

POUZDANOST I RASPOLOŽIVOST BEOGRADSKOG I RIMSKOG TRAMVAJA

Doc dr Dušan Milutinović, dipl. inž.
Institut "Kirilo Savić" Beograd

Prof. dr Gradimir Danon, dipl. inž.
Šumarski fakultet u Beogradu

Mr Slaven Tica, dipl. inž.
Gradsko saobraćajno preduzeće Beograd

Pouzdanost i raspoloživost svakog složenog tehničkog sistema, pa i tramvaja, su u grupi najznačajnijih karakteristika i obavezni su deo tehničkih specifikacija u okviru tenderske dokumentacije za nabavku novih ili modernizaciju postojećih sistema. U ovom radu je prvo data kratka analiza pouzdanosti i raspoloživosti tramvajskog voznog parka Gradskog saobraćajnog prduzeća «Beograd», a nakon toga i novih tramvaja Rimske transportne kompanije ATAC SpA proizvedenih u FIAT-u. Dati prikazi rezultata analize pouzdanosti i raspoloživosti beogradskog i rimskog tramvaja omogućili su i njihovo poređenje, koje može biti osnova za definisanje zahteva za pouzdanošću i raspoloživošću u okviru procesa nabavke novih ili modernizacije postojećih tramvaja za potrebe beogradskog tramvajskog sistema.

Ključne reči: šinsko vozilo, tramvaj, pouzdanost, raspoloživost

UVOD

Borba sa neispravnostima ili protiv neispravnosti, posebno složenih tehničkih sistema, počinje od faze njihovog razvoja i traje kroz ceo životni ciklus. Zbog toga je analiza karakteristika pouzdanosti i raspoloživosti sistema značajna i realizuje se tokom: postavljanja idejnog rešenja, realizacije prototipova, ispitivanja, izrade serije, eksploatacije i održavanja.

Savremeni tramvaji su danas složeni sofisticirani tehnički sistemi, čije su osnovne karakteristike, između ostalih, takođe i pouzdanost i raspoloživost, a proveravaju se u svim fazama životnog ciklusa i utvrđuju kao veoma značajni zahtevi u okviru ugovora o nabavci između gradskih saobraćajnih preduzeća i proizvođača, odnosno prodavca. Zbog vrlo teških eksploatacijskih uslova, koji tramvaje svrstavaju u šinska vozila sa najtežim eksploatacijskim režimima, zahteve za pouzdanošću i raspoloživošću posebno pažljivo treba razmotriti u fazi izrade specifikacije svih zahteva u okviru tenderske dokumentacije za nabavku novih ili modernizaciju postojećih tramvaja.

Beogradski tramvajski sistem, koji eksploatiše i održava Gradsko saobraćajno preduzeće „Beograd“, je, zbog neodgovarajućeg održavanja tramvajskog voznog parka i infrastrukture, došao u situaciju da za relativno kratko vreme mora da održi i poboljša svoje performanse. Postojeći tramvaji moraju biti modernizovani ili zamenjeni novim. U tom cilju urađena je cost-benefit analiza mogućnosti obnove beogradskog tramvajskog voznog parka /1/, koja je pokazala da je varijanta sa modernizacijom postojećih tramvaja ekonomski najpovoljnija. Na osnovu analize podataka o pouzdanosti i raspoloživosti svih tramvaja u eksploataciji u Beogradu u 2003. i 2004. godini, u analizi su definisane i zahtevane karakteristike pouzdanosti i raspoloživosti budućih modernizovanih tramvaja.

Neposredno nakon toga u otvorenoj literaturi pojavili su se podaci o pouzdanosti i raspoloživosti novog savremenog rimskog tramvaja FIAT 9100 uvedenog u eksploataciju 1999. godine /2/. Poređenje sa našim tramvajima bi trebalo da omogući preciznije definisanje karakteristika pouzdanosti i raspoloživosti za budući tender za modernizaciju beogradskih tramvaja. U ovom radu su prikazane karakteristike pouzdanosti i raspoloživosti dobijene u eksploataciji svih beogradskih tramvaja i

zahtevi koje postavlja već pomenuta cost-benefit analiza i karakteristike novog rimskog tramvaja. Poređenje karakteristika je uslovno zbog različitih uslova eksploatacije, ali indikativno sa posebno interesantnim zaključcima.

POUZDANOST I RASPOLOŽIVOST BEOGRADSKIH TRAMVAJA

Tramvajski vozni park Gradskog saobraćajnog preduzeća „Beograd“ sada čini ukupno 222 tramvaja i 21 tramvajska prikolica, odnosno ukupno 243 vozila. Sadašnja struktura tramvajskog voznog parka Gradskog saobraćajnog preduzeća „Beograd“ po proizvođačima i tipovima vozila data je u tabeli 1.

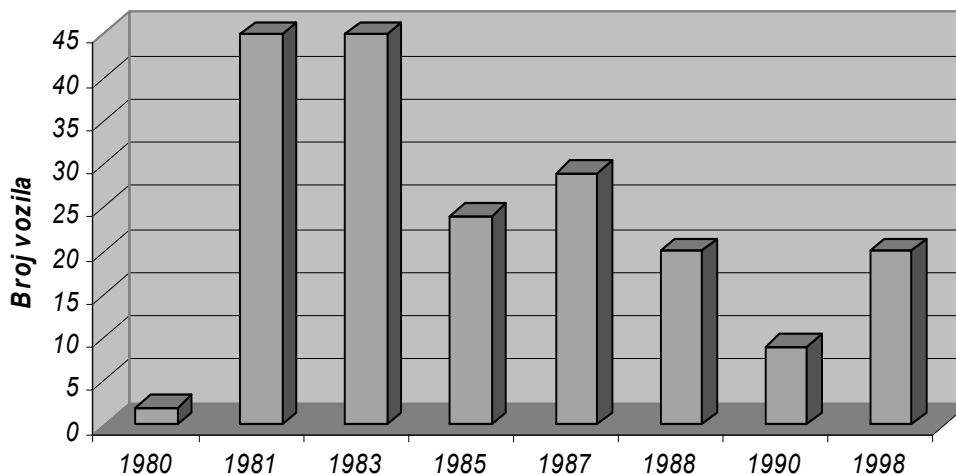
Na osnovu podataka iz tabele 1 vidi se da GSP „Beograd“ koristi tramvaje proizvedene u češkoj firmi ČKD nabavljene kao nove u periodu od

1980. do 1998. godine i tramvaje DÜWAG dobijene kao polovne iz švajcarske donacije. Starosna struktura ČKD tramvaja prikazana je na slici 1 iz koje se vidi da je najveći broj tih tramvaja nabavljen u periodu od 1981. do 1983. godine (90 tramvaja).

Svih 194 ČKD tramvaja prešli su ukupno 174.698.097 km, ili 900.505,6 km po vozilu, a njihova prosečna starost, kada se posmatra vreme eksploatacije, je 19,26 godina, dakle skoro 20 godina. Međutim, čak 60% ovih tramvaja je u eksploataciji više od 20 godina (slika 2), pri čemu je generalni remont izvršen na samo 65 tramvaja, uzimajući u obzir pri tome i 30 tramvaja koji su nedavno modernizovani od strane češke firme INEKON u saradnji sa našom firmom GOŠA kao podizvođačem. Na preostalih 35 tramvaja izvršen je samo osnovni remont.

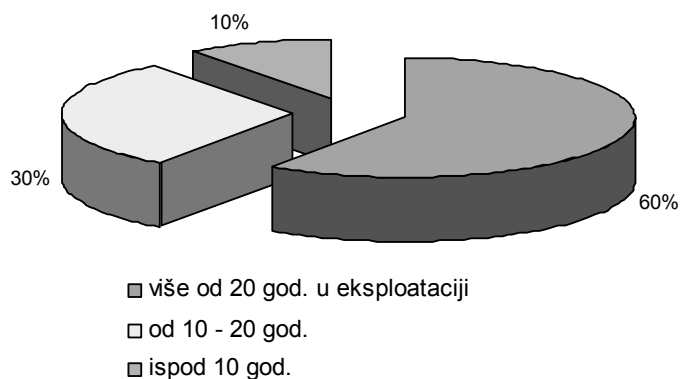
PROIZVOĐAČ	TIP	BROJ TRAMVAJA
ČKD	KT-4 M YUB	20
	KT-4 YUB M modernizovani	30
	KT-4 YUB remontovani	35
	KT-4 YUB neremontovani	109
	T4	1
DÜWAG	BE 4/4	1
	BE 4/6	26
	Prikolice	21
UKUPNO		243

Tabela 1: Struktura tramvajskog voznog parka

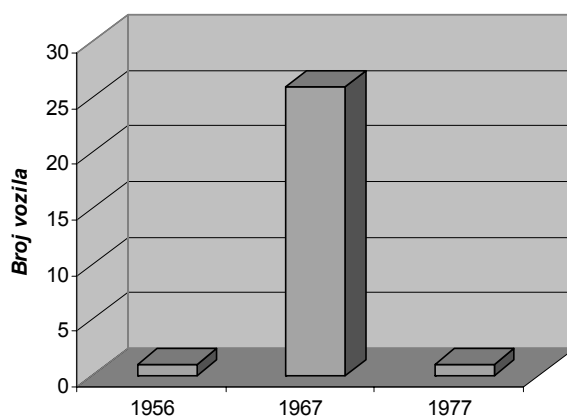


Slika 1: Starosna struktura po godini uključenja tramvaja u saobraćaj

Na slici 3 data je starosna struktura dela tramvajskog voznog parka dobijenog iz donacije polovnih tramvaja proizvođača DÜWAG i jednog tramvaja T-4 proizvođača ČKD. Kada se ovi tramvaji klasifikuju po godini proizvodnje dobijamo starosnu strukturu predstavljenu slikom 3.



Slika 2: Period eksploatacije ČKD tramvaja



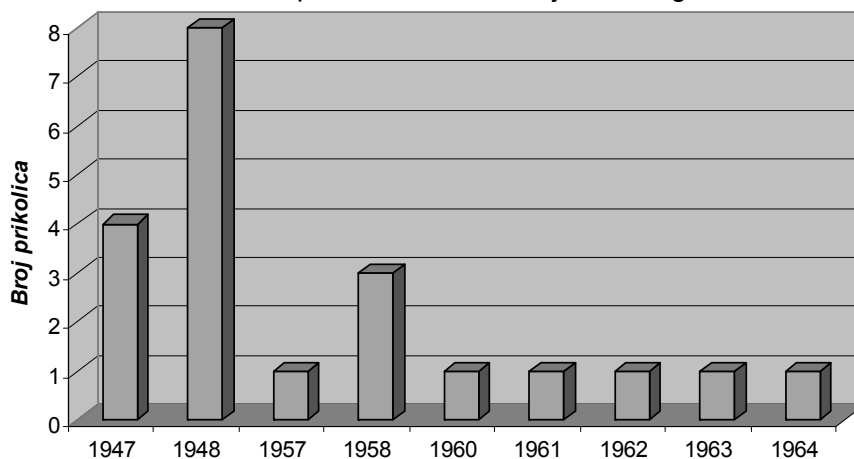
Slika 3: Starosna struktura DÜWAG tramvaja (po godini proizvodnje)

Ovih 27 tramvaja prešlo je ukupno 2.341.845 km (od datuma uključenja u saobraćaj u Beogradu), ili 86.735 km po vozilu, a njihova prosečna starost je 37,62 godine.

Tramvajske prikolice proizvođača DÜWAG isporučene su Beogradu zajedno sa tramvajima ovog proizvođača, i, takođe, kao polovne u

okviru donacije. Kada se prikolice klasifikuju po godini proizvodnje, dobijamo starosnu strukturu prikazanu na slici 4.

Ove prikolice su prešle ukupno 1.878.625 km (od datuma uključenja u saobraćaj u Beogradu), ili 89.458,33 km po vozilu, a njihova prosečna starost je čak 52 godine.



Slika 4: Starosna struktura DÜWAG prikolica (po godini proizvodnje)

Pouzdanost i raspoloživost postojećeg tramvajskog voznog parka je analizirana na osnovu podataka koji su dobijeni od Gradskog saobraćajnog preduzeća. Na osnovu dobijenih podataka,

trebalo je utvrditi karakteristike pouzdanosti i raspoloživosti tramvajskog voznog parka, a težilo se i ostvarenju još dva cilja:

- Utvrđivanju razlike u pouzdanosti i raspoloživosti različitih grupa vozila u voznom parku, koje su formirane po tipu i nivou modernizacije (tabela 3). Analiza je trebala da pokaže razlike u pouzdanosti i raspoloživosti koje opravdavaju modernizacije višeg nivoa sa visokim vrednostima pouzdanosti pojedinih podsistema tramvaja;
- Dobijanju odgovora na pitanje koji od podsistema, uređaja i opreme u odabranim grupama tramvaja imaju najveći broj otkaza u dosadašnjoj eksploataciji. Napravljena je analiza otkaza (tabela 5) koja je trebala da ukaže na najnepouzdanije pod sisteme i potrebu za njihovom rekonstrukcijom, odnosno modernizacijom.

Rezultati sprovedenih analiza pouzdanosti i raspoloživosti /3/ prikazani su u tabeli 3, u kojoj su dati podaci za 2003. i 2004. godinu koji se odnose na: prosečan broj tramvaja i ukupan broj dana u saobraćaju i van saobraćaja, ukupan pređeni put i ukupan godišnji broj otkaza. Na kraju tabele dati su izračunati brojevi otkaza na pređenih 100.000 km, kao mera pouzdanosti, i izračunate eksploatacione (ope-

rativne) raspoloživosti na osnovu ukupnog broja dana van saobraćaja, koji obuhvata vremena zastoja zbog preventivnog i korektivnog održavanja i logističko i administrativno vreme zastoja. Kao što je već rečeno analiza je rađena za posebno formirane grupe tramvaja i to:

- grupu relativno novih tramvaja KT-4M YUB sa kontinualnom regulacijom pogona, puštenih u saobraćaj 1998. godine;
- grupu tramvaja KT-4 YUBM modernizovanih od strane firme INEKON i GOŠA, takođe sa kontinualnom regulacijom pogona, puštenih u saobraćaj u periodu od 2002. do 2003. godine;
- grupu tramvaja KT-4 YUB remontovanih kod nas (GOŠA, MIN, ŠINVOZ i ŽELVOZ) i puštenih u saobraćaj nakon remonta u periodu od 1991. godine do danas;
- grupu neremontovanih tramvaja KT-4 YUB puštenih u saobraćaj u periodu od 1980. do 1991. godine; i
- grupu tramvaja DÜWAG, puštenih u saobraćaj kod nas u periodu od 2001. do 2003. godine.

Godina	Prosečan broj tramvaja		Ukupan broj dana		Ukupno pređeno km	Ukupan broj otkaza	Broj otkaza na 100.000 km	Raspoloživost
	u saobraćaju	van saobraćaja	u saobraćaju	van saobraćaja				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Novi tramvaji KT-4M YUB, garažni broj: 401-420 (20 vozila):								
2003	17,08	2,92	5.661	1.639	435.164	203	46,65	0,78
2004	18	2	6.452	848	442.488	239	54,01	0,88
Modernizovani tramvaji KT-4 YUBM, INEKON-GOŠA (30 vozila):								
2003	16	14	4.156	6.794	896.803	713	79,50	0,38
2004	25	5	7.887	3.063	1.627.949	1.152	70,76	0,72
Remontovani tramvaji KT-4 YUB, GOŠA, MIN, ŽELVOZ, ŠINVOZ (35 vozila):								
2003	32,75	1,25	9.221	3.189	1.638.922	5.368	327,53	0,74
2004	30,5	3,5	9.209	3.201	1.677.332	4.106	244,79	0,74
Neremontovani tramvaji KT-4 YUB (109 vozila):								
2003	95,83	14,17	28.676	11.474	5.166.279	16.418	317,79	0,71
2004	89,83	20,17	27.145	13.005	5.125.208	12.438	242,68	0,68
Tramvaji DÜWAG (27 vozila):								
2003	20,42	6,58	6.328	3.527	786.135	693	88,15	0,64
2004	24,58	2,42	7.734	2.121	1.022.889	745	72,83	0,78

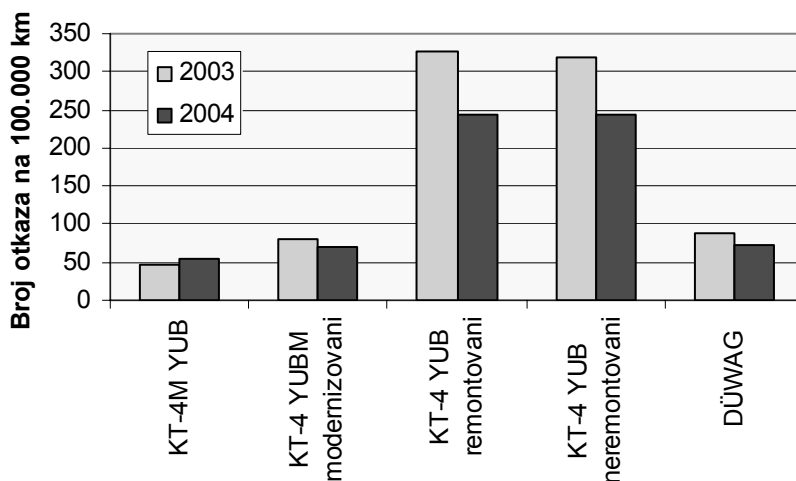
Tabela 2: Pouzdanost i raspoloživost tramvajskog voznog parka GSP-a

Rezultati proračuna pouzdanosti i raspoloživosti (tabela 3) pokazuju niske vrednosti pouzdanosti, odnosno može se slobodno reći da je utvrđen veliki broj otkaza na 100.000 km pređenog puta (za grupe neremontovanih i remontovanih nemodernizovanih tramvaja i preko 300 otkaza / 100.000 km u 2003. godini). Međutim, odmah se mogu uočiti značajne razlike u pouzdanosti novih tramvaja KT-4M YUB i

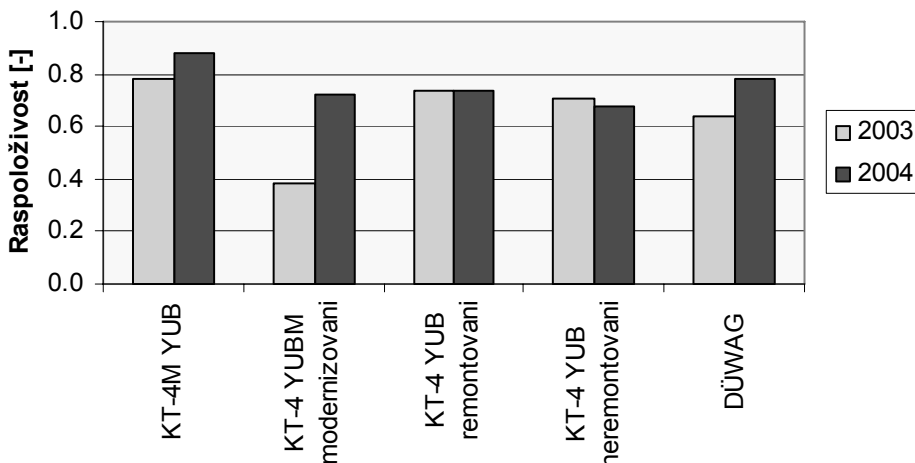
modernizovanih tramvaja KT-4 YUBM u odnosu na ostale grupe tramvaja istog tipa (tabela 3 i slika 6). Najveća razlika u pouzdanosti je između novih tramvaja i neremontovanih (54,01 u odnosu na 242,68 otkaza na 100.000 km u 2004. godini), što je logičan rezultat, koji pokazuje uticaj savremenije konstrukcije tramvaja (posebno savremene regulacije pogona) na nivo pouzdanosti i opravdava

uvođenje savremene kontinualne regulacije pogona u cilju smanjenja broja otkaza. Interesantno je da u obe posmatrane godine remontovani nemodernizovani tramvaji pokazuju nešto manju pouzdanost

od neremontovanih tramvaja (244,79 u odnosu na 242,68 otkaza na 100.000 km u 2004. godini), što sigurno dovoljno govori o kvalitetu obavljenih remonta.



Slika 6: Broj otkaza tramvaja GSP-a na pređenih 100.000 km u 2003. i 2004. godini



Slika 7: Raspoloživost tramvaja GSP-a u 2003. i 2004. godini

Detaljnija analiza rezultata proračuna raspoloživosti mogla bi da pokaže i dokaže uticaj karakteristika procesa održavanja na raspoloživost. Međutim, i na osnovu dobijenih podataka (tabela 3 i slika 7) može se videti da pouzdaniji tehnički sistemi ne zahtevaju obimnije održavanje, pa je raspoloživost novih tramvaja uočljivo veća nego raspoloživost ostalih definisanih grupa, a posebno grupe neremontovanih tramvaja (0,88 u odnosu na 0,68 u 2004. godini).

Analiza rezultata proračuna pouzdanosti i raspoloživosti po godinama pokazuje da se oni značajnije menjaju, iako je posmatrani period samo dve godine. Razlozi su različiti, ali je jedan od najvažnijih primenjeni sistem održavanja. Indikativni primer su modernizovani tramvaji KT-4 YUBM za koje se za godinu dana

značajno povećala pouzdanost, a drastično raspoloživost (sa 0,38 u 2003. na 0,72 u 2004. godini), što pokazuje, pre svega, uticaj završavanja prototipskog razvoja u toku eksploatacije (naknadne rekonstrukcije i ispravljanje uočenih nedostataka - u periodu uključivanja modernizovanih tramvaja u saobraćaj neki od otkaza, umesto da su otklanjani na liniji, otklanjani su u depou uz obaveznu superviziju izvršioca modernizacije), a onda i poboljšanja sistema održavanja. S druge strane, poboljšanje efikasnosti održavanja je uticalo i na povećanje pouzdanosti i raspoloživosti tramvaja DÜWAG.

Rezultati analize učestalosti pojave otkaza po pojedinim podsistemima, uređajima i opremi tramvaja prikazani su u tabeli 5 za 2003. i 2004. godinu. Prema rezultatima iz tabele, podsistemi,

uređaji i oprema sa najviše otkaza kod remontovanih nemodernizovanih i neremontovanih tramvaja KT-4 YUB su: električna kočnica, prekostrujna zaštita i tzv. „spoting“ (34,3% ukupnog broja otkaza u 2004. godini), kardanska kočnica (24,1%), regulacija glavnog pogona (22%), vrata (17,4%) i električne instalacije (6,4%). To su podsistemi, uređaji i oprema od kojih je većina bila rekonstruisana u okviru dosadašnjih glavnih opravki (remonta) i modernizacija.

Zbog sprovedenih poboljšanja, pre svega u podsystemu za regulaciju pogona, stanje otkaza po podsystemima, uređajima i opremi tramvaja KT-4M YUB i modernizovanih tramvaja KT-4 YUBM se razlikuje u odnosu na stanje remontovanih nemodernizovanih i neremontovanih tramvaja. Naime, otkazi su se najčešće javljali na: vratima (33,3% otkaza u 2004. godini), regulaciji glavnog pogona (21%), kardanskoj kočnici (18,3%), električnim instalacijama (9,5%) i pantografu (6,4%), s tim što treba reći da je kod tramvaja KT-4M YUB, kada se odvojeno posmatra, na prvom mestu po broju otkaza i dalje regulacija glavnog pogona.

Kod DÜWAG tramvaja vrata su podsystem sa najvećim brojem otkaza u 2004. godini (26,1%), pa onda slede: pantograf (16,9%), vazдушna instalacija (12,8%), regulacija glavnog pogona (11%) i električna instalacija (5,2%).

Analiza promene strukture najučestalijih otkaza po godinama pokazuje da se ona uglavnom nije promenila u 2004. u odnosu na 2003. godinu (prvih pet podsystema sa najčešćim otkazima su ostali isti).

Sprovedena analiza pouzdanosti i raspoloživosti postojećeg tramvajskog voznog parka GSP-a jasno ukazuje na pravce njegove modernizacije u budućnosti, a može da posluži i kao osnova za definisanje tehničkih zahteva za nabavku novih tramvaja.

Inače, u sprovedenim analizama pouzdanosti (tabela 3), kao otkaz, usvojena je neispravnost tramvaja čija je posledica njegovo isključenje iz saobraćaja i odlazak sopstvenim pogonom ili odvlačenje u depo. Zbog toga je, iako ograničen na kratak period, vrlo interesantan pregled dat u tabeli 4 broja: isključenja iz saobraćaja i odlaska sopstvenim pogonom u depo, isključenja i odvlačenja u depo i popravki tramvaja na liniji po mesecima u periodu od oktobra 2004. do marta 2005. godine. Na osnovu podataka iz tabele može se dobiti podatak o odnosu pouzdanosti na bazi otkaza zbog kojih su tramvaji odlazili u depo sopstvenim pogonom ili odvlačenjem i pouzdanosti na bazi tih otkaza i otkaza koji su otklonjeni popravkom na liniji. Deljenjem podataka o prosečnim vrednostima na mesečnom nivou o ukupnom broju otkaza i broju otkaza nakon kojih su tramvaji odlazili sopstvenim pogonom ili bii odvučeni u depo, dobija se koeficijent kojim se mogu pomnožiti pouzdanosti iz kolone 8 tabele 3 i dobiti pouzdanost, koja se odnosi na sve otkaze u tabeli 4. Vrednost tog koeficijenta je 1,1687, pa su korišćenjem tog koeficijenta dobijene nove vrednosti broja otkaza na 100.000 km za tzv. novi tramvaj KT-4M YUB (54,52 za 2003. i 63,12 za 2004. godinu) i za modernizovani tramvaj KT-4 YUBM (92,91 za 2003. i 82,70 za 2004. godinu). Te vrednosti su kasnije (tačka 5) korišćene za poređenje pouzdanosti sa novim rimskim tramvajem, uz uzimanje u obzir činjenice da je korišćeni koeficijent dobijen za ceo vozni parka, a da se poredе vrednosti novih i modernizovanih beogradskih tramvaja. Zbog toga bi se prethodne vrednosti pouzdanosti, odnosno vrednost korišćenog koeficijenta, mogli nešto smanjiti, pa bi rezultati poređenja bili malo povoljniji za beogradski tramvaj.

Mesec	Oktobar 2004	Novembar 2004	Decembar 2004	Januar 2005	Februar 2005	Mart 2005	Prosečno mesečno
Odlazak u depo sopstvenim pogonom	1118	1368	1481	1407	1516	1263	1359
Odvlačenje u depo	230	320	301	364	393	308	319
Popravka na liniji	311	295	277	273	227	316	283
UKUPNO	1659	1983	2059	2044	2136	1887	1961

Tabela 4: Broj isključenih, odvučenih i popravljenih na liniji tramvaja od oktobra 2004. do marta 2005. godine

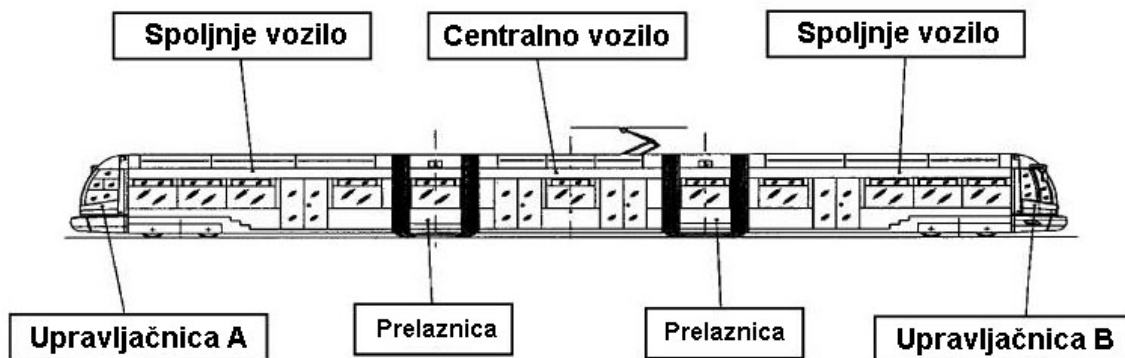
	Godina		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
	2003	2004																						
UKUPNO	2003	2004	0,23	4,60	0,23	5,29	0	0,23	0	0,23	0	5,37	0,23	18,15	2,07	0,69	0,92	1,38	4,83	0,23	0	1,38	0	46,65
	2003	2004	0,23	7,46	0,45	11,30	0,23	0,68	0	0	0,23	0	3,62	0,45	16,95	2,49	0,45	1,36	2,03	3,16	0,90	1,36	0	54,01
KT-4M YUB	2003	2004	0,45	16,50	1,23	31,44	0,11	0,22	0,22	0,22	0	3,68	0,33	12,60	1,67	0,45	0,11	0,56	7,36	0,11	0,33	1,34	0	79,50
	2003	2004	0,43	14,13	1,04	25,62	0,18	0,86	1,04	1,04	0,37	2,95	0,18	13,45	1,97	0	0,06	1,29	4,18	4,18	0,18	0,55	1,84	0
Remontovani KT-4 YUB	2003	2004	4,03	70,29	4,21	41,73	3,72	8,60	6,16	6,16	2,01	7,38	1,71	54,73	100,8	0,79	0,49	0	15,13	0,31	0,12	4,45	0	327,53
	2003	2004	2,74	27,36	2,03	43,82	2,15	5,12	5,72	5,72	1,13	6,74	0,95	45,97	77,21	2,21	0,72	0	15,86	0,54	0,42	3,22	0	244,79
Neremontovani KT-4 YUB	2003	2004	5,01	54,80	4,28	42,45	3,83	8,19	4,70	1,61	1,22	9,02	1,72	53,08	104,1	1,63	0,39	0,04	15,58	0,12	0,41	5,59	0	317,79
	2003	2004	4,23	25,17	2,44	37,40	2,42	6,28	5,97	1,17	0,92	6,67	1,17	43,20	85,48	1,66	0,90	0,02	12,58	0,86	0,70	3,43	0	242,68
DÜWAG	2003	2004	0,51	0,13	1,27	23,02	2,29	1,65	1,52	2,54	0,51	14,88	0,13	9,67	3,05	0	0	0,13	4,58	0,25	1,14	9,54	11,	88,15
	2003	2004	1,76	0,59	1,86	18,57	1,17	0,88	1,47	0,78	0,68	8,99	0,10	7,04	3,13	0	0	0,10	8,41	0,39	0,39	7,63	8,5	72,83

Tabela 5: Broj otkaza na pređenih 100.000 km po podsistemima, uređajima i opremi za 2003. i 2004. godinu
Istraživanja i projektovanja za privredu 16/2007

POUZDANOST I RASPOLOŽIVOST NOVOG RIMSKOG TRAMVAJA

U cilju povećanja obima i kvaliteta gradskog saobraćaja Rimska transportna kompanija ATAC SpA nabavila je 1999. godine od torinskog FIAT-a nove tramvaje. Tramvaji su sa delimično niskim podom, a razvijeni su na osnovu iskustava u eksploataciji, uslovno rečeno, starih tramvaja proizvedenih 1989. godine. Koncept i osnovna

konstrukcija i jednog i drugog tramvaja su tako postavljeni da obezbeđuju niske eksploatacijske troškove i jednostavno održavanje, zahvaljujući, pre svega, korišćenju standardnih modularnih komponenti. Novi rimski tramvaj prikazan je na slici 8, njegov spoljni izgled je razradila firma Giugiaro Design, a prilagođen je i strukturalno i rešenjima unutrašnjeg prostora osnovnom cilju kombinacije komfora i osvetljenosti, uz dodatak prijatnog i modernog izgleda.



Slika 8: Tramvaj FIAT 9100

Nedavno su u otvorenoj literaturi objavljeni podaci o pouzdanosti i raspoloživosti novog rimskog tramvaja FIAT 9100 /2/ u okviru kojih su dati rezultati odgovarajućih statističkih analiza. Osnovne performanse pouzdanosti i raspoloživosti su određene od strane kupca i bile su definisane u tenderskoj dokumentaciji. Te performanse su, dakle, bile deo zahteva, koje je isporučilac morao da potvrdi, kao karakteristike pouzdanosti i raspoloživosti, i da pokaže da njegov proizvod odgovara zahtevanim vrednostima. Proračun isporučio je bio zasnovan na uslovima eksploatacije u Rimu prikazanim u tabeli 6.

Analiza je sprovedena na osnovu praćenja otkaza tramvaja u toku korišćenja u Rimu u periodu od dve godine. Vozila od broja 9101 do 9112 su određena kao reprezentativna u prvoj grupi vozila, koja su započela eksploataciju. Posmatran je period od aprila 1999. do juna 2001. Podaci su uključivali sve srednje i velike otkaze, a period praćenja otkaza je podeljen na šest delova od po četiri meseca i jedan završni deo od tri meseca. Za svaki od delova računane su vrednosti parametra β Vejbulove raspodele i srednjeg vremena između otkaza (MTBF) prikazani u tabeli 7.

Eksploataciona karakteristika	Podaci o eksploataciji na predviđenom putu
Srednja dnevna kilometraža	180 km/dan
Dnevni broj sati	18 h/dan
Vreme stajanja na kraju linije	10 min
Vreme stajanja na stanicama	15 s
Godišnja kilometraža	72.000 km/god.
Broj korišćenih dana mesečno	20 dan/mesec
Srednja brzina	10 km/h

Tabela 6: Uslovi eksploatacije tramvaja FIAT 9100

Na slici 9 prikazana je promena intenziteta otkaza u posmatranom periodu. Dobijena kriva (deo tzv. «krive kade») se očigledno sastoji iz

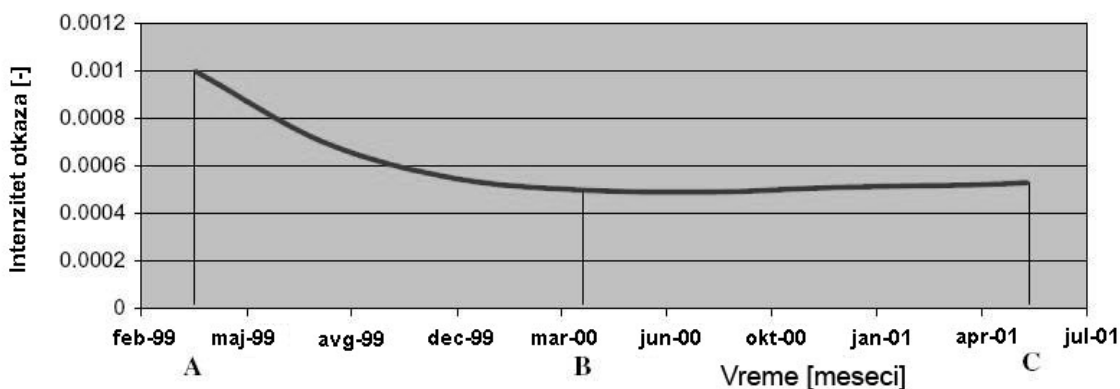
dva dela, AB i BC, gde deo AB odgovara periodu garancije, a deo BC periodu redovnog korišćenja sa konstantnim intenzitetom otkaza.

Interval	Beta	MTBF (km)	Broj otkaza na 100.000 km
April 99 - Juli 99	0.82	1139	87,80
Avgust 99 - Novembar 99	0.87	2787	35,88
Decembar 99 - Mart 00	0.93	1628	61.43
April 00 - Juli 00	0.99	1299	76.98
Avgust 00 - Novembar	1.05	1167	85,69
Decembar 00 - Mart 00	1.01	1605.7	62.28
April 01 - Juni 01	1.05	1995	50,13

Tabela 7: Vrednosti β , MTBF i broj otkaza na 100.000 km

Proračun pouzdanosti u prvom delu obuhvata sve neispravnosti koje su zahtevale opravke u okviru garancije. Pri tom je u FIAT-ovim zahtevima data MTBF vrednost od jednog otkaza na svakih 1050 km (95,24 otkaza na

100.000 km), dok izračunata vrednost MTBF na osnovu podataka iz eksploatacije pokazuje jedan otkaz na svakih 1436 km (69,64 otkaza na 10^5 km).



Slika 9: Kriva kade za tramvaje 9101-9112 FIAT 9100

Pri proračunu eksploatacione pouzdanosti uzeti su u obzir neispravnosti:

- zbog kojih je tramvaj stao na liniji i bio prinuđen da koristi terensku servisnu službu za ponovno vraćanje u saobraćaj;
- zbog kojih je tramvaj prvo stao, a onda krenuo nakon više od 5 minuta;
- zbog kojih je tramvaj je morao da ode u servis i bio isključen iz saobraćaja, pa vraćen u saobraćaj odmah nakon popravke;
- zbog kojih su se na tramvaju morale obaviti popravke u normalnim radnim satima, pa je tramvaj prebačen u radionicu, tramvajski depo ili na okretnicu (zadnju stanicu linije).

Za eksploatacionu pouzdanost MTBF vrednost postavljena kao zahtev od strane FIAT-a bila je jedan otkaz na svakih 2.520 km (39,68 otkaza na 10^5 km). Analize sprovedene na osnovu podataka dobijenih iz radionica su kao rezultat dale vrednost MTBF od jednog otkaza na svakih 2.461 km (40,63 otkaza na 10^5 km), koja je vrlo bliska vrednosti postavljenoj kao zahtev od strane FIAT-a.

U analizi je razmatrana i pouzdanost osnovnih komponenti tramvaja, a posmatrana su vozila br. 9101 do 9128 u periodu između aprila 1999. i juna 2001. godine. Analizirane su sledeće osnovne komponente: pantografi, noseće konstrukcije (sanduci), dijagnostički uređaji i memorijske jedinice, elektrooprema, pomoćni sistemi, sistem za kočenje, pneumatski sistem, sistem vrata i video sistem. U tabeli 8 prikazane su vrednosti pouzdanosti izračunate na osnovu podataka iz eksploatacije za sve gore pomenute komponente.

Može se primetiti da je sistem za kočenje najlošija komponenta u odnosu na pouzdanost, pošto je MTBF vrednost tog sistema jednaka manje od 600 km (166,67 otkaza na 100.000 pređenih km ili samo tri dana rada bez neispravnosti!).

Osnovni cilj svih sprovedenih analiza je bio ocena ispunjenja zahteva za pouzdanošću novog tramvaja. Pored tog zahteva u ugovoru je utvrđeno da, uz tehničku pomoć za održavanje, proizvođač mora da obezbedi i podršku za skraćivanje vremena opravke vozila u uslovima održavanja. Isto tako, svaki put kada

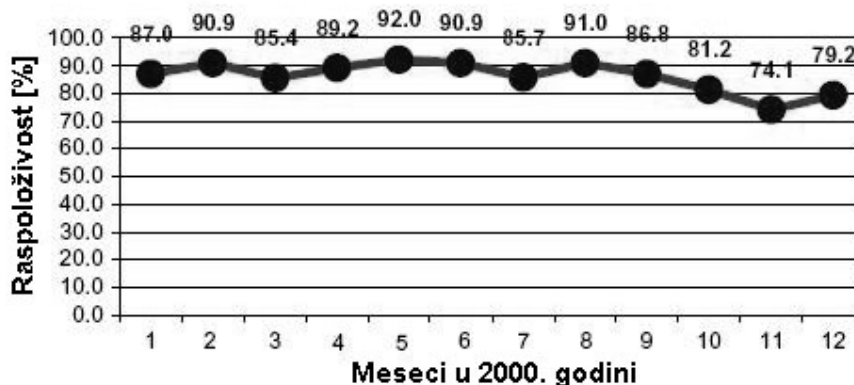
se pojavi novi otkaz, čiji je uzrok loša konstrukcija nekog elementa ili sklopa, proizvođač mora da preduzme neophodne izmene za potpuno rešenje problema. Na taj

način su problemi koji su se pojavili na početku eksploatacije: ulaska vode, lošeg rada sistema za klimatizaciju i sistema za kočenje morali biti brzo rešeni.

Podsystem/komponenta	MTBF	Broj otkaza na 100.000 km
Pantograf	15.340,6	6,52
Sanduk	13.406	7,46
Dijagnostički uređaji i memorijske jedinice	4.740,3	21,10
Elektrooprema	2.197,5	45,51
Pomoćni uređaji	1.583,7	63,14
Klimatizacija	7.909	12,46
Sistem za kočenje	587	170,36
Obrtna postolja	6134,1	16,30
Vrata	15.340,6	6,52
Video sistem	1.145,1	87,33

Tabela 8: MTBF vrednosti komponenti

Posebno treba napomenuti da pri analizi pouzdanosti nisu uzete u obzir: neispravnosti, koje se odnose na narušavanje unutrašnjeg dizajna (posledice vandalizma), operacije preventivnog održavanja, podešavanja, podmazivanja, reset-operacije i svi pozivi za popravke za istu komponentu iz istog razloga (nekvalitetno urađena popravka).



Slika 10: Raspoloživost novog rimskog tramvaja u 2000. godini

Raspoloživost tramvaja je izračunata uzimajući u obzir broj raspoloživih tramvaja ujutru pre početka izvršenja reda vožnje. Na taj način metod uzima u obzir samo vozila sposobna da izvrše saobraćajni zadatak. Vozila koja su trenutno na opravci ili drugim operacijama održavanja nisu uključena u proračun jer njihova neraspoloživost nije unapred poznata.

Za svaki dan u mesecu izračunat je broj vozila sposobnih za saobraćaj i broj vozila teorijski planiran za saobraćaj. Onda je izračunat procenat raspoloživosti kao srednja vrednost prethodnih podataka. Srednja vrednost raspoloživosti za 2000. godinu je 85,5%, a na slici 10 je prikazana promena raspoloživosti u 2000. godini po mesecima.

POREĐENJE KARAKTERISTIKA POUZDANOSTI I RASPOLOŽIVOSTI BEOGRADSKOG I RIMSKOG TRAMVAJA

Poređenju rezultata ispitivanja pouzdanosti beogradskog i rimskog tramvaja mora prethoditi, pre svega, analiza njihovih uslova eksploatacije, dok je za poređenje raspoloživosti potrebno prvenstveno sprovesti analizu procesa održavanja, s obzirom na veliki uticaj koncepta, organizacije i načina sprovođenja postupaka održavanja na vremena u kojima se tramvaji nalaze van eksploatacije. Nažalost, analiza procesa održavanja novog rimskog tramvaja nije mogla biti sprovedena zbog nedostatka odgovarajućih podataka.

Podaci o uslovima eksploatacije rimskog tramvaja takođe nisu poznati, ali se može

proceniti da su uslovi eksploatacije beogradskog i rimskog tramvaja slični, ako ni zbog čega drugog onda zbog sličnog brdovitog terena u oba grada. Rimljani imaju svoje brežuljke, a Beograd: Kalemegdan, Nemanjinu, Voždovac itd., a krivine malog poluprečnika su karakteristične za skoro sve tramvajske sisteme, pa i za beogradski i rimski.

Za poređenje dobijenih eksploatacionih karakteristika pouzdanosti neophodno je znati i usvojene definicije otkaza za oba sistema. Ako su različite, rezultati poređenja se moraju posmatrati uslovno i uz odgovarajuća ograničenja. Nažalost, to je slučaj poređenja rezultata za beogradski i rimski tramvaj. Analiza za beogradski tramvaj je uzela u obzir sve otkaze koji su izazvali odlazak tramvaja u depo (odlazak sopstvenim pogonom ili odvlačenje). Kod rimskog tramvaja to je nešto drugačije, a definisani otkazi uzeti u obzir opisani su u tački 3, pa je proračun eksploatacione pouzdanosti rađen i sa otkazima koji su izazvali zastoje tramvaja na pruži duži od 5 minuta ili intervenciju terenske službe.

Inače, očigledno je da se sa pouzdanošću novog rimskog tramvaja objektivno mogu porediti samo podaci o pouzdanosti tzv. novog beogradskog tramvaja KT-4M YUB i modernizovanog tramvaja KT-4 YUBM. To poređenje pokazuje da razlike nisu tako velike kako bi se moglo pretpostaviti ako se uzme u obzir ipak nešto stariji koncept češkog ČKD tramvaja i najverovatnije lošije održavanje beogradskih tramvaja u odnosu na rimske. Podaci prikazani u prethodnim tačkama, na prvi pogled, pokazuju da je broj otkaza na 100.000 pređenih kilometara kod beogradskog novog ČKD tramvaja (46,65 otkaza u 2003. i 54,01 u 2004. godini) samo za 15-30% veći od broja otkaza kod novog rimskog tramvaja (40,63 otkaza na 100.000 km - eksploataciona pouzdanost nakon isteka garantnog roka od godinu dana), a da je pouzdanost modernizovanog ČKD tramvaja (79,50 otkaza na 100.000 km u 2003. i 70,76 otkaza u 2004. godini) manja od pouzdanosti novog rimskog tramvaja za oko 75%.

Međutim, ako se uzme u obzir da je u proračunu pouzdanosti novog rimskog tramvaja uzet u obzir širi spektar otkaza naveden u tački 3 i pomenut u prethodnom pasusu, mora se zaključiti da je razlika sigurno veća. U cilju procene te realnije razlike u tački 3 su na osnovu podataka iz tabele 4 izračunati podaci o pouzdanosti novog i modernizovanog beogradskog tramvaja, koji se sa više sigurnosti mogu

uporediti sa pouzdanošću novog rimskog tramvaja (uzete su u obzir vrlo slične vrste otkaza kao za rimski tramvaj). Upoređenjem tako dobijenih vrednosti za beogradske nove tramvaje (54,52 otkaza na 100.000 km za novi beogradski tramvaj i 63,12 za modernizovani) sa brojem otkaza na 100.000 km novog rimskog tramvaja, dobija se veći broj otkaza kod beogradskog tramvaja za 34 do 55%. Kod modernizovanih beogradskih tramvaja situacija je znatno lošija, pa je njihov broj otkaza na 100.000 km za 100 do 130% veći od broja otkaza novog rimskog tramvaja (odnosno za više od dva puta).

Analiza pouzdanosti pojedinih komponenti beogradskog i rimskog tramvaja pokazuje značajnije razlike. Opet su poređenja rađena za novi rimski tramvaj i beogradske tramvaje sa savremenom kontinualnom regulacijom pogona (tzv. novi ČKD KT-4M YUB i modernizovani KT-4 YUBM). Kod tih beogradskih tramvaja najnepouzdanije komponente su: vrata, regulacija glavnog pogona, kardanska kočnica, električne instalacije i pantograf.

Pouzdanost komponenti novog rimskog tramvaja je analizirana u periodu od aprila 1999. do juna 2001. godine, pa je obuhvaćen i garantni period eksploatacije tramvaja. Najnepouzdanije komponente u tom periodu bile su: sistem za kočenje (očigledni konstrukcijski nedostaci uticali su na izuzetno nisku pouzdanost kočnice), video-sistem, pomoćni uređaji, elektrooprema i dijagnostički uređaji i memorijske jedinice. Objašnjenje zašto među prvih pet najnepouzdanijih komponenti nema vrata, koja su najnepouzdanija kod beogradskih tramvaja je sigurno u uslovima eksploatacije. Naime, i bez podataka o prosečnom broju putnika, odnosno iskorišćenosti kapaciteta tramvaja, može se pretpostaviti da su beogradski tramvaji znatno opterećeniji, vrlo često i prepuni, sa stalnim pritiskom na vrata, pa mehanizmi za otvaranje rade u uslovima velikog preopterećenja. U prvih pet najnepouzdanijih komponenti i za beogradski i za rimski tramvaj nalazi se samo elektrooprema. Ta različitost u najnepouzdanijim komponentama pokazuje uticaj različitih konstrukcija i uslova eksploatacije.

Kod beogradskih tramvaja raspoloživost je računata na osnovu ukupnog broja dana u toku kojih je tramvaj bio van saobraćaja nezavisno od uzroka (preventivno i korektivno održavanje, logističko i administrativno vreme zastoja), odnosno procenjena je tzv. operativna (eksploataciona) raspoloživost /4/. Za novi rimski tramvaj raspoloživost je procenjena nešto drugačije, pošto

vozila koja su na redovnoj opravljanju ili na kojima se vrše druge operacije održavanja nisu uzeta u obzir, pa je, praktično, računata tzv. sopstvena (inherentna) raspoloživost (uobičajena razlika između operativne i sopstvene raspoloživosti je i do 10%) /5/. Zbog toga je razumljivo što su za novi rimski tramvaj dobijene značajno veće vrednosti raspoloživosti, koje su u intervalu od 74% do 92% (vrednost na osnovu statističke analize u toku 2000. godine je 85,5%), a za beogradske tramvaje sa savremenom kontinualnom regulacijom pogona u 2004. godini raspoloživosti su: 88% za tzv. novi tramvaj KT-4M YUB i 72% za modernizovani tramvaj KT-4 YUBM. Uzimajući u obzir sve prethodno navedeno, može se zaključiti da je razlika u raspoloživosti novog rimskog i novog i modernizovanog beogradskog tramvaja relativno mala.

ZAKLJUČAK

Na osnovu rezultata poređenja karakteristika pouzdanosti i raspoloživosti beogradskog i rimskog tramvaja prikazanih u prethodnoj tački, mogu se izvući sledeći osnovni zaključci:

- Prema dobijenim podacima eksploataciona pouzdanost beogradskih tzv. novih tramvaja KT-4M YUB je za 34 do 55%, a kod modernizovanih tramvaja KT-4 YUBM za 100 do 130% manja od pouzdanosti novih rimskih tramvaja. Pri tom su pri proračunu pouzdanosti i beogradskog i rimskog tramvaja uzete u obzir iste vrste otkaza. To znači da postoje značajne rezerve u povećanju pouzdanosti beogradskog tramvaja i da zahteve za pouzdanost pri nabavci novih i modernizaciji postojećih tramvaja treba postaviti na viši nivo od oko 50 otkaza na 100.000 km. Postavljanje takvog zahteva u pozivu za javnu nabavku treba u konačnom da obezbedi značajno smanjenje troškova za korektivno održavanje i grupe eksternih troškova, koji nastaju kao posledica isključenja tramvaja iz saobraćaja;
- Kod beogradskih tramvaja najnepouzdanija komponenta su vrata, a kod rimskog kočnice. Objašnjenje za beogradske tramvaje je preopterećenje vrata i njihovog mehanizma za otvaranje zbog stalnog pritiska putnika na njih, posebno u trenucima otvaranja i zatvaranja. Kod rimskih tramvaja se najverovatnije radi o konstrukcionom nedostatku, koji se mora otkloniti rekonstrukcijom sistema za kočenje (u dostupnim podacima nema detalja o neispravnostima kočnica). U prvih pet najnepouzdanijih komponenti i za beogradski i za rimski tramvaj nalazi se samo elektrooprema;
- Mora se priznati da su razlike u raspoloživosti beogradskog i rimskog tramvaja neočekivano

male, čak iako se uzme u obzir činjenica da je za beogradski tramvaj računata operativna (eksploataciona) raspoloživost, a za rimski sopstvena (inherentna) raspoloživost. Ipak, i tu postoji značajna rezerva za uštede u troškovima održavanja poboljšanjem njegovog kvaliteta uvođenjem savremenije opreme i poboljšanjem njegove organizacije.

LITERATURA

- /1/ B. Vasić i dr.: Cost-benefit analiza tramvajskog voznog parka, Institut za istraživanja i projektovanja u privredi, Mašinski fakultet, Beograd, 2005.
- /2/ S. Carrese, G. Ottone: A model for the management of a tram fleet, European Journal of Operational Research, 2005.
- /3/ D. Milutinović, N. Stanojević: Pouzdanost i raspoloživost tramvajskog voznog parka gradskog saobraćajnog preduzeća „Beograd“, Istraživanja i projektovanja za privredu, br. 10, godina III, 2005.
- /4/ IEC 60050 (191): International Electrotechnical Vocabulary, Chapter 191: Dependability and quality of service, 1990.
- /5/ M. Eberlein, L. Höfer: The Development of Rail Vehicles from the Perspective of Greater Availability, RTR – Railway Technical Review, International Journal for Railway Engineers, No. 2-3, 2002.

BELGRADE AND ROME TRAMS RELIABILITY AND AVAILABILITY

Reliability and availability of every technical system and trams as well are the most important characteristics and the mandatory part of technical specifications within tender documentation for acquisition of new or modernization of existing systems. This paper first presents the short reliability and availability analysis of the "Belgrade" Transport Company tram fleet and then the new trams of the ATAC SpA Rome Transport Company manufactured in FIAT. The obtained analysis results can be compared and this comparison can be a basis for the definition of reliability and availability requests within the process of the acquisition of the new trams or modernization of the existing ones for the Belgrade tram system.

Keywords: track vehicle, tram, reliability, availability