Mr Petar Stanojević,
kapetan I klase, dipl. inž.
Slobodan Ilić,
kapetan, dipl. inž.
Vojnotehnička akademija VJ,
Beograd

MODEL OCENE USPEŠNOSTI SISTEMA ODRŽAVANJA

UDC: 62-7.001.24:519.865

Rezime:

U radu je prikazan specifičan model za ocenu uspešnosti sistema održavanja i formalizovan zapis postavke problema. Određeni su kriterijumi za ocenu i njihovi uticaji, kao i relativne važnosti kriterijuma i vrednosti potkriterijumskih funkcija na određenim nivoima rangiranja. Poseban značaj razvijenom modelu daje zasnovanost na svetskim dostignućima i standardima vezanim za oblast održavanja tehničkih sredstava. Primena modela testirana je na karakterističnom primeru.

Ključne reči: model, uspešnost, sistem održavanja, višekriterijumsko odlučivanje.

EVALUATION MODEL OF MAINTENANCE SYSTEM EFFICIENCY

Summary:

A specific model for evaluating maintenance system efficiency is presented and the problem is formalized. Evaluation criteria and their effects are determined as well as the relative values of the criteria and the values of postcriteria functions at determined ranking levels. The developed model is based on the latest achievements and standards in the field of technical equipment maintenance, which gives a special importance to the model. Its application is tested on a characteristic example.

Key words: model, efficiency, maintenance system, multicriteria decision making.

Uvod

Konkretni sistem održavanja (Sod) tehničkih sredstava (TS) određen je izabranom strategijom i karakterističnim konceptijskim, organizacionim i tehnološkim rešenjima uz specifičnosti sistema integralne logističke podrške (ILS). Povoljnija varijanta konceptijskog, organizacionog i tehnološkog rešenja sistema održavanja omogućava sprovođenje potrebnih, odnosno predviđenih postupaka u kraćem vremenu, sa manjim troškovima. To se prvenstveno odnosi na:

— vreme potrebno da se tehnički sistem iz stanja »u otkazu« vrati u stanje »u radu«, odnosno na ukupno tra-

janje postupaka održavanja u posmatranom periodu, i

— troškove sprovođenja postupaka održavanja, odnosno na ukupne troškove održavanja u posmatranom periodu.

Izboru optimalne varijante Sod prethodi analiza i ocena mogućih strategija održavanja.

Za ocenu sistema održavanja, odnosno njegovih varijantnih rešenja, ima više mogućnosti, više metodologija i postupaka. Ove metode su, u najvećem broju slučajeva, usmerene na analizu i ocenjivanje pogodnosti održavanja, u širem smislu. U ovom radu je,

zbog toga, razvijena metodologija za integralno ocenjivanje sistema održavanja.

Osnove modelovanja ocene uspešnosti sistema održavanja

Položaj sistema održavanja na granici između pojedinačnog i velikoserijskog tipa tehnologije nameće višedimenzionalnost posmatranja uspešnosti. To je očigledno i iz određenih ciljeva i potciljeva SOD. Ipak, kada je osnovni cilj postizanje visoke vrednosti raspoloživosti, to treba uraditi uz najmanje moguće troškove.

Tipične i atipične tehnologije, odnosno tehnološki elementi (TE), koji se koriste u održavanju, već postoje ili u SOD, koji treba racionalizovati, ili na tržištu. Cilj projektanta SOD jeste da se izabere takva varijanta tehnološke koncepcije i organizacione strukture koja će po tačnom dimenzioniranju tehnoloških elemenata, prema karakterističnim potrebama, dati najbolje vrednosti kriterijuma-parametara uspešnosti u skladu sa postavljenim osnovnim ciljem. Ne treba zaboraviti da je moguće da se neki od parametara uspešnosti zadaju unapred u vidu ciljeva i ograničenja koje treba postići projektovanjem ili u vidu intervala dozvoljenih odstupanja. Određivanjem parametara uspešnosti, njihovih minimalnih ili maksimalnih vrednosti koje se moraju postići pri projektovanju, formira se FUNKCIJA CILJA, preko koje će se vrednovati varijantna rešenja.

Kod nas se određivanju uspešnosti SOD najviše posvetio S. Brdarević [1] koji je naveo 28 domaćih i stranih metoda ocene uspešnosti sistema održavanja i svrstao ih u 6 grupa. On tvrdi da uspešnost SOD najbolje ocenjuju metode koje u izrazima za uspešnost obuhvataju samo promenljive koje karakterišu SOD. Svetska dostignuća u ovoj oblasti najbolje odslikavaju standardi vezani za održavanje i

neka karakteristična rešenja poput onih u Japanu [2].

Da bi model ocene SOD dao prave rezultate on mora zadovoljiti sledeće kriterijume: da obuhvati pojave (promenljive) o kojima, uglavnom, postoje podaci u poslovnom sistemu; da omogući ocenjivanje kako postojećeg, tako i novoprojektovanog SOD; da bude invarijantan u odnosu na specifičnosti pojedinih SOD; da zadovolji zahteve učesnika u upravljanju SOD; da obezbedi sagledavanje ostvarenja ciljeva i potciljeva SOD; da se zbog stohastičke suštine procesa zasniva, prvenstveno, na teoriji verovatnoće, ali i da obuhvati veličine koje opisuju razne aspekte produktivnosti i troškova; da uzme u obzir parametre uspešnosti koji se već zahtevaju u karakterističnim standardima i drugim rešenjima u svetu; da omogući praćenje promena u vremenu; da je primenljiv kako za ceo SOD, tako i za njegove nivoe, pojedinačne radionice ili tehnička sredstva kada se projektuju sa stanovišta održavanja i da omogući lako uključivanje u neki od optimizacionih modela operacionih istraživanja.

U postojećim SOD, većinom zbog potreba uslovljenih pravnim propisima i osnovnom logikom poslovanja, postoje dokumenti kao što su: radni nalog, radna lista, trebovanje materijala, planovi (godišnji ili mesečni), osnovna konstrukciona dokumentacija i uputstva za eksploataciju, dokumenti koji obrađuju personalnu problematiku, računovodstveni, knjigovodstveni, itd. Sadržaj ovih dokumenata je svuda veoma sličan. Razlike nastaju u stepenu primene nauke u održavanju, pa su dokumenti negde sadržajno bogatiji. Međutim, na to sadržajno bogatstvo ne treba se uvek oslanjati; dovoljno je da su samo osnovni podaci korektno unošeni.

Ukoliko se projektuje sasvim novi SOD podaci dobijeni tehnološkim projektovanjem i projektovanjem organizacione strukture, za odabrane varijante, predstavljaju ulazne podatke.

Omogućavanje ocenjivanja postojećeg ili projektovanog SOd zahteva da se uvek određuju iste mere uspešnosti i to one koje sa najvećim obuhvatom opisuju realno stanje. Svako projektovanje upravo i započinje ocenom postojećeg stanja.

Model ocene uspešnosti sistema održavanja

Koncipiranje modela uspešnosti inherentno je najvećem broju sistema održavanja (obezbeđuje invarijantnost) i zasniva se na obuhvatu celine funkcionisanja SOd, koji ima odlike poslovnog sistema. Ukupna uspešnost SOd ($E(t)$) sastoji se od uspešnosti tehnološke (E_t), organizacione (E_o) i ekonomske komponente (E_e)

$$E(t) = f(E_t, E_o, E_e) \quad (1)$$

Svaka od ovih komponenti istovremeno određuje uspešnost SOd u obliku serijske veze koja se može tumačiti na sledeće načine:

$$E(t) = (\text{uspešnost fizičkog dela SOd}) \times (\text{uspešnost veza između elemenata SOd}) \times (\text{uspešnost procesa u SOd}).$$

Fizički deo definiše se tehnološkim projektom, veze određuju organizacionom strukturom, a procesi ostvaruju upravljanjem, pa se ova jednačina može prikazati i kao

$$E(t) = (\text{uspešnost projekta}) \times (\text{uspešnost organizacije}) \times (\text{uspešnost upravljanja})$$

Ovaj model grafički je prikazan na slici.

Da bi zadovoljili zahteve učesnika u upravljanju SOd isti parametri uspešnosti ne zanimaju glavnog rukovodioca, rukovodioca koji operativno upravlja sistemom održavanja i one koji upravljaju operativnim delom i uje-

dno da bi se ostvarila veza sa strukturom ciljeva sistema održavanja, potrebno je uvesti određenu hijerarhiju parametara.

Tako se na vrhu piramide parametara nalaze veličine raspoloživosti (operativne gotovosti) i troškova. Izrazi za izračunavanje raspoloživosti (operativne gotovosti) poznati su u teoriji i zasnivaju se na odnosu vremena kada se grupa ili jedno TS moglo angažovati prema vremenu kada se to angažovanje zahtevalo.

Kod vojnih sistema gde postoje gubici TS, bilo povratni ili nepovratni, i gde je cilj SOd još i spasavanje TS izvlačenjem i evakuacijom, raspoloživost se, uslovno, može odrediti:

— parametrima i funkcijom raspodele broja ispravnih TS u toku vremena borbene operacije i odnosom te srednje vrednosti prema ukupnom broju TS na početku operacije,

— brojem ispravnih i TS koja se mogu popraviti na kraju operacije i odnosom prema ukupnom broju TS na početku operacije.

Troškovi održavanja nastaju kao posledica instaliranih tehnoloških elemenata (n) i obuhvataju investicione i tekuće troškove korišćenja TE, troškove zaposlenih izvršilaca radova (z), zaposlenih u upravljačkoj strukturi (m) i radnika na obuci (k) u širem smislu, prema izrazu (2):

$$\begin{aligned} C = & \sum_{i=1}^n C_{li} + \sum_{i=1}^n C_{INi} + \sum_{i=1}^n C_{Ti} + \sum_{i=1}^n C_{Di} + \\ & + \sum_{i=1}^n R_i + \sum_{j=1}^k N_{00j} t_{0j} C_{COj} + C_{mz} \sum_{i=1}^n P_{zi} + \\ & + P_o C_{mo} + B K_c \left(\sum_{z=1}^Z C_{NCz} N_{lz} + \right. \\ & + \sum_{m=1}^M C_{NCm} N_{Um} + 2 \sum_{i=1}^n C_{Ai} + C_{el} + C_{te} + \\ & + C_{sv} + C_{vp} + C_g + C_m + C_v + C_{sc} + \\ & \left. + C_{tel} + C_o \right) \end{aligned} \quad (2)$$

gde je:

C — ukupni troškovi održavanja,
 C_I — nabavni, odnosno investicioni troškovi,
 C_{IN} — troškovi instaliranja TE,
 C_T — troškovi transporta TE od isporučioaca do SOd,

C_D — troškovi prateće tehničke dokumentacije,
 R — cena rashoda,
 N_{oo} — broj zaposlenih na obuci,
 t_o — vreme trajanja obuke u časovima,
 C_{co} — cena časa obuke,
 P_z — površina radioničkog prostora,

Model ocene uspešnosti sistema održavanja

- C_{mz} — cena kvadratnog — kubnog metra radioničkog prostora,
- P_o — površina otvorenog prostora,
- C_{mo} — cena kvadratnog metra otvorenog prostora,
- B — broj godina za koje se vrši proračun,
- K_c — koeficijent svođenja cene na godinu u kojoj se projektuje,
- C_{NC} — cena norma-časa radnika određene kvalifikacije i radnog staža,
- N_I — godišnji fond časova rada radnika (izvršilaca održavanja) određene kvalifikacije i radnog staža,
- N_U — godišnji fond časova rada zaposlenog u upravljačkoj strukturi određene kvalifikacije i radnog staža,
- C_{el} — godišnji troškovi električne energije,
- C_{te} — godišnji troškovi toplotne energije,
- C_{sv} — godišnji troškovi energije sabijenog vazduha,
- C_{vp} — godišnji troškovi energije vodene pare,
- C_g — godišnji troškovi tečnog goriva,
- C_m — godišnji troškovi maziva,
- C_v — godišnji troškovi vode,
- C_{sc} — godišnji troškovi sredstava za čišćenje,
- C_{te} — godišnji troškovi telekomunikacija,
- C_o — ostali godišnji troškovi.

Ovako dat izraz za troškove može se primeniti za izračunavanje troškova celokupnog SOd, troškova njegovih delova i troškova održavanja pojedinih TS.

Proračun troškova obavlja se za period za koji to investitor zahteva (godinu dana ili eksploatacioni vek projektovanog sistema). Postoje jednokratni troškovi koji se samo jednom zaračunavaju i ponovljivi, odnosno pro-

menljivi, koji se izračunavaju za svaku godinu. Veličine nekih od ovih troškova, kao npr. investicione ili cena kvadratnog metra se znaju, obično, unapred ili do njih nije teško doći. Veličine ostalih troškova mogu se uzeti prema proteklom periodu ili proračunavati jednostavnim izrazima poznatim u literaturi [3, 4, 5]. Troškovi održavanja mogu se izjednačiti sa troškovima amortizacije održavanih TS koristeći metodu Grothusa [6]. Zbog toga u jednačini (2) nema troškova održavanja, jer bi njihovo dalje određivanje značilo rešavanje problema održavanja sistema održavanja koji je, u načelu, zanemariv u odnosu na problem šireg sistema.

Da bi se izvršio proračun troškova po varijantama, nije potrebno, ali je dobro, znati veličine svih komponenti troškova. Veličine koje su nepoznate, koje ne postoje ili se za njih unapred oceni da su zanemarive, uzimaju se sa vrednošću 0. Važno je samo da se isti troškovi zaračunavaju kod svih varijanti, kako bi se moglo izvršiti upoređenje.

Varijante koje zahtevaju više TE ili zaposlenih, mogu se odmah odbaciti, sa gledišta veličine troškova. Preliminarno rangiranje varijanti može se izvršiti i prema npr. potrebnom broju zaposlenih, broju TE, potrebnoj radnoj površini, jer oni čine sigurno najveći deo troškova [5]. U vezi s tim tvrdi se da su troškovi projektovanog sistema obično proporcionalni predviđenim TE uz troškove tehnoloških zahteva (zahteva za održavanjem — TZ) koji su proporcionalni vremenu realizacije i broju neopsluženih TZ [7]. To je korisno znati naročito pri početnoj kvantifikaciji tehnoloških zahteva ili, kako se još naziva, svedenog — orijentacionog projektovanja [3, 7].

Sledeći nivo parametara predstavljaju komponente funkcionisanja SOd. Ekonomska komponenta je razdvojena na opšte pokazatelje i pokazatelje za SOd sa privrednim računom. To je

učinjeno zbog toga što se parametri ekonomičnosti i rentabilnosti praktično ne mogu izračunati ako se ne zna veličina dobiti i stepen učešća u stvaranju dobiti, a ti podaci se teško dobijaju za SOd bez samostalnog privrednog računa. Za praktičnu primenu može se smatrati da su tehnološka i organizaciona uspešnost komponente raspoloživosti, uz ekonomske pokazatelje kao komponente ekonomske uspešnosti.

Parametri narednog, nižeg nivoa predstavljaju bazične pokazatelje uspešnosti. Oni su koncipirani tako da zadovolje ostale kriterijume uspešnosti ocene SOd. Pri koncipiranju ovih parametara važno je izbeći njihovo sadržajno ponavljanje.

Kriterijumi uspešnosti koje postavljaju standardi vezani su za nivo pojedinačnog TS. Standard JUS-IEC 706-1 kao parametre određuje one koji su navedeni pod rednim brojem 2, 3, 4, 5 i 6, u komponenti tehnološke uspešnosti i zahteva izračunavanje troškova održavanja po radnom času održavanja TS, što je, u stvari, izvedena veličina. Uputstvo AD 750-1 američke vojske traži, kao i JUS-IEC 706-1, i izračunavanje veličina MTBF, MTBM i učestanosti preventivnog održavanja, pored pokazatelja koji su već ušli u model. Ove mere uključene su u veličine raspoloživosti (gotovosti), pa nema potrebe za sadržajnim dupliranjem pokazatelja. Predlog standarda SNO 1096/92 zahteva poznavanje istih parametara kao i prethodni, s tim što ne zahteva izračunavanje troškova, ali traži proračun vremena zastoja (u modelu uključeno kao parametri na red. br. 7 i 8 u organizacionoj komponenti).

Veličine tehničko-tehnološke uspešnosti jednostavno se izračunavaju iz podataka kojima bi trebalo da raspolaže ili da ih bez mnogo napora prikupe svaki SOd. Za izračunavanje veličina pod rednim brojem 1, 4, 5 (slika, deo tehničko-tehnološka uspešnost) postoje matematički izrazi u literaturi

[4, 11, 12, 13]. Ostale veličine predstavljaju odnose, a za formulisanje njihovog izračunavanja dovoljna je elementarna logika. Ukoliko se sistem projektuje, veličine koje se stavljaju u odnos biće proračunate na osnovu poznavanja karakteristika SOd koji se projektuje, TZ, TE i elemenata upravljanja. Važno je napomenuti da su kvantitativne vrednosti ovih veličina vezane za operativni nivo organizacije.

Veličine tehnološke uspešnosti izračunavaju se za SOd u celini ili za svako TS posebno i prikazuju jednostavnim tabeliranjem podataka. Na taj način ističe se stepen ispunjenja projektnih zahteva za održavanjem i podrška njihovoj relativnoj važnosti za širi sistem. Za analizu uspešnosti održavanja pojedinačne vrste TS može se formirati, praktično, još jedan nivo parametara na kome se određuje važnost TS za postizanje cilja šireg sistema.

Čovek — sati održavanja po jedinici mere eksploatacije TS ili TZ, posle raspoloživosti, predstavlja, u svetu, glavnu meru kvaliteta TS, sistema održavanja i njihove adekvatnosti. Ove mere govore o uspešnosti sprečavanja otkaza, otklanjanja slabih mesta, produžavanju radnog veka i skraćivanju vremena zastoja. Zajedno sa parametrima pod radnim brojevima 6, 7, 8, 9 i 10, parametar 3 govori o dostignutom tehnološkom nivou SOd, relativnom učešću u troškovima i složenosti sredstava koja se održavaju. Manje vrednosti ovih parametara u poređenju sa sličnim SOd ili projektnim varijantama bolje su. Broj TZ treba smanjivati koristeći sve poznate metode sprečavanja i predviđanja otkaza. Veličine pod rednim brojevima 10 i 11 govore o kvalitetu održavanja. Za tačnost primenjene dijagnostičke opreme postoji podatak [14] da je, tadašnja¹

¹ Prema metodama dijagnostike koje nabraja autor vidi se da današnja oprema za dijagnostiku kod mašinskih TS nije odmakla daleko u svom razvoju.

tačnost dijagnostike vozila bila 87%. Prema literaturi [15] reklamacija, odnosno grešaka održavanja, ne bi trebalo da bude više od 8 do 10%². Ove dve veličine, ako ne mogu da se izračunaju iz postojećih podataka u SOd, treba uzeti kao pretpostavljene ulazne veličine pri projektovanju. Tačnost dijagnostike trebalo bi da bude što veća, a odnos reklamacija što manji. Procenti ponovo iskorišćenih i supstituisanih delova ukazuju na tehnološki nivo i sniženje troškova održavanja. Oni treba da budu što veći. Postoje podaci da bi procenat ponovo iskorišćenih delova na generalnom remontu trebalo da bude najmanje 60%, a trebalo bi težiti ka 70 do 75% [16]. Broj povreda — profesionalnih oboljenja jeste veličina koja se snima u postojećem SOd (ili pretpostavlja, kao ulazna promenljiva, pri projektovanju npr. vojnih SOd) i govori o uslovima rada i primeni mera HTZ. Poželjno je da vrednost ovog parametra bude što manja, a broj tehnoloških inovacija što veći.

Parametri koji opisuju komponentu organizacione uspešnosti izračunavaju se za celinu SOd ili njegovog dela. Procenat zadovoljenja zahteva za održavanjem računa se kao odnos ukupnog broja zadovoljenih zahteva prema ukupnom broju zahteva, i ima smisao verovatnoće održavanja. On govori o dimenzijama kvaliteta usluge, kao što su opipljivost, pouzdanost, spremnost na odziv i sigurnost. Prema američkom vojnom uputstvu AR-750-1 (1978) traži se da on bude na mesečnom nivou najmanje 70%. Parametri raspoloživost kadra, i raspoloživost po elementima ILS, izračunavaju se odnosom njihovog projektovanog broja i stvarnog stanja SOd. Ovi pokazatelji služe projektantu i upravljačima za ocenu stanja SOd i upućuju na uzroke zastoja. Vrednosti ovih parametara trebalo bi da teže 100%, ili da se zadaju kroz zahtev za verovatnoću op-

sluge, uz izuzetak kod raspoloživosti rezervnih delova za koju MIL-STD 1390A zahteva vrednost 95% za verovatnoću zadovoljenja tražnje. Parametar kompetentnost kadra (obučenost) mogao bi da se izračuna prema jednačini:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n (S_i + RS_i)}{\sum_{i=1}^n (S_{zi} + RS_{zi})} \quad (3)$$

gde je:

- K — relativna kompetentnost kadra [%],
- S_i — stvarni broj godina školovanja i-tog zaposlenog,
- RS_i — stvarni radni staž (iskustvo) i-tog zaposlenog,
- S_{zi} — zahtevani broj godina školovanja i-tog zaposlenog,
- RS_{zi} — zahtevani radni staž (iskustvo) i-tog zaposlenog.

Jedan od pokazatelja kompetentnosti kadra i kvalitetnog izvršavanja održavanja [18] mogao bi biti da treba postići takav odnos da na jednog VKV radnika dolazi 15—18 KV i 20—30 polukvalifikovanih. Pri projektovanju, vrednost ovog parametra zadaje se, unapred, kao ograničenje, i ona mora da bude što veća.

Parametri iskorišćenja radne snage i TE govore o mogućnostima smanjenja troškova i izbalansiranosti funkcionisanja SOd. Što su ove vrednosti veće, u načelu, stanje je bolje. Ovi parametri izračunavaju se po grupama struka radne snage i grupama TE, odnosno radnim mestima. Uputstvo AR 750-1 (1978) zahteva da iskorišćenje radne snage na najnižem nivou u sistemu održavanja bude prosečno 85%, najmanje 75%, a na višim nivoima prosečno 50%, a najmanje 30%. Iskorišćenje preko 90% smatra se odličnim [19]. Vremena administrativnog, logis-

² U sistemu totalnog kvaliteta u Japanu prihvatljivi nivo grešaka iznosi 0,07—0,09% [14].

tičkog i čekanja na prenos informacija (brzinu komunikacije) snimaju se u konkretnom ili sličnim SOD, preuzimaju iz literature i upotrebljavaju kao ulazni podaci za projektovanje. Potrebno ih je što više skratiti. Odnos planskog broja prema ukupnom broju akcija održavanja govori o obuhvatu kontrole koji je ostvaren nad procesima u konkretnom SOD. Može se računati kao odnos broja preventivnih ili broja korektivnih akcija održavanja prema ukupnom broju akcija, ukoliko se sistem projektuje ili utvrditi snimanjem stanja na planskoj dokumentaciji konkretnog SOD kao odnos planskih ili vanplanskih akcija održavanja prema ukupnom broju akcija održavanja. Ukoliko planski rad obuhvati 70—80% od ukupnog broja radova smatra se da je postignut zadovoljavajući stепен kontrole procesa [19]. Teži se, naravno, da obuhvat kontrole procesa bude i veći. Veličina upravljačkog dela prema operativnom može biti zadata u procesu projektovanja, kao ulazna veličina, preko usvojene organizacione strukture. Izlazna veličina upravljačkog dela određuje se preko simulacionih modela sistema održavanja i opterećenja komunikacionih čvorišta, o čemu će još biti reči u ovom radu. Ova veličina može se i prostije odrediti metodama analogije i komparacije sa podacima iz dosadašnjih istraživanja [20]. Što je manja veličina upravljačkog dela, izražena brojem ljudi, kao i opterećenost čvorišta komunikacija, izražena srednjim vremenom obrade podataka po komunikacionom čvorištu na dan — SOD je uspešnije organizovan.

Najvažnije parametre ekonomske komponente predstavljaju troškovi po akciji — času — TZ održavanja i produktivnost. Troškovi po akciji — času — TZ održavanja računaju se iz odnosa ukupnih troškova i ukupnog broja akcija — časova — TZ održavanja u sistemu. Ovi troškovi treba da budu što manji. Mogu se računati i za svako TS iz istog razloga kao i parametri

tehnološke komponente i mogu se dati uključivanjem u tabelarni prikaz parametara tehnološke uspešnosti. Produktivnost se računa kao odnos ukupnog (planskog ili efektivnog) vremena potrebnog za akcije održavanja i raspoloživog fonda časova za održavanje. Ukupni raspoloživi fond časova dobija se sabiranjem fonda direktnih izvršilaca radova na održavanju i fonda zaposlenih u upravljačkom delu organizacije. Poželjno je da ova veličina bude što veća.

Ekonomičnost i rentabilnost računaju se prema izrazima poznatim u ekonomskoj nauci i treba da budu što veći [1].

Pre pristupanja vrednovanju mogućih varijantnih rešenja treba odmah odbaciti ona koja svojim izlaznim vrednostima parametara ne zadovoljavaju vrednosti zadane korektnim projektnim zadatkom ili se ne uklapaju u ograničenja izneta u tekstu.

Za rešavanje problema rangiranja mogućih varijanti rešenja najbolje je koristiti neku od metoda višekriterijumskog odlučivanja, prilagođenu sistemu parametara, s više nivoa gde će težine (ponderi) pridodate parametrima označavati specifičnosti konkretnog sistema održavanja. U ovom slučaju najpraktičnija je primena metoda AHP i MENOR³.

Vrednovanje varijantnih rešenja mora biti zadatak šireg radnog tima, prvenstveno tehnologa, kao i ekonomista, pravnika, ekologa i psihologa. Ovako koncipiran model prvenstveno je prilagođen potrebama tehnologa i projektanata organizacije, dok bi se u realnom sistemu, zbog pojave problema vezanih za izvore i uslove finansiranja, ekološke probleme, bezbednost, carinske i poreske propise itd., model

³ Kod modela ocene uspešnosti SOD, u literaturi, koriste se i metode ciljnog programiranja, linearnog programiranja, a od metoda višekriterijumske analize metode *Promethee I, II, III* i *Electre*.

mogao dograditi prema istim kriterijumima i uz korišćenje istih metoda za odlučivanje.

Metoda MENOR

U ovom radu predlaže se metoda normalizacije kriterijumskih funkcija na više nivoa (MENOR), nastala iz potrebe da se postupak rangiranja alternativa pojednostavi kako bi se pomoglo donosiocima odluka pri pravilnom izboru najpovoljnije varijante, uz istovremeno uvažavanje velikog broja karakteristika i parametara. U ovakvom pristupu problemu rangiranja javlja se više nivoa značajnosti kriterijuma, a time i više nivoa rangiranja prema tim kriterijumima — potkriterijumima (preporučuje se da to ne bude više od tri nivoa). Na svakom nivou određuju se koeficijenti relativne važnosti kriterijuma-potkriterijuma koji ispoljavaju svoj uticaj na dalji tok rangiranja.

Metoda MENOR izabrana je zbog svojih prednosti:

- opštenamenskog je karaktera, zasnovana na načelima i logici sistemskog pristupa i uvažavanju stručnosti kompetentnih donosilaca odluke;

- ne zahteva prethodnu analizu međuzavisnosti kriterijuma;

- dopušta da se kriterijumi na osnovu kojih se vrši izbor varijanti mogu kvantitativno i kvalitativno izraziti;

- omogućava razlaganje složenih kriterijuma na više potkriterijuma, uvođenje više nivoa značajnosti kriterijuma, a time i nivoa rangiranja;

- sve veće »popularnosti« metoda za višekriterijumsko odlučivanje;

- subjektivizam donosioca odluke svodi se na najmanju meru, jer pruža mogućnost da se kroz detaljno razlaganje kriterijuma na potkriterijume dođe do vrednosti parametara i karakteristika kriterijuma koje su merljive veličine.

Postupak provođenja predložene metode ima sledeći tok: prvo se detaljno proučava zadatak i, po potrebi, prikupljaju dodatne informacije radi što potpunijeg shvatanja; drugi korak čini definisanje kriterijuma i ocena njihove valjanosti, odnosno izmena ukoliko se neki od njih pokaže kao nesvrshodan ili nepodoban za ocenjivanje; u trećem koraku razrađuju se potkriterijumi. Potom se pristupa formalizovanom zapisu problema, određivanju uticaja kriterijuma, relativne važnosti kriterijuma i vrednosti potkriterijumskih funkcija na određenom nivou rangiranja. Zatim se određuju varijante koje će se ocenjivati.

Definisanje kriterijuma

Kriterijumi mogu biti:

- tehničko-tehnološki $K_1^{(0)}$
- organizacioni $K_2^{(0)}$
- ekonomski $K_3^{(0)}$

Daljom razradom tehničko-tehnološkog kriterijuma mogu se uočiti kriterijumi drugog reda:

- $K_{1,1}^{(1)} - A_i$ — sopstvena raspoloživost,
- $K_{1,2}^{(1)}$ — broj tehnoloških zahteva,
- $K_{1,3}^{(1)}$ — čovek — sati održavanja po jedinici mere eksploatacije TS,
- $K_{1,4}^{(1)} - M_c$ — srednje vreme aktivne korektivne opravke po TS,
- $K_{1,5}^{(1)} - M_p$ — srednje vreme aktivnog preventivnog održavanja po TS,
- $K_{1,6}^{(1)}$ — odnos vremena za dijagnostiku i(ili) montažu-demontažu prema ukupnom vremenu održavanja,
- $K_{1,7}^{(1)}$ — broj izvršilaca prema tehnološkom zahtevu (TZ),

- $K_{1,8}^{(1)}$ — broj tehnoloških elemenata (TE) po času održavanja ili TZ,
- $K_{1,9}^{(1)}$ — radna površina po TZ ili vrsti TS,
- $K_{1,10}^{(1)}$ — broj ostalih elemenata ILS po času održavanja, TZ ili TS,
- $K_{1,11}^{(1)}$ — tačnost primenjene dijagnostičke opreme,
- $K_{1,12}^{(1)}$ — broj radova ili časova rada po reklamacijama prema ukupnom vremenu ili broju radova,
- $K_{1,13}^{(1)}$ — procenat supstituisanih od uvezenih delova,
- $K_{1,14}^{(1)}$ — procenat regenerisanih i opravljenih delova prema ukupnom broju otkazalih,
- $K_{1,15}^{(1)}$ — broj povreda na radu ili oboljenja na broj zaposlenih,
- $K_{1,16}^{(1)}$ — broj inovacija.

Kriterijumi drugog reda koji opisuju organizacionu uspešnost su:

- $K_{2,1}^{(1)}$ — procenat zadovoljenih zahteva za održavanjem,
- $K_{2,2}^{(1)}$ — raspoloživost kadra,
- $K_{2,3}^{(1)}$ — kompetentnost kadra,
- $K_{2,4}^{(1)}$ — raspoloživost elemenata ILS,
- $K_{2,5}^{(1)}$ — iskorišćenje tehnoloških elemenata,
- $K_{2,6}^{(1)}$ — iskorišćenje radne snage,
- $K_{2,7}^{(1)}$ — logističko i administrativno vreme čekanja,
- $K_{2,8}^{(1)}$ — brzina komuniciranja,
- $K_{2,9}^{(1)}$ — odnos planskog vremena prema ukupnom broju radova na održavanju ili ukupnom vremenu,
- $K_{2,10}^{(1)}$ — veličina upravnog prema operativnom delu,

Kriterijumi drugog reda koji opisuju ekonomsku komponentu su:

- $K_{3,1}^{(1)}$ — troškovi po radnom času ili akciji održavanja (TZ),
- $K_{3,2}^{(1)}$ — troškovi zbog zastoja opreme koja se održava.

Formalizovani zapis problema

Formalizovani zapis problema, svođenje na oblik podesan za primenu navedene metode i rešavanje problema uz primenu računara obavlja se pomoću početne matrice za višekriterijumsko odlučivanje. Vrednosti parametara koji opisuju kriterijume na oba nivoa za sve varijante prikazane su u tabeli 1.

Koeficijenti težine potkriterijuma (kriterijuma 1. ranga) obeleženi su u tabeli sa T_1 , a koeficijenti težine kriterijuma (kriterijuma 0. ranga) sa T_0 . Početna matrica je konstruisana tako da omogućava standardni zapis problema, bez obzira na to koja će se metoda višekriterijumskog odlučivanja primeniti. Vrednosti karakteristika i parametara kriterijuma određuju se na osnovu merljivih pokazatelja, uvek kada je to moguće, odnosno korišćenjem drugih informacija neophodnih za odlučivanje. Tamo gde to nije moguće izmeriti ili izračunati, ekspertske procene izvršiće kompetentni rukovodioci, odnosno stručnjaci za konkretne oblasti.

Vrednosti kriterijumskih funkcija za konkretan slučaj određuju se na osnovu merenja i podataka iz konkretnog SOd. Uticaj kriterijuma (+ ili -) određuje se na osnovu toga da li je za rešenje konkretnog problema povoljnije da vrednost kriterijuma bude (+) ili (-). Pri određivanju uticaja na nižim nivoima rangiranja vodi se računa o tome kako kriterijum na tom nivou utiče na neposredno viši kriterijum, a ne na objekat razmatranja (varijantu). Važnost kriterijuma oce-

Početna matrica za višekriterijumsko odlučivanje

Kriterijum	Potkrite-rijum	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	T ₁	T ₀
K ₁	K ₁	0,581	0,625	0,619	0,631	3	2
	K ₂	454	455	455	454	2,5	
	K ₃	0,321	0,261	0,253	0,249	-2,5	
	K ₄	15,6	15,3	12,6	11,9	-2,5	
	K ₅	90,5	68,3	69,7	70,1	-2	
	K ₆	45,25	34,15	34,85	35,05	2	
	K ₇	0,0859	0,0615	0,0616	0,0615	-2	
	K ₈	0,145	0,0967	0,0969	0,0967	-1,5	
	K ₉	88,1	87,9	88,1	87,9	-1,2	
	K ₁₀	0,21	0,268	0,313	0,27	-1,5	
	K ₁₁	92,63	91,72	92,33	92,36	3	
	K ₁₂	0,108	0,105	0,105	0,105	-1,5	
	K ₁₃	0	0	0	0	1	
	K ₁₄	0	0	0	0	1	
	K ₁₅	0	0	0	0	-1	
	K ₁₆	0	0	0	0	1	
K ₂	K ₁	56,4	64,4	63,3	64,1	3	2,5
	K ₂	95	95	95	95	2,5	
	K ₃	100	100	100	100	3	
	K ₄	95	95	95	95	2,5	
	K ₅	0,66	0,42	0,41	0,404	1,7	
	K ₆	0,7	0,45	0,44	0,434	2	
	K ₇	21,7	19,4	21,6	21,3	-3	
	K ₈	10	10	10	10	-2,5	
	K ₉	0,718	0,617	0,585	0,573	1,5	
	K ₁₀	5	5	5	5	-1,5	
K ₃	K ₁	0	0	0	0	0	2
	K ₂	0	0	0	0	0	

njuje se ocenama od 1 do 3, pri čemu se vodi računa da to bude »fino ocenjivanje« jednih u odnosu na druge. Posle formiranja početne matrice za višekriterijumsko odlučivanje može se pristupiti korišćenju programa kojim se rešava problem izbora optimalne varijante.

Vrednosti karakteristika i parametara u početnoj matrici za višekriterijumsko odlučivanje za četiri moguće organizaciono-tehnološke varijante SOd, na nivou jedne združene taktičke jedinice, uzete su iz literature [20]. Konkretno vrednosti dobijene su simulacionim eksperimentom na modelu SOd posmatrane jedinice. Varijante se ukratko mogu odrediti na sledeći način:

— A1. Na nivou združene taktičke jedinice izvode se korektivni radovi u trajanju do 10 h i tehnički pregledi, a u slučaju borbenih dejstava rešenje se traži u ispomoći od pretpostavljenog nivoa. Organizaciona struktura je linijsko-štapskog tipa, a rezervni delovi se ešeloniraju na nivou združene taktičke jedinice.

— A2. Na nivou osnovnih taktičkih jedinica izvode se korektivni radovi u trajanju do 10 h i tehnički pregledi, ali se obavlja dehomogenizacija prema manje iskorišćenim TE. Pri tome, angažovanja radna snaga preuzima zadatke od manje angažovanih struka radne snage radi povećanja iskorišćenja. Organizaciona struktura je matričnog tipa, a rezervni delovi se ešeloniraju na nivou združene taktičke jedinice.

Tabela 2

Rezultati primene metode MENOR

TABELA NORMALIZOVANIH INDEKSA POSLE 1. RANGA					
K 1	0	437	518	629	3
K 2	2629	2278	2149	2144	2,5
TABELA NORMALIZOVANIH INDEKSA POSLE 0. RANGA					
K 1	0	276	327	397	2
K 2	714	619	584	583	2,5
UKUPNO	714	895	911	980	
VREDNOST NORMALIZOVANIH INDEKSA					
A 4=980 A 2=895					
A 3=911 A 1=714					
ALTERNATIVE					
A 4 *****					
A 3 *****					
A 2 *****					
A 1 *					

— A3. Na nivou osnovnih taktičkih jedinica izvode se korektivni radovi u trajanju do 10 h i tehnički pregledi, ali se obavlja dehomogenizacija prema manje iskorišćenim TE. Pri tome, angažovanija radna snaga preuzima zadatke od manje angažovanih struka radne snage radi povećanja iskorišćenja. Organizaciona struktura je linijskog tipa, a rezervni delovi se ešeloniraju na nivou osnovne taktičke jedinice.

— A4. Na nivou osnovnih taktičkih jedinica izvode se korektivni radovi u trajanju do 10 h i tehnički pregledi, ali se obavlja dehomogenizacija prema manje iskorišćenim TE. Pri tome, angažovanija radna snaga preuzima zadatke od manje angažovanih struka radne snage radi povećanja iskorišćenja. Organizaciona struktura je matičnog tipa, a rezervni delovi se ešeloniraju na nivou osnovne taktičke jedinice.

Na osnovu izlaza iz računara (tabela 2), jasno je da je najbolje rešenje za konkretni SOD varijanta A4, da je gotovo izjednačeno prate varijante A2. i A3, dok je A1. najlošija. Vrednosti normalizovanih indeksa date su zbog ilustracije načina na koji se primenom metode MENOR vrši upoređenje varijanti. Najveća brojana vrednost normalizovanog indeksa govori o najpovoljnijem krajnjem rešenju, što je slikovito prikazano brojem zvezdica, uz oznaku pojedine varijante.

Zaključak

Cilj ovog rada bio je da se donosiocima karakteristične odluke skрати i olakša put izbora objektivno najboljeg rešenja sistema održavanja. To je učinjeno kreiranjem specifičnog modela za ocenu uspešnosti sistema održavanja i formalizovanjem zapisa postavke problema. Određeni su kriterijumi za ocenu i njihovi uticaji, kao i relativne važnosti kriterijuma i vrednosti potkriterijumskih funkcija na određenim nivoima rangiranja. Poseban značaj razvijenom modelu daje zasnovanost na svetskim dostignućima i standardima vezanim za oblast održavanja tehničkih sredstava. Osim rešenja konkretnog problema daje se i metodološka osnova i preporuka za rešavanje srodnih problema.

Svođenje subjektivizma donosioca odluke na dopustivu meru omogućila je suština primenjene metode višekriterijumskog rangiranja — odlučivanja, delom i kroz omogućavanje uvođenja u razmatranje fizički merljivih veličina. Prednost metode jeste što pruža mogućnost da se kroz detaljno razlaganje kriterijuma na potkriterijume dođe do vrednosti parametara i karakteristika kriterijuma koje su merljive veličine.

Primenljivost i rezultati primene datog modela testirani su i pokazani na primeru više mogućih varijanti karakterističnog sistema održavanja dobijenih simulacionim modelovanjem.

Literatura:

- [1] Brdarević, S.: Uspešnost održavanja, OMO, Beograd, 1988.
- [2] Vasiljević, D.: Koncept totalnog produktivnog održavanja u JIT okruženju, Zbornik radova, XXIII SYMOPIS, Zlatibor, oktobar 1996., str. 600—603.
- [3] Zrnić, Đ.: Fabrička postrojenja, Mašinski fakultet, Beograd, 1990.
- [4] Petković, R., Kokanović, M., Ćirović, M.: Organizacija održavanja TMS, CVVS KoV JNA, Zagreb, 1988.
- [5] Anders, A. A., Potapov, N. M., Šuleškin, A. V.: Projektirovanije zavodov, Mašinostrojenije, Moskva, 1982.
- [6] Grothus, H.: Planiranje troškova održavanja, OMO, Beograd, 1977.
- [7] Vukićević, S.: Skladišta, Preving, Beograd, 1995.
- [8] Standard: JUS IEC 706 — 1,2,3 — Guide on Maintability of Equipment, Bureau Central de la Commision Electrotechnique Internationale, Geneve, 1982.

- [9] AD 750 — 1 Army materiel Maintenance concepts and Policies, 1978, Headquarters, Department of the Army, Washington DC.
- [10] Standard: Predlog SNO 1096/92, 1992, TU GS VJ.
- [11] Ivanović, G., Stanivuković, D.: Pouzdanost analiza i projektovanje, TU SSNO, 1988.
- [12] Todorović, J.: Inženjerstvo održavanja tehničkih sistema, Jugoslovensko društvo za motore i vozila, Beograd, 1993.
- [13] Klarin, M., Ivanović, G., Stanojević, P., Raičević, R.: Principi terotehnoških postupaka, Mašinski fakultet, Beograd, 1994.
- [14] Kolesnik, P. A.: Tehničeskoe obsluživanje i remont avtomobilei, Transport, Moskva, 1976.
- [15] Cunningham, C. E., Coks, W.: Applied Maintainability Engineering, A Wiley-Interscience Publication John Wiley & Sons, 1972.
- [16] Taratuta, A. I., Svržkov, A. A.: Progresivne metodi remonta mašin, Minsk, Urožaj, 1979.
- [17] DoD MIL-STD-1390 A (Level of Repair), Department of Defense USA, 1974.
- [18] Dunn, J. D., Stephens, E. C.: Management of Personnel (Manpower, Management and Organizational Behavior), McGraw-Hill Book Company, New York, 1972.
- [19] Maynard, H. B.: Handbook of Modern Manufacturing Management, Mc Graw — Hill, 1979.
- [20] Stanojević, P.: Uticaj tehničkih faktora na organizacionu strukturu sistema održavanja, Materijal za doktorsku disertaciju, Beograd, 1996.
- [21] Đukić, R.: Rangiranje alternativa metodom normalizacije kriterijumskih funkcija na više nivoa, NTP 6/89, str. 27—32.