

# UTICAJ AERODINAMIČKIH KOČNICA NA RENTABILNOST GAĐANJA POVRŠINSKIH CILJEVA SAMOHODNIM VIŠECEVNIM LANSEROM RAKETA

Kokelj R. *Tugomir*, Vojna akademija, Beograd,  
Milinović P. *Momčilo*, Jeremić M. *Olivera*,  
Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu

UDC: 623.419.01

OBLAST: Mašinstvo, Matematika

## Sažetak:

*Problem uticaja aerodinamičkih kočnica (AKR) na rentabilnost gađanja artiljerijskih površinskih ciljeva samohodnim višecevnim lanserom raketa (SVLR), iako odavno prisutan, nije do sada eksplicite razmatran. S ciljem rešavanja tog problema razmatrani su međusobni uticaji zakona raturanja, zakona uništenja ciljeva, njihovih prosečnih dimenzija, dimenzija rentabilnog cilja za gađanje jednim oruđem, broja ispaljenih projektila po oruđu, rasporeda njihove vatre po cilju i cene koštanja. U radu, ovaj problem razmatran je za Samohodni Višecevni Lanser Raketa (LRSV) 128 mm M77, poznatiji pod nazivom „OGANJ“, pri gađanju laganorotirajućom krilno stabilisanom, nevođenom raketom sa aerodinamičkim kočionim deflektorima na različitim dometima.*

*Ključne reči: nevođena raketa, artiljerija, aerodinamičke kočnice, bacači raketa, gađanje greške pogodaka, rentabilni površinski cilj.*

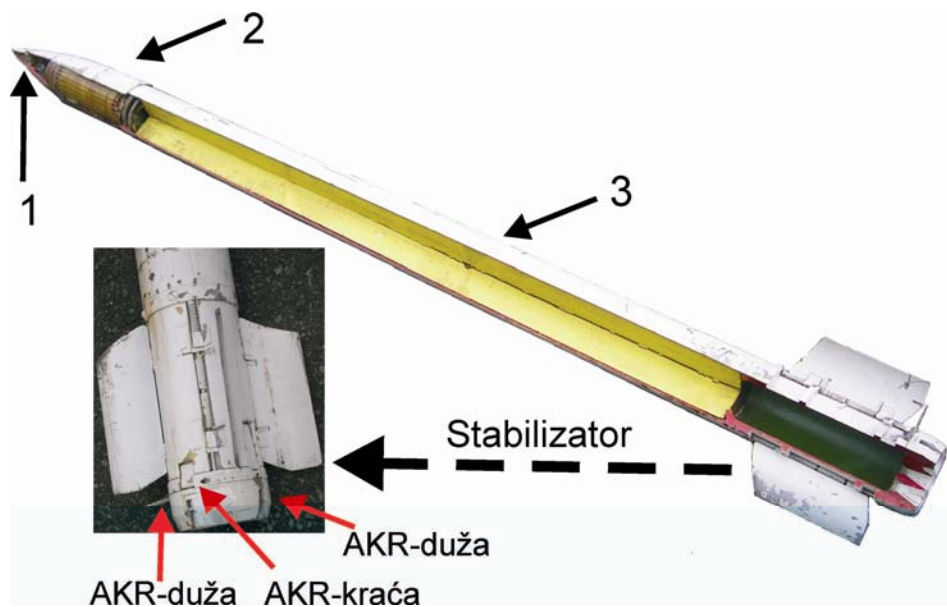
## Uvod

Danas se samohodni višecevni lanseri raketa (LRSV), poznatiji kao MLRS, nalaze u naoružanju svih savremenih armija i predstavljaju važno sredstvo u podršci jedinica kopnene vojske. Namenjeni su za nanošenje snažnih vatrenih udara iznenadnom i kratkotrajnom vatrom po ciljevima (objektima dejstva), raspoređenim na većoj površini i dubini borbenog rasporeda. S ciljem dostizanja što veće efektivnosti LRSV, efikasnosti i povećanja preciznosti svake pojedine rakete, u zavisnosti od zemlje proizvođača, konstruktori su primenjivali različita rešenja.

---

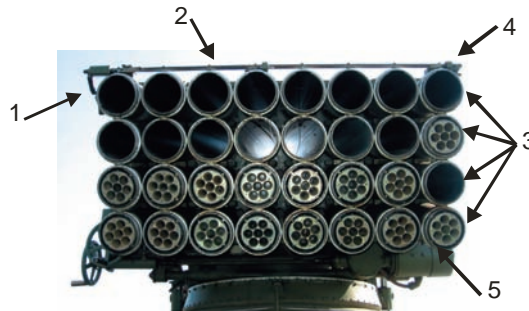
Napomena: Rad je nastao u okviru naučnog projekta „Rentabilni izbor novih tehnologija i koncepcija odbrane kroz društvene promene i strateške orijentacije Srbije“ (III 47029), koji finansira Ministarstvo za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije.

U Vojski Srbije danas se u operativnoj upotrebi nalazi LRSV 128 mm M77 [1], poznatiji pod nazivom „OGANJ“, koji za izvršavanje namenskih zadataka koristi trenutno-fugasnu raketu 128 mm M77, sa posebnim karakteristikama, u odnosu na slična rešenja u stranim armijama. Kako bi se povećala preciznost ove rakete, konstruktori su u sklopu mlaznika, na prstenu stabilizatora ugradili aerodinamičke kočnice rakete (slika 1), koje se sastoje od dva duža i dva kraća deflektora, poznata kao aerodinamičke kočnice (AKR). Aerodinamičke kočnice se otvaraju u parovima, dve kraće 2KK, dve duže 2KD, ili sve četiri istovremeno 4K. Otvaraju se nakon izlaska rakete iz lansirne cevi, tako što se mehanizam za njihovo oslobađanje, prethodno tempira, odnosno bira unapred, njihovu kombinaciju.



Slika 1 – Trenutno-fugasna raketa 128 mm M77 sa upaljačem UTU M77:  
1. upaljač, 2. bojna glava, 3. raketni motor

Mehanizam za tempiranje u sklopu pripreme, (biranja), kombinacije parova, aerodinamičkih kočnica rakete (slika 2), nalazi se na lansirnoj kutiji i njime se upravlja iz kabine lansirnog vozila. Koristi se za gađanje na dometima manjim od maksimalnog (slika 3), ili za bilo koje željene domete ako se priprema vrši sa različitim tabličnim uglovima (slika 4). Osnovni položaj mehanizma za otvaranje AKR-a je položaj „N“, čijim izborom kočnice ostaju zatvorene u toku leta rakete. Tada raketa ima režim leta isti kao i bez kočnica.



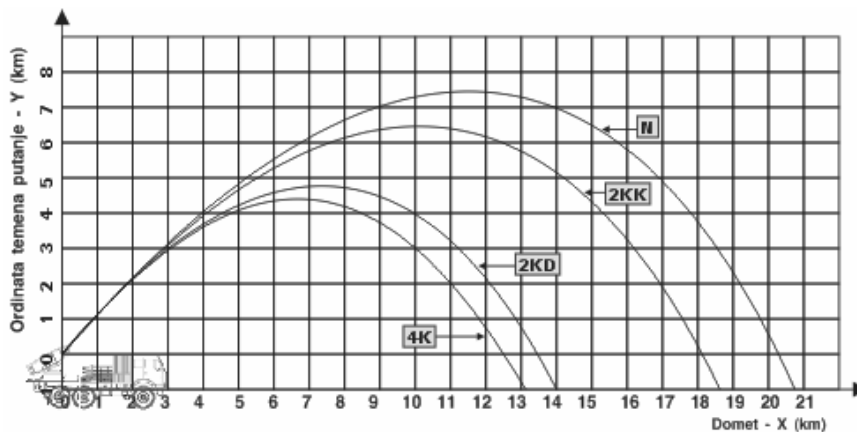
Slika 2 – Mehanizam AKR-a:

1. pogonska ručica, 2. zupčasta letva, 3. zakretni prsten, 4. mikroprekidač, 5. radijalne vođice

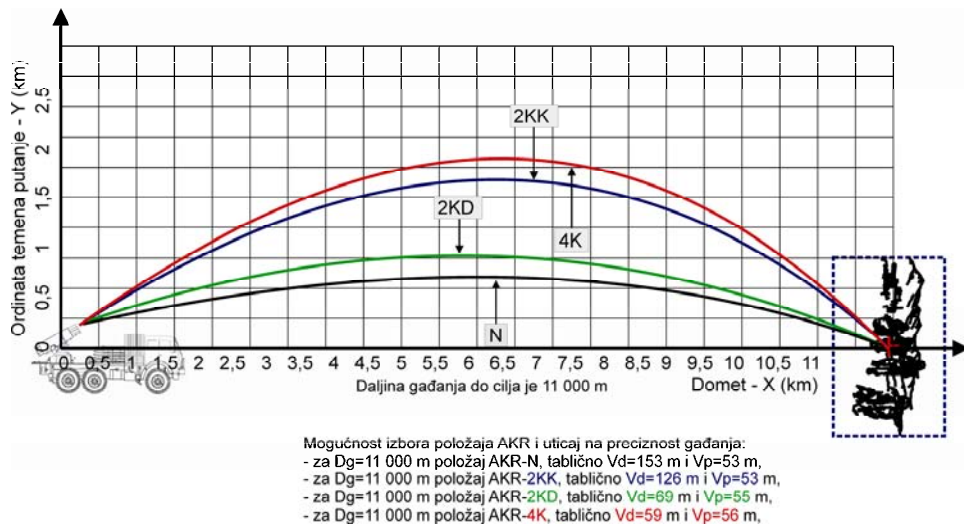
Zauzimanje položaja AKR-a ima „sličnu artiljerijsku ulogu“ pri gađanju kao i promena barutnog punjenja kod klasične artiljerije, ali se njihovo dejstvo ispoljava tokom cele trajektorije, a ne samo na uspostavljanju početne brzine, kao kod promene barutnih punjenja u klasičnoj artiljeriji. Upotrebom mehanizma za otvaranje aerodinamičkih kočnica (AKR) kod nevođenih raketa, mogu se realizovati različiti dometi ali i različite visine balističkih putanja [2] (slika 3 i 4).

Moguće su sledeće varijante upotrebe:

- a) sa otvorene četiri aerodinamičke kočnice rakete (AKR u položaju 4K) .... dejstvuje se na dometima .... od 2.000 do 13.015 m
- b) sa otvorene dve duže aerodinamičke kočnice rakete (AKR u položaju 2KD) .... dejstvuje se na dometima .... od 3.000 do 13.911 m
- c) sa otvorene dve kraće aerodinamičke kočnice rakete (AKR u položaju 2KK) .... dejstvuje se na dometima .... od 4.000 do 18.644 m
- d) sa zatvorenim aerodinamičkim kočnicama rakete (AKR u položaju N) dejstvuje se na svim raspoloživim dometima od 5.000 do 20.652 m



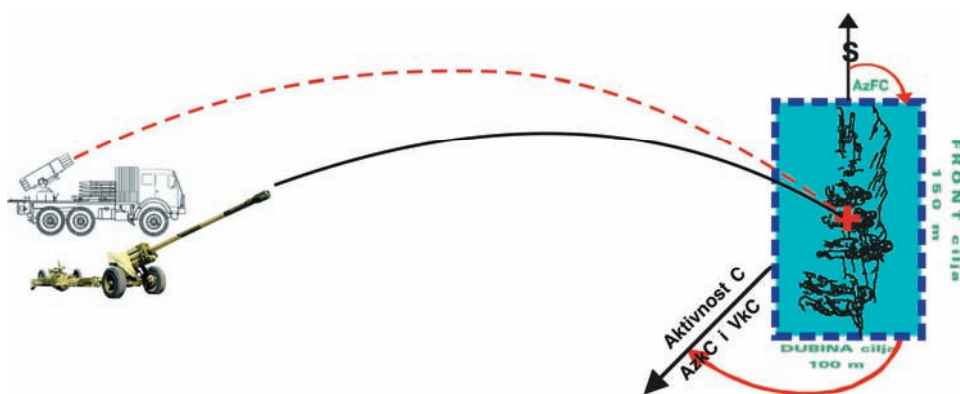
Slika 3 – Grafikon za izbor aerodinamičkih kočnica (AKR) pri gađanju LRSV 128 mm M77 sa trenutno-fugasnom raketom 128 mm M77



Slika 4 – Mogućnost izbora položaja AKR i uticaj tablične slike rasturanja na preciznost pri gađanju cilja na istoj daljini gađanja

## Metode izbora rentabilnog površinskog cilja

Artiljerijski cilj [3] jeste svaki element borbenog rasporeda neprijatelja (objekat), koji je celishodno i rentabilno gađati artiljerijom. Pod ciljem (slika 5) se podrazumeva zemljišna ili vodena površina pravougaonog oblika na kojoj su raspoređeni elementarni ciljevi. Centar pravougaonika je centar površinskog cilja, kraća stranica je dubina, a duža širina.



Slika 5 – Artiljerijski cilj

Cilj se sme gađati ako se nalazi u granicama dometa oruđa i u granicama zone sigurnosti. Određen je ako su o njemu poznate: koordinate, dimenzije i pravac prostiranja na zemljištu (vodi), zatim, vrsta, njegova aktivnost i stepen utvrđenosti, te njegov centar, koji se u skladu sa navedenim faktorima bira radi optimalnog gađanja. Svrha artiljerijskog gađanja jeste da se na cilju dobije potreban broj pogodaka, dovoljan da se po elementima cilja ostvare željeni materijalni i drugi efekti.

Veza između broja ispaljenih projektila i rasporeda njihovih padnih tačaka podleže zakonima verovatnoće. Celishodno je, dakle, veličine cilja podesiti tim zakonima koji diktiraju mogućnost i rentabilnost upotrebe artiljerijske vatre.

Broj projektila koji se lansira i broj projektila koji padnu na odabrani cilj nije isti i zavisi od toga kako se međusobno odnose sam cilj i slika rasturanja, kao verovatna površina u koju upadaju pogoci, a čije su koordinate padnih tačaka (pogodaka) slučajna promenljiva u teoriji verovatnoće. Takođe, zavisi od toga da li srednji pogodak (centar svih padnih tačaka) prolazi kroz centar cilja. Uobičajena slika padnih tačaka koja podleže statističkim zakonima raspodele slučajnih veličina, ima oblik elipse i normirana je po Gausovom zakonu, na osam verovatnih skretanja oko srednjeg pogotka u dva pravca, koji naravno ne moraju biti ista i gde se smatra da je smešteno 99,7 posto svih slučajnih događaja tj. veličina koje se mere, lit. [8]. Srednji pogodak oko koga se grupišu padne tačke pri gađanju i željena tačka oko koje se deluje na cilj, ne moraju, takođe, da se poklapaju. Odavde slede poznati pojmovi tačnosti i preciznosti gađanja.

U artiljerijskoj praksi postoje brojni postupci pripreme početnih elemenata i korekture srednjeg pogotka, koji omogućavaju da se on dovede i održava na centru cilja. Ti postupci predstavljaju popravku integrisanog uticaja tačnosti i preciznosti u greškama, koje su se javile kao odstupanja od centra cilja i ne razmatraju detaljno uzroke odstupanja po njihovom poreklu.

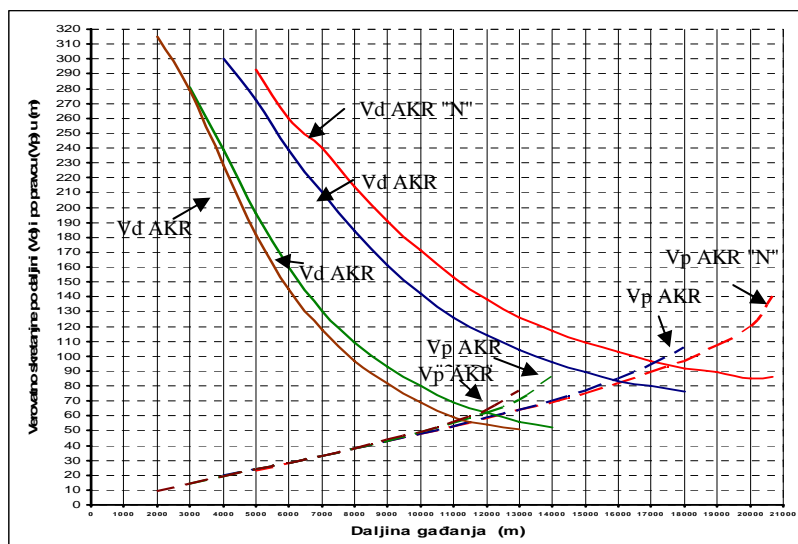
Ako se postavi pitanje šta je rentabilan cilj, onda bi on mogao da bude svaki koji bi bio jednak ukupnoj slici rasturanja oruđa i raketa LRSV. Zapravo, svi lansirani projektili trebalo bi da padnu po celoj površini cilja. To bi značilo da se slika zakona rasturanja po veličini poklopi sa slikom cilja. Zakon rasturanja i zakon uništenja cilja međusobno su povezani efikasnošću bojne glave i drugim faktorima, koji znatno usložnjavaju ovu jednostavnu i poželjnu hipotezu za izbor rentabilnog cilja. Moglo bi se takođe hipotetički usvojiti da se centar cilja poklapa sa srednjim pogotkom svih ispaljenih raketa, što znači da se prekrivenost površinskog cilja realizuje rasturanjem projektila koje podleže poznatom, već pomenutom, Gausovom zakonu procentualne raspodele broja pogodaka, merenom u dva pravca [8].

Rasturanja putanja projektila ima brojne uzroke, pa se samim tim i greške, prema poreklu, mogu grupisati u meteorološke, balističke i siste-

matske [8]. Njihov krajnji efekat direktno se manifestuje na preciznost artiljerijske vatre (gađanja),<sup>1</sup> dok će tačnost zavisiti od posluge i oruđa.

Vrednosti rasturanja raketa [2] znatno su veće od rasturanja prilikom gađanja klasičnom artiljerijom [4], i uzroci rasturanja nisu isti na aktivnom i pasivnom delu putanje leta rakete [2]. Osnovni uzroci povećanog rasturanja raketa [5, 6] su u jačini i pravcu (ekscentricitetu) dejstva sile potiska, razlici u obliku i masi rakete, odstupanju totalnog impulsa raketnog motora, dinamičkoj ekscentričnosti, vibracijama i trzanjima lansirnog oruđa, u promenama u meteorološkim uslovima, posebno u aktivnoj fazi, [8]. Greške pripreme početnih elemenata gađanja poseban su faktor koji utiče na tačnost, iako elementi lansiranja pomenuti u prethodnom tekstu pored uticaja na preciznost, takođe imaju uticaja i na tačnost.

Međusobni odnos verovatnih skretanja po daljini ( $V_d$ ) i po pravcu ( $V_p$ ), kao statističke konačne ocene za gađanje za TF raketu 128 mm M77 u zavisnosti od daljine gađanja i položaja AKR, prikazan je na slici 6. To su dakle funkcije daljine i za svaku se moraju precizno odrediti unapred.



Slika 6 – Međusobni odnos verovatnih skretanja po daljini ( $V_d$ ) i po pravcu ( $V_p$ ) za TF raketu 128 mm M77 u zavisnosti od daljine gađanja i položaja AKR

<sup>1</sup> **Tačnost artiljerijske vatre** podrazumeva da udaljenje srednjeg pogodaka od centra cilja (tačke za koju su određeni početni elementi) ne sme biti veće od  $1V_d \times 1V_p$  tablične slike rasturanja koja odgovara daljini za koju su sračunati početni elementi.

**Preciznost artiljerijske vatre** podrazumeva da najmanje 75% pogodaka treba da padne u prostoriju dimenzija  $2V_d \times 2V_p$  tablične slike rasturanja koja odgovara daljini za koju su sračunati početni elementi čiji se centar poklapa sa centrom cilja (tačkom za koju su određeni početni elementi).

Iz navedenih definicija zaključuje se da su osnovni kriterijumi koji definišu preciznost i tačnost artiljerijske vatre:

– **Preciznost** – odstupanje pojedinih pogodaka od srednjeg pogodaka;

– **Tačnost** – odstupanje srednjeg pogodaka od određene tačke na cilju (centra cilja).

Upoređivanjem slika rasturanja dobijenih analizom podataka (slika 6), [2] i [3], pri gađanju sa LRSV, na različitim daljinama, dolazi se do poznatih zaključaka karakterističnih za nevođenu raketnu artiljeriju [8], koji se mogu dati sledećim stavovima.

– Na manjim daljinama gađanja ( $D_g$ ) znatno je veće verovatno skretanje po daljini ( $V_d$ ) u odnosu na skretanje po pravcu ( $V_p$ ), ukoliko nema upotrebe pomenutih AKR.

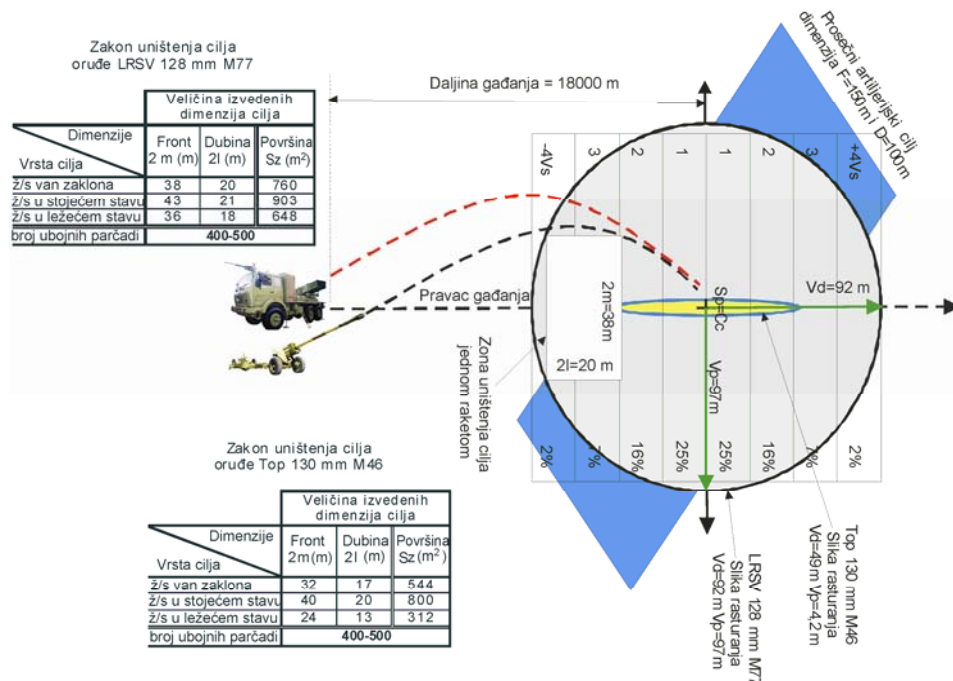
– Odnos verovatnog skretanja po daljini i po pravcu nije postojan, već se menja sa promenom daljine  $D_g$  i to na sledeći način:

– verovatno skretanje po daljini ( $V_d$ ) sa povećanjem daljine  $D_g$  se postepeno smanjuje;

– verovatno skretanje po pravcu ( $V_p$ ) sa povećavanjem daljine  $D_g$  se postepeno povećava i na određenoj, najčešće maksimalnoj,  $D_g$ , izjednačava se sa  $V_d$  ( $V_d=V_p$ ).

– Slika rasturanja oblika elipse, koju definišu verovatna skretanja po pravcu i daljini u skladu sa Gausovim zakonom, s obzirom na navedeno ponašanje u funkciji daljine, različitog je oblika na pojedinim daljinama  $D_g$ . Zbog takvog promenljivog oblika i dimenzija slike rasturanja, izbor rentabilnog cilja za gađanje oruđem LRSV složen je analitički zadatak.

Upotreba AKR obezbeđuje da i na manjim dometima slika rasturanja bude proporcionalnija po pravcu i dometu, što znači da postoje dometi, (daljine gađanja), kod kojih je verovatno skretanje po pravcu i daljini približno isto.



Slika 7 – Zakoni rasturanja i uništenja za za top i raketni lanser



Na slici 7 prikazan je uporedni odnos zakona rasturanja i uništenja cilja gađanog na istom dometu od 18 km, sa topom 130 mm M46 projektilom TF-M79 i sa oruđem LRSV 128 mm M77, raketom TF 128 mm M77 i na isti cilj pravougaonog oblika dimenzija 150 x 100 m. Ovo, naravno, nije opravdano sa aspekta rentabilnosti, ali služi za poređenje razmatranih veličina.

Sa slike se vidi koliko je puta na datoj daljini gađanja veća i drugačija slika ukupnog rasturanja za klasično i raketno artiljerijsko oruđe.

Izbor rentabilnog cilja za gađanje jednim raketnim oruđem LRSV 128 mm M77 [6] razmatran je za dejstvo po cilju trenutno-fugasnom raketom 128 mm M77 sa upaljačem UTU M77, bez upotrebe AKR. Ovde će biti predstavljen jedan od praktičnih i krajnje pojednostavljen, idealizovan model provere, šta je rentabilan artiljerijski cilj, onako kako se koristi za analizu u realnim rodovskim uslovima upotrebe. Model podrazumeva upotrebu tabličnih, artiljerijskih podataka, a ne precizne konstruktorske podatke, niti detaljne, matematičke, verovatne interpretacije. Dakle, neće se razmatrati elipsa pogodaka, već pravougaonici koji je opisuju kao verovatni ciljevi na površini gađanja. Takođe, neće se razmatrati složene integralne interpretacije odstupanja, odnosno verovatnih skretanja, već jedinične elementarne površine sa konstantnim verovatnoćama usrednjениm po Gausovom zakonu, u skladu sa njihovim rasporedom na uobičajenoj slici pogodaka. Pošto je dejstvo po cilju svrha gađanja, mora se poći od praktičnih zahteva koji proizilaze iz zakona uništenja cilja, bez analize efikasnog radijusa dejstva bojeve glave, niti pak efekta preklapanja radijusa njenog efikasnog delovanja. Iz tabličnih kriterijuma efikasno prekrivene površine bojnim efektom, upotrebom navedenog broja raketnih projektila palih na cilj, potrebno je približno proračunati kako zakoni rasturanja pogodaka omogućavaju da se odredi najrentabilniji cilj. Zatim će se približno oceniti i uporediti da li je utrošak raketa veći sa upotrebom AKR ili bez upotrebe ovog mehanizma.

Prema teoriji gađanja [9], zakonom uništenja cilja za LRSV M77 bez AKR predviđeno je da na svakih 38 m širine i 20 m dubine cilja treba da padne po jedna raketa da bi cilj bio efikasno pokriven. Kada se uporede veličine skretanja koje opisuju rasturanje raketa po daljini sa veličinom elementarnog cilja u koji treba da upadne bar jedna raketa, duž daljine gađanja (*slika 7*) iz praktične artiljerijske statističke analize zaključuje se da bi u jednu dužinu rasturanja, 1Vd, površinskog cilja, trebalo da padne 4 do 15 pogodaka, zavisno od dometa, radi efikasnog prekrivanja bojnim dejstvom. Uočava se da su karakteristike rasturanja po daljini takve da je potreban veći utrošak raketa za ovakvu pokrivenost na manjim, nego na većim daljinama gađanja, pre svega zbog izdužene slike pogodaka, tj. nepovoljnog odnosa Vd i Vp. Iz toga se može zaključiti da je *LRSV M77 rentabilnije, koristiti na maksimalnom dometu, gde će zbog navedenog svojstva i utrošak municije biti manji.*



Kada se uporede veličine rasturanja sa širinom elementarnog cilja (slika 7), i primeni princip jedne rakete na 38 metara širine skretanja, zaključuje se da bi u jedan pojas slike rasturanja po pravcu širine 1Vp trebalo da padne jedan do tri pogodaka, u skladu sa veličinama tabličnog Vp na tim dometima. Sintezom gornja dva stava dolazi se do zaključka da je na daljinama gađanja preko dve trećine dometa *potrebno da u svaki deo slike rasturanja veličine 1Vd x 1Vp treba da padnu bar po četiri pogodaka da bi se uslov efikasnosti ispunio na celoj slici rasturanja.*

Ako se kao jedinični cilj usvoji element slike 1Vd x 1Vp, sa najmanjom mogućom verovatnoćom broja padnih tačaka od 2%, pretpostaviće se da će za takav jedinični cilj biti potrebne bar četiri rakete da bi bio efikasno prekriven bojnim dejstvom, s obzirom na njegovu tabličnu veličinu za domete koji će se razmatrati. Dakle, suma svih ispaljenih raketa moraće da zadovolji broj svih elementarnih ciljeva, po Gausovom zakonu raspodele verovatnoće. Mereno duž dometa, postoje četiri pojasa ispred i četiri pojasa iza cilja. Dakle, četvrtom pojasu širine koji ima osam elementarnih ciljeva verovatnoće pogodaka 2%, potrebne su 32 rakete, što je samo 2% od ukupnog broja svih raketa upalih na cilj veličine 8Vd x 8Vp. Pošto je verovatnoća ove širine 2% da bi se u njoj obezbedio pad od 32 pogodaka, potrebno je realizovati Bp pogodaka, gde je:  $Bp=32/0,02=1600$ . Tada mora biti ispaljeno Np raketa, gde je:  $Np=Bp/0,997$ , tj.,  $Np=1600/0,997=1605$ , u skladu sa verovatnoćom ukupne Gausove raspodele. Iz pristupa problemu postavlja se pitanje: Da li je rentabilan cilj za oruđe LRSV M77 jednak slici rasturanja pogodaka? Ovakva hipoteza nije uobičajena pri razmatranju efikasnosti artiljerijske vatre. Takvo gađanje je vrlo nerentabilno, pošto daje ogromnu gustinu vatre oko centra pogodaka.

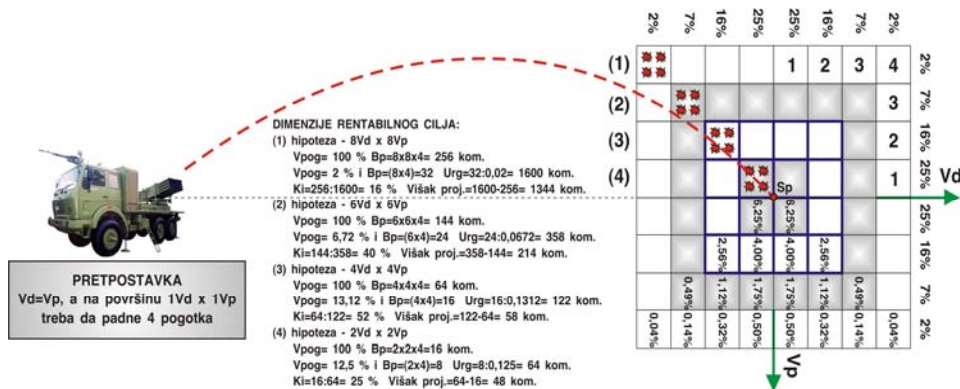
Ipak, ona ima teorijski značaj kada se ispituju karakteristike raketa, tj. njihovo rasturanje uz hipotezu da je sumarna greška pripreme početnih elemenata (po pravcu i daljini) jednaka nuli. Kao što se vidi iz primera, slika rasturanja tretiraće se uprošćeno kao pravougaonik, a ne kao elipsa, odnosno biće podeljena po principu mreže pravougaonika veličine 8Vd x 8Vp (slika 8) ili manjih. Postavljaju se hipoteze da rentabilni cilj ima dimenzije:

- (1) 8Vd x 8Vp,
- (2) 6Vd x 6Vp,
- (3) 4Vd x 4Vp i
- (4) 2Vd x 2Vp

i ispituje po kojoj je od ovih hipoteza najpovoljniji koeficijent iskorišćenja ( $K_i$ ) raketa koji predstavlja odnos između utroška raketa za gađanje (Urg) i potrebnog broja pogodaka (Bp), kada bi se usvojila ravnomerna prekrivenost pogodaka po cilju navedena u prethodnom primeru.

U skladu sa normalnim Gausovim zakonom raspodele pogodaka po daljini i pravcu, za svaku od hipoteza o veličini cilja biće usvojena kao

drugačija a takođe i odgovarajuća verovatnoća njegovog pogađanja (slika 8 – veličina  $V_{pog}$ ). Za svaku mrežnu dužinu (pojas širine po dometu), za 8Vd, 6Vd, 4Vd i 2Vd, broj raketa koje treba da upadnu u tu traku, naveden po prethodnom modelu, deli se sa odgovarajućom verovatnoćom pogađanja koju Gausov zakon dodeljuje toj širini. Na taj način izračunato je koliko projektila treba da upadne u površine različitih veličina, usvojene kao rentabilno gađani ciljevi (tabela 1).



Slika 8 – Rentabilan cilj za oruđe LRSV M77

Rezultati proračuna po navedenim hipotezama prikazani su u tabeli 1.

Tabela 1

Hipoteze za odabir rentabilnog cilja za oruđe LRSV M77

Broj hipoteze	Utrošak raketa	Površina rentabilnog cilja $V_d \times V_p$	Broj raketa po elementarnom cilju ( $V_d \times V_p$ ) dobijen po hipotezi		
			(2)	(3)	(4)
(1)	1600	$8 \times 8 = 64$	$(1600 : 358) \times 36 = 161$	$(1600 : 122) \times 16 = 210$	$(1600 : 64) \times 4 = 100$
(2)	358	$6 \times 6 = 36$	$(358 : 358) \times 36 = 36$	$(358 : 122) \times 16 = 47$	$(358 : 64) \times 4 = 22$
(3)	122	$4 \times 4 = 16$		$(122 : 122) \times 16 = 16$	$122 : 64) \times 4 = 7.6$
(4)	64	$2 \times 2 = 4$			$(64 : 64) \times 4 = 4$

Na osnovu podataka iz tabele može se zaključiti da se po trećoj hipotezi, kada je cilj veličine  $4V_p \times 4V_d$ , postiže najveći koeficijent iskorišćenja gađanja. To znači da ova hipoteza ima najveću rentabilnost, pa se može reći da je rentabilni cilj za oruđe LRSV M77 dimenzija  $4V_d \times 4V_p$ , a za dejstvo po njemu treba da se lansira 122 rakete, pri čemu je verovatnoća pogađanja takvog cilja je 67,24%. To znači da će u cilj upasti 82 od 122 ispaljene rakete zadovoljavajući uslov da u jedinične površine najmanje verovatnoće upadnu bar četiri rakete.

Oruđe LRSV 128 mm M77 ima tehničku karakteristiku da može za vrlo kratko vreme da lansira 64 rakete po jednom cilju. Kako su za rentabilni cilj potrebne 122 rakete, jedno oruđe neće moći jednovremeno da ostvari vatru po rentabilnom cilju, jer će morati da utroši drugo dopunsko vreme da još jednom napuni i lansira dopunskih 58 raketa do 122 rentabilne. Zato je korisno utvrditi kolike su dimenzije rentabilnog cilja ako se lansiraju samo 64 rakete koje se nalaze na lanseru, a pri tom se koriste AKR. Iz sprovedenog razmatranja (tabela 1) vidi se da bi rentabilni cilj za utrošak od 64 rakete, sa koliko raspolaže lanser, imao dimenzije  $2V_d \times 2V_p$ , jer bi se rentabilnost realizovala sa brojem raketa sa kojima lanser raspolaže. Ova hipoteza izvedena je uz idealne pretpostavke o gađanju celokupne površine rasturanja i izvedenog jediničnog cilja na rentabilnom dometu, koji iznosi dve trećine od maksimuma.

Konstruktivno rešenje oruđu LRSV M77 obezbeđuje dva punjenja (jedno u lanseru a drugo u punjaču), a postojeća automatizacija omogućava mu lansiranje raketa (po 32 komada iz svakog punjenja) sa istog vatrenog položaja za samo šest i po minuta. Navedeno konstruktivno rešenje u suprotnosti je sa zahtevima izvođenja savremenih borbenih dejstava, jer se oruđe (jedinica LRSV) nakon ispoljenog dejstva veoma lako otkriva i postaje ranjivo na kontrabatiranje. Navedeni nedostatak delimično se može prevazići upotrebom AKR kojima se obezbeđuje rentabilno gađanje na različitim daljinama bez dopunske pripreme.

## Uticao izbor AKR na rentabilnost gađanja

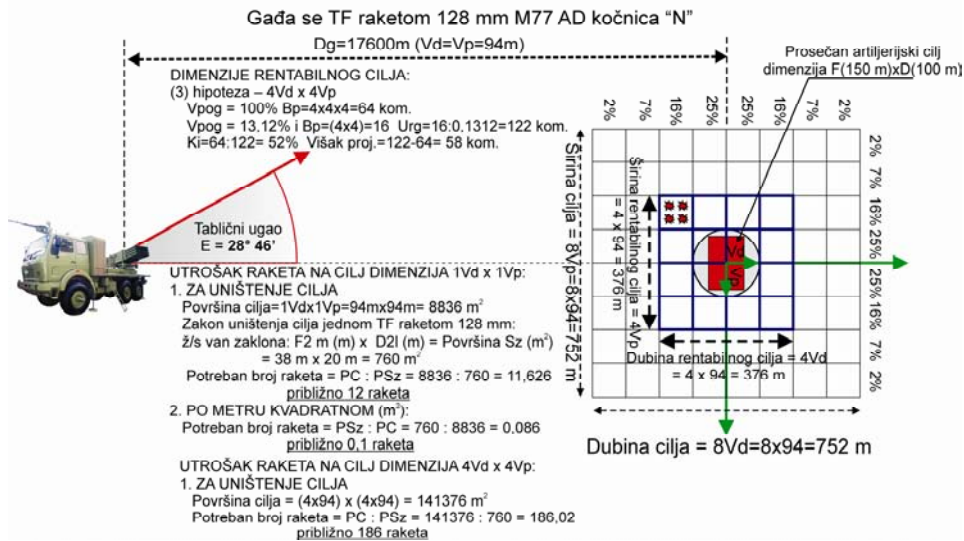
Specifičnost LRSV, tj. njegove rakete M77, kada gađa ciljeve na različitim dometima sa kombinacijom AKR znatno menja zaključke o kvalitetu artiljerijske raketne vatre, pošto je slika rasturanja znatno drugačija nego pri gađanju bez AKR sa istim raketnim oruđem. Radi sagledavanja uticaja izbora aerodinamičkih kočnica na rentabilnost gađanja razmatraće se međusobni uticaji između zakona rasturanja, zakona uništenja cilja, dimenzija rentabilnog cilja, broja ispaljenih projektila i raspored vatre po cilju. Sa aspekta borbene upotrebe, kao dopunski uticaji (slika 8) razmatrani su međusobni odnosi površina (dimenzija) prosečnog artiljerijskog cilja i rentabilnog cilja za gađanje oruđem LRSV, odnosi površina (dimenzija) prosečnog artiljerijskog cilja i veličina tabličnih slika rasturanja pri gađanju oruđem LRSV, i utrošak raketa za uništenje cilja po metru kvadratnom [11].

Navedeno razmatranje predstavlja osnovu za dalju analizu uticaja izbora aerodinamičkih kočnica na rentabilnost gađanja. Razmatrane su dve varijante, i to:

**Prva** – kada se sa istog vatrenog položaja iz istog oruđa (pod istim uslovima) gađa cilj **sa različitim tabličnim uglom (elevacijom) na istoj daljini gađanja**, a te trajektorije su posledica izbora kombinacija AKR (slika 4 i slika 10).

**Druga** – kada se sa istog vatrenog položaja iz istog oruđa (pod istim uslovima) gađa cilj **sa istim tabličnim uglom (elevacijom) na različitim daljinama gađanja**, a te daljine su posledica izbora kombinacija AKR (slika 3 i slika 11).

Na osnovu brojnih grafičkih podataka i podataka iz Tablica gađanja oruđa [2] (slika 4 i tabela 2) zaključuje se da je na određenim daljinama gađanja moguće sa istog vatrenog položaja istim oruđem (pod istim uslovima) gađati cilj **sa različitim tabličnim uglom (elevacijom) na istoj daljini gađanja**, uz slobodu izbora položaja AKR. Naravno, uslovi gađanja sa AKR nemaju na ekvivalentnim dometima ista verovatna skretanja po pravcu i daljini, kao i gađanja bez upotrebe AKR [2]. Bez obzira na to što se radi o istom dometu, jedinični cilj veličine  $1Vd \times 1Vp$  za različite kombinacije AKR-a i bez AKR-a neće biti isti.



Slika 9 – Rentabilan cilj za oruđe LRSV M77 i utrošak raketa

To znači da minimalni broj raketa koji treba da upadne u najnepovoljniju zonu veličine  $1Vd \times 1Vp$ , čija je verovatnoća samo 2%, može biti veći ili manji od četiri rakete. Ovo zavisi od toga koliko je za svaku kombinaciju AKR jedinična površina veća ili manja od razmatrane. Karakteristično je da na rentabilnom dometu koji iznosi dve trećine od maksimu-

ma, upotreba AKR-a uvek smanjuje jedinično verovatno skretanje po pravcu  $V_p$  i daljini  $V_d$ . U daljem postupku biće razmatrana količina ispaljenih raketa, bez uzimanja u obzir njihovog potrebnog broja u odnosu na navedeno smanjenje. Čak i u ovakvim uslovima pokazaće se veća rentabilnost upotrebe AKR-a, zbog smanjenja ukupne veličine cilja.

Tabela 2

Uticaj položaja AKR na odabir rentabilnog cilja na istoj daljini gađanja i različitim tabličnim uglovima za oruđe LRSV M77

Daljina gađanja (m)	zatvorene AD-kočnice položaj "N"				otvorene dve kraće AD-kočnice položaj "2KK"				otvorene dve duže AD-kočnice položaj "2KD"				otvorene četiri AD-kočnice položaj "4K"			
	Jedno $V_s$		Jedno $V_s$		Jedno $V_s$		Jedno $V_s$		Jedno $V_s$		Jedno $V_s$		Jedno $V_s$			
	Tablični ugao	po daljini	po pravcu	Tablični ugao	po daljini	po pravcu	Tablični ugao	po daljini	po pravcu	Tablični ugao	po daljini	po pravcu	Tablični ugao	po daljini	po pravcu	
	( $^\circ$ )	$V_d$ (m)	$V_p$ (m)	( $^\circ$ )	$V_d$ (m)	$V_p$ (m)	( $^\circ$ )	$V_d$ (m)	$V_p$ (m)	( $^\circ$ )	$V_d$ (m)	$V_p$ (m)	( $^\circ$ )	$V_d$ (m)	$V_p$ (m)	
10000	11 27	171	48	12 24	142	48	17 06	80	49	18 38	69	49				
11000	12 58	153	53	14 15	126	53	20 43	69	55	23 05	59	56				
12000	14 40	138	58	16 21	114	59	25 14	62	62	29 08	54	64				

Stvaran uticaj položaja AKR, sa aspekta borbene upotrebe, direktno se odražava na dimenzije rentabilnog cilja za oruđe LRSV (slika 10). Potreban broj projektila ( $N$ ) za izvršenje zadatka [7], pri istoj (željenoj) verovatnoći po gađanja ( $V_{pog}=67,24\%$ ) rentabilnog cilja dimenzija  $4V_d \times 4V_p$ , a u zavisnosti od tablične slike rasturanja (položaja AKR) izračunava se po formuli

$$N = \frac{4V_d \times 4V_p}{V_{pog} \times 10^3} \quad (1)$$

uz pretpostavku da se gađa najpovoljniji položaj cija na zemljišnoj površini kada se dejstvom jedne bojne glave može prebrisati površina od približno  $1000 \text{ m}^2$ .

Pri gađanju na istoj daljini gađanja i različitim tabličnim uglovima, u zavisnosti od položaja aerodinamičkih kočnica raketa (AKR), potreban broj projektila ( $N$ ) za izvršenje zadatka je:

e) sa otvorene četiri aerodinamičke kočnice rakete (AKR u položaju 4K)

$$N = \frac{4V_d \times 4V_p}{V_{pog}} = \frac{4 \times 59 \times 4 \times 56}{672,4} = 78,619 \cong 79 \text{ raketa}$$

f) sa otvorene dve duže aerodinamičke kočnice rakete (AKR u položaju 2KD)

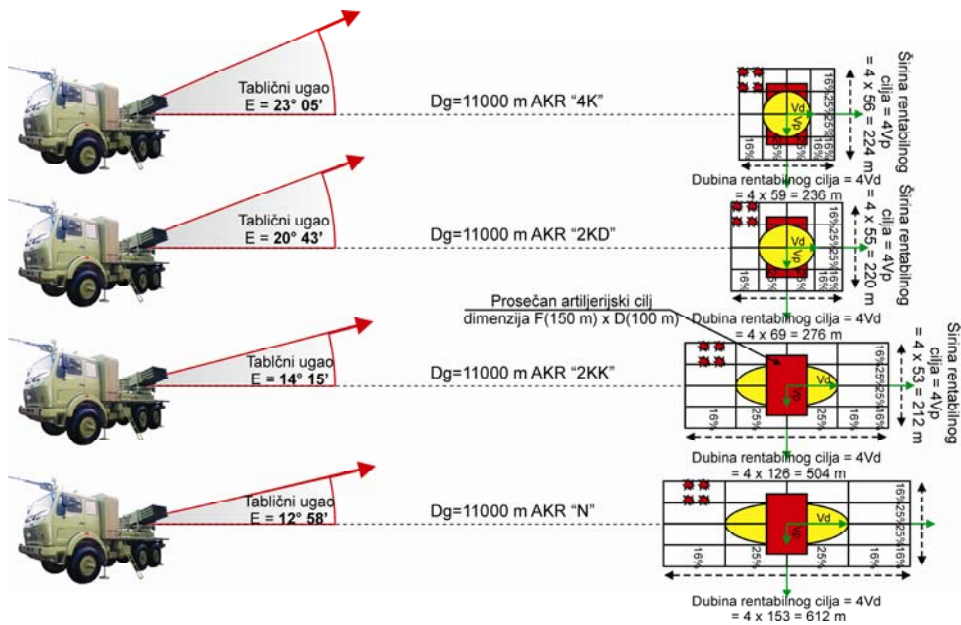
$$N = \frac{4V_d \times 4V_p}{V_{pog}} = \frac{4 \times 69 \times 4 \times 55}{672,4} = 90,303 \cong 90 \text{ raketa}$$

g) sa otvorene dve kraće aerodinamičke kočnice rakete (AKR u položaju 2KK)

$$N = \frac{4Vd \times 4Vp}{Vpog} = \frac{4 \times 126 \times 4 \times 53}{672,4} = 158,905 \cong 159 \text{ raketa}$$

h) sa zatvorenim aerodinamičkim kočnicama rakete (AKR u položaju N)

$$N = \frac{4Vd \times 4Vp}{Vpog} = \frac{4 \times 153 \times 4 \times 53}{672,4} = 192,956 \cong 193 \text{ rakete}$$



Slika 10 – Dimenzije rentabilnog cilja za oruđe LRSV M77 u zavisnosti od položaja AKR na istoj daljini gađanja i različitim tabličnim uglovima

Sa slike 10 i na osnovu proračuna vidi se da prilikom gađanja na istoj daljini koja je omogućena izborom bilo koje kombinacije AKR, pri istoj verovatnoći pogađanja, slika rasturanja se drastično smanjuje u korist položaja AKR „4K“. Takođe, potreban broj projektila ( $N_p$ ) za izvršenje zadatka je samo 79 raketa u odnosu na položaj AKR „N“ (193 rakete). Odnos površina rentabilnog cilja dimenzija  $4Vd \times 4Vp$  za AKR „N“ koji je  $P_C = 129744 \text{ m}^2$  i AKR „4K“ koji je  $P_C = 52864 \text{ m}^2$ , dakle 2,45 puta je manji pri gađanju sa sve četiri aerodinamičke kočnice.

To je približno jednako odnosu potrebnog broja projektila za izvršenje vatrene zadatka pri gađanju bez AKR „N“. Tada je potrebno  $N_p = 193$  ra-



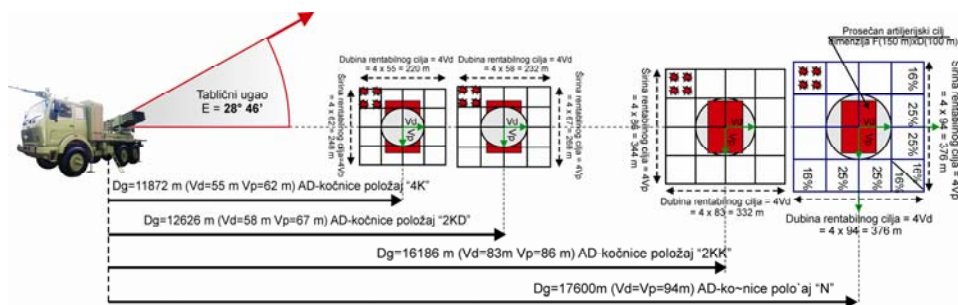
kete u odnosu na gađanje sa maksimalno otvorenim AKR „4K“, gde je  $N_p = 79$  raketa. Dakle, odnos je isti i iznosi 2,45 puta manje raketa. Zaključuje se da, u skladu sa borbenim mogućnostima, treba koristi položaj AKR „4K“, na ispaljenim raketama kao rentabilnu meru gađanja.

Važno je uočiti i sledeće efekte koji nisu detaljnije razmatrani. Ukupni cilj koji je rentabilan za gađanje je oko 2,45 puta manji pri upotrebi AKR, ali je za njega potrebna i manja gustina vatre od četiri rakete po najnepovoljnijoj jediničnoj površini. To znači da pored korelacije ukupnog broja raketa prema ukupnoj površini cilja, treba izmeniti i početne hipoteze o tome koliko raketa treba da prekrije jediničnu površinu,  $1V_d \times 1V_p$ . Pošto je i ova veličina u korelaciji 2,45, to će se za istu gustinu vatre još jednom prepoloviti potreban broj raketa. Ako se umesto četiri rakete po jediničnoj površini sada usvoji 2,45 puta manji broj raketa tj., 1,63 rakete, odnosno približno dve rakete, novi broj raketa za svaku od napred razmatranih opcija biće duplo manji. Dakle, upotrebom AKR-a rentabilnost se povećava po dva osnova, a samo zbog smanjenja verovatnog skretanja po pravcu  $V_p$  i po dometu  $V_d$ . Prvi osnov je, zbog smanjenja dimenzija površinskog cilja, a drugi, zbog smanjenja gustine vatre po jediničnoj površini.

Tabela 3

Uticaj položaja AKR na različitim daljinama gađanja i istom tabličnim uglovima na odabir rentabilnog cilja za oruđe LRSV M77

Tablični ugao ( $^\circ$ , ')	Daljina u 0-00 1:64-00	zatvorene AD-kočnice položaj "N"			otvorene dve kraće AD-kočnice položaj "2KK"			otvorene dve duže AD-kočnice položaj "2KD"			otvorene četiri AD-kočnice položaj "4K"		
		Daljina gađanja (m)	Jedno $V_s$		Daljina gađanja (m)	Jedno $V_s$		Daljina gađanja (m)	Jedno $V_s$		Daljina gađanja (m)	Jedno $V_s$	
			po daljini $V_d$ (m)	po pravcu $V_p$ (m)		po daljini $V_d$ (m)	po pravcu $V_p$ (m)		po daljini $V_d$ (m)	po pravcu $V_p$ (m)		po daljini $V_d$ (m)	po pravcu $V_p$ (m)
				17000	97	89	16000	83	85	12000	62	62	11000
<b>28 46 512</b>		<b>17600</b>	<b>94</b>	<b>94</b>	<b>16186</b>	<b>83</b>	<b>86</b>	<b>12626</b>	<b>58</b>	<b>67</b>	<b>11872</b>	<b>55</b>	<b>62</b>
		18000	92	97	17000	80	94	13000	56	71	12000	54	64



Slika 11 – Dimenzije rentabilnog cilja za oruđe LRSV M77 u zavisnosti od položaja AKR na različitim daljinama gađanja pod istom tabličnim uglom



Primenom izraza (1), pri gađanju na različitim daljinama gađanja ali pri istom tabličnom uglu, pri istoj verovatnoći pogađanja, u zavisnosti od položaja aerodinamičkih kočnica raketa (AKR), potreban broj projektila (N) za izvršenje zadatka je:

a) sa otvorene četiri aerodinamičke kočnice rakete (AKR u položaju 4K)

$$N = \frac{4Vd \times 4Vp}{Vpog} = \frac{4 \times 55 \times 4 \times 62}{672,4} = 81,142 \cong 81 \text{ raketa}$$

b) sa otvorene dve duže aerodinamičke kočnice rakete (AKR u položaju 2KD)

$$N = \frac{4Vd \times 4Vp}{Vpog} = \frac{4 \times 58 \times 4 \times 55}{672,4} = 90,468 \cong 92 \text{ rakete}$$

c) sa otvorene dve kraće aerodinamičke kočnice rakete (AKR u položaju 2KK)

$$N = \frac{4Vd \times 4Vp}{Vpog} = \frac{4 \times 83 \times 4 \times 86}{672,4} = 169,851 \cong 170 \text{ raketa}$$

d) sa zatvorenim aerodinamičkim kočnicama rakete (AKR u položaju N)

$$N = \frac{4Vd \times 4Vp}{Vpog} = \frac{4 \times 94 \times 4 \times 94}{672,4} = 210,255 \cong 210 \text{ raketa}$$

Kao i u prethodnim slučajevima i ovde je usvojena ista gustina vatre, tj. četiri rakete. Ukupan broj ispaljenih raketa biće još manji od navedenog pod a) do d), proporcionalno smanjenju površine jediničnog cilja  $1Vd \times 1Vp$  u korelaciji sa normativom efikasne površine za dejstvo jednom raketom [9], [10], [12], [13]. Taj broj nije razmatran u ovom delu rada, ali se lako može odrediti ako se na svakom dometu izračuna jedinični cilj i njegova površina kada se gađa bez kočnica, i uporedi sa repnim brojem raketa od (4) pa zatim uporedi sa referentnom površinom pri gađanju sa kočnicama AKR, na tom istom dometu. Takva studija pokazala bi veoma povoljne rezultate u smislu još većeg smanjenja broja raketa i dopri-nosa rentabilnom gađanju upotrebom AKR.

## Zaključak

Na osnovu izvršene analize i proračuna uticaja izbora aerodinamičkih kočnica (AKR) na rentabilnost gađanja artiljerijskih površinskih ciljeva samohodnim višecevnim lanserom raketa (LRSV), dolazi se do sledećih zaključaka u vezi sa činjenicama o borbenoj efikasnosti i rentabilnosti potrošnje raketa.

– Brzina reagovanja na različitim dometima za tzv. gađanje po dubini istim rafalom moguće je upotrebom AKR-a sa minimalnom potrošnjom municije, ali samo na određenim daljinama gađanja.

– Pri gađanjima na istom dometu upotreba AKR-a obezbeđuje rafalu minimalnu potrošnju raketa izborom optimalnih trajektorija po maksimalnoj visini leta, što obezbeđuje prelet preko prepreka različitih visina. Ovo je posebno važno, uz činjenicu da je potrošnja raketa i do dva i po puta manja na istoj daljini. Ako gustina vatre po površinskom cilju ne zahteva potpuni rafal, smanjiće se broj rakete upotrebom AKR-a i vreme izvršenja zadatka, što je posebno važno za dužinu boravka oruđa na vatrenom položaju.

– Uticaj položaja AKR na odabir rentabilnog cilja za oruđe LRSV M77 je veoma velik. Pri dejstvu na istoj daljini gađanja različitim tabličnim uglovima poželjno je koristiti položaj AKR „4K“.

– Pri dejstvu na različitim daljinama gađanja pod istom tabličnim uglom neophodno je pronaći optimalno rešenje između dimenzija rentabilnog cilja, položaja AKR i daljine gađanja.

– Oruđem LRSV M77 (u zavisnosti od položaja AKR) nije rentabilno gađati ciljeve koji se nalaze na daljinama manjim od dve trećine dometa.

– Nezavisno od uticaja izbora AKR, vatrene mogućnosti oruđa zavise od tablične preciznosti (rasturanja), tačnosti pripreme početnih elemenata za gađanje, oblika i karakteristika cilja i efekta neutralisanja koji se želi postići određenim dejstvom bojne glave.

### Literatura

[1] Pravilo *Lanser raketa samohodni višecevni 128 mm M77*, Uprava artiljerije, VIZ, BG, 1998.

[2] *Privremene tablice gađanja za LRSV-128 mm M77*, UA-193, Beograd, 1989.

[3] *Artiljerijsko pravilo gađanja*, Uprava artiljerije, Vojna štamparija, Beograd, 1991.

[4] *Tablice gađanja za Top 130 mm M46*, Uprava artiljerije, VIZ, 1984.

[5] Kokelj, T., *Priprema i izvršenje artiljerijskih bojnih gađanja sa višecevnim bacačem raketa 128 mm M-63 'PLAMEN' – skripta*, Vojna štamparija, Kruševac, 1997.

[6] Kokelj, T., *Priprema i gađanje samohodnim višecevnim lanserom raketa 128 mm M77 'OGANj' – skripta MO VA*, Vojna štamparija, Beograd, 2009.

[7] Kokelj, T., *Zbirka rešenih zadataka iz Teorije artiljerijskog gađanja*, UA-225, Vojna knjiga 1160, VIZ, Beograd, Ševac, 1999.

[8] Milinović, M., *Osnovi projektovanja raketa i lansera*, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Beograd 2002.

[9] Živanov, Ž., *Teorija gađanja*, udžbenik za vojne škole i artiljerijske jedinice, UA-216, VIZ Beograd, 1979.

[10] Sekulović, J. D., Đurković P. V., Milošević B. M., *Pozicioniranje, orijentisanje i određivanje daljine do cilja na samohodnom višecevnom raketnom lan-*

sirnom sistemu korišćenjem GPS i elektronskih karata, *Vojnotehnički glasnik*, vol. 58, broj 3, pp. 32-46, ISSN 0042-8469, UDC 623+355/359, Beograd 2010.

[11] Ćuk, V. D., Korekcija putanje žiroskopski stabilisanog projektila primenom proporcionalne navigacije, *Vojnotehnički glasnik (Military Technical Courier)*, vol. 58, broj 1, pp. 5-12, ISSN 0042-8469, UDC 623+355/359, Beograd 2010.

[12] Holclajtner, S. M., Jeremić, M. O., Milinović P. M., Simulacija rafala višecevnog bacača raketa, *Vojnotehnički glasnik (Military Technical Courier)*, vol. 58, broj 2, pp. 5-25, ISSN 0042-8469, UDC 623+355/359, Beograd 2010.

[13] Kokelj, T., Regodić, D., Tačnost potpune pripreme početnih elemenata posrednog gađanja, *Vojnotehnički glasnik (Military Technical Courier)*, vol. 53, broj 2, pp. 140-156, ISSN 0042-8469, UDC 623+355/359, Beograd 2005.

#### COST-EFFECTIVENESS CRITERION FOR OPTIMAL FIRING AT SURFACE TARGETS BY MLRS UNGUIDED ROCKETS WITH BALLISTIC AERODYNAMIC BRAKES

FIELD: Mechanical engineering, Mathematics

##### Summary:

*A problem of selecting an artillery target while firing from a multiple launch rocket system (MLRS) is not considered frequently in literature. A solution to that problem involves a good agreement among many elements such as shooting dispersion law of distribution, destruction target laws, dimensions of target, and the rate of fire. In this paper, the problem is discussed only for a 128 mm multiple launch rocket system (MLRS) M77, known as "OGANJ", with an unguided wrap around low-spin stabilized rockets with deflectors - aerodynamic brakes for ballistic trajectory control. The paper considered the advantages and disadvantages of the brakes in live fire using the proximity artillery service methodology.*

##### Introduction

*For the realization of artillery support tasks, the MLRS OGANJ M77 uses a special HEF, 128 mm unguided rocket, model M77, designed with properties not similar to ammunition solutions in former Eastern Armies of the GRAD type MLRS. In order to deliver fast and effective ripple fire to different ranges from the same mounting and to same ranges but along different trajectories, system designers have used ballistic aerodynamic brakes, integrated on the supporting ring of the rocket fins, in a form of programmable air interceptors. The system consists of two short and two long interceptors, i.e. air obstacles, used in pairs when opened, at the beginning and during the rocket flight. The mission is possible by using two short or two long or four short and long interceptors, for a group of rockets in the ripple. During the unguided rocket flight, there are different ballistic trajectories for a group of fired rockets. The interceptor combination is activated from the cabin of*

*the self-propelled launching vehicle by a special mechanism for mechanical brakes, by a remote control. The interceptors take position after the rocket leaves the launching tube. Before firing, the brake setting is done based on the given range, the battlefield terrain shape and the firing tables for indirect fire. Ballistic aerodynamic brakes have a similar function in the rocket artillery as powder charges have in the classic artillery when gun –howitzers are used. The difference is that aerodynamic brakes perform their function along the whole trajectory while powder charges effect is constrained only to initial velocity. This mechanism in low-spin stabilized unguided rockets enables different trajectories by height and by range from the same launching position.*

#### Methodology of the cost-effectiveness criterion for firing at surface targets

*Surface target dimensions should be related to dispersion probability and rocket accuracy in the MLRS ripple fire. This is the initial condition for the cost-effectiveness criterion evaluations for artillery fire with rockets designed with aerodynamic brakes. The ratio between the dispersion probability by range and the dispersion probability by direction is the function of range, and for this type of rockets it is also the function of types and a number of aerodynamic brakes during flight. Using air brakes, it is possible to achieve approximately the same dispersion probability in two directions around the target point, by range and by direction. This means a circular shape of dispersion, which is very important for firing efficiency at small ranges. The paper presents one complete simplified proximity model for efficient consumption of ammunition used for surface targets. The efficient consumption of rockets in ripple fire is compared for ranges where rockets have optimal performances, and where they can be used with and without aerodynamic brakes. The model takes data from artillery firing tables, without using detailed manufacturers data and without the theory of accuracy probability estimations and calculations. This model is the basis for further detailed analyses of aerodynamic effects of brakes of the interceptor type on artillery firing errors, as well as for the cost-effectiveness criterion in artillery rocket ripple fire. The paper considered the practical use of two models of aerodynamic brakes in MLRS live fire.*

#### Effects of aerodynamic brakes on the cost-effectiveness criterion

*In the first case, a fixed mounting position and fixed target horizontal ranges are used, realized by a combination of various elevation range angles, and aerodynamic brakes during a rocket flight. This case achieves different trajectories for the same ranges. This case is applied for surmounting different heights of obstacles on the terrain and also for confusing enemy radars. This method provides the OTOT (on time on target) method of firing by using the battery organization of ripple fire from different launchers with an appropriate fire control system.*

*In the second case, the same mounting position and the same elevation angle are used, but surface targets are distributed at different ranges, from the minimum to the maximum range, in four groups. The ranges are chosen by using aerodynamic brakes, arming their interceptors before fire.*

#### Conclusions

*Based on the previous analysis of air brakes efficiency, applied on unguided rockets, the following conclusions can be derived.*

*Fast live ripple fire at different ranges with the same ripple charge of a launcher is possible by using aerodynamic brakes with the minimum consumption of rockets while firing at surface targets. That is possible only at the given ranges optimally chosen from the firing tables. This case is not recommended for the optimum usage of aerodynamic brakes combination, because it is necessary to find out an optimum solution between target dimensions, dispersion and ranges, for an optimum arming of interceptors - air brakes on the rocket.*

*Firing at same ranges with variable trajectories and their optimum heights provides 2.5 times less consumption of rocket ammunition for the same range than firing with rockets without breaks. This procedure needs additional time for launcher elevation changes. The best position of aerodynamic brakes for this case is 4k, which means four interceptors opened during flight. It is not recommended, from the cost-effectiveness criterion, to fire at targets at the ranges shorter than 2/3 of the maximum range. All applications of aerodynamic brakes promise new research into the old idea of how to improve ripple fire of unguided MLRS, dictated on the battlefield by firing time conditions expressed in the attitude: fire as fast as possible. Important possibilities in further research have to be considered in the light of new fire control achievements, that is what we can get if the method OTOT can be applicable in the sequence ripple fire by using aerodynamic brakes and the automatic elevation changes concept. Further research will give the answers.*

*Key words: unguided rocket, artillery, aerodynamic brakes, MLRS, firing, firing errors, surface target*

Datum prijema članka: 12. 05. 2009.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 06. 10. 2010.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 08. 10. 2010.