

# Pristup proceni raspoloživosti složenih komunikacionih mreža pomoću simulacije

Radomir Janković  
Univerzitet Union  
Računarski fakultet  
Beograd, Srbija  
[rjanković@raf.edu.rs](mailto:rjanković@raf.edu.rs)

Slavko Pokorni  
ITS Visoka škola strukovnih studija  
za informacione tehnologije  
Beograd, Srbija  
[slavko.pokorni@its.edu.rs](mailto:slavko.pokorni@its.edu.rs)

*Sadržaj*—U radu se prikazuje pristup proceni složenih komunikacionih mreža koje se sastoje od popravljivih čvorova i linkova primenom metode simulacije diskretnih događaja. Date su potrebne definicije, elementi simulacionog modela, algoritam programa-simulatora za procenu dvoterminalne raspoloživosti komunikacione mreže realizovanog u simulacionom jeziku GPSS World i primer sa kratkom analizom rezultata prvih eksperimenata

*Ključne riječi*—komunikaciona mreža; raspoloživost; simulacija

## I. UVOD

Živimo u vremenu u kome su informacione i komunikacione tehnologije (IKT) postale sveprisutne, ne samo u domenima kao što vojne primene, državna uprava ili poslovanje, nego i u svakodnevnom životu najširih slojeva stanovništva. U skladu sa tim, današnji prosečni korisnik IKT nije onaj isti od pre samo nekoliko godina. Pored toga što se izbor različitih usluga koje pružaju IKT drastično povećao, kako po vrsti tako i po njihovom obimu, korisnik danas sa pravom zahteva i njihov visok kvalitet, kao i njihovu do skoro nezamislivu raspoloživost u svakom trenutku.

Komunikacione mreže su jedan od osnova savremenih IK tehnologija. U većini usluga IKT koje takve mreže podržavaju, bilo da se radi o vojnom ili civilnom sektoru, od najvećeg značaja je da konekcije između strana koje učestvuju u razmeni informacija opstaju gotovo bez otkaza.

Komunikacione mreže su složeni sistemi, sa velikim brojem sastavnih delova koji su po svojoj prirodi skloni povremenim otkazima. Sa povećavanjem broja sastavnih delova, uglavnom čvorova i linkova, povećava se i verovatnoća narušavanja konekcija između učesnika koji razmenjuju informacije preko mreže. Olakšavajuću okolnost predstavlja mogućnost ponovnog uspostavljanja prekinute konekcije izborom neke od alternativnih putanja u mreži koja je na raspolaganju u trenutku otkaza nekog mrežnog elementa, odnosno narušavanja postojeće konekcije.

Dva pokazatelja koja najbolje opisuju sposobnost bilo kod tehničkog sistema da opstaje u vršenju svoje funkcije jesu njegova raspoloživost i pouzdanost.

---

Ovaj rad realizovan je u okviru projekta TR 35026, delimično podržanog od strane Ministarstva prosvete i nauke Republike Srbije.

Postoje analitičke metode za izračunavanje ili bar procenu raspoloživosti i pouzdanosti tehničkih sistema, ali samo mali broj njih može se primeniti na složenu komunikacionu mrežu, posebno ako su njeni elementi koji otkazuju popravljivi, što je obično slučaj. Takvi metodi se u suštini svode na prebrojavanje stanja u kojima sistem radi i sumiranje verovatnoća da se sistem nađe u tim stanjima. Međutim, broj tih stanja može da bude veoma veliki. Na primer, čak i u slučaju da postoji samo 10 elemenata (čvorova i linkova) od kojih svaki može biti u 2 stanja (radi/otkazao), mreža može da bude u 1024 stanja. Ovako veliki broj stanja komunikacionih mreža znatno otežava, a često i onemogućava dolaženje do upotrebljivih analitičkih rešenja za izračunavanje njihovih pouzdanosti i raspoloživosti. To je razlog zašto se za rešenje ovakvih problema može primeniti metoda simulacije [1], [2], [3].

U radu [4], primenjene su 2 metode simulacije za procenu pouzdanosti složene komunikacione mreže koja se sastoji od čvorova i linkova, okarakterisanim njihovim srednjim vremenom između otkaza (MTBF). Međutim, u toku daljih istraživanja došlo se do zaključka da bi za korisnike komunikacionih mreža bolji pokazatelj kvaliteta usluga koje one podržavaju bila njihova raspoloživost.

U ovom radu prikazuje se pristup proceni raspoloživosti složenih komunikacionih mreža koje se sastoje od popravljivih elemenata primenom metode simulacije diskretnih događaja.

U II. odeljku su definicije za potrebe ovog rada.

U III. odeljku dat je pristup proceni raspoloživosti složenih komunikacionih mreža.

U IV. odeljku opisan je simulacioni model za procenu 2-terminalne raspoloživosti komunikacionih mreža.

U V. odeljku dat je primer i kratka analiza rezultata prvih eksperimenata izvršenih radi provere mogućnosti programa-simulatora realizovanog u jeziku GPSS World.

## II. DEFINICIJE

**Komunikaciona mreža** jeste skup elemenata mreže međusobno povezanih radi prenosa informacija. U ovom istraživanju se pod složenom komunikacionom mrežom podrazumeva sistem koji ima najmanje 2 krajnja čvora, koji se

mogü povežati pomoću linkova i/ili drugih ćvorova na najmanje 2 različita načina.

**Elementi mreže** su ćvorovi i linkovi.

**Ćvor  $N_i$**  jeste element mreže koji služi za slanje, prijem i usmeravanje informacija kroz komunikacionu mrežu. Ćvor u mreži može biti krajnji ćvor (izvor ili odredište komunikacije), ili međućvor (ruter). Svi ćvorovi u ovom istraživanju imaju sposobnost predaje, prijema i rutiranja saobraćaja preko linkova na koje su priključeni.

**Link  $L_{ij}$**  jeste element mreže koji služi za povezivanje susednih ćvorova  $N_i$  i  $N_j$ . U ovom istraživanju je uzeto da su linkovi dvosmerni, odnosno da uvek važi  $L_{ij} \equiv L_{ji}$ .

**Veze** susednih pojedinih delova mreže mogu biti serijske i paralelne.

**Konekcija** jeste komunikacija uspostavljena u mreži između dva krajnja ćvora (izvora i odredišta).

**Putanja** jeste serijska veza mrežnih elemenata (krajnjih ćvorova, međućvorova i odgovarajućih linkova) i se sastoji od najmanje 3 elementa: 2 krajnja ćvora (izvor i odredište) i 1 linka. Putanja može imati i više dodatnih elemenata, međućvorova za rutiranje i odgovarajućih linkova.

Za potrebe ovog istraživanja, uvedena je složenost putanje  $S_i$ , kao mera za redosled prihvaljivosti putanje radi ostvarivanja konekcije, data izrazom:

$$S_i = N_i + L_i = 2N_i - 1 \quad (1)$$

gde su  $N_i$  i  $L_i$  broj ćvorova i linkova u putanji  $i$ . Upravljanje mrežom prilikom pokušaja uspostavljanja konekcije između 2 krajnja ćvora razmatra sve raspoložive putanje, redom prema njihovoj rastućoj složenosti.

**Mrežni saobraćaj** čine zahtevi za uspostavljanjem putanja i vremenom zauzeća tih putanja, odnosno mrežnih elemenata koji ih sačinjavaju, za vreme trajanja konekcije. Najgori slučaj, koji se i razmatra u ovom radu, jeste da u posmatranom vremenskom periodu mrežni saobraćaj treba da se odvija sve vreme.

**Otkaz mrežnog elementa** (ćvora ili linka) nastaje kada usled kvara taj element prestane da funkcioniše i traje sve dok se isti ne popravi. U pogledu otkaza, uzeto je da su mrežni elementi definisani svojim srednjim vremenima između otkaza, MTBF [h], i eksponencijalnom raspodelom vremena između dva uzastopna otkaza.

**Otkaz putanje** nastaje kada otkáže bilo koji mrežni element (ćvor ili link) iz njenog sastava, budući da su svi njeni elementi serijski povezani. U pogledu otkaza, uzeto je da su mrežni elementi definisani srednjim vremenima između otkaza MTBF [h] i eksponencijalnom raspodelom tog vremena.

**Opravka** mrežnog elementa je proces u kome se element dovodi u ispravno stanje. U pogledu trajanja opravke mrežnih elemenata,  $t_{opr}$ , uzeto je da su mrežni elementi definisani svojim srednjim vremenima trajanja opravke, MTTR [h] i eksponencijalnom raspodelom tog vremena.

### III. PRISTUP PROCENI RASPOLOŽIVOSTI MREŽA

Raspoloživost ( $A$ ) nekog tehničkog sistema je verovatnoća da će taj sistem, kada se koristi pod zadatim uslovima, zadovoljavajuće funkcionisati u bilo kom trenutku vremena [5], što se može izraziti na sledeći način:

$$A = \frac{t_{kor}}{t_{kor} + t_z} \quad (2)$$

gde je  $t_{kor}$  vreme korišćenja, a  $t_z$  vreme zastoja sistema.

U radu [6] navedeni su uobičajeni izrazi za proračun raspoloživosti pojedinačnih popravljivih elemenata mreže i to:

a. Za ćvorove:

$$A_N = \frac{\mu}{\mu + \lambda} \quad (3)$$

gde je  $\mu$  intenzitet opravki po satu, a  $\lambda$  intenzitet otkaza po satu.

b. Za optičke linkove:

$$A_L = \frac{\mu}{\mu + \lambda \frac{L}{100}} \quad (4)$$

gde je  $\mu$  intenzitet opravki po satu, a  $\lambda$  intenzitet otkaza po satu na 100 km i  $L$  dužina optičkog linka.

Problem procene raspoloživosti komunikacione mreže sa popravljivim elementima je neuporedivo teži zbog toga što kada dođe do otkaza jednog ili više ćvorova ili linkova, mreža još uvek može da pokuša da nastavi sa funkcionisanjem, izborom mogućih alternativnih putanja preko ispravnih ćvorova i linkova. Do otkaza mreže u celini dolazi samo u slučajevima kada u trenutku zahteva za uslugom ne postoji ni jedna raspoloživa putanja koja tu uslugu omogućava.

Pored toga, potrebno je odrediti i koja vrsta raspoloživosti mreže treba da se proceni. To može biti [6]:

- 2-terminalna raspoloživost mreže (2TA): verovatnoća da postoji bar jedna putanja koja povežuje 2 terminalna ćvora,  $N_s$  (izvor) i  $N_d$  (odredište);
- $k$ -terminalna raspoloživost mreže ( $kTA$ ): verovatnoća da postoji putanja između najmanje  $k$  definisanih ćvorova;
- ukupna raspoloživost mreže (ATA): verovatnoća da su svi ćvorovi u mreži (bilo koja dva) povezani.

Koja od navedenih raspoloživosti se procenjuje zavisi od namene mreže u celini. U ovom radu predmet istraživanja je 2-terminalna raspoloživost komunikacionih mreža.

Pristup određivanju raspoloživosti komunikacionih mreža u ovom radu sastoji se u tome da se formuliše simulacioni model za određivanje 2-terminalne raspoloživosti mreže, napravi program-simulator, pomoću njega simulira rad mreže i odgovarajući događaji u odabranom vremenskom periodu  $T$ , prikupe podaci o vremenima  $t_{kor}$  i  $t_z$  za vreme simulacije i izračuna raspoloživost mreže prema izrazu (3).

#### IV. SIMULACIONI MODEL ZA PROCENU 2-TERMINALNE RASPOLOŽIVOSTI KOMUNIKACIONIH MREŽA

Model za procenu 2-terminalne raspoloživosti složenih komunikacionih mreža spada u klasu simulatora diskretnih događaja.

Događaji u sistemu su:

- Zahtev za uslugom mreže – uspostavljanje saobraćaja između čvorova  $N_s$  i  $N_d$ .
- Oslobođanje mreže po završenoj usluzi – obustavljanje saobraćaja između čvorova  $N_s$  i  $N_d$ .
- Otkaz mrežnog elementa (čvora ili linka) i početak njegove popravke.
- Završetak popravke neispravnog mrežnog elementa.

Vreme u simulacionom modelu definisano je:

- Osnovnim vremenskim intervalom  $t_0$ .
- Ukupnim simuliranim vremenskim periodom  $T$ .

Pokretni delovi simuliranog sistema u modelu su:

- Jedinice saobraćaja informacija kroz mrežu.
- Otkazi mrežnih elemenata.

Program-simulator realizovan je pomoću simulacionog jezika GPSS World [7]. Taj jezik je upotrebljen zbog svoje šoroke rasprostanjenosti, ekonomičnosti i već uspešne primene u raznim analizama i sintezama složenih komunikacionih mreža, na primer u [8] i [9]. Algoritam programa simulatora prikazan je na sl. 1. Osnovni moduli simulatora su:

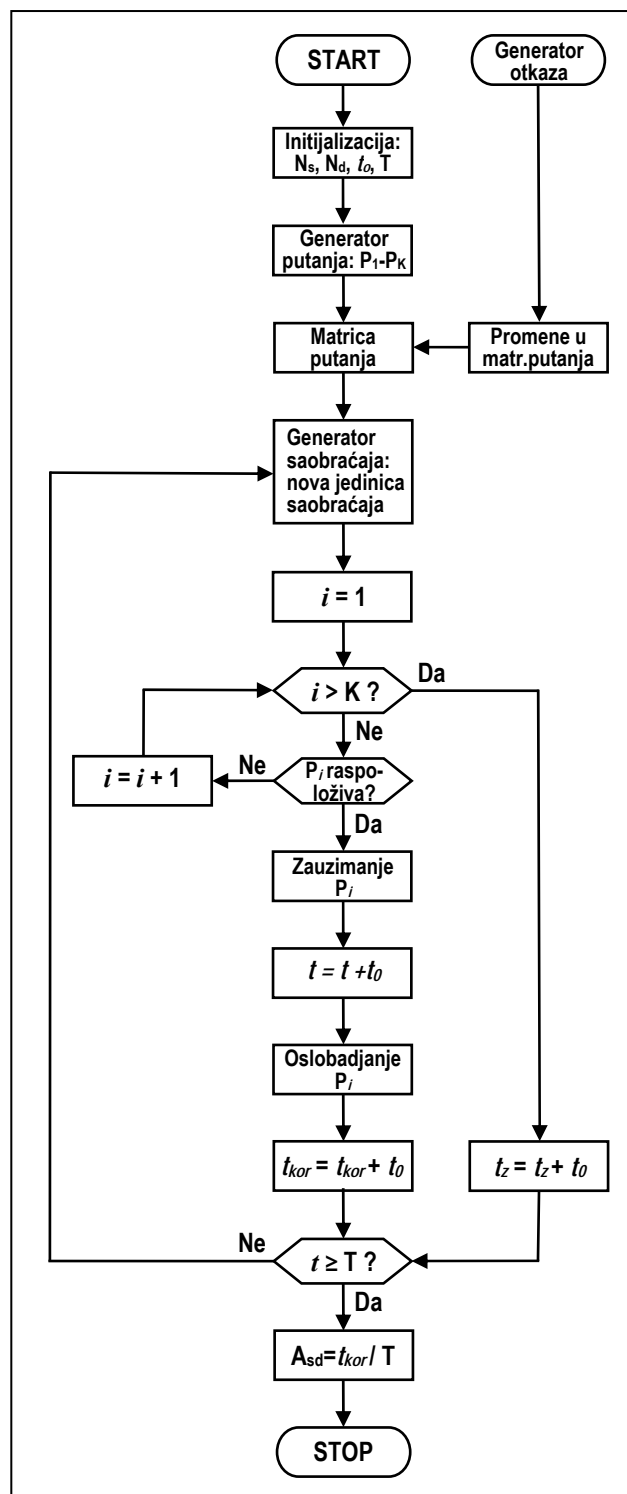
- Generator saobraćaja.
- Generator putanja u mreži.
- Generator otkaza.
- Simulator rada mreže.

Prilikom inicijalizacije programa-simulatora, biraju se izvorni čvor  $N_s$ , odredišni čvor  $N_d$ , osnovni vremenski interval  $t_0$  i ukupno simulirano vreme rada mreže  $T$ .

Na osnovu konfiguracije mreže i njenih trenutno ispravnih elemenata, modul generator putanja formira matricu putanja u kojoj se nalaze sve raspoložive putanje  $P_i$ ,  $i = 1, \dots, K$  koje vode od  $N_s$  do  $N_d$ . Matrica je sortirana prema složenosti tih putanja  $S_i$ , izračunatih na osnovu izraza (1).

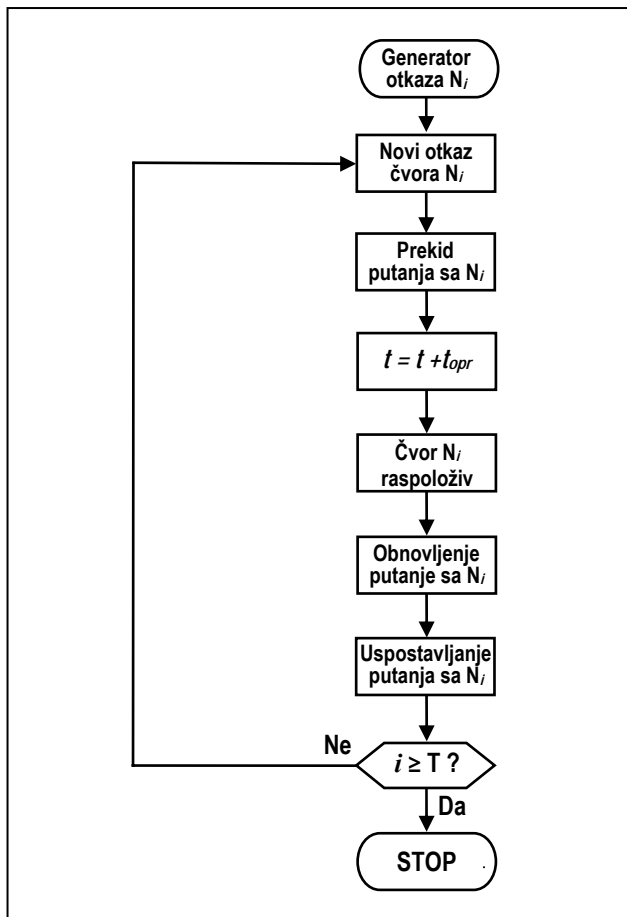
Saobraćaj u komunikacionoj mreži simulira se pomoću protoka jedinica saobraćaja koje se predstavljaju GPSS transakcijama [7].

U modelu se razmatra najgori slučaj, kada se od mreže zahteva neprestana usluga – informacioni saobraćaj između izvornog čvora  $N_s$  i odredišnog čvora  $N_d$ . To se u programu-simulatoru postiže tako što modul generator saobraćaja na svaki osnovni vremenski interval  $t_0$  stvara nove jedinice saobraćaja. Na pojavu svake nove jedinice saobraćaja, ispituje se sadržaj matrice putanja, redom po složenijima.



Slika 1. Algoritam simulatora za procenu 2-terminalne raspoloživosti

Ako od  $N_s$  do  $N_d$  postoji raspoloživa putanja  $P_i$ , jedinica saobraćaja je zauzima, drži zauzetom za 1 interval  $t_0$ , zatim je oslobađa, povećava brojač vremena  $t_{kor}$  korišćenja mreže za 1 interval  $t_0$  i najzad napušta napušta simulaciju.



Slika 2. Algoritam generatora otkaza čvora  $N_i$

Ako ne postoji raspoloživa putanja  $P_i$ , jedinica saobraćaja povećava brojač vremena  $t_z$  korišćenja mreže za 1 interval  $t_0$  i zatim napušta napušta simulaciju.

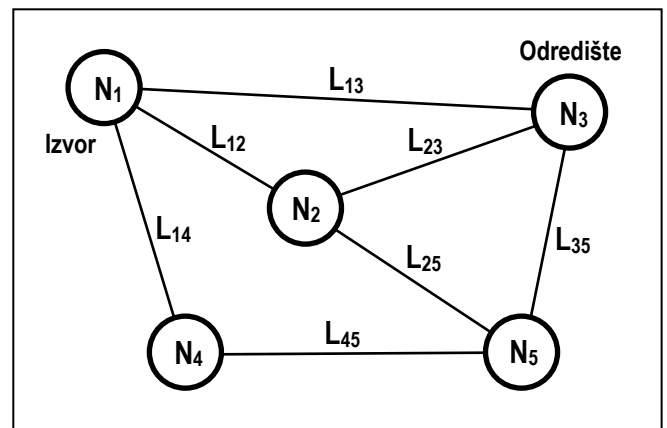
Nezavisno od generisanja saobraćaja u mreži, modul za generisanje otkaza stvara otkaze koji se u u simulatoru takođe predstavljaju GPSS transakcijama.

U simulatoru ima onoliko nezavisnih generatora otkaza koliko ima elemenata u mreži, za svaki element mreže po jedan. Primer algoritma generatora otkaza prikazan na sl. 2.

Generator otkaza  $i$ -tog mrežnog elementa (čvora ili linka) i stvara novu GPSS transakciju kojom se simulira otkaz tog elementa, u skladu sa njegovim srednjim vremenom između 2 otkaza  $MTBF_i$  i eksponencijalnom raspodelom tog vremena.

Kada dođe do otkaza  $i$ -tog elementa, on se stavlja u stanje neispravnosti, što u simulaciji ima za posledicu promenu u matrici putanja i početak opravke tog neispravnog elementa sistema. Promena u matrici putanja se sastoji u tome da se sve putanje koje prelaze preko neispravnog mrežnog elementa stavljaju u stanje neraspoloživosti za saobraćaj u mreži.

Popravka neispravnog elementa mreže simulira se povećavanjem brojača vremena zastoja mreže  $t_z$  za vreme popravke  $t_{opr}$  koje se izračunava na osnovu srednjeg vremena za popravku tog elementa  $MTTR_i$  i eksponencijalne raspodele tog vremena.



Slika 3. Primer komunikacione mreže: 5 čvorova, 7 linkova

Po okončanju popravke, transakcija koja predstavlja otkaz ažurira matricu putanja stavljanjem svih putanja koje prelaze preko popravljenog mrežnog elementa u stanje raspoloživosti za saobraćaj u mreži.

Kriterijum za zaustavljanje simulacije je isticanje zadatog simuliranog vremena rada mreže  $T$ . Kada istekne vreme  $T$ , simulacija se završava, a 2-terminalna raspoloživost mreže izračunava se na osnovu izraza (2).

## V. PRIMER

Na sl. 3 prikazan je primer komunikacione mreže koja se sastoji od 5 čvorova i 7 linkova. Razmatra se 2-terminalna raspoloživost mreže između čvorova  $N_1$  i  $N_3$ .

Karakteristike čvorova i linkova date su u tabeli I.

Moguće putanje između čvorova  $N_1$  i  $N_3$ , sortirane prema rastućoj složenosti svog sastava, date su u tabeli II.

TABELA I. PRIMER: KARAKTERISTIKE MREŽNIH ELEMENATA

Mrežni element	Karakteristike				
	Vrsta	Vreme otkaza		Vreme popravke	
		MTBF [h]	Raspodela	MTTR [h]	Raspodela
$N_1$	čvor	3000	Eksponenc.	5	Eksponenc.
$N_2$	čvor	3000	Eksponenc.	5	Eksponenc.
$N_3$	čvor	3000	Eksponenc.	5	Eksponenc.
$N_4$	čvor	3000	Eksponenc.	5	Eksponenc.
$N_5$	čvor	3000	Eksponenc.	5	Eksponenc.
$L_{12}$	link	4000	Eksponenc.	3	Eksponenc.
$L_{13}$	link	4000	Eksponenc.	3	Eksponenc.
$L_{14}$	link	4000	Eksponenc.	3	Eksponenc.
$L_{23}$	link	4000	Eksponenc.	3	Eksponenc.
$L_{25}$	link	4000	Eksponenc.	3	Eksponenc.
$L_{45}$	link	4000	Eksponenc.	3	Eksponenc.
$L_{35}$	link	4000	Eksponenc.	3	Eksponenc.

TABELA II. SORTIRANE PUTANJE IZMEĐU ČVOROVA  $N_1$  I  $N_3$ 

Putanja	Karakteristike			
	Sastav	N	L	S
P <sub>1</sub>	$N_1-L_{13}-N_3$	2	1	3
P <sub>2</sub>	$N_1-L_{12}-N_2-L_{23}-N_3$	3	2	5
P <sub>3</sub>	$N_1-L_{12}-N_2-L_{25}-N_5-L_{53}-N_3$	4	3	7
P <sub>4</sub>	$N_1-L_{14}-N_4-L_{45}-N_5-L_{53}-N_3$	4	3	7
P <sub>5</sub>	$N_1-L_{14}-N_4-L_{45}-N_5-L_{52}-N_2-L_{23}-N_3$	5	4	9

Uticaj otkaza pojedinih mrežnih elemenata na matricu raspoloživih putanja dat je u tabeli III.

Da bi neka putanja bila raspoloživa za saobraćaj između čvorova  $N_s$  i  $N_d$ , u njenoj koloni u matrici putanja ne sme biti ni jedna vrednost 0.

U slučaju otkaza nekog mrežnog elementa, čvora ili linka, pojavljuje se vrednost 0 u koloni svake putanje koja sadrži taj čvor ili link. Sve takve putanje će biti neraspoločive, dok se neispravan mrežni element ne popravi.

Kada se mrežni element popravi, svaka putanja kojoj on pripada, vrtiće se u stanje raspoloživosti za mrežni saobraćaj, pod uslovom da u njoj ne postoji još neki element, ili elementi, u stanju neraspoločivosti. U tom poslednjem slučaju, putanja se vraća u stanje raspoloživosti tek kada se popravi i poslednji neispravan element koji joj pripada.

Radi provere ispravnosti i opštih mogućnosti realizovanog programa-simulatora realizovanog u jeziku, izvršena su 2 eksperimenta, čiji su osnovni rezultati dati u tabeli IV. U svakom od eksperimenata, simulirano je  $T = 100000$  sati rada mreže. Osnovna vremenska jedinica u eksperimentima bila je  $t_0 = 1$  minut.

TABELA III. UTICAJ OTKAZA MREŽNIH ELEMANATA NA PUTANJE

Mrežni element <sup>a</sup>	Putanja				
	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>5</sub>
$N_1$	0	0	0	0	0
$N_2$	X	0	0	X	0
$N_3$	0	0	0	0	0
$N_4$	X	X	X	0	0
$N_5$	X	X	0	0	0
$L_{12}$	X	0	0	X	X
$L_{13}$	0	X	X	X	X
$L_{14}$	X	X	X	0	0
$L_{23}$	X	0	X	X	0
$L_{25}$	X	X	0	X	X
$L_{45}$	X	X	X	0	0
$L_{35}$	X	X	0	0	X

a. 0 znači da je mrežni element otkazao, što ukida sve putanje koje ga sadrže;  
X znači da mrežni element ne utiče na raspoloživost putanje

TABELA IV. SIMULACIJA 100000 SATI RADA MREŽE

Oznaka	Rezultati eksperimenata		
	Naziv	EKS-1	EKS-2
$N_f$	Ukupan broj otkaza u mreži	301	3165
A [%]	Raspoloživost mreže	99,7300	97,3086
$I_{P_1}$ [%]	Iskorišćenje putanje P <sub>1</sub>	99,6558	96,4355
$I_{P_2}$ [%]	Iskorišćenje putanje P <sub>2</sub>	0,13720	0,71348
$I_{P_3}$ [%]	Iskorišćenje putanje P <sub>3</sub>	0,0	0,04838
$I_{P_4}$ [%]	Iskorišćenje putanje P <sub>4</sub>	0,0	0,10875
$I_{P_5}$ [%]	Iskorišćenje putanje P <sub>5</sub>	0,0	0,00382

U eksperimentu EKS-1, u simuliranom vremenu rada mreže  $T = 100000$  h, generisan je 301 otkaz mrežnih elemenata. Prema očekivanju, simulirana mreža je najčešće koristila najjednostavniju putanju P<sub>1</sub>, koja povezuje izvorni i odredišni čvor,  $N_1$  i  $N_3$  direktnim linkom,  $L_{13}$ . Od alternativnih putanja, koristila se samo putanja P<sub>2</sub>. Raspoloživost mreže bila je  $A = 99,73$  %.

Eksperiment EKS-2 poslužio da se ispita rad simulatora u slučaju kada je mreža sastavljena od elemenata slabijeg kvaliteta, sa 10 puta kraćim srednjim vremenima između otkaza MTBF u odnos na odgovarajuće vrednosti iz tabele II.

U eksperimentu EKS-2, u simuliranom vremenu rada mreže  $T = 100000$  h, generisano je 3165 otkaza mrežnih elemenata, što je očekivana posledica upotrebe mrežnih elemenata 10 puta slabijeg kvaliteta. To je za posledicu imalo smanjenje raspoloživosti mreže na vrednost  $A = 97,3086$  %.

Za razliku od EKS-1, u eksperimentu EKS-2 češće otkaze putanje P<sub>1</sub>, mreža nadoknađuje upotrebom svih ostalih alternativnih putanja (tabela IV).

## VI. ZAKLJUČAK

U radu je opisan pristup proceni složenih komunikacionih mreža koje se sastoje od popravljivih čvorova i linkova primenom metode simulacije diskretnih događaja.

Pristup se sastoji u formulaciji simulacionog modela komunikacione mreže, simulaciji rada mreže u toku zadatog perioda simuliranog vremena, prikupljanju podataka o bitnim događajima i procesima u toku tog rada i izračunavanja operativne raspoloživosti mreže na osnovu tako dobijenih podataka.

Opisan je simulacioni model za određivanje 2-terminalne raspoloživosti komunikacione mreže. Na osnovu takvog simulacionog modela, realizovan program-simulator, koji je implementiran u jeziku GPSS World.

Izvršena su dva eksperimenta u cilju provere ispravnosti i mogućnosti realizovanog simulatora. Rezultati eksperimenata su potvrdili upotrebljivost simulatora kao softverskog alata za određivanje 2-terminalne raspoloživosti (2TA) složenih komunikacionih mreža.

U daljem radu predstoji usavršavanje realizovanog simulatora radi upotrebe u određivanju  $k$ -terminalne raspoloživosti ( $kTA$ ) i ukupne raspoloživosti (ATA) komunikacionih mreža, kao i eksperimentisanje sa takvim simulatorima radi njihove validacije za upotrebu u oblastima projektovanja, eksploatacije i održavanja komunikacionih mreža.

#### LITERATURA

- [1] H. K. Ping, "Network Reliability Estimation", PhD thesis, University of Adelaide, 2005.
- [2] M. Luby, "Monte-Carlo Methods for Estimating System Reliability", University of California Berkeley, 1984.
- [3] Y. Jiang et al. "Monte-Carlo Methods for Estimating System Reliability", proceedings of ICQRMS 2012 - International Conference on Quality, Reliability, Risk, Maintenance, and Safety Engineering, 2012.
- [4] S. Pokorni and R. Janković, "Reliability Estimation of a Complex Communication Network by Simulation", 19<sup>th</sup> Telecommunications Forum TELFOR 2011, Belgrade, 2011.
- [5] N. Vujanović "Teorija pouzdanosti tehničkih sistema", VINC, Beograd, 1990.
- [6] M. Čabarkapa, Đ. Mijatović and N. Krajnović, "Network Topology Availability Analysis", Telfor Journal, Vol. 3, No. 1, pp. 23-27, 2011.
- [7] Minuteman Software, "GPSS World Reference Manual", raspoloživo na [www.minutemansoftware.com](http://www.minutemansoftware.com)

- [8] R. Janković "Armed Mobile platform Group Searming and Networking Simulation", chapter in "Embedded Systems and Wireless Technology: Theory and Practical Applications", editors R.A.Santos and A.E.Block, CRC Press, 2012.
- [9] S.T.Akhavan Niaki and Z. Besharati-Rad, "Sesiging a Communication Network Using Simulation", Scientia Iranica, Vol.11, No.3, 2004.

#### ABSTRACT

An approach to availability estimation of complex communication networks consisting of repairable nodes and links by means of the discrete events simulation has been presented in the paper. The necessary definitions has been given, as well as the simulation model elements, the algorithm of the realized GPSS World program-simulator for two-terminal network availability estimation and an example with a brief analysis of the executed experiment results.

#### **AN APPROACH TO COMPLEX COMMUNICATION NETWORKS AVAILABILITY ESTIMATION BY SIMULATION**

Radomir Janković, Slavko Pokorni