

OPTIMIZACIJA MODELA SISTEMA SAKUPLJANJA I IZVOĐENJA SMEĆA

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

Blagoje Vujović, inž.
JKP „Mediana“ Niš

Goran Stojanović, inž.
JKP „Mediana“ Niš

Ovaj rad razmatra mogućnosti za povećanje pouzdanosti sistema sakupljanja i izvoženja smeća u gradu Nišu. U radu su data konkretna rešenja za poboljšanje sistema, odnosno rešenja za optimizaciju modela sistema sa aspekta pouzdanosti. Rad je zasnovan na prethodnoj analizi kvantitativnih pokazatelja efektivnosti tj. podacima dobijenim iz realnog informacionog sistema.

Ključne reči: sistem, kvantitativni pokazatelji efektivnosti, pouzdanost, blok dijagram pouzdanosti, optimizacija.

UVOD

Prethodne analize sistema sakupljanja i izvoženja smeća u gradu Nišu omogućile su sagledavanje i vrednovanje kvantitativnih pokazatelja efektivnosti ovog sistema kao što su: srednje vreme u otkazu, srednje vreme između otkaza, operativna gotovost, pouzdanost /1/. Posebno interesantna je analiza pouzdanosti posmatranog sistema. Posle izračunavanja

vrednosti pouzdanosti svakog pojedinačnog vozila, činioca sistema (tabela 2), imajući u vidu postojeću organizaciju rada sa vozilima po modelu „parnih“ i „neparnih“ dana, pristupilo se izračunavanju vrednosti pouzdanosti celokupnog sistema sakupljanja i izvoženja smeća. Dobijene vrednosti pouzdanosti, za tri zahtevana režima rada od 1000, 2000 i 3000 časova, date su u tabeli 1.

	Pouzdanost sistema za odvoz smeća „iz kanti“ [%]		Pouzdanost sistema za odvoz smeća „iz kontejnera“ [%]	
	Neparni dani	Parni dani	Neparni dani	Parni dani
Broj časova	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 1

Pouzdanost sistema tj. skupa vozila koji realizuje zadatu funkciju cilja **FC**: sakupljanje i izvoženje smeća na teritoriji grada sa blizu 230.000 korisnika (grad Niš), bilo da se radi o odvozu smeća iz kanti ili kontejnera, ili pak neparnim ili parnim danima, zadovoljavajuća je u periodu do 1000 sati rada, dok duže angažovanje vozila ovog sistema, bez promena u organizaciji rada, prouzrokuje znatan pad pouzdanosti celokupnog sistema.

Nekoliko činjenica o sistemu. Sistem sakupljanja i izvoženja smeća je složen sistem u okviru koga se nalazi sistem transportnih sredstava. Sistem transportnih sredstava se sastoji od $n_A=22$ vozila specijalne namene (tabela 2). Sistem možemo nazvati „Autosmečari“ (**A**). Zadatak sistema **A** je da izvršava funkciju cilja **FC**: sakupljanje i izvoženje smeća na teritoriji grada sa blizu 230.000 korisnika (grad Niš). 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 svako dnevnom korišćenjem $n_d=12$ specijalnih vozila iz sistema **A**. Trajanje ciklusa iznosi 6 dana u nedelji.

Kontakt: Mr Goran Radočić, dipl. inž.
JKP „Mediana“ Niš
Tvrđava bb, 18000 Niš, Srbija
E-mail : teh@jkpmediananin.co.yu

POUZDANOST VOZILA SISTEMA A (Vejbuloва raspodela)					
Garažni br.vozila K	Parametar razmere □	Parametar oblika □	Pouzdanost R(t) [%] zahtevani broj časova rada		
			1000	2000	3000
			201	1930	1.23
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 2

Analizom rada specijalnih 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 (u 2005. godini), odnosno:

$$d \cdot n_d = 313 \cdot 12 = 3756 \text{ vozilo/god ili}$$

$$(d \cdot n_d) \cdot t_d = 3756 \cdot 10,25 = 38499 \text{ čas/god.}$$

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“.

MOGUĆNOST POBOLJŠANJA

Poboljšanje efektivnosti i efikasnosti sistema sakupljanja i izvoženja smeća moguće je primenom različitih metoda, klasičnih menadžerskih, kao što su:

- povećanje broja novih vozila;
- povećanje stepena automatizovanosti procesa što će uticati na smanjenje potrebe za radnom snagom;

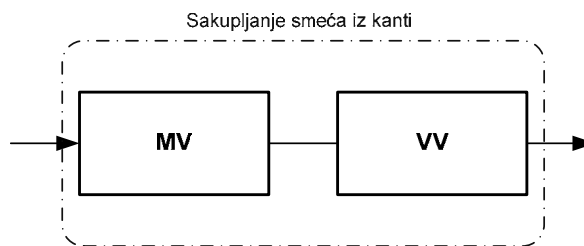
- redefinisane reone rada;
- povećanje broja izvršilaca u slučaju istog nivoa automatizovanosti procesa;
- i inženjerskih metoda, kao što su:
- povećanje nivoa preventivnog održavanja;
- optimizacija modela sistema zasnovana na iskustvenim, matematičkim i statističkim principima itd.

Opšta ocena postojećeg modela sistema je, da se on, pre svega rukovodi težnjom za kompromisom između zahteva koji proizilaze iz: potrebnog kvaliteta, odredaba Zakona o radu, procesa održavanja i organizacije reona rada. Organizacija reona u postojećem modelu „parnih“ i „neparnih“ dana je takva da ne omogućuje osmočasovno dnevno radno vreme. U uvodnom delu je istaknuto da je prosečno dnevno radno vreme vozila 10,25 časova. Dakle, postoje dva osnovna problema. Prvi se odnosi na mali broj novih vozila u funkciji, a drugi na preobimnost radnih reona tj. veliki broj korisnika usluge izvoženja smeća po reonu, što dovodi do pojave veoma male pouzdanosti, a to dalje do prosečne ocene efektivnosti i efikasnosti čitavog sistema.

U nastavku je prikazano nekoliko modela za poboljšanje sistema sa aspekta pouzdanosti, koji se zasnivaju na primeni inženjerskih metoda i empirijskih znanja iz domena eksploatacije vozila. Modeli su predstavljeni blok dijagramima pouzdanosti (eng. *RBD=Reliability Block Diagram*).

OPTIMIZACIJA MODELA SISTEMA SAKUPLJANJA I IZVOŽENJA SMEĆA IZ KANTI SA ASPEKTA POUZDANOSTI

Sva vozila sistema A koja se koriste za sakupljanje i izvoženje smeća „iz kanti“ (eng. *Dustbin*) mogu se razvrstati u dve grupe, kao što je prikazano na sl.1, pri čemu se skraćenice MV i VV odnose na „mala vozila“ i „velika vozila“ respektivno.

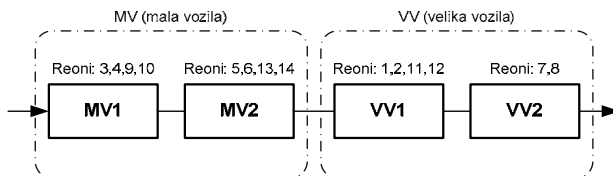


Slika 1

Posmatrajući sliku 1, na osnovu smernica /2/, pouzdanost sistema možemo predstaviti izrazom:

$$R_D(t) = R_{MV} \cdot R_{VV} \quad (1)$$

Na slici 2 detaljnije je prikazan sistem sakupljanja smeća iz kanti tako što su uključeni i aktualni radni reoni.



Slika 2

pa je izraz za pouzdanost sistema sa slike 2

$$R_D(t) = R_{MV1} \cdot R_{MV2} \cdot R_{VV1} \cdot R_{VV2} \quad (2)$$

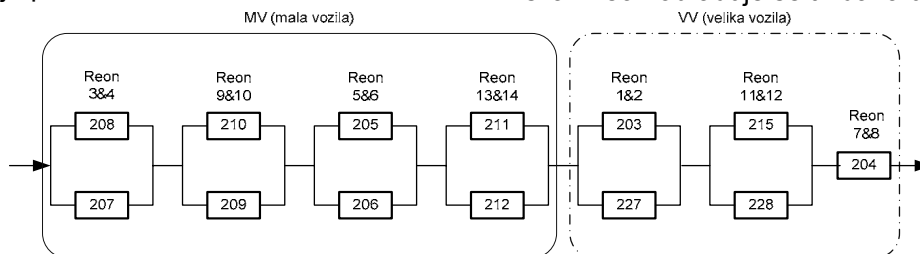
Izvršavanje funkcije cilja moguće je pod uslovom istovremenog rada 7 vozila, od toga 4 tzv. malih vozila i 3 velika vozila. Na raspolaganju je ukupno 13 vozila. Možemo analizirati nekoliko karakterističnih struktura, odnosno modela sistema sa aspekta pouzdanosti.

Na slici 3 prikazan je optimizovani model sistema za sakupljanje i odvoženje smeća iz kanti (*Opt 1*) koji u osnovi pretstavlja redno-paralelnu strukturu. Ovaj model podrazumeva angažovanje po dva vozila na srodnim reonima,

pri čemu se ona nalaze u paralelnoj vezi, što omogućuje znatnu rezervu. Izuzetak su reoni 7 i 8 koje opslužuje samo jedno vozilo, čija je pouzdanost u sva tri vremenska režima 100% (tabela 2, garažni broj vozila 204).

Problem radnog vremena radnika-opslužilaca vozila tj. njegove usklađenosti sa zakonskim odredbama, rešava se tako što se:

- ne menja inventarski broj vozila iz grupe;
- ne menja dnevno radno vreme prosečnog vozila;
- dve posade, npr. reona 1 i 2, zajednički zadužuju dva paralelna vozila, npr. K-203 i K-227;
- svaki reon obrađuje se tri dana u sedmici.



Slika 3

Pouzdanost u funkciji vremena t , ovako optimizovanog sistema za sakupljanje i odvoženje smeća iz kanti, može se predstaviti izrazom (3)

$$R_D(t) = R_{R3&4} \cdot R_{R9&10} \cdot R_{R5&6} \cdot R_{R13&14} \cdot R_{R1&2} \cdot R_{R11&12} \cdot R_{R7&8} \quad (3) \text{ ili u razvijenoj formi:}$$

$$R_D(t) = [1 - (1 - R_{208})(1 - R_{207})] \cdot [1 - (1 - R_{210})(1 - R_{209})] \cdot [1 - (1 - R_{205})(1 - R_{206})] \cdot [1 - (1 - R_{211})(1 - R_{212})] \cdot [1 - (1 - R_{203})(1 - R_{227})] \cdot [1 - (1 - R_{215})(1 - R_{228})] \cdot R_{204} \quad (4)$$

gde t predstavlja vreme karakterističnih režima, odnosno

$$t = 1000, 2000, 3000 \text{ časova} \quad (5)$$

Zamenom vrednosti pouzdanosti pojedinačnih vozila iz tabele 2 u izrazu (4) dobijene su vrednosti pouzdanosti sistema sa sl.3 za tri karakteristična režima

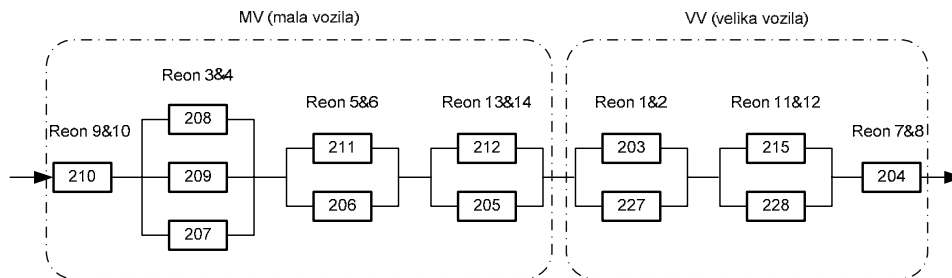
$$\begin{aligned} R_D(1000) &= 0,5755 \Leftrightarrow 57,55\% \\ R_D(2000) &= 0,0403 \Leftrightarrow 4,03\% \\ R_D(3000) &= 0,00014 \Leftrightarrow 0,014\% \end{aligned} \quad (6)$$

Upoređivanjem dobijenih vrednosti pouzdanosti (6) sa onima iz tabele 1 može se zaključiti da su nove bolje i da sistem sa slike 3 predstavlja

poboljšanje tj. optimalnije rešenje aktualnog sistema.

Sledeće moguće rešenje za optimizaciju modela sistema kada su u pitanju vozila koja opslužuju reone „za kante“, sa aspekta pouzdanosti, prikazano je na slici 4. (model *Opt 2*). Radi se, takođe, o redno-paralelnoj strukturi. Ovaj model je karakterističan jer sadrži dve grupe reona koje opslužuje po jedno vozilo. Reč je o grupama reona 9&10 i 7&8. Ove dve grupe reona opslužuju vozila sa najvećom pojedinačnom pouzdanošću. To su vozila 210 i 204, respektivno.

Pouzdanost sistema *Opt 2* sa slike 4 može se odrediti primenom izraza (7).



Slika 4

$$R_D(t) = R_{210} \cdot [1 - (1 - R_{208})(1 - R_{209})(1 - R_{207})] \cdot [1 - (1 - R_{211})(1 - R_{206})] \cdot [1 - (1 - R_{212})(1 - R_{205})] \cdot [1 - (1 - R_{203})(1 - R_{227})] \cdot [1 - (1 - R_{215})(1 - R_{228})] \cdot R_{204} \quad (7)$$

Zamenom vrednosti pouzdanosti pojedinačnih vozila iz tabele 2 u izrazu (7) dobijene su sledeće vrednosti pouzdanosti sistema za karakteristične vremenske režime:

$$\begin{aligned} R_D(1000) &= 0,6353 \Leftrightarrow 63,53\% \\ R_D(2000) &= 0,0516 \Leftrightarrow 5,16\% \\ R_D(3000) &= 0,00016 \Leftrightarrow 0,016\% \end{aligned} \quad (8)$$

Dobijene vrednosti (8) takođe možemo uporediti sa onima iz tabele 1.

U tabeli 3 prikazani su uporedni podaci o efektima optimizacije sa aspekta pouzdanosti

za aktualni model i dva optimizovana modela sistema sakupljanja smeća „iz kanti“.

Posmatrajući tabelu 3 možemo zaključiti da se primenom optimizovanih modela može učiniti značajno poboljšanje sistema, bilo da su u pitanju male organizacione promene radnih režima ili promene koje su posledica primene metoda za povećanje pouzdanosti. Ovako optimizovani modeli imaju veliko povećanje vrednosti pouzdanosti i to u sva tri karakteristična vremenska režima rada sistema sakupljanja i izvoženja smeća (1000, 2000 ili 3000 časova).

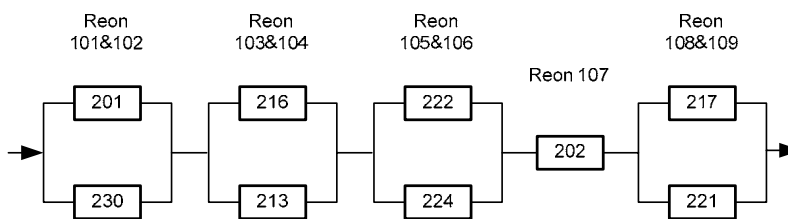
KANTE (Dustbins)	Pouzdanost sistema za AKTUALNI MODEL [%]		Pouzdanost sistema za OPTIMIZOVANI MODEL [%]	
			<i>Opt 1</i>	<i>Opt 2</i>
Broj časova	R_{D-n}	R_{D-p}	R_D (izraz 6)	R_D (izraz 8)
1000	33,26%	41,53%	57,55%	63,53%
2000	1,68%	2,14%	4,03%	5,16%
3000	0,0065%	0,0056%	0,014%	0,016%

Tabela 3

OPTIMIZACIJA MODELA SISTEMA SAKUPLJANJA I IZVOŽENJA SMEĆA IZ KONTEJNERA SA ASPEKTA POUZDANOSTI

Slično je učinjeno i sa modelom sistema sakupljanja i odvoženja smeća iz kontejnera (eng. Container).

Kada se radi o izvoženju smeća iz kontejnera funkcija cilja će se izvršavati pod uslovom da svakog dana ispravno radi najmanje 5 vozila. Ukupan broj raspoloživih vozila iznosi 9.



Slika 5

Pouzdanost ovako optimizovanog sistema za sakupljanje i izvoženje smeća iz kontejnera u funkciji vremena t može se predstaviti izrazom

$$R_C(t) = R_{R101\&102} \cdot R_{R103\&104} \cdot R_{R105\&106} \cdot R_{R107} \cdot R_{R108\&109} \quad (9)$$

ili u razvijenoj formi

$$R_C(t) = [1 - (1 - R_{201})(1 - R_{230})] \cdot [1 - (1 - R_{216})(1 - R_{213})] \cdot [1 - (1 - R_{222})(1 - R_{224})] \cdot R_{202} \cdot [1 - (1 - R_{217})(1 - R_{221})] \quad (10)$$

Uzimajući u obzir izraz (5) i zamenom vrednosti pouzdanosti pojedinačnih vozila iz tabele 2 u izrazu (10) dobijene su vrednosti pouzdanosti

Jedna moguća struktura ili model ovog sistema (Opt 3) je prikazan na slici 5. Karakteristika ovog modela je podela reona, u kojima se smeće odlaže u kontejnerima, u pet grupa, od kojih četiri opslužuju po dva specijalna vozila, a jednu od njih samo jedno vozilo (garažni broj 202). U grupi vozila „za kontejnere“ vozilo 202 ima najveću pojedinačnu pouzdanost. Dakle, sistem sadrži četiri paralelne veze, tj. pored osnovnog vozila grupe reona imaju i rezervno vozilo, osim reona R 107 za čije je opsluživanje predviđeno samo jedno vozilo.

sistema sa slike 5 u tri karakteristična vremenska režima:

$$\begin{aligned} R_C(1000) &= 0,4248 \Leftrightarrow 42,48\% \\ R_C(2000) &= 0,036 \Leftrightarrow 3,6\% \quad (11) \\ R_C(3000) &= 0,0007 \Leftrightarrow 0,07\% \end{aligned}$$

Upoređivanjem dobijenih vrednosti pouzdanosti sistema sakupljanja smeća iz kontejnera (11) sa onima iz tabele 1 može se zaključiti da su novodobijene vrednosti bolje i da model sistema sa slike 5 predstavlja poboljšanje tj. optimizaciju aktualnog sistema (tabela 4).

KONTEJNERI (Containers)	Pouzdanost sistema za AKTUALNI MODEL [%]		Pouzdanost sistema za OPTIMIZOVANI MODEL [%]
	Broj časova	R_{C-n}	R_{C-p}
	1000	27,73%	31,72%
	2000	1,57%	2,17%
	3000	0,0253%	0,043%
			Opt 3
			R_C (izraz 11)
			42,48%
			3,6%
			0,07%

Tabela 4

ZAKLJUČAK

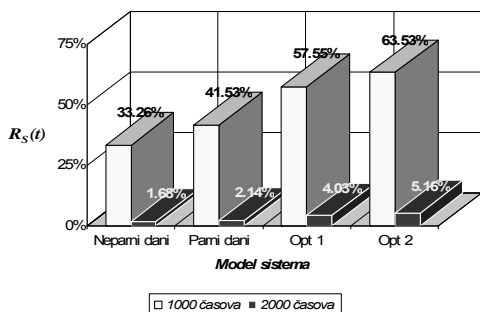
Vrednost pouzdanosti sistema sakupljanja i izvoženja smeća na teritoriji grada Niša relativno je zadovoljavajuća samo u periodu do 1000 sati rada sistema. Dugotrajnije angažovanje vozila iz ovog sistema prouzrokuje znatan pad pouzdanosti celokupnog sistema.

Povećanje pouzdanosti sistema sakupljanja i izvoženja smeća moguće je primenom menadžerskih metoda koje podrazumevaju investiciono

ulaganje u pravcu povećanja automatizacije procesa i broja specijalnih vozila, ali i promenu režima rada tj. prekompoziciju radnih reona.

Pored povećanja nivoa preventivnog održavanja vozila sistema, inženjerske metode za povećanje pouzdanosti sistema mogu biti i postupci optimizacije. Modeliranjem novih modela sistema sa većom pouzdanošću može se doprineti poboljšanju sistema. Prikazani modeli: Opt 1, Opt 2 i Opt 3 poseduju veću pouzdanost u odnosu na aktualni model sistema.

Na slikama 6 i 7 prikazani su uporedni dijagrami na kojima se jasno vidi efekat optimizacije modela, kada se radi o sakupljanju i izvoženju smeća iz kanti.

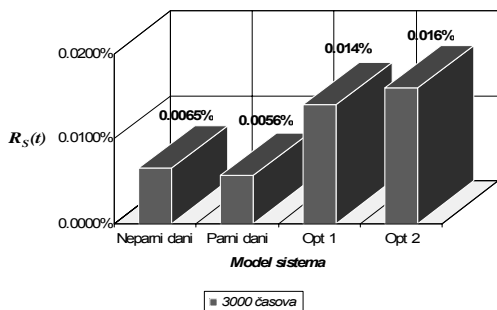


Slika 6

Tako sa slike 6 vidimo da optimalni modeli sistema *Opt 1* i *Opt 2* omogućuju poboljšanje tj. povećanje pouzdanosti sistema $R_s(t)$ u režimima do 2000 časova u opsegu od 38,57% do 207,14%

$$\left(\Delta R(t = 1000 \text{ časova}) = \frac{R(1000)_{Opt1} - R(1000)_{ParniDani}}{R(1000)_{ParniDani}} \right)$$

$$\left(\Delta R(t = 2000 \text{ časova}) = \frac{R(2000)_{Opt2} - R(2000)_{NeparniDani}}{R(2000)_{NeparniDani}} \right) \cdot$$

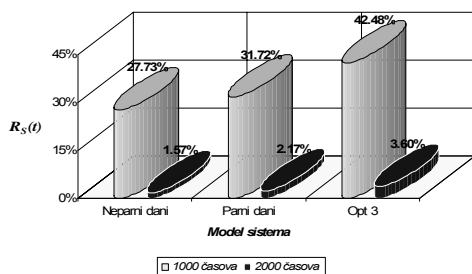


Slika 7

Sa slike 7 možemo videti da povećanje pouzdanosti sistema $R_s(t)$, kada se radi o režimu od 3000 časova, iznosi i do 185,71%

$$\left(\Delta R(t = 3000 \text{ časova}) = \frac{R(3000)_{Opt2} - R(3000)_{ParniDani}}{R(3000)_{ParniDani}} \right) \cdot$$

Na slikama 8 i 9 prikazani su uporedni dijagrami na kojima se jasno vidi efekat optimizacije modela kada se radi o sakupljanju i izvoženju smeća iz kontejnera.

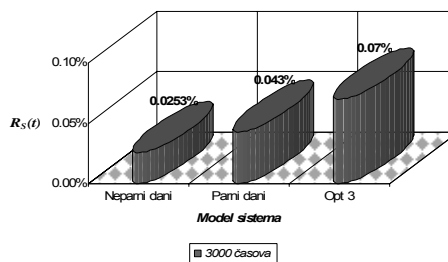


Slika 8

Na slici 8 vidimo da optimalni model sistema *Opt 3*, kada se radi o sakupljanju i izvoženju smeća iz kontejnera, ostvaruje poboljšanje tj. povećanje pouzdanosti sistema $R_s(t)$ u režimima do 2000 časova u opsegu od 33,92% do 129,30%

$$\left(\Delta R(t = 1000 \text{ časova}) = \frac{R(1000)_{Opt3} - R(1000)_{ParniDani}}{R(1000)_{ParniDani}} \right)$$

$$\left(\Delta R(t = 2000 \text{ časova}) = \frac{R(2000)_{Opt3} - R(2000)_{NeparniDani}}{R(2000)_{NeparniDani}} \right) \cdot$$



Slika 9

Sa slike 9 možemo videti da povećanje pouzdanosti sistema $R_s(t)$, kada se radi o režimu od 3000 časova, iznosi i do 176,68%

$$\left(\Delta R(t = 3000 \text{ časova}) = \frac{R(3000)_{Opt3} - R(3000)_{NeparniDani}}{R(3000)_{NeparniDani}} \right) \cdot$$

LITERATURA

- 1/ G.Radoičić, B.Vujović, G.Stojanović: Analiza kvantitativnih pokazatelja efektivnosti sistema sakupljanja i izvoženja smeća na realnom modelu; Istraživanja i projektovanja za privredu, Beograd, 2007.
- 2/ D.Zelenović, J.Todorović: Efektivnost sistema u mašinstvu; Naučna knjiga, Beograd, 1990.

OPTIMIZATION OF THE MODEL OF SYSTEM FOR COLLECTION AND TRANSPORT OF WASTE

This paper discusses possibilities to increase of reliability in the system for collection and transport of waste in city of Niš. This work gives solutions to improve the system. In other words, it gives solutions for optimization of the model of system with reliability standpoint. The paper has based on a previous quantity indexes effectiveness analysis and data which have taken from a real information system.

Key words: system, quantity indexes effectiveness, reliability, reliability block diagram, optimization