

## Primena metode MAIRCA pri izboru mesta za prelazak tenkova pod vodom

DUŠKO Z. TEŠIĆ, Univerzitet odbrane u Beogradu,

Vojna akademija, Beograd

DARKO I. BOŽANIĆ, Univerzitet odbrane u Beogradu,

Vojna akademija, Beograd

Stručni rad

UDC: 623.438.7:519.226

DOI: 10.5937/tehnika1806860860T

*U radu je prikazan model podrške odlučivanju prilikom izbora mesta (lokacije) za prelazak tenkova pod vodom u sklopu savlađivanja vodenih prepreka tenkovskim jedinicama Vojske Srbije. Model ima dve faze, definisanje težinskih koeficijenata kriterijuma primenom metoda rangiranja i izbor najpovoljnije alternative primenom metode MAIRCA (MultiAtributive Ideal-Real Comparative Analysis). Rad je fokusiran na primenu metode MAIRCA, kao novije metode koja se pojavila u oblasti odlučivanja. Ova metoda zasnovana je na iznalaženju rešenja koje je najbliže idealnom, kroz identifikovanje najbolje vrednosti alternative po posmatranom kriterijumu i merenjem udaljenosti ostalih alternativa po posmatranom kriterijumu od idealne vrednosti. Takođe, kroz rad su razrađeni kriterijumi koji ovaj izbor uslovljavaju i prikazana primena metode u konkretnoj situaciji.*

**Ključne reči:** MAIRCA, višekriterijumsko odlučivanje, mesto prelaska tenkova pod vodom

### 1. OPIS PROBLEMA

Odlučivanje je proces koji je prisutan u svakom segmentu života, kako pojedinca, tako i grupa pa sve do složenih organizacionih sistema. Veoma složen organizacioni sistem, predstavlja i Vojska Srbije, gde se procesu odlučivanja, odnosno donošenja odluka pridaje veliki značaj.

U tom smislu primena metoda višekriterijumskog odlučivanja predstavlja nezaobilaznu podršku ovom procesu. U prilog tome ide i pojava sve većeg broja naučnih publikacija, koje se bave odlučivanjem u vojsci, kako kod nas, tako i u svetu [1-7].

Donosioci odluka, u vojnoj organizaciji, prilikom izvođenja borbenih operacija, su u situacijama da donose veliki broj, manje ili više, značajnih odluka. Postavlja se pitanje: Šta učiniti da donešene odluke budu pravilne, jer loša odluka može za posledicu imati neostvarenje postavljenih ciljeva/misija/zadataka i velike gubitke u ljudskim životima i materijalnim sredstvima [8]. Zbog toga se procesu donošenja odluka, u jednom takvom sistemu, poklanja izuzetna pažnja. U ovom radu prikazana je primena metode MAIRCA, kojom se unapređuje proces donošenja odluke prilikom izbora

mesta na vodenoj prepreci za prelazak tenkovima pod vodom.

Savlađivanje vodenih prepreka predstavlja jednu od najtežih aktivnosti u toku realizacije borbenih dejstava [9]. Ova aktivnost vrši se na različite načine. Jedan od načina je tenkovima, pod vodom. Kako bi se uredilo mesto za prelazak tenkova pod vodom neophodno je izvršiti niz priprema. Drugim rečima, prelazak tenkova pod vodom se vrši na unapred pripremljenim i urednim lokacijama. Sve armije sveta pridaju veliki značaj usavršavanju sredstava za savlađivanje vodenih prepreka. Savremeni tenkovi su opremljeni sistemom za podvodni gaz preko vodenih prepreka, sa osnovnim ciljem da se smanji negativni uticaj vodenih prepreka na izvođenje operacija.

Vojska Srbije opremljena je tenkom M-84, koji predstavlja borbeno, gusenično vozilo snažnog naoružanja, jake oklopne zaštite i velike manevarske sposobnosti i prohodnosti [10]. Opremljen je posebnom opremom za savlađivanje vodenih prepreka vožnjom po dnu. Kada je tenk u potpunosti pripremljen za podvodni gaz, može savladati vodenu prepreku dubine do 5 m [10].

Kroz ovaj rad prikazan je model kojim se unapređuje proces odlučivanja prilikom izbora mesta za prelazak tenkova pod vodom (slika 1), tako što se izbor lokacije vrši na osnovu više kriterijuma i primenom metoda višekriterijumskog odlučivanja. Na slici 1 prikazane su faze koje ovaj model sadrži.

---

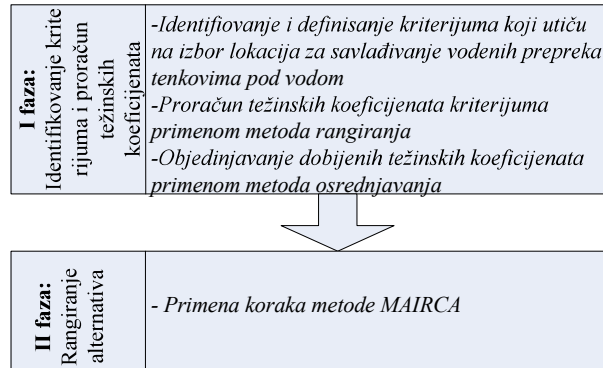
Adresa autora: Duško Tešić, Univerzitet odbrane, Vojna akademija, Beograd, Pavla Jurišića Šturma 33

e-mail: tesic.dusko@yahoo.com

Rad primljen: 09.10.2018.

Rad prihvaćen: 16.11.2018.

U dostupnoj literaturi opisuje se samo deo kriterijuma, na osnovu kojih se vrši izbor mesta prelaska. U skladu sa prethodno navedenim, donošenje odluke o izboru mesta prelaska, oslanja se na znanje i iskustvo donosioca odluke i njegovih najbližih saradnika. U određenim situacijama, nije isključena mogućnost da donosilac odluke nema dovoljna znanja i iskustva, te da može doneti i pogrešne ili manje kvalitetne odluke. Ovo dalje ukazuje da posledice toga mogu biti izuzetno velike. Primenom metoda višekriterijumskog odlučivanja, ovaj problem se značajno umanjuje.



Slika 1- Model podrške odlučivanju

Proces donošenja odluke o izboru mesta za organizovanje prelaska tenkova pod vodom vrši se rangiranjem ponuđenih alternativa (lokacija) i odabirom najpovoljnije alternative (lokacije) za prelazak.

## 2. OPIS PRIMENJENIH METODA

U narednom delu rada izvršen je opis metoda koje su primenjene u radu. Za definisanje težinskih koeficijenata korišćene su metode rangiranja, dok je za izbor najpovoljnije alternative korišćena metoda MAIRCA.

### 2.1. Opis metoda rangiranja i objedinjavanja individualnih težina

Realni problemi najčešće nemaju kriterijume istog stepena značajnosti. Zbog toga je neophodno da donosioci odluka definišu faktore značajnosti kriterijuma koristeći odgovarajuće težinske koeficijente. Njihovo definisanje i definisanje težinskih koeficijenata kriterijuma predstavlja najznačajniji deo procesa izbora najpovoljnije alternative. Vrlo često značajnu ulogu u ovom procesu igra i doza subjektivnosti koju donosioci odluka unose u ceo proces. Problem je jednostavniji kada postoji apsolutni priotitet među kriterijumima [11].

Pristupi rešavanju problema određivanja težina kriterijuma dele se na: subjektivne i objektivne. Jedan od subjektivnih pristupa određivanja težina kriterijuma, baziran je na rangiranju kriterijuma.

Pri određivanju težina za svaki kriterijum pretpostavlja se postojanje generalne međuzavisnosti između

ranga kriterijuma i prosečne težine kriterijuma. Takođe, „podrazumeva se da se ta međuzavisnost može iskoristiti za kombinovanje pojedinačnih rangova u skup objedinjenih (agregiranih, grupnih) težina kriterijuma kada je rangiranje kriterijuma izvršilo više eksperata“ [12].

U [12], između ostalih, opisane su sledeće metode određivanja težina kriterijuma na osnovu njihovog ranga: metoda linearnih težina sa promenljivim koeficijentom smera, metoda inverznih težina, metoda sume rangova i metoda geometrijskih težina, koje su i korišćene i u ovom radu.

Metoda linearnih težina sa promenljivim koeficijentom smera (MLT) jeste empirijski razvijena linearna funkcija rang-težina, čiji nagib zavisi od broja kriterijuma:

$$w_r = 100 - s_n(r - 1) \quad (1)$$

gde je:  $w_r$  – težina,  $r$  – rang,  $s_n$  – apsolutna vrednost koeficijenta smera dobijena pomoću metode najmanjih kvadrata, pri čemu je broj kriterijuma jednak  $n$ .

Empirijski je određena vrednost  $s_n$ :

$$s_n = 3.19514 + 37.75756 / n \quad (2)$$

Vrednosti težina kriterijuma dobijene ovom metodom nalaze se u intervalu od 0 do 100. Aditivnom normalizacijom te vrednosti se svode na interval 0 do 1.

Metoda inverznih težina (MIT) :

$$w_r = \frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{1}{j}} \quad (3)$$

gde je:  $r$  - rang, a  $j=1, 2, \dots, n$  predstavlja kriterijume.

Metoda centroida rangova (MCR) :

$$w_r = \frac{1}{n} \sum_{j=r}^n \frac{1}{j} \quad (4)$$

gde je:  $r$  - rang, a  $j=1, 2, \dots, n$  predstavlja kriterijume.

Metoda sume rangova (MSR) jeste linearna funkcija:

$$w_r = \frac{2(n+1-r)}{n(n+1)} \quad (5)$$

gde je:  $r$  – rang, a  $n$  predstavlja ukupan broj kriterijuma.

Metoda geometrijskih težina (MGT) :

$$w_r = \frac{1}{(\sqrt{2})^{r-1}} \quad (6)$$

gde je:  $r$  – rang.

Primenom navedenih metoda vrši se pretvaranje ranga svakog kriterijuma u njegovu težinu. Po dobijanju težina kriterijuma primenom navedenih metoda, potrebno je izvršiti njihovo matematičko objedinjavanje primenom neke od metoda osrednjavanja težina. U radu je primenjena metoda aritmetičkog osrednjavanja težina [13]. Agregirane težine dobijaju se osrednjavanjem individualnih težina kriterijuma primenom sledećeg izraza:

$$W_j = \frac{\sum_{i=1}^m w_{ij}}{m} \quad j=1, \dots, n \quad (7)$$

gde je:  $m$  – broj primenjenih metoda, a  $j=1, 2, \dots, n$  predstavlja kriterijume.

## 2.2. Metoda MAIRCA

Metoda MAIRCA (MultiAtributive Ideal-Real Comparative Analysis) je prvi put objavljena na Međunarodnoj naučnoj konferenciji RAILCON [14], a zatim i u [15].

Zasnovana je na principu iznalaženja rešenja koje je najbliže idealnom rešenju, a osnovna ideja je da se identifikuje najbolja vrednost alternative po posmatranom kriterijumu i da se meri jaz („gap“) odnosno udaljenost ostalih alternativa po posmatranom kriterijumu od idealne alternative.

U daljem tekstu je prikazana procedura za implementaciju MAIRCA metode tj. njena matematička formulacija u 5 koraka.

Korak 1 - Formiranje matrice odlučivanja ( $X$ ) sa  $m$  alternativa i  $n$  kriterijuma

$$X = \begin{matrix} & X_1 & X_2 & X_3 & \cdot & \cdot & \cdot & X_n \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & X_{13} & \cdot & \cdot & \cdot & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & X_{23} & \cdot & \cdot & \cdot & X_{2n} \\ X_{31} & X_{32} & X_{33} & \cdot & \cdot & \cdot & X_{3n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ X_{m1} & X_{m2} & X_{m3} & \cdot & \cdot & \cdot & X_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (8)$$

i određivanje verovatnoće izbora pojedinih alternativa  $P_{Ai}$  po sledećem obrascu:

$$P_{Ai} = \frac{1}{n}; \quad n = 1, 2, \dots, m; \quad (9)$$

gde  $m$  predstavlja ukupan broj alternativa koje se biraju.

U najvećem broju slučajeva donosilac odluke je neutralan u odnosu na početni izbor alternative, pa je početna verovatnoća ( $P_{Ai}$ ) izbora pojedinih alternativa ista za sve alternative:

$$P_{A_1} = P_{A_2} = P_{A_3} = \dots = P_{A_n}; \quad n = 1, 2, \dots, m; \quad (10)$$

gde  $m$  predstavlja ukupan broj alternativa koje se biraju.

Korak 2 - Formiranje matrice teorijskih pondera i proračun elemenata matrice.

Ukoliko je zadovoljen uslov iz koraka 1 da je donosilac odluke neutralan u odnosu na početni izbor alternative, pa je početna verovatnoća ( $P_{Ai}$ ) izbora pojedinih alternativa ista za sve alternative tada se formira matrica teorijskih pondera formata  $n \times l$ .

$$T_p = [t_{p1} \quad t_{p2} \quad \dots \quad t_{pn}]_{P_{Ai} \times W_n} \quad (11)$$

i vrši proračun elemenata matrice po sledećem:

$$T_p = [P_{A_1} w_1 \quad P_{A_1} w_2 \quad \dots \quad P_{A_1} w_n]_{P_{Ai} \times W_n} \quad (12)$$

gde je  $w_n$  težinski koeficijent kriterijuma.

Korak 3 - Proračun elemenata matrice stvarnih pondera ( $T_r$ ) alternativa po kriterijumima:

$$T_r = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \dots \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} t_{r11} & t_{r12} & \dots & t_{r1n} \\ t_{r21} & t_{r22} & \dots & t_{r2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ t_{rm1} & t_{rm2} & \dots & t_{rmn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (13)$$

gde  $n$  predstavlja ukupan broj kriterijuma, a  $m$  predstavlja ukupan broj alternativa.

Elementi matrice  $T_r$  dobijaju se množenjem elemenata matrice teorijskih pondera ( $T_p$ ) i elemenata početne matrice odlučivanja ( $X$ ).

Za „Benefit“ kriterijume vrednost  $t_{rij}$  računa po sledećem obrascu:

$$t_{rij} = t_{pi} \left( \frac{x_{ij} - x_i^-}{x_i^+ - x_i^-} \right) \quad (14)$$

dok se za „Cost“ kriterijume računa po sledećem:

$$t_{rij} = t_{pi} \left( \frac{x_i^+ - x_{ij}}{x_i^+ - x_i^-} \right) \quad (15)$$

gde je

$$x_i^+ = \max(x_1, x_2, \dots, x_m) \quad (16)$$

maksimalna vrednost kriterijuma po alternativama, a

$$x_i^- = \min(x_1, x_2, \dots, x_m) \quad (17)$$

minimalna vrednost kriterijuma po alternativama i gde su  $x_{ij}$ ,  $x_i^+$  i  $x_i^-$  elementi početne matrice odlučivanja ( $X$ ).

Korak 4 – Proračun matrice jaza između teorijskih i stvarnih pondera (G):

$$g_{ij} = t_{pi} - t_{rij} \quad (18)$$

Korak 5 - Proračun očekivanog rešenja (S), računa se na osnovu izraza:

$$S_i = \sum_{j=1}^n t_{rij} \quad (19)$$

gde  $n$  predstavlja ukupan broj kriterijuma.

Korak 6 - Rangiranje alternativa

Skup alternativa se rangira na osnovu vrednosti kriterijumske funkcije koje su dodeljene svakoj alternativni.

### 3. DEFINISANJE KRITERIJUMA KOJI UTIČU NA IZBOR I NJIHOVIH TEŽINSKIH KOEFICIJENATA

Kriterijumi za izbor najpovoljnijih lokacija za organizovanje prelaska tenkova pod vodom definisani su analizom dostupne literature. Opis uslova koje mesto za prelaz tenkova treba da zadovolji dat je u [9], [16]. Detaljnom analizom, izdvaja se sedam ključnih kriterijuma, i to:

$K_1$  - Dubina vodene prepreke - rastojanje mereno od površine vode do dna prepreke. Maksimalna dubina vode gde je moguć prelazak tenkova pod vodom je 5 m, zbog tehničkih mogućnosti sredstva.

$K_2$  - Brzina vodenog toka – predstavlja kretanje vode u jedinici vremena. Ona negativno utiče na zanošenje tenkova i otpor vode koji tenk treba da savlada prilikom prelaska. Prema brzini vodenog toka prepreke se dele na [9]: spore ( $v < 0,5$  m/s), srednje ( $0,5 \leq v < 1$  m/s), brze ( $1 \leq v \leq 2$  m/s) i vrlo brze ( $v > 2$  m/s). Ovakva mesta prelaska organizuju se na vodenim tokovima maksimalne brzine do 2 m/s.

$K_3$  - Sastav dna-korita – podrazumeva sastav u geološkom smislu. Tvrdo, kamenito, ali i ravno dno ili dno sa stabilnim krupnim šljunkom omogućava prelazak bez ikakvih prethodnih radova, dok muljevito ili neravno dno zahteva veći obim radova na ojačanju nosivosti dna reke ili može u celosti isključiti prelaz preko prepreke podvodnom vožnjom;

$K_4$  - Karakteristike obale - pod ovim pojmom podrazumeva se postojanje, kvalitet i stanje prilaznih puteva, sastav tla na obali, visina obale, nagib obale, pošumljenost, veštačke prepreke i sl. Postojanje i vrsta, kvalitet i stanje prilaznih puteva imaju veoma veliki značaj jer je dovoz sredstava za prelazak uslovljen dobrim putevima (putevima sa tvrdom podlogom), a njihova izgradnja predstavlja dugotrajan proces i veliko angažovanje snaga i sredstava, a realna borbena situacija zahteva da se prelaz preko reke realizuje u što

kraćem vremenskom periodu radi produžetka operacije tj. manevra jedinica. Pod sastavom obala podrazumeva se geološki sastav tla (obala). Na niskim obalama sredstva lakše prilaze vodenoj prepenci i samim tim je i mogućnost savlađivanja iste veća, dok se na visokim obalama moraju izrađivati rampe koje znatno povećavaju potrebno vreme za savlađivanje prepreke [9]. Tenk M-84 može savladati vertikalnu prepreku visine 0,85 m prilikom izlaska na suprotnu obalu [10]. Uticaj nagiba obala se ispoljava kroz mogućnost sredstva za ulazak i izlazak sa vodene prepreke [9]. Tenk M-84 može savladati maksimalni uzdužni nagib od  $30^\circ$  [10].

Od svih navedenih karakteristika zavisi obim radova koje je neophodno preduzeti na uređenju vlastite i suprotne obale [16].

$K_5$  - Širina vodene prepreke - predstavlja rastojanje od jedne do druge obale, mereno po površini vode. Prema širini, vodene prepreke se dele na [9]: uske (manje od 60 m), srednje široke (od 60 do 300 m) i široke (veće od 300 m). Pri prelasku preko vodene prepreke, širina utiče na brzinu prelaženja preko vodene prepreke, odnosno na vreme koje će jedinica biti izložena neprijateljskoj vatri. Podvodnim gazom savlađuju se prepreke maksimalne širine do 1 km.

$K_6$  – Uticaj neprijatelja – mesto prelaska treba da obezbedi najveći mogući stepen zaštite od dejstva neprijatelja iz vazduha, sa kopna ili sa vodene prepreke;

$K_7$  – Uslovi maskiranja - mesto na kome se organizuje prelazak tenkova pod vodom treba da obezbedi dobru prikrivenost prilaska obali i vodenoj prepenci, kao i dobre uslove maskiranja na obali u situacijama kada dođe do prekida prelaska (zbog dejstva avijacije i sl.).

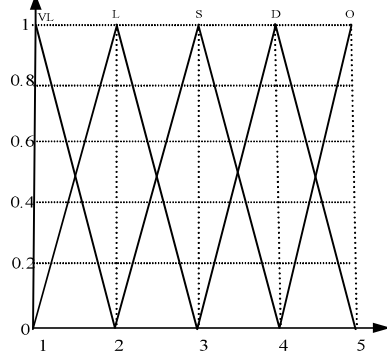
Svi kriterijumi su definisani prema značaju, na osnovu ocene eksperata, gde  $K_1$  predstavlja najznačajniji, dok  $K_7$  predstavlja najmanje značajan kriterijum. Težine kriterijuma ( $w_r$ ) dobijene su primenom metoda rangiranja, izrazi 1-6. Nakon dobijanja  $w_r$ , navedenim metodama, izvršeno je osrednjavanje rezultata primenom izraza 7. Konačni težinski koeficijenti, nakon osrednjavanja, dati su u tabeli 1.

Tabela 1. Težinski koeficijenti kriterijuma

Kriterijum	Tip kriterijuma	Težinski koeficijent kriterijuma
$K_1$	cost	0.30
$K_2$	cost	0.21
$K_3$	benefit	0.16
$K_4$	benefit	0.12
$K_5$	cost	0.09
$K_6$	benefit	0.07
$K_7$	benefit	0.05

## 4. RANGIRANJE ALTERNATIVA

U prvom koraku, u cilju prikaza primene metode definisano je pet ilustrativnih alternativa (od  $A_1$  do  $A_5$ ). Vrednosti po svakoj kvalitativnoj alternativni definisane su primenom fuzzy lingvističkih deskriptora, slika 2. Broj lingvističkih deskriptora je 5: VL-veoma loši, L-loši, S-srednji, D-dobri, O-odlični. Detaljan prikaz funkcija fuzzy lingvističkih deskriptora može se videti u [17].



Slika 2 - Grafički prikaz fuzzy lingvističkih deskriptora

Defazifikacija fuzzy lingvističkih deskriptora vrši se primenom jednog od sledećih izraza [18]:

$$A = ((t_3 - t_1) + (t_2 - t_1)) / 3 + t_1 \quad (20)$$

$$A = [\lambda t_3 + t_2 + (1 - \lambda)t_1] / 2 \quad (21)$$

gde  $t_1$  predstavlja levu distribuciju fuzzy broja,  $t_3$  desnu distribuciju,  $t_2$  mesto gde je funkcija pripadnosti 1, a  $\lambda$  predstavlja odnos donosioca odluke prema riziku [19].

Ovim su se u potpunosti stekli uslovi za definisanje početne matrice odlučivanja ( $D$ ).

	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$	$K_6$	$K_7$
$A_1$	2	1.1	VL	VD	100	O	L
$A_2$	0.1	0.1	O	D	10	D	O
$A_3$	3	1.5	L	L	850	VL	L
$A_4$	1.5	0.5	VD	O	200	D	D
$A_5$	3	2	VL	VL	800	VL	VL

Defazifikacijom fuzzy lingvističkih deskriptora, koristeći izraz (20), matrica odlučivanja ( $D$ ) dobija numerički karakter.

	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$	$K_6$	$K_7$
$A_1$	2	1.1	1.33	4	100	4.67	2
$A_2$	0.1	0.1	4.67	3	10	3	4.67
$A_3$	3	1.5	2	2	850	1.33	2
$A_4$	1.5	0.5	4	4.67	200	3	3
$A_5$	3	2	1.33	1.33	800	1.33	1.33

Nakon toga vrši se određivanje verovatnoće izbora pojedinih alternativa  $P_{Ai}$  po obrascu (9 i 10) gde dobijamo vrednost  $P_{Ai}$  koja iznosi 0.2.

Drugi korak predstavlja formiranje matrice teorijskih pondera ( $G$ ) i proračun elemenata matrice, primenom izraza (11 i 12), formata  $n \times l$

$$G = \begin{bmatrix} K_1 & K_2 & K_3 & K_4 & K_5 & K_6 & K_7 \\ 0.06 & 0.04 & 0.03 & 0.02 & 0.02 & 0.01 & 0.01 \end{bmatrix}$$

U trećem koraku vrši se proračun elemenata matrice stvarnih pondera ( $T_r$ ) alternativa po kriterijumima koristeći izraze (14 i 15) u zavisnosti od toga da li je u pitanju „benefit“ ili „cost“ kriterijum. Nakon toga formira se matrica stvarnih pondera:

$$T_r = A_3 \begin{bmatrix} K_1 & K_2 & K_3 & K_4 & K_5 & K_6 & K_7 \\ 0.02 & 0.03 & 0.01 & 0.01 & 0.05 & 0.01 & 0.03 \\ 0.06 & 0.06 & 0.03 & 0.03 & 0.06 & 0.02 & 0.03 \\ 0.00 & 0.02 & 0.00 & 0.01 & 0.00 & 0.03 & 0.00 \\ 0.03 & 0.05 & 0.02 & 0.02 & 0.05 & 0.00 & 0.02 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.03 & 0.00 \end{bmatrix}$$

Zatim se pristupa proračunu jaza između teorijskih i stvarnih pondera primenom izraza (18) čime se formira nova matrica ( $G$ ).

$$G = A_3 \begin{bmatrix} K_1 & K_2 & K_3 & K_4 & K_5 & K_6 & K_7 \\ 0.04 & 0.01 & 0.02 & 0.01 & -0.04 & 0.01 & -0.02 \\ 0.00 & -0.02 & 0.00 & -0.01 & -0.04 & 0.00 & -0.02 \\ 0.06 & 0.03 & 0.03 & 0.02 & 0.02 & -0.01 & 0.01 \\ 0.03 & -0.01 & 0.02 & 0.00 & -0.03 & 0.01 & -0.01 \\ 0.06 & 0.04 & 0.03 & 0.02 & 0.01 & -0.02 & 0.01 \end{bmatrix}$$

U četvrtom koraku vrši se proračun očekivanog rešenja ( $S$ ) koji se računa se po obrascu (19) i dobijaju se sledeće vrednosti alternativa ( $S_i$ ), tabela 2.

Tabela 2. Vrednosti očekivanog rešenja ( $S_i$ )

Alternativa	$S_i$	Rang
$A_1$	0.036056537	3
$A_2$	-0.092038168	1
$A_3$	0.150710461	4
$A_4$	0.00833342	2
$A_5$	0.163185043	5

Poslednji korak predstavlja rangiranje alternativa na osnovu vrednosti očekivanog rešenja i prikazano je u tabeli 2.

Na osnovu rezultata iz table 2, najbolje rangirana je alternativa  $A_2$ . Ona je najmanje udaljena od idealne vrednosti i ispunjava dodatne uslove koji su definisani opštim postavkama modela.

U slučaju kada donosilac odluke treba da izabere dve ili više lokacija onda bi pored alternative  $A_2$  odabrao i alternative iz skupa drugoragiranih alternativa ( $A_4$  i  $A_1$ ).

## 5. ANALIZA KONZISTENTNOSTI IZLAZNIH REZULTATA

Analiza konzistentnosti izlaznih rezultata predstavlja sredstvo provere stabilnosti rezultata metoda VKO. Provera stabilnosti korišćenih metoda VKO predstavlja neizostavan korak u procesu izrade modela za podršku odlučivanju [20]. U konkretnom slučaju analiza je izvršena promenom težinskih koeficijenata kriterijuma. Cilj analize konzistentnosti metoda VKO na promene težina kriterijuma je da se utvrdi na koji način promene težina kriterijuma dovode do promena u rangovima alternativa. U tabeli 3. dato je sedam scenarija (od S<sub>1</sub> do S<sub>7</sub>) promene težinskih koeficijenata kriterijuma, na osnovu kojih je izvršeno rangiranje postojećih alternativa, primenom metode MAIRCA.

Tabela 3. Scenariji promena težine kriterijuma

	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>	K <sub>6</sub>	K <sub>7</sub>
S <sub>1</sub>	0,52	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
S <sub>2</sub>	0,08	0,52	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
S <sub>3</sub>	0,08	0,08	0,52	0,08	0,08	0,08	0,08
S <sub>4</sub>	0,08	0,08	0,08	0,52	0,08	0,08	0,08
S <sub>5</sub>	0,08	0,08	0,08	0,08	0,52	0,08	0,08
S <sub>6</sub>	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,52	0,08
S <sub>7</sub>	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,52

U tabeli 4. obeleženi su rangovi alternativa koji se ne podudaraju sa rangovima dobijenim primenom proračunatih težina koeficijenata kriterijuma.

Tabela 4. Rangovi alternativa primenom različitih scenarija

	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>6</sub>	S <sub>7</sub>
A <sub>1</sub>	3	3	3	3	3	3	3
A <sub>2</sub>	1	1	1	1	1	1	1
A <sub>3</sub>	4	4	5	4	4	4	4
A <sub>4</sub>	2	2	2	2	2	2	2
A <sub>5</sub>	5	5	4	5	5	5	5

Nakon izvršene analize dobijenih rezultata, može se zaključiti da kod velike većine scenarija postoji konzistentnost izlaznih rezultata. Alternative A<sub>2</sub> i A<sub>4</sub> su, u svim scenarijima, rangirane kao prva odnosno druga, dok je alternativa A<sub>5</sub> u većem broju scenarija rangirana kao peta, a ni u jednom slučaju nije prikazana kao prvorangirana.

Jedan od najboljih načina za kvantitativnu analizu izlaznih rezultata je primena Spirmanovog koeficijenta:

$$S = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n D_i^2}{n(n^2 - 1)} \quad (22)$$

gde  $D_i$  predstavlja razliku ranga po datom scenariju i ranga u korespondentnom scenariju, a  $n$  broj rangiranih elemenata. Spirmanov koeficijent uzima vrednosti iz intervala [-1,1]. Kada se rangovi elemenata potpuno poklapaju spirmanov koeficijent je 1 („idealna pozitivna korelacija“), kada su rangovi potpuno suprotni spirmanov koeficijent iznosi -1 („idealna negativna korelacija“), odnosno kada je  $S=0$  rangovi su nekorelisani.

Vrednosti Spirmanovog koeficijenta u konkretnom slučaju prikazane su u tabeli 5.

Tabela 5. Vrednosti Spirmanovog koeficijenta

	S <sub>0</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>6</sub>	S <sub>7</sub>
S <sub>0</sub>	1	1	1	1	1	1	1	1
S <sub>1</sub>	1	1	1	1	1	1	1	1
S <sub>3</sub>	1	1	1	1	1	1	1	1
S <sub>3</sub>	0,9	0,9	0,9	1	0,9	0,9	0,9	0,9
S <sub>4</sub>	1	1	1	1	1	1	1	1
S <sub>5</sub>	1	1	1	1	1	1	1	1
S <sub>6</sub>	1	1	1	1	1	1	1	1
S <sub>7</sub>	1	1	1	1	1	1	1	1

Kao što se uočava vrednosti Spirmanovog koeficijenta su izuzetno visoke, odnosno postoji idealna pozitivna korelacija rangova u skoro svim slučajevima. Manje odstupanje uočava se kod scenarija S<sub>3</sub> u odnosu na proračunate težinske koeficijente (S<sub>0</sub>), kao i sve druge definisane scenarije, ali je i ta vrednost značajno visoka. Sve navedeno ukazuje da su dozvoljene manje greške prilikom definisanja težinskih koeficijenata kriterijuma.

## 6. ZAKLJUČAK

Rezultati dobijeni primenom metode MAIRCA, pokazuju da korišćena metoda može uspešno vrednovati definisane alternative, odnosno može se koristiti kao pomoć donosiocima odluka prilikom izbora mesta za prelazak tenkovima pod vodom. Metoda MAIRCA daje stabilna (konzistentna) rešenja i predstavlja pouzdan alat za kvalitetno donošenje odluka. Ovim se stvaraju mogućnosti za brzo donošenje kvalitetnih odluka i pružanje pomoći manje iskusnim donosiocima odluka. Prikazani model moguće je dalje unapređivati detaljnijom razradom kriterijuma, primenom drugih metoda definisanja težina kriterijuma i/ili fazifikacijom korišćene metode.

## 7. ZAHVALNICA

Ovaj rad urađen je u okviru projekta VA-DH/1/18-20, koji je finansiran od strane Ministarstva odbrane Republike Srbije.

## LITERATURA

- [1] Bojanić D, Kovač M, Bojanić M, Ristić V. Multi-criteria decision-making in a defensive operation of the guided anti-tank missile battery: An example of the hybrid model fuzzy AHP-MABAC, *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, Vol. 1, No. 1, pp. 51-66, 2018.
- [2] Göztepe K., Ejder A. i Çalikoğlu E., Course of Action (COA) Selection for Special Operations Using Fuzzy Multi-Criteria Decision Making Technique, in Proc. *2<sup>nd</sup> international Fuzzy systems symposium FUZZYSS'11*, Ankara, Turkey, pp. 355-359, 2011.
- [3] Karavidić Z, Projović D, A multi-criteria decision-making (MCDM) model in the security forces operations based on rough sets, *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, Vol. 1, No. 1, pp. 97-120, 2018.
- [4] Göztepe K. i Kahraman C, A New Approach to Military Decision Making Process: Suggestions from MCDM Point of View, in Proc. *International Conference on Military and Security Studies ICMSS*, Istanbul, Turkey, pp. 118-122, 2015.
- [5] Lukovac V, Popović M, Fuzzy Delphi approach to defining a cycle for assessing the performance of military drivers, *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, Vol. 1, No. 1, pp. 67-81, 2018.
- [6] Karović S, Pušara M, Kriterijumi za angažovanje snaga u operacijama, *Novi glasnik*, No. 3-4, pp. 37-58, 2010.
- [7] Petrović I, Kankaraš M, DEMATEL-AHP multi-criteria decision making model for the selection and evaluation of criteria for selecting an aircraft for the protection of air traffic, *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, Vol. 1, No. 2, pp. 93-110, 2018.
- [8] Mučibabić S, *Odlučivanje u konfliktnim situacijama*, Vojna akademija, Beograd, 2003.
- [9] Pifat V, *Prelaz preko reka*, Vojnoizdavački zavod, Beograd, 1980.
- [10] *Tenk M-84, opis, rukovanje, osnovno i tehničko održavanje*, Knjiga 1, SSNO, Tehnička knjiga, Beograd, 1988.
- [11] Opricović S, *Višekriterijumska optimizacija*, Naučna knjiga, Beograd, 1986.
- [12] Milićević M, Milenkov M, Određivanje težina kriterijuma primenom rangiranja, *Vojnotehnički glasnik*, Vol. 62, No. 1, pp. 141-166, 2014.
- [13] Milićević M, Župac G. Subjektivni pristup određivanju težina kriterijuma/Subjective approach to the determination of criteria weights, *Vojnotehnički glasnik*, Vol. 60, No. 2, pp. 48-70, 2012.
- [14] Pamučar D, Vasin Lj, Lukovac L, Selection of railway level crossings for investing in security equipment using hybrid DEMATEL-MARICA model, in Proc. *XVI International Scientific-expert Conference on Railways RAILCON 2014*, pp. 89-92, 2014.
- [15] Gigović Lj, Pamučar D, Bajić Z, Milićević M, The combination of expert judgment and GIS -MAIRCA analysis for the selection of sites for ammunition depot, *Sustainability*, Vol. 8, No. 4, pp. 1-30, 2016.
- [16] Tešić D, Božanić D, Milićević J, The choice of areas for underwater river crossing with tanks using the VIKOR method, in Proc. *7th DQM International Conference Life Cycle Engineering and Management ICDQM-2016*, Prevor, Serbia, pp. 529-534, 2016.
- [17] Božanić D, Pamučar D, Karović S, Primene metode MABAC u podršci odlučivanju upotrebe snaga u odbrambenoj operaciji, *Tehnika*, Vol. 71, No. 1, pp. 129-136, 2016.
- [18] Seiford L. M, The evolution of the state-of-art (1978-1995), *Journal of Productivity Analysis*, Vol. 7, pp. 99-137, 1996.
- [19] Milićević M, *Ekspertska ocenjivanje*, Medija centar „Odbrana“, Belgrade, 2014.
- [20] Mukhametzjanov I, Pamučar D, A sensitivity analysis in MCDM problems: A statistical approach, *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, Vol. 1, No. 2, pp. 51-80, 2018.

## SUMMARY

### APPLICATION OF THE MAIRCA METHOD IN THE SELECTION OF THE LOCATION FOR CROSSING TANKS UNDER WATER

*This paper presents a decision support model for the selection of the site (location) for crossing tanks under water as part of the overcoming of water obstacles by the Serbian army tank units. The model has two phases, defining the weight coefficients of the criteria using the method of ranking and selecting the most favorable alternative using the MAIRCA method (MultiAtributive Ideal-Real Comparative Analysis). The paper focuses on the application of the MAIRCA method, as a newer method that has emerged in the field of decision making. This method is based on finding the solution closest to the ideal one, through identifying the best value of the alternative according to the observed criterion and measuring the distance of other alternatives according to the observed criterion of the ideal value. Also, through the work are elaborated the criteria that this choice conditional and the presented application of the method in the concrete situation.*

**Key words:** *MAIRCA, multi-criteria decision making, location for crossing tanks under water*