

**PRIMENA METODE VIKOR ZA
IZBOR STRATEGIJE ODRŽAVANJA****THE APPLICATION OF VIKOR
METHOD FOR SELECTION OF
MAINTENANCE STRATEGIES****Prof. dr Milan Nikolić, e-mail: mikaczs@sbb.rs****Mr Ljiljana Radovanović, e-mail: ljiljap@tfzr.uns.ac.rs****Dr Eleonora Desnica, e-mail: desnica@tfzr.uns.ac.rs****Mr Jasmina Pekez, e-mail: jpekez@yahoo.com****Tehnički fakultet "Mihajlo Pupin", Đure Đaković bb, Zrenjanin****REZIME**

U radu je razmatran problem izbora strategije održavanja tehničkih sistema. Ovaj problem je veoma značajan u mnogim granama industrije. U cilju objektivnijeg sagledavanja i rešavanja ovog problema, u radu je predloženo da se izbor strategije održavanja vrši primenom metoda višekriterijumske analize, tačnije primenom metode VIKOR (višekriterijumsko kompromisno rangiranje). Na osnovu urađenog primera izbora strategije održavanja, primenom metode VIKOR, zaključak je da se višekriterijumska analiza može uspešno primeniti u rešavanju problema izbora strategije održavanja. U zavisnosti od konkretnih uslova, moguće je menjati kriterijume i njihov značaj. Takođe, moguće je primenjivati i druge metode višekriterijumske analize u problemu izbora strategije održavanja.

Ključne reči: strategija održavanja, izbor, višekriterijumska analiza, metoda VIKOR.

ABSTRACT

In this paper the choice of maintenance strategy of technical systems was considered. This problem is very important in many industries. In order to objectively analyzing and solving of this problem, in the paper was proposed that the choice of strategy maintenance performed using methods of multicriteria analysis, specifically using the method VIKOR (multicriteria compromise ranking). On the basis of the completed example of selection of maintenance strategy, using the method VIKOR, the conclusion is that multicriteria analysis can be successfully applied in solving problems, the selection strategy of maintenance. Depending on specific conditions, it is possible to change the criteria and their importance. Also, it is possible to apply other methods of multicriteria analysis in the problem of a maintenance strategy.

Key words: maintenance strategies, selection, multicriteria analysis, methods VIKOR

1. UVOD

Odluke o održavanju se donose posle detaljnog izučavanja svih osobina sistema koji se održava, tj. na bazi poznavanja svih njegovih karakteristika i osobina, a posebno karakteristika pouzdanosti, ili se odlučuje na bazi stalnog i širokog uvida u trenutno stanje sistema koji se održava, posebno sa stanovišta uspešnosti izvršavanja njegovih zadataka, tj. efekata koji se ostvaruju njegovim radom i korišćenjem.

Pošto je održavanje neposredno uslovljeno pojavom otkaza, koji mogu biti veoma različitog intenziteta i karaktera, upravljanje složenim postupcima održavanja mora biti zasnovano na izučavanju i analizi pojave otkaza, tj. na zakonima teorije pouzda-

nosti. Pri tome se moraju uzeti u obzir i drugi važni činioci, a pre svega troškovi održavanja, koji zahvataju dobar deo ukupnih troškova životnog ciklusa. U tom smislu postupcima održavanja treba da se omogućiti rad sistema bez otkaza tj. sa što manjom verovatnoćom otkaza. Uz to treba da se obezbedi da su posledice ili štete izazvane otkazima što manje [1].

Svrishodnost održavanja se može do kraja sagledati samo kroz efektivnost osnovnog procesa proizvodnje. Troškovi održavanja i troškovi zbog zastoja u proizvodnji treba da budu što manji, kvalitet proizvoda što viši a produktivnost proizvodnje što veća. Odnosno, zbir svih troškova po jedinici kapaciteta (proizvoda) nastalih zbog projektovanja, izrade, eksploatacije i održavanja tehničkog sistema,

nezavisno od vremena i mesta gde su nastali, preko planiranog životnog ciklusa (veka trajanja), moraju težiti minimumu.

Ovaj zadatak se praktično rešava određenim strategijama održavanja, na različitim konceptijskim opredeljenjima (npr. preventivno i korektivno održavanje), zasnovanim na različitim kriterijumima odlučivanja ili optimizacije. Izabranom strategijom održavanja treba da se obezbedi da se na bazi osmišljenog uvida u stvarno stanje sistema koji se održava omogućí donošenje “najboljih” odluka o tome kada, gde i koje postupke održavanja treba sprovesti u našoj industriji, vodeći računa o zahtevanoj pouzdanosti i raspoloživosti sistema i odgovarajućim troškovima [2].

U primeru nisu razmatrani neke savremene strategije održavanja, kao što su Prediktivno održavanje, Proaktivno održavanje, Održavanje prema stanju, Totalno produktivno održavanje, Održavanje prema rezultatima rada, Održavanje prema radu i neke druge strategije. Više o ovoj problematici može se naći u referenci [3].

Metoda VIKOR primenjena je za izbor strategije održavanja tehničkih komponenti tehnološkog sistema za pripremu gotovih smeša od brašna žitarica. Izbor odgovarajuće strategije održavanja tehničkih komponenti ovog tehnološkog sistema ima za cilj povećanje efikasnosti tehnološkog sistema za pripremu gotovih smeša od brašna žitarica, kao i optimizaciju troškova.

2. VIŠEKRITERIJUMSKO ODLUČIVANJE

Danas postoji sve manje poslovnih problema odlučivanja gde se izbor vrši samo na osnovu jednog kriterijuma. Složenost i višeslojnost poslovnog odlučivanja često zahteva višekriterijumski model, odnosno višekriterijumsku bazu kao polazni uslov za objektivnu selekciju i izbor alternativnih rešenja [4]. Jasno je da područje u kome se donose strategijske i ostale odluke u preduzeću, uglavnom zahteva primenu metoda višekriterijumskog odlučivanja.

Višekriterijumsko odlučivanje (VKO) se odnosi na situacije odlučivanja kada postoji veći broj, najčešće konfliktnih kriterijuma [5]. Rangiranje alternativa prema većem broju kriterijuma istovremeno, doprinosi realnosti rešavanja takvih situacija. Klasične optimizacione metode koriste samo jedan kriterijum pri odlučivanju čime se, u velikom broju slučajeva, značajno umanjuje realnost analiziranog problema. Međutim, višekriterijumski pristup ima i svoju lošu stranu, a to je potreba za korišćenjem znatno složenijih matematičkih modela za rešavanje

višekriterijumskih problema. Pri tome, i pored velikog broja različitih modela, još uvek ne postoji potpuno objektivna i pouzdana metoda višekriterijumskog odlučivanja.

Područje primene VKO je veoma široko, ali se mogu izvesti neke zajedničke karakteristike svih kategorija problema koji se na ovaj način rešavaju [6]:

- Veći broj kriterijuma, odnosno atributa, koje mora kreirati donosilac odluke.
- Konflikt među kriterijumima, kao daleko najčešći slučaj kod realnih problema.
- Nesamerljive (neuporedive) jedinice mere, jer, po pravilu, svaki kriterijum, odnosno atribut ima različite jedinice mere.
- Projektovanje ili izbor. Rešenja ove vrste problema VKO su ili projektovanje najbolje akcije (alternative) ili izbor najbolje akcije iz skupa prethodno definisanih konačnih akcija.

Prema poslednjoj karakteristici, problemi VKO se mogu klasifikovati u dve grupe [5]:

1. Višeatributivno odlučivanje (VAO) ili kako se u poslednje vreme sve više naziva, višekriterijumska analiza (VKA). Ova grupa metoda VKO rešava probleme izborom najbolje akcije iz skupa prethodno definisanih.
2. Višeciljno odlučivanje (VCO). Ova grupa metoda VKO rešava probleme projektovanjem najbolje akcije.

Postoji nekoliko metoda višekriterijumske analize (VKA) za koje se u svetu smatra da spadaju najbolje metode, tzv. metode “višeg ranga” (*outranking methods*). Ove metode imaju široku primenljivost i veliki praktični značaj. Najpoznatije metode višekriterijumske analize su:

- Metoda ELECTRE (**EL**imination and **Et** Choice **T**ranslating **RE**ality) prvi put je objavljena u [7]. Metoda ELECTRE ima četiri verzije (ELECTRE I–IV). U praktičnim uslovima najčešće se sreće metoda ELECTRE I za određivanje delimičnih poredaka alternativa, kao i metoda ELECTRE II za potpuno uređenje skupa alternativa.
- Metoda PROMETHEE (**P**reference **R**anking **O**rganization **METH**od for **E**nrichment **E**valuation) razvijena je 1984. godine od strane profesora J. P. Brans-a, B. Mareschal-a i P. Vincke-a. Oni su postavili četiri varijante ove metode [8].
- Metoda analitičko hijerarhijskih procesa (**AHP** metoda) jedna je od najpopularnijih i najšire

primenjivanih metoda VKA. Ona je razvijena početkom sedamdesetih godina prošlog veka od strane Tomasa Satija [9]. Prema [10], Satijevi radovi su citirani u preko 1000 referenci, postoje naučni časopisi i simpozijumi koji za osnovnu temu imaju metodu AHP, njenu primenu, modifikacije i sl.

- Metoda TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) razvili su Yoon i Hwang [6]. Metoda TOPSIS je nastala na bazi metode ELECTRE i može se prihvatiti kao jedna od njenih najšire korišćenih varijanti.
- Metoda VIKOR (metoda za Višekriterijumsko KOMPromisno Rangiranje) razvijena je na osnovu elemenata iz kompromisnog programiranja. Metoda polazi od "graničnih" formi L_p – metrike [11]. Traži se rešenje koje je najbliže idealnom. Posebno je pogodna za situacije gde preovlađuju kriterijumi kvantitativne prirode.

3. METODA VIŠEKRITERIJUMSKOG KOMPROMISNOG RANGIRANJA (VIKOR)

Metoda VIKOR (metoda za Višekriterijumsko KOMPromisno Rangiranje) predstavlja veoma često korišćenu metodu za višekriterijumsko rangiranje, pogodnu za rešavanje različitih problema odlučivanja. Posebno je pogodna za situacije gde preovlađuju kriterijumi kvantitativne prirode.

Metoda VIKOR razvijena je na osnovu elemenata iz kompromisnog programiranja. Metoda polazi od "graničnih" formi L_p – metrike [11]. Traži se rešenje koje je najbliže idealnom. Kao mera rastojanja od idealne tačke koristi se metrika:

$$L_p(F^*, F) = \left\{ \sum_{j=1}^n [f_j^* - f_j(x)]^p \right\}^{\frac{1}{p}}, \quad 1 \leq p \leq \infty \quad (1)$$

Ova metrika predstavlja rastojanje između idealne tačke F^* i tačke $F(x)$ u prostoru kriterijumskih funkcija [11]. Minimizacijom ove metrike određuje se kompromisno rešenje. Prema [12] p ima ulogu balansirajućeg faktora između ukupne koristi i maksimuma individualnog odstupanja. Manje vrednosti za p naglašavaju grupnu korist, dok veće vrednosti za p povećavaju težinu datu individualnim odstupanjima.

U metodi VIKOR koriste se sledeće oznake:

- m – broj akcija,
- i – redni broj akcije, $i = 1, 2, \dots, m$,
- n – broj kriterijuma,

j – redni broj kriterijuma, $j = 1, 2, \dots, n$,
 f_{ij} – vrednost koju i -ta akcija ostvaruje za j -tu kriterijumsku funkciju,

w_j – težina j -te kriterijumske funkcije,

v – težina strategija zadovoljenja većine kriterijuma,

Q_i – mera za višekriterijumsko rangiranje i -te akcije.

Sušтина metode VIKOR je da se za svaku akciju nalazi vrednost Q_i , a zatim se bira akcija kod koje je ova vrednost najmanja (najmanje rastojanje od "idealne" tačke). Mera za višekriterijumsko rangiranje i -te akcije (Q_i) računa se prema izrazu:

$$Q_i = v \cdot QS_i + (1 - v) \cdot QR_i \quad (2)$$

gde je:

$$QS_i = \frac{S_i - S^*}{S^- - S^*}$$

$$QR_i = \frac{R_i - R^*}{R^- - R^*}$$

Izračunavanjem veličina QS_i , QR_i i Q_i za svaku akciju, mogu se formirati tri nezavisne rang liste. Veličina QS_i predstavlja meru odstupanja kojom se izražava zahtev za maksimalnom grupnom koristi (prva rang lista). Veličina QR_i predstavlja meru odstupanja kojom se izražava zahtev za minimizacijom maksimalnog rastojanja neke akcije od "idealne" akcije (druga rang lista). Veličina Q_i predstavlja uspostavljanje kompromisne rang liste koja objedinjuje veličine QS_i i QR_i (treća rang lista). Izborom manje ili veće vrednosti za v (težina strategija zadovoljenja većine kriterijuma), donosilac odluke može da favorizuje uticaj veličine QS_i ili veličine QR_i u kompromisnoj rang listi. Na primer, veće vrednosti za v ($v > 0,5$) ukazuju da donosilac odluke veći relativni značaj daje strategiji zadovoljenja većine kriterijuma.

U prethodnim izrazima, korišćene oznake imaju sledeće značenje:

$$S_i = \sum_{j=1}^n w_j \cdot \frac{f_j^* - f_{ij}}{f_j^* - f_j^-} = \sum_{j=1}^n w_j \cdot d_{ij}, \quad (3)$$

$i = 1, 2, \dots, m$

$$R_i = \max_j w_j \cdot \frac{f_j^* - f_{ij}}{f_j^* - f_j^-} = \max_j w_j \cdot d_{ij}, \quad (4)$$

$i = 1, 2, \dots, m$

$$S^* = \min_i S_i;$$

$$S^- = \max_i S_i;$$

$$R^* = \min_i R_i;$$

$$R^- = \max_i R_i$$

$$f_j^* = \max_i f_{ij}, \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$f_j^- = \min_i f_{ij}, \quad j = 1, 2, \dots, n.$$

Akcija a_i je bolja od akcije a_k , prema j-tom kriterijumu, ako je:

- $f_{ij} > f_{kj}$ (za $\max f_j$, odnosno kada kriterijum ima zahtev za maksimumom),
- $f_{ij} < f_{kj}$ (za $\min f_j$, odnosno kada kriterijum ima zahtev za minimumom)

Kod višekriterijumskog rangiranja metodom VIKOR, akcija a_i je bolja od akcije a_k (ukupno, prema svim kriterijumima), ako je: $Q_i < Q_k$.

Kao merodavna rang lista po metodi VIKOR uzima se kompromisna rang lista za vrednost $v = 0,5$. Ako je neka akcija na prvoj poziciji na ovakvoj kompromisnoj rang listi, to još uvek ne znači da se ta akcija smatra najboljom. Da bi se neka akcija mogla usvojiti kao najbolja, prema metodi VIKOR, ona mora da bude prva na kompromisnoj rang listi i da ispunjava dva uslova: uslov U1 i uslov U2.

Uslov U1

Prva akcija na kompromisnoj rang listi za vrednost $v = 0,5$, mora da ima "dovoljnu prednost" nad akcijom sa sledeće pozicije. "Prednost" se računa kao razlika mera Q_i za vrednost $v = 0,5$. Akcija a' ima "dovoljnu prednost" nad sledećom a'' sa rang liste, ako je ispunjeno:

$$Q(a') - Q(a'') \geq DQ, \quad (5)$$

$$DQ = \min(0,25; \frac{1}{m-1}) \quad (6)$$

gde je:

DQ – prag "dovoljne prednosti",

m – broj akcija,

0,25 – veličina praga "dovoljne prednosti" kojom se ograničava prag za slučajeve sa malim brojem akcija.

Uslov U2

Prva akcija na kompromisnoj rang listi za vrednost $v = 0,5$, mora da ima "dovoljno stabilnu" prvu poziciju sa promenom težine v . Prva akcija na kompromisnoj rang listi ima "dovoljno stabilnu" poziciju, ako ispunjava bar jedan od sledećih uslova:

- ima prvu poziciju na rang listi prema QS,

- ima prvu poziciju na rang listi prema QR,
- ima prvu poziciju na rang listi prema Q za $v = 0,25$ i $v = 0,75$.

Ukoliko prva akcija sa kompromisne rang liste ne ispunjava jedan ili oba uslova (U1 i U2), smatra se da ona nije "dovoljno" bolja od akcije sa druge pozicije i eventualno još nekih akcija. U takvim slučajevima formira se skup kompromisnih rešenja koji čine prva, druga i eventualno još neke akcije (treća, četvrta....). Ako prva akcija ne ispunjava samo uslov U2, tada u skup kompromisnih rešenja ulaze samo prva i druga akcija. Međutim, ako prva akcija ne ispunjava uslov U1 (ili oba uslova, i U1 i U2), tada skup kompromisnih rešenja sadrži akcije sa kompromisne rang liste do akcije koja ispunjava uslov U1, odnosno do one nad kojom prva akcija ima "dovoljnu prednost" izraženu preko DQ.

Rezultati metode VIKOR su:

- Rang liste prema merama QS_i , QR_i i Q_i ,
- Skup kompromisnih rešenja (u slučaju da nisu ispunjeni uslovi U1 i/ili U2).

Ovi rezultati predstavljaju osnovu za odlučivanje i usvajanje konačnog rešenja (višekriterijumski optimalnog rešenja).

Napomena:

U slučaju da je $R_i = R^-$ za više indeksa i (ako više akcija ima jednaku i maksimalnu vrednost R_i), tada se za takve akcije preračuna mera R_i , odnosno, uvodi se modifikovana mera R_i , preko obrasca: $R_i(\text{mod}) = R_i + [(S_i - R^-) / 100]$. Ova modifikacija se ipak može izostaviti, osim u slučaju kada su sve vrednosti R_i međusobno jednake.

4. IZBOR STRATEGIJE ODRŽAVANJA PRIMENOM METODE VIKOR

Metoda VIKOR primenjena je za izbor strategije održavanja tehničkih komponenti tehnološkog sistema za pripremu gotovih smeša od brašna žitarica. Izbor odgovarajuće strategije održavanja tehničkih komponenti ovog tehnološkog sistema ima za cilj povećanje efikasnosti tehnološkog sistema za pripremu gotovih smeša od brašna žitarica, kao i optimizaciju troškova. Akcije su:

- a_1 – model korektivnog održavanja,
- a_2 – model preventivnog održavanja,
- a_3 – model održavanja na bazi pouzdanosti,
- a_4 – model održavanja na bazi rizika,
- a_5 – kombinovano održavanje.

Kriterijumi za rangiranje postavljenih akcija (strategija održavanja) su sledeći:

- f_1 – kontinuitet (pouzdanost) funkcionisanja sistema (zahtev za maksimizacijom),
- f_2 – troškovi održavanja (zahtev za minimizacijom),
- f_3 – angažovanost ljudskih resursa (zahtev za minimizacijom).

Ocene svih akcija prema svim kriterijumima date su u početnoj tabeli odlučivanja (tabela 1.). Troškovi održavanja su dati kvalitativnim ocenama, zato što je u ovom slučaju teško da se troškovi procene egzaktno (kvantitativno). Kvalitativne ocene se prevode u kvantitativne preko bipolarne skale (tabela 2.). U tabelama 1. i 2. mogu se uočiti i težine kriterijuma prema mišljenju donosioca odluke.

Tabela 1. Početna tabela odlučivanja

Akcije	Kriterijumi sa težinama		
	f_1 (max)	f_2 (min)	f_3 (min)
	$w_1 = 0,45$	$w_2 = 0,35$	$w_3 = 0,2$
a_1	Niska	Niski	Niska
a_2	Prosečna	Niski	Prosečna
a_3	Visoka	Visoki	Prosečna
a_4	Veoma visoka	Visoki	Visoka
a_5	Visoka	Prosečni	Prosečna

Tabela 2. Kvantifikovana početna tabela odlučivanja

Akcije	Kriterijumi sa težinama		
	f_1 (max)	f_2 (min)	f_3 (min)
	$w_1 = 0,45$	$w_2 = 0,35$	$w_3 = 0,2$
a_1	0,3	0,3	0,3
a_2	0,5	0,3	0,5
a_3	0,7	0,7	0,5
a_4	0,9	0,7	0,7
a_5	0,7	0,5	0,5

Napomena

Akcija a_3 je očigledno slabija od akcije a_5 , pa bi se mogla odmah eliminisati. Međutim, ovde to nije

urađeno zbog toga da se rangiraju sve raspoložive akcije, kao i zbog prikaza ukupnih rezultata u ovom slučaju.

U svakoj koloni tabele 2. (u okviru svakog kriterijuma) potrebno je uočiti maksimalnu i minimalnu vrednost za akcije. Radi preglednosti, ove vrednosti su izdvojene u posebnu tabelu (tabela 3.). Kod kriterijuma sa zahtevom za minimumom (f_2 i f_3), najbolja je najmanja vrednost, a najslabija je najveća vrednost.

Tabela 3. Najbolje i najslabije vrednosti akcija za sve kriterijume

	f_1	f_2	f_3
f_j^*	0,9	0,3	0,3
f_j^-	0,3	0,7	0,7

Radi jednostavnijeg proračuna, uvodi se veličina d:

$$d_{ij} = \frac{f_j^* - f_{ij}}{f_j^* - f_j^-} \quad (7)$$

U tabeli 4. date su proračunate vrednosti za d_{ij} , $w_j \cdot d_{ij}$, S_i i R_i . Primeri izračunavanja nekih vrednosti iz tabele 4.:

$$d_{11} = \frac{0,9 - 0,3}{0,9 - 0,3} = 1$$

$$d_{13} = \frac{0,3 - 0,3}{0,3 - 0,7} = 0$$

$$d_{21} = \frac{0,9 - 0,5}{0,9 - 0,3} = 0,6667$$

$$d_{23} = \frac{0,3 - 0,5}{0,3 - 0,7} = 0,5$$

$$w_1 \cdot d_{11} = 0,45 \cdot 1 = 0,45$$

$$w_3 \cdot d_{13} = 0,2 \cdot 0 = 0$$

$$w_1 \cdot d_{21} = 0,45 \cdot 0,6667 = 0,3$$

$$w_3 \cdot d_{23} = 0,2 \cdot 0,5 = 0,1$$

$$S_1 = \sum_{j=1}^n w_j \cdot d_{1j} = 0,45 + 0 + 0 = 0,45;$$

$$S_2 = \sum_{j=1}^n w_j \cdot d_{2j} = 0,3 + 0 + 0,1 = 0,4$$

$$R_1 = \max_j w_j \cdot d_{1j} = \max(0,45; 0; 0) = 0,45;$$

$$R_2 = \max_j w_j \cdot d_{2j} = \max(0,3; 0; 0,1) = 0,3$$

Tabela 4. Proračunate vrednosti za d_{ij} , $w_j \cdot d_{ij}$, S_i i R_i

Akcije a_i	d_{ij}			$w_j \cdot d_{ij}$			S_i	R_i
	f_1	f_2	f_3	f_1	f_2	f_3		
a_1	1	0	0	0,45	0	0	0,45	0,45
a_2	0,6667	0	0,5	0,3	0	0,1	0,4	0,3
a_3	0,3333	1	0,5	0,15	0,35	0,1	0,6	0,35
a_4	0	1	1	0	0,35	0,2	0,55	0,35
a_5	0,3333	0,5	0,5	0,15	0,175	0,1	0,425	0,175

U poslednjoj koloni tabele 4. vidi se da dve akcije imaju jednaku vrednost za R_i ($a_3 = a_4 = 0,35$). Međutim, modifikacija ovde nije potrebna pošto to nije maksimalna vrednost za R_i ($R^- = R_1 = 0,45$).

Iz poslednje dve kolone tabele 4. očitavaju se vrednosti potrebne za dalji proračun:

$$S^* = 0,4; S^- = 0,6; R^* = 0,175; R^- = 0,45$$

U tabeli 5. date su proračunate vrednosti za QS_i , QR_i , $Q_i(v = 0,5)$, $Q_i(v = 0,25)$ i $Q_i(v = 0,75)$. Primeri izračunavanja nekih vrednosti iz tabele 5.:

$$QS_1 = \frac{S_1 - S^*}{S^- - S^*} = \frac{0,45 - 0,4}{0,6 - 0,4} = 0,25;$$

$$QS_2 = \frac{S_2 - S^*}{S^- - S^*} = \frac{0,4 - 0,4}{0,6 - 0,4} = 0$$

$$QR_1 = \frac{R_1 - R^*}{R^- - R^*} = \frac{0,45 - 0,175}{0,45 - 0,175} = 1;$$

$$QR_2 = \frac{R_2 - R^*}{R^- - R^*} = \frac{0,3 - 0,175}{0,45 - 0,175} = 0,4545$$

$$Q_{1(v=0,5)} = v \cdot QS_1 + (1 - v) \cdot QR_1 = 0,5 \cdot 0,25 + (1 - 0,5) \cdot 1 = 0,625$$

$$Q_{2(v=0,5)} = v \cdot QS_2 + (1 - v) \cdot QR_2 = 0,5 \cdot 0 + (1 - 0,5) \cdot 0,4545 = 0,22725$$

$$Q_{1(v=0,25)} = v \cdot QS_1 + (1 - v) \cdot QR_1 = 0,25 \cdot 0,25 + (1 - 0,25) \cdot 1 = 0,8125$$

$$Q_{2(v=0,25)} = v \cdot QS_2 + (1 - v) \cdot QR_2 = 0,25 \cdot 0 + (1 - 0,25) \cdot 0,4545 = 0,340875$$

$$Q_{1(v=0,75)} = v \cdot QS_1 + (1 - v) \cdot QR_1 = 0,75 \cdot 0,25 + (1 - 0,75) \cdot 1 = 0,4375$$

$$Q_{2(v=0,75)} = v \cdot QS_2 + (1 - v) \cdot QR_2 = 0,75 \cdot 0 + (1 - 0,75) \cdot 0,4545 = 0,113625$$

Tabela 5. Proračunate vrednosti za QS_i , QR_i , $Q_i(v=0,5)$, $Q_i(v=0,25)$ i $Q_i(v=0,75)$

a_i	QS_i	QR_i	$Q_i(v = 0,5)$	$Q_i(v = 0,25)$	$Q_i(v = 0,75)$
a_1	0,25	1	0,625	0,8125	0,4375
a_2	0	0,4545	0,22725	0,340875	0,113625
a_3	1	0,6364	0,8182	0,7273	0,9091
a_4	0,75	0,6364	0,6932	0,6648	0,7216
a_5	0,125	0	0,0625	0,03125	0,09375

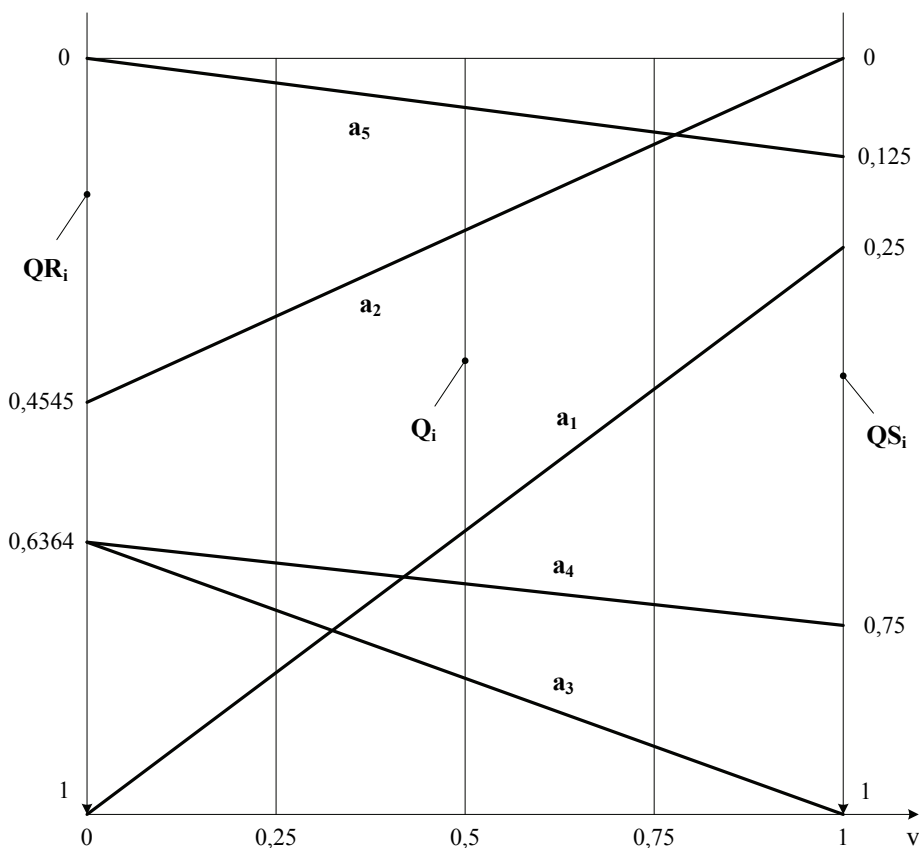
Rezultati iz tabele 5. mogu se predstaviti grafički (slika 1.). Na ovoj slici vizuelno se može uočiti rang pojedinih akcija u zavisnosti od težine v .

Prema dobijenim veličinama QS_i , QR_i i Q_i za svaku akciju (tabela 5. i slika 1.), mogu se formirati

tri nezavisne rang liste (tabela 6.). Prema kriterijumu QS_i najbolja je akcija a_2 , a prema kriterijumu QR_i najbolja je akcija a_5 . Ukupno, prema Q_i ($v = 0,5$), najbolja je akcija a_5 .

Tabela 6. Rang liste na osnovu veličina QS_i , QR_i i Q_i

a_i	QS_i	QR_i	Q_i ($v = 0,5$)
a_1	3	5	3
a_2	1	2	2
a_3	5	3,4	5
a_4	4	3,4	4
a_5	2	1	1



Slika 1. Rang pojedinih akcija u zavisnosti od težine v

Testiranje uslova U1:

Uslov U1 nije ispunjen jer je:

$$Q(a_2) - Q(a_5) = 0,22725 - 0,0625 = 0,16475 < DQ = 0,25$$

$$DQ = \min(0,25; \frac{1}{m-1}) = \min(0,25; \frac{1}{5-1}) = 0,25$$

Akcija a_2 ulazi u skup kompromisnih rešenja, pošto prva akcija a_5 nema "dovoljnu prednost" u odnosu na drugu po rang u akciju a_2 .

Analiza naredne akcije (treća po rang u akcija a_1):

$$Q(a_1) - Q(a_5) = 0,625 - 0,0625 = 0,5625 > DQ = 0,25$$

Akcija a_1 ne ulazi u skup kompromisnih rešenja, pošto prva akcija a_5 ima "dovoljnu prednost" u odnosu na treću po rang u akciju a_1 .

Ostale akcije ne treba dalje testirati prema ovom uslovu.

Testiranje uslova U2:

Uslov U2 je ispunjen pošto akcija a_5 ima "dovoljno stabilno" prvo mesto prema dva kriterijuma:

- akcija a_5 ima prvu poziciju na rang listi prema QR i
- akcija a_5 ima prvu poziciju na rang listi prema Q za $v = 0,25$ i $v = 0,75$.

Dakle, konačno rešenje je definisano skupom kompromisnih rešenja u koji ulaze akcije a_5 i a_2 . Konkretno, donosilac odluke može se opredeliti za akciju a_5 – kombinovano održavanje, a kao prva rezervna strategija održavanja predlaže se akcija a_2 – model preventivnog održavanja.

5. ZAKLJUČAK

Na osnovu iznetog, zaključak je da se višekriterijumska analiza može uspešno primeniti u rešavanju problema izbora strategije održavanja. To je pokazano na primeru koji je rešen metodom VIKOR. Na ovaj način postiže se objektivnije sagledavanje problema i njegovo efikasnije rešavanje. Treba naglasiti da je moguće menjati kriterijume i njihov značaj, u zavisnosti od konkretnih uslova. Takođe, moguće je primenjivati i druge metode višekriterijumske analize u problemu izbora strategije održavanja.

Postojeće metodologije održavanja tehničkih sistema imaju za cilj obezbeđenje željene pouzdanosti i raspoloživosti sistema uz što manje troškove.

Nove metodologije održavanja kao što su: Prediktivno održavanje, Proaktivno održavanje, Održavanje prema stanju, Totalno produktivno održavanje, Održavanje prema rezultatima rada, Održavanje prema radu, posmatraju ne samo troškove, već i sve druge važne aspekte, kao što su sigurnost i bezbednost, uticaji na zdravlje i okolinu.

LITERATURA

- [1] Radovanović, Lj., Desnica, E., Adamović, Ž. (2007) *Savremene metodologije održavanja*, Održavanje mašina, Vol. 7–8, No. 4, str. 77–84
- [2] Radovanović, Lj., Adamović, Z. *The Effective Maintenance Strategies Development*, Communications in Dependability and Quality Management, 2008., Vol. 11, No. 2, p. 38–44., UDC : 658.58
- [3] Adamović, Ž., Bešić, C. (2008) *Održavanje tehničkih sistema*, Akademija inženjerstva održavanja Srbije, Društvo za tehničku dijagnostiku Srbije, Beograd.
- [4] Radojičić, M., Žižović, M. (1998) *Primena metoda višekriterijumske analize u poslovnim odlučivanjima*, Čačak: Tehnički fakultet.
- [5] Čupić, M., Tummala, R., Suknović, M. (2001) *Odlučivanje: formalni pristup*, Beograd: Fakultet organizacionih nauka.
- [6] Hwang, C. L., Yoon, K. (1981) *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*, New York: Springer-Verlag.
- [7] Benayoun, R., Roy, B., Sussman, N. (1966) *Manual de Reference du Programme Electre, Note de Synthese et Formation*, No. 25, Paris: Direction Scientifique SEMA.
- [8] Brans, J.P., Mareschal, B., Vincke, P. (1984) *A New Family of Outranking Methods in Multi-criteria Analysis*, (Editor: J.P. Brans), Amsterdam: Operational Research 1984, North – Holland.
- [9] Saaty, T.L. (1980) *The Analytic Hierarchy Process*, New York: McGraw-Hill.
- [10] Triantaphyllou, E. (2000) *Multi-Criteria Decision Making Methods: A Comparative Study*, Boston: Kluwer Academic Publishers.
- [11] Opricović, S. (1986) *Višekriterijumska optimizacija*, Beograd: Naučna knjiga.
- [12] Freimer, M., Yu, P.L. (1976) Some new results on compromise solutions for group decision problems, *Management Science*, Vol. 22, No. 6., pp. 688–693.