

Gaussova aproksimacija oblika prostornog zakona raspodele efikasne parčadi

Dr Miroljub Vukašinić, dipl.inž.¹⁾

Predstavljen je novi pristup analizi oblika prostornog zakona raspodele parčadi projektila parčadno rušecog dejstva. Složeni geometrijski oblik prostornog zakona raspodele parčadi realne košuljice projektila aproksimiran je nizom Gaussovih krivih. Postavljeni matematički model omogućava određivanje srednjeg pravca razleta parčadi, širine bočnog snopa i procentualni udeo parčadi u svakom snopu parčadi ponaosob. Matematički model zasnovan je na rešenju sistema petnaest nelinearnih jednačina, čije se rešenje ne može naći u analitičkom obliku, pa su korišćene modifikovane numeričke metode. Na osnovu eksperimentalnih podataka dobijenih rasprskavanjem projektila u areni, izvršena je analiza oblika prostornog zakona raspodele parčadi realnih konstrukcija projektila i bojnih glava raketa. Suprotno ustaljenom mišljenju, prema kojem su prednji i zadnji snop parčadi usmereni u pravcu ose projektila i obuhvataju oko 30% od ukupnog broja parčadi, rezultati izvršenih teorijsko-eksperimentalnih analiza pokazuju značajna odstupanja.

Ključne reči: efikasnost projektila, parčadno dejstvo, zakon raspodele.

Uvod

EFIKASNOST parčadnog dejstva razornog projektila predstavlja meru učinka na cilju. Ona zavisi od broja, brzine razletanja, prostornog zakona raspodele broja i mase parčadi koja nastaju fragmentacijom košuljice izložene dejstvu produkata detonacije. Za ocenu efikasnosti parčadnog dejstva potrebno je, takođe, poznavati i karakteristike cilja po kojem se vrši gađanje: površinu cilja, površine pojedinih osetljivih delova kao i njihovu otpornost na dejstvo parčadi. Skup ovih karakteristika u potpunosti definiše funkciju osetljivosti cilja. Efikasnost projektila parčadnog dejstva bitno zavisi i od:

- rastojanja od mesta eksplozije do cilja,
- padnog ugla projektila i
- ugla između ose projektila i vektora napadnute površine cilja.

Da bi se odredila verovatnoća uništenja zadatog cilja s poznatim položajem u prostoru, neophodno je da se utvrdi sa koliko će parčadi cilj biti pogođen i koliku energiju imaju ta parčad pri dejstvu po cilju. To dovodi do potrebe da se definiše prostorni zakon raspodele broja, mase i gustine efikasne parčadi. Prostorni zakon raspodele određuje se isključivo eksperimentalnim metodama, tj. rasprskavanjem projektila u areni.

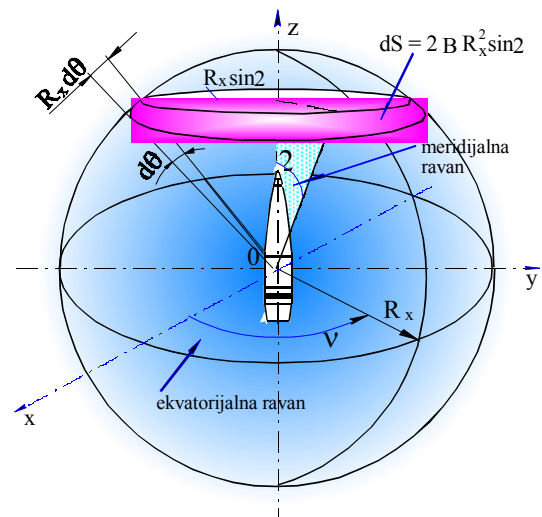
Određivanje prostornog zakona raspodele efikasne parčadi

Pri utvrđivanju prostorne raspodele efikasne parčadi, polazi se od sledećih pretpostavki:

- parče je efikasno u posmatranoj tački putanje ako raspolaže dovoljnom energijom za izbacivanje vojnika iz stroja, odnosno za probijanje etalon mete;

- parčad potiču iz jedne tačke O – centra eksplozije (sl.1) pri čemu se usvaja da su dimenzije projektila zanemarljivo male u odnosu na prostor razleta parčadi;
- parčad se kreću pravolinijski sve dok raspolažu kinetičkom energijom E_{kp} dovoljnom za probijanje etalon mete ($E_{kp} \geq E_{kmin}$).

Položaj parčeta u prostoru određen je koordinatama r , φ i θ sfernog koordinatnog sistema s koordinatnim početkom u centru mase projektila (sl.1).



Slika 1. Uglovi razleta parčadi u sfernom koordinatnom sistemu

Za sve osnosimetrične projekte može da se smatra – raspodela parčadi u ekvatorijalnoj ravni je ravnomerna.

¹⁾ JP "JUGOIMPORT-SDPR", 11000 Beograd, Bulevar umetnosti 2

Realno postoji izvesna neravnomernost koja u ekvatorijalnoj ravni (r, φ) nastaje pod uticajem statističkih faktora na proces fragmentacije, kao što su:

- odstupanje konstrukcionih parametara košuljice i eksplozivnog punjenja od njihove nominalne vrednosti,
- raspodela mikropukotina u materijalu (košuljice i eksplozivnog punjenja),
- turbulentno strujanje produkata detonacije oko parčadi pri širenju košuljice,
- ekscentrično postavljanje detonatora.

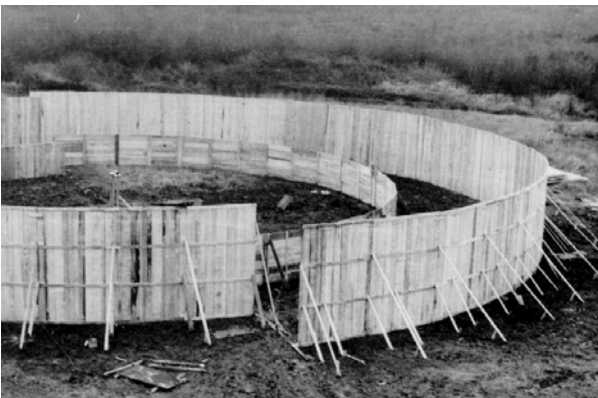
Raspodela parčadi u ekvatorijalnoj ravni malo se razlikuje od ravnomerne, odnosno uticaj navedenih statističkih faktora je vrlo mali, te se u svim daljim analizama polazi od pretpostavke da je raspodela parčadi u ekvatorijalnoj ravni simetrična, odnosno za određivanje prostornog zakona raspodele gustine efikasne parčadi na zadatom rastojanju od centra eksplozije, potrebno je poznavati raspodelu parčadi u meridijalnoj ravni $f(R, \theta)$.

Prostorni zakon raspodele broja i gustine efikasne parčadi određuje se eksperimentalnim putem rasprskavanjem projektila u areni (sl.2). Arena se sastoji od k -prolukružnih sektora koji su podeljeni na n_s -segmenata međusobno jednakih širina. Svakom segmentu tako odgovara konstantan priraštaj polarnog ugla $\Delta\theta_j = \pi/n_s = \text{const.}$ koji određuje jednu polarnu zonu.

Nakon rasprskavanja strogo horizontalno postavljenog projektila u samom centru arene, utvrđuje se broj proboja u svakom segmentu i na svakom sektoru arene. Na osnovu dobijenih rezultata moguće je odrediti:

- ukupan broj parčadi u j -toj polarnoj zoni i na zadatim rastojanjima (poluprečnicima pojedinih sektora arene) N_{jk} ;
- ukupan broj parčadi na pojedinim rastojanjima (poluprečnicima sektora) N_{ok} ;
- srednju gustinu parčadi u zahvatu j -te polarne zone i na zadatim rastojanjima $\rho_{jk} = f(\theta_j, R_k)$.

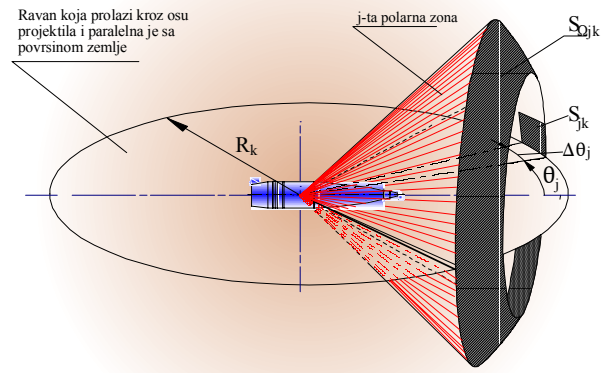
Na sl.2 dat je izgled eksperimentalne instalacije koja se koristi za određivanje prostornog zakona raspodele parčadi, a na sl.3 su prikazani parametri polarne zone na osnovu kojih se definiše funkcija prostornog zakona raspodele parčadi.



Slika 2. Izgled arene

Na osnovu podataka dobijenih rasprskavanjem projektila u areni, moguće je odrediti integralni oblik prostornog zakona raspodele efikasne parčadi [1]. Ako se sa N_{ok} označi ukupan broj parčadi na rastojanju R_k k -tog sektora arene, tada odnos N_{jk} / N_{ok} predstavlja statističku verovatnoću pada efikasne parčeta u polarnu zonu omeđenu ugaonim

intervalom (θ_j, θ_{j+1}) .



Slika 3. Parametri polarne zone kojima se definiše funkcija prostornog zakona raspodele efikasne parčadi

Funkcija gustine raspodele verovatnoće može se napisati u obliku:

$$N_{ok} = \sum_{j=1}^{n_s} N_{jk} \quad (1)$$

$$f_k(\theta) = \frac{N_{jk}}{\Delta\theta_j \cdot N_{ok}} \quad (2)$$

gde je $\Delta\theta_j = \theta_{j+1} - \theta_j$.

Veoma značajan pokazatelj zakona raspodele parčadi je takozvani srednji pravac razleta parčadi (matematičko očekivanje), a određuje se na osnovu jednačine:

$$\theta_{sr} = \sum_{j=1}^{n_s} \theta_j \cdot f_k(\theta) \cdot \Delta\theta_j \quad (3)$$

Zbog daljih numeričkih aproksimacija, prostorni zakon raspodele parčadi pogodnije je predstaviti u obliku statističkog integralnog zakona raspodele parčadi :

$$F_k(\theta) = \frac{\sum_{i=1}^n N_{jk}}{N_{ok}} = \frac{N_{qk}(\theta_n)}{N_{ok}} \quad (4)$$

gde su:

- N_{ok} - ukupan broj parčadi u k -tom sektoru;
- $N_{qk}(\theta_n)$ - broj parčadi koja lete unutar konusa ugla zahvata $2\theta_n$ pri čemu je:

$$N_{qk}(\theta_n) = \sum_{i=1}^n N_{jk} \quad (5)$$

Prema tome, integralni zakon raspodele parčadi predstavlja relativan broj parčadi koji lete u konusu ugla zahvata 2θ . Na osnovu prethodnih jednačina dobija se:

$$F_k(\theta) = \frac{N_{qk}(\theta_n)}{N_{ok}} = \frac{\sum_{i=1}^n N_{jk}}{N_{ok}} = \frac{1}{N_{ok}} \sum_{j=1}^n \rho_{jk} \cdot K_j \cdot R_k^2 \quad (6)$$

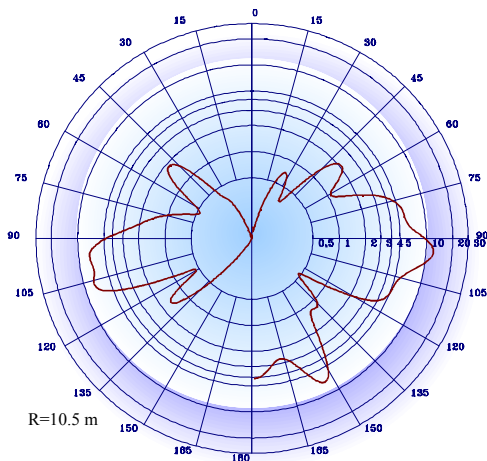
gde su:

- $\rho_{jk} = n_{jk} / S_k$ - srednja gustina broja parčadi u j -tom segmentu k -tog sektora arene;
- $K_j = 2\pi(\cos\theta_j - \cos\theta_{j+1})$ - prostorni ugao j -te polarne zone;
- R_k - poluprečnik k -tog sektora arene.

Služeći se poznatim metodama izjednačavanja stepenastih funkcija, funkcija $f_k(\theta)$ u dijagramu raspodele može da se zameni nekom neprekidnom funkcijom $f(\theta)$. Ovako dobijena funkcija u teoriji verovatnoće poznata je

kao *diferencijalni zakon raspodele*.

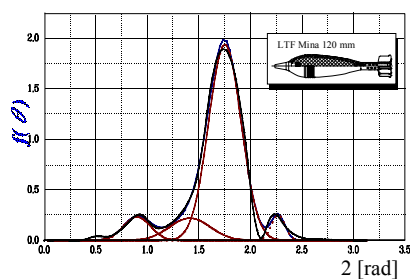
Za sve dalje analize efikasnosti neophodno je datu stepenastu funkciju aproksimirati nekom neprekidnom funkcijom i u tom cilju iskorišćene su kubne **SPLINE** funkcije. Na osnovu eksperimentalnih rezultata na sl.4, dat je uporedni prikaz (u log-polarnom koordinatnom sistemu) prostornog zakona raspodele gustine dva minobacačka projektila istog kalibra i namene. Na prikazanom dijagramu se vidi da prostorni zakon raspodele parčadi zavisi, u prvom redu, od geometrijskih i mehaničkih karakteristika košuljice kao i od detonacionih karakteristika primenjenog eksploziva.



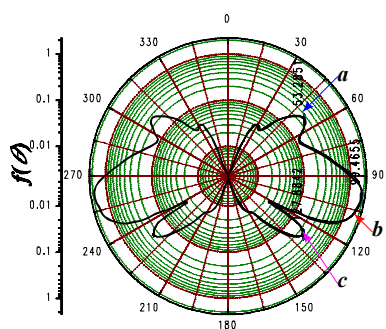
Slika 4. Uporedni prikaz prostornog zakona raspodele gustine efikasne parčadi mina 120 mm.

Matematička analiza oblika prostornog zakona raspodele efikasne parčadi

Na osnovu skupa eksperimentalnih podataka moguće je odrediti diferencijalni oblik zakona raspodele parčadi [1] (empirijska funkcija gustine raspodele verovatnoće). Na sl.5 dat je grafički prikaz zakona raspodele parčadi LTF mine 120 mm. Na dijagramu se vidi da je funkcija $f(\theta)$ pra-



(a)



(b)

Slika 5. Funkcija gustine raspodele verovatnoće broja efikasne parčadi - $f(\theta)$ mine 120 mm. Grafički prikaz u log-polarnom koordinatnom sistemu dat je na slici b

ćena naglim promenama toka. Ova pojava se može objasniti postojanjem diskontinuiteta u geometrijskoj formi košuljice, pre svega naglih promena geometrije spoljašnje i unutrašnje trase košuljice, kao i promenom koeficijenta punjenja u pojedinim poprečnim presecima košuljice. Sam proces nastanka i razvoja mikropukotina u materijalu je suštinski različit, što uslovljava pojavu različitih radijusa razaranja košuljice u pojedinim karakterističnim presecima košuljice. U oblastima diskontinuiteta, formira se složeno polje napona koje je izazvano superponiranjem kompresionih talasa u materijalu košuljice.

Pod pretpostavkom da je nakon dejstva upaljača u eksplozivnom punjenju došlo do formiranja ravnog stacionarnog detonacionog talasa (koji je upravan na uzdužnu osu projektila) delovi košuljice imaju brzinu razletanja čiji vektor zaklapa ugao $\beta/2 = \arcsin(V_0/2D)$ sa pravcem normale na unutrašnju površinu košuljice u trenutku njenog razaranja. Zbog delovanja mikrostatističkih faktora na proces fragmentacije kao i asimetričnog opstrujavanja parčadi produktima detonacije, ovi pravci razletanja predstavljaju samo srednje pravce oko kojih su raspoređeni realni pravci razletanja parčadi.

Na osnovu napred iznetog, kao i na osnovu analize dijagrama prostorne raspodele parčadi i analize geometrijskih karakteristika projektila, može se zaključiti da parčad u trenutku fragmentacije košuljice formiraju tri glavna snopa (sl.6):

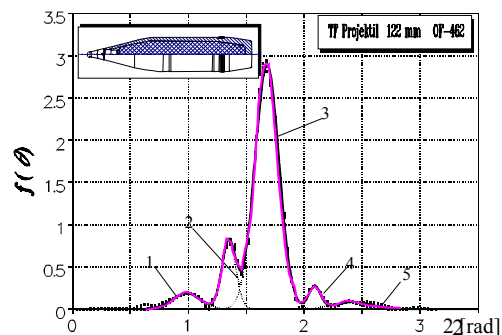
a - prednji snop koji se sastoji od dva snopa (krive 1 i 2 na sl.6):

- prvi snop sačinjavaju delovi upaljača i delovi prednjeg oživalnog dela košuljice oko usta košuljice;
- drugi snop sačinjavaju ostali delovi oživalnog dela košuljice;

b - bočni snop od cilindričnog dela košuljice - kriva 3 na sl.6:

- prednji bočni snop sačinjavaju delovi cilindričnog dela košuljice;
- zadnji bočni snop sačinjavaju delovi zadnjeg cilindričnog dela košuljice (konusni deo eksplozivnog punjenja) - kriva 4;

c - snop od zadnjeg dela, dna košuljice - kriva 5.



Slika 6. Prostorni zakon raspodele efikasne parčadi projektila 122 mm OF-462

Snopovi parčadi od prednjeg i zadnjeg dela košuljice praktično nemaju značaja sa stanovišta efikasnosti na cilju (parčad ostaje u tlu u neposrednoj blizini centra eksplozije ili im je putanja takva da ne mogu pogoditi cilj).

Matematički model

Radi analize uticaja pojedinih delova košuljice na prostornu raspodelu efikasne parčadi, uz pretpostavku da se prostorna raspodela pojedinih delova košuljice pokorava Gaussovom zakonu raspodele, moguće je funkciju gustine raspodele verovatnoće $f(\theta)$ predstaviti zbirom od n nezavisnih Gaussovih krivih [1], pri čemu svaka od ovih krivih definiše ugaonu raspodelu parčadi pojedinih delova košuljice.

$$f(\theta) = \sum_{i=1}^5 a_{0i} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{\theta - a_{1i}}{a_{2i}}\right)^2\right) \quad (7)$$

gde su:

$a_{0i} \ i=1,2,\dots,5$ - amplituda (normalizacioni parametar) i -te Gaussove krive,

$a_{1i} \ i=1,2,\dots,5$ - centar krive (srednje vrednosti i -te Gaussove krive),

$a_{2i} \ i=1,2,\dots,5$ - širina krive (standardna devijacija i -te Gaussove krive).

Može se lako dokazati da površina ispod i -te Gaussove krive definisana jednačinom:

$$S_i = \int_0^{\pi} a_{0i} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{\theta - a_{1i}}{a_{2i}}\right)^2\right) = \sqrt{2\pi} a_{0i} a_{2i} \quad (8)$$

predstavlja relativan broj parčadi koja potiču od i -tog dela košuljice, pa će ukupan broj parčadi koja potiču od i -tog dela košuljice biti:

$$N_{0i} = N_0 S_i = N_0 a_{0i} a_{2i} \sqrt{2\pi} \quad (9)$$

U jednačini (1) figuriše 15 nepoznatih parametara (a_{0i} , a_{1i} , $a_{2i} \ i=1,2,\dots,5$). Za određivanje ovih parametara korišćena je poznata metoda najmanjih kvadrata [2] prema kojoj je od svih aproksimativnih krivih za dati skup tačaka najbolja ona kod koje je zbir kvadrata odstupanja definisan sledećom jednačinom:

$$S(\theta_j) = \sum_{j=1}^n \left(y_e(\theta_j) - f(\theta_j, a_{0j}, a_{1j}, a_{2j}) \right)^2 \quad (10)$$

najmanji.

$y_e(\theta_j)$ - eksperimentalne vrednosti funkcije prostorne raspodele broja efikasne parčadi,

$f(\theta_j, a_{0j}, a_{1j}, a_{2j})$ - ordinate pretpostavljene funkcije prostorne raspodele broja efikasne parčadi.

Potreban (i dovoljan) uslov [2] da funkcija $S(a_{0i}, a_{1i}, a_{2i})$ dostigne minimum je da su svi odgovarajući parcijalni izvodi jednaki nuli, tj. $\partial S/\partial a_{0i}=0$, $\partial S/\partial a_{1i}=0$ i $\partial S/\partial a_{2i}=0$. Parcijalnim diferenciranjem jednačine (4) po promenljivoj a_{0i} dobija se:

$$\begin{aligned} \frac{\partial S(\theta_j)}{\partial a_{0j}} &= \\ &= \frac{\partial}{\partial a_{0j}} \sum_{j=1}^n \left(y_e(\theta_j) - f(\theta_j, a_{0j}, a_{1j}, a_{2j}) \right)^2 = \\ &= 2 \sum_{j=1}^n \left(y_e(\theta_j) - f(\theta_j, a_{0j}, a_{1j}, a_{2j}) \right) \frac{\partial f(\theta_j, a_{0j}, a_{1j}, a_{2j})}{\partial a_{0j}} \end{aligned}$$

(11)

Na identičan se način dobijaju i preostala dva parcijalna izvoda po promenljivim a_{1i} i a_{2i} . Parcijalni izvodi aproksimacione funkcije $f(\theta)$ dobijaju se parcijalnim diferenciranjem jednačine (4) po promenljivim a_{0i} , a_{1i} i a_{2i} i definisani su sledećom jednačinom:

$$\begin{aligned} \frac{\partial f(\theta_j, a_{0j}, a_{1j}, a_{2j})}{\partial a_{0j}} &= \\ &= \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{\theta - a_{1j}}{a_{2j}}\right)^2\right) \frac{\partial f(\theta_j, a_{0j}, a_{1j}, a_{2j})}{\partial a_{1j}} = \\ &= \frac{a_{0j}(\theta - a_{1j})}{a_{2j}} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{\theta - a_{1j}}{a_{2j}}\right)^2\right) \frac{\partial f(\theta_j, a_{0j}, a_{1j}, a_{2j})}{\partial a_{2j}} = \\ &= \frac{a_{0j}(\theta - a_{1j})^2}{a_{2j}^3} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{\theta - a_{1j}}{a_{2j}}\right)^2\right) \end{aligned} \quad (12)$$

Zamenom izraza (7) u jednačinu (12) dobija se sistem jednačina koji se posle sređivanja može napisati u obliku:

$$\begin{aligned} \frac{\partial S(\theta_j, a_{0j}, a_{1j}, a_{2j})}{\partial a_{0j}} &= \\ &= \sum_{j=1}^n \left\{ y_e(\theta_j) - \sum_{i=1}^5 a_{0i} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\theta - a_{1j}}{a_{2j}}\right)^2\right] \right\} \times \\ &\times \sum_{i=1}^5 \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\theta - a_{1j}}{a_{2j}}\right)^2\right] \quad i=1, 2, \dots, 5 \end{aligned}$$

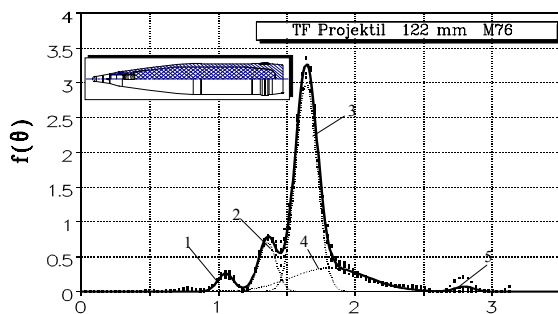
$$\begin{aligned} \frac{\partial S(\theta_j, a_{0j}, a_{1j}, a_{2j})}{\partial a_{1j}} &= \\ &= \sum_{j=1}^n \left\{ y_e(\theta_j) - \sum_{i=1}^5 a_{0i} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\theta - a_{1j}}{a_{2j}}\right)^2\right] \right\} \times \\ &\times \sum_{i=1}^5 \frac{a_{0j}(\theta - a_{1j})}{a_{2j}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\theta - a_{1j}}{a_{2j}}\right)^2\right] = 0 \quad i=1, 2, \dots, 5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial S(\theta_j, a_{0j}, a_{1j}, a_{2j})}{\partial a_{2j}} &= \\ &= \sum_{j=1}^n \left\{ y_e(\theta_j) - \sum_{i=1}^5 a_{0i} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\theta - a_{1j}}{a_{2j}}\right)^2\right] \right\} \times \\ &\times \sum_{i=1}^5 \frac{a_{0j}(\theta - a_{1j})^2}{a_{2j}^3} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\theta - a_{1j}}{a_{2j}}\right)^2\right] = 0 \quad i=1, 2, \dots, 5 \end{aligned} \quad (13)$$

Postavljeni matematički model omogućava određivanje srednjeg pravca razleta parčadi, širine bočnog snopa i procentualni udeo parčadi u svakom snopu parčadi ponaosob. Matematički model za određivanje ovih parametara zasnovan je na rešenju sistema petnaest nelinearnih jednačina čije se rešenje ne može naći u analitičkom obliku, pa su korišćene modifikovane numeričke metode. Na osnovu skupa eksperimentalnih

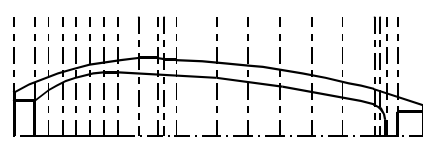
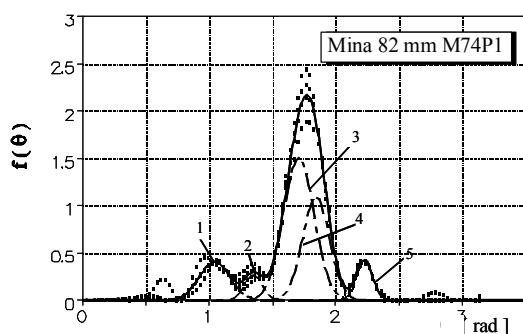
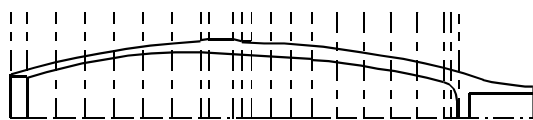
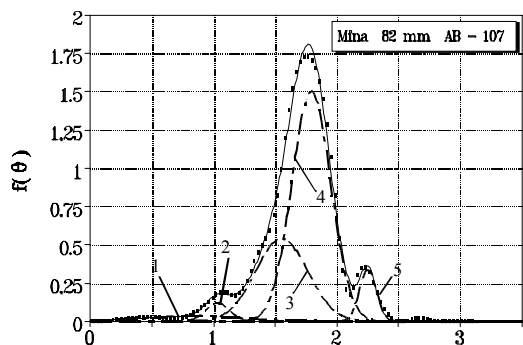
podataka dobijenih rasprskavanjem projektila u areni, korišćenjem odgovarajućih optimizacionih podprograma iz poznate IMSL-ove matematičke biblioteke [3] urađen je programa koji je omogućio analizu oblika funkcije $f(\theta)$ i određivanje koeficijenta ($a_{0i}, a_{1i}, a_{2i} \ i=1,2,\dots,5$) za 16 različitih projektila. S obzirom da je primenjena numerička metoda osetljiva na početne vrednosti koeficijenata a_{ki} , sukcesivnim aproksimacijama, varirajući početne vrednosti koeficijenata a_{ki} , izvršen je izbor najbolje aproksimacione krive prema maksimalnoj vrednosti koeficijenta korelacije.

Na slikama 6 i 7 dat je prikaz prostornog zakona raspodele parčadi projektila 122 mm *OF-462* i *M76* s odgovarajućim oblicima aproksimativnih krivih. Na sl.8. dat je uporedni prikaz prostornog zakona raspodele parčadi stare i nove varijante mine 82mm. Na istoj slici dat je i uporedni prikaz poprečnog preseka košuljice.



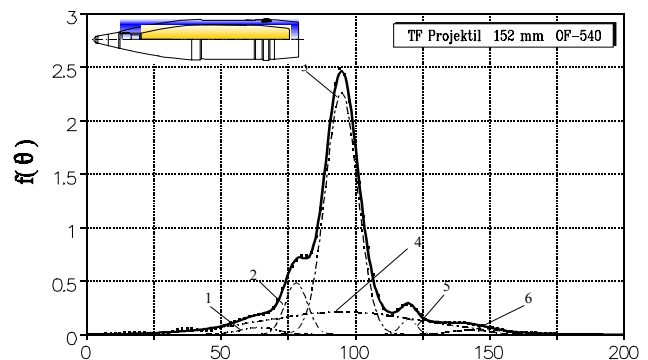
Slika 7. Prostorni zakon raspodele efikasne parčadi projektila 122 mm *M76*

Iz prikazanih dijagrama se vidi da je preraspodela mase košuljice (izduženje prednjeg oživalnog dela projektila) prouzrokovala promenu srednjeg pravca razleta parčadi prednjeg bočnog snopa (krive 3 i 4 na sl.8), što je i dovelo do promene ukupnog broja parčadi u bočnom snopu.



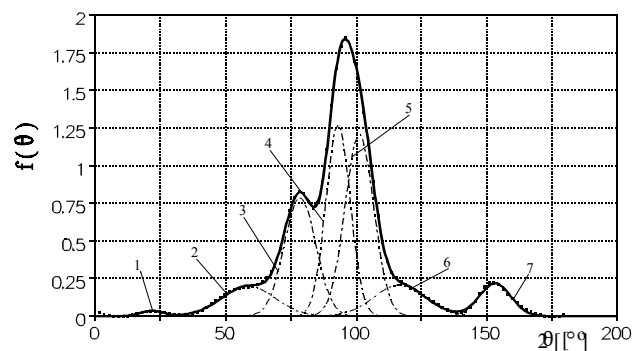
Slika 8. Uporedni prikaz prostornih zakona raspodele efikasne parčadi mina 82 mm

Analiza podataka datih u tabeli 1, kao i većeg broja dijagrama datih u [1] pokazuje, da se kod projektila s povećanom debljinom zida košuljice javlja fenomen povećane širine sekundarnog bočnog snopa (kriva 4. na sl.9). Ova pojava naročito je izražena kod projektila 152 mm *OF-540*. Naknadnom analizom funkcije raspodele broja parčadi, tj. povećanjem broja aproksimacionih krivih na šest, dobijeno je da sekundarni bočni snop parčadi (kriva 4. na sl.9) zbog svoje izuzetne širine ima uticaja i na prednji i na zadnji snop parčadi.



Slika 9. Prostorni zakon raspodele parčadi projektila 152 mm

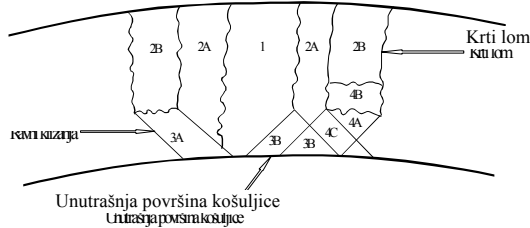
Ova pojava nije karakteristična samo za projektele s debelom košuljicom, već se javlja i kod projektila sa ojačanim zadnjim delom košuljice. Radi provere postojanja ove pojave kod košuljica tankih zidova, izvršena je dodatna analiza prostornog zakona raspodele parčadi bojeve glave mine 120 mm *AR TF*, pri čemu je broj aproksimacionih krivih povećan na sedam. Grafički prikaz dobijenih rezultata dat je na sl.10. Vidi se da ni jedna aproksimativna kriva nema tako izrazitu širinu, tj. prethodno opisani fenomen se ne javlja kod košuljica s tankim zidovima. Analiza krivih na ovom dijagramu pokazuje da su košuljice tankih zidova znatno osetljivije na pojavu diskontinuiteta spoljašnje i unutrašnje trase košuljice.



Slika 10. Prostorni zakon raspodele parčadi projektila 120mm *AR TF*

Povećana širina sekundarnog snopa parčadi može se objasniti primenom mikrostatističke mehanike loma [4].

Prema ovoj teoriji, kod košuljica s debelim zidovima, u procesu razaranja uloga tangencijalnih napona na unutrašnjoj površini košuljice postaje dominantna, a razaranje ovih slojeva košuljice odvija se (saglasno Curranovoj teoriji [4,5]) po ravnima klizanja putem nestacionarnog termoplastičnog (adijabatskog) klizanja. Grafički prikaz mehanizama mogućeg formiranja parčadi na unutrašnjoj površini košuljice dat je na sl.11.



Slika 11. Šematski prikaz mehanizama mogućeg formiranja parčadi

Glavni pravci razleta parčadi

Radi sagledavanja globalnih pravaca razleta parčadi, izvršeno je grupisanje projektila sličnih geometrijskih karakteristika, tj. svi projektili podeljeni su u tri osnovne grupe i to:

- minobacački projektili,
- bojeve glave raketa i
- projektili parčadno-rušećeg dejstva.

Na osnovu eksperimentalnih podataka dobijenih rasprskavanjem navedenih grupa projektila u areni, primenom definisanog postupka, izvršena je analiza oblika prostornog zakona raspodele parčadi svake grupe ponaosob, a dobijeni rezultati dati su u tabeli 1.

Tabela 1. Parametri Gaussovih aproksimacionih krivih za određene grupe projektila

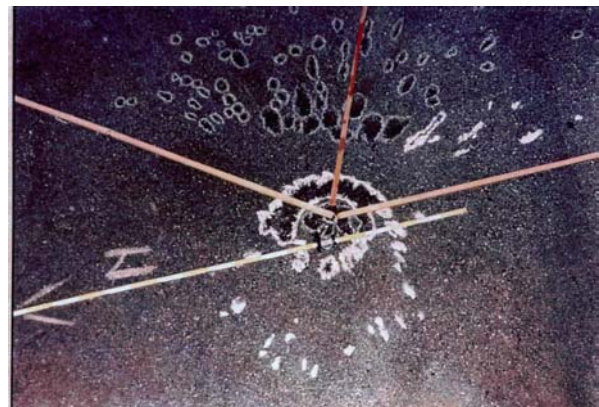
Grupa projektila	Kriva	Centar krive [°]	Površina [%]	a_{0i}	$a_{1i} = \theta_1$	$a_{2i} = \sigma_{\theta_1}$
Minobacačke mine	1	64,20748	18,60354	0,223803	1,120631	0,795124
	2	77,34353	3,357571	0,242017	1,349898	0,132621
	3	99,91167	69,07997	1,806971	1,743786	0,365455
	4	128,8502	5,454888	0,248539	2,248858	0,209809
	5	152,373	3,504017	0,086778	2,659408	0,386792
BG raketa	1	82,64467	27,43844	0,246626	1,442420	1,072298
	2	83,47311	20,92057	0,708954	1,456879	0,284108
	3	94,18482	24,40661	1,214210	1,643833	0,193527
	4	100,3863	22,61243	0,415804	1,752071	0,523585
	5	156,0276	4,621945	0,141511	2,723194	0,314817
Projektili parčadno rušećeg dejstva	1	57,96791	5,533743	0,154918	1,011730	0,335099
	2	78,10467	12,25913	0,685466	1,363182	0,167776
	3	94,57925	62,58905	2,472785	1,650718	0,237448
	4	106,8706	18,17481	0,227051	1,865242	0,750963
	5	157,3926	1,443253	0,045238	2,747017	0,299672

Suprotno ustaljenom mišljenju (Sutterlin i drugi autori) prema kojem su prednji i zadnji snop parčadi usmereni u pravcu ose projektila i koji obuhvataju oko 30 % od ukupnog broja parčadi [6], rezultati izvršenih analiza datih u tabeli 1 pokazuju da je u klasi minobacačkih projektila prednji snop parčadi usmeren pod uglom $\theta_1 \approx 66^\circ$ i da zahvata $\approx 22\%$ ukupnog broja parčadi. Bočni snop parčadi zaklapa sa osom projektila ugao $\theta_2 \approx 100^\circ$ i obuhvata $\approx 70\%$ parčadi pri čemu je širina bočnog snopa (standardna devijacija) $\sigma_{\theta} \approx 21^\circ$. Zadnji snop parčadi zaklapa sa osom mine ugao $\theta_3 \approx 140^\circ$ i nosi sa sobom $\approx 8\%$ od ukupnog broja parčadi.

Kod artiljerijskih projektila parčadno-rušećeg dejstva prednji snop parčadi usmeren je pod uglom od $\theta_1 \approx 72^\circ$ i zahvata $\approx 18\%$ ukupnog broja parčadi. Bočni snop parčadi zaklapa sa osom projektila ugao $\theta_2 \approx 97^\circ$ i obuhvata $\approx 80\%$ parčadi, pri čemu je širina bočnog snopa (standardna devijacija) $\sigma_{\theta} \approx 3.6^\circ$. Zadnji snop parčadi zaklapa sa osom projektila ugao $\theta_3 \approx 60^\circ$ i obuhvata $\approx 2\%$ ukupnog broja parčadi. Kako je bočni snop definisan Gaussovom krivom, kod minobacačkih projektila u uglu zahvata $\theta_2 \pm \sigma_{\theta} = 100 \pm 21^\circ$ leti približno 50% ukupnog broja parčadi. Kod projektila parčadno-rušećeg dejstva u uglu zahvata $\theta_2 \pm \sigma_{\theta} = 97 \pm 13,6^\circ$ leti približno 55% ukupnog broja parčadi. Ukoliko se uporede minobacački i artiljerijski projektili po broju parčadi koja lete u konusu sa istom ugaonom širinom sektora, dobija se da kod artiljerijskih projektila u uglu zahvata $\theta_2 \pm \sigma_{\theta} = 97^\circ \pm 21^\circ$ leti približno 70 % od ukupnog broja parčadi.

Zaključak

Predložena metoda omogućava da se u početnim fazama razvoja novog projektila (probni komadi) odredi udeo pojedinih delova košuljice u ukupnoj prostornoj raspodeli efikasne parčadi. Na osnovu ovakve analize moguće su dodatne korekcije u konstrukciji projektila, kako bi se ostvario maksimalni broj efikasne parčadi u glavnom snopu sa optimalnom vrednošću srednjeg pravca razleta parčadi i optimalne širine bočnog snopa. Pored toga, predložena metoda omogućava da se u pojedinim slučajevima reši i inverzni problem balistike projektila na cilju, tj. kada su poznati otisci projektila na čvrstoj podlozi (slika 12) moguće je po prethodno opisanom postupku odrediti srednje pravce razleta parčadi i širine bočnih snopova na osnovu kojih je dalje moguće iterativnim putem odrediti padni ugao i udarnu brzinu projektila.



Slika 12. Otisci snopa parčadi na tlu

Literatura

- [1] VUKAŠINOVIĆ, M. *Doktorska disertacija*, TVA, Beograd, 2000.
- [2] NENADOVIĆ, M. *Matematička obrada podataka dobijenih merenjem*. SANU, Beograd, 1988.
- [3] ...IMSL Mathematical and Statistical Libraries Reference for Microsoft Fortran PowerStation version 4.0.
- [4] CURRAN, D., SEAMAN, L. *Dynamic Fracture, in Proceedings of the UCLA Short Course on Impact Dynamics*. University of California, Los Angeles, 1990.
- [5] CURRAN, D., ERLICH, D. *Development and application of a computational shear band model*. SRI International, 1987.
- [6] SUTTERLIN, R. *Les projectiles. Mem. de l'Art. Francaise*, 1967. vol.41, no.159.

- [7] ABRAMOWITZ, M., STEQN, I. *Handbook of Mathematical Functions, with Formulas, Graphs and Mathematical Tables*. National bureau of standards, 1964.

Rad primljen: 17.4.2002.god.

