

ANALIZA KVANTITATIVNIH POKAZATELJA EFEKTIVNOSTI SISTEMA SAKUPLJANJA I IZVOŽENJA SMEĆA NA REALNOM MODELU

Mr Goran Radoičić, dipl. inž.
JKP „Mediana“ Niš

Blagoje Vujović, inž. maš.
JKP „Mediana“ Niš

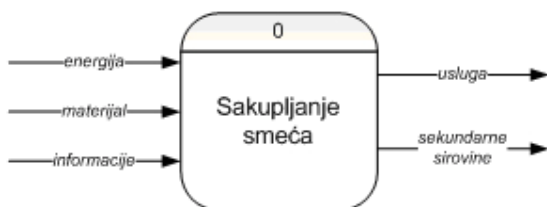
Goran Stojanović, inž. maš.
JKP „Mediana“ Niš

U ovom radu je prikazana analiza pokazatelja efektivnosti jednog realnog radnog sistema. Reč je o sistemu sakupljanja i izvoženja smeća u gradu Nišu. Analiza uključuje pokazatelje efektivnosti i to: srednje vreme u otkazu, srednje vreme između otkaza, operativnu gotovost i pouzdanost, koji karakterišu aktualni sistem sakupljanja i izvoženja smeća. U radu su korišćene matematičke i statističke metode za obradu uzoraka.

Ključne reči: sistem, efektivnost, stanje u radu, stanje u otkazu, broj intervala u otkazu, srednje vreme u otkazu, srednje vreme između otkaza, operativna gotovost, pouzdanost

UVOD

Sistem sakupljanja i izvoženja smeća (slika 1) predstavlja jedan složeni radni sistem, koji svoje ulazne veličine (energiju, materijal i informacije) unutar procesa pretvara u izlazne (uslugu i proizvod). Konkretno, izlazne veličine ovog sistema su usluga izvoženja smeća koja se pruža građanima i proizvod, tačnije sekundarne sirovine, koji se transformišu u ulaznu veličinu novog sistema pod nazivom reciklaža otpada.



Slika 1

U okviru sistema sa slike 1 nalazi se sistem transportnih sredstava. On sadrži $n_A=22$ specijalna vozila za sakupljanje i odvoz smeća.

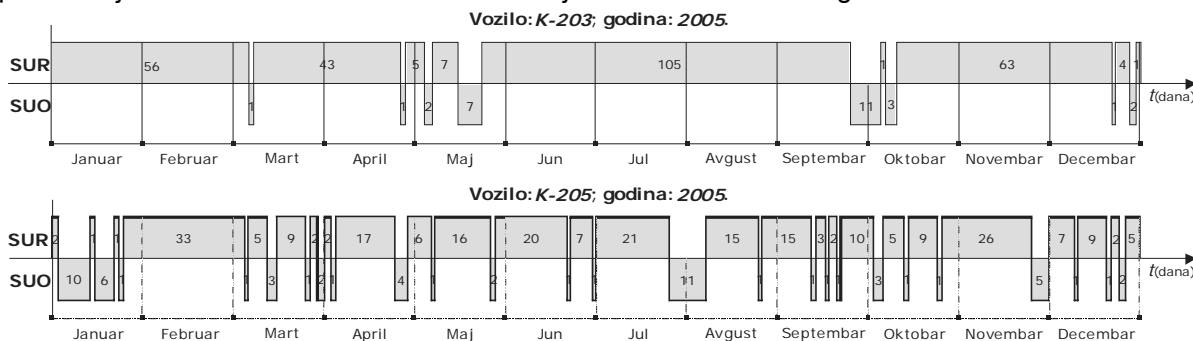
Sistem ćemo nazvati „Auto-smećari“ (A). Sistem A treba da izvršava zadataku funkciju cilja

FC: sakupljanje i izvoženje smeća na teritoriji grada sa blizu 230.000 korisnika (grad Niš), pri čemu je broj korisnika dobijen množenjem broja mesečno ispostavljenih računara i prosečnog broja članova jednog domaćinstva. Za izvršavanje zadate funkcije cilja ne mogu se koristiti druga vozila osim onih koja se nalaze unutar posmatranog sistema. Funkcija cilja FC se ostvaruje ciklično svakodnevnim korišćenjem $n_d=12$ specijalnih vozila iz sistema A. Trajanje ciklusa iznosi 6 dana u nedelji. Analizom rada vozila je utvrđeno da jedno vozilo u proseku radi $t_d=10,25$ časova dnevno. Posmatrajući godišnji ciklus izvršavanja funkcije cilja možemo zaključiti da isti ima $d=313$ radnih dana, odnosno: $d \cdot n_d = 313 \cdot 12 = 3756$ [vozilo/god] ili $(d \cdot n_d) \cdot t_d = 3756 \cdot 10,25 = 38499$ [čas/god].

Funkcija cilja FC ostvaruje se primenom modela „parnih“ i „neparnih dana“. Ovaj model se već duže vremena primenjuje u JKP „Mediana“ u okviru sistema odvoza smeća i on, pre svega, reguliše iskorišćenje radnih, odnosno ljudskih, a manje tehničkih resursa. Sa aspekta ostvarivanja funkcije cilja, grad je podeljen na reone „za kante“ i reone „za kontejnere“. U delu rada koji se odnosi na određivanje pouzdanosti, model će biti detaljnije predstavljen grafički korišćenjem *Reliability Block Diagram*-a (RBD) i matematički. U slučaju ovako definisanog sistema, korišćenjem

podataka iz baze realnog informacionog sistema, možemo izračunati kvantitativne pokazatelje efektivnosti kao što su: srednje

vreme u otkazu, srednje vreme između otkaza, operativna gotovost, pouzdanost pojedinačnih vozila kao i čitavog sistema A.



Slika 2

VREMENSKA SLIKA STANJA

U opštem slučaju vremenska slika stanja elemenata sistema, pa i čitavog sistema, sadrži naizmeničnu promenu dva osnovna stanja, stanja u radu i stanja u otkazu /1/. U okviru ovih osnovnih vremenskih stanja mogu se javiti i specifični oblici vremenskog stanja, npr. stanje u otkazu na čekanju nabavke rezervnih delova itd. U konkretnom slučaju, kada je u pitanju sistem A, elementi sistema, specijalna vozila auto-smečari se u okviru svoje vremenske slike stanja nalaze u tri vremenska stanja:

- aktivno radno stanje (vozilo je na terenu i izvršava funkciju cilja);
- pasivno radno stanje (vozilo je ispravno i čeka na parking placu da se uključi u rad);
- stanje u otkazu.

Ovde nećemo razmatrati strukturu stanja u otkazu tj. raščlanjivati vreme u otkazu. Na grafičkom prikazu vremenske slike stanja (slika 2) data su vremena u aktivnom i pasivnom radnom stanju objedinjena u jedno stanje, stanje u radu (SUR). Sva vremena u održavanju data su objedinjeno kao stanje u otkazu (SUO). Zbog dužine perioda analize (godišnji ciklus) na slici 2 vrednosti vremena t na apscisi, radi bolje preglednosti, date su u danima.

Vremenske slike stanja za dva izabrana vozila sistema A, sa garažnim brojevima K-203 i K-205, prikazane su na slici 2, kako bi se uočila razlika dvaju vozila, jednog sa veoma malim brojem intervala u otkazu i drugog koje je prilično često u radionici radi obavljanja postupaka korektivnog održavanja. Vremenska

slika stanja elemenata sistema A za vremenski period od ukupno: $d=313$ radnih dana ili $d \cdot n_d=3756$ vozila/godišnje, odnosno $(d \cdot n_d) \cdot t_d=38499$ časova/godišnje, predstavlja grafički prikaz egzaktnog rasporeda maksimalno potrebnog vremena za godišnje radno angažovanje vozila iz sistema (u 2005. godini), koji se sastoji od vremena u radu i vremena u otkazu. Obzirom da su podaci iz IS, koji podržava sistem A, a koji se odnose na strukturu vremena u otkazu tj. trajanje parcijalnih vremena u otkazu, kao što su: vremena trajanja postupaka održavanja, vremena čekanja rezervnih delova itd., prilično nepouzdati i zahtevaju dodatne analize, to ćemo se zadovoljiti saznanjem o dužini trajanja celokupnog vremena u otkazu.

U tabeli 1 prikazana su ukupna vremena trajanja stanja autosmečara na godišnjem nivou (u 2005. godini) na realnom modelu – voznom parku preduzeća koji ostvaruje funkciju cilja FC kao i broj intervala u otkazu.

SREDNJE VREME U OTKAZU

Srednje vreme u otkazu v predstavlja aritmetičku sredinu vremena izvođenja postupaka održavanja, odnosno vremena u otkazu /2/ i može se izraziti formulom:

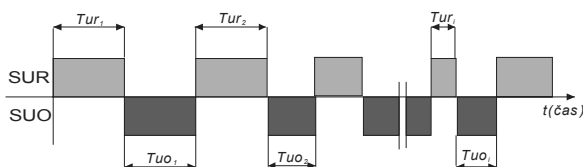
$$v = \overline{Tuo} = \frac{Tuo_1 + Tuo_2 + \dots + Tuo_{No}}{No} = \frac{1}{No} \sum_{i=1}^{No} Tuo_i \quad (1)$$

u kojoj figurišu:

- Tuo_i = vreme trajanja i -tog intervala u otkazu (slika 3),
- No = broj intervala vremena u otkazu u posmatranom vremenskom periodu.

Garažni br.vozila K	Tur - vreme u radu vozila				Tuo – vreme u otkazu vozila		Broj Intervala u otkazu
	Tur _a – aktivno		Tur _č – na čekanju		u satima	u danima	
	u satima	u danima	u satima	U danima			
201	2429	237.0	584.0	57.0	194.7	19.0	2
202	2807	273.9	318.7	31.1	82.0	8.0	3
203	2762	269.5	158.7	15.5	286.9	28.0	8
204	2944	287.3	263.7	25.7	0.0	0.0	0
205	2148	209.6	393.5	38.4	666.1	65.0	25
206	1856	181.1	716.3	69.9	635.4	62.0	25
207	1392	135.8	1334.0	130.2	481.7	47.0	21
208	1343	131.0	1608.5	157.0	256.2	25.0	14
209	234	22.8	2738.0	267.2	235.7	23.0	12
210	581	56.7	2503.7	244.3	123.0	12.0	9
211	1774	173.1	1105.7	107.9	327.9	32.0	11
212	2109	205.8	227.6	22.2	871.1	85.0	22
213	2012	196.3	878.0	85.7	317.7	31.0	12
215	983	95.9	1732.8	169.1	491.9	48.0	18
216	1323	129.1	1075.1	104.9	809.6	79.0	15
217	2653	258.9	62.8	6.1	491.9	48.0	17
221	2397	233.9	339.3	33.1	471.4	46.0	23
222	1905	185.9	810.8	79.1	491.9	48.0	22
224	1444	140.9	1066.8	104.1	696.9	68.0	23
227	1521	148.4	897.6	87.6	789.1	77.0	22
228	882	86.1	1885.0	183.9	440.7	43.0	18
230	492	48.0	543.1	53.0	2172.6	212.0	22

Tabela 1



Slika 3

U tabeli 2 prikazano je srednje vreme u otkazu svakog vozila - elementa sistema A. Srednje vreme u otkazu u danima v_d dobijeno je iz vremenske slike stanja za svako vozilo i primenom izraza (1), a srednje vreme u otkazu u časovima $v_č$ primenom izraza:

$$v_č = v_d \cdot t_d \quad (2)$$

gde je $t_d=10,25$ časova – prosečno dnevno radno vreme jednog vozila potrebno za ostvarivanje funkcije cilja FC (sakupljanje i izvoženje smeća na teritoriji grada sa blizu 230.000 korisnika).

Posmatrajući tabelu 2, može se zaključiti da se kod jednog vozila (K-204) nisu sprovodili postupci korektivnog održavanja, tj. isto nije imalo ni jedan dan u otkazu. Ono spada u grupu najmlađih vozila sistema A. U istoj starosnoj grupi nalaze se i vozila sa garažnim brojevima K: 201, 202, 203, 211. Prvo od njih ima nešto veće srednje vreme u otkazu u odnosu na ostala tri. Najveće srednje vreme u otkazu ima vozilo sa garažnim brojem K-230 (mala pogodnost održavanja zbog starosti i specifičnosti tipaža). Generalno, iz tabele 2 se vidi da jedna vozila imaju manju, a druga veću vrednost srednjeg vremena u otkazu. Međutim, mora se reći da ovako prikazano srednje vreme u otkazu nije najkvalitetniji pokazatelj efektivnosti jer ne sadrži izdvojene informacije o strukturi vremena u otkazu.

SREDNJE VREME U OTKAZU (V) AUTOSMEĆARA U 2005.											
Garaž.broj vozila	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211
Broj intervala	2	3	8	0	25	25	21	14	12	9	11
V_d (dana)	9.5	2.7	3.5	0.0	2.6	2.5	2.2	1.8	1.9	1.3	2.9
$V_č$ (čas)	97.4	27.3	35.9	0.0	26.7	25.4	22.9	18.3	19.6	13.7	29.8
Garaž.broj vozila	212	213	215	216	217	221	222	224	227	228	230
Broj intervala	22	12	18	15	17	23	22	23	22	18	22
V_d (dana)	3.9	2.6	2.7	5.3	2.8	2.0	2.2	3.0	3.5	2.4	9.6
$V_č$ (čas)	39.6	26.5	27.3	54.0	28.9	20.5	22.4	30.3	35.9	24.5	98.8

Tabela 2

SREDNJE VREME IZMEĐU OTKAZA

Vreme između otkaza τ_j je jednako zbiru vremena u otkazu i vremena u radu između otkaza j i $j+1$ /2/, odnosno:

$$\tau_j = Tuoi_j + Turi_j \quad (3)$$

gde su:

- $Tuoi_j$ = trajanje j -og intervala u otkazu za i -to vozilo;
- $Turi_j$ = trajanje j -og intervala u radu za i -to vozilo.

Želimo da utvrdimo koliko vremena protekne od jednog do drugog otkaza na elementima sistema A, i to na nivou godišnjeg ciklusa. U tom cilju posmatraćemo svako pojedinačno vozilo sistema i izračunati srednje vreme između otkaza prema formuli:

$$\bar{\tau}_i = \frac{1}{N\tau_i} \cdot (\tau_1 + \tau_2 + \dots + \tau_m) = \frac{1}{N\tau_i} \cdot \sum_{j=1}^m \tau_j \quad (4)$$

u kojoj figurišu:

- $N\tau_i$ = broj intervala između otkaza i -tog vozila (pri čemu interval obuhvata po jedno vreme u radu i jedno vreme potrebno za sprovođenje postupaka održavanja);
- τ_j = pojedinačni interval između otkaza i -tog vozila u posmatranom vremenskom periodu (u konkretnom slučaju dužina perioda identična je trajanju ciklusa od godinu dana).

U tabeli 3 prikazana su srednja vremena između otkaza svih vozila-elemenata sistema A, dobijena korišćenjem izraza (4). Posmatrajući tabelu 3 može se zaključiti da jedno od vozila iz sistema A nije uopšte odlazilo u radionicu radi izvođenja postupaka održavanja (garažni broj 204), dok su dva vozila imala značajno dug period između pojava stanja u otkazu (garažni brojevi 201 i 202). Srednje

vreme između otkaza celog sistema (prosečno srednje vreme) možemo izračunati kao:

$$\bar{\tau}_S = \frac{\bar{\tau}_1 + \bar{\tau}_2 + \dots + \bar{\tau}_n}{n} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \bar{\tau}_i \quad (5)$$

gde je $n = 22$ - broj vozila u sistemu A.

Uslovno vozilo iz sistema A ima prosečno srednje vreme između otkaza 43,13 dana odnosno 442,08 časova, što je izračunato primenom izraza (5) tabela 3.

Grupa vozila: AUTO-SMEĆARI			
Garažni br.vozila (K)	Broj intervala $N\tau$	Srednje vreme između otkaza $\bar{\tau}_i$	
		[dana]	[časova]
201	2	156,50	1604,50
202	3	104,33	1069,42
203	8	39,13	401,03
204	0	313,00	3208,25
205	25	12,52	128,33
206	25	12,52	128,33
207	21	14,90	152,77
208	14	22,36	229,16
209	12	26,08	267,35
210	9	34,78	356,47
211	11	28,45	291,66
212	22	14,23	145,83
213	12	26,08	267,35
215	18	17,39	178,24
216	15	20,87	213,88
217	17	18,41	188,72
221	23	13,61	139,49
222	22	14,23	145,83
224	23	13,61	139,49
227	22	14,23	145,83
228	18	17,39	178,24
230	22	14,23	145,83

Tabela 3

OPERATIVNA GOTOVOST

Operativna gotovost predstavlja odnos vremena u radu i ukupnog vremena /1/. Operativnu gotovost OG za i -to vozilo sistema **A** možemo izračunati pomoću izraza

$$OG_i = \frac{Tur_i}{Tur_i + Tuo_i} \quad (6)$$

u kome figuriraju:

- Tur_i = ukupno vreme u radu i -tog vozila;
- Tuo_i = ukupno vreme u otkazu i -tog vozila koje uključuje i zastoje izazvane čekanjem na obezbeđivanje rezervnih delova i materijala.

Ukupno vreme u radu sastoji se od aktivnog i pasivnog vremena u radu

$$Tur_i = Tura_i + Turč_i \quad (7)$$

gde su:

- $Tura_i$ = aktivno vreme u radu i -tog vozila;
- $Turč_i$ = pasivno vreme ispravnog i -tog vozila na čekanju radi uključenja u rad.

Operativna gotovost i -tog vozila sistema **A** može se dalje izračunati pomoću izraza

$$OG_i = \frac{Tura_i + Turč_i}{Tura_i + Turč_i + Tuo_i} \quad (8)$$

Operativna gotovost celokupnog sistema **A** može se izraziti kao

$$OG_s = \frac{Tur_s}{Tur_s + Tuo_s} \quad (9)$$

gde su:

- Tur_s = ukupno vreme u radu sistema;
- Tuo_s = ukupno vreme u otkazu sistema, pri čemu važe jednakosti:

$$\begin{aligned} Tur_s &= Tur_1 + Tur_2 + \dots + Tur_n = \sum_{i=1}^n Tur_i = \\ &= \sum_{i=1}^n (Tura_i + Turč_i) \end{aligned} \quad (10)$$

$$Tuo_s = Tuo_1 + Tuo_2 + \dots + Tuo_n = \sum_{i=1}^n Tuo_i \quad (11)$$

Konačno, operativnu gotovost sistema **A** sa ukupno n vozila, možemo izračunati pomoću izraza:

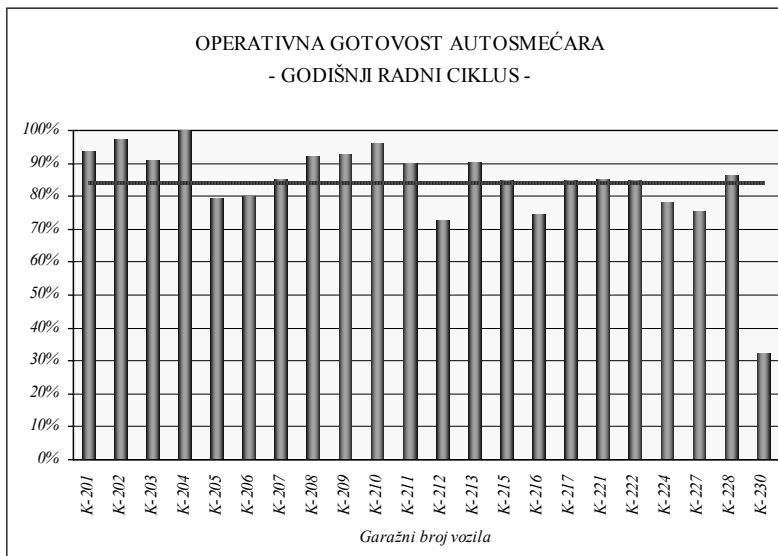
$$OG_s = \frac{\sum_{i=1}^n (Tura_i + Turč_i)}{\sum_{i=1}^n (Tura_i + Turč_i) + \sum_{i=1}^n Tuo_i} \quad (12)$$

Operativna gotovost svakog vozila sistema je izračunata korišćenjem izraza (8), a operativna gotovost celokupnog sistema pomoću izraza (9) odnosno (12). Dobijeni rezultati su prikazani na dijagramu sa slike 4 i odnose se na godišnji radni ciklus u 2005. godini.

Sistem **A** čine vozila različitih proizvođača, tj. različitih marki i tipova. Tu su zastupljena vozila: MB 1213, MB 1318, MB 1617, MB 1823, FAP 1921, MAN 24242.

Posmatrajući dijagram sa sl.4 može se uočiti sledeće:

- Čak osam vozila je imalo operativnu gotovost iznad 90%, od kojih jedno svih 100%;
- Vozila sa najvećom operativnom gotovošću (>90%) imaju prosečnu starost od 5,46 godina u odnosu na prosečnu starost sistema **A** koja iznosi 7,82 godine, što ukazuje da je uticaj starosti vozila na operativnu gotovost prilično velik, tj. da u proseku, vozila koja imaju manju starost imaju i veću operativnu gotovost;
- Operativna gotovost posmatranog sistema OG_s , izračunata pomoću izraza (12), iznosi 83,94%;
- Natprosečnu gotovost (>83,94%) ostvarilo je 15 vozila što čini 68,2% sistema **A** i što govori o relativno visokoj pogodnosti održavanja ovog sistema, kao pokazatelja efektivnosti koji utiče na smanjenje vremena u otkazu sistema;
- Značaj funkcije pogodnosti održavanja izražen je i na primeru vozila sa garažnim brojem K-230 (poslednje desno na apscisi dijagrama). Operativna gotovost ovog vozila, koja iznosi nešto iznad 32%, uslovljena je malom pogodnošću održavanja jer se radi o jedinom vozilu marke MAN u sistemu **A**, koje ima prilično veliku starost (15 godina), što uslovljava povećanje vremena za izvođenje postupaka održavanja, naročito dela vremena koje se odnosi na čekanje rezervnih delova.



Slika 4

POUZDANOST

Pouzdanost elementa ili sistema $R(t)$ predstavlja kumulativnu vremenski zavisnu funkciju bezotkaznog rada [2]. Njena komplementarna funkcija je kumulativna funkcija gustine pojave stanja u otkazu $F(t)$ ili nepouzdanost. Izrazi koji će se koristiti prilikom analize blok-sheme pouzdanosti su:

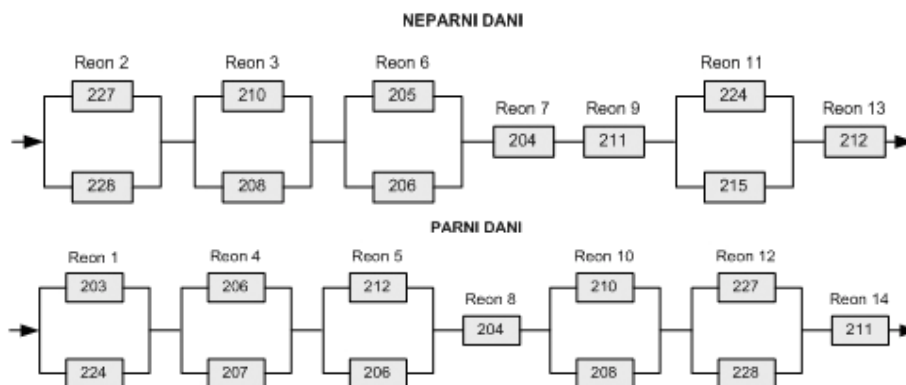
$$\begin{aligned} F(t) + R(t) &= 1 \\ R(t) &= 1 - F(t) \end{aligned} \quad (13)$$

Funkciju cilja FC: *sakupljanje i izvoženje smeća na teritoriji grada sa blizu 230.000 korisnika*, ostvaruje sistem specijalnih vozila A primenom modela „parnih i neparnih dana“. Sa aspekta funkcije cilja, grad je podeljen na reone „za kante“ i reone „za kontejnere“ (tabela 4).

Reon	Neparni dani	Parni dani
„ZA KANTE“	Reon 2	Reon 1
	Reon 3	Reon 4
	Reon 6	Reon 5
	Reon 7	Reon 8
	Reon 9	Reon 10
	Reon 11	Reon 12
	Reon 13	Reon 14
„ZA KONTEJNERE“	Reon 101	Reon 102
	Reon 103	Reon 104
	Reon 105	Reon 106
	Reon 107	Reon 107
	Reon 108	Reon 109

Tabela 4

Blok-shemom pouzdanosti ili *RBD*-om na slici 5 prikazan je praktični (aktuelni) model dnevnog rasporeda rada vozila sistema A, kada su u pitanju reoni „za kante“, a onim na slici 6, kada se radi o reonima „za kontejnere“. U kućicama blok-sheme dati su garažni brojevi vozila koja opslužuju naznačene reone u neparnim odnosno parnim danima u sedmici. U osnovi, radi se o redno-paralelnoj vezi elemenata sistema. Redna veza zahteva ispravnost svih sastavnih redno vezanih elemenata kako bi se obezbedila ispravnost funkcionisanja celokupnog sistema. Paralelna veza između elemenata omogućuje ispravnost funkcionisanja sistema ukoliko ispravno funkcioniše bar jedan od elemenata spregnut u paralelnu vezu. U konkretnom modelu paralelne veze između elemenata podrazumevaju postojanje osnovnog i rezervnog vozila u naznačenim reonima. Tako na primer, sa slici 5 vidimo da reon 2 u neparnim danima opslužuje vozilo 227 ili njegova rezerva vozilo 228. Dakle, reoni sa alternativnim vozilima su 2, 3, 6 i 11 neparnim, odnosno 1, 4, 5, 10 i 12 parnim danima. Istovremeno možemo videti da reoni 7, 9 i 13 neparnim danima, odnosno reoni 8 i 14 parnim danima, nemaju alternativna vozila.



Slika 5

Pouzdanost sistema sa slike 5 koji se odnosi na proces sakupljanja smeća iz „kanti“ (eng. *Dustbin*) neparnim danima, prema /1/, je:

$$R_{D-n} = R_{R2} \cdot R_{R3} \cdot R_{R6} \cdot R_{R7} \cdot R_{R9} \cdot R_{R11} \cdot R_{R13} \quad (14)$$

gde figuriše pouzdanost vozila opslužilaca reona $R_{Ri}; i = 2,3,6,7,9,11,13$.

Razvijanjem izraza (14) dobija se konačni izraz za izračunavanje pouzdanosti (15):

$$R_{D-n} = [1 - (1 - R_{227})(1 - R_{228})] \cdot [1 - (1 - R_{210})(1 - R_{208})] \cdot [1 - (1 - R_{205})(1 - R_{206})] \cdot R_{204} \cdot R_{211} \cdot [1 - (1 - R_{224})(1 - R_{215})] \cdot R_{212} \quad (15)$$

Pouzdanost sistema sa slike 5, koji se takođe odnosi na proces sakupljanja smeća iz „kanti“ ali sada parnim danima je:

$$R_{D-p} = R_{R1} \cdot R_{R4} \cdot R_{R5} \cdot R_{R8} \cdot R_{R10} \cdot R_{R12} \cdot R_{R14} \quad (16)$$

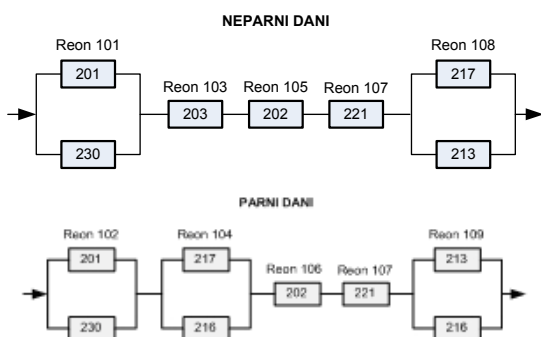
gde figuriše pouzdanost vozila opslužilaca reona $R_{Ri}; i = 1,4,5,8,10,12,14$ pa je konačni izraz za pouzdanost sistema parnim danima.

$$R_{D-p} = [1 - (1 - R_{203})(1 - R_{224})] \cdot [1 - (1 - R_{206})(1 - R_{207})] \cdot [1 - (1 - R_{212})(1 - R_{206})] \cdot R_{204} \cdot [1 - (1 - R_{210})(1 - R_{208})] \cdot [1 - (1 - R_{227})(1 - R_{228})] \cdot R_{211} \quad (17)$$

Kada se radi o reonima „za kontejnere“ (eng. *Container*) rezervnim vozilima pokriveni su reoni 101 i 108 neparnim danima, odnosno reoni 102, 104 i 109 parnim danima (slika 6). Reoni 103, 105, 106 i 107 nemaju alternativu u pogledu korišćenja vozila.

Pouzdanost sistema prikazanog na slici 6 može se predstaviti izrazom:

$$R_{C-n} = R_{R101} \cdot R_{R103} \cdot R_{R105} \cdot R_{R107} \cdot R_{R108} \quad (18)$$



Slika 6

Razvijanjem izraza (18) dobija se konačna formula za izračunavanje pouzdanosti:

$$R_{C-n} = [1 - (1 - R_{201})(1 - R_{230})] \cdot R_{203} \cdot R_{202} \cdot R_{221} \cdot [1 - (1 - R_{217})(1 - R_{213})] \quad (19)$$

Takođe, u slučaju parnih dana dobija se sličan izraz za pouzdanost

$$R_{C-p} = R_{R102} \cdot R_{R104} \cdot R_{R106} \cdot R_{R107} \cdot R_{R109} \quad (20)$$

i dalje u konačnom obliku:

$$R_{C-p} = [1 - (1 - R_{201})(1 - R_{230})] \cdot [1 - (1 - R_{217})(1 - R_{216})] \cdot R_{202} \cdot R_{221} \cdot [1 - (1 - R_{213})(1 - R_{216})] \quad (21)$$

Obzirom da realni model, u periodu posmatranja od jedne godine, ne daje broj rezultata merenja ili uzoraka, u konkretnom slučaju otkaza po vozilu, veći od 50, u radu je primenjena metoda obrade rezultata poznata kao „metoda rangiranja“ ili „medijalni rang“ /1/. Vrednosti medijalnih rangova izračunate su pomoću izraza:

$$MR = \frac{j - 0,3}{n + 0,4} \quad (22)$$

u kome figurišu:

- j – broj rezultata merenja (uzoraka) sređenih po rastućem nizu;
- n – ukupan broj rezultata (uzoraka).

Tako dobijene vrednosti medijalnih rangova unešene su u Vejbulov verovatnosni papir sa ciljem dobijanja vrednosti parametara Vejbulove raspodele η i β , koji predstavljaju parametre razmere i oblika, respektivno $/1/$, $/2/$. Vejbulova raspodela se danas najčešće koristi kada se vrši analiza mašinskih i uopšte tehničkih sistema. Dobijeni parametri za svako vozilo unešeni su u opšti izraz za raspodelu pouzdanosti prema Vejbulovom zakonu

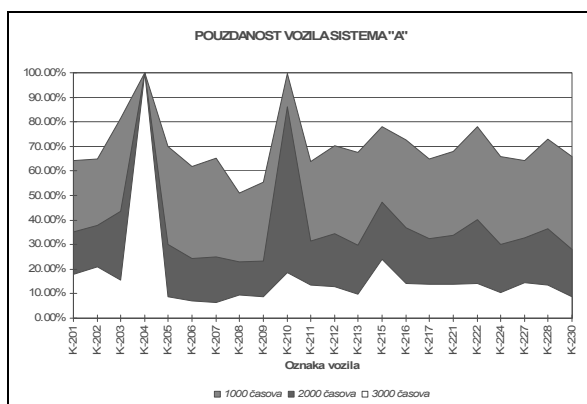
$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (23)$$

u kome figurišu:

- t – vreme u časovima;
- η – parametar razmere [časova];
- β – parametar oblika [-].

Primenom izraza (23), za tri različita vremenska režima rada ($t=1000$, 2000 , 3000 časova), dobijene su konkretne vrednosti pouzdanosti svakog vozila sistema A, a zatim prikazane u tabeli 5.

Pored pouzdanosti u tabeli 5 prikazane su i vrednosti parametara razmere i oblika.



Slika 7

Vrednosti pouzdanosti svih vozila iz sistema A prikazane su i na dijagramu sa slike 7. Posmatrajući dijagram možemo zaključiti sledeće:

- Vremenski režimi su pretstavljeni različito obojenim pojasevima, tj. režim od 1000 radnih časova predstavlja crveni (ili srednje tamni) pojas, režim od 2000 radnih časova plavi (ili tamni) pojas i konačno režim od 3000 časova rada beli (bezbojni) pojas;
- Na „kratkim stazama“ (crveni pojas) „dužine“ 1000 časova rada dobri „borci“ su vozila sa garažnim brojevima: 203, 204, 210, 212, 215, 216, 222, 228, čija je pouzdanost veća od 70%;
- „Srednje duge staze“ relativno dobro podnose vozila sa garažnim brojevima: 203, 204, 210, 215, 222, čija je pouzdanost iznad 40%, za rad od 2000 časova u kontinuitetu;
- Samo tri vozila imaju pouzdanost veću od 20% za projektovano vreme rada od 3000 časova i to su vozila: 202, 204 i 215;
- Posebno je interesantno da postoje samo dva vozila koja odskaku po vrednosti pouzdanosti u dva ili sva tri vremenska režima rada. Naime, vozilo sa garažnim brojem 210, koje se sastoji od šasije MB 1213 stare 14 godina i nove nadgradnje domaćeg proizvođača „RESOR“, ima izvanrednu pouzdanost u prva dva režima tj. do 2000 časova rada, i ona iznosi više od 80%. U trećem vremenskom režimu vrednost pouzdanosti ovom vozilu znatno pada (ispod 20%), uglavnom zbog pojave otkaza na osnovnom vozilu - šasiji. Sa aspekta pouzdanosti apsolutno najbolje rezultate ima vozilo sa garažnim brojem 204, koje je u celosti novo i uvezeno iz inostranstva (šasija MB 1823, nadgradnja „FAUN“). Njegova pouzdanost nakon 3000 časova rada iznosi 100%.

Posle izračunavanja vrednosti pouzdanosti svakog pojedinačnog vozila, i imajući u vidu postojeću organizaciju rada sa vozilima po modelu „parnih i neparnih dana“, pristupilo se izračunavanju vrednosti pouzdanosti sistema prikazanih blok dijagramima sa slika 5 i 6. Zamenom izračunatih vrednosti iz tabele 5 u izrazima (15),(17),(19) i (21), dobijene su vrednosti pouzdanosti sistema sakupljanja i izvoženja smeća prema postojećem modelu „parnih i neparnih dana“ i one su prikazane u tabeli 6.

POUZDANOST VOZILA SISTEMA A (Vejbulova raspodela)					
Garažni br.vozila K	Parametar razmere □	Parametar oblika □	Pouzdanost $R(t)$ [%] zahtevani broj časova rada		
			1000	2000	3000
201	1930	1.23	64.05%	35.17%	17.89%
202	2050	1.16	64.73%	37.83%	21.11%
203	2200	2.00	81.33%	43.75%	15.57%
204	-	-	100.00%	100.00%	100.00%
205	1800	1.75	69.94%	30.04%	8.67%
206	1600	1.55	61.71%	24.33%	7.07%
207	1650	1.70	65.25%	24.98%	6.31%
208	1420	1.14	51.14%	22.81%	9.57%
209	1500	1.29	55.28%	23.47%	8.67%
210	2750	5.95	99.76%	86.04%	18.67%
211	1800	1.37	63.95%	31.49%	13.35%
212	1920	1.60	70.31%	34.38%	12.97%
213	1780	1.62	67.50%	29.88%	9.73%
215	2400	1.60	78.16%	47.37%	23.95%
216	2000	1.65	72.71%	36.78%	14.19%
217	1830	1.38	64.76%	32.28%	13.83%
221	1895	1.48	67.82%	33.85%	13.89%
222	2100	1.89	78.19%	40.17%	14.05%
224	1770	1.54	66.02%	29.90%	10.50%
227	1840	1.34	64.29%	32.68%	14.58%
228	1990	1.68	72.99%	36.47%	13.62%
230	1720	1.61	65.85%	27.94%	8.64%

Tabela 5

Broj časova	Pouzdanost sistema za odvoz smeća "iz kanti" [%]		Pouzdanost sistema za odvoz smeća „iz kontejnera“ [%]	
	R_{D-n}	R_{D-p}	R_{C-n}	R_{C-p}
1000	33,26%	41,53%	27,73%	31,72%
2000	1,68%	2,14%	1,57%	2,17%
3000	0,0065%	0,0056%	0,0253%	0,0430%

Tabela 6

ZAKLJUČAK

Broj vozila posmatranog sistema A iznosi 22. Da li je to malo? Sa aspekta analize egzaktnih podataka operativne gotovosti može se zaključiti da je on zadovoljavajući. Međutim, sa aspekta pouzdanosti, ovaj broj vozila daje relativno dobre rezultate samo u periodu do 1000 sati radnog angažovanja. Duže angažovanje ovakvog skupa vozila sa istom ili približnom organizacijom rada beleži znatan pad pouzdanosti celokupnog sistema. Takođe, ovakav model sistema podrazumeva veliki broj korisnika usluge sakupljanja smeća po vozilu. Ovakvu vrstu opterećenja vozila treba smanjiti,

a to je moguće formiranjem novih reona vršenja usluge sa manjim brojem korisnika i uvođenjem većeg broja vozila u sistem. Moguća je i varijanta u kojoj na istom reonu funkciju cilja realizuje više vozila.

Vremenska slika stanja pojedinačnih vozila predmetnog sistema nije dovoljno precizna. Treba detaljnije prikazati vremena u održavanju tj. otkazu, tako što će se posebno istaći trajanje vremena čekanja na rezervne delove i vremena izvođenja konkretnih postupaka održavanja. Efikasnije korišćenje i distribucija podataka o održavanju mogući su pod uslovom potpune primene dijagrama toka podataka u okviru sistema održavanja vozila i mehanizacije /3/.

Uključivanjem vremena koje obuhvata period čekanja rezervnih delova i potrebnih sirovina za proces održavanja omogućuje se analiza ostvarene gotovosti vozila sistema A kao i celokupnog sistema. Analiza operativne gotovosti vozila sistema A ukazuje na nedovoljno dobru iskorišćenost vozila. Neka od vozila imaju velika vremena čekanja na uključenje u rad pa iako ispravna veoma retko dobijaju priliku da rade. Boljom organizacijom rada, odnosno primenom optimizovanih modela, moguće je poboljšati iskorišćenost vozila kao i pouzdanost sistema bez povećanja broja vozila. Za dalje poboljšanje efektivnosti sistema, potrebno je učiniti nekoliko razvojnih koraka. Smernice za poboljšanje efektivnosti sistema su:

- smanjiti broj radnih dana u nedelji, tj. period trajanja ciklusa, sa sadašnjih 6 na novih 5 dana, tj. raditi u intervalu ponedeljak–petak, što bi uslovalo ukupan broj radnih dana u godini $d_8 = 260$ (za referencu uzeta 2005.);
- smanjiti radno vreme vozila na 8 časova dnevno, odnosno $t_{d5} = 8$;
- povećati broj vozila u upotrebi (dnevno).

Ukoliko bi se broj radnih dana u sedmici sa 6 smanjio na 5, u 2005. godini na primer, imali bi smo ukupno 260 radnih dana sa osmočasovnim radnim vremenom. Potrebno vreme za realizaciju funkcije cilja u periodu od jedne godine, imajući u vidu da je ukupan broj korisnika usluge sakupljanja smeća nepromenjen, ostaje nepromenjeno tj. iznosi 38499 časova. Broj potrebnih vozila za realizaciju funkcije cilja na dnevnom nivou n_{d8} može se izračunati primenom izraza

$$n_{d8} = \frac{38499}{d_8 \cdot t_{d5}} \quad (49)$$

Zamenom datih vrednosti u izrazu (49) dobija se da je $n_{d8} = 19$, tj. da je broj potrebnih vozila za realizaciju funkcije cilja 19, što je za 7 više od dosadašnjeg broja dnevno angažovanih vozila.

Novi model sistema sakupljanja i izvoženja smeća, koji bi sadržao veći broj dnevno angažovanih vozila sa manjim dnevnim radnim vremenom, imao bi i drugačiju vremensku sliku stanja, a samim tim i ostale pokazatelje efektivnosti. Verovatno, da bi smo tada dobili i veće pouzdanosti pojedinačnih vozila sistema, što bi uticalo na povećavanje pouzdanosti celokupnog sistema, u svim realnim i logičkim varijantama strukture sistema (tipovima veze).

LITERATURA

- /1/ D.Zelenović, J.Todorović: Efektivnost sistema u mašinstvu; Naučna knjiga, Beograd, 1990.
- /2/ B.Vasić: Menadžment i inženjering u održavanju; lipp, Beograd, 2004.
- /3/ G.Radoičić: Osnovni procesi sistema održavanja vozila u komunalnim preduzećima i informacione veze u sistemu; Drugi srpski seminar Transport i logistika, Niš, maj 2006.

QUANTITY INDEXES EFFECTIVENESS ANALYSIS OF SYSTEM FOR COLLECTION AND TRANSPORTATION OF WASTE IN REAL MODEL

This paper presents analysis of indexes effectiveness in one real work system. Here, the word is about the system for collection and transportation of waste in city of Niš (Serbia). The analysis includes following indexes of effectiveness: mean down time, mean time between failures, operational availability, reliability, which characterize current system. Patterns were treated by mathematical and statistical methods.

Key words: system, effectiveness, operating time, down time, number of failure intervals, mean down time, mean time between failures, operational availability, reliability.