

# ANALIZA OBLIKA, POSLEDICA I RIZIKA OTKAZA - FMERA METODA

**Asis. dr Vladimir Popović, dipl. inž.**  
**Mašinski fakultet, Beograd**

**Prof. dr Branko Vasić, dipl. inž.**  
**Mašinski fakultet, Beograd**

**Dr Dejan Curović, dipl. inž.**  
**Mašinski fakultet, Beograd**

Sagledavanje mogućih otkaza na jednom tehničkom sistemu predstavlja vrhunski inženjerski zadatak. Ovaj rad predlaže potpuno nov prilaz široko prihvaćenoj metodi analize otkaza - FMEA. Rad opisuje metodu pod nazivom Analiza oblika, posledica i rizika otkaza ili FMERA (Failure Modes, Effects and Risks Analysis) - to je tehnika inženjerskog projektovanja koja se koristi u cilju identifikovanja i kvantifikovanja rizika od pojave i posledica otkaza, rano u procesu razvoja, kroz sveobuhvatno sagledavanje troškova životnog ciklusa sistema, a time direktno utiče na smanjenje kasnijih mogućih štetnih posledica.

*Ključne reči: FMERA, rizik, troškovi neraspoloživosti, tramvajski vozni park*

## FAILURE MODES, EFFECTS AND RISKS ANALYSIS - FMERA

*Considering the possible failures within a technical system represents a major engineering task. This paper suggests a completely new approach to the widely accepted failure analysis method - FMEA. The paper describes a method named Failure Modes, Effects and Risks Analysis or FMERA, which is a technique of design engineering, used at risk identifying and quantifying, from the moment of risk occurrence and its effects early in the process of development, through a comprehensive consideration of a system life cycle cost, thus having a direct impact on the later reduction of possible negative consequences.*

*Key words: FMERA, risk, unavailability cost, tram rolling stock*

### OSNOVE NOVE METODE

#### **Posledični troškovi (troškovi neraspoloživosti)**

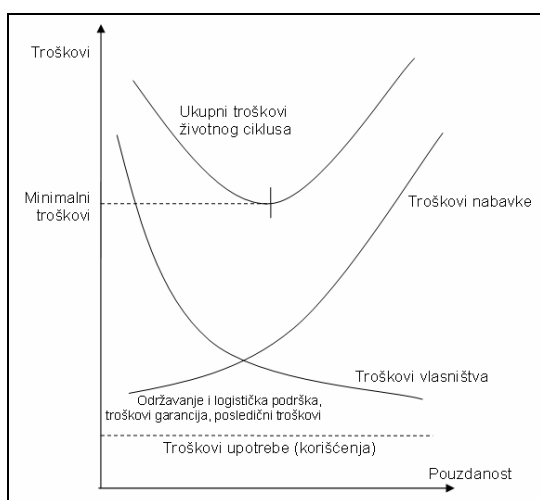
Neraspoloživost proizvoda je, kao što je poznato, pod uticajem njegove pouzdanosti, pogodnosti održavanja i logističke podrške. Proizvod može biti neraspoloživ zbog otkaza hardvera ili softvera, ljudske greške, ili zbog preventivnog održavanja (koje zahteva da proizvod bude isključen iz upotrebe). Postoje,

naravno, troškovi rada, materijala i drugi troškovi logističke podrške, koji su povezani sa ovim aktivnostima. Kada proizvod ili usluga postanu neraspoloživi, može se pojaviti niz posledičnih troškova. Ovi troškovi mogu uključiti:

- troškove garancija;
- troškove odgovornosti;
- troškove zbog izgubljenih prihoda;
- troškove obezbeđenja alternativnih usluga.

Takođe, posledični troškovi treba da budu identifikovani primenom tehnika analize rizika, da bi odredili troškove negativnih uticaja na imidž kompanije, njenu reputaciju, i uticaj

(ugled), što konačno može dovesti do gubitka klijenata. Troškove oporavka od prethodno pomenutih negativnih posledica i troškove smanjenja ovih rizika treba uključiti u posledične troškove. U mnogim slučajevima, ovi troškovi su teški za procenu, ali ih je ponekad moguće kvantifikovati. U slučaju kada je to primenljivo, ove troškove treba uvek ukalkulisati. Takođe, ukoliko kompanija ima sertifikat sistema kvaliteta prema nekoj seriji standarda, i taj status izgubi zbog neraspoloživosti sistema, treba uzeti u razmatranje i troškove koji se javljaju u cilju vraćanja sistema kvaliteta u prvobitno stanje.



Slika 1. Pojednostavljen odnos između pouzdanosti i troškova životnog ciklusa

Neraspoloživost proizvoda može značajno uticati na troškove životnog ciklusa. Stoga, performanse raspoloživosti proizvoda i sa njima povezane troškove životnog ciklusa treba optimizirati. Ovaj načelni odnos između raspoloživosti i troškova životnog ciklusa je u jednostavnoj formi prikazan na Slici 1 [2]. On pokazuje da će sa porastom pouzdanosti (svi drugi faktori se održavaju konstantnim), troškovi nabavke, uopšteno gledano, porasti, dok će se troškovi održavanja i logističke podrške smanjiti. Troškovi životnog ciklusa su minimalni kada je porast troškova nabavke, usled poboljšanja pouzdanosti, jednak uštedama u troškovima održavanja i logističke podrške, kao i uštedama zbog troškova neraspoloživosti. U određenim tačkama, postiže se optimum pouzdanosti proizvoda, koji odgovara najnižim troškovima životnog ciklusa. Ovde se mora naglasiti da je ovaj dijagram samo načelan, tako da bi on za svaki konkretan sistem imao određene modifikacije. Želelo se skrenuti pažnju na problem neraspoloživosti, jer je ta karakteristika izuzetno važna za tramvaje, čiji

su sklopovi i podsklopovi predmet primene FMERA metode u ovom radu.

Pitanje okruženja, kao i tradicionalnih faktora kao što su troškovi i vreme, treba razmatrati prilikom proračuna troškova životnog ciklusa. Stoga, moraju se koristiti metode za procenu i rangiranje uslova okruženja, u odnosu na različite aktivnosti. Ove procene mogu obezbediti osnovu za planiranje okruženja, u najširem smislu te reči, i njegovu integraciju prilikom procesa donošenja odluka. Jedan od rezultata ove nove metode je i razmatranje prethodno pomenutog problema, kao i predlaganje opcije za moguće rešenje istog. Kada je reč o tramvajskom voznom parku, celovito rešenje problema nije moguće postići samo poboljšanjem karakteristika pouzdanosti i raspoloživosti tramvaja, već se naravno mora sagledati i kompletna infrastruktura tramvajskog saobraćaja. U ovom radu akcenat je stavljen na troškove ostvarene neraspoloživosti, koji obuhvataju troškove koji su neposredno izazvani prestankom rada posmatranog tehničkog sistema (direktni gubici, troškovi rada i rezervnih delova), i na troškove koji imaju indirektan karakter i koji potiču od smanjenog prihoda, odnosno smanjenog obima izvršenog rada sistema.

### Troškovi garancija i odgovornosti

Garancije obezbeđuju zaštitu korisnika, štiteći ih od troškova sanacije eventualnog otkaza proizvoda, posebno tokom rane faze upotrebe proizvoda. *Troškove garancije* obično snose dobavljači, u zavisnosti od karakteristika pouzdanosti, pogodnosti održavanja i performansi logističke podrške proizvoda [2]. Dobavljači mogu sprovoditi značajne mere kontrole ovih karakteristika tokom projektovanja i razvoja, kao i faze proizvodnje, i na taj način uticati na troškove garancije. Garancije se obično primenjuju na ograničen period vremena i pod određenim uslovima. One retko uključuju zaštitu od posledičnih troškova, kojima je izložen korisnik zbog neraspoloživosti proizvoda. Garancije mogu biti dopunjene ili zamenjene ugovorima o servisiranju prema kojima dobavljač sprovodi, kao dodatak svim ugovorima napravljenim sa klijentom, kompletno preventivno i korektivno održavanje u toku jednog fiksnog vremenskog perioda, koji može biti produžen na određeno vreme, pa čak i do kraja životnog ciklusa proizvoda. U poslednjem slučaju, teret najvećeg dela troškova životnog ciklusa je na dobavljaču koji je, da bi povećao svoj profit, motivisan da gradi proizvode sa optimalnim nivoom pouzda-

nosti i pogodnosti održavanja, što povlači za sobom veće troškove nabavke. Možemo reći i da je to slučaj kod tramvaja.

S obzirom da je konkurencija na tržištu proizvođača tramvaja velika, a da je broj korisnika tih vozila limitiran infrastrukturom u gradovima, proizvođači su neminovno suočeni sa situacijom u kojoj preko garancijskih uslova dobijaju „utakmicu“ sa konkurencijom. Kod nas je situacija vrlo specifična, jer su tramvaji na našim ulicama visoke prosečne starosti i zastarele konstrukcije, a kompanija koja ih je proizvela (ČKD), praktično, više ne postoji. Iz ovog razloga, pitanje garancija je veoma složeno, ali i važno, naročito kada je reč o nabavci rezervnih delova.

*Troškovi odgovornosti* će se pojaviti u slučaju kada dobavljač nije ispunio svoje obaveze definisane određenim zakonskim propisima. Ti troškovi, nastali zbog nadoknade usled kršenja tih zakonskih propisa, treba da budu razmatrani kao deo troškova životnog ciklusa. Ovo je posebno važno u slučaju proizvoda koji imaju velike šanse da uzrokuju povrede ljudi i/ili štetu po okolinu. Troškovi odgovornosti su takođe važni za nov proizvod za koji uključeni rizik nije potpuno jasan i/ili dobro razumljiv, što je, delimično, slučaj i kod tramvaja. Ovi troškovi su, uopšteno gledano, teški za kvantifikovanje. Kada se zahteva, analiza rizika, zajedno sa iskustvenim znanjima i ocenama eksperata, može biti korišćena za dobijanje procene ovih troškova /3/.

### **Polazne jednačine i usvojene pretpostavke**

U praksi nam je potrebna velika količina energije, vremena i novca da sprovedemo FMEA analizu jednog kompleksnog sistema. Zbog toga se veliki napori ulažu u pronalaženje modifikovanih, ubrzanih načina za implementaciju osnovnih ciljeva ove metode, vodeći pri tome računa da ne izgubimo smisao i koncept same analize otkaza. To je bio i najvažniji zadatak ovog rada.

Jedan od načina efikasnije primene ove metode je modifikacija FMEA procesa, određivanjem uticaja i frekvencije pojavljivanja svakog otkaza /4,5/. Rezultati ovih istraživanja su dali određene rezultate, ali je krajnji zaključak bio da se, svakako, sa istraživanjima mora nastaviti, kako bi se primenjeni model na kvalitetniji način razvio i implementirao. Uticaj svakog otkaza može da se kvantifikuje različitim mernim jedinicama (ovde su korišćene novčane jedinice). Uzimajući u obzir prethodno pomenuta

razmatranja, kao i /6,7/, formiran je nov model za analizu troškova otkaza, koji na mnogo precizniji način uzima u obzir određene faktore koji ranije nisu razmatrani, i koji nam pruža jedan kvalitativno i kvantitativno sasvim nov izlaz, u odnosu na FMEA analizu. Rezultati ove analize su dati u poglavlju 2, pri čemu su za izračunavanje određenih vrednosti korišćene sledeće jednačine:

**Troškovi rada** = verovatnoća pojavljivanja otkaza \* cena rada \* broj operatera \* vreme neraspoloživosti [EUR/h] (1-1)

**Troškovi materijala** = verovatnoća pojavljivanja otkaza \* cena dela [EUR/h] (1-2)

**Troškovi neraspoloživosti** = intenzitet otkaza \* vreme neraspoloživosti \* troškovi neraspoloživosti po času [EUR/h] (1-3)

**Vreme neraspoloživosti** = vreme otkrivanja otkaza + vreme opravke + vreme kašnjenja [h] (1-4)

**Ukupni troškovi** = Troškovi neraspoloživosti + Troškovi rada + Troškovi materijala [EUR/h] (1-5)

Verovatnoća pojavljivanja otkaza u (1-1) i (1-2) je predstavljena kroz intenzitet otkaza. Ukupni troškovi otkaza imaju tri osnovne komponente: troškove rada, troškove materijala i troškove neraspoloživosti (usled nefunkcionisanja). Troškovi rada i troškovi neraspoloživosti mogu biti mereni u terminu vremena, i mogu se dalje podeliti u tri različite faze: vreme otkrivanja otkaza, vreme opravke i vreme kašnjenja. Ova vremena možemo definisati na sledeći način:

- **Vreme otkrivanja otkaza** – Vreme potrebno da se uoči i identifikuje određeni tip otkaza koji se desio, i dijagnostikuje tačna lokacija otkaza.
- **Vreme opravke** – Vreme potrebno za rešavanje problema. To je stvarno vreme opravke za svaku pojedinačnu komponentu.
- **Vreme kašnjenja** – Vreme koje se brzo nagomilava, a za neku „beznačajnu aktivnost“, kao što je to čekanje na odgovor, vreme podešavanja ili vreme slanja/otpremanja.
- **Vreme neraspoloživosti** – Vreme koje je potrebno za potpuni oporavak sistema i povratak u prvobitno stanje. Odnosi se jedino na otkaze koji se dešavaju tokom faze upotrebe.

Kao ključni kriterijum za određivanje prioriteta određenim oblicima otkaza, uzimaju se, uglavnom, troškovi neraspoloživosti. Troškovi neraspoloživosti se mogu detaljnije razložiti, i to će biti urađeno kod primene FMERA metode, na konkretnim primerima, u poglavlju 2. Pri tome se vodilo računa o svim elementima koji

su naglašeni kao bitni prilikom određivanja troškova životnog ciklusa sistema.

Poređenje različitih strategija koje dovode do smanjenja troškova neraspoloživosti, ali i svih drugih izvora troškova, može da se bazira na minimum 5 različitih ekonomskih kriterijuma:

A) *Minimalne investicije* - minimalno ulaganje na startu, bez promene strategije: ovo rešenje je odgovarajuće za kompanije koje su u finansijskim problemima u smislu investiranja, ili za one koje mogu biti zatvorene u nekom skorijem periodu;

B) *Minimalno vreme povraćaja kapitala* - misli se samo na kapital uloženi u smanjenje troškova neraspoloživosti; ovo rešenje je odgovarajuće za kompanije koje nemaju veliki obrtni kapital;

C) *Minimalni godišnji rizik* - podrazumeva rizik koji postoji usled određenog oblika otkaza: zanemarujemo najmanje rizične događaje, bilo po pitanju ekonomskih posledica, bilo po pitanju osiguranja ili bezbednosti (npr., ovde se može koristiti Pareto princip 80/20);

D) *Minimalni troškovi događaja (oblika otkaza)* - ovo rešenje zahteva najveća ulaganja, ali eliminiše često veoma visoke troškove neraspoloživosti;

E) *Najbolja neto sadašnja vrednost* - izračunava se *Net Present Value (NPV)* za svaku opciju; ovo rešenje veoma značajno zavisi od usvojenih polaznih parametara: kamate, inflacije, ...

Prilikom sprovođenja analize u Poglavlju 2 korišćena je opcija pod D), jer je ona dugoročno najbolje rešenje za kompleksne i skupe sisteme, kao što su tramvaji. Svaka od strategija ima svoje prednosti, zavisno od trenutne situacije i okruženja u kome se koristi. U našim uslovima, strategija pod A) je najčešće korišćena, naročito kada je reč o tramvajskom voznom parku, jer, uglavnom, raspoloživi budžet nije dozvoljavao primenu neke druge strategije.

### **Neizvesnosti i rizici u stvaranju modela za proračun**

Troškovi životnog ciklusa su, u osnovi, kvantitativna mera, koja predstavlja ocenu troškova nabavke, vlasništva i povlačenja proizvoda tokom njegovog čitavog životnog ciklusa. Poverenje u rezultate analize troškova životnog ciklusa zavisi od raspoloživosti i upotrebljivosti relevantnih informacija, pretpostavki napravljenih u LCC modelu, kao i ulaznih podataka korišćenih u analizi.

Faktori, kao što su nedostatak informacija na početku projekta, uvođenje novih tehnologija ili novih proizvoda, korišćenje optimističkih procena (da bi opravdali projekat), korišćenje neostvarivih planova rada, produžavanje istraživanja i razvoja projekta sa nepredvidivim rezultatima i slično, značajno doprinose neizvesnosti i riziku. Elementi, kao što su predviđena stopa inflacije, troškovi rada i materijala, koji su procenjeni za veoma dug period vremena, takođe mogu uzrokovati priličnu neizvesnost u rezultatima analize. Stoga, mogu biti izvučeni pogrešni zaključci i napravljene iste takve odluke, zbog korišćenja neispravnih modela, podataka, ili izostavljanja nekih važnih komponenti troškova. O svemu ovome se, itekako, mora voditi računa, naročito kod sistema kao što su tramvaji, gde smo prinuđeni da usvajamo brojne pretpostavke na početku bilo kakvih proračuna.

Neizvesnost i rizik su nadalje složeni i zbog činjenice da mnogi važni faktori, koji su relevantni za odlučivanje, ne mogu biti kvantifikovani preko troškova. Vrednosne ocene, koje su bazirane na iskustvima, treba da budu korišćene za proračun takvih faktora. Takve vrednosne ocene su u osnovi kvalitativne. U praksi, donošenja odluka zasnovanih na troškovima životnog ciklusa proizvoda često uključuje kombinaciju kvantitativnih i kvalitativnih razmatranja. Kvantitativni rezultati obezbeđuju osnovne reference, dok kvalitativne procene obezbeđuju dobru osnovu za podršku preporukama i odlukama u budućnosti. Takođe, evidentno je da prilikom svake pojedinačne analize troškova nekog sistema moramo izvršiti potpunu strukturnu analizu tog sistema, pa tek onda pristupiti modeliranju troškova, pri čemu teško da možemo koristiti u potpunosti neko prethodno iskustvo. Da bi smanjili rizik koji je uključen u kvantitativne procene, treba sprovesti analizu osetljivosti, sa opsegom potencijalnih vrednosti koji razmatra primarno parametre sa najvećim doprinosom troškovima. Rezultate ovih analiza treba detaljno sagledati i odrediti mogući opseg variranja rezultata troškova životnog ciklusa. Stepem verifikacije analize treba da odgovara ozbiljnosti uticaja rezultata analize, kao i vrednosti odluka koje se na osnovu iste donose.

Bilo koja odluka doneta u vezi konstrukcije proizvoda i proizvodnje može imati uticaj na njegove performanse, bezbednost, pouzdanost, pogodnost održavanja, logističku podršku i, konačno, njegove troškove nabavke, vlasništva i povlačenja. Postoje mnogi faktori koji su izvan

kontrole projekatana, a koji mogu uvesti neizvesnost, sa značajnim ekonomskim posledicama. Ovo se može odnositi na sledeće:

- privredne i zakonske relacije između vlasnika i drugih organizacija;
- ekonomske okolnosti u kojima posluje organizacija, na primer promena kursa novca;
- političke okolnosti, uključujući zakonske promene, i slične faktore;
- tehnološka i tehnička pitanja, kao što su bezbednost i uticaj na okolinu;
- prirodne pojave, ljudsko ponašanje, i sl.;
- neraspoloživost zbog otkaza sistema;
- nekorišćenje najnovijih raspoloživih podataka.

Već je naglašeno da kada pojedinačno posmatramo elemente troškova životnog ciklusa, posebno su teški za procenu posledični troškovi, koji su vrlo često od 2 do 20 puta veći od svih drugih troškova zajedno /8/. Takođe, treba imati u vidu i da su troškovi nabavke, kod većine tehničkih sistema, samo mali deo ukupnih troškova. Na osnovu svega prethodnog, a umesto zaključka prethodnih razmatranja, možemo izneti sledeću definiciju /8/: „Analiza troškova životnog ciklusa pomaže inženjerima da razmišljaju kao ekonomisti, a deluju kao inženjeri, prilikom donošenja ispravnih odluka, u cilju postizanja najnižih dugoročnih troškova vlasništva, kako bi obezbedili što veću dobit za deoničare“.

### **PRIMENA FMERA METODE U Analizi OTKAZA SKLOPOVA, PODSKLOPOVA I ELEMENATA TRAMVAJA**

#### **Ulazni parametri za analizu**

Pre jedne kompletne, ali i dugoročne obnove tramvajskog voznog parka, sagledajmo šta možemo efikasno uraditi u kratkom vremenskom periodu, i time podići pouzdanost i raspoloživost tramvajskog voznog parka. Podaci o pouzdanosti postojećeg voznog parka prikazani su u Tabeli 1.

Za potrebe izrade ovog rada bilo je neophodno prikupiti relevantne podatke. Na osnovu obimne dokumentacije /1/:

- Katalog rezervnih delova tramvaja KT-4 YUB;
- Uputstvo za rukovanje i održavanje tramvaja KT-4 YUB;
- Baza podataka GSP-a, sa podacima o kompletnom inventaru svih vozila;

| Godina   | Prosečan broj tramvaja u saobraćaju |       | Ukupan broj dana u saobraćaju |        | Ukupno pređeno km | Ukupan broj otkaza | Broj otkaza na 100.000 km | Raspoloživost |
|--|-------------------------------------|-------|-------------------------------|--------|-------------------|--------------------|---------------------------|---------------|
|  | 1                                   | 2     | 3                             | 4      |                   |                    |                           |               |
| <b>Novi tramvaji KT-4M YUB (20 vozila):</b>          |                                     |       |                               |        |                   |                    |                           |               |
| 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          |
| <b>Modernizovani tramvaji KT-4 YUBM (30 vozila):</b> |                                     |       |                               |        |                   |                    |                           |               |
| 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          |
| <b>Remontovani tramvaji KT-4 YUB (35 vozila):</b>    |                                     |       |                               |        |                   |                    |                           |               |
| 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          |
| <b>Neremontovani tramvaji KT-4 YUB (109 vozila):</b> |                                     |       |                               |        |                   |                    |                           |               |
| 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          |
| <b>Tramvaji DÜWAG (27 vozila):</b>                   |                                     |       |                               |        |                   |                    |                           |               |
| 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 1. Pouzdanost i raspoloživost tramvajskog voznog parka GSP-a*

- Specifikacija pogona Centrala sa informacijama o postojećim ugovorima, kao i o dosadašnjim isporucima određene robe;
- Nerealizovani zahtevi pogona Centrala;
- Tehnički opis generalne opravke i modernizacije tramvaja KT-4 YUBM;
- Specifikacija tzv. „osnovnog remonta“;

uočeni su sledeći nedostaci i nedoslednosti, veoma važni za pravilno funkcionisanje tramvajskog saobraćaja /1/:

- većina sklopova i podsklopova nije razrađena do detalja, na pojedinim crtežima nedostaju određeni delovi i sklopovi koji su veoma bitni sa aspekta bezbednosti;
- kod velikog broja delova i sklopova nije data tehnologija izrade, kao ni oznaka materijala koji se koristi prilikom izrade dela;
- kataloški brojevi, koji su dati u Katalozima rezervnih delova, ne mogu se identifikovati u bazi podataka o otkazima tramvaja, koja se vodi u GSP-u;
- terminologija koja se koristi u pomenutim bazama GSP-a delimično se razlikuje u odnosu na termine date u Katalozima rezervnih delova, kao i u odnosu na terminologiju koja se koristi prilikom raspisivanja tendera vezanih za nabavku rezervnih delova; nazivi delova koji su dati u Katalozima nisu na adekvatan način prevedeni sa češkog jezika;
- baza podataka o otkazima koja se vodi u GSP-u registruje samo otkaze zbog kojih je tramvaj povučen iz saobraćaja - ovo je veoma važan nedostatak; u praksi je veoma čest slučaj da ne dolazi do potpunog otkaza dela ili sklopa, već samo do opadanja nivoa njegovih performansi – ovo ne bi bio veliki problem da se ne radi o delovima koji se sa aspekta bezbednosti i pouzdanosti mogu smatrati vitalnim;
- otkazi nekih veoma važnih delova tramvaja (npr. točak) se u bazi podataka uopšte ne

vode, jer se oni i ne tretiraju kao klasični otkazi;

- FMERA metoda je idealna za primenu u ovakvim situacijama, zato što omogućava rangiranje delova i sklopova tramvaja u odnosu na posledice njihovih otkaza, bez obzira na verovatnoću njihovog pojavljivanja; drugim rečima, mogu se analizirati svi delovi i sklopovi čiji se otkazi sa aspekta bezbednosti i pouzdanosti mogu smatrati veoma rizičnim i katastrofalnim, bez obzira na eventualnu malu verovatnoću njihovog pojavljivanja;
- ovakva zatečena situacija i nije neočekivana s obzirom da je tramvaj vozilo koje se proizvodi u veoma ograničenoj seriji; važno je naglasiti da je nemoguće neistaći napore koje GSP, uprkos navedenim problemima, ulaže u ostvarivanje optimalnog funkcionisanja tramvajskog saobraćaja u Beogradu; iako Grad izdvaja redovne dotacije za sistem javnog prevoza, budžetsko ograničenje, kao i nedovoljno definisana strategija održavanja i modernizacije, kako tramvaja tako i pruga, i naročito poslovanje u uslovima dugogodišnjih sankcija, nezaobilazan su uzročnik ovakvog stanja, pošto je to podrazumevalo rad bez nekih velikih alternativa; nabavka originalnih delova je bila nemoguća, tako da je GSP bio primoran da se okrene domaćoj privredi koja je, sa druge strane, pokušavala da u kratkom vremenskom periodu i u lošim uslovima osvoji nove tehnologije.

### **Analiza otkaza sklopova i podsklopova tramvaja**

Uzimajući u obzir prethodna razmatranja, kao i ona u /7/, formiran je jedan nov model za analizu rizika - troškova otkaza (samim tim i analizu otkaza), a koji na mnogo precizniji način uzima u obzir određene faktore koji ranije nisu razmatrani, i koji nam pruža jedan kvalitativno sasvim nov izlaz u odnosu na FMEA analizu. Rezultati primene ove nove metode u cilju analize otkaza sklopova i podsklopova tramvaja su dati u Tabeli 2 (na kraju rada), i to samo za tramvaje ČKD KT-4 YUB, jer su tramvaji ovog tipa glavni uzročnik veoma visoke neraspoloživosti tramvajskog voznog parka GSP Beograd. Pri tome su za izračunavanje određenih vrednosti u ovoj tabeli korišćene jednačine (1-1) - (1-5).

Tabela 2 ima dva dela: 2a i 2b. U Tabeli 2a su dati ulazni podaci za FMERA analizu (intenzitet otkaza; vremena otkrivanja otkaza, opravke, kašnjenja i neraspoloživosti; potreban broj

radnika; troškovi rezervnih delova), dok su u Tabeli 2b, dati podaci koji se dobijaju proračunom, na osnovu gore pomenutih jednačina (troškovi rada, materijala i neraspoloživosti, kao i ukupni troškovi). Ispod ovih tabela su date oznake za skraćenice, koje su korišćene u njima.

Troškovi neraspoloživosti su, kao što je već rečeno, troškovi koji se nagomilavaju kada otkaz inhibira glavnu funkciju sistema i sprečava stvaranje vrednosti. Uzevši u obzir situaciju koja vlada na našem tržištu, kao i podatke koji se mogu dobiti od institucija koje se bave problemima saobraćaja /7/, prilikom izračunavanja rezultata u Tabeli 2, korišćena je vrednost od 6€/času (za direktne troškove neraspoloživosti), kao i vrednosti od 30€/času i 50€/času (direktni troškovi neraspoloživosti + troškovi amortizacije vozila + troškovi kašnjenja putnika). Kada se ovde govori o troškovima neraspoloživosti po času, misli se na neraspoloživost koja je posledica preduzimanja korektivnih mera. Neraspoloživost sistema, koja je posledica preventivnih aktivnosti, je unapred planirana, i može se smatrati da ona nije generator troškova.

Nadalje, u vrednosti troškova neraspoloživosti po času od 30€ i 50€, pored već pomenutih kategorija troškova, uključeni su i troškovi garancija i odgovornosti, troškovi zbog obezbeđenja alternativnih usluga, troškovi oporavka od prethodno pomenutih posledica, kao i troškovi negativnih uticaja na imidž kompanije (u meri u kojoj je to moguće). U vezi poslednjeg, činjenica je da tramvajski sistem GSP Beograd ima monopol na tržištu, pa time građani u okviru tog vida saobraćaja nemaju alternativu, ali negativan uticaj lošeg odvijanja saobraćaja se manifestuje na najmanje dva načina: 1) građani će izabrati drugi vid transporta; 2) loše funkcionisanje tramvajskog saobraćaja ima i određenu negativnu političku konotaciju.

S obzirom da je prosečna brzina tramvaja radnim danima 13.55 km/h, a vikendom 14.1 km/h /7/, kao i da tramvaji KT-4 YUB prosečno godišnje prelaze oko 55.000 km (što znači da prosečno rade oko 4050 h), troškovi neraspoloživosti od 30€/času su minimalni troškovi neraspoloživosti, kada se uzme u obzir i amortizacija vozila. Pri ovome je pretpostavljeno da vozila moraju da rade najmanje 20 godina. Takođe, prilikom ovog proračuna je korišćen podatak da je prosečna cena novog tramvaja oko 60.000€/metru ili oko 2.200.000€/vozilu /7/. Takođe, upotrebljen je

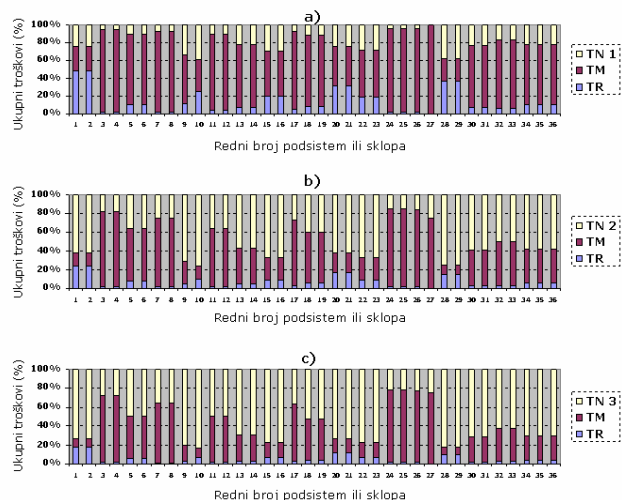
podatak da je vrednost prepravki koje se moraju uraditi prilikom modernizacije tramvaja oko 410.000€/vozilu /7/, s tim što je predviđeno da takva vozila obavljaju svoju funkciju još najmanje 10 godina, pod uslovom sprovođenja ciklusa održavanja u preporučenim intervalima.

Kada se uzmu u obzir i troškovi kašnjenja putnika /1,7/, vrednost troškova neraspoloživosti znatno raste. Zbog toga je formirana i treća vrednost za troškove neraspoloživosti - 50€/času, u koju je uključena ona najnepovoljnija varijanta za vlasnike tramvajskog voznog parka: ne rade nova vozila, a moraju se plaćati i penali zbog kašnjenja putnika. Ipak, ova varijanta sa troškovima neraspoloživosti od 50€/času nije mnogo merodavna za odlučivanje u našim uslovima, jer bi nova vozila svakako imala drastično manji broj otkaza u odnosu na postojeća, ali, takođe, ne bi bila pošteđena isključenja, koja su izazvana »spoljnim« faktorima (pruge, napajanje, putnička vozila na šinama, ...). Vrednost troškova neraspoloživosti od 30€/času je, možemo reći, prava mera za proračun u uslovima stanja i funkcionisanja tramvajskog saobraćaja u Beogradu - uzimamo u obzir i amortizaciju vozila, pod pretpostavkom da će se sprovesti modernizacija, kao i troškove kašnjenja putnika, u određenoj meri. Pri formiranju troškova neraspoloživosti u obzir su uzeti i troškovi održavanja tramvaja /1,7/.

Zbog pojednostavljenja analize u jednačini (1-1), usvojeno je da je cena rada jednaka za sve aktivnosti koje su definisane u jednačini (1-4), i da ista iznosi 2 €/času. Ova vrednost rada je, takođe, minimalna vrednost, i naravno zavisi od mnogih drugih faktora koji uključuju na prvom mestu ekonomske pokazatelje našeg društva, zatim aspekt jeftine radne snage, politiku gradskih vlasti prema GSP-u, i sl. Takođe je važno primetiti da su u radu, uglavnom, korišćene minimalne vrednosti određenih troškova, tako da je na taj način izbegnuta mogućnost za lošu procenu važnih parametara, a time i mogućnost donošenja loših ili manje loših odluka. Troškovi rezervnih delova u Tabeli 2a su usvojeni kao zbir prosečnih troškova delova, koji čine određeni podsklop ili sistem (to nisu troškovi kompletnog sistema, već samo prosečni troškovi delova sistema, koji su otkazali). Ovo su samo aproksimativne vrednosti troškova, usvojene, kao što je to već rečeno, na osnovu ekspertske procene, ali i obimne dokumentacije GSP Beograd, o nabavci rezervnih delova /1/. Veoma je bitno naglasiti i to da su podaci u Tabeli 2a (uzrok otkaza, vreme otkrivanja otkaza, vreme opravke, vreme

kašnjenja, potreban broj radnika, troškovi rezervnih delova) dobijeni na osnovu ekspertske ocene, koja je obuhvatila kako stručnjake iz GSP-a, tako i stručnjake iz firmi koje se bave proizvodnjom rezervnih delova. Podaci su prikupljeni pomoću Upitnika /1/. To je dokument koji je razvijen za potrebe sprovođenja FMERA analize. Uz sam formular - tabelu Upitnika, date su i kratke napomene za popunjavanje istog. Cilj ovih napomena nije bio da sugerišu određene odgovore, već, suprotno, da pomognu ekspertima da daju što kvalitetnije i jasnije odgovore, koji bi se na pravi način mogli iskoristiti za FMERA analizu. Pravljenje jedne ovako kompleksne analize, u svakom slučaju, ne bi bilo moguće bez pomoći svih ovih eksperata. Činjenica je da zbog prirode sistema koji je analiziran, mali broj ljudi poznaje sam sistem, kao i njegove nedostatke, te je stoga ovakav način prikupljanja podataka i jedino moguće rešenje.

Na Slici 2 (a, b, c) prikazan je odnos tri izlazne vrste troškova, u funkciji od podsistema, uređaja i opreme, a uzimajući u obzir vrednosti troškova neraspoloživosti po času od 6€, 30€ i 50€, respektivno. Evidentno je da su troškovi neraspoloživosti, uglavnom, najveći segment ukupnih troškova, i da na osnovu njih treba graditi strategiju donošenja odluka o modernizaciji, održavanju i upotrebi tramvaja. To je posebno evidentno na zadnja dva dijagrama, gde troškovi neraspoloživosti čine, uglavnom, više od 50% ukupnih troškova. Takođe, ne treba zaboraviti i činjenicu da su stvarni troškovi neraspoloživosti još i veći, što je već elaborirano u ovom poglavlju, tako da gornja tvrdnja o tome na čemu treba graditi strategiju donošenja odluka, dobija još više na značaju.



Slika 2. Procentualni odnos tri vrste troškova (neraspoloživosti, materijala, rada), za podsisteme ili sklopove, za različite vrednosti troškova neraspoloživosti po času (6€, 30€, 50€)

Tabela 2a

|    | Podsistem, sklop, uređaj | Uzrok otkaza                                   | Broj otkaza/100000 km | Intenzitet otkaza * 10 <sup>-4</sup> (h <sup>-1</sup> ) | VOO (h) | VO (h) | VK (h) | VN (h) | Potreban broj radnika | Troškovi rezervnih delova (EUR) |
|----|--------------------------|--|-----------------------|---|---------|--------|--------|--------|-----------------------|---------------------------------|
| 1  | Obrtna postolja          | <i>Nedostatak redovnog održavanja</i>          | 2,09                  | 2,87  | 1       | 50     | 10     | 61     | 6                     | 400                             |
| 2  |                          | <i>Loš kvalitet točkova</i>                    | 4,88                  | 6,69  | 1       | 50     | 10     | 61     | 6                     | 400                             |
| 3  | Kardanska kočnica        | <i>Loše podešavanje</i>                        | 36,77                 | 50,41   | 0,50    | 1      | 0      | 1,50   | 2                     | 200                             |
| 4  |                          | <i>Nedostatak originalnih rezervnih delova</i> | 15,76                 | 21,61   | 0,50    | 1      | 0      | 1,50   | 2                     | 200                             |
| 5  | Šinska kočnica           | <i>Udari predmeta blizu šina</i>               | 0,89                  | 1,22  | 0,25    | 2      | 2      | 4,25   | 3                     | 200                             |
| 6  |                          | <i>Loša pruga</i>                              | 3,58                  | 4,91  | 0,25    | 2      | 2      | 4,25   | 3                     | 200                             |
| 7  | Vrata                    | <i>Loše podešavanje</i>                        | 40,51                 | 55,54   | 0,25    | 1      | 0,50   | 1,75   | 1                     | 150                             |
| 8  |                          | <i>Dotrajalog delova</i>                       | 40,51                 | 55,54   | 0,25    | 1      | 0,50   | 1,75   | 1                     | 150                             |
| 9  | Osvetljenje              | <i>Dotrajalog elektronskih komponenti</i>      | 4,57                  | 6,27  | 0       | 1      | 4      | 5      | 1                     | 50                              |
| 10 | Grejanje                 | <i>Dotrajalog delova</i>                       | 11,40                 | 15,63   | 1       | 4      | 4      | 9      | 2                     | 50                              |
| 11 | Oprema kabine vozača     | <i>Nedostatak dovoljnog broja delova</i>       | 5,85                  | 8,02  | 0       | 2      | 0      | 2      | 1                     | 100                             |
| 12 |                          | <i>Dotrajalog</i>                              | 5,85                  | 8,02  | 0       | 2      | 0      | 2      | 1                     | 100                             |
| 13 | Peskare                  | <i>Zastarelost konstrukcije</i>                | 1,15                  | 1,58  | 0,50    | 2      | 0      | 2,50   | 1                     | 50                              |
| 14 |                          | <i>Dotrajalog</i>                              | 1,15                  | 1,58  | 0,50    | 2      | 0      | 2,50   | 1                     | 50                              |
| 15 | Platforma                | <i>Dotrajalog</i>                              | 0,90                  | 1,23  | 0       | 14     | 0      | 14     | 2                     | 150                             |
| 16 |                          | <i>Neophodnost generalnog remonta</i>          | 0,90                  | 1,23  | 0       | 14     | 0      | 14     | 2                     | 150                             |
| 17 | Pantograf                | <i>Loše stanje tramvajske mreže i pruge</i>    | 13,41                 | 18,39   | 0       | 2      | 0,50   | 2,50   | 2                     | 200                             |
| 18 | Kvačilo (kupla)          | <i>Dotrajalog sklopa</i>                       | 1,06                  | 1,45  | 1       | 4      | 1      | 6      | 2                     | 250                             |
| 19 |                          | <i>Neophodnost generalnog remonta</i>          | 1,06                  | 1,45  | 1       | 4      | 1      | 6      | 2                     | 250                             |
| 20 | Regulacija vučnog pogona | <i>Dotrajalog sklopa</i>                       | 44,58                 | 61,12   | 1       | 4      | 4      | 9      | 4                     | 100                             |
| 21 |                          | <i>Neophodnost generalnog remonta</i>          | 44,58                 | 61,12   | 1       | 4      | 4      | 9      | 4                     | 100                             |

|    | Podsistem, sklop, uređaj                             | Uzrok otkaza                                   | Broj otkaza/100000 km | Intenzitet otkaza * 10 <sup>-4</sup> (h <sup>-1</sup> ) | VOO (h) | VO (h) | VK (h) | VN (h) | Potreban broj radnika | Troškovi rezervnih delova (EUR) |
|----|--|--|-----------------------|---|---------|--------|--------|--------|-----------------------|---------------------------------|
| 22 | Električna kočnica, prekostrujna zaštita i „spoting“ | <i>Dotrajalog većeg broja sklopova</i>         | 81,34                 | 111,52  | 2       | 2      | 0,50   | 4,50   | 2                     | 50                              |
| 23 |  | <i>Neophodnost generalnog remonta sklopova</i> | 81,34                 | 111,52  | 2       | 2      | 0,50   | 4,50   | 2                     | 50                              |
| 24 | Motorgenektor  | <i>Dotrajalog sklopa</i>                       | 1,93                  | 2,65  | 0,50    | 2      | 0,25   | 2,75   | 2                     | 500                             |
| 25 |  | <i>Neophodnost generalnog remonta</i>          | 1,93                  | 2,65  | 0,50    | 2      | 0,25   | 2,75   | 2                     | 500                             |
| 26 | Motorventilator                                      | <i>Loš kvalitet izrade i opravke</i>           | 1,62                  | 2,22  | 0,25    | 1      | 0,25   | 1,5    | 2                     | 250                             |
| 27 | Dijagnostički sistem                                 | <i>Velika starost voltmetra i ampermetra</i>   | 0,02                  | 0,03  | 0       | 0,50   | 0,50   | 1      | 1                     | 100                             |
| 28 | Električne instalacije                               | <i>Dotrajalog</i>                              | 14,22                 | 19,50   | 4       | 7      | 0,50   | 11,50  | 3                     | 50                              |
| 29 |  | <i>Izostanak generalne opravke</i>             | 14,22                 | 19,50   | 4       | 7      | 0,50   | 11,50  | 3                     | 50                              |
| 30 | Akumulatorska baterija                               | <i>Dotrajalog</i>                              | 0,70                  | 0,96  | 0,25    | 0,50   | 2      | 2,75   | 1                     | 50                              |
| 31 |  | <i>Nepravilna tehnologija održavanja</i>       | 0,70                  | 0,96  | 0,25    | 0,50   | 2      | 2,75   | 1                     | 50                              |
| 32 | Ostalo (elektro-radovi)                              | <i>Loša izrada</i>                             | 0,56                  | 0,77  | 0,25    | 0,50   | 1      | 1,75   | 1                     | 50                              |
| 33 |  | <i>Potreban generalni remont</i>               | 0,56                  | 0,77  | 0,25    | 0,50   | 1      | 1,75   | 1                     | 50                              |
| 34 | Ostalo (bravarski radovi)                            | <i>Redovno održavanje</i>                      | 2,22                  | 3,04  | 0,25    | 2      | 0,50   | 2,75   | 1,5                   | 50                              |
| 35 |  | <i>Loš kvalitet delova</i>                     | 2,22                  | 3,04  | 0,25    | 2      | 0,50   | 2,75   | 1,5                   | 50                              |
| 36 |  | <i>Neophodna generalna opravka</i>             | 2,22                  | 3,04  | 0,25    | 2      | 0,50   | 2,75   | 1,5                   | 50                              |

**Legenda:**

VOO - vreme otkrivanja otkaza (u časovima)

VO - vreme opravke (u časovima)

VK - vreme kašnjenja (u časovima)

VN - vreme neraspoloživosti (u časovima); VN = VOO + VO + VK



Tabela 2b

|    | Podsystem, sklop, uređaj                             | Uzrok otkaza                                   | TR (EUR/h) | TM (EUR/h) | TN 1 (EUR/h) | TN 2 (EUR/h) | TN 3 (EUR/h) | UT 1 (EUR/h) | UT 2 (EUR/h) | UT 3 (EUR/h) |
|----|--|--|------------|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 1  | Obrtna postolja                                      | <i>Nedostatak redovnog održavanja</i>          | 0,2097     | 0,1146     | 0,1049       | 0,5244       | 0,8754       | 0,4299       | 0,8501       | 1,2002       |
| 2  |  | <i>Loš kvalitet točkova</i>                    | 0,4897     | 0,2676     | 0,2449       | 1,2244       | 2,0405       | 1,0022       | 1,9816       | 2,7978       |
| 3  | Kardanska kočnica                                    | <i>Loše podešavanje</i>                        | 0,0302     | 1,0082     | 0,0454       | 0,2269       | 0,3781       | 1,0838       | 1,2653       | 1,4165       |
| 4  |  | <i>Nedostatak originalnih rezervnih delova</i> | 0,0130     | 0,4321     | 0,0194       | 0,0972       | 0,1621       | 0,4646       | 0,5424       | 0,6072       |
| 5  | Šinska kočnica                                       | <i>Udari predmeta blizu šina</i>               | 0,0031     | 0,0244     | 0,0031       | 0,0156       | 0,0259       | 0,0306       | 0,0431       | 0,0534       |
| 6  |  | <i>Loša pruga</i>                              | 0,0125     | 0,0982     | 0,0125       | 0,0626       | 0,1043       | 0,1232       | 0,1733       | 0,2151       |
| 7  | Vrata  | <i>Loše podešavanje</i>                        | 0,0194     | 0,8331     | 0,0583       | 0,2916       | 0,486        | 0,9109       | 1,1441       | 1,3385       |
| 8  |  | <i>Dotrajalog delova</i>                       | 0,0194     | 0,8331     | 0,0583       | 0,2916       | 0,486        | 0,9108       | 1,1441       | 1,3385       |
| 9  | Osvetljenje  | <i>Dotrajalog elektronskih komponenti</i>      | 0,0063     | 0,0313     | 0,0188       | 0,0940       | 0,1568       | 0,0564       | 0,1316       | 0,1944       |
| 10 | Grejanje   | <i>Dotrajalog delova</i>                       | 0,0563     | 0,0781     | 0,0844       | 0,4220       | 0,7034       | 0,2188       | 0,5564       | 0,8378       |
| 11 | Oprema kabine vozača                                 | <i>Nedostatak dovoljnog broja delova</i>       | 0,0032     | 0,0802     | 0,0096       | 0,0481       | 0,0802       | 0,0930       | 0,1315       | 0,1636       |
| 12 |  | <i>Dotrajalog</i>                              | 0,0032     | 0,0802     | 0,0096       | 0,0481       | 0,0802       | 0,0930       | 0,1315       | 0,1636       |
| 13 | Peskare  | <i>Zastarelost konstrukcije</i>                | 0,0008     | 0,0079     | 0,0024       | 0,0118       | 0,0198       | 0,0111       | 0,0205       | 0,0285       |
| 14 |  | <i>Dotrajalog</i>                              | 0,0008     | 0,0079     | 0,0024       | 0,0118       | 0,0198       | 0,0111       | 0,0205       | 0,0285       |
| 15 | Platforma  | <i>Dotrajalog</i>                              | 0,0069     | 0,0185     | 0,0104       | 0,0518       | 0,0861       | 0,0357       | 0,0772       | 0,1115       |
| 16 |  | <i>Neophodnost generalnog remonta</i>          | 0,0069     | 0,0185     | 0,0104       | 0,0518       | 0,0861       | 0,0357       | 0,0772       | 0,1115       |
| 17 | Pantograf  | <i>Loše stanje tramvajske mreže i pruge</i>    | 0,0184     | 0,3677     | 0,0276       | 0,1379       | 0,2299       | 0,4137       | 0,5240       | 0,6160       |
| 18 | Kvačilo (kupla)                                      | <i>Dotrajalog sklopa</i>                       | 0,0035     | 0,0363     | 0,0052       | 0,0262       | 0,0435       | 0,045        | 0,066        | 0,0833       |
| 19 |  | <i>Neophodnost generalnog remonta</i>          | 0,0035     | 0,0363     | 0,0052       | 0,0262       | 0,0435       | 0,045        | 0,066        | 0,0833       |
| 20 | Regulacija vučnog pogona                             | <i>Dotrajalog sklopa</i>                       | 0,4401     | 0,6112     | 0,3300       | 1,6502       | 2,7504       | 1,3813       | 2,7015       | 3,8017       |
| 21 |  | <i>Neophodnost generalnog remonta</i>          | 0,4401     | 0,6112     | 0,3300       | 1,6502       | 2,7504       | 1,3813       | 2,7015       | 3,8017       |
| 22 | Električna kočnica, prekostrujna zaštita i „spoting“ | <i>Dotrajalog većeg broja sklopova</i>         | 0,2007     | 0,5576     | 0,3011       | 1,5055       | 2,5092       | 1,0594       | 2,2638       | 3,2675       |
| 23 |  | <i>Neophodnost generalnog remonta sklopova</i> | 0,2007     | 0,5576     | 0,3011       | 1,5055       | 2,5092       | 1,0594       | 2,2638       | 3,2675       |
| 24 | Motor generator                                      | <i>Dotrajalog sklopa</i>                       | 0,0029     | 0,1323     | 0,0044       | 0,0218       | 0,0364       | 0,1396       | 0,1570       | 0,1716       |
| 25 |  | <i>Neophodnost generalnog remonta</i>          | 0,0029     | 0,1323     | 0,0044       | 0,0218       | 0,0364       | 0,1396       | 0,1570       | 0,1716       |
| 26 | Motor ventilator                                     | <i>Loš kvalitet izrade i opravke</i>           | 0,0013     | 0,0555     | 0,0020       | 0,0100       | 0,0167       | 0,0588       | 0,0668       | 0,0735       |
| 27 | Dijagnostički sistem                                 | <i>Velika starost voltmetra i ampermetra</i>   | 0,0000     | 0,0003     | 0,0000       | 0,0001       | 0,0001       | 0,0003       | 0,0004       | 0,0004       |
| 28 | Električne instalacije                               | <i>Dotrajalog</i>                              | 0,1345     | 0,0975     | 0,1345       | 0,6726       | 1,1213       | 0,3665       | 0,9046       | 1,3533       |
| 29 |  | <i>Izostanak generalne opravke</i>             | 0,1345     | 0,0975     | 0,1345       | 0,6726       | 1,1213       | 0,3665       | 0,9046       | 1,3533       |
| 30 | Akumulatorska baterija                               | <i>Dotrajalog</i>                              | 0,0005     | 0,0048     | 0,0016       | 0,0079       | 0,0132       | 0,0069       | 0,0132       | 0,0185       |
| 31 |  | <i>Neppravilna tehnologija održavanja</i>      | 0,0005     | 0,0048     | 0,0016       | 0,0079       | 0,0132       | 0,0069       | 0,0132       | 0,0185       |
| 32 | Ostalo (elektro-radovi)                              | <i>Loša izrada</i>                             | 0,0003     | 0,0038     | 0,0008       | 0,0040       | 0,0067       | 0,0049       | 0,0081       | 0,0108       |
| 33 |  | <i>Potreban generalni remont</i>               | 0,0003     | 0,0038     | 0,0008       | 0,0040       | 0,0067       | 0,0049       | 0,0081       | 0,0108       |
| 34 | Ostalo (bravarski radovi)                            | <i>Redovno održavanje</i>                      | 0,0025     | 0,0152     | 0,0050       | 0,0251       | 0,0418       | 0,0227       | 0,0428       | 0,0595       |
| 35 |  | <i>Loš kvalitet delova</i>                     | 0,0025     | 0,0152     | 0,0050       | 0,0251       | 0,0418       | 0,0227       | 0,0428       | 0,0595       |
| 36 |  | <i>Neophodna generalna opravka</i>             | 0,0025     | 0,0152     | 0,0050       | 0,0251       | 0,0418       | 0,0227       | 0,0428       | 0,0595       |

**Legenda:**

- TR - troškovi rada (izračunati na osnovu jednačine (5-1), poglavlje 5.6.3)
- TM - troškovi materijala (izračunati na osnovu jednačine (5-2), poglavlje 5.6.3)
- TN 1 - troškovi neraspoloživosti (za vrednost troškova neraspoloživosti po času od 6€) - (izračunati na osnovu jednačine (5-3), poglavlje 5.6.3)
- TN 2 - troškovi neraspoloživosti (za vrednost troškova neraspoloživosti po času od 30€)
- TN 3 - troškovi neraspoloživosti (za vrednost troškova neraspoloživosti po času od 50€)
- UT 1 - ukupni troškovi (za vrednost troškova neraspoloživosti po času od 6€) - (izračunati na osnovu jednačine (5-5), poglavlje 5.6.3)
- UT 2 - ukupni troškovi (za vrednost troškova neraspoloživosti po času od 30€)
- UT 3 - ukupni troškovi (za vrednost troškova neraspoloživosti po času od 50€)

## ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Kod bilo kog projekta ove vrste važno je da on bude tako osmišljen i sproveden da investitoru, u najširem smislu značenja te reči, a u našem slučaju pre svih građanima Beograda, donese određenu korist. Ovde su to, pored direktnih materijalnih efekta, i unapređenje kvaliteta usluga u javnom prevozu u Beogradu. Za ove namene često se koristi postupak cost-benefit analize (CBA) /7/, koji se sastoji od izbora i definisanja varijanti mogućih rešenja i računanja troškova i koristi za svaku od njih. U ovom radu je odabran nešto drugačiji pristup, odnosno **primenjena je kombinacija standardne metode analize otkaza (FMEA), cost-benefit analize, analize rizika, analize troškove životnog ciklusa i višekriterijumske analize**. Potrebu za nešto drugačijim pristupom nametnulo je to što koristi koje bi građani Beograda mogli imati od poboljšanja tramvajskog prevoza mogu biti svima jasno vidljive, ali nisu uvek lako merljive novcem. Ova činjenica je postavila zadatak da se iznađu međusobne relacije nivoa usluga u tramvajskom prevozu i sredstava koje bi trebalo uložiti da bi se one i obezbedile. Odnosno da troškove investicija, eksploatacije i održavanja koji predstavljaju deo troškova životnog ciklusa, koji su izraženi u novcu uporede sa koristima koje bi se mogle ostvariti unapređenjem tramvajskog prevoza, a koje se sastoje u višem nivou komfora putnika, većoj bezbednosti i pouzdanosti putovanja, skraćivanju njegovog trajanja, manjim odstupanjima u redu vožnje, i dr.

Ciljevi FMERA metode su poboljšanja, u većoj ili manjoj meri, u odnosu na tradicionalnu FMEA, u sledećim segmentima: pravovremenost, detaljnost, doslednost, tačnost, fleksibilnost, jednostavnost, i što je najvažnije, ekspeditivnost u odlučivanju - donošenje odluka koje se zasnivaju na ekonomskim pokazateljima. Usporedna analiza rezultata primene FMERA i FMEA metode /1/ pokazala je, kada je reč o prioritetima našeg delovanja, potpunu opravdanost donošenja odluka na bazi ukupnih troškova, ili čak troškova neraspoloživost, kao i

sve kratkovidosti u pogledu donošenja odluka, ako iste donosimo samo na osnovu vrednosti RPN broja.

FMERA metoda pomaže inženjerima da razmišljaju kao ekonomisti, a deluju kao inženjeri, prilikom donošenja ispravnih odluka, u cilju postizanja najnižih dugoročnih troškova vlasništva nekog sistema, kao i smanjenja uticaja rizika od pojave i posledica otkaza.

## LITERATURA

- /1/ Popović V.: Prilog razvoju novih metoda analize otkaza, Doktorska disertacija, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, 2008.
- /2/ Standard IEC 60300-3-3: Dependability management – Part 3-3: Application guide – Life cycle costing, 2004.
- /3/ Standard IEC 62198: Project risk management - Application guidelines, 2001.
- /4/ Popović V., Vasić B., Mitić S.: Implementation of FMEA Method in Bus Superstructure Design Process, Conference "Computer-Simulation in Automotive Engineering", Grac, Austrija, 2003.
- /5/ Popović V., Vasić B., Mitić S.: Improvement of FMEA Method and Its Implementation into Vehicle Life Cycle, 2005 JSAE Annual Congress, Proceedings No. 67-05, Jokohama, Japan, 2005.
- /6/ Kmenta S., Ishii K.: Scenario-Based FMEA Using Expected Cost, Journal of Mechanical Design, November 2004, Vol. 126, 2004.
- /7/ Vasic B., et al: Study "Cost-benefit analysis of the tram rolling stock", Institute for Research and Design in Commerce & Industry and Faculty of Mechanical Engineering, Belgrade, 2005.
- /8/ [www.barringer1.com](http://www.barringer1.com)