Dr Svetomir Minić,
potpukovnik, dipl. inž.

IZBOR MODELA ODRŽAVANJA TEHNIČKIH SISTEMA PRIMENOM METODE VIŠEKRITERIJUMSKE ANALIZE ELECTRE II

Uvod

Koncepcija sistema održavanja tehničkog sistema može da se realizuje u više varijanti, odnosno, primenom različitih modela održavanja [1].

Svaki primenjeni model održavanja daje, kao rezultat, određene izlazne operacione karakteristike, relevantne za optimalno upravljanje procesom održavanja. Na primer, jedan model daje minimalne troškove, drugi maksimalnu gotovost sistema ili optimalni nivo nekih drugih izlaznih karakteristika, itd.

Postupak upoređivanja različitih modela održavanja vrši se po različitim kriterijumima tehničkog i ekonomskog karaktera, a sam postupak izbora najboljeg modela svodi se na višekriterijumski problem [2, 3].

Razrađena je metodologija za izbor najboljeg matematičkog modela iz skupa modela — DMPOPS¹⁾ [5], a postupak izbora modela realizovan je kroz sledeće korake:

— definisani su matematički modeli (varijante) održavanja,

— modeli su opisani preko kriterijumskih vrednosti,

— izvršeno je rangiranje modela metodom višekriterijumske analize (VKA) ELECTRE²⁾ II, simulacijom na elektronskom računaru,

— izbor najboljeg modela izvršen je na osnovu rezultata simulacije.

Kriterijumi za vrednovanje modela održavanja

Osnovne karakteristike kriterijuma koje su bitne za višekriterijumsko rangiranje varijanti (modela) održavanja su [7]:

— broj kriterijuma je reda veličine deset,

— kriterijumi se, u načelu, izražavaju kvantitativno, a izuzetno se neki od njih mogu izraziti kvalitativno,

— postoje dve vrste kriterijuma: kriterijumi vezani za efektivnost sistema i kriterijumi vezani za ekonomičnost sistema. Kriterijumi iz ovih grupa su kontradiktorni (poboljšanje jednih dovodi do pogoršanja drugih),

— između kriterijuma postoje međusobne zavisnosti,

¹⁾ Dinamički model preventivnog održavanja prema stanju.

²⁾ Elimination and Choice Translating Reality.

— kriterijumi imaju različite jedinice mere i dijapazone vrednosti. Neki su neimenovani brojevi, kreću se između 0 i 1 (ili od 1 do 9), a neki se izražavaju u određenim jedinicama, npr. troškovi u novčanim jedinicama ili vreme održavanja u časovima,

— postoje kriterijumi kod kojih veća vrednost kriterijuma predstavlja bolje rešenje i označava se sa (+) i kriterijumi kod kojih manja vrednost kriterijuma predstavlja bolje rešenje i označava se sa (—).

Posle izbora kriterijuma za rangiranje modela održavanja potrebno je izvršiti njihovu operacionalizaciju (stvoriti merila) za vrednovanje generisanih varijanti održavanja, tj. za njihovo međusobno upoređivanje i rangiranje.

Određivanje relativnih važnosti kriterijuma

Dosadašnje iskustvo pokazuje da se ceo postupak određivanja relativnih važnosti kriterijuma zasnivao, uglavnom, na ekspertnim procenama. Iako metod ekspertnih procena ima određene nedostatke, ipak je najprihvatljiviji način određivanja relativnih važnosti kriterijuma [7].

Kada se radi o određivanju relativnih važnosti kriterijuma obično postoji teškoća da se stav eksperta iskaze brojevima koji govore koliko više informacija o posmatranim varijantama daje jedan kriterijum u odnosu na drugi.

Jedan od mogućih načina numeričkog poređenja kriterijuma je tzv. metod parne ocene superiornosti (ili inferiornosti) dva kriterijuma (brojevi od 1 do 9), koji se sastoji u sledećem [7]:

— ukoliko su dva kriterijuma jednake važnosti, ocena njihovog relativ-

nog značaja (intenzitet važnosti) jeste broj 1,

— intenzitet važnosti 3 znači da postoji slaba važnost jednog kriterijuma u odnosu na drugi,

— bitna ili jaka važnost jednog kriterijuma (u odnosu na neki drugi) ocenjuje se sa 5, što znači da je jednom kriterijumu dat veliki prioritet,

— intenzitet važnosti 7 predstavlja zaključnu ocenu da je jedan kriterijum važniji od drugog (demonstrira važnost),

— apsolutna važnost predstavlja ocenu 9, po kojoj je važnost jednog kriterijuma u odnosu na drugi najveća,

— parne vrednosti intenziteta važnosti (2, 4, 6 i 8) predstavljaju međuvrednosti između dve susedne ocene i one se koriste kada je potrebno postići kompromisno rešenje.

Hipotetički primer za izbor modela održavanja

U dinamičkom modelu definisani su matematički modeli održavanja koji se primenjuju na nivou sastavnih elemenata motornog vozila [5]. Svaki model, kao rezultat, daje određenu gotovost, određenu vrednost pogodnosti održavanja, kao i određena vremena i troškove održavanja.

I u situaciji kada se za određeni element sistema može primeniti bilo koji model, postavlja se problem izbora najboljeg. Ovaj problem rešava se metodom višekriterijumske analize, tako što se rangiraju modeli održavanja na osnovu kriterijumskih vrednosti koje su pridružene svakom modelu, a zatim se izabere model koji je prvi na rang-listi, odnosno najbolji prema izabranim kriterijumima.

Tabela 1

Modeli održavanja (varijante) koji se rangiraju metodom VKA ELECTRE II

Varijanta	OZNAKA MODELA (VARIJANTE)	NAZIV MODELA ODRŽAVANJA
V ₁	POPS _{ppsd}	POPS* sa diskretnom proverom parametara stanja
V ₂	POPS _{ppsk}	POPS sa kontinualnom proverom parametara stanja
V ₃	POPS _{knp}	POPS sa kontrolom nivoa pouzdanosti
V ₄	MINTRO	Preventivno održavanje »po vremenu« na osnovu kriterijuma minimalnih troškova
V ₅	MAXGOT	Preventivno održavanje »po vremenu« na osnovu kriterijuma maksimalne gotovosti
V ₆	MODKO	Korektivno održavanje
V ₇	KOD	Kombinovano održavanje

* Preventivno održavanje prema stanju.

Skup matematičkih modela održavanja, koji su definisani u dinamičkom modelu POPS [5], označeni su kao skup varijanti $V = V_1, \dots, V_7$ koje treba rangirati (tabela 1). Skup kriterijuma $K = K_1, \dots, K_9$ na osnovu kojih su rangirane specificirane varijante (modeli održavanja), kao i koeficijenti njihovih relevantnih važnosti (ponderi) prikazan je u tabeli 2.

Prikazan je hipotetički primer u kojem je svaki model održavanja opisan sa 9 kriterijuma od kojih su 6 tehnički kriterijumi: gotovost, pogodnost održavanja, srednje vreme otkaza, srednje vreme korektivnog i preventivnog održavanja i srednje vreme zastoja u radu, a 3 su ekonomski kriterijumi: troškovi rezervnih delova, troškovi rad-

ne snage i troškovi ulaganja u opremu (instrumente i uređaje). Za potrebe međusobnog upoređivanja varijanti, odnosno modela održavanja, moguće je predložiti i druge kriterijume i za njih izgrađena merila [9, 10].

Posle izbora kriterijuma za rangiranje modela održavanja, vrši se njihova operacionalizacija (stvaraju merila) za vrednovanje definisanih modela održavanja, tj. za njihovo međusobno upoređivanje i rangiranje.

U hipotetičkom primeru, relativne važnosti kriterijuma (ponderi) i vrednosti kriterijuma za pojedine modele održavanja određeni su kao lično ekspertno mišljenje autora. Ove vrednosti imaju smisao projektovanih podataka o valjanosti modela održavanja, koje se u toku održavanja motornog vozila u praksi mogu uporediti sa stvarno realizovanim vrednostima kriterijumskih funkcija valjanosti modela održavanja, prikupljenim i obrađenim u informacionom sistemu održavanja. Ovakve usporedbe i analiza mogu poslužiti za usavršavanje modela optimizacije, odnosno za analizu pokazatelja efektivnosti primenjenih modela održavanja.

Rangiranje modela održavanja primenom metode ELECTRE II

Nakon vrednovanja modela održavanja sa više kriterijumskih funkcija, potrebno je doneti odluku o tome koji je model najpovoljniji prema izabranim kriterijumima.

S obzirom na nemogućnost vrednovanja modela održavanja jednim kriterijumom — pokazateljem valjanosti modela održavanja, nameće se problem postojanja više različitih kriterijuma. Da bi izbor kriterijuma bio objektivan, potrebno je primeniti neku od metoda višekriterijumske analize (VKA). Postupak izbora najboljeg modela održavanja, primenom metode ELECTRE II, prikazan je na sl. 1.

Sl. 1 — Postupak izbora najboljeg modela održavanja primenom metode VKA ELECTRE II

Ova metoda ima sledeće prednosti [6, 7, 10]:

— broj varijanti i kriterijuma za njihovo ocenjivanje je neograničen,

— moguće je kvalitativno i kvantitativno izraziti vrednosti kriterijuma na osnovu kojih se rangiraju varijante,

— ne zahteva prethodnu analizu međuzavisnosti kriterijuma (koji su u slučaju modela održavanja povezani, kao npr. srednje vreme zastoja u radu i gotovost ili srednje vreme korektivnog održavanja i troškova rezervnih delova),

— omogućava da se svakom kriterijumu pridruži subjektivno određen koeficijent relativnih važnosti,

— mogu se menjati relativne važnosti kriterijuma i obaviti analiza osetljivosti rešenja na ove promene.

Matematička formulacija metode ELECTRE II

Kada je zadat skup varijanti $V = \{v_1, \dots, v_i, \dots, v_n\}$ i skup kriterijuma $K = \{k_1, \dots, k_j, \dots, k_n\}$, tada je za

Tabela 2

Kriterijumi za rangiranje modela održavanja metodom VKA ELECTRE II

Kriterijum	Oznaka kriterijuma	Naziv kriterijuma	Uticaj kriterijuma	Relativna važnost kriterijuma (PONDERI)
K_1	G	Gotovost	+	9
K_2	$P_o(t)$	Pogodnost održavanja	+	7
K_3	MTBF	Srednje vreme između otkaza	+	9
K_4	t_{ok}	Srednje vreme korektivnog održavanja	+	7
K_5	t_{op}	Srednje vreme preventivnog održavanja	—	7
K_6	t_z	Srednje vreme zastoja u radu	—	5
K_7	C_{rd}	Troškovi rezervnih delova	—	7
K_8	C_{rs}	Troškovi radne snage	—	3
K_9	C_0	Troškovi ulaganja u opremu	—	3

i dodeljivanje različitih relativnih važnosti (pondera) pojedinim kriterijumima,

svaki kriterijum k_j moguće konstruisati orijentisani graf $G_j = (V, U_j)$ čiji skup čvorova V predstavlja varijante, a skup

Tabela 3

Rezultati simulacije izbora modela održavanja metodom ELECTRE II: varijante,
kriterijumi i pripadajući rang

Varijante	KRITERIJUMI									Rang
	K 1	K 2	K 3	K 4	K 5	K 6	K 7	K 8	K 9	
V 1	1,00	0,98	1300,00	30,00	10,00	20,00	300,00	900,00	900,00	2
V 2	1,00	0,99	1500,00	0,00	10,00	10,00	400,00	1000,00	1000,00	1
V 3	1,00	0,96	1000,00	70,00	30,00	60,00	200,00	700,00	800,00	4
V 4	1,00	0,96	900,00	50,00	20,00	40,00	200,00	400,00	200,00	4
V 5	1,00	0,97	1300,00	40,00	20,00	40,00	800,00	400,00	200,00	3
V 6	0,99	0,94	700,00	100,00	0,00	100,00	1000,00	0,00	0,00	7
V 7	1,00	0,95	900,00	40,00	10,00	50,00	500,00	500,00	400,00	5
Ponderi	9,00	7,00	9,00	—7,00	—7,00	—5,00	—7,00	—3,00	—3,00	

Indeks saglasnosti a = 0,50

Indeks nesaglasnosti b = 0,30

orijentisanih grana U_j prikazuje relaciju preferencije varijanti [6, 7]:

$$(v_i, v_r) \in U_j \Leftrightarrow k_{ij} \geq k_{rj}; \quad \begin{matrix} j=1, 2, \dots, n \\ i, r=1, 2, \dots, m \end{matrix} \quad (1)$$

tako što ($\geq$) ima značenje da je varijanta v_i bar tako dobra kao i v_r po kriterijumu k_j .

Presekom grafova G_j dolazi se do osnovnog grafa preferencije $G_o = (V, U_o)$ u kojem je skup grana U_o određen izrazom:

$$U_o = \bigcap_{j=1}^m U_j \quad (2)$$

Osnovni graf G_o daje jedan, često nepotpun, poredak varijanti, pa njihovo rangiranje još nije moguće. Dodatne informacije potrebne za rangiranje varijanti dobijaju se formiranjem tzv. matrice saglasnosti C i matrice nesaglasnosti D , odnosno na osnovu indeksa nesaglasnosti. Ovi indeksi označavaju kvantitativne mere saglasnosti, odnosno nesaglasnosti da se varijanta v_i može rangirati ispred v_r , u smislu svih kriterijuma istovremeno. Matematički postupak izračunavanja elemenata matrica saglasnosti i nesaglasnosti dat je u [6, 7].

Pošto potpuni poredak varijanti najčešće nije moguć sa punom saglasnošću i bez nesaglasnosti, definišu se prag saglasnosti $a_{\min}$ i prag nesaglasnosti $b_{\max}$ tako da za indeks saglasnosti (a) i nesaglasnosti (b) važe odnosi:

$$\begin{aligned} 0 < a_{\min} \leq a \leq 1 \\ 0 < b \leq b_{\max} < 1 \end{aligned} \quad (3)$$

Dekrementiranjem saglasnosti i inkrementiranjem nesaglasnosti do vrednosti njihovih pragova $a_{\min}$ i $b_{\max}$ nalazi se graf $G(a, b)$ koji definiše potpun poredak varijanti [6].

Simulacija izbora modela održavanja metodom ELECTRE II primenom računara

Pošto je za rangiranje većeg broja varijanti i kriterijuma postupak primene metode ELECTRE II veoma dug za manuelnu obradu, kompletan postupak proračuna može se programirati na elektronskom računaru. Za proračun metode ELECTRE II razvijen je računarski program »DONOD«, napisan u GWBASIC-u [6]. Za iste potrebe razvijen je i računarski program »ADEL« [9].

Hipotetički primer za izbor najboljeg modela održavanja u ovom radu proračunat je primenom personalnog računara i računarskog programa »DONOD«. Rezultati simulacije dati su u tabeli 3. Prema rezultatima proračuna, prvi na rang-listi je model POPS sa kontinualnom proverom stanja, a zadnji je model korektivnog održavanja, što je i logično s obzirom na odlike ovih modela.

Zaključak

Problem izbora najboljeg modela održavanja prema definisanim kriterijumima i kriterijumskim vrednostima rešen je primenom metode višekriterijumske analize ELECTRE II, podržane raspoloživim računarskim programom.

Pri primeni ove metode posebna pažnja mora biti posvećena problemu određivanja relativnih važnosti kriterijuma, jer se od donosioca odluke zahteva da unapred odredi relativnu važnost svakog pojedinačnog kriterijuma, kao ekspertska procena, na osnovu koje se rangira model održavanja.

Rezultati simulacije pokazuju da model preventivnog održavanja prema stanju sa kontinualnom proverom parametara stanja predstavlja najbolje rešenje, jer se kontinualnim praćenjem

stanja sistema pojava stanja »u otkazu« svodi na minimum. Kod modela korektivnog održavanja, koji je poslednji

na rang-listi, svi elementi posmatranog sistema dostižu svoja granična stanja, tj. stanja »u otkazu«.

Literatura:

- [1] Todorović, J.: INŽENJERSTVO ODRŽAVANJA TEHNIČKIH SISTEMA — MAINTAINABILITY ENGINEERING, JUMV, Beograd, 1993.
- [2] Petrović, R.: SPECIJALNE METODE U OPTIMIZACIJI SISTEMA, Tehnička knjiga, Beograd, 1977.
- [3] Opricović, S.: VIŠEKRITERIJUMSKA OPTIMALIZACIJA, Građevinski fakultet, Beograd, 1986.
- [4] Zeigler, B.: THEORY OF MODELLING AND SIMULATION, The University of Michigan, 1975.
- [5] Minić, S.: DINAMIČKI MODEL PREVENTIVNOG ODRŽAVANJA PREMA STANJU MOTORNIM VOZILA, Doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Beograd, 1993.
- [6] Bračika, N.: METODOLOŠKI PRISTUP ODREĐIVANJU RADNE SNAGE TEHNIČKE RADIONICE PRIMENOM RAČUNARSKI ZASNOVANOG MODELIRANJA, Magistarski rad, Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Sarajevu, 1985.
- [7] PROJEKT: USAVRŠAVANJA SISTEMA ODRŽAVANJA TMS KOV OS I SISTEMA SNABDEVANJA REZERVNIM DELOVIMA — ELABORAT: UTVRĐIVANJE PRIMENLJIVOSTI METODA VIŠEKRITERIJUMSKE ANALIZE, IZBOR I PRILAGOĐAVANJE METODA NA OSNOVU SPECIFIČNOSTI POKAZATELJA POJEDINIH PODSISTEMA, Institut »Mihailo Pupin«, Beograd, 1983.
- [8] PROJEKT: USAVRŠAVANJE SISTEMA ODRŽAVANJA TMS KOV OS I SISTEMA SNABDEVANJA REZERVNIM DELOVIMA — IZVEŠTAJ: KRITERIJUM I OGRANIČENJA ZA PRIMENU VIŠEKRITERIJUMSKE ANALIZE, Matematički institut, Beograd, 1983.
- [9] PROJEKT: USAVRŠAVANJE SISTEMA ODRŽAVANJA TMS KOV OS I SISTEMA SNABDEVANJA REZERVNIM DELOVIMA — ELABORAT: PRIMENA METODA VIŠEKRITERIJUMSKE ANALIZE ZA IZBOR ALTERNATIVNA SISTEMA ODRŽAVANJA REPREZENTATIVNA TMS, Institut »Mihailo Pupin«, Beograd, 1985.
- [10] Barković, M.: ODRŽAVANJE TEHNIČKIH MATERIJALNIH SREDSTAVA U SISTEMU ODRŽAVANJA SA VIŠE NIVOVA, Vojnotehnički glasnik, br. 2, Beograd, 1989.