatke o broju ispaljenih metaka, po vrstama projektila i organizaciji barutnih punjenja (konfiguraciji). U praksi se izvršioc i održavanja neretko susreću sa neažurnom evidencijom ili sa oruđima koja nemaju tehničku knjižicu. Za određivanje približnog broja ispaljenih metaka za konkretno oruđe za koje se ne raspolaze evidencijom moguć i sledeći pristupi:

- izvršiti merenja karakterističnih dimenzija unutrašnje trase cevi (produženje barutne komore, proširenje kalibra na propisanim udaljenostima od zadnjeg preseka cevi), a zatim pronaći oruđe sa

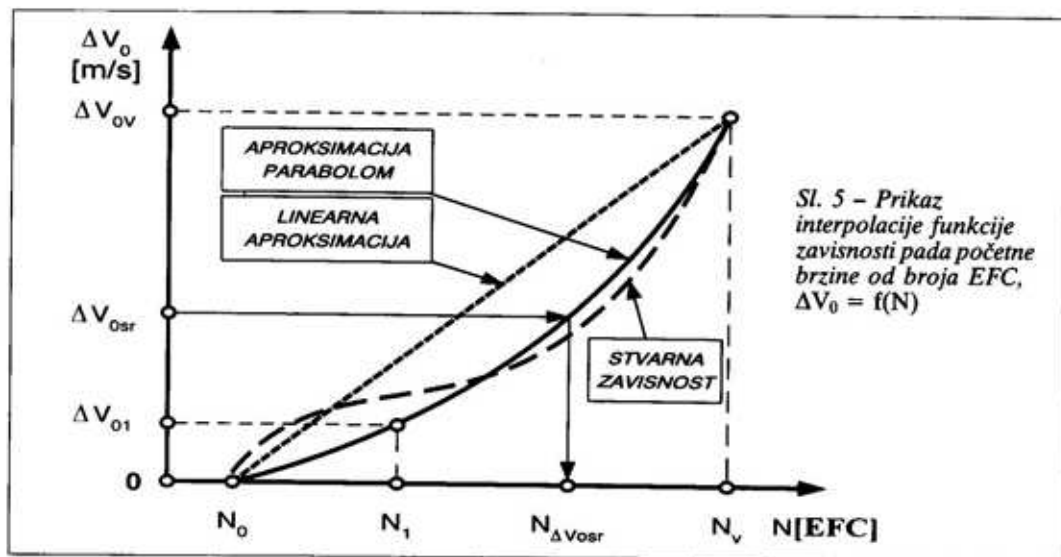
urednom evidencijom o broju ispaljenih metaka kod kojeg je stanje cevi približno utvrđenom (izmerenom) stanju cevi oruđa koje je bez evidencije o broju ispaljenih metaka. Ova metoda je dugotrajna, jer zahteva merenja i pregled cevi kod više oruđa sa urednom evidencijom o broju ispaljenih metaka, radi otkrivanja onog oruđa čije je stanje cevi najpribližnije utvrđenom stanju cevi oruđa bez evidencije. Osim toga, ova metoda daje veoma nepouzdanе podatke zbog svih faktora koji utiču na brzinu habanja cevi;

- izvršiti opitna gađanja (ako se pregledom i merenjem cevi oruđa utvrdi da nema oštećenja koja mogu ugroziti bezbednost pri izvršenju gađanja) i merenjem početne brzine projektila i karakteristika slike pogodaka doneti zaključak o približnom broju ispaljenih metaka iz oruđa koje nema evidenciju, na jedan od sledećih načina. Uporednim gađanjem iz „etalon“ oruđa i oruđa koje nema evidenciju (podrazumeva se pod istim uslovima okoline i municijom iz iste laboračne serije) sa po tri grupe metaka (pet ili deset metaka u grupi, zavisno od kalibra) uz merenje početne brzine projektila i proračun  $V_{sr}$  za svaku grupu i za sve tri grupe. Za etalon oruđe odabirati ono koje ima urednu evidenciju o broju ispaljenih metaka i koje je ispalilo između 1/3 i 2/3 broja metaka deklariranih kao balistički život cevi. Nakon toga treba izvršiti obradu rezultata na sledeći način:

- za etalon oruđe definisati, interpolacijom kroz tri tačke, aproksimativnu zakonitost promene pada početne brzine u funkciji broja ispaljenih metaka (slika 5). Tačke kroz koje se obavlja interpolacija krivulje su:

A ( $N_0; 0$ ), B ( $N_1; \Delta V_{01}$ ) i V ( $N_v; \Delta V_{0v}$ )





Sl. 5 – Prikaz interpolacije funkcije zavisnosti pada početne brzine od broja EFC,  $\Delta V_0 = f(N)$

gde je:

$N_0$  – broj ispaljenih metaka pri fabričkim ispitivanjima (za artiljerijska oruđa i tenkovske topove može se uzeti  $N_0 = 15$  a za PA topove  $N_0 = 50$ );

$N_1$  – ukupni broj ispaljenih metaka iz oruđa (uključujući i metke za opit) izražen kroz EFC;

$\Delta V_{01}$  – pad početne brzine projektila izračunat na osnovu izmerene srednje brzine pri opitu ( $\Delta V_{01} = V_0 - V_{sr}$ );

$N_v$  – deklarirani balistički vek cevi izražen u EFC;

$\Delta V_{0v}$  – maksimalni dozvoljeni pad početne brzine za deklarirani balistički vek cevi ( $\Delta V_{0v} = 7,5\% V_0$  ili  $\Delta V_{0v} = 5\% V_0$ ).

– pad početne brzine  $\Delta V_{0sr}$ , izračunat na osnovu izmerenih početnih brzina pri opitnom gađanju i deklarirane početne brzine  $V_0$ , ( $\Delta V_{0sr} = V_{0sr} - V_0$ ) kod oruđa sa nepoznatim brojem ispaljenih metaka, treba uvrstiti u funkciju dobijenu interpolacijom za etalon oruđe (ili grafičkim putem naneti na dijagram, što je potrebno izbegavati, imajući u vidu sadašnje mogućnosti računarske opreme) i

izračunati (očitati) broj ispaljenih metaka (EFC) koji odgovara padu početne brzine.

Potrebno je gađati samo iz oruđa sa nepoznatim brojem ispaljenih metaka (tri grupe gađanja), meriti početnu brzinu i izračunati srednju početnu brzinu i pad početne brzine (kao i kod prethodnog postupka). Interpolacijom definisati pravac kroz tačke A ( $0; N_0$ ) i V ( $N_v; \Delta V_{0v}$ ) i na osnovu pada početne brzine  $\Delta V_{0sr}$  izračunati broj ispaljenih metaka koji po linearnoj zavisnosti odgovara padu početne brzine.

Očito je da metodologija uporednog gađanja daje približnije podatke, s obzirom na to da pad početne brzine u funkciji broja ispaljenih metaka sigurno nema linearnu zavisnost. Međutim, imajući u vidu da obe metodologije daju samo orijentacione pokazatelje, moguća je i primena metodologije gađanja samo iz oruđa sa nepoznatim brojem ispaljenih metaka, pri čemu se dobija veći koeficijent sigurnosti kada je ostatak balističkog života cevi manji od 50%.

Ukoliko se žele dobiti pouzdaniji pokazatelji i približnije definisati funkcija  $\Delta V_0 = f(N)$  neophodno je obaviti opitna gađanja iz više etalon oruđa sa različitim brojem ispaljenih metaka (na primer:  $1/4 N_v$ ;  $1/2 N_v$  i  $3/4 N_v$ , pri čemu je  $N_v$  deklarirani balistički život cevi izražen EFC) i time definisati koordinate za više tačaka kroz koje će se obaviti interpolacija funkcije  $\Delta V_0 = f(N)$ , i dobiti realnija zavisnost.

Uslov za primenu navedenih metodologija jeste poznavanje deklarisanog radnog veka cevi (izraženog u EFC) i koeficijenta za preračunavanje broja metaka kojim je oruđe gađalo na EFC. U slučaju da se ne raspolaze ovim podacima, ili se sumnja u njihovu verodostojnost, proračunom je moguće [6] odrediti radni vek i vek trajanja cevi u odnosu na zamor materijala sa prihvatljivom saglasnošću sa opitnim pokazateljima. Za proračun je nužno poznavati vrednost kritičnog koeficijenta intenzivnosti napona  $K_{IC}$  za materijal cevi. On se može eksperimentalno odrediti po metodologiji propisanoj standardom ASTM-E 399 [7].

### **Mogući pristup utvrđivanju stanja cevi**

Utvrđivanje stanja cevi složen je tehnološki postupak, pa je nužno voditi računa o njegovoj racionalnosti. To, pre svega, znači da ga treba osmisлити tako da se ne realizuju operacije koje nisu nužne i ne stvaraju troškove (ako je neki od kriterijuma za odbacivanje cevi ispunjen) zbog utvrđivanja svih karakteristika cevi. Na slici 6 prikazan je blok-dijagram mogućeg tehnološkog postupka za utvrđivanje stanja cevi u okviru generalnog remonta (Rev) oruđa. Algoritam ukazuje na kritične operacije. Primena predložene

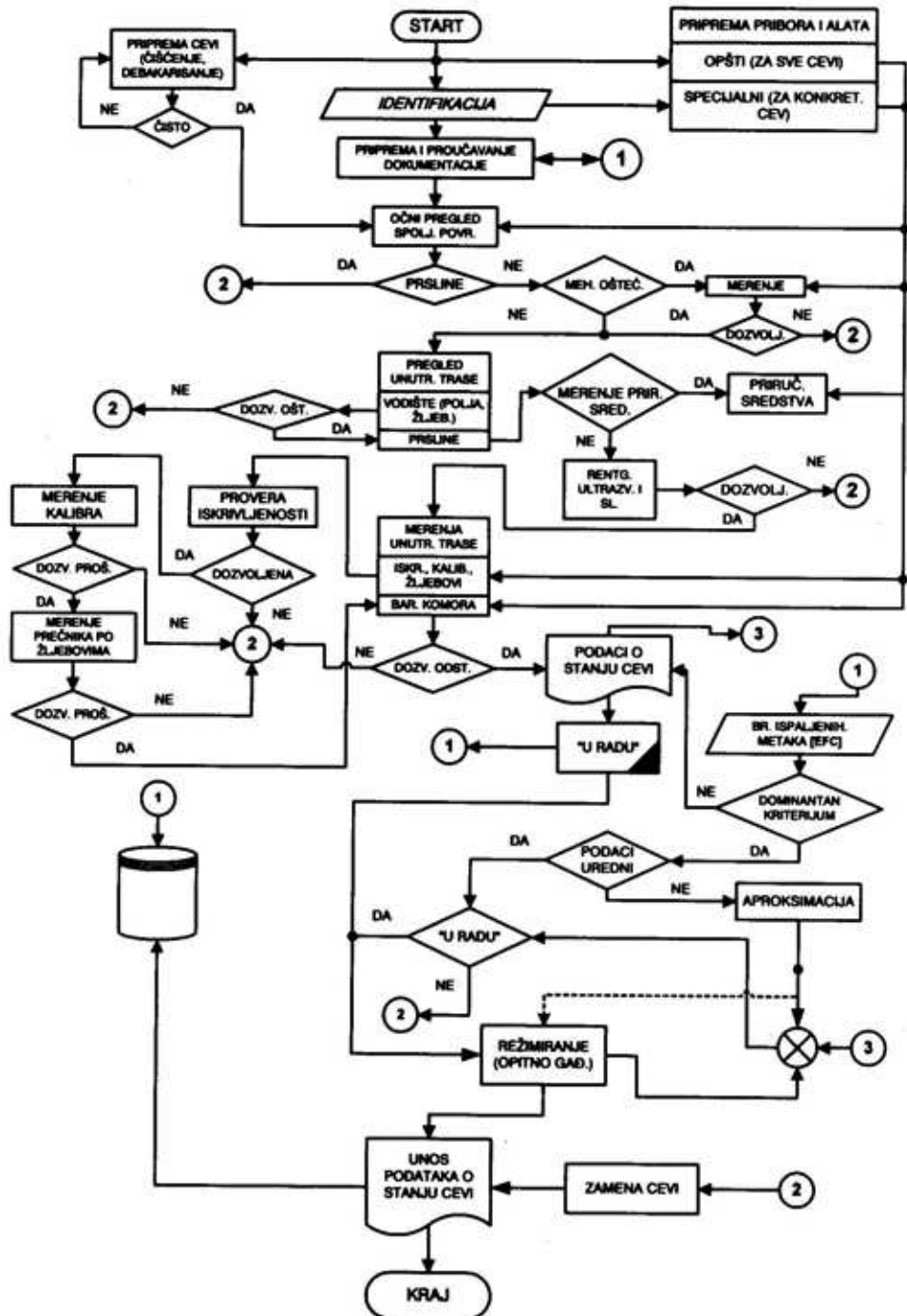
nog tehnološkog postupka je opravdana kada postoji baza podataka o cevima i kad nije nužno neke operacije realizovati radi dogradnje datoteke.

Ne ulazeći, ovom prilikom, u tehnologiju merenja, analizom dijagrama tehnološkog postupka može se uočiti da je za efikasan i pouzdan rad potrebna specifična oprema i specijalni alati i pribori (optičke, pneumatske ili elektromehaničke merne zvezde, optički pribor ili laserski uređaj za merenje krivine cevi, endoskopi sa mogućnošću fotografisanja ili digitalizovanja slike, uređaji za otkrivanje i merenje dubine prsline – rentgenski, ultrazvučni, feromagnetski, specijalni kontrolnici i pribori za merenje barutne komore, kontrolu specijalnih-artiljerijskih navoja i sl.).

### **Zaključak**

Radi utvrđivanja stanja cevi artiljerijskih oruđa i prognoziranja preostalog veka upotrebe, po dinamici propisanoj konceptom održavanja nužno je raspolagati pouzdanim kriterijumima za ocenu stanja. Kriterijume iz dostupne izvorne tehničke dokumentacije, zbog nedorečenosti i nepouzdanosti, treba proveravati na osnovu baze podataka o cevima i degradaciji karakteristika tokom eksploatacije. Na taj način omogućiće se definisanje iskustvene funkcionalne zavisnosti broja ispaljenih metaka, balističkih svojstava (početna brzina, tačnost i preciznost) i degradacije karakterističnih dimenzija cevi (dužina barutne komore i kalibar).

Za savremena oruđa i oruđa iz domaće proizvodnje i vlastitog razvoja, nužno je definisati kriterijume za utvrđivanje stanja cevi u odnosu na zamor materijala.



Sl. 6 - Blok-dijagram mogućeg tehnološkog postupka za utvrđivanje stanja cevi

Osposobljenost kapaciteta za generalni remont treba prilagoditi zahtevima za utvrđivanje i merenje karakteristika neophodnih za donošenje odluke o stanju cevi i „balističkoj smrti“, i smanjiti mogućnosti da se umesto koeficijenata sigurnosti primenjuju proizvoljni koeficijenti.

*Literatura:*

[1] Obrenović, R.: Konstrukcija artiljerijskih oruđa, I deo, Tehnički školski centar KoV JNA, Zagreb, 1975.

- [2] Tehnički bilten TB-25, Naoružanje, 1224–1227, TU SSNO.
- [3] Instrukcija za kategorizaciju cevi artiljerijskog oruđa za ispitivanje projektila i drugih elemenata metka na poligonima, OVR-284, UNIS-PRÉTIS, Sarajevo, 1981.
- [4] Vasiljević, M.: Primena mehanike loma pri određivanju radnog veka cevi artiljerijskih oruđa, Naučno-tehnički pregled, XXXV, 1985., 2.
- [5] Vasiljević, M.: Prikaz postupka za određivanje radnog veka autofretovane cevi debelih zidova, Naučno-tehnički pregled, XXXVI, 1986., 4.
- [6] Vasiljević, M.: Predviđanje radnog veka i veka trajanja cevi oruđa i oružja u odnosu na zamor materijala cevi, Naučno-tehnički pregled, XLII, 1992., 2.
- [7] Pavelić, V.: Tehnologija proizvodnje naoružanja, Centar vojnotehničkih škola KoV JNA „General armije Ivan Gošnjak“, Zagreb, 1988.