Dr Rade Stanković,
potpukovnik, dipl. inž.
Vojnotehnička akademija VJ,
Beograd

ISTRAŽIVANJE UTICAJA RELEVANTNIH FAKTORA NA RASPOLOŽIVOST VOZNOG PARKA

UDC: 62-7.001.573:623.437.4-7

Rezime:

U radu je prikazana procedura za ocenu asimptotske raspoloživosti tehničkih sistema u funkciji relevantnih faktora. Simulirani su procesi preventivnog održavanja i korektivnog obnavljanja. Data je i procena troškova održavanja.

Ključne reči: raspoloživost voznog parka, simulacija, preventivno održavanje, korektivno obnavljanje.

RESEARCH INTO EFFECTS OF RELEVANT FACTORS ON ROLLING STOCK AVAILABILITY

Summary:

The procedure for evaluating asymptotic availability of technical systems depending on relevant factors is presented in this paper. The processes of preventive maintenance and corrective repair are simulated. The estimation of maintenance costs is given as well.

Key words: rolling stock availability, simulation, preventive maintenance, corrective repair.

Osnovne karakteristike raspoloživosti transportnih sredstava

Međunarodni standard Dependability and Quality of Service IEC 50 (191) od 1990. godine detaljno obrazlaže karakteristike raspoloživosti, kao integrativnog svojstva pouzdanosti (inherentne i realizovane), pogodnosti tehničkih sistema za održavanje i kvaliteta realizacije logističke podrške održavanja, i definiše ga kao sposobnost objekta da može da obavi potrebnu funkciju pri datim uslovima u datom trenutku ili u bilo kojem trenutku datog intervala, podrazumevajući da su obezbeđeni potrebni spoljni resursi [1].

To znači da se raspoloživost ostvaruje kao uslovna verovatnoća, odnosno proizvod verovatnoća spremnosti „instantaneous availability“ za vršenje funkcije transportnih sredstava u datom trenutku ili nekom trenutku datog intervala $A(t)$ i verovatnoće bezotkaznog rada celine sistema tehničke eksploatacije (reliability) u zadanom intervalu $R(t_1, t_2)$:

$$A(t_1, t_2) = A(t) \cdot R(t_1, t_2) \quad (1)$$

U pomenutom standardu [1] definisane su sledeće karakteristike raspoloživosti:

– trenutna raspoloživost (instantaneous availability), $A(t)$;

- trenutna neraspoloživost (instantaneous unavailability), $U(t)$;
- srednja raspoloživost (mean availability), $A(t_1, t_2)$;
- srednja neraspoloživost (mean unavailability), $U(t_1, t_2)$;
- asimptotska (granična) raspoloživost (asymptotic availability), A ;
- asimptotska (granična) neraspoloživost (asymptotic unavailability), U ;
- asimptotska (granična) srednja raspoloživost (asymptotic mean availability), A ;
- asimptotska (granična) srednja neraspoloživost (asymptotic mean unavailability), U ;
- srednje vreme raspoloživosti (mean up time – MUT), SVR;
- srednje vreme neraspoloživosti (mean down time – MDT), SVN i
- srednje ukupno vreme neraspoloživosti (mean accumulated down time – MADT, SUVN).

Kao što se vidi, postoje značajne razlike između pojmova, definisanih u prethodnoj varijanti standarda iz 1984. godine pod nazivom „Pouzdanost, pogodnost za održavanje i upotrebnii kvalitet“, koji se široko koriste u literaturi i stručnoj javnosti i navedenih, koji su definisani u IEC Rečniku pod nazivom Dependability and Quality of Service IEC 50 (191) pre gotovo devet godina.

Trenutna raspoloživost (spremnost) definiše se kao verovatnoća da neki objekat može obavljati zahtevanu funkciju pod propisanim uslovima u datom trenutku, s tim da se podrazumeva da su obezbeđeni neophodni spoljni resursi. Trenutna raspoloživost je slučajno promenljiva veličina i jednaka je sumi verovatnoća realizacije dva nezavisna događaja [2]:

- objekt u vremenu $(0, t)$ nije otkazivao,

- objekt je otkazivao, obnovljen je i posle poslednje popravke više nije otkazivao.

Verovatnoća pojave prvog događaja jednaka je verovatnoći bezotkaznog rada $R(t)$ objekta u toku vremena $(0, t)$. Za određivanje verovatnoće pojave drugog događaja treba razmotriti mali interval $(\tau, \tau + \Delta\tau)$, koji je prethodio t . Verovatnoća da se na tom intervalu završi poslednja, n -ta popravka i objekat više ne otkáže na preostalom vremenu $(t - \tau)$, jednaka je:

$$f_{on}(\tau)d\tau R(t - \tau) \quad (2)$$

Sumiranjem za sve $n = 1, 2, \dots$, dobija se:

$$\sum_{n=1}^{\infty} f_{on}(\tau)d\tau R(t - \tau) = \omega_0(\tau)d\tau R(t - \tau) \quad (3)$$

gde je $\omega_0(\tau)$ – parametar potoka obnavljanja.

Posle integracije po τ od 0 do t , dobija se:

$$\int_0^t R(t - \tau)\omega_0(\tau)d\tau \quad (4)$$

pa je funkcija trenutne (nestacionarne) raspoloživosti jednaka:

$$A(t) = R(t) + \int_0^t R(t - \tau)\omega_0(\tau)d\tau \quad (5)$$

Očigledno je da realizacije trenutne raspoloživosti u različitim trenucima mogu imati različite vrednosti. Zbog toga se trenutna raspoloživost razmatra kao slučajno promenljiva koja ima odgovarajuću raspodelu verovatnoća sa pripadajućim parametrima, što, pored ostalog, zavisi od intenziteta i uslova eksploatacije, kvaliteta realizacije opsluživanja i održava-

nja, itd. Realizacije trenutne raspoloživosti mogu statistički da se ocene količnikom trenutno raspoloživih i ukupnog broja sredstava za rad. U uslovima informacione podrške koja omogućuje „on line“ upravljanje procesima transporta, ovaj model može se uspešno primeniti.

Trenutna neraspoloživost $U(t)$ jeste verovatnoća da objekat ne može obavljati zahtevanu funkciju pod propisanim uslovima u datom trenutku, pri čemu se podrazumeva da su obezbeđeni neophodni spoljni resursi.

Srednja raspoloživost $A(t_1, t_2)$ jeste srednja vrednost trenutnih raspoloživosti u datom intervalu (t_1, t_2) . Veza između srednje i trenutne raspoloživosti data je izrazom:

$$A(t_1, t_2) = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} A(t) dt \quad (6)$$

Polazeći od činjenice da srednja raspoloživost zavisi od trenutne raspoloživosti (broja spremnih vozila na početku radnog vremena) i verovatnoće bezotkaznog rada u intervalu (t_1, t_2) , koji zbog praktičnih razloga može da bude jednak dnevnom radnom vremenu τ , srednja dnevna raspoloživost za jednu konkretnu transportnu organizaciju koja raspolaže sa N_i transportnih sredstava i koja izvršava k transportnih usluga u toku radnog vremena τ , može da se odredi korišćenjem sledećeg izraza [3]:

$$A(\tau) = A(t) \cdot R(\tau) = \frac{N_s}{N_i} \cdot \frac{\sum_{r=1}^n N_r \cdot K_p + \sum_{j=1}^m N_j \cdot K_{do}}{\sum_{k=1}^{m+n} N_k \cdot K_p}, \quad (7)$$

gde su:

N_k – broj angažovanih vozila u toku dana,
 N_r – vozila koja su u toku dana radila bez otkaza,

N_j – vozila koja su u toku dana otkazala,

K_p – planirani broj pređenih kilometara,

K_{do} – broj pređenih kilometara do otkaza,

n – broj vozila koja su ispunila plan, i

m – broj vozila koja su otkazala u toku dana.

Korišćenjem ovog izraza može se odrediti srednja dnevna raspoloživost voznog parka. I ova veličina je slučajno promenljiva za konkretnu homogenu konstrukcijsko-tehnološku-eksploatacionu grupu transportnih sredstava. Broj raspoloživih vozila zavisi od raspoloživosti, bezotkaznosti i proizvodnih mogućnosti podsistema tehničke eksploatacije (uskladenosti intenziteta otkazivanja vozila i intenziteta obnavljanja).

Srednja neraspoloživost $U(t_1, t_2)$ jeste srednja vrednost neraspoloživosti u datom intervalu (t_1, t_2) . Veza između srednje i trenutne neraspoloživosti $U(t)$ data je izrazom:

$$U(t_1, t_2) = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} U(t) dt \quad (8)$$

Asimptotska (granična) raspoloživost A je granična vrednost, ako postoji, trenutne raspoloživosti kada vreme teži beskonačnosti. Ovaj pojam odgovara do sada korišćenom pojmu „operativna raspoloživost“. U uslovima kao što su, na primer, konstantan intenzitet otkaza i konstantan intenzitet obnavljanja, asimptotska raspoloživost može da se izračuna korišćenjem izraza:

$$A = \frac{SVR}{SVR + SVN} \quad (9)$$

Upotrebljene oznake imaju sledeća značenja:

SVR – srednje vreme raspoloživosti (mean up time, MUT) jeste matematičko očekivanje vremena u radno sposobnom stanju objekta;

SVN – srednje vreme neraspoloživosti (mean down time, MDT) jeste matematičko očekivanje vremena neraspoloživosti. Vreme neraspoloživosti sadrži vreme preventivnog održavanja i korektivnog obnavljanja, kao i sva vremena zadržavanja objekta zbog organizacijskih razloga ili neadekvatne logističke podrške održavanja.

Izraz (11) dobija se iz jednačine kojom se određuje verovatnoća da je transportno sredstvo radno sposobno u trenutku t i da će raditi bez otkaza na zadatom intervalu $(t, t + \tau)$ [2]:

$$A(t, t + \tau) = R(t + \tau) + \int_0^t R(t + \tau - x) \cdot \omega_0(x) dx \quad (10)$$

Pri $\tau \rightarrow \infty$, funkcija $A(t, t + \tau)$ prelazi u uslovnu verovatnoću bezotkaznog rada objekta, realizovanu pod pretpostavkom da je u momentu t objekt radno sposoban.

Stacionarno stanje ima izraz:

$$A_{st}(\tau) = \lim_{t \rightarrow \infty} A(t, t + \tau) = \frac{1}{SVR + SVN} \cdot \int_{\tau}^{\infty} R(x) dx = A \cdot \frac{1}{SVN} \int_{\tau}^{\infty} R(x) dx \quad (11)$$

gde je: $A = \frac{SVR}{SVR + SVN}$

Primena formule (11) najčešće je povezana sa nizom teškoća. Konačne formule za konkretnu raspodelu vremena

rada između otkaza mogu se dati samo u nekim specifičnim slučajevima, na primer za eksponencijalnu raspodelu vremena rada između otkaza i vremena obnavljanja:

$$A(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{\mu + \lambda} \cdot e^{-(\mu + \lambda)t} \quad (12)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} A(t) = \frac{\mu}{\mu + \lambda} = \frac{SVR}{SVR + SVN} \quad (13)$$

Treba napomenuti da se iz izraza (13) može zaključiti da je veličina asimptotske raspoloživosti direktno određena intenzitetom potoka otkaza (λ) i intenzitetom potoka obnavljanja (μ) i da se ista vrednost raspoloživosti može dobiti za različite odnose ova dva faktora. Tako se može dogoditi da transportna sredstva koja imaju iste karakteristike pouzdanosti (vreme u radu i vreme u otkazu) pokazuju visoke vrednosti raspoloživosti u organizacijama (jedinicama) u kojima transportna sredstva imaju relativno mali intenzitet korišćenja, a niske vrednosti raspoloživosti u organizacijama u kojima se sredstva koriste većim intenzitetom. Ovako definisana raspoloživost ne zavisi od režima eksploatacije, pa se ne mogu vršiti komparacije između vozila i još manje između transportnih organizacija (jedinica).

Asimptotska (granična) neraspoloživost U je granična vrednost trenutne neraspoloživosti kada vreme teži beskonačnosti.

Relevantni uticajni faktori

Nivo raspoloživosti zavisi od realizovanih performansi pouzdanosti, pogodnosti za održavanje i kvaliteta logističke podrške održavanja.

$$A = f[R(t), P_o, LPO] \quad (14)$$

Pouzdanost transportnih sredstava $R(t)$ zavisi od nivoa ugrađenog (inherentnog) kvaliteta, kompleksa uslova eksploatacije i kvaliteta održavanja i opravki.

$$R(t) = f(R_i, U_e, KO), \quad (15)$$

gde su:

R_i – inherentna pouzdanost,

U_e – kompleks uslova eksploatacije,

KO – kvalitet održavanja i obnavljanja.

Uslovi eksploatacije imaju dominantan uticaj na brzinu razvoja degradacionih procesa. Sistem vozač – transportno sredstvo funkcioniše u vrlo složenim uslovima okoline koji se neprestano menjaju u prostoru i vremenu. Režimi rada i opterećenja sklopova (a time i intenziteti promene tehničkog stanja) direktno, u većoj ili manjoj meri, zavise od kvaliteta puteva, opterećenosti vozila, temperature okoline, gustine saobraćaja, veštine vozača, itd.

Pogodnost održavanja P_o , kao svojstvo objekta, definiše se kao sposobnost objekta da pod datim uslovima korišćenja bude zadržan ili vraćen u stanje u kojem može obavljati zahtevanu funkciju, kada se održavanje obavlja pod datim uslovima, odnosno po propisanoj proceduri i uz korišćenje odgovarajućih sredstava. To je svojstvo objekta, definisano u fazi konstrukcije i obezbeđeno u fazi proizvodnje, koje omogućuje realizaciju dijagnostike tehničkog stanja, preventivnog održavanja i opravki za određeno vreme. To je skup konstrukcijskih karakteristika koje utiču na trajanje održavanja, i predstavlja „unutrašnje“ svojstvo objekta. Što su navedena vremena kraća, pogodnost održavanja je bolja. Aktivnosti vezane za

obezbeđenje pogodnosti za održavanje obavljaju se tokom celog životnog ciklusa sistema, uz potrebnu saradnju naručioca, projektanata, proizvođača, korisnika i službi za održavanje.

Logistička podrška održavanja (LPO) definiše se kao sposobnost sistema održavanja da, pod zadatim uslovima, obezbedi, u slučaju potrebe, potrebna sredstva za održavanje tehničkog sistema, u okviru date politike održavanja [1]. Kvalitet logističke podrške održavanja zavisi od niza faktora:

$$LPO = f(PO; OR, IS, K, O, P, Doc, Rd, Ie...), \quad (16)$$

gde su:

PO – politika održavanja, OR – organizacija rada, IS – informacioni sistem, K – kadar, O – oprema, P – prostor, Rd – snabdevenost rezervnim delovima, kvalitet rezervnih delova, Doc – dokumentacija, Ie – intenzitet eksploatacije, itd.

Svi navedeni faktori utiču na trajanje vremena raspoloživosti (vremena „u radu“) i vremena neraspoloživosti (vremena „u otkazu“), čijim odnosom je, kako se vidi iz izraza 9, definisana asimptotska raspoloživost. Standardom [1] definisana su stanja objekta (slika 1), strukture vremena preventivnog održavanja (slika 2) i korektivnog obnavljanja (slika 3).

Kao što se vidi, raspoloživost zavisi od velikog broja faktora i zato je integrativan pokazatelj ugrađenih svojstava transportnih sredstava i ostvarenog nivoa kvaliteta eksploatacije i održavanja. Uspostavljanje matematičkih relacija između navedenih faktora je složen problem, za čije rešavanje bi bila nužna značajna pojednostavljenja. U ovom radu

Vreme administrativnog zastoja	Vreme preventivnog održavanja	
	Vreme logističkog zastoja	Vreme aktivnog preventivnog održavanja

Sl. 1 – Klasifikacija stanja objekta

Vreme administrativnog zastoja	Vreme korektivnog obnavljanja				
	Vreme logističkog zastoja	Vreme aktivnog korektivnog obnavljanja			
		Vreme tehničkog zastoja	Vreme popravke		
			Vreme lokalizacije otkaza	Vreme otklanjanja otkaza	Vreme provere funkcionisanja

Sl. 2 – Struktura vremena preventivnog održavanja

Sl. 3 – Struktura vremena korektivnog obnavljanja

nastojalo se naći rešenje primenom metode simulacije (imitacionog modeliranja).

Model za istraživanje uticaja relevantnih parametara na asimptotsku raspoloživost

Model je rađen radi uspostavljanja kompleksnih odnosa između elemenata sistema i istraživanja uticaja navedenih parametara na asimptotsku raspoloživost voznog parka na osnovu rezultata eksperimentalnog istraživanja, odnosno iniciranja puteva za usavršavanje postojećeg sistema. U vezi s tim nastojao se obezbediti zadovoljavajući (što verniji) opis relevantnih elemenata stvarnog sistema održavanja tms u VJ.

U radu je razmatran tehnički sistem od pet elemenata. Na svakom elementu vrši se održavanje prema stanju, odnosno, pregledi tehničkog stanja obavljaju se po definisanim procedurama u okviru osnovnog i tehničkog održavanja. Pregledi iz domena osnovnog održavanja obavljaju se pre, za vreme i posle upotrebe i periodično, u pravilu jednom mesečno. Iz domena tehničkog održavanja obavljaju se prvi i drugi tehnički pregledi. Usvojen je faktor (kratnost) između II i I tehničkog pregleda $k = 5$, što znači da se umesto svakog petog I tehničkog pregleda vrši II tehnički pregled koji sadrži i sve radove I tehničkog pregleda. Na primer, ako se prvi tehnički pregled obavlja posle svakih 3 000 km, drugi tehnički pregled se vrši posle svakih 15 000 km. Tehničko stanje svakog elementa prati se uz pomoć odgovarajuće dijagnostičke opreme, diskretnom kontrolom stanja na pomenutim tehničkim pregledima. Na osnovu rezultata dijagnostike tehničkog stanja i poznatog matematičkog očekivanja procesa promene tehničkog stanja,

vrši se prognoza preostalog vremena rada elementa do otkaza na intervalu h i s verovatnoćom p . Kontrola stanja obavlja se za određeno vreme t_k i uzrokuje troškove c_k . Pretpostavljeno je da je za svaki element poznata funkcija gustine raspodele vremena rada do otkaza $F(t) = P(t < T)$.

Na osnovu rezultata kontrole tehničkog stanja donosi se odluka o preventivnoj zameni onih elemenata čiji se otkaz očekuje s verovatnoćom p , u intervalu do sledeće kontrole stanja. Preventivna zamena obavlja se za određeno vreme t_{pz} . Kako to vreme zavisi od više uticajnih faktora, tretira se kao slučajna veličina koja ima svoju funkciju raspodele $F(t_{pz}) = P(t_{pzi} < t)$. Troškovi, koji nastaju usled preventivne zamene, takođe nisu determinisane vrednosti, odnosno imaju svoju funkciju raspodele $F(c_{pz}) = P(c_{pzi} < c)$.

Ako neki od elemenata otkaze između dva tehnička pregleda (dve kontrole stanja), što je posledica nedovoljno tačne dijagnostike i prognoze stanja, vrše se opravke, odnosno vraćanje iz stanja neraspoloživosti u stanje raspoloživosti.

Vreme stanja neraspoloživosti zbog unutrašnjih razloga (stanja „u otkazu“) zavisi od niza faktora (lokacije vozila na zadatku u trenutku pojave otkaza, kapaciteta sistema za održavanje, organizacije rada, snabdevenosti rezervnim delovima, prilagođenosti sredstva za dijagnostiku i održavanje, itd.). Zbog toga je to vreme slučajna veličina koja ima odgovarajuću funkciju raspodele $F(t_{ko}) = P(t_{ko_i} < t)$. Takođe, i troškovi, uzrokovani opravkama i neraspoloživošću tehničkog sistema za eksploataciju, pokoravaju se zakonu raspodele $F(c_{ko}) = P(c_{ko_i} < c)$.

Na osnovu ovakvog rezonovanja izrađen je program za simulaciju čiji je uprošćeni blok-dijagram prikazan na slici 4.

Sl. 4 – Uprošćeni blok-dijagram simulacionog modela

Rezultati

Veći broj eksperimenata izveden je sa obrazloženim modelom. Varirane su vrednosti parametara sledećih uticajnih faktora: periodičnost realizacije tehničkih pregleda, širina intervala h s mogućnošću prognoze tehničkog stanja, verovatnoća uspešnosti prognoze tehničkog stanja p u datom intervalu h , verovatnoća otkrivanja simptoma potencijalnog otkaza na dnevnim ili periodičnim pregledima p_o i preventivno delovanje u okviru osnovnog ili tehničkog održavanja radi sprečavanja pojave otkaza, verovatnoća snabdevenosti rezervnim delovima, intenzitet eksploatacije motornih vozila (km/god.), itd. Deo dobijenih rezultata, za konkretne ulazne podatke prikazane u tabeli, za relevantne faktore, o kojima se govorilo pri opisu modela, prikazan je na slikama 5 do 10.

Tabela

Početni podaci za simulaciju

Redni broj elementa	Parametri raspodele		
	Vreme rada do otkaza	Vreme realizacije PO	Vreme neraspoloživosti
1.	$\beta_1 = 1.85;$ $\Theta_1 = 28265 \text{ km}$	$t_{pol} = 5 \text{ h}$ $\bar{s}_{po1} = 1.5 \text{ h}$	$t_{ner1} = 120 \text{ h}$ $\bar{s}_{ner1} = 40 \text{ h}$
2.	$\beta_2 = 2.30;$ $\Theta_2 = 36279 \text{ km}$	$t_{po2} = 4 \text{ h}$ $\bar{s}_{po2} = 1.5 \text{ h}$	$t_{ner2} = 50 \text{ h}$ $\bar{s}_{ner2} = 8 \text{ h}$
3.	$\beta_3 = 1.30;$ $\Theta_3 = 13405 \text{ km}$	$t_{po3} = 9 \text{ h}$ $\bar{s}_{po3} = 2.0 \text{ h}$	$t_{ner3} = 88 \text{ h}$ $\bar{s}_{ner3} = 10 \text{ h}$
4.	$\beta_4 = 1.90;$ $\Theta_4 = 20000 \text{ km}$	$t_{po4} = 8 \text{ h}$ $\bar{s}_{po4} = 2.0 \text{ h}$	$t_{ner4} = 100 \text{ h}$ $\bar{s}_{ner4} = 15 \text{ h}$
5.	$\beta_5 = 1.20;$ $\Theta_5 = 8000 \text{ km}$	$t_{po5} = 4 \text{ h}$ $\bar{s}_{po5} = 2 \text{ h}$	$t_{ner5} = 86 \text{ h}$ $\bar{s}_{ner5} = 12 \text{ h}$
Intenzitet upotrebe sistema $t_{up} = 1500 \text{ km}; \bar{s}_{up} = 300 \text{ km}$			
Periodičnost I tp $t_I = 3000 \text{ km}; \bar{s}_I = 200 \text{ km}$			
Periodičnost II tp $t_{II} = 15000 \text{ km}; \bar{s}_{II} = 500 \text{ km}$			
Vreme realizacije I tp $t_{rI} = 12 \text{ h}; \bar{s}_I = 3 \text{ h}$			
Vreme realizacije II tp $t_{rII} = 32 \text{ h}; \bar{s}_{II} = 5 \text{ h}$			

Na slici 5 prikazani su sumarni rezultati: asimptotska raspoloživost i ukupni troškovi održavanja sistema za pretpostavljene vrednosti zamenjenih delova, troškova dijagnostike tehničkog stanja, troškova radne snage i sl. Kao što se vidi, postoji interval u kome se mogu izabrati periodičnosti realizacije prvog i drugog tehničkog pregleda kojima se, uz minimalne ukupne troškove, obezbeđuje visok nivo asimptotske raspoloživosti.

Na slici 6 prikazana je struktura vremena preventivnog održavanja i vremena realizacije korektivnih postupaka uz sva vremena čekanja (vremena neraspoloživosti zbog unutrašnjih razloga ili vremena „u otkazu“) u funkciji periodičnosti realizacije tehničkih pregleda. Uočava se veliki postotak vremena neraspoloživosti vozila zbog otkaza i velikog učešća vremena za realizaciju prvog tehničkog pregleda u vremenu preventivnog održavanja. Očito je da se promenom strukture intervencija odnosi ovih vremena mogu radikalno promeniti. To podrazumeva povećanje broja „sprečenih otkaza“ preventivnim održavanjem, na osnovu rezultata dijagnostike i prognoze tehničkog stanja u narednom intervalu eksploatacije. To je pokazano na slici 7, gde su prikazani uticaji širine intervala s mogućnošću prognoze tehničkog stanja s verovatnoćom p . Sa povećanjem intervala s mogućnošću uspešne prognoze tehničkog stanja, što čini osnovu za donošenje odluke o vremenu i obliku preventivne intervencije, znatno se menjaju procenti sprečenih i realizovanih otkaza, a time i procenti vremena i asimptotske raspoloživosti. Iz toga slede zaključci da su: analiza uzroka i posledica otkaza, izučavanje modela nastanka otkaza svih relevantnih elemenata tehničkog sistema, nabavka odgovarajuće dijagnostičke

Sl. 5 – Krive asimptotske raspoloživosti i ukupnih troškova održavanja u funkciji periodičnosti realizacije tehničkih pregleda

Sl. 6 – Struktura vremena održavanja i obnavljanja u funkciji periodičnosti realizacije tehničkih pregleda

Sl. 7 – Uticaj širine intervala s mogućnošću prognoze tehničkog stanja elemenata na raspoloživost sistema:

1 – raspoloživost sistema, 2 – suma vremena preventivnog održavanja [%], 3 – vreme realizacije preventivnih zamena, 4 – vreme realizacije prvog tehničkog pregleda, 5 – vreme realizacije drugog tehničkog pregleda, 6 – vreme korektivnog obnavljanja, 7 – broj otkaza, sprečenih preventivnim održavanjem, 8 – broj otkrivenih otkaza na prvom tehničkom pregledu, 9 – broj otkrivenih otkaza na drugom tehničkom pregledu, 10 – broj otkaza otklonjenih korektivnim obnavljanjem

opreme, obuka kadra za njihovu upotrebu i sl. osnovni pravci delovanja u sistemu održavanja koji mogu da doprinesu radikalnim promenama sadašnjeg stanja.

Na slici 8 prikazan je uticaj nivoa snabdevenosti rezervnim delovima na odnose vremena PO i KO, odnosno na asimptotsku raspoloživost razmatrane grupe tehničkih sistema. Kao što se zna, a što je pokazano i rezultatima ove analize, optimiziranje zaliha rezervnih delova prema intenzitetima otkaza elemenata i programima preventivnog održavanja u realnim uslovima eksploatacije (intenzitet eksploatacije, uslovi rada, kvalitet održavanja, kvalitet rada operatora i sl.) jedini

je put kojim se ukupno vreme nerasploživosti može znatno skratiti, a na taj način povećati raspoloživost sistema.

Na slici 9 prikazane su promene nekih od navedenih pokazatelja u funkciji kvaliteta kontinuiranog praćenja stanja elemenata transportnih sredstava u procesima eksploatacije i osnovnog održavanja, izražene kroz verovatnoće pravovremenog otkrivanja poremećaja i realizacije potrebnih aktivnosti preventivnog ili korektivnog karaktera od strane neposrednih korisnika, odnosno pravovremenog upućivanja na održavanje na višem nivou.

Sa slike se uočava da se, s povećanjem verovatnoće detekcije i predviđanja otkaza u procesu upotrebe i osnovnog

Sl. 8 – Uticaj snabdevenosti rezervnim delovima na raspoloživost sistema

Sl. 9 – Uticaj kvaliteta realizacije osnovnog održavanja na raspoloživost sistema

održavanja, može bitno uticati na strukturu broja i vremena preventivnih i korektivnih intervencija, a na taj način i na vrednosti asimptotske (operativne) raspoloživosti.

Iz navedenog proizilazi da svim aktivnostima eksploatacije i osnovnog održavanja u procesu upotrebe treba posvetiti odgovarajuću pažnju, kako u smislu realizacije u praksi, tako i u smislu kontinuiranog usavršavanja.

Teoretska i praktična dostignuća iz oblasti pouzdanosti, tribologije, dijagnostike, održavanja i sl. ne daju za sada optimalne odgovore na suštinska pitanja: šta, zašto, kada, koliko i kako raditi, što su osnovna ograničenja pri izboru i realizaciji upravljačkih odluka u sistemu eksploatacije i održavanja transportnih sredstava.

Realno, u sadašnjim uslovima, tehnička služba za najveći broj elemenata transportnih sredstava objektivno ne može da dâ tačnu ocenu trenutnih stanja elemenata, kao ni prognozu stanja na nekom intervalu budućeg rada. Zbog toga je značaj rada neposrednih korisnika veoma izražen i možda, u sadašnjim uslovima, predstavlja jedno od realno mogućih rešenja. Veliki deo problema odgađanja trenutka pojave otkaza (racionalizacijom postupaka upotrebe transportnih sredstava sa aspekta intenziteta razvoja degradacionih procesa, odnosno smanjenjem intenziteta promene tehničkog stanja, opsluživanjem eksploatacionim materijalima po strogo definisanim procedurama, posebno u terenskim uslovima i sl.), sprečavanja pojave otkaza (preventivnim akcijama održavanja ili pravovre-

Sl. 10 – Struktura troškova održavanja i obnavljanja u funkciji periodičnosti realizacije tehničkih pregleda:

1 – ukupni troškovi održavanja i obnavljanja, 2 – ukupni troškovi korektivnog obnavljanja, 3 – ukupni troškovi preventivnog održavanja, 4 – troškovi prvog tehničkog pregleda, 5 – troškovi drugog tehničkog pregleda, 6 – troškovi preventivnih zamena

menim upućivanjem na više nivoe) i vraćanja iz stanja neraspoloživosti (iz stanja „u otkazu“) u raspoloživo stanje (stanje „u radu“) praktično se može rešavati u fazi eksploatacije i osnovnog održavanja.

Kvalitetnom realizacijom navedenih aktivnosti, neposredni korisnici mogu da daju veliki doprinos održavanju zadovoljavajućeg tehničkog stanja transportnih sredstava, smanjenju broja otkaza u toku realizacije zadataka, povećanju bezbednosti transportnih sredstava, putnika i tereta, povećanju proizvodnosti transportnih sredstava, povećanju efektivnosti eksploatacije transportnih sredstava, obezbeđenju potrebnih podataka za informacioni sistem, rasterećenju kapaciteta viših nivoa, pre svega tehničkog održavanja, itd. Kroz realizaciju ovih aktivnosti povećava se i odgovornost vozača kao neposrednih izvršioca transportnih zadataka. Pitanje je, međutim, da li osnovno održavanje, po sadašnjem modelu organizacije i funkcionisanja, može uspešno da realizuje navedene zadatke ili su nužne odgovarajuće promene. Mišljenje autora je da osnovno održavanje po važećem modelu ne može da realizuje navedene zadatke na način koji garantuje iskorišćenje komentarisanih mogućnosti, odnosno ne može da dâ odgovarajući doprinos upravljanju tehničkim stanjem transportnih sredstava. U tom smislu su neophodne radikalne promene sadašnjeg modela.

Struktura troškova održavanja i opravki prikazana je na slici 10. Troškovi neraspoloživosti (opravki i gubitaka zbog neraspoloživosti tehničkog sistema) brzo rastu s povećanjem periodičnosti realizacije tehničkih pregleda, što je uzrokovano povećanjem broja korektivnih intervencija. Očito je da za povećanje periodičnosti kontrole tehničkog stanja moraju da budu

ispunjeni i osnovni uslovi, odnosno da se povećaju intervali h na kojima se može prognozirati stanje s verovatnoćom p .

Zaključak

Asimptotska raspoloživost tehničkih sistema, kao kompleksni pokazatelj inherentnog kvaliteta, kvaliteta eksploatacije, čuvanja, održavanja i opravki, zahteva stalno praćenje i izučavanje stepena uticaja svih relevantnih faktora, radi pravovremenog uočavanja i otklanjanja uzroka smanjenja ispod granica dozvoljenih odstupanja. U vezi s tim neophodno je razviti takav informacioni sistem koji će omogućiti skladištenje i analizu podataka o svim vremenima, definisanim standardom IEC 50(191).

Metoda simulacije može uspešno da se primeni za ocenu asimptotske raspoloživosti i troškova preventivnog održavanja i opravki u funkciji relevantnih uticajnih faktora. Ocenjeni pokazatelji mogu se koristiti u procesu donošenja odluka, odnosno u toku upravljanja procesima eksploatacije, održavanja i obnavljanja tehničkih sistema.

Literatura:

- [1] Internacional standard, Vocabulary, Chapter 191: Dependability and quality of service, IEC, First edition, 1990-12.
- [2] Družinin, G. V.: Nadežnost avtomatizovanih proizvodstvenih sistem, četvrto prerađeno i dopunjeno izdanje, Energoinvest, Moskva, 1986.
- [3] Bunčić, S.: Prilog definisanju upravljanja tehničkom eksploatacijom u autotransportnom preduzeću, SYM-OP-IS '94, Kotor, 1994.
- [4] Radovanović, V., Filipović, S., Stanković, R.: Primena međunarodnih standarda u sistemskoj analizi kvaliteta transportnih usluga, Tehnika saobraćaj, 1986.
- [5] Todorović, J.: Inženjerstvo održavanja tehničkih sistema, JUMV, Beograd, 1993.
- [6] Radovanović, V.: Istraživanje uzajamnih veza između stohastičke funkcije zahteva za tehničkim održavanjem i tekućim opravkama i resursa proizvodno-tehničkih baza – razrada matematičkih modela, Saobraćajni fakultet, Beograd, 1979.