

# Procena pouzdanosti telekomunikacionog sistema metodom računarske simulacije

Nenad Lazić, Slavko Pokorni

**Sadržaj** — U radu je analizirana pouzdanost sistema od šest telekomunikacionih centrala povezanih u prsten sa dve dijagonalne veze. Određena je pouzdanost sistema na dva načina: analitičkim metodom (Markovljevi modeli), i računarskom simulacijom. Poređenjem rezultata je utvrđeno da se računarska simulacija može koristiti kao alternativna metoda za izbor optimalne konfiguracije i određivanje pouzdanosti.

**Ključne reči** — Simulacija, pouzdanost, telekomunikacioni sistem, telekomunikaciona mreža

## I. UVOD

ODREĐIVANJE pouzdanosti TK sistema sa većim brojem elemenata zahteva rešavanje sistema od velikog broja jednačina kada se koriste Markovljevi modeli, pogotovo kada se radi o opravljivim sistemima, pa je potreban racionalniji metod, a to može biti metod simulacije koji je razvijen u ovom radu.

Do sada je u više radova razmatran problem određivanja pouzdanosti sistema sa više telekomunikacionih (TK) centrala povezanih u prsten sa ili bez dijagonalnih veza, korišćenjem modela Markova, uz pretpostavku da su intenziteti otkaza jednaki za sve linije veze [1]. U ovom radu je i tom metodom određena pouzdanost za TK sistem kod kojeg intenziteti otkaza dijagonalnih veza i veza u prstenu mogu imati različite vrednosti. Potrebno je, pri projektovanju, odabrati i optimalan položaj dijagonalnih veza.

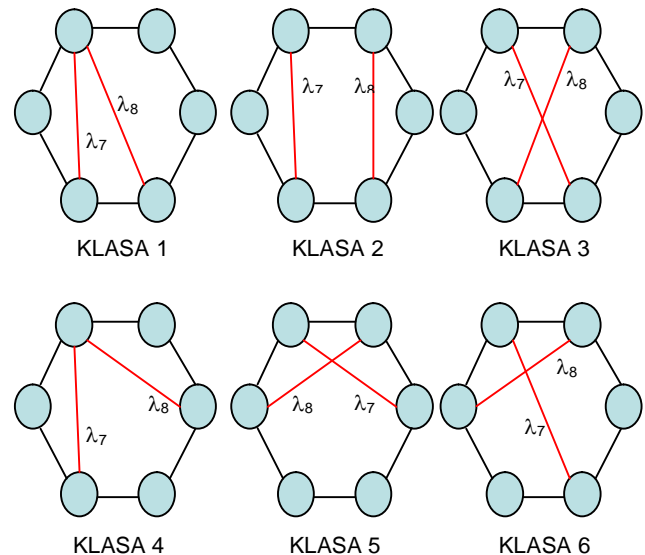
U prvom delu, izvršena je evaluacija pouzdanosti metodom Markovljevih modela, a u drugom, primenom metoda simulacije. Konačno, koristeći analitički metod kao referentni, donet je zaključak da li se računarska simulacija može koristiti kao alternativa za analitički metod.

## II. OPIS MODELA SISTEMA

Predmet analize je model TK sistema od šest telekomunikacionih centrala povezanih u prsten i sa dodatne dve dijagonalne veze. U zavisnosti od položaja ove dve dodatne veze, postoji ukupno 36 konfiguracija, koje se se mogu grupisati u 6 klasa. Te klase su prikazane na slici 1.

Nenad Lazić, Petrarčina 1, 11000 Beograd, (telefon: 064-614-7401; email: [nenad.lazic@gmail.com](mailto:nenad.lazic@gmail.com))

Slavko Pokorni, Visoka škola strukovnih studija za informacione tehnologije, Zemun, Cara Dušana 34, 11080 Zemun, (telefon: 381-11-3168929; email: [slavko.pokorni@its.edu.rs](mailto:slavko.pokorni@its.edu.rs))



Sl. 1. Prikaz klasa u zavisnosti od položaja dijagonalnih veza

Da bi TK sistem ispravno funkcionisao, potrebno je da postoji komunikacija između svih TK centrala.

Osnovni parametri otkaza i popravke su obeleženi sa:

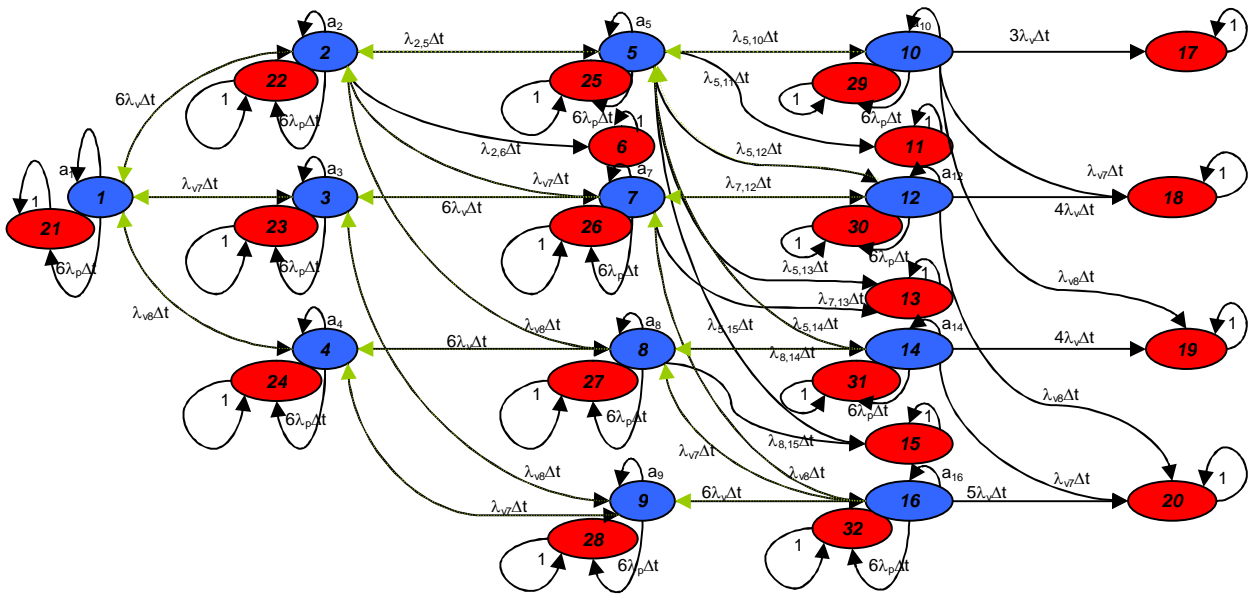
- intenzitet otkaza linije veze u prstenu -  $\lambda_v$ ,
- intenzitet otkaza prve dijagonalne veze -  $\lambda_7$ ,
- intenzitet otkaza druge dijagonalne veze -  $\lambda_8$ ,
- intenzitet popravke linije veze -  $\mu_v$ ,
- intenzitet otkaza TK centrale -  $\lambda_p$ .

## III. ODREĐIVANJE POUZDANOSTI METODOM MARKOVLJEVIH MODELA

Određivanje pouzdanosti metodom Markovljevih modela se sastoji od konstruisanja grafa stanja, određivanja koeficijenata prelaznih verovatnoća između stanja i postavljanja i rešavanja sistema diferencijalnih jednačina [2]. Funkcija pouzdanosti je izračunata za karakteristične vrednosti parametara sistema i sve položaje dveju poprečnih veza.

Graf stanja može da se pojednostavi agregacijom stanja sa istim koeficijentima prelaznih verovatnoća. Ta stanja se na grafu stanja predstavljaju kao jedno meta-stanje. Postoje ukupno 32 različita stanja (tj. meta-stanja) u kojima se posmatrani sistem može naći, počev od stanja kada su sve linije veze funkcionalne, zatim kada otkazu jedna, dve ili tri linije veze, pa sve do stanja kada neke od TK centrala prestaju da vrše svoju funkciju.

Graf stanja konkretnog sistema je prikazan na slici 2.



Sl. 2. Graf stanja razmatranog sistema

Plavom bojom označena su ona stanja za koja sistem funkcioniše, a crvenom ona stanja u kojima sistem prestaje da vrši funkciju za koju je namenjen (apsorpciona stanja). Izračunate su i pored strelica naznačene verovatnoće prelaza između stanja. Zelenom bojom obeležene su strelice koje označavaju da se sistem može vratiti u prethodno stanje nakon izvršene popravke.

S obzirom da je u radu akcenat stavljen na metod simulacije, nećemo ulaziti u detaljan opis analize pouzdanosti metodom Markovljevih modela, već ćemo direktno koristiti dobijene rezultate za upoređivanje ove dve metode.

Iz razloga preglednosti, rezultati analize metodom Markovljevih modela dati su uporedo sa rezultatima metode simulacije u poglavlju V.

#### IV. ODREĐIVANJE POUZDANOSTI RAČUNARSKOM SIMULACIJOM RADA TK SISTEMA

Poznato je da metod Markovljevih modela i pored prednosti kao što je značajno jednostavnija analiza u odnosu na realan sistem, ima i nedostataka [3], kao što je npr. pretpostavka da svi elementi sistema imaju eksponencijalnu raspodelu otkaza, što ne mora odgovarati praksi. Zatim, minimalne topološke izmene u konfiguraciji (npr. dodavanje jedne centrale ili dijagonalne veze) zahtevaju da se ceo proračun pouzdanosti obavi ispočetka, obično u većem obimu. Dalje, za sistem koji se sastoji od  $N$  nezavisnih elemenata, broj stanja u kojima se sistem može naći je  $2^N$ , pa je metod nepraktičan za  $N > 15$ . S druge strane, realni sistemi se mogu sastojati od nekoliko stotina i više elemenata (TK centrale, linije veza).

Radi prevazilaženja ovih ograničenja, logično je da se pokušaju pronaći alternativne metode koje su u istom ili većem stepenu efikasne u određivanju pouzdanosti.

Brz razvoj računarskih komponenti omogućava da se iskoristi snaga procesora za simulaciju složenih TK sistema. Prednosti simulacije su jednostavno zadavanje parametara pouzdanosti kao što su intenzitet otkaza i

intenzitet popravke, zatim zadavanje specifičnih raspodela otkaza za odgovarajuće komponente sistema, i jednostavna i brza sinhronizacija softvera sa promenama u topologiji mreže.

Osnovni zahtev sa kojim se prišlo izradi računarske simulacije je da ona mora odgovarati grafu stanja sistema, jer je samo u tom slučaju moguće izvući koristan zaključak o opravdanosti računarske simulacije na osnovu poređenja sa metodom Markovljevih modela.

Korisnik zadaje broj simulacija koji mu je potreban i zadaje vremenski interval tokom kojeg se posmatra rad TK sistema. Korisnik može zadati raspodelu otkaza svakog elementa pojedinačno i intenzitet popravke linije veze.

Topologija mreže se predstavlja grafom koji je jednoznačno određen njegovom matricom povezanosti[4].

Simulacija teče tako što se do isteka zadatog vremenskog intervala, svakog virtuelnog sata proverava stanje svake veze i svake centrale. Simulacija prestaje sa izvršavanjem ako dođe do otkaza sistema ili ako je zadato vreme trajanja simulacije isteklo. Do otkaza TK sistema može doći otkazom TK centrale ili otkazom više linija veza, koji dovodi do nepovezanog sistema. U tom slučaju memoriše se vreme otkaza TK sistema, i započinje nova simulacija. Program se izvršava do isteka zadatog broja simulacija.

Otkaz linije veze se posmatra kao slučajan događaj sa zadatom funkcijom raspodele otkaza. Nakon otkaza, svakog narednog virtuelnog sata se proverava da li je izvršena popravka te linije veze, što se posmatra kao slučajan događaj sa zadatom funkcijom raspodele popravke. Neispravna linija veze čeka na red ukoliko je radionica zauzeta. U tom intervalu može doći do otkaza još veza, i sve one tim redom ulaze u čekaonicu na svoj red za popravku.

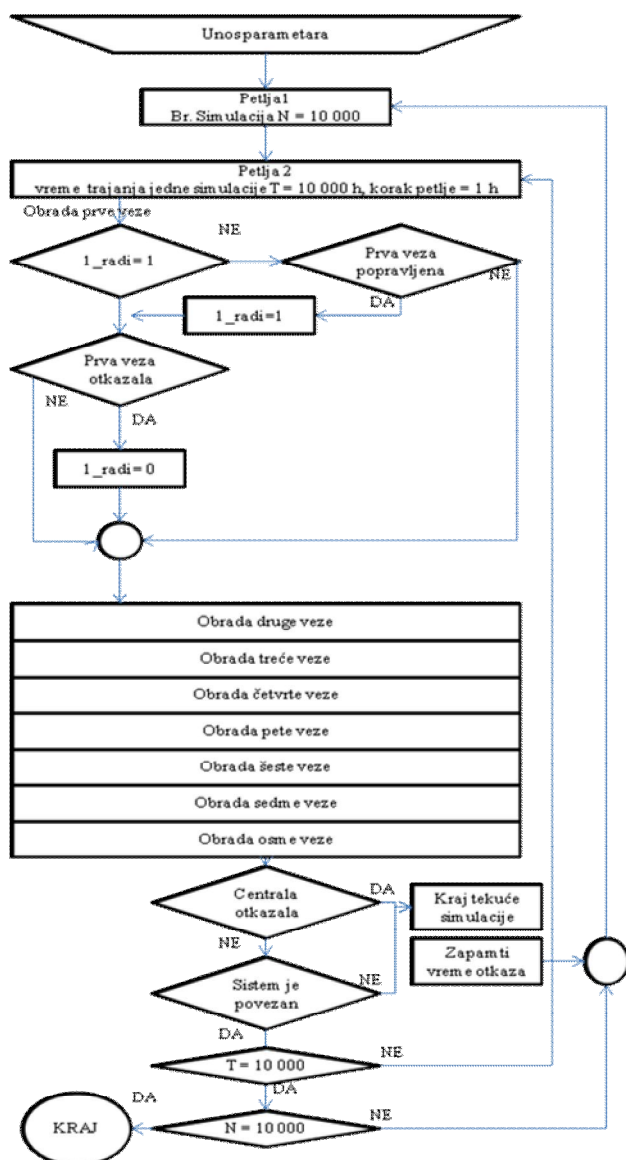
Po završetku niza simulacija za svaku od 6 klasa, dobijen je skup od 10 000 podataka, koji predstavljaju vremenske trenutke u kojima je došlo do otkaza sistema. Na osnovu tih podataka, moguće je aproksimirati kumulativnu funkciju raspodele otkaza, a samim tim i

funkciju pouzdanosti. Broj simulacija poželjno je povećati na 20000 po klasi, pa i više, da bi se dobila što tačnija kriva funkcije pouzdanosti.

Prosečno vreme trajanja izvršavanja simulacija po klasi je bilo oko 24 časa. S obzirom da je korišćen procesor starije generacije (AMD 1800+) i da brzina računanja u Matlab-u najviše zavisi od brzine procesora, može se skratiti vreme potrebno za simulaciju ako se koristi savremeniji računar, na primer sa četvororojezgarim procesorom. Računarska simulacija se može obavljati paralelno na više računara tako da se trajanje simulacije može višestruko skratiti.

Zbog preglednosti, rezultati metode simulacije dati su uporedo sa rezultatima analitičkog metoda u narednom poglavlju.

Tok i algoritam programske simulacije u Matlab-u opisan je pomoću blok dijagrama sa slike 3.

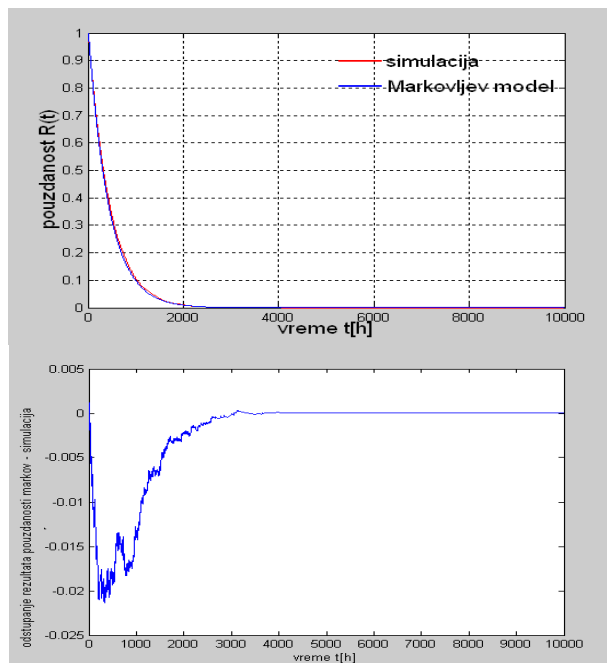


Sl. 3. Algoritam računarske simulacije TK sistema

## V. UPOREDNA ANALIZA REZULTATA

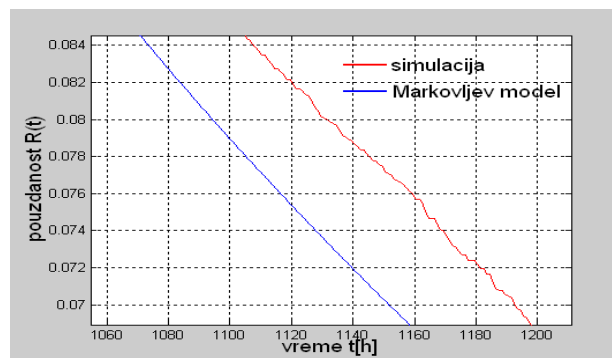
Dobijeni rezultati prikazani su grafički na slikama 4. – 7. Ulazni parametri za proračun su  $\lambda_v = \lambda_7 = \lambda_8 = 0,005$ ,  $\mu_v = 0,1$  i  $\lambda_p = 0,00005$ , a broj simulacija je 10000.

Na slici 4. prikazane su funkcije pouzdanosti za klasu 2, dobijene metodom Markova i metodom simulacije. Takođe je predstavljena i razlika ove dve funkcije. Maksimalno odstupanje tj. greška metode simulacije u proceni pouzdanosti je oko 2%. Srednja greška je oko 1%.



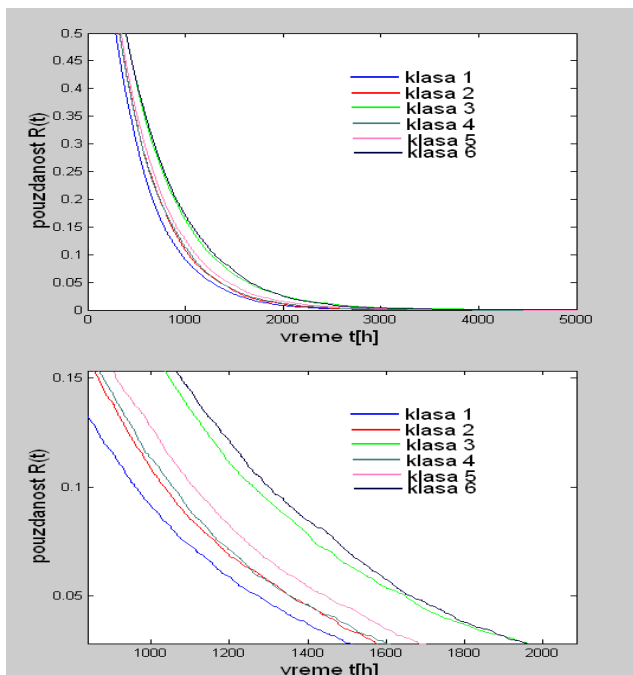
Sl. 4. Funkcije pouzdanosti izračunate na osnovu modela Markova i na osnovu računarske simulacije, za klasu 2, (gornja) i njihova razlika (donja slika)

Na slici 5. prikazane su uvećano funkcije pouzdanosti sa slike 4. Vidi se kriva dobijena metodom simulacije i odstupanje od metode Markova.

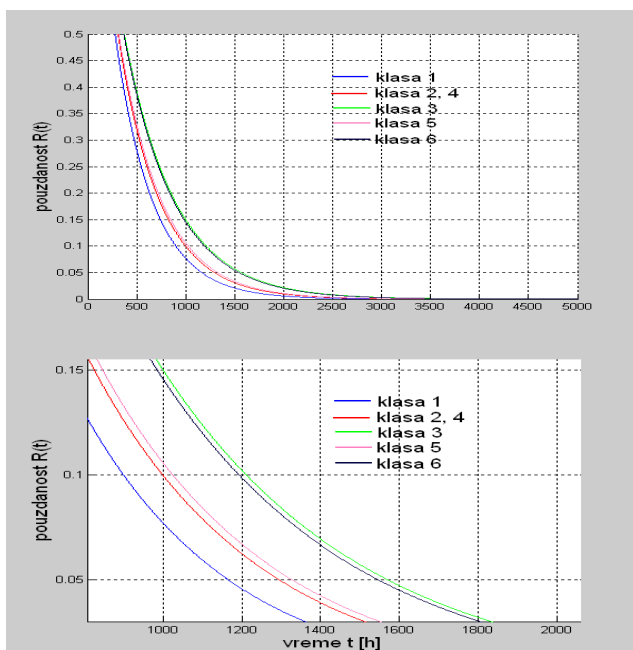


Sl. 5. Funkcije pouzdanosti dobijene analitičkim metodom i metodom simulacije za klasu 2 (uvećano)

Na slici 6. i 7. prikazane su funkcije pouzdanosti za sve klase, tj. za sve položaje dijagonalnih veza, za metodu simulacije i analitičku metodu, respektivno. Klase 3 i 6 imaju najveću, a klasa 1 najmanju pouzdanost. Prema modelu Markova na slici 7. klasa 3 ima nešto veću pouzdanost od klase 6. Na izabranom segmentu grafika sa slike 6. dolazi do preklapanja i klasa 6 je prividno pouzdanija. Zbog male razlike klase 3 i 6 i zbog greške metode simulacije, na nekim segmentima je klasa 3 pouzdanija a na nekim klasa 6. Ova greška otklanja se povećanjem broja simulacija, jer je tada kriva dobijena metodom simulacije bliža idealnoj.



Sl. 6. Funkcije pouzdanosti svih šest klasa dobijene na osnovu metode računarske simulacije (i uvećano)



Sl. 7. Funkcije pouzdanosti svih šest klasa dobijene na osnovu metode Markova (i uvećano)

## VI. ZAKLJUČAK

U radu su prikazani uporedni rezultati primene dve metode za analizu pouzdanosti složenih sistema: metode Markova, i metode simulacije za koju je urađen računarski program. Metode su primenjene na telekomunikacioni sistem koji se sastoji od šest telekomunikacionih centrala povezanih u prsten, i različite varijante ovog sistema sa dve dijagonalne veze, pri čemu je uzeta u obzir i dužina tih veza (obično proporcionalna intenzitetu otkaza).

Greška metode simulacije u odnosu na referentni metod Markovljevih modela je u proseku oko 1%, dok je maksimalna između 2% i 3% (zavisno od klase). Na osnovu metode simulacije moguće je napraviti izbor optimalne klase. Time se pokazuje da u primenama gde je ovo odstupanje dopustivo i uz dopunska poboljšanja programa, prikazana metoda simulacije rada TK sistema na računaru predstavlja dobru alternativu u određivanju pouzdanosti i optimizaciji TK sistema.

Može se predložiti više tema za budući rad na primeni prikazane metode simulacije: procena uticaja broja simulacija i koraka petlje na tačnost metode simulacije; zavisnost pouzdanosti TK sistema za specifične vrednosti intenziteta otkaza dijagonalnih veza, za razne vrste funkcije raspodele otkaza (Vajbulova, Beta raspodela) i grafička prezentacija; poređenje prikazane metode simulacije sa Monte Carlo metodom [5],[6], itd.

## LITERATURA

- [1] S. Sarić, R. Ramović, S. Pokorni, „Pouzdanost i raspoloživost sistema veze šest međusobno povezanih TK centara“, 31. simpozijum o operacionim istraživanjima SYM-OP-IS 2004, Zbornik radova, pp 381-384, Iriški venac, Fruška Gora, 14-17. 09.2004.
- [2] R. Ramović, *Pouzdanost sistema – elektronskih, telekomunikacionih i informacionih*, ETF, Beograd 2005. (internet izdanje)
- [3] ReliaSoft online articles. (Quarter 4, 2001). „Limitations of the Exponential Distribution for Reliability Analysis“. Volume 2 (issue 3). Available: <http://www.reliasoft.com/newsletter/4q2001/exponential.htm>
- [4] L. Čaklović. (December, 2004). „Matematičko modeliranje“, poglavlje „Osnove teorije grafova“ Available: <http://viveka.math.hr/modeliranje/repositorij/trmreze.pdf>
- [5] ReliaSoft online articles. (May, 2001) „Monte Carlo Simulation“. *Reliability HotWire eMagazine* (issue 3). Available: <http://www.weibull.com/hotwire/issue3/hottopics3.htm>
- [6] D. Ostojić, D.Brkić, S. Pokorni, „Određivanje zahtevanog nivoa raspoloživosti telekomunikacione mreže metodom simulacije“, TELFOR, Beograd 2007., pp 126-128.

## ABSTRACT

Reliability of the system of six ring connected stations with two redundant lines is analyzed in this paper. Two methods for reliability evaluation of redundant ring connected communication systems are presented: Markov models and computer simulation. Comparison of the results showed that software simulation can be used as alternative method for reliability estimation.

## ESTIMATION OF A COMMUNICATION SYSTEM RELIABILITY BY COMPUTER SIMULATION

Nenad Lazić, Slavko Pokorni