

Dr Slavko Pokorni,
pukovnik, dipl. inž.
Vojna akademija,
Beograd
Profesor dr Rifat Ramović,
dipl. inž.
Elektrotehnički fakultet,
Beograd

POUZDANOST I RASPOLOŽIVOST REZERVIRANOG TELEKOMUNIKACIONOG SISTEMA SA ČETIRI CENTRALE

UDC: 621.39.004.15 : 519.217

Rezime:

U radu su predstavljeni grupisanje stanja, dijagrami stanja i rezultati analize pouzdanosti (srednje vreme do otkaza) i raspoloživosti devet varijanti telekomunikacionog sistema koji sačinjavaju četiri telekomunikacione centrale međusobno povezane u prsten dupleks-vezama, bez dijagonalnih veza, sa jednom i sa dve dijagonale, bez i sa rezerviranim i potpuno pouzdanim telekomunikacionim centralama. Date su i zavisnosti verovatnoće ispravnog rada (pouzdanost) od vremena, za određen skup ulaznih podataka za svaku od varijanti.

Ključne reči: pouzdanost, raspoloživost, telekomunikacioni sistem, modeli Markova.

RELIABILITY AND AVAILABILITY OF A REDUNDANT TELECOMMUNICATION SYSTEM WITH 4 STATIONS

Summary:

The paper presents groups of states, diagrams of states and results of analysis for reliability (mean time to failure) and availability of nine variants of a telecommunication system comprising four telecommunication stations connected in a ring by duplex lines, without diagonal lines or with one and two diagonal lines, without and with redundant and with reliable telecommunication stations. The diagrams for reliability versus time for assumed input data for each variant are given.

Key words: reliability, availability, telecommunication system, Markov models.

Uvod

Pouzdanost i raspoloživost važni su pokazatelji kvaliteta bilo kojeg tehničkog sistema. Njihovo određivanje kod složenijih sistema, posebno redundovanih i opravljivih, može biti komplikovano i zahtevati dosta vremena i napora. Za formiranje modela pouzdanosti i raspoloživosti takvih sistema pogodni su modeli Markova [1-4]. Na osnovu tako dobijenih modela pouzdanosti i raspoloživosti mogu se upoređivati različite varijante konkretnog sistema radi izbora optimalne varijante.

Problem se javlja kada je broj stanja, u kojem se sistem može naći, veliki, jer je tada potrebno rešavati veliki broj jednačina, što može biti vrlo teško, a nekad i praktično nemoguće. Ovaj problem može se prevazići pogodnim grupisanjem pojedinih stanja, pa se sistem jednačina postavlja za grupe stanja u kojima se posmatrani sistem može naći, čime se smanjuje broj jednačina. U tom slučaju potrebno je naći uslove verovatnoće prelaza između pojedinih grupa stanja, što podrazumeva sprovođenje praktično istog postupka proračuna, ali za manji

broj stanja u okviru pojedinih grupa stanja između kojih se traže uslovne verovatnoće prelaza. Ovaj pristup autori su razvili i primenili na nekoliko primera telekomunikacionih sistema [5–10].

Do sada su u [5, 6] izvedene relacije za pouzdanost i raspoloživost za telekomunikacioni sistem od četiri u prsten povezane TK centrale sa neredundovanim TK centralama, a u [7, 10] prikazani su modeli za pouzdanosti i za varijantu sa redundovanim TK centralama i analizirana pouzdanost za različite brzine opravki, dok su u [8] izvedene relacije za srednje vreme do otkaza za obe varijante i za vezu pouzdanosti i troškova realizacije sistema koji omogućuju optimizaciju sistema sa stanovišta cena/pouzdanost. U [9] su prikazani dijagrami stanja za pouzdanost i raspoloživost i izvedene relacije za uslovne intenzitete prelaza telekomunikacionog sistema sa četiri TK centrale vezane u prsten i sa dve dijagonalne veze.

Model isplativosti rezerviranja, odnosno optimizacije troškova zbog rezerviranja TK centrala za varijantu sistema sa četiri TK centrale povezane u prsten izveden je u [8].

U ovom radu komparativno se analizira pouzdanost i raspoloživost rezerviranog telekomunikacionog sistema koji se sastoji od četiri telekomunikacione (TK) centrale, odnosno primopredajnika povezana u prsten dupleks vezama, kao osnovne konfiguracije. Rezerviranje se sastoji u uvođenju jedne ili dve dijagonalne veze između TK stanica u prstenu, i uvođenju po jedne rezervne TK centrale za svaku od TK centrala. Pored uporednog pregleda stanja svih varijanti, dati su i dijagrami stanja svih varijanti na osno-

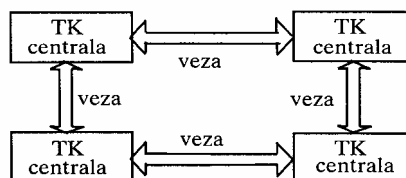
vu kojih je obavljeno izvođenje relacija za pouzdanost i raspoloživost primenom modela Markova. Postupak izvođenja i dobijene relacije ovde nisu prikazane zbog njihovog obima, ali za određene varijante su prikazane u ranijim radovima autora, kako je to u uvodu navedeno.

Konfiguracije sistema

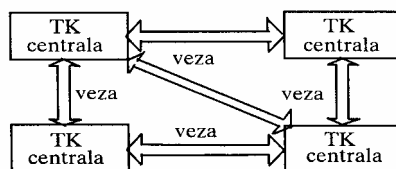
Razmatraju se telekomunikacioni sistemi koji se sastoje od četiri telekomunikacione (TK) centrale koje mogu biti nerezervirane ili rezervirane, a povezane su dupleks vezama:

- u prsten, kao na slici 1;
- u prsten sa jednom dijagonalom, kao na slici 2;
- u prsten sa dve dijagonale, kao na slici 3.

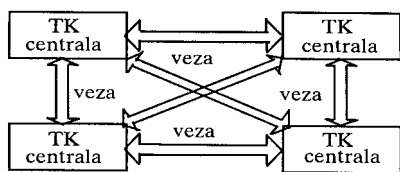
Ako se uzme u obzir da u svakoj od ovih varijanti TK centrale mogu biti ne-



Sl. 1 – Sistem od četiri TK centrale povezane u prsten dupleks vezama



Sl. 2 – Sistem od četiri TK centrale povezane u prsten i jednom dijagonalom



Sl. 3 – Sistem od četiri TK centrale povezane u prsten i dve dijagonale

rezervirane ili rezervirane, onda se razmatra ukupno šest varijanti. Kasnije u proračunima je uzet i slučaj potpuno pouzdanih TK centrala, pa se, u stvari, razmatra ukupno devet varijanti.

Komunikacija između dve TK centrale može se ostvariti direktno između centrala koje su povezane linijom veze u prsten, ili preko tranzitne centrale (u slučaju otkaza jedne linije veze u prstenu, dve TK centrale između kojih je otkazala linija veze mogu da komuniciraju preko TK centrale koja se nalazi između njih).

Sistemi rade ispravno, ako su sve četiri TK centrale (ili njihove redundanse u rezerviranoj varijanti) ispravne, i ako je moguće uspostaviti vezu između njih. Sistemi ne rade ispravno ako je bar jedna TK centrala (i njena redundansa u rezerviranoj varijanti) neispravna ili ako su sve TK centrale (ili njihove redundanse u rezerviranoj varijanti) ispravne, ali ne postoji mogućnost uspostavljanja veze između svake od njih.

Stanja sistema

S obzirom na to da, u opštem slučaju, može da otkáže svaka od linija veza i svaka od četiri TK centrale, broj stanja u kojima se može naći sistem sa slike 1, a pogotovo sistem na slici 2 ili 3 je veliki,

što veoma komplikuje proračun pouzdanosti i raspoloživosti. Radi pojednostavljenja proračuna, sva ta stanja se mogu, na primer za varijantu na slici 1, svrstati u pet grupa koje se mogu nazvati osnovnim stanjima, a ostala stanja proglasiti za podstanja osnovnih stanja, i na taj način formirati sistem jednačina, imajući u vidu da treba odrediti i uslovne intenzitete prelaza između pojedinih grupa stanja, kao što je to objašnjeno i urađeno u [4, 5, 6]. Za sisteme na slici 1, 2 i 3 pregled grupisanja stanja, zavisno od toga koliko je telekomunikacionih centrala i linija veza ispravno (oznaka +) ili neispravno (oznaka -) i broja podstanja za svako stanje, prikazan je u tabeli 1.

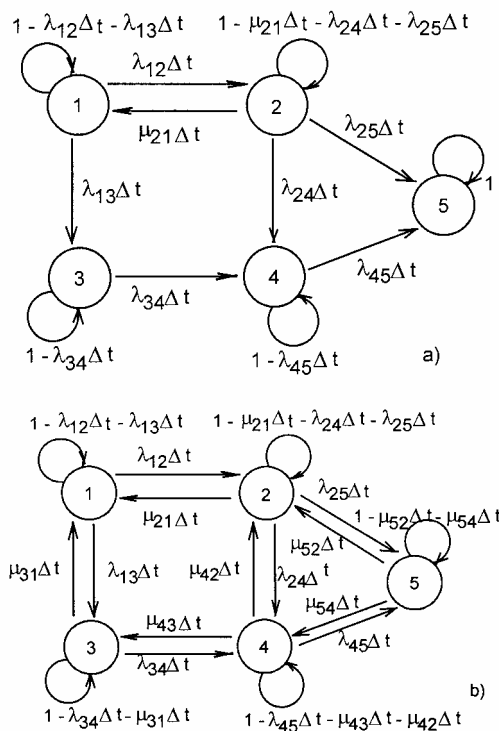
U koloni su za broj podstanja dati brojevi podstanja za nerezerviranu varijantu sistema i rezerviranu varijantu sistema odvojeni kosom crtom. Indeks „p“ uz broj u istoj koloni označava da sistem radi ispravno (povoljno stanje), a brojevi bez indeksa da sistem tada ne radi ispravno. Sistem na slici 1 ima pet grupa stanja, sistem na slici 2 – 8 grupa, a sistem na slici 3 – 10 grupa stanja.

Zbog obima i komplikovanosti sistema jednačina, izraza za uslovne intenzitete prelaza, kao i konačnih izraza koji se dobijaju za pouzdanost i raspoloživost ovih sistema, oni ovde nisu prikazani, jer su za sistem sa slike 1 prikazani u radovima [6, 7, 10], a za sistem sa slike 3 u [9].

Dijagrami prelaza između pojedinih stanja za pouzdanost i raspoloživost, za sisteme na slikama 1, 2 i 3 prikazani su na slikama 4, 5 i 6 respektivno. Dijagrami prelaza između pojedinih stanja za varijante sa rezerviranim TK centralama po obliku su isti kao i za sisteme sa nerezerviranim TK centralama, ali sa drugačijim intenzitetima prelaza između pojedinih stanja.

Grupisanje stanja sistema po varijantama
(nerezervirani/rezervirani)

R. br.	Varijanta sistema sa 4 TK centrale								
	Prsten			Prsten sa 1 dijag.			Prsten sa 2 dijag.		
	TK centrale	Linije veza	Broj podstanja ner./rez.	TK centrale	Linije veza	Broj podstanja ner./rez.	TK centrale	Linije veza	Broj podstanja ner./rez.
1.	+	+	1p/16p	+	+	1p/16p	+	+	1p/16p
2.	+	1-	4p/64p	+	1-	5p/80p	+	1-	6p/96p
3.	bar 1-	+	15/65	+	2-	2p/128p	+	2-	15p/240p
4.	bar 1-	1-	60/260	+	2-	2/32	+	3-	16p/256p
5.	+	bar 2-	176/891	bar 1-	+	16/65	+	3-	4/64
6.				bar 1-	1-	75/325	bar 1-	+	15/65
7.				bar 1-	bar 2-	150/650	bar 1-	1-	90/390
8.				+	bar 3-	256/1296	bar 1-	2-	225/975
9.							bar 1-	3-	300/1300
10.							+	bar 4-	325/1782
	Ukupno		256/1296			507/2572			997/4914

Sl. 4 – Polazni grafički prikaz modela Markova za
a) pouzdanost, b) raspoloživost sistema sa 4 TK
centrale povezane u prsten

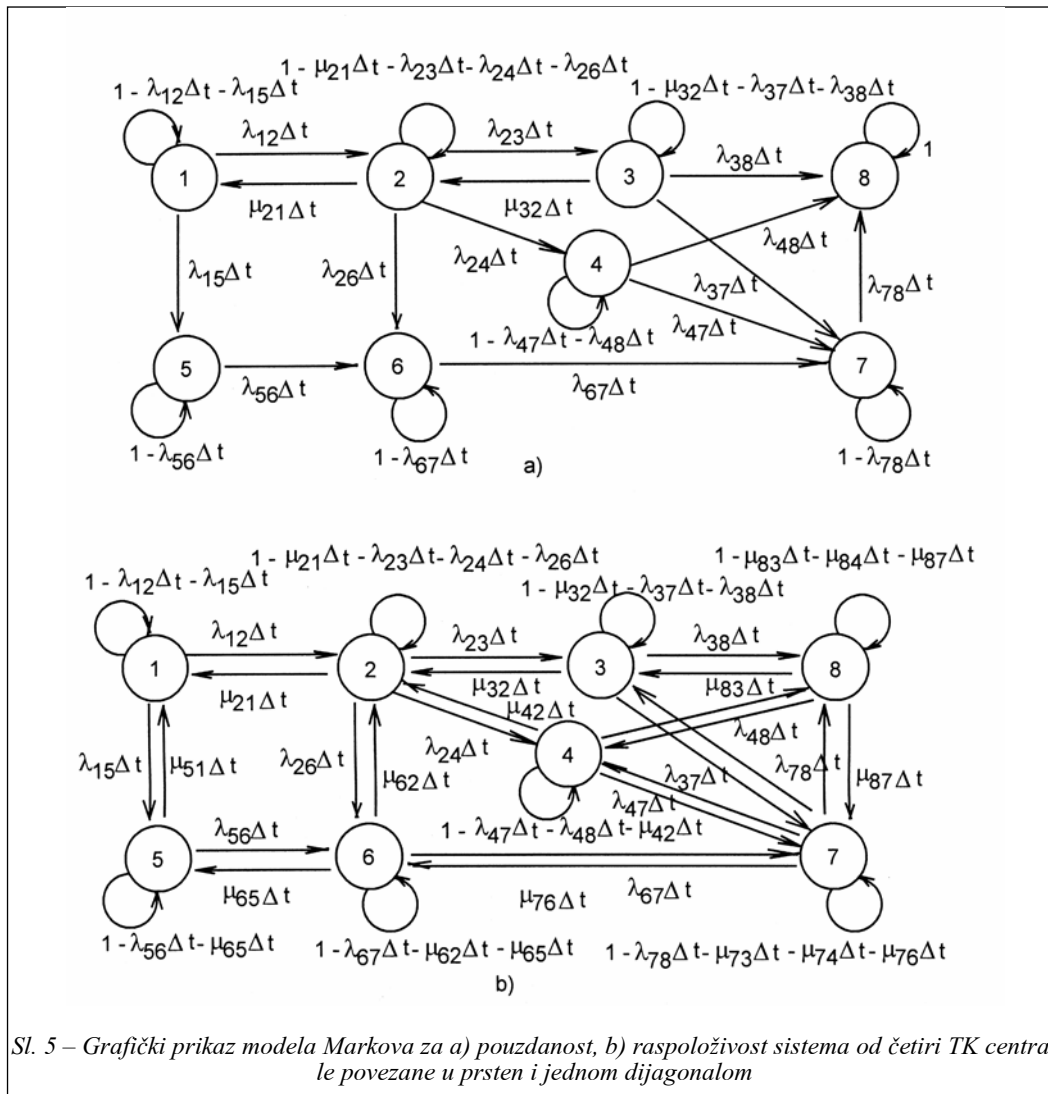
Rezultati proračuna

Rezultati proračuna raspoloživosti (A) u stacionarnom režimu i srednjeg vremena do otkaza (MTTF), za intenzitet otkaza TK centrala (primopredajnika) $\lambda_p=0,00001 \text{ h}^{-1}$ i linija veza $\lambda_v=0,00005 \text{ h}^{-1}$, kao i intenzitet opravke TK centrala $\mu_p=0,1 \text{ h}^{-1}$ i linija veza $\mu_v=0,1 \text{ h}^{-1}$ prikazani su u tabeli 2. Na slikama 7 do 9 prikazani su dijagrami zavisnosti pouzdanosti od vremena, za nekoliko različitih vrednosti intenziteta otkaza linija veza (prikazane su na dijagramima u uokvirenim poljima), uključujući i ove prethodne podatke za intenzitet otkaza i opravke TK centrala i linija veza, za sistem vezan u prsten (slika 1) za pouzdane, nerezervirane i rezervirane TK centrale, respektivno. Slično, na slikama 10 do 12 prikazani su dijagrami zavisnosti pouzdanosti za sistem sa jednom dijagonalnom vezom (slika 2), a na slikama 13 do 15 prikazani su dijagrami zavisnosti pouzdanosti za sistem sa dve dijagonalne veze (slika 3).

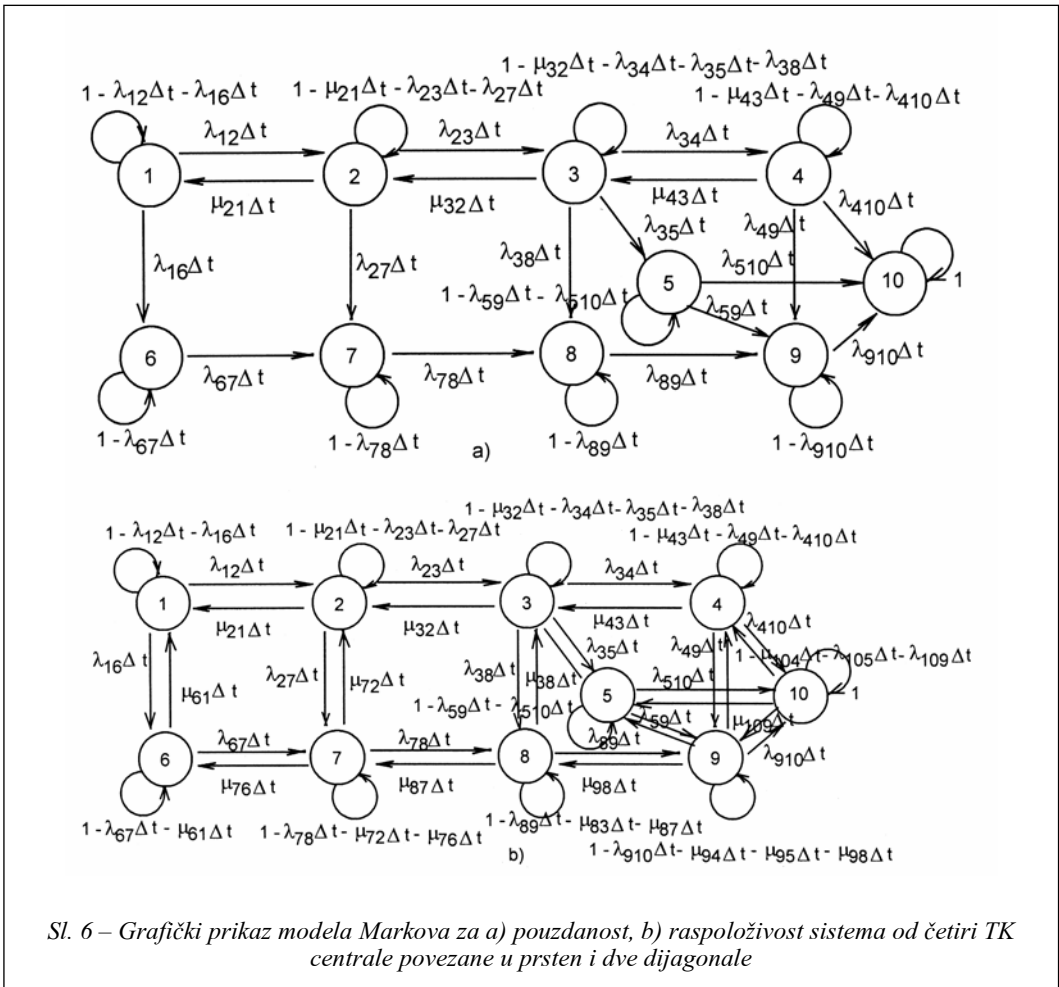
Tabela 2

Raspoloživost (A) i srednje vreme do otkaza (MTTF)

TK centrale	Raspol./pouz. d.	Varijanta sistema		
		var. na slici 1	var. na slici 2	var. na slici 3
Nerezervirane	A	0,9996	0,9980**	0,9996
	MTTF	248 070	249 290	249 910
Rezervirane	A	0,9998	0,9970**	1
	MTTF	1 940 700	1 979 300	1 997 900*
Pouz dane	A	1	1	1
	MTTF	1 941 400	1 980 100	1 995 900

* - $\lambda_v = 0,0001h^{-1}$; ** - $\mu_p = 0,01 h^{-1}$ 

Sl. 5 – Grafički prikaz modela Markova za a) pouzdanost, b) raspoloživost sistema od četiri TK centrale povezane u prsten i jednom dijagonalom

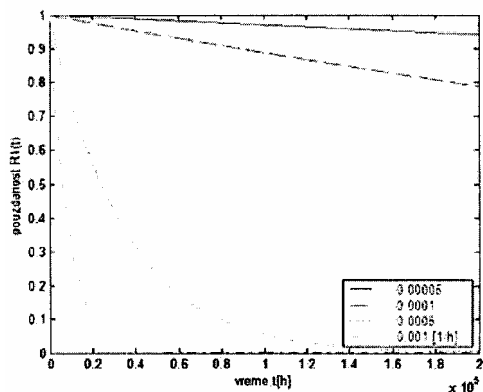


Rezultati pokazuju da sistem sa dve dijagonale ima najbolje karakteristike u pogledu pouzdanosti i raspoloživosti, a da se sistemi sa rezerviranim TK centralama približavaju mogućnostima sistema sa pouzdanim TK centralama. Iz tabele 2 takođe se vidi da se rezerviranjem TK centrala znatno povećava MTTF u odnosu na nerezervirani sistem. Za razumevanje rezultata za raspoloživost u tabeli 2, treba imati u vidu da je za intenzitet opravke centrala u varijanti sistema sa jednom dijagonalom (slika 2) uzeto $\mu_p=0,01 \text{ h}^{-1}$, a ne $0,1 \text{ h}^{-1}$ kao za ostale va-

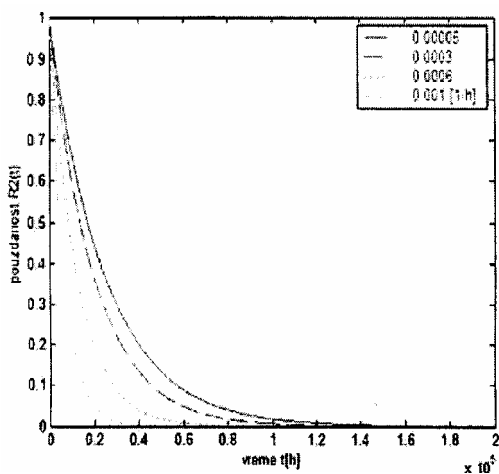
rijante (ti rezultati su u tabeli 2 označeni sa dve zvezdice).

Zavisnost pouzdanosti od vremena, za sistem sa TK centralama vezanim u prsten, pokazuje da kod varijante sa nerezerviranim TK centralama brzo dolazi do opadanja pouzdanosti sa vremenom (slika 8), dok se varijanta sa pouzdanim TK centralama ne razlikuje bitno od varijante sa rezerviranim TK centralama (slike 7 i 9). Takođe, uočava se da povećanje intenziteta otkaza linija veza (podaci u okviru na slikama) znatno utiče na smanjenje pouzdanosti sistema, pogotovo

ako se radi o sistemu sa nerezerviranim TK centralama. Očigledno je da se, uz odgovarajući nivo pouzdanosti linija veza i rezerviranjem TK centrala, može postići pouzdan sistem u celini.

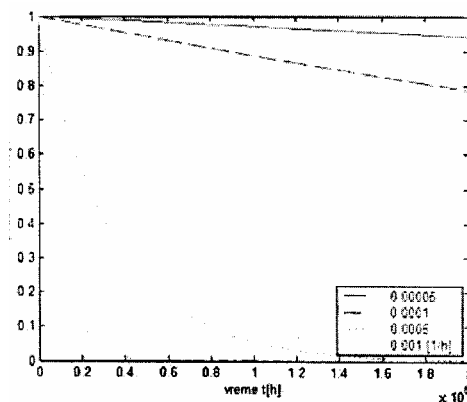


Sl. 7 – Pouzdanost sistema prikazanog na slici 1 sa pouzdanim TK centralama

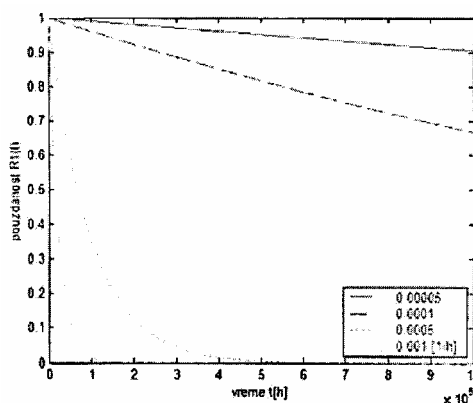


Sl. 8 – Pouzdanost sistema prikazanog na slici 1 sa nerezerviranim TK centralama

Slični zaključci mogu se izvesti i za varijantu sistema sa jednom dijagonalnom vezom (slike 10 do 12) i sa dve dijagonalne veze (slike 13 do 15), s tim što je opadanje pouzdanosti sa vremenom blaže kod sistema sa dve dijagonalne veze i rezerviranim TK centralama (slika 15) u odnosu na sistem sa jednom dijago-

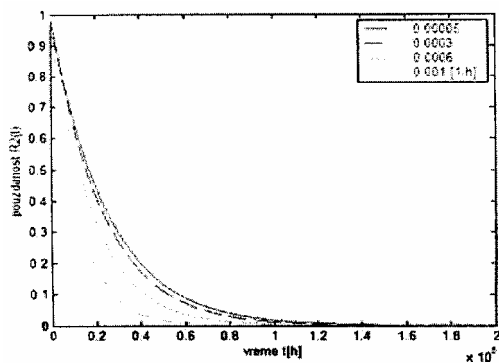


Sl. 9 – Pouzdanost sistema prikazanog na slici 1 sa rezerviranim TK centralama

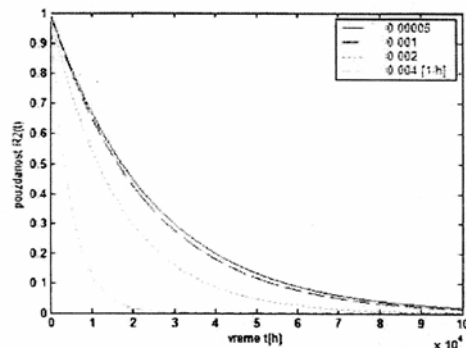


Sl. 10 – Pouzdanost sistema prikazanog na slici 2 sa pouzdanim TK centralama

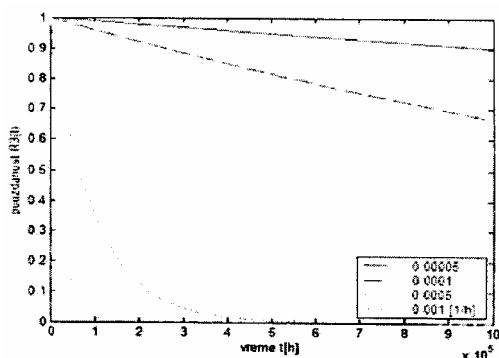
nalnom vezom i rezerviranim TK centralama (slika 12), pogotovo ako se radi o manje pouzdanim linijama veza. To znači da je uvođenje dijagonalnih linija veza ekvivalentno izvesnom rezerviranju linija veza. Iz prikazanih rezultata može se uočiti da uvođenje dijagonalnih veza utoliko više utiče na povećanje pouzdanosti ukoliko su linije veze nepouzdanije, tj. njihov intenzitet otkaza u odnosu na intenzitet otkaza TK centrala je veći ($\lambda_p \ll \lambda_v$), slično kao kod paralelne konfiguracije elemenata sa stanovišta pouzdanosti.



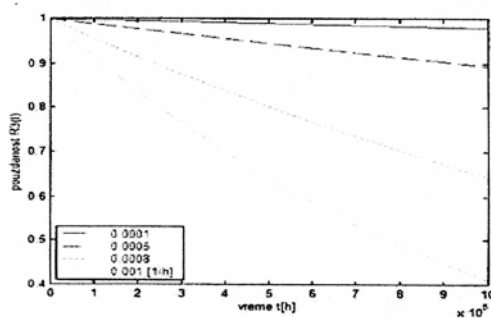
Sl. 11 – Pouzdanost sistema prikazanog na slici 2 sa nez rezerviranim TK centralama



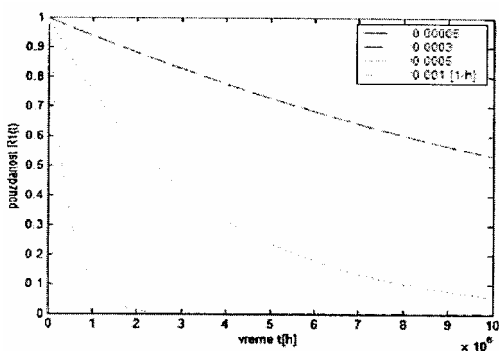
Sl. 14 – Pouzdanost sistema prikazanog na slici 3 sa nez rezerviranim TK centralama



Sl. 12 – Pouzdanost sistema prikazanog na slici 2 sa rezerviranim TK centralama



Sl. 15 – Pouzdanost sistema prikazanog na slici 3 sa rezerviranim TK centralama



Sl. 13 – Pouzdanost sistema prikazanog na slici 3 sa pouzdanim TK centralama

Zaključak

U radu su analizirani pouzdanosti i raspoloživosti za devet varijanti telekomunikacionog sistema koji sačinjavaju četiri telekomunikacione centrale međusobno povezane u prsten dupleks veza: varijanta veze u prstenu (bez dijagonalnih veza), varijanta sa jednom i varijanta sa dve dijagonale. Svaka od ove tri varijante posmatrana je i u sledeće tri varijante: bez rezerviranja i sa rezerviranjem telekomunikacionim centralama, i sa potpuno pouzdanim telekomunikacionim centralama.

Prikazane su mogućnosti grupisanja stanja radi smanjenja broja jednačina koje treba rešavati pri analizi pouzdanosti i raspoloživosti sistema sa velikim brojem stanja primenom modela Markova.

Prikazani su i dijagrami stanja, rezultati dobijeni za srednje vreme do otkaza i raspoloživost u stacionarnom stanju, kao i dijagrami zavisnosti verovatnoće ispravnog rada (pouzdanost) od vremena za određeni skup ulaznih podataka za svaku od varijanti.

Rezultati analize, odnosno proračuna pouzdanosti za razmatrane varijante telekomunikacionog sistema, pokazuju da sistem od četiri TK centrale povezane u prsten i sa dve dijagonalne veze ima najbolje karakteristike u pogledu pouzdanosti i raspoloživosti, i da se sistemi sa rezerviranim telekomunikacionim centralama približavaju mogućnostima sistema sa pouzdanim telekomunikacionim cen-

tralama. Isplativost rezerviranja može se analizirati kako je predloženo u [8].

Literatura:

- [1] Clymer, J. R.: System Analysis Using Simulation and Markov Models, Prentice-Hall Int. Inc., Toronto, 1990.
- [2] Vujanović, N.: Teorija pouzdanosti tehničkih sistema, Vojnoizdavački i novinski centar, Beograd, 1990.
- [3] Pokorni, S.; Ramović, R.; Parčina, N.: Teorija pouzdanosti tehničkih sistema, zbirka rešenih zadataka, VA VJ, Beograd, 1997.
- [4] Pokorni, S.: Pouzdanost i održavanje tehničkih sistema, Vojna akademija, Beograd, 2002.
- [5] Ramović, R.; Pokorni, S.: Modeli za analizu pouzdanosti i raspoloživosti sistema od četiri u prsten povezane TK centrale, Zbornik radova TELFOR-2001, str. 141–144.
- [6] Pokorni, S.; Ramović, R.: Analiza pouzdanosti i raspoloživosti sistema od četiri telekomunikacione centrale povezane u prsten, Vojnotehnički glasnik, 3/2000, str. 255–262.
- [7] Pokorni, S.; Ramović, R.: Analiza pouzdanosti i raspoloživosti jednog telekomunikacionog sistema modelima Markova, 5. međunarodna konferencija DQM-2002.
- [8] Pokorni, S.; Ramović, R.: Optimizacija pouzdanosti i troškova redundovanja jednog telekomunikacionog sistema, Zbornik radova SYM-OP-IS-2002, str. XI-1–XI-4.
- [9] Ramović, R.; Pokorni, S.; Miroslavljević, B.: Modelovanje pouzdanosti i raspoloživosti sistema od četiri u prsten povezane TK centrale, Zbornik radova TELFOR-2002, str. 125–128.
- [10] Pokorni, S.; Ramović, R.: Reliability and availability of telecommunication system of four ring connected stations, Communications in Dependability and Quality Management, An International Journal, Vol. 6, No. 1, 2003, pp 6–17.