

# Analiza pouzdanosti i raspoloživosti redundovanog sistema za akviziciju podataka

Slavko Pokorni, Rifat Ramović

**Sadržaj** – U radu su prikazani rezultati modelovanja i analize pouzdanosti i raspoloživosti jednog sistema za akviziciju podataka koji se, neredundovan, sastoji od jednog prijemnika i tri senzora. Analizirani su slučajevi redundovanja senzora i to pasivno i aktivno (sa elementom u pripravnosti) sa jednim i dva rezervna senzora. Takođe su u svim slučajevima analizirane situacije sa i bez opravke.

**Ključne reči** – Akvizicioni sistem, pouzdanost, raspoloživost.

## I. UVOD

Pouzdanost je jedan od neizostavnih pokazatelja kvaliteta savremenih tehničkih sistema. Pouzdanost se ugrađuje u fazi projektovanja tehničkih sistema, obezbeđuje u proizvodnji i podržava u njihovoj eksploataciji. Da bi se u toku projektovanja ugradila zahtevana pouzdanost potrebno je analizirati pouzdanost različitih varijanti, uzimajući u obzir redundovanje, opravku itd., a radi odabira najpovoljnije varijante [1], [2].

U ovom radu se analizira pouzdanost i raspoloživost jednog hipotetičkog sistema za akviziciju podataka koji se, neredundovan, sastoji od jednog prijemnika i tri senzora koji prijemniku dostavljaju podatke sa različitih lokacija. Analizirani su slučajevi redundovanja senzora i to pasivno i aktivno (sa elementom u pripravnosti) sa jednim i dva rezervna senzora. Takođe su u svim slučajevima analizirane situacije sa i bez opravke.

U radu su dati strukturni blok dijagrami i modeli za sve situacije, dijagram stanja za raspoloživost u situaciji kada je svaki od tri senzora redundovan sa po dva senzora u pripravnosti i predviđena je opravka. Takođe su date relacije za pouzdanost i raspoloživost za sve situacije sa pasivnim rezerviranjem, a za ostale situacije, zbog ograničenog obima rada i glomaznosti relacija, date su samo neke relacije i rezultati proračuna i dijagram zavisnosti za raspoloživost za pretpostavljene vrednosti parametara intenziteta otkaza i opravke senzora i prijemnika.

## II. OPIS SISTEMA

Razmatrani sistem za akviziciju podataka sastoji se od jednog prijemnika i tri senzora koji dostavljaju podatke, sa različitih lokacija, koji se dostavljaju prijemniku u odgovarajućem centru kao na sl. 1.

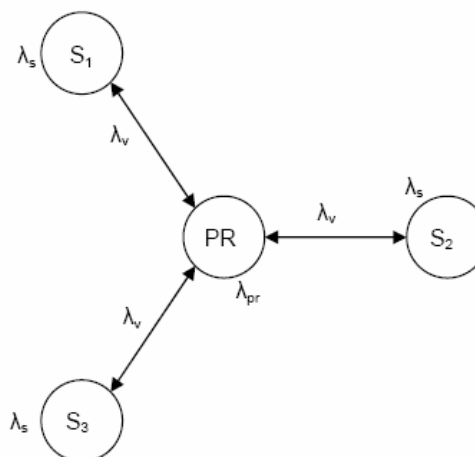
Slavko Pokorni, Beogradska akademija računarskih nauka, Zemun, Cara Dušana 34, 11080 Zemun (telefon: 381-11-3168223; e-mail: slavko.pokorni@barn.edu.yu).

Rifat Ramović, Elektrotehnički fakultet u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11120 Srbija (tel.efon: 381-11-3370088; e-mail: ramovic@etf.bg.ac.yu).

Pretpostavlja se da svi senzori imaju konstantan i međusobno jednak intenzitet otkaza  $\lambda_s=10^{-6} \text{ h}^{-1}$  i da veze prijemnika i senzora imaju takođe konstantan i međusobno jednak intenzitet otkaza  $\lambda_v=10^{-8} \text{ h}^{-1}$ . Intenzitet opravke senzora je isto konstantan i međusobno jednak  $\mu_s = 0,1 \text{ h}^{-1}$ .

Pored osnovnog sistema, razmatraju se i situacije kada su senzori za prikupljanje podataka redundovani pasivno i aktivno (rezervni senzor u pripravnosti) sa jednim odnosno dva rezervna senzora.

Pored toga analiza se obavlja za sve slučajeve (sa i bez redundovanja) za situacije kada nema opravke otkazalih senzora sve dok sistem ne otkáže, i kada postoji opravka otkazalih senzora dok sistem radi.



Sl. 1. Sistem za akviziciju podataka

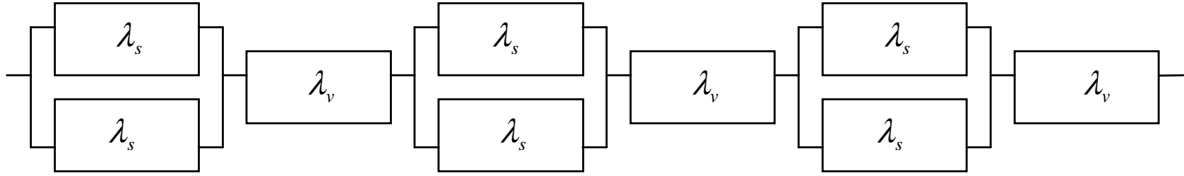
## III. MODELI POUZDANOSTI I RASPOLOŽIVOSTI

Polazeći od usvojenih pretpostavki, formirani su strukturni blok dijagrami pouzdanosti za osnovni (neredundovan) sistem (sl. 2.), za sistem u kome je svakom senzoru dodat po jedan rezervni senzor stalno uključen u rad (jednostruko pasivno redundovani senzori, sl. 3.), za sistem u kome su svakom senzoru dodata po dva rezervna senzora stalno uključena u rad (dvostruko pasivno redundovani senzori, sl. 4.), za sistem u kome je svakom senzoru dodat po jedan rezervni senzor koji se uključuje u rad tek nakon otkaza osnovnog senzora, odnosno nalazi se u pripravnosti (jednostruko aktivno redundovani senzori, sl. 5.), i za sistem u kome su svakom senzoru dodata po dva rezervna senzora koji se uključuju u rad tek nakon otkaza osnovnog senzora, ili kada otkáže prvi senzor u pripravnosti (dvostruko aktivno redundovani senzori, sl. 6.)

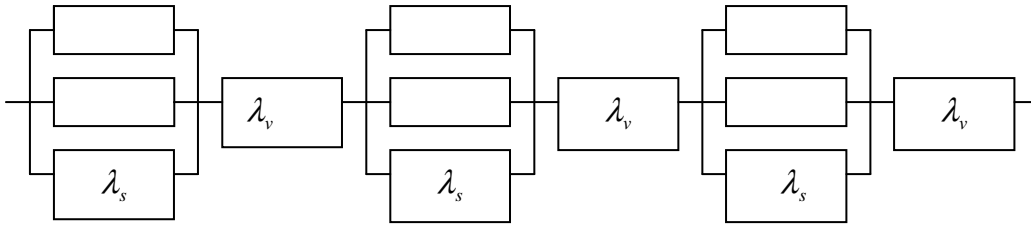
Ovi strukturni blok dijagrami predstavljaju osnovu za formiranje izraza za pouzdanost i srednje vreme rada do otkaza (MTTF).



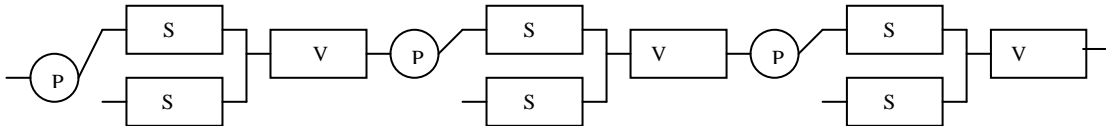
Sl. 2. Strukturni blok dijagram pouzdanosti osnovnog (neredundovanog) sistema za akviziciju podataka



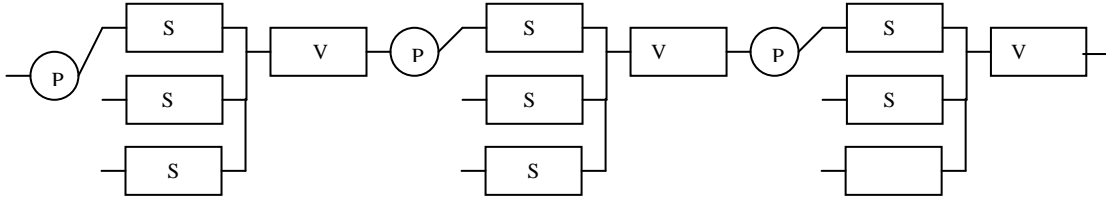
Sl. 3. Strukturni blok dijagram pouzdanosti sistema za akviziciju podataka sa jednostruko pasivno redundovanim senzorima



Sl. 4. Strukturni blok dijagram pouzdanosti sistema za akviziciju podataka sa dvostruko pasivno redundovanim senzorima



Sl. 5. Strukturni blok dijagram pouzdanosti sistema za akviziciju podataka sa jednostruko aktivno redundovanim senzorima



Sl. 6. Strukturni blok dijagram pouzdanosti sistema za akviziciju podataka sa dvostruko aktivno redundovanim senzorima

Za pouzdanost osnovnog (neredundovanog) sistema (pouzdanost prijemnika idealna, ne obavlja se opravka), sl. 2., dobija se

$$R(t) = R_s R_v R_s R_v R_s R_v = R_s^3 R_v^3 \quad (1)$$

Odnosno preko intenziteta otkaza, relacija (1) dobija oblik

$$R(t) = e^{-3\lambda_s t} e^{-3\lambda_v t} = e^{-3(\lambda_s + \lambda_v)t} \quad (2)$$

Na osnovu relacije (2), i opšte relacije za srednje vreme rada do otkaza (MTTF) [1], [2]. kada je poznata funkcija pouzdanosti, dobija se

$$T_0 = \int_0^{\infty} R(t) dt = \int_0^{\infty} e^{-3\lambda_s t} e^{-3\lambda_v t} dt \quad (3)$$

odnosno konačno

$$T_0 = \frac{1}{3(\lambda_s + \lambda_v)} \quad (4)$$

Za pouzdanost i MTTF odnosno  $T_0$  redundovanog sistema sa sl. 3., dobijaju se relacije

$$R(t) = R_v^3 (1 - (1 - R_s)^2)^3 \quad (5)$$

$$T_0 = \frac{9\lambda_s^3 + 54\lambda_v^2 \lambda_s + 113\lambda_v \lambda_s^2 + 84\lambda_s^3}{3(\lambda_v + \lambda_s)(3\lambda_v + 4\lambda_s)(3\lambda_v + 5\lambda_s)(\lambda_v + 2\lambda_s)} \quad (6)$$

Za pouzdanost i MTTF redundovanog sistema sa sl. 4., dobijaju se relacije

$$R(t) = e^{-3\lambda_s t} (1 - (1 - e^{-\lambda_s t})^3)^3 \quad (7)$$

$$T_0 = \frac{9}{\lambda_s + \lambda_v} - \frac{81}{4\lambda_s + 3\lambda_v} + \frac{108}{5\lambda_s + 3\lambda_v} - \frac{27}{2\lambda_s + \lambda_v} + \frac{36}{7\lambda_s + 3\lambda_v} - \frac{9}{8\lambda_s + 3\lambda_v} + \frac{1}{9\lambda_s + 3\lambda_v}$$

Za pouzdanost i MTTF redundovanog sistema sa sl. 5., dobijaju se relacije

$$R(t) = e^{-3\lambda_s t} (1 + \lambda_s t)^3 e^{-3\lambda_v t} \quad (9)$$

$$T_0 = \frac{1}{3(\lambda_s + \lambda_v)} + \frac{\lambda_s}{3(\lambda_s + \lambda_v)^2} + \frac{2\lambda_s^2}{9(\lambda_s + \lambda_v)^3} + \frac{2\lambda_s^3}{9(\lambda_s + \lambda_v)^4} \quad (10)$$

Za pouzdanost odnosno MTTF redundovanog sistema sa sl. 6., dobijaju se relacije

$$R(t) = e^{-3\lambda_s t} e^{-3\lambda_s t} \left( 1 + \lambda_s t + \frac{(\lambda_s t)^2}{2} \right)^3 \quad (11)$$

$$T_0 = \frac{12552\lambda_v \lambda_s^5 + 3272\lambda_s^6}{1944(\lambda_v + \lambda_s)^7} \quad (12)$$

Analiza raspoloživosti je znatno složenija. Moraju se primeniti modeli Markova. Zbog ograničenog obima rada, ovde će biti prikazani samo neki krajnji rezultati.

Kod analiziranja raspoloživosti, kada je predviđena opravka, s obzirom da je broj stanja u kojima se pojedine varijante mogu naći veliki, to bi primenom modela Markova trebalo rešavati veliki broj jednačina. Da bi se to izbeglo, sva moguća stanja svrstavana su u grupe, kako su autori postupali i do sada kod analize pouzdanosti telekomunikacionih sistema, videti radove autora sa prethodnih konferencija TELFOR (na primer [3] ili u [4]), a zatim su, za svaku grupu i za svaku varijantu, utvrđena sva moguća stanja u kojima se može sistem naći.

Za sistem na sl. 3., gde je svaki senzor redundovan sa jednim elementom (pasivno), primenom modela Markova, i uz primenu Laplasove transformacije i inverzne Laplasove transformacije za pouzdanost se dobija

$$R(t) = e^{-3\lambda_s t} \left( \frac{x_1}{x_1 - x_2} e^{x_2 t} - \frac{x_2}{x_1 - x_2} e^{x_1 t} \right)^3 \quad (13)$$

gde je  $x_{1,2} = \frac{-(3\lambda_s + \mu) \pm \sqrt{\lambda_s^2 + 6\lambda_s \mu + \mu^2}}{2}$

dok se za srednje vreme do otkaza dobija

$$T_0 = \frac{-3x_1 \lambda_v + x_1^2 + 3x_2 \lambda_v - x_2^2}{(x_1 - x_2)(3\lambda_v - x_2)(-3\lambda_v + x_1)} \quad (14)$$

Za isti sistem, za raspoloživost se dobija:

$$A_s(t) = 1 - \frac{2\lambda_s^2}{y_1 y_2} - \frac{2\lambda_s^2}{y_1 - y_2} \left( \frac{e^{y_1 t}}{y_1} - \frac{e^{y_2 t}}{y_2} \right) \quad (15)$$

gde je  $y_{1,2} = -\frac{1}{2}(3\lambda_s + 2\mu) \pm \frac{1}{2}\sqrt{\lambda_s^2 + 4\lambda_s \mu}$ .

Za raspoloživost istog sistema u ustaljenom stanju, dobija se

$$A_s = 1 - \frac{2\lambda_s^2}{y_1 y_2} = 1 - \frac{2\lambda_s^2}{2\lambda_s^2 + 2\lambda_s \mu + \mu^2} \quad (16)$$

Na primer, za sistem na sl. 5., svaki senzor redundovan sa po jednim elementom u pripravnosti, i u slučaju predviđene opravke, za raspoloživost se dobija:

$$A_s(t) = 1 - \frac{\lambda_s^2}{y_1 y_2} - \frac{\lambda_s^2}{y_1 - y_2} \left( \frac{e^{y_1 t}}{y_1} - \frac{e^{y_2 t}}{y_2} \right) \quad (17)$$

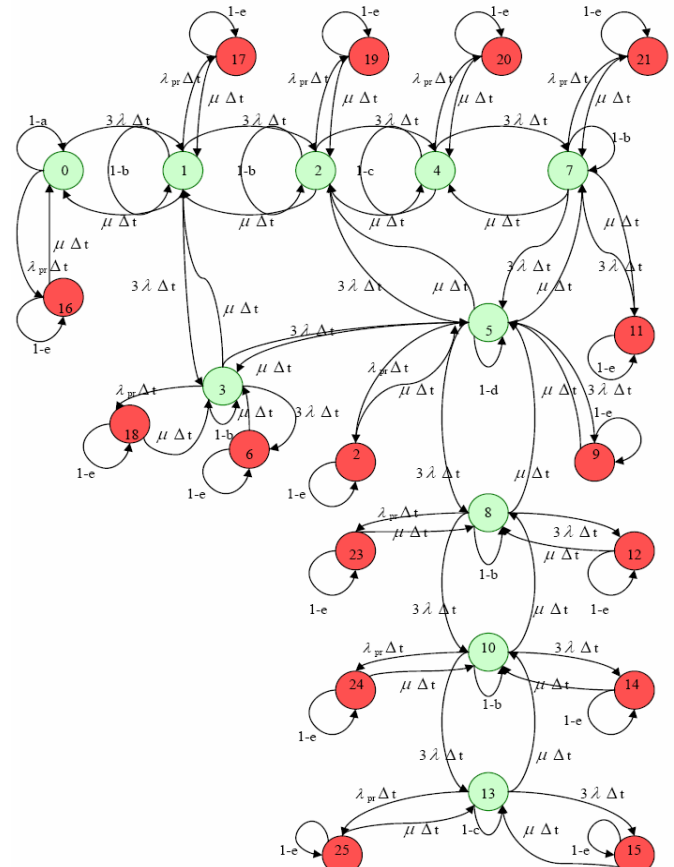
gde je  $y_{1,2} = -(\lambda_s + \mu) \pm \sqrt{\lambda_s \mu}$ .

Za raspoloživost istog sistema u ustaljenom stanju, dobija se

$$A_s = 1 - \frac{\lambda_s^2}{y_1 y_2} = 1 - \frac{\lambda_s^2}{\lambda_s^2 + \lambda_s \mu + \mu^2} \quad (18)$$

Relacije za pouzdanost ovog sistema, kao ni ostale relacije za pouzdanost i raspoloživost, zbog obima rada ovde nisu prikazane. Broj stanja u kojim se sistem može naći povećava se sa brojem elemenata, a sa tim se usložnjavaju i relacije za pouzdanost i raspoloživost.

Samo kao primer, na sl. 7., prikazan je grafik stanja za formiranje modela Markova za raspoloživost sistema sa sl. 6., Grafik stanja za model pouzdanosti dobija se, ako se, na sl. 7., izostave prelazi za intenzitete opravke iz stanja označenih crvenim kružićima, tj. stanja u kojima sistem ne radi. Ovde nisu uzete u obzir veze, ali je uzet u obzir prijemnik. Na sl. 7., je:  $a=3\lambda+\lambda_{pr}$ ,  $b=6\lambda+\lambda_{pr}+\mu$ ,  $c=3\lambda+\lambda_{pr}+\mu$ ,  $d=9\lambda+\lambda_{pr}+2\mu$ ,  $e=f=b$ ,  $g=\mu=\mu_s=\mu_{pr}$ ,  $\lambda_s=\lambda_s$ .



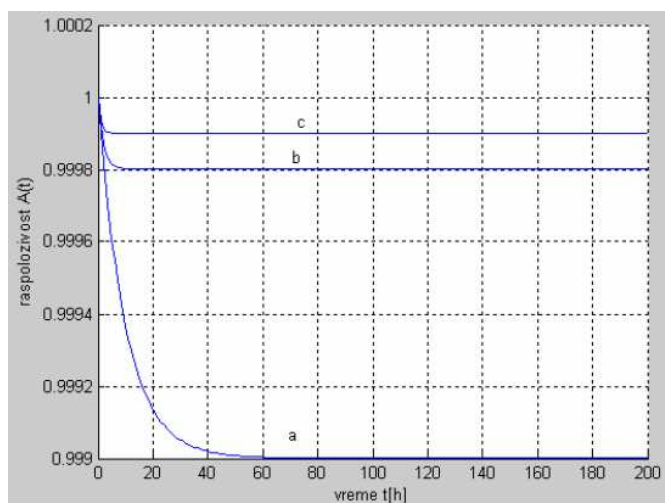
Sl. 7. Dijagram stanja za raspoloživost sistema sa sl. 6., kada je predviđena opravka

#### IV. REZULTATI ANALIZE

Polazeći od formiranih modela i na osnovu njih formiranih relacija za funkciju pouzdanosti, srednje vreme do otkaza (MTTF odnosno  $T_0$ ), srednje vreme između otkaza (MTBF), funkciju raspoloživosti, kao i raspoloživost u ustaljenom stanju, obavljena je analiza. Napominjemo da zbog ograničenog obima rada nisu sve relacije, a ni dijagrami stanja, koji su korišćeni u proračunu, prikazani u ovom radu. Dobijeni rezultati, za  $\lambda_s=10^{-6} \text{ h}^{-1}$  i  $\lambda_v=10^{-8} \text{ h}^{-1}$  su prikazani u tabeli 1. Pouzdanost (R) je računata za  $10^6$  časova rada, kako bi se bolje uočio doprinos redundovanja. Oni pokazuju da rezerviranje sa rezervnim elementima u pripravnosti daje bolje rezultate. Na sl. 8. je, primera radi, prikazana zavisnost raspoloživosti za sistem čiji je dijagram stanja prikazan na sl. 7., za  $\lambda_s=\lambda_{pr}=10^{-4} \text{ h}^{-1}$  i za tri različite vrednosti  $\mu_s=\mu_{pr} [\text{h}^{-1}]$ : a) 0,1, b) 0,5 i c) 1, za slučaj kada je predviđena opravka.

TABELA 1. PREGLED REZULTATA PRORAČUNA

			R	$T_0$ (h)	MTBF (h)
Nepostojanje redundovanja		Nema opravke	0,048	$0,33 \cdot 10^6$	$0,33 \cdot 10^6$
		Postoji opravka	0,048	$0,33 \cdot 10^6$	$0,33 \cdot 10^6$
Postoji redundovanje	Senzori sa jednim elem. u pripravnosti	Nema opravke (pasivno)	0,2101	$0,69 \cdot 10^6$	$0,425 \cdot 10^6$
		Nema opravke (aktivno)	0,3865	$1,09 \cdot 10^6$	$0,65 \cdot 10^6$
		Postoji opravka (pasivno)	0,9704	$33,3 \cdot 10^6$	$33 \cdot 10^6$
		Postoji opravka (aktivno)	0,9704	$33,3 \cdot 10^6$	$33 \cdot 10^6$
	Senzori sa dva elementa u pripravnosti	Nema opravke (pasivno)	0,4052	$0,96 \cdot 10^6$	$0,55 \cdot 10^6$
		Nema opravke (aktivno)	0,7549	$1,63 \cdot 10^6$	$0,18 \cdot 10^6$
		Postoji opravka (pasivno)	0,983	$47,5 \cdot 10^6$	$41 \cdot 10^6$
		Postoji opravka (aktivno)	0,987	$47,53 \cdot 10^6$	$41 \cdot 10^6$



Sl. 8. Raspoloživost za sistem sa sl. 6., za slučaj kada se opravka obavlja u toku rada sistema

## V. ZAKLJUČAK

U radu je analizirana pouzdanost (funkcija pouzdanosti i srednje vreme do otkaza) i raspoloživost jednog hipotetičkog sistema za akviziciju podataka koji se, u osnovnoj varijanti, sastoji od jednog prijemnika i tri senzora koji prijemniku dostavljaju podatke. Pored osnovne varijante, analizirani su slučajevi redundovanja senzora i to pasivno i aktivno (sa elementom u pripravnosti) sa jednim i dva rezervna senzora. Takođe su u svim ovim slučajevima razmatrane situacije bez i sa opravkom i to kada se opravka vrši tek kada sistem otkáže i kada se opravka vrši u toku rada sistema.

Izvedeni modeli omogućuju analizu uticaja vrste i količine redundanse na pouzdanost i raspoloživost sistema, ali i uticaj intenziteta otkaza i intenziteta opravke. Dobijeni rezultati pokazuju da rezerviranje sa rezervnim elementima u pripravnosti daje bolje rezultate.

Ovde primenjeni pristup analizi pouzdanosti i raspoloživosti može se primeniti i na slične sisteme za akviziciju podataka sa više senzora.

## ZAHVALNICA

Autori se zahvaljuju studentima Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu Jeleni Marković, Jeleni Lackan i Sanji Mihajlović, koji su, u okviru projektnog zadatka iz predmeta Pouzdanost telekomunikacionih sistema, na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu obavili analizu prikazanih varijanti.

## LITERATURA

- [1] R. Ramović, *Pouzdanost sistema-elektronskih, telekomunikacionih i informacionih*, ETF, Beograd 2005. (internet izdanje)
- [2] S. Pokorni, R. Ramović, N. Parčina, *Pouzdanost tehničkih sistema – zbirka rešenih zadataka*, Vojna akademija, Beograd, 1996.
- [3] R. Ramović, S. Pokorni, "Modeli pouzdanosti i raspoloživosti sistema od četiri u prsten povezane TK centrale", *TELFOR*, Beograd, 2001.str. 141-144
- [4] S. Pokorni, R. Ramović, "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

## ABSTRACT

Models and results of analyze for reliability and availability of a data acquisition system consisting of one receiver and three sensors are presented. Cases without and with two different redundancy and without and with repairing are analyzed.

## RELIABILITY AND AVAILABILITY ANALYSIS OF A REDUNDANT DATA ACQUISITION SYSTEM

Slavko Pokorni, Rifat Ramović