Osetljivost topsis rang-liste varijanti na promenu broja kriterijuma i varijanti

U radu se razmatra postupak dobijanja rang-liste varijanti (protivavionskih raketnih sistema za male visine) primenom metode TOPSIS. Pokazan je postupak dogradnje metode radi adekvatnije primene za rešavanje praktičnih zadataka, prezentirani su svi potrebni matematički izrazi i data potrebna pojašnjenja, kako bi se rad mogao upotrebiti za izradu odgovarajuće softverske podrške.

Navedeni su bitni nedostaci metode i opisani mogući postupci njihovog rešavanja pri promeni uslova delovanja okruženja, kada se menjaju broj varijabli i kriterijuma i njihove karakteristike. Pokazan je postupak dobijanja stabilne rang-liste uvođenjem stalnih referentnih tačaka — varijanti.

Uvod

Za rešavanje različitih upravljačkih zadataka, donosioci odluka (DO) treba da poznaju rang-liste određenih sličnih pojava ili sistema. Intuitivno i logičko zaključivanje, mada često u praksi, može dovesti do pogrešnih odluka i dugotrajnih negativnih posledica za organizacioni sistem u kome se ili za čije se potrebe donosi odluka. Primenom metoda operacionih istraživanja za rešavanje višekriterijumskih problema — oblast višekriterijumskog odlučivanja, može se znatno smanjiti rizik donošenja loših odluka.

Određivanjem relevantnih kriterijuma i njima pripadnih kriterijumskih funkcija na osnovu kojih se vrši vrednovanje pojava ili sistema (varijanti), omogućava se primena razrađenih postupaka za njihovo rangiranje.

Na osnovu usvojenih kriterijuma određuju se kriterijumske funkcije koje su brožane vrednosti i predstavljaju merljive kvantitativne parametre, njihove ocene ili ocene kvalitativnih karakteristika sistema koji se rangiraju.

Korist koju DO ima od rang-liste varijanti, dobivene primenom neke od metoda višekriterijumske optimizacije i bazirane na realnim podacima i objektivnim, sveobuhvatnim i nepristrasnim procenama, može potvrditi samo praksa. Do sada razvijene i primenljive

vane metode iz ove oblasti daju određene garancije da će odluke koje se donose u složenim situacijama, na osnovu rezultata dobijenih primenom metoda, biti bolje nego kada se donose intuitivno.

Razvoju operacionih istraživanja mnogo je doprineo razvoj informatičke tehnologije, jer se složeni i dugotrajni računarski postupci, uz adekvatnu softversku podršku, mogu obaviti za veoma kratko vreme. Time se istraživačima omogućava da eksperimentišu, pronalaze moguće pogreške u metodama i rade na njihovoj dogradnji, usavršavanju, modifikaciji i prilagođavanju za rešavanje praktičnih problema.

Za višekriterijumsko rangiranje varijanti postoji veliki broj razvijenih i proverenih metoda. U našoj zemlji najpoznatije su familije metoda PROMETHEE [1], ELECTRE [2] i IKOR [3], kao i njihove modifikacije. Bez razloga je zapostavljena i nedovoljno eksploatisana metoda TOPSIS sa njenim modifikacijama [4, 5].

Metoda TOPSIS zasnovana je na saznanjima kompromisnog programiranja, a uvodi i meru relativne verodostojnosti poznatih funkcija L_p metrike, zavisne od dimenzija rešavanog problema, pre svega od broja relevantnih kriterijuma.

Mada se sve navedene metode mogu primenjivati za široku klasu proble-

ma, bez obzira na to da li su oni tehničke, ekonomske ili neke druge prirode, metode IKOR i TOPSIS su pogodne za primenu u problemima sa više relevantnih kriterijuma tehničke prirode (tehnički sistemi). To je samo generalna preporuka, tako da se u zavisnosti od stvarnog problema koji se rešava, bira i adekvatna metoda ili se prilagođava problemu (kao što je slučaj u primerima rangiranja varijanti sa kriterijumskim funkcijama na više nivoa [3, 6], i slično).

Cilj ovog rada jeste da se prezentira proširena metoda TOPSIS, pokaže njena primena na jednom realnom primeru (protivavionski raketni sistemi za male visine — PARSMV), ukaže na neke njene nedostatke i da se daju određene preporuke za njihovo otklanjanje. U radu su navedeni svi potrebni mate-

matički izrazi, tako da se ova prezentacija može koristiti u izradi odgovarajućeg softvera. Pored toga, želi se ukazati i na potrebu korišćenja savremenih metoda i računarske tehnologije, kao pomoći u procesu pripreme i donošenja odluka.

Rangiranje PARSMV, pokazano u primeru, izvršeno je na osnovu dostupnih podataka za ove tehničke sisteme [7]. U postupku rešavanja numeričkog primera, subjektivno su procenjene relativne važnosti relevantnih kriterijuma i neke vrednosti kriterijumskih funkcija (na osnovu poznatih kvalitativnih karakteristika tehničkih sistema).

Proširena metoda TOPSIS

Proširena metoda TOPSIS (Technique for Order Preference by Similari-

Neke karakteristike protivavionskih raketnih

Varijante V	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	V ₅	V ₆
Karakteristike						
Naziv	SA-13GOPHER	SA-8 GECKO	CROTALE	CROTALE NC	ROLAND R1/2	ADAMS
Država proizvođač	SSSR	SSSR	Francuska	Francuska	Fran. — SR Nem.	Izrael
Godina uvođenja	1977	1975	1971	1991	1977/80	razvoj
Tip	2 stepena	1 stepen	1 step. R440	1 step. VT1	2 stepena	2 stepena
Dužina rakete (m)	2,19	3,10	2,89	2,29	2,4	2,175
Prečnik rakete (m)	0,12	0,21	0,15	0,165	0,16	0,17
Raspon krila (m)	0,36	0,64	0,54	0,45	0,50	0,68
Masa rakete (kg)	39,2	170	85	75	66,5	94
Motor	ČG, B+M	ČG	ČG	ČG, MD	ČG	ČG, TRM
Bojna glava	4 kg HE	40 kg HE	13,9 kg parčadno	13,14 kg HEu	6,5 kg kumulativno	22 kg HE fregmentno
Upaljač	UK i UB	UB (Sm)	UK i UB(8m)	UEMB (8m)	UK ili UEMB	UK i UB
Vođenje	PICSV (2)	KVR i KVO	SVRTV	MSVK	KVR i KVO	PRSV
Lansirno oruđe: voz. (t), br. rak.	13,6 t 6+12	18,3 t 4 ili 6	15 t 4	gusenično 8	33 t 2+8	LAV-25 M2 20

ty Ideal Solution) [4, 5] zasniva se na saznanjima iz područja kompromisnog programiranja u višekriterijumskoj optimizaciji, a od poznatih metoda iz ovog područja (na primer IKOR [3]), razlikuje se po tome što uvodi meru relativne verodostojnosti funkcija L_p metrike koja zavisi od dimenzije rešavanog problema. Postupak provođenja metode može se predstaviti u pet osnovnih faza:

1. Definisanje problema, razrada varijanti, kriterijuma i njima pripadajućih parametara.
2. Transformacija i normalizacija vrednosti kriterijumskih funkcija.
3. Određivanje devet rang-listi varijanti primenom L_p metrike i funkcije »sličnosti« idealnoj varijanti (za $p=1, 2, \dots, \infty$).

4. Određivanje jedinstvene rang-liste varijanti pomoću funkcije verodostojnosti i jedinstvene funkcije »pomirenja« rangova varijanti.
5. Formiranje konačne rang-liste varijanti po proširenoj metodi TOPSIS.

Problem, varijante i kriterijumi

Za razmatrane tehničke sisteme definisani su značajni kriterijumi K_j ($j=1, n$; $n=13$) sa pripadnim relativnim važnostima W_j (ekspertske ocenjene) i logičkim operatorima L_j koji pokazuju da li je za DO bolje ako je vrednost kriterijumske funkcije veća ($L_j=+1$) ili manja ($L_j=-1$). Kriterijumi su:

K_1 — dimenzije rakete (vrednosti kriterijumskih funkcija izve-

Tabela 1

sistema za male visine, prema [7]

V_1	V_2	V_3	V_{10}	V_{11}	V_{12}	V_{13}
SPADA	TIP 81 TAN-SAM	ADATS	PAPIER, LAS I 2000	SA-9 GASKIN	Chaparrel	HQ-61
Španija	Japan	Švajcarska	V. Britanija	SSSR	SAD	NR Kina
1983	1982	1988	1983	1969	1969	—
1 stepen	1 stepen	PA i PO sistem	1 stepen	2 stepena	1 stepen MIM-72A-F	1 stepen
3,7	2,7	2,057	2,24	1,82	2,91	3,99
0,203	0,16	0,152	0,133	0,12	0,127	0,86
0,68	0,6	0,36	0,381	0,38	0,64	1,66
204	100	51,4	42,6	30	86	300
ČG	ČG	ČG, MD	ČG	ČG, B+M	ČG	ČG
33 kg HE fragmentno	HE, fragmen. domet S-15m	12,5 kg KHEF	1,4 kg KNEF	2,6 kg HE	12,6 kg KNEF	oko 40 kg HE (p)
UK i UB	UU ili UEMB	UU ili UEMB	UU i UB	UB (1,5 m)	UU ili UB	UK i UB
PRSV	PICSV i autopilot	LVS	AKOLRV	PICSV	ICSV	PRSV
— 6	6x6 točkaš 4	M113 M2 8	14 t 8	7 t 4+2	11 t 4+8	6x6 točkaš 2

dene su na osnovu podataka za dužinu, prečnik i raspon krila rakete iz tabele 1, a prema postupku opisanom u [6] i one su bezdimenzionalne veličine). Relativna važnost kriterijuma $W_1=1$, a raketa je bolja ako je vrednost kriterijumske funkcije manja ($L_1=-1$);

- K_2 — masa rakete (kg); $W_2=1,5$; $L_2=-1$;
- K_3 — masa bojne glave (kg); $W_3=2,5$; $L_3=1$;
- K_4 — maksimalna brzina (m/s); $W_4=3$; $L_4=1$;
- K_5 — maksimalni efektivni domet (km); $W_5=2,5$; $L_5=1$;
- K_6 — minimalni efektivni domet (km); $W_6=2,5$; $L_6=-1$;
- K_7 — maksimalna efektivna visina (km); $W_7=2$; $L_7=1$;
- K_8 — minimalna efektivna visina (km); $W_8=2,5$; $L_8=-1$;
- K_9 — sistem vođenja (ekspertska ocena prema poznatim karakteristikama, u rasponu ocena od 1 do 5); $W_9=3$; $L_9=1$;
- K_{10} — sistem upravljanja vatrom (ekspertska ocena u rasponu ocena od 1 do 6); $W_{10}=3$; $L_{10}=1$;
- K_{11} — zaštita rakete od ometanja (ekspertska ocena u rasponu ocena od 1 do 10); $W_{11}=3$; $L_{11}=1$;
- K_{12} — status (razvoj, u proizvodnji ili pred izbacivanjem iz naoružanja) i perspektivnost rakete (ekspertska ocena u rasponu ocena od 1 do 10); $W_{12}=1$; $L_{12}=1$;
- K_{13} — verovatnoća pogađanja — uništenja cilja (%); $W_{13}=3$; $L_{13}=1$.

Razmatra se 13 PARSMV ili 13 varijanti V_i ($i=1, m$; $m=13$).

Karakteristike raketa koje nisu obuhvaćene usvojenim kriterijumima,

a na osnovu njih su određene složene kriterijumske funkcije (npr. K_1) ili su ekspertski ocenjene kvalitativne karakteristike sistema, date su u tabeli 1, prema [7].

Uvedene skraćenice u tabeli 1 imaju sledeće značenje:

- ČG, (TRM; B+M; MD) — čvrsto gorivo (trorežimski motor; buster+marš; malodimno);
- HE (HEu, HEp) —high explosive — jaki eksploziv (usmereno, parčadno);
- KHEF, — kumulativni jaki eksploziv, fragmentarno;
- UK; UU; UB; UEMB; — upaljač; kontaktni; udarni; blizinski; elektromagnetski blizinski;
- ICSV — IC samovođenje nakon optičkog usmeravanja;
- PICSV(2) — pasivno IC samovođenje sa dva senzora;
- KVR; KVO — komandno vođenje radarsko; komandno vođenje optičko;
- SVRTV — samovođenje na radarском ili TV snopu sa IC mernim sistemom odstupanja;
- MSVK — multisenzorsko vođenje (radar, IC, video) kompjuterom;
- PRSV — poluaktivno radarsko samovođenje;
- LVS — lasersko vođenje po snopu;
- AKOLRV — automatsko (vođenje) sa komandnim, optičkim, laserskim ili radarskim vođenjem.

Vrednosti kriterijumskih funkcija $c_{i,j}$ za pojedine rakete — varijante V_i i kriterijume K_j , date su u tabeli 2, a dobijene su na osnovu karakteristika u tabeli 1 i drugih bitnih kvantitativnih pokazatelja [7]. Relativne važnosti kriterijuma procenjene su i DO ih može menjati zavisno od uslova pri kojima se odluka donosi (ili uslova u kojima se zahteva rang-lista varijanti).

Početna tabela za višekriterijumsko rangiranje varijanti V_i — PARSMV (matrica $C = [c_{ij}]$)

VARIJANTE V_i	K R I T E R I J U M I K_j												
	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	K_8	K_9	K_{10}	K_{11}	K_{12}	K_{13}
V_1 - SA-13 GOPHER	0,07	39,2	4	614	7,5	0,5	6	0,010	2	3	3	8	60
V_2 - SA-8 GECKO	0,84	170	40	784	15	1,6	10	0,050	3	5	7	8	70
V_3 - CROTALE	0,49	85	13,9	780	10,5	0,5	5	0,015	3	3	7	5	70
V_4 - CROTALE NG	0,34	75	13,4	1228	8	0,5	6	0,015	5	5	10	10	90
V_5 - ROLAND R1/2	0,37	66,5	9	570	8	0,5	3	0,020	3	5	7	8	70
V_6 - ADAMS	0,51	94	22	580	10	0,4	5	0,050	2	5	6	10	60
V_7 - SPADA	0,96	204	33	680	15	0,5	5	0,015	2	5	6	7	60
V_8 - T-81 TAN-SAM	0,52	100	15	818	7	0,5	3	0,015	3	2	4	7	70
V_9 - ADATS	0,15	51,4	12,5	1023	10	1,0	6	0,015	5	6	10	10	90
V_{10} - RAPIER L. i2000	0,13	42,6	1,4	680	6,85	0,5	3	0,015	4	4	8	9	70
V_{11} - SA-9 GASKIN	0,00	30	2,6	500	5,1	0,9	4,5	0,025	1	1	1	2	40
V_{12} - CHAPARREL	0,50	86	12,6	850	6	0,5	3	0,050	2	4	4	3	60
V_{13} - HQ-61	1,28	300	40	1023	10	0,3	8	0,015	2	2	4	8	60
Relat. važ. krit. W_j	1	1,5	2,5	3	2,5	2,5	2	2,5	3	3	3	1	3
Logički operator L_j	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1	1	1	1	1	1

Određivanje rang-liste raketa metodom TOPSIS

a) Vrednosti kriterijumskih funkcija zadane matricom $C = [c_{ij}]$ svode se na vrednosti c'_{ij} koje predstavljaju apsolutne »udaljenosti« vrednosti kriterijumskih funkcija za posmatrani kriterijum K_j (»opaženi« negativni ideal). Na taj način dobija se matrica transformisanih kriterijumskih funkcija $C' = [c'_{ij}]$ čiji elementi zadržavaju početne jedinice mere i određuju se tako da je:

$$c'_{ij} = \begin{cases} \frac{c_{ij} - \min_i \{c_{ij}\}}{i}, & \text{za } j \in J^+, \\ \frac{\max_i \{c_{ij}\} - c_{ij}}{i}, & \text{za } j \in J^-, \end{cases} \quad (1)$$

Podsklopovi J^+ i J^- definisani su tako da je:

$$J^+ = \{j: L_j = 1\}, J^- = \{j: L_j = -1\}, J = J^+ \cup J^-, \quad (2)$$

što je u primeru:

$$J^+ = \{3; 4; 5; 7; 9; 10; 11; 12; 13\}, J^- = \{1; 2; 6; 8\}.$$

Relativne važnosti svih kriterijuma u matrici C' imaju predznak »+«, odnosno logički operatori su $L'_j = 1$ za $j = 1, n$.

b) Formira se matrica normalizovanih kriterijumskih funkcija $A = [a_{ij}]$ kao početna matrica za određivanje rang-listi varijanti (raketa), sa elementima:

$$a_{ij} = \frac{c'_{ij}}{\max_i \{c'_{ij}\}}, \quad (3)$$

Vrednosti elemenata matrice A su u intervalu $[0,1]$, tako da je varijanta V_i bolja ako je pripadna vrednost a_{ij} bliža 1.

c) Određuju se idealna i negativna varijanta — tačka, jer metoda TOPSIS pretpostavlja da je varijanta (tačka u n -dimenzionalnom prostoru) bolja ukoliko je bliža idealnoj tački i dalja od negativne idealne tačke u n -dimenzionalnom prostoru kriterijumskih funkcija, ali ne samo u geometrijskom smislu.

Idealna tačka I^* (»opaženi« ideal — idealna varijanta V^*) predstavlja

onu tačku u n-dimenzionalnom prostoru kriterijumskih funkcija koja, prema zadanim kriterijumima K_j i logičkim operatorima L_j , ima najbolje karakteristike — vrednosti kriterijumskih funkcija c_j^*) prema svim kriterijumima. U slučaju da bira najbolju varijantu, DO bi želeo da izabere varijantu koja poseduje te karakteristike, ako takva postoji. Ali, ako takva varijanta ne postoji, DO bi želeo da izabere varijantu čije su karakteristike najbliže karakteristikama idealne varijante. Idealna tačka I^* je n-dimenzionalni vektor čiji su elementi maksimalne vrednosti $a_{i,j}$ (c_j^*). Prema matrici A, idealna tačka je:

$$I_A^* = \left\{ \max_i \{a_{i,j}\}; i=\overline{1, m}; j=\overline{1, n} \right\} = \{a_j^*; j=\overline{1, n}\} \quad (4)$$

tako da je to i vrh n-dimenzionalnog konveksnog poliedra, čija svaka od n koordinata ima vrednost $a_j^*=1$.

»Opaženi« ideal može se odrediti i prema matrici C, uz uvažavanje logičkih operatora L_j ($j \in J^+$ ili $j \in J^-$), što predstavlja i idealnu varijantu V^* (»opažena« idealna varijanta). To je vektor:

$$I_c^* = \{c_j^*; j=\overline{1, n}\}, \quad (5)$$

gde je:

$$C_j^* = \begin{cases} \max_i \{c_{i,j}\}, & \text{za } j \in J^+, i=\overline{1, m}, \\ \min_i \{c_{i,j}\}, & \text{za } j \in J^-, i=\overline{1, m}. \end{cases} \quad (6)$$

Idealna tačka u rešavanom primeru je:

$$I_c^* = \{0; 30; 40; 1228; 15; 0,3; 10; 0,01; 5; 6; 10; 10; 90\},$$

(vrednosti u tabeli 2 označene sa »*«)

Negativna idealna tačka I^- (»opaženi« negativni ideal — negativna idealna varijanta V^-) predstavlja onu tačku u n-dimenzionalnom prostoru kriterijumskih funkcija čije su koordinate najlošije (c_j^-), a prema matricama A i

C' i najmanje vrednosti kriterijumskih funkcija za svaki od kriterijuma K_j i posmatrani skup varijanti V_i , odnosno: $a_j^- = \min_i \{a_{i,j}\}$ i $c_j^- = \min_i \{c'_{i,j}\}$, za $j = \overline{1, n}$.

Prema matrici A, negativna idealna tačka je:

$$I_A^- = \left\{ \min_i \{a_{i,j}\}; i=\overline{1, m}; j=\overline{1, n} \right\} = \{a_j^-; j=\overline{1, n}\}, \quad (7)$$

Za rešavani primer »opaženi« negativni ideal je, prema matrici A, vektor čiji su svi elementi $a_j^- = 0$ (ukupno $n = 13$ elemenata), a prema matrici C predstavlja ujedno i »opaženu« negativnu varijantu V^- . To je vektor:

$$I_c^- = \{c_j^-; j=\overline{1, n}\}, \quad (8)$$

gde je:

$$c_c^- = \begin{cases} \min_i \{c_{i,j}\}, & \text{za } j \in J^+, i=\overline{1, m}, \\ \max_i \{c_{i,j}\}, & \text{za } j \in J^-, i=\overline{1, m}. \end{cases} \quad (9)$$

U primeru je to vektor:

$$I_c^- = \{1,28; 300; 1,4; 500; 5,1; 1,6; 3; 0,05; 1; 1; 1; 2; 40\},$$

(vrednosti u tabeli 2 označene sa »-«).

d) Primenom L_p metrike [3, 4, 5] za $p=1, 2, \infty$, dobija se šest rang-lista varijanti V_i , jer se funkcije L_p metrike određuju s obzirom na idealnu tačku I^* i negativnu idealnu tačku I^- .

Rastojanje tačaka (rešenja, varijanti) V_i od idealne tačke I^* (idealne varijante V^*) uz odabrani koeficijent L_p metrike — p , definiše se na sledeći način:

$$d_{p,i}^* = L_p(I^*, V_i) = \left[\sum_{j=1}^n w_j^p (a_j^* - a_{i,j})^p \right]^{\frac{1}{p}}, \quad \text{za } 1 \leq p \leq \infty. \quad (10)$$

Za specijalne vrednosti $p=1, 2, \infty$, izraz (10) prelazi u:

$$p=1 \rightarrow d_{1,i}^* = L_1(I^*, V_i) = \sum_{j=1}^n w_j(a_{1,i}^* - a_{1,j}),$$

$$\left[\begin{array}{c} \text{MANHATANOVA} \\ \text{DISTANCA} \end{array} \right], \quad (11)$$

$$p=2 \rightarrow d_{2,i}^* = L_2(I^*, V_i) = \left[\sum_{j=1}^n w_j^2(a_{2,i}^* - a_{2,j})^2 \right]^{\frac{1}{2}}, \left[\begin{array}{c} \text{EUKLIDOVA} \\ \text{DISTANCA} \end{array} \right], \quad (12)$$

$$p=\infty \rightarrow d_{\infty,i}^* = L_{\infty}(I^*, V_i) = \max_j \left[w_j(a_{\infty,i}^* - a_{\infty,j}) \right], \left[\begin{array}{c} \text{ČEBIŠEVljeVA} \\ \text{DISTANCA} \end{array} \right], \quad (13)$$

gde su:

$$w_j = \frac{W_j}{\sum_{j=1}^n W_j}, \text{ za } j=1, n, \quad (14)$$

normalizovane relativne važnosti kriterijuma, odnosno, to je vektor $w_j = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$.

Rang varijanti $R_{p,i}^*$ ($p=1,2,\infty$) određuje se prema rastućem nizu vrednosti $d_{p,i}^*$. To je uređeni skup $R_p^* = \{V_i\}$ dobijen primenom kriterijuma:

$$R_{p,i}^* = 1, \text{ za } i: d_{p,i}^* = \min\{d_{p,i}^*\}; \dots;$$

$$R_{p,i}^* = m, \text{ za } i: d_{p,i}^* = \max\{d_{p,i}^*\}. \quad (15)$$

Ako je ostvarena jednakost $d_{p,l}^* = d_{p,k}^*$ (varijante V_l i V_k) za $l \neq k$ i isti p , onda su i pripadni rangovi jednaki: $R_{p,l}^* = R_{p,k}^*$ (na primer: $R_{\infty,2}^* = R_{\infty,10}^* = R_{\infty,12}^* = 7$), kada se ne dobija potpuni poredak varijanti.

Rastojanje tačaka (rešenja, varijanti) V_i od negativne idealne tačke I^- (negativne idealne varijante V^-) za $p=1,2,\infty$, definišu se na sledeći način:

$$d_{p,i}^- = L_p(I^-, V_i) = \left[\sum_{j=1}^n w_j^p(a_{p,i}^- - a_{p,j}^-)^p \right]^{\frac{1}{p}},$$

za $1 \leq p \leq \infty$. (16)

Za specijalne vrednosti $p=1,2,\infty$, izraz (16) prelazi u:

$$p=1 \rightarrow d_{1,i}^- = L_1(I^-, V_i) = \sum_{j=1}^n w_j(a_{1,i}^- - a_{1,j}^-), \quad (17)$$

$$p=2 \rightarrow d_{2,i}^- = L_2(I^-, V_i) = \left[\sum_{j=1}^n w_j^2(a_{2,i}^- - a_{2,j}^-)^2 \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (18)$$

$$p=\infty \rightarrow d_{\infty,i}^- = L_{\infty}(I^-, V_i) = \min_j \left[w_j(a_{\infty,i}^- - a_{\infty,j}^-) \right], \quad (19)$$

Rang varijanti $R_{p,i}^-$ ($p=1,2,\infty$) određuje se prema padajućem nizu vrednosti $d_{p,i}^-$. To je uređeni skup $R_p^- = \{V_i\}$ dobijen primenom kriterijuma:

$$R_{p,i}^- = 1, \text{ za } i: d_{p,i}^- = \max\{d_{p,i}^-\}; \dots;$$

$$R_{p,i}^- = m, \text{ za } i: d_{p,i}^- = \min\{d_{p,i}^-\}. \quad (20)$$

Ako je $d_{p,l}^- = d_{p,k}^-$ (varijante V_l i V_k) za $l \neq k$ i isti p , onda je i $R_{p,l}^- = R_{p,k}^-$.

Rang-lista varijanti, ovde 13 PARSMV, može se formirati i primenom funkcije »sličnosti« varijanti V_i sa idealnom varijantom V^* :

$$D_{p,i} = \frac{d_{p,i}^-}{d_{p,i}^- + d_{p,i}^*} \quad (21)$$

Tako se dobijaju tri nove rang-liste varijanti, a rang varijanti $R_{p,i}$ ($p=1,2,\infty$) određuje se prema padajućem nizu vrednosti $D_{p,i}$. To je uređeni skup $R_p^D = \{V_i\}$, dobijen primenom kriterijuma:

$$R_{p,i}^D = 1, \text{ za } i: D_{p,i} = \max\{D_{p,i}\}; \dots;$$

$$R_{p,i}^D = m, \text{ za } i: D_{p,i} = \min\{D_{p,i}\}. \quad (22)$$

Ako je $D_{p,l} = D_{p,k}$, za $l \neq k$ i isti p , onda je i $R_{p,l}^D = R_{p,k}^D$.

Vrednosti $d_{p,i}^*$, $d_{p,i}^-$ i $D_{p,i}$, kao i pripadni rangovi varijanti $R_{p,i}^*$, $R_{p,i}^-$ i $R_{p,i}^D$ dati su u tabeli 3.

Primenom L_p metrike za $p=1,2,\infty$ dobijeno je devet rang-listi varijanti — PARSMV, pa prihvatanje jedne od njih, bez kritičke analize, vodi riziku da se usvoji neodgovarajući poredak varijanti.

Vrednosti funkcija L_p metrike za $p=1,2,\infty$

V	$d_p^+ = L_p(I^+ V_i)$					
	$d_{1,i}^+$	$R_{1,i}^+$	$d_{2,i}^+$	$R_{2,i}^+$	$d_{\infty,i}^+$	$R_{\infty,i}^+$
	1	2	3	4	5	6
V ₁	0.552	11	0.191	11	0.083	10
V ₂	0.420	3	0.154	5	0.082	7
V ₃	0.446	5	0.141	3	0.061	3
V ₄	0.211	1	0.094	1	0.058	1
V ₅	0.477	8	0.162	8	0.089	12
V ₆	0.523	9	0.177	10	0.088	11
V ₇	0.423	4	0.145	4	0.074	4
V ₈	0.534	10	0.173	9	0.079	5
V ₉	0.227	2	0.097	2	0.058	2
V ₁₀	0.447	6	0.160	6	0.082	7
V ₁₁	0.806	13	0.260	13	0.098	13
V ₁₂	0.633	12	0.196	12	0.082	7
V ₁₃	0.465	7	0.161	7	0.079	5

V	$d_p^- = L_p(I^- V_i)$					
	$d_{1,i}^-$	$R_{1,i}^-$	$d_{2,i}^-$	$R_{2,i}^-$	$d_{\infty,i}^-$	$R_{\infty,i}^-$
	7	8	9	10	11	12
V ₁	0.448	11	0.145	11	0.006	5
V ₂	0.580	3	0.192	3	0.000	6
V ₃	0.554	5	0.168	8	0.012	3
V ₄	0.789	1	0.245	1	0.024	1
V ₅	0.523	8	0.170	7	0.000	6
V ₆	0.477	9	0.155	9	0.000	6
V ₇	0.577	4	0.185	4	0.008	4
V ₈	0.465	10	0.150	10	0.000	6
V ₉	0.773	2	0.239	2	0.024	1
V ₁₀	0.553	6	0.181	5	0.000	6
V ₁₁	0.194	13	0.091	13	0.000	6
V ₁₂	0.367	12	0.128	12	0.000	6
V ₁₃	0.535	7	0.178	6	0.000	6

V	$D_p = D(V_i)$					
	$D_{1,i}$	$R_{1,i}^D$	$D_{2,i}$	$R_{2,i}^D$	$D_{\infty,i}$	$R_{\infty,i}^D$
	13	14	15	16	17	18
V ₁	0.448	11	0.431	11	0.062	5
V ₂	0.580	3	0.555	4	0.000	6
V ₃	0.554	5	0.545	5	0.169	3
V ₄	0.789	1	0.724	1	0.293	1
V ₅	0.523	8	0.513	8	0.000	6
V ₆	0.477	9	0.467	9	0.000	6
V ₇	0.577	4	0.560	3	0.100	4
V ₈	0.465	10	0.464	10	0.000	6
V ₉	0.773	2	0.712	2	0.288	2
V ₁₀	0.553	6	0.532	6	0.000	6
V ₁₁	0.194	13	0.259	13	0.000	6
V ₁₂	0.367	12	0.394	12	0.000	6
V ₁₃	0.535	7	0.525	7	0.000	6

Vrednosti parametra p imaju presudan uticaj na formiranje rang-liste varijanti (uz nepromenjen broj varijanti i kriterijuma, vrednosti kriterijumskih funkcija i relativnih važnosti kriterijuma), tako da se određena rang-lista može prihvatiti uz saznanje da se:

— za male vrednosti parametra p (posebno za $p=1$) formira takva rang-lista varijanti gde prednost dobijaju varijante kojima se postiže veća ukupna koristnost;

— za veće vrednosti parametra p (posebno za $p=\infty$) formira takva rang-lista varijanti gde prednost dobijaju one varijante koja imaju manja maksimalna odstupanja kriterijumskih vrednosti od kriterijumskih vrednosti idealne varijante i veća minimalna odstupanja kriterijumskih vrednosti od kriterijumskih vrednosti negativne idealne varijante, a ukupna koristnost, kao kriterijum, od manjeg je značaja.

Dogradnja metode TOPSIS

»Pomirenje« između različitih rang-listi varijanti predložio je K. Yoon [5]. Predloženi postupak je univerzalan i u većini slučajeva (naročito ako je broj varijanti manji) daje tri nove i identične rang-liste varijanti, a sastoji se u tome da se, kao karakteristike varijanti, uvode linearne kombinacije već dobijenih vrednosti funkcija L_p metrike.

Linearna kombinacija funkcija $d_{p,i}^*$ je:

$$d_i^* = d^*(V_i) = \sum_p \lambda_{p,\gamma} \cdot d_{p,i}^*, \text{ za } p=1,2,\infty; \\ i=1, m, \quad (23)$$

gde su, prema [5]:

$$\lambda_{p,\gamma} = \frac{E_\gamma(d_p)}{E_\gamma(d_1) + E_\gamma(d_2) + E_\gamma(d_\infty)}, \quad (24)$$

koeficijenti linearne kombinacije koji predstavljaju relativnu verodostojnost funkcija d_p za dimenziju funkcija » γ «.

Indeks » γ « označava broj kriterijuma, broj rang-listi i slično, a $E_\gamma(d_p)$ je funkcija verodostojnosti, za $p=1,2,\infty$.

Povećanjem dimenzije » γ « — broja kriterijuma n , rastu i vrednosti koeficijenta $\lambda_{1,\gamma}$, a opadaju vrednosti $\lambda_{2,\gamma}$ i $\lambda_{\infty,\gamma}$ ($\sum \lambda_{p,\gamma} = 1$). Time se pri formiranju rang-listi varijanti daje prednost ukupnoj korisnosti nad minimalnim i maksimalnim odstupanjima.

Koeficijenti $\lambda_{p,\gamma}$ dobijeni su na osnovu funkcija verodostojnosti $E(d_p)$ simulacijom po metodi Monte Carlo [5]. U izgradnji računarskog programa TOPSIS [8], prema vrednostima $\lambda_{p,\gamma}$ za $p=1,2,\infty$ i $\gamma=1,2,\dots,20, 49, 50$ iz [5], određena je pripadna aproksimativna funkcija i utvrđene vrednosti koeficijenata $\lambda_{p,\gamma}$ za $\gamma=21,22,\dots,48$, tako što su rešavani zadaci $\lambda_{2,\gamma} = f(\lambda_{1,\gamma}; \gamma)$ i $\lambda_{3,\gamma} = 1 - (\lambda_{1,\gamma} + \lambda_{2,\gamma})$. Vrednosti koeficijenata $\lambda_{p,\gamma}$ za $\gamma=1,50$ date su u tabeli 4.

DO može odrediti koeficijente $\lambda_{p,\gamma}$ i tako što neće uvažavati dimenzije re-

šavanog problema » γ «, ali uz prisustvo saznanja o uticaju pojedinih vrednosti parametara p na rang varijanti i karakteristikama tako dobijene rang-liste varijanti.

Za dimenziju $\gamma=13$ ($n=13$ — broj kriterijuma), prema tabeli 4, izabrani su koeficijenti linearne kombinacije: $\gamma_{1,13}=0,6845$; $\lambda_{2,13}=0,2175$ i $\lambda_{\infty,13}=0,0979$.

Rang varijanti R^*_i određuje se prema rastućem nizu vrednosti d^*_i . To je uređeni skup $R^*=\{V_i\}$, dobijen primenom kriterijuma:

$$R^*_i=1, \text{ za } i:d^*_i=\min_i\{d^*_i\}; \dots :R^*_i=m, \text{ za } i:d^*_i=\max_i\{d^*_i\}. \tag{25}$$

Na isti način određuju se i linearne kombinacije funkcija $d^-_{p,i}$ i $D_{p,i}$ i pripadne rang-liste varijanti kao uređeni skupovi R^- i R^D :

$$d^-_i=\sum_p \lambda_{p,\gamma} \cdot d^-_{p,i}, \text{ za } p=1, 2, \infty; i=\overline{1, m}, \tag{26}$$

Tabela 4

Vrednosti koeficijenata linearne kombinacije λ_p

DIM. γ	$\lambda_{1,\gamma}$	$\lambda_{2,\gamma}$	$\lambda_{\infty,\gamma}$	DIM. γ	$\lambda_{1,\gamma}$	$\lambda_{2,\gamma}$	$\lambda_{\infty,\gamma}$
1	0,3333	0,3333	0,3333	26	0,7852	0,1891	0,0651
2	0,4113	0,3147	0,2741	27	0,7701	0,1867	0,0632
3	0,4673	0,2992	0,2335	28	0,7751	0,1841	0,0603
4	0,5098	0,2861	0,2041	29	0,7799	0,1815	0,0586
5	0,5437	0,2747	0,1816	30	0,7848	0,1589	0,0563
6	0,5717	0,2647	0,1636	31	0,7883	0,1563	0,0554
7	0,5951	0,2559	0,1490	32	0,7919	0,1541	0,0540
8	0,6154	0,2479	0,1367	33	0,7953	0,1509	0,0538
9	0,6328	0,2407	0,1265	34	0,7997	0,1499	0,0504
10	0,6479	0,2342	0,1179	35	0,8025	0,1490	0,0483
11	0,6615	0,2281	0,1103	36	0,8050	0,1480	0,0470
12	0,6738	0,2225	0,1036	37	0,8098	0,1462	0,0440
13	0,6845	0,2175	0,0979	38	0,8117	0,1450	0,0433
14	0,6946	0,2128	0,0926	39	0,8149	0,1442	0,0409
15	0,7037	0,2083	0,0880	40	0,8164	0,1435	0,0401
16	0,7121	0,2042	0,0837	41	0,8191	0,1424	0,0385
17	0,7196	0,2004	0,0800	42	0,8215	0,1416	0,0369
18	0,7268	0,1967	0,0765	43	0,8232	0,1405	0,0363
19	0,7335	0,1932	0,0733	44	0,8243	0,1398	0,0359
20	0,7393	0,1900	0,0705	45	0,8254	0,1390	0,0356
21	0,7442	0,1859	0,0699	46	0,8269	0,1384	0,0347
22	0,7481	0,1819	0,0694	47	0,7280	0,1379	0,0341
23	0,7521	0,1790	0,0689	48	0,8291	0,1373	0,0336
24	0,7567	0,1749	0,0684	49	0,8302	0,1366	0,0332
25	0,7623	0,1718	0,0659	50	0,8318	0,1358	0,0326

$$R_i^- = 1, \text{ za } i: d_i^- = \max_i \{d_i^-\}; \dots; \\ R_i^- =, \text{ za } i: d_i^- = \min_i \{d_i^-\}, \quad (27)$$

odnosno:

$$D_i = \sum_p \lambda_{p,\gamma} \cdot D_{p,i}, \text{ za } p=1, 2, \infty; i=1, m, \quad (28)$$

$$R_i^D = 1, \text{ za } i: D_i = \max_i \{D_i\}; \dots; \\ R_i = m, \text{ za } i: D_i = \min_i \{D_i\}, \quad (29)$$

Rezultati i rang-liste date su u tabeli 5.

ziju $\gamma=3$ ili tako da izražavaju odnos donosioca odluke prema ukupnoj korisnosti, što je ranije pokazano. U primeru su usvojene vrednosti $\lambda_* = 0,333$; $\lambda = 0,333$ i $\lambda_\infty = 0,334$, kako se ne bi preferirala nijedna od karakteristika d_i^+ , d_i^- i D_i .

Rang-lista varijanti se formira tako da je to uređeni skup $R^T = \{V_i\}$, prema kriterijumu:

$$R_i^T = 1, \text{ za } i: t_i = \min_i \{t_i\}; \dots; \\ R_i^T = m, \text{ za } i: t_i = \max_i \{t_i\}, \quad (32)$$

Tabela 5

Konačna rang-lista varijanti po proširenoj metodi TOPSIS

V_i	d_i^+	R_i^+	d_i^-	R_i^-	D_i	R_i^D	t_i	R_i^T	R_{L7}^T
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
V_1	0,427	11	0,339	11	0,407	11	-0,107	11	-
V_2	0,329	4	0,439	3	0,518	4	-0,209	4	3
V_3	0,342	5	0,417	6	0,514	5	-0,197	5	6
V_4	0,171	1	0,596	1	0,726	1	-0,384	1	1
V_5	0,370	8	0,395	8	0,470	8	-0,165	8	-
V_6	0,405	9	0,360	9	0,428	9	-0,128	9	-
V_7	0,332	3	0,436	4	0,526	3	-0,211	3	5
V_8	0,411	10	0,351	10	0,420	10	-0,120	10	-
V_9	0,182	2	0,586	2	0,712	2	-0,371	2	2
V_{10}	0,349	6	0,418	5	0,494	6	-0,188	6	4
V_{11}	0,618	13	0,153	13	0,199	13	0,092	13	-
V_{12}	0,484	12	0,279	12	0,337	12	-0,044	12	-
V_{13}	0,361	7	0,405	7	0,480	7	-0,175	7	7

Ako su rangovi varijanti identični ($R_i^+ = R_i^- = R_i$) za svaku varijantu V_i , takva se rang-lista prihvata kao konačna.

Pošto u primeru koji se rešava rang-liste varijanti nisu »pomirene«, odnosno, nisu identične (jer je, na primer: $R_2^+ = 4$; $R_2^- = 3$ i $R_2 = 4$), radi dobijanja jedinstvene rang-liste varijanti može se uvesti jedinstvena funkcija »pomirenja« rang-listi varijanti t_i i transformisana jedinstvena funkcija T_i :

$$t_i = \lambda_* \cdot d_i^+ - \lambda \cdot d_i^- - \lambda_\infty \cdot D_i, \quad (30)$$

$$T_i = t_i - \min_i \{t_i\}. \quad (31)$$

Vrednosti koeficijenata λ_* , λ i λ_∞ mogu se birati iz tabele 4 i to za dimen-

Rezultati i jedinstvena rang-lista varijanti dati su u tabeli 5.

Primenom izraza:

$$T_i^n = \frac{\max_i \{T_i\} - T_i}{\max_i \{T_i\}}, i=1, n+2, \quad (33)$$

dobijaju se normalizovane vrednosti transformisane jedinstvene funkcije T_i . Za idealnu varijantu V^+ ta vrednost je jednaka jedinici ($T^+ = 1$), a za negativnu idealnu varijantu V^- jednaka je nuli ($T^- = 0$). Vrednost T_i^n za ostale — realne varijable nalaze se u intervalu (0, 1).

Time se stvara pogodnost grafičkog prikazivanja kvaliteta varijanti (slika

1), gde se mogu uočiti odstupanja tog kvaliteta za svaku varijantu V_i od kvaliteta idealne varijante V^* prema svim kriterijumima zajedno.

Sl. 1 — Grafički prikaz ranga i kvaliteta varijanti

Nedostaci metode TOPSIS i postupci njihovog otklanjanja

Ako se proračun svih karakteristika potrebnih za određivanje ranga varijanti provodi bez pomoći računara i odgovarajućeg softvera, metoda TOPSIS je u računskom smislu dosta komplikovana i proračuni traju dugo, naročito ako se radi o većem broju varijanti i kriterijuma. Izgradnjom odgovarajućeg softvera na PC ili većem računaru, ovaj se nedostatak može jednostavno otkloniti. Program urađen za PC računar u jeziku PASCAL-4 zauzima samo oko 26 Kb memorije, uz dve prateće datoteke za početne podatke i rezultate proračuna [8].

Međutim, suštinski nedostatak metode ispoljava se, kao i kod drugih sličnih metoda, pri promeni broja varijanti ili broja kriterijuma, kada se menja međusobni poredak varijanti.

Ako se u primeru razmatra samo prvih sedam varijanti prema dobijenoj jedinstvenoj rang-listi, datoj u tabeli 5, odnosno ako se eliminišu varijante V_{11} , za $i: R_i^T = 8, 9, \dots, 13$ ($V_5, V_6, V_8, V_1, V_{12}$

i V_{11}), a zadrže vrednost koeficijenata linearnih kombinacija i provede već opisani TOPSIS postupak, dobija se rang-lista koja nije identična sa ranije dobijenom rang-listom. Rang varijanti prikazan je u tabeli 5 (R_{17}^T).

Autori metode ELECTRE [2, 9] predložili su iterativni postupak rangiranja varijanti, tako da se u svakoj sledećoj iteraciji odbacuje prva (ili poslednja) varijanta sa rang-liste. Primenom ovakvog postupka može se, donekle, smanjiti uticaj boljih (ili lošijih) varijanti na rang ostalih varijanti. Međutim, na taj način se ne može potpuno rešiti problem nestabilnosti rang-liste, jer se pri smanjenju broja varijanti ponovo dobija drugačija rang-lista.

Nestabilnost rang-liste varijanti posledica je promene vrednosti referentnih varijabli u matematičkom modelu, jer su za rang varijanti merodavne njene »udaljenosti« od »opaženih« ideala ili negativnih ideala. Dobijene karakteristike, koje se uslovno mogu smatrati kao kvalitet pojedine varijante prema svim kriterijumima zajedno, jesu n-dimenzionalni vektori sa komponentama određenim prema kriterijumskim vrednostima varijanti, primenom izraza (5), (6), (7), (8), (9) i (10). Smanjenjem (ili povećanjem) broja varijanti (ako se nove varijante mogu smatrati efikasnim rešenjima), menjaju se i komponente vektora I^+ i I^- , a time i vrednosti karakteristika L_p metrike, što ima za posledicu i promenjeni rang varijanti.

Postupak kojim se može postići stabilnost rang-liste jeste primena stalnog ideala i negativnog ideala, što u samoj tehnici provođenja metode TOPSIS zahteva definisanje dve nove varijante:

— idealna varijanta V^* pripadne kriterijumske funkcije su barem tako dobre kao najbolje vrednosti kriterijumskih funkcija realnih varijanti): ako su vrednosti kriterijumskih funkcija idealne, varijante biraju tako da one nadmašuju najbolje »opažene« vrednosti kriterijumskih funkcija, DO mora da ima realnu podlogu za njihovo od-

ređivanje, zasnovanu na sveobuhvatnom poznavanju razmatrane pojave ili sistema. Određivanjem komponenata idealne varijante tako da njihove vrednosti znatno nadmašuju najbolje realne

poredak kao i u slučaju rangiranja svih varijanti. To je posledica stalnih i nepromenjenih vrednosti funkcija L_p metrike koje i određuju rang varijanti. Rezultati rangiranja dati su u tabeli 6.

Tabela 6

Rang sedam najboljih varijanti po proširenoj metodi TOPSIS

V_i	d_i^*	R_i^*	d_i^-	R_i^-	D_i	R_i^D	t_i	R_i^T	R_{i7}^T
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
V_2	0,329	4	0,439	3	0,518	4	-0,209	4	4
V_3	0,342	5	0,417	6	0,514	5	-0,197	5	5
V_4	0,171	1	0,596	1	0,726	1	-0,384	1	1
V_7	0,832	3	0,436	4	0,526	3	-0,211	3	3
V_9	0,182	2	0,586	2	0,712	2	-0,371	2	2
V_{10}	0,349	6	0,418	5	0,494	6	-0,188	6	6
V_{13}	0,361	7	0,405	7	0,480	7	-0,175	7	7
V^*	0,000	*	0,751	*	1,000	*	-0,044	*	*
V^-	0,757	-	0,000	-	0,000	-	-0,175	-	-

vrednosti, vodi riziku da razlike koje se stvaraju između realnih i idealnih vrednosti gube na značaju pri međusobnom upoređenju realnih varijabli. Takođe, pri uvođenju novih varijanti, idealna tačka (varijanta) mora da ima vrednosti komponenata barem tako dobre kao i vrednosti komponenata novouvedenih varijanti, kako bi se zadržala stalnost ideala; i

— negativna idealna varijanta V^- (pripadne vrednosti kriterijumskih funkcija su, ujedno, i najlošije vrednosti kriterijumskih funkcija realnih varijanti ili su lošije od njih): pri određivanju njenih komponenata mora se voditi računa o zapažanjima datim za idealnu varijantu.

Ako se za komponente idealne i negativne idealne varijante usvoje najbolje, odnosno najlošije vrednosti kriterijumskih funkcija realnih varijanti (vrednost označene sa »*« i »-« u tabeli 2), dobijaju se rezultati rangiranja 13 realnih varijabli (PARSMV) identični kao u već provedenom postupku, jer se varijante V^* i V^- , u konačnoj rang-listi, odbacuju kao nerealne. Rangiranjem prvih sedam varijanti sa dobijene rang-liste i uključivanjem u novi postupak i varijante V^* i V^- , dobija se identičan

Time je pokazana mogućnost dobijanja stabilne rang-liste i kod izmenjenog broja varijanti i eliminisan negativan uticaj promena vrednosti komponenti vektora I^* i I^- .

Promena broja kriterijuma takođe može izazvati promenu ranga varijanti, jer se time menjaju:

- vrednosti funkcija L_p metrike ($d_{p,i}^*$, $d_{p,i}^-$ i $D_{p,i}$);
- vrednosti koeficijenata λ_p (dati u tabeli 4);
- vrednosti normalizovanih relativnih važnosti kriterijuma w_j .

Posledica toga su promene vrednosti linearnih kombinacija funkcija L_p metrike (d_i^* , d_i^- i D_i) i pripadnih rangova varijanti, tako da dobijene rang-liste istih varijanti sa različitim brojem kriterijuma nisu identične. Zato je u fazi definisanja kriterijuma potrebno dobro poznavanje pojava ili sistema koji se rangiraju, a to zahteva timski rad i angažovanje eksperata. Zavisno od prirode varijanti i ciljeva njihovog rangiranja, broj kriterijuma može biti različit (preporuka: od 5 do 16 osnovnih kriterijuma).

Zbog velike osetljivosti rang-liste na promenu broja kriterijuma i vrednosti kriterijumskih funkcija, kao njihovog sadržaja, u praksi može nastati problem kvantifikacije pojedinih kriterijuma, odnosno određivanja vrednosti kriterijumskih funkcija. To se naročito javlja u slučajevima kada su:

a) pojedine karakteristike varijanti kvalitativne prirode (a metode zahtevaju brojčane vrednosti);

b) kriterijumi takvi da se kriterijumske vrednosti dobijaju na osnovu više karakteristika i parametara koji mogu da budu kvantitativne ili kvalitativne prirode.

Problem a) rešava se ekspertskim ocenjivanjem karakteristika (raspon ocena 1—5, 1—10, 1—100, ili neki drugi izabrani raspon). Ove ocene uključuju se u matematički model kao vrednosti kriterijumskih funkcija analiziranog kriterijuma i taj je kriterijum njima određen za sve varijante.

Problem b) nešto je složeniji i podrazumeva makar dva nivoa značajnosti karakteristika varijanti (osnovni — nulti kriterijum, potkriterijumi prvog nivoa, drugog nivoa, itd.). Objedinjavanje potkriterijumskih funkcija i dobijanje kriterijumskih funkcija kriterijuma na nultom nivou može se provesti na više načina, tako da je to moguće uraditi i prezentiranjem TOPSIS metodom. U tom slučaju za vrednosti kriterijumskih funkcija kriterijuma na nultom nivou mogu se koristiti vrednosti funkcija t_i , T_i ili T^n_i sa odgovarajućim relativnim važnostima i logičkim operatorima (u primeru je to moguće primeniti za određivanje kriterijumskih vrednosti kriterijuma K_1 — dimenzije rakete, objedinjavanjem podataka za raspon krila, prečnik i dužinu rakete).

Iako se promenom broja kriterijuma, kao i promenom njihovih relativnih važnosti, direktno utiče na rang varijanti, DO može zahtevati više rang-listi sa izmenjenim brojem kriterijuma i različitim relativnim važnostima kriteri-

juma, kako bi odredio uticaj pojedinih kriterijuma (ili grupa kriterijuma) na rang varijanti. Ovakav postupak pogodan je za primenu u promenljivim uslovima delovanja okoline, kada se menjaju ciljevi zbog kojih se određuje rang varijanti, a time i značajnosti pojedinih ili svih kriterijuma.

Zaključak

Primenom proširenog TOPSIS postupka za rangiranje varijanti pomaže se DO da brže i efikasnije odlučuje. Uz adekvatnu softversku podršku i raspoložive potrebne podatke o varijantama, postupak dobijanja rang-liste je dosta brz i za veći broj varijanti i kriterijuma. Metoda omogućuje brzo dobijanje novih rang-listi u promenljivim uslovima delovanja okoline, kada se menjaju broj varijanti i kriterijuma i njihove karakteristike (vrednosti kriterijumskih funkcija, značajnost kriterijuma, uvođenje novih parametara kao potkriterijumskih vrednosti, i slično).

Rang-lista varijanti, dobijena primenom proširenog TOPSIS postupka, može se prihvatiti onda kada su:

— pravilno definisani značajni kriterijumi i određene njihove važnosti za uslove u kojima se zahteva poznavanje ranga varijanti (po potrebi se definišu i potkriterijumi);

— korektno određene kriterijumske vrednosti varijanti kao kvantitativni pokazatelji (snimanjem, merenjima, i slično) i ekspertski ocenjene i kvantifikovane kvalitativne karakteristike varijanti za kriterijume kod kojih ne postoje kvantitativni pokazatelji;

— realno definisane idealna i negativna idealna varijanta i to na osnovu svih saznanja tima i DO o razmatranim varijantama, posebno u promenljivim uslovima delovanja okoline;

— pravilno odabrani koeficijenti linearnih kombinacija, čime je pokazan odnos DO prema ukupnoj korisnosti pojedine prihvaćene varijante za organizacioni sistem.

Znači, izmena uslova u kojima se priprema odluka može dovesti do promene rangova pojedinih varijanti i formiranja novih rang-listi varijanti.

Kako cilj rada nije bio, prvenstveno, u tome da se dobije konačna rang-lista PARSMV, već da se ukaže na potrebu korišćenja savremenih metoda u rešavanju ovakvih i sličnih problema, pokazana je samo jedna od metoda kojom se takvi problemi mogu uspešno

rešavati. Pogreške koje mogu da nastanu primenom ove ili sličnih metoda uspešno se mogu otkloniti na način kako je to pokazano kroz primer.

Primenom ove ili neke druge metode za rangiranje varijanti pomaže se DO da brže i uspešnije odlučuju i smanjuje se rizik da se donesu loše odluke koje za duže vreme ispoljavaju svoj negativni uticaj na uspešno delovanje organizacionog sistema.

Literatura:

- [1] Brans, J. P., Vincke, P.H.: A preference Ranking Organization Method, Management Science, Vol. 31, 1985, 647—656.
- [2] Roy, B.: Classement et choix en presence de points de vue multiple, R.A.I.R.O., Vol. 2, 1968, 8, 57—75.
- [3] Opricović, S.: Višekrijumska optimizacija, Naučna knjiga, Beograd, 1986.
- [4] Hwang, C. L., Yoon, K.: Multiple Attribute Decision Making, Springer — Verlag, New York, 1981.
- [5] Yoon, K.: A Reconciliation Among Discrete Compromise Solutions, Operational Research Society Ltd, Vol. 38, 1987, 3, 277—286.
- [6] Borović, S., Đukić, R.: Priprema odluke o nabavci tehničkih sredstava primenom familije metoda »PROMETHEE«, Vojnotehnički glasnik, 1988, 4, 394—409.
- [7] Very low — altitude surface-to-air guided systems, International Defense Review, Vol. 22, 1989, 6, 788—794.
- [8] Đukić, R., Bajdak, R.: Računarski program TOPSIS, CVTŠ, Zagreb, 1990.
- [9] Roy, B., Hugonard, J. C.: Ranking of Suburban Line Extension Projects on the Paris Metro System by a Multicriteria Method, Transportation Research-A, Vol. 16(A), 1982, 4, 301—312.