

## ANALIZA POUZDANOSTI I RIZIKA OD OTKAZA POPRAVLJIVIH TEHNIČKIH SISTEMA

### RELIABILITY AND RISK ANALYSIS FROM FAILURE OF REPAIRABLE TECHNICAL SYSTEMS

**Mr.sc. Mehmed Hasanović, dipl.inž.maš.**  
**Rudnici mrkog uglja „Banović“ d.d.**  
**Armije BiH 52, Banovići**

**Dr.sc. Džemo Tufekčić, profesor emeritus**  
**CMS Tuzla**  
**Tuzla**

#### **REZIME**

*Sve veća složenost popravljivih tehničkih sistema kao i zahtjevi koji se po pitanju efikasnosti pred njih postavljaju, zahtijevaju multidisciplinarni pristup kako bi mogli odgovoriti funkciji cilja.*

*Uzimajući samo klasičnu analizu pouzdanosti kao kriterij za odlučivanje, postoji velika vjerovatnoća da posmatrani sistem neće imati isti ili sličan nivo značajnosti kao kod kriterija postavljenih u analizi rizika od otkaza.*

*Vjerovatnoća da postoji mogućnost da izabrani sistem može imati manji broj zastoja, manju dužinu trajanja zastoja i niže troškove životnog ciklusa ukazuje da klasična analiza ne treba biti jedini kriterij kod određivanja pouzdanosti.*

**Ključne riječi:** pouzdanost, rizik, otkaz, održavanje

#### **ABSTRACT**

*The increasing complexity of repairable technical systems and increasing requirements with regard to their efficiency, demand a multidisciplinary approach in order to respond to the function goal.*

*By taking only the classic reliability analysis as a decision criterion, there is a high probability that the chosen systems will not have the same or similar significance levels like the criteria defined in the downtime risk analysis.*

*The classic reliability analysis should be one of the criteria and not the only one, due to the fact that there is a possibility that the selected system will have a lower number of downtimes, a shorter duration of downtime and lower costs during its lifecycle.*

**Key words:** reliability, risk, downtime, maintenance

## **1. TEORIJSKA ISTRAŽIVANJA**

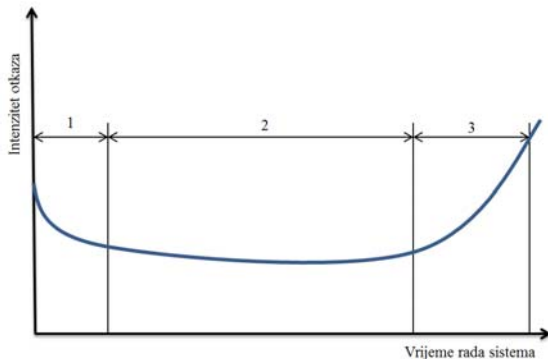
### **1.1. Eksploataciona pouzdanost**

Za pojam pouzdanosti veže se nekoliko različitih definicija. Sljedeća definicija bi trebala da daje najpotpunije objašnjenje šta je pouzdanost: „Pouzdanost je vjerovatnoća, na određenom

nivou povjerenja, da će sistem uspješno obaviti funkciju za koju je namijenjen, bez otkaza i unutar specificiranih granica performansi, uzimajući u obzir trajanje zadatka, kada se koristi na propisani način i u svrhu za koju je namijenjen pod specificiranim nivoima opterećenja“.

Pouzdanost je vjerovatnoća, što znači broj između 0 i 1 ili 0 i 100%.

U odnosu na vijek trajanja sistema, otkazi se u izolovanom slučaju mogu prikazati na tzv. „krivoj života“ koja je prikazana na slici 1. Na toj krivoj se razlikuju rani otkazi (period „dječijih bolesti“ sistema), slučajne tj. konstantne otkaze (koristan period rada sistema) i otkaze usljed istrošenosti (period starenja sistema). [2]



Gdje su:

- 1 – period „dječijih bolesti“ (rani otkazi)
- 2 – koristan period rada (slučajni, tj. konstantni otkazi)
- 3 – period starenja (otkazi usljed istrošenosti)

Slika 1. „Kriva života“ tehničkih sistema

## 1.2. Analiza rizika od otkaza

Rizik kao faktor u svim istraživanjima postaje nezaobilazan kod donošenja skoro svih značajnijih odluka postaje veoma značajan u posljednjih nekoliko godina. Sam koncept rizika dijeli se na kvalitativni i kvantitativni rizik. Prve opservacije dolaze od činjenice da ako postoji rizik od otkaza on je potencijalni izvor otkaza, oštećenja ili razaranja. Prisustvo rizika nije dovoljno da bi se definirale sve posljedice rizika. Kvalitativni pogled na rizik uključuje neku vrstu oštećenja, ili gubitaka koji mogu biti izazvani sa određenom vjerovatnoćom otkaza [4]:

$$\text{Rizik} = \text{oštećenje} + \text{neizvjesnost} \quad \dots (1)$$

Kvantitativna definicija rizika najčešće je predstavljena kao proizvod vjerovatnoće da će do otkaza doći i kvantitativno predstavljenih posljedica otkaza. Ako bi se sa  $x$  i  $p$  predstavila posljedica otkaza i vjerovatnoća da će do otkaza doći rizik bi se mogao predstaviti kao [4]:

$$\text{RIZIK} = x \cdot p \quad \dots (2)$$

Ono što je evidentno jeste da visok nivo rizika koji je planiran i odobren ima negativan uticaj na proizvodnju, opremu i ukupne proizvodne rezultate. [4]

Kod velike većine autora najčešće korištena jednačina rizika glasi:

$$\text{Rizik (NJ/god)} = \text{gubici usljed otkaza (NJ)} \times \text{frekvencija otkaza (1/god)} \quad \dots (3)$$

Gubici usljed otkaza predstavljaju ukupne gubitke usljed otkaza, direktne i indirektno. Ako se frekvencija otkaza računa na godišnjem nivou, a gubici predstavljaju u novčanoj valuti onda postojeća formula mjeri godišnji trošak rizika. To znači da se kvantifikacijom godišnjih

troškova za svaki podsistem omogućava jasna slika kod poređenja jednog rizika u odnosu na drugi i dopušta brzo određivanje prioriteta za smanjenje rizika. [4]

Ako se frekvencija otkaza predstavi kao proizvod broja mogućih otkaza i vjerovatnoće otkaza dobija se jednačina [4] :

$$\text{Rizik (NJ/god)} = \text{gubici usljed otkaza (KM)} \times [\text{broj mogućih otkaza (/god)} \times \text{vjerovatnoća otkaza}] \quad \dots (4)$$

Broj mogućih otkaza predstavlja broj slučajeva u jednoj godini kada je moguć otkaz. Vjerovatnoća otkaza predstavlja procentualnu vrijednost da li će se otkaz desiti. Jednačina ukupnog rizika je mnogo bitnija za istraživanja jer predstavlja vezu direktnog rizika od otkaza i vjerovatnoće da će se taj otkaz dogoditi. Dakle za smanjenje rizika neophodno je stalno raditi na smanjenju vjerovatnoće otkaza ili ako se već otkaz dogodio brzom reakcijom minimizirati gubitke izazvane otkazom. Jednačina ukupnog rizika daje veliki uvid u mogućnost maksimizacije vremena efektivnog rada tehničkih sistema. Sama činjenica da vjerovatnoća otkaza predstavlja nepouzdanost opreme, jednačina ukupnih gubitaka računa se po jednačinama [4]

$$\text{Rizik} = \text{gubici usljed otkaza} \times [\text{frekvencija otkaza} \times \text{nepouzdanost}] \quad \dots (5)$$

$$\text{Rizik} = \text{gubici usljed otkaza} \times [\text{frekvencija otkaza} \times (1 - \text{Pouzdanost})] \quad \dots (6)$$

Za cijeli tehnički sistem ukupan rizik se računa kao:

$$\text{Rizik}_{\text{TS}} = \Sigma \{ \text{gubici usljed otkaza} \times [\text{frekvencija otkaza} \times (1 - \text{Pouzdanost})] \} \quad \dots (7)$$

## 2. EKSPERIMENTALNA ISTRAŽIVANJA

### 2.1. Definiranje objekata istraživanja

Za objekte istraživanja izabrani su pet damper kamiona Terex MT 3600 B (internih oznaka od 1 do 5) i deset damper kamiona Belaz 75131 (internih oznaka od 1 do 10), koji rade u uslovima površinske eksploatacije rudnika mrkog uglja Banovići u Banovićima. Opažanje rada i zastoja izabranih tehničkih sistema vršeno je pet godina te su na osnovu podataka dobivenih opažanjem vršene analize koje su dijelom predstavljene u ovom radu. Izabrane tehničke sistemei predstavljaju viskoproduktivna mehanizacija čiji zastoj uzrokuje visoke indirektno troškove i čija pouzdanost predstavlja bitan faktor kod planiranja proizvodnje i održavanja.



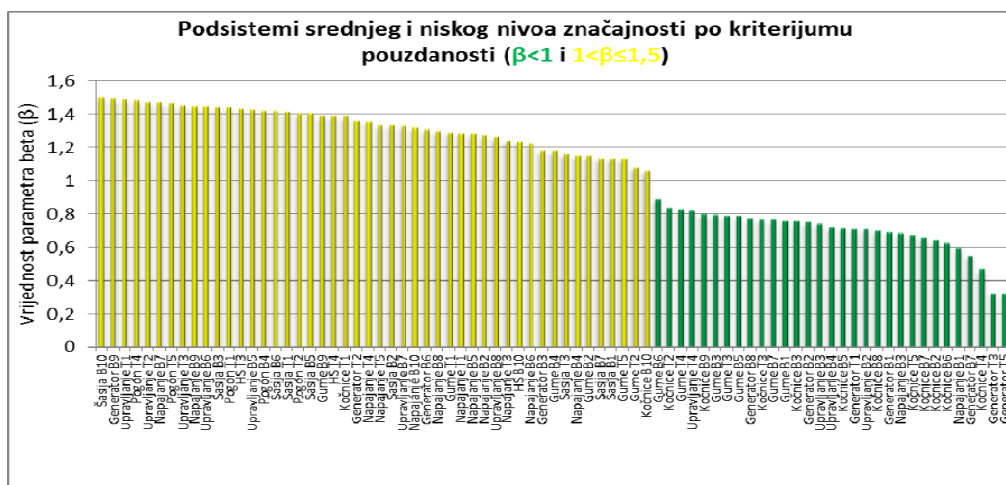
Slika 2. Kamioni Terex MT 3600B i Belaz 75131

Izabrani tehnički sistemi Terex MT 3600 B i Belaz 75131 koji su prikazani na slici 2 podijeljeni su na devet podsistema i za sve podsisteme vršena je odvojena evidencija rada, zastoja te troškovi rada i održavanja. Izabrani tehnički sistemi su podijeljeni na sljedeće podsisteme:

- Podsystem šasija,
- Podsystem dizel motor,
- Podsystem generator,
- Podsystem pogona – zadnji most,
- Podsystem upravljanja – prednji most,
- Podsystem kočenja,
- Podsystem elektro napajanja,
- Podsystem kipanja (hidraulički podsystem),
- Podsystem „gume“

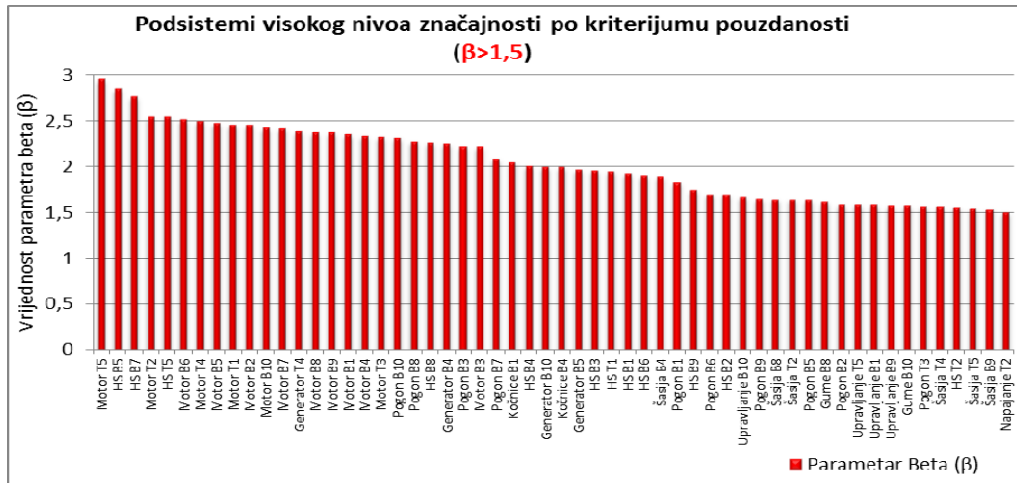
## 2.2. Analiza eksploatacione pouzdanosti

Kako bi se mogao utvrditi nivo značajnosti po pitanju potrebe za određivanjem programa akcija korektivnog i preventivnog održavanja izvršeno je računanje eksploatacione pouzdanosti svakog od podsistema. Eksploataciona pouzdanost je dobivena korištenjem softvera Weibull++ kompanije „Reliasoft“. Eksploataciona pouzdanost je predstavljena weibull-ovom krivom gdje svaki od parametara ima svoje značenje. Parametar beta ( $\beta$ ) predstavlja najbitniji parametar jer njegova vrijednost govori da li je sistem u fazi dječijih bolesti ( $\beta < 1$ ) gdje se učestalost otkaza smanjuje. Parametar beta ( $\beta = 1$ ) čija vrijednost iznosi 1 govori da je sistem u operativnom režimu i da se otkazi mogu predvidjeti i ponašaju se po vremenskom resursu. Vrijednost parametra beta ( $\beta > 1$ ) koja je veća od 1 predstavlja pojačano trošenje sistema te govori o povećanju rizika od pojave otkaza usljed velike starosti ili istrošenosti sistema ili određenih podsistema. Kao prag značajnosti za upoređivanje u ovom radu usvojena je vrijednost parametra beta od 1,5 ( $\beta \leq 1,5$ ). Na slici 3 predstavljena je vrijednost podsistema čija je vrijednost parametra  $\beta \leq 1,5$ . Predstavljene podsisteme sa  $\beta < 1$  su u fazi „dječijih bolesti“ i podsisteme sa vrijednosti  $\beta$  od 1 do 1,5 imaju blago povećan nivo trošenja sistema. Podsisteme kod kojih je vrijednost parametra  $\beta \leq 1,5$  ne predstavljaju visok nivo značajnosti te se ne bi planirale korektivne i preventivne akcije na navedenim podsistemima.



Slika 3. Dijagram podsistema srednjeg i niskog nivoa značajnosti podsistema sistema transporta

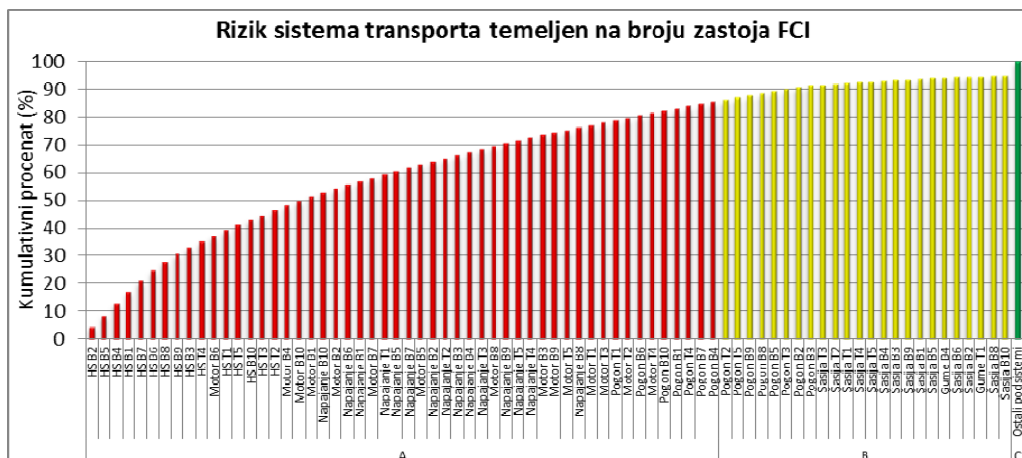
Na slici 4 predstavljeni su sistemi visokog nivoa značajnosti sa vrijednošću parametra  $\beta > 1,5$ . Predstavljeni podsistemi predstavljaju najrizičniju grupu pri analizi eksploatacione pouzdanosti sistema transporta. Određujući nivo značajnosti samo po stanju eksploatacione pouzdanosti navedeni podsistemi predstavljaju najviši prioritet te je neophodno za predstavljene podsisteme izvršiti korektivne opravke te napraviti plan akcija preventivnog održavanja kako bi se smanjio broj zastoja te u konačnici povećala efikasnost sistema transporta.



Slika 4. Dijagram podsistema visokog nivoa značajnosti podsistema sistema transporta

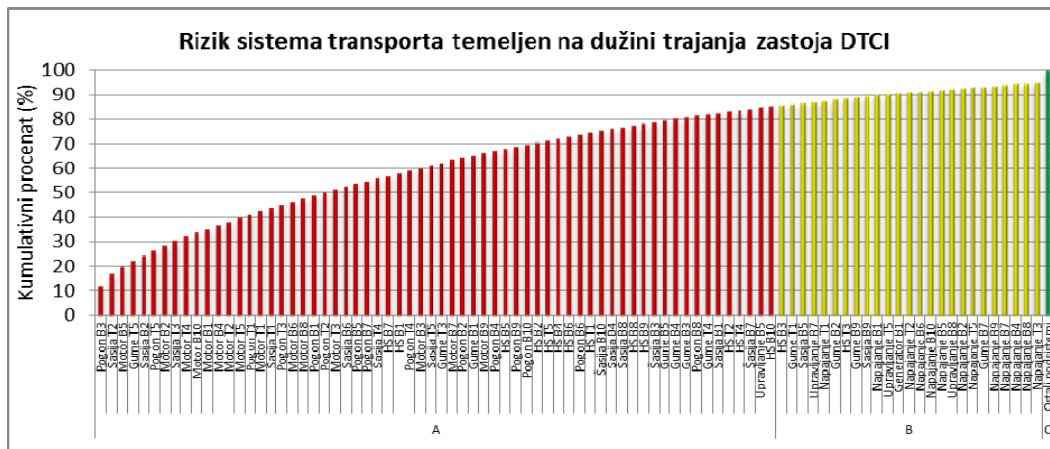
### 2.3. Analiza rizika od otkaza sistema transporta

Kamioni Belaz 75131 i Terex MT 3600B su vezani paralelnom vezom što znači da otkaz nekog od kamiona ne predstavlja otkaz cijelog sistema transporta. Podsistemi kamiona kojih svaki kamion ima po devet su vezani serijskom vezom te otkaz svakog od podsistema kamiona predstavlja otkaz tog kamiona. Obzirom da rizik od otkaza sistema predstavlja funkciju vjerovatnoće da će se otkaz dogoditi odnosno nepouzdanosti, učestalost otkaza te gubitke koji nastaju usljed otkaza izvršena je analiza svih uticajnih faktora na rizik od otkaza transportnog sistema. Na slici 5 predstavljen je ABC dijagram kritičnog indeksa učestalosti otkaza (FCI – failure criticality index), svakog podsistema u sistemu transporta. Na slici se vidi da 52 podsistema od ukupno 135 podsistema predstavljaju grupu A odnosno predstavljaju 85% ukupnog rizika na učestalost broja otkaza. Na slici se takođe vidi da ukupno 22 podsistema predstavljaju grupu B odnosno 10% ukupnog rizika na učestalost broja otkaza. Dakle, 74 podsistema koji predstavljaju grupu A i grupu B ABC analize broja otkaza predstavljaju 95 % rizika od otkaza sistema transporta.



Slika 5. ABC analiza rizika sistema transporta temeljenog na broju zastoja (FCI)

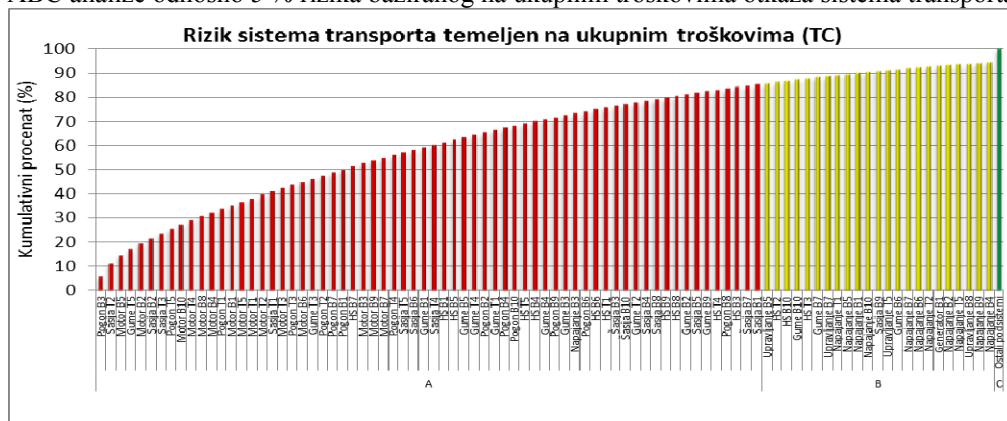
Na slici 6 predstavljen je ABC dijagram kritičnog indeksa dužine trajanja zastoja (DTCI – downtime criticality index), svakog podsistema u sistemu transporta. Na slici se vidi da 64 podsistema od ukupno 135 podsistema predstavljaju grupu A odnosno predstavljaju 85% ukupnog rizika na dužinu trajanja zastoja usljed otkaza. Na slici se takođe vidi da ukupno 25 podsistema predstavljaju grupu B odnosno 10% ukupnog rizika na dužinu trajanja zastoja. Dakle, 89 podsistema koji predstavljaju grupu A i grupu B ABC analize dužine trajanja zastoja sistema transporta te predstavljaju 95 % rizika baziranog na dužinu trajanja zastoja sistema transporta. Ostalih 46 podsistema predstavlja grupu C ABC analize odnosno 5 % rizika baziranog na dužinu trajanja zastoja sistema transporta.



Slika 6. ABC analiza rizika sistema transporta temeljenog na dužini trajanja zastoja (DTCI)

Na slici 7 predstavljen je ABC dijagram ukupnih troškova koji predstavljaju direktne i indirektno troškove zastoja (TC – total cost), svakog podsistema u sistemu transporta. Na slici se vidi da 66 podsistema od ukupno 135 podsistema predstavljaju grupu A odnosno predstavljaju 85% ukupnog rizika baziranog na ukupne troškove otkaza. Na slici se takođe vidi da ukupno 23 podsistema predstavljaju grupu B odnosno 10% ukupnog rizika baziranog na ukupnim troškovima otkaza. Dakle, 89 podsistema koji predstavljaju grupu A i grupu B ABC analize ukupnih troškova sistema transporta te predstavljaju 95 % rizika baziranog na ukupnim troškovima otkaza sistema transporta. Ostalih 46 podsistema predstavlja grupu C

ABC analize odnosno 5 % rizika baziranog na ukupnim troškovima otkaza sistema transporta.



Slika 7. ABC analiza rizika sistema transporta temeljenog na ukupnim troškovima (TC)

Kako bi se izvršila komparativna analiza eksploatacione pouzdanosti na klasičan način, tj. način gdje se kao nivo značajnosti uzima samo stanje eksploatacione pouzdanosti podsistema i način baziran na riziku rezultati prethodnih analiza predstavljeni su na slici 8. Nivoi značajnosti predstavljeni su bojama te je visok nivo značajnosti predstavljen crvenom bojom, srednji nivo značajnosti predstavljen je žutom bojom a nizak nivo značajnosti predstavljen je zelenom bojom. U prvoj koloni slike 8 predstavljeni su nivoi značajnosti pouzdanosti na klasičan način tj. po kriteriju eksploatacione pouzdanosti. Kod ove vrste analize eksploataciona pouzdanost je jedini kriterij za ocjenu stanja sistema i određivanje korektivnih i preventivnih akcija.

U drugoj koloni predstavljeni su rezultati nivoa značajnosti koji su bazirani na ABC analizi rizika po kriteriju broja zastoja svih podsistema (FCI). Podsistemi iz grupe A koji ujedno predstavljaju visok nivo značajnosti predstavljeni su crvenom bojom, Podsistemi iz grupe B odnosno podsistemi sa srednjim nivoom značajnosti predstavljeni su žutom bojom a podsistemi iz grupe C koji prdstavljaju podsisteme koji imaju nizak nivo značajnosti predstavljeni su zelenom bojom. U trećoj koloni predstavljeni su rezultati nivoa značajnosti koji su bazirani na ABC analizi rizika po kriteriju dužine trajanja otkaza svih podsistema (DTCI). Podsistemi iz grupe A koji ujedno predstavljaju visok nivo značajnosti predstavljeni su crvenom bojom, Podsistemi iz grupe B odnosno podsistemi sa srednjim nivoom značajnosti predstavljeni su žutom bojom a podsistemi iz grupe C koji predstavljaju podsisteme koji imaju nizak nivo značajnosti predstavljeni su zelenom bojom. U četvrtoj koloni predstavljeni su rezultati nivoa značajnosti koji su bazirani na ABC analizi rizika po kriteriju ukupnih troškova otkaza svih podsistema (TC). Podsistemi iz grupe A koji ujedno predstavljaju visok nivo značajnosti predstavljeni su crvenom bojom, Podsistemi iz grupe B odnosno podsistemi sa srednjim nivoom značajnosti predstavljeni su žutom bojom a podsistemi iz grupe C koji prdstavljaju podsisteme koji imaju nizak nivo značajnosti predstavljeni su zelenom bojom.

R. br.	Područje pouzdanosti	Kriterij broj zastoja (FCI)	Kriterij dužine trajanja zastoja (DTCI)	Kriterij ukupnih troškova (TC)	R. br.	Područje pouzdanosti	Kriterij broj zastoja (FCI)	Kriterij dužine trajanja zastoja (DTCI)	Kriterij ukupnih troškova (TC)
1	Motor T3	Motor T3	Motor T3	Motor T3	46	Pogon B2	Pogon B2	Pogon B2	Pogon B2
2	HS B5	HS B5	HS B5	HS B5	47	Upravljanje T5	Upravljanje T5	Upravljanje T5	Upravljanje T5
3	HS B7	HS B7	HS B7	HS B7	48	Upravljanje B1	Upravljanje B1	Upravljanje B1	Upravljanje B1
4	Motor T2	Motor T2	Motor T2	Motor T2	49	Upravljanje B9	Upravljanje B9	Upravljanje B9	Upravljanje B9
5	HS T3	HS T3	HS T3	HS T3	50	Gume B10	Gume B10	Gume B10	Gume B10
6	Motor B6	Motor B6	Motor B6	Motor B6	51	Pogon T3	Pogon T3	Pogon T3	Pogon T3
7	Motor T4	Motor T4	Motor T4	Motor T4	52	Sasija T4	Sasija T4	Sasija T4	Sasija T4
8	Motor B3	Motor B3	Motor B3	Motor B3	53	HS T2	HS T2	HS T2	HS T2
9	Motor T1	Motor T1	Motor T1	Motor T1	54	Sasija T3	Sasija T3	Sasija T3	Sasija T3
10	Motor B2	Motor B2	Motor B2	Motor B2	55	Sasija B9	Sasija B9	Sasija B9	Sasija B9
11	Motor B10	Motor B10	Motor B10	Motor B10	56	Napajanje T2	Napajanje T2	Napajanje T2	Napajanje T2
12	Motor B7	Motor B7	Motor B7	Motor B7	57	Sasija B10	Sasija B10	Sasija B10	Sasija B10
13	Generator T4	Generator T4	Generator T4	Generator T4	58	Generator B9	Generator B9	Generator B9	Generator B9
14	Motor B8	Motor B8	Motor B8	Motor B8	59	Upravljanje T1	Upravljanje T1	Upravljanje T1	Upravljanje T1
15	Motor B9	Motor B9	Motor B9	Motor B9	60	Pogon T4	Pogon T4	Pogon T4	Pogon T4
16	Motor B1	Motor B1	Motor B1	Motor B1	61	Upravljanje T2	Upravljanje T2	Upravljanje T2	Upravljanje T2
17	Motor B4	Motor B4	Motor B4	Motor B4	62	Napajanje B7	Napajanje B7	Napajanje B7	Napajanje B7
18	Motor T3	Motor T3	Motor T3	Motor T3	63	Pogon T5	Pogon T5	Pogon T5	Pogon T5
19	Pogon B10	Pogon B10	Pogon B10	Pogon B10	64	Upravljanje T3	Upravljanje T3	Upravljanje T3	Upravljanje T3
20	Pogon B8	Pogon B8	Pogon B8	Pogon B8	65	Napajanje B9	Napajanje B9	Napajanje B9	Napajanje B9
21	HS B8	HS B8	HS B8	HS B8	66	Upravljanje B6	Upravljanje B6	Upravljanje B6	Upravljanje B6
22	Generator B4	Generator B4	Generator B4	Generator B4	67	Sasija B3	Sasija B3	Sasija B3	Sasija B3
23	Pogon B5	Pogon B5	Pogon B5	Pogon B5	68	Pogon T1	Pogon T1	Pogon T1	Pogon T1
24	Motor B3	Motor B3	Motor B3	Motor B3	69	HS T3	HS T3	HS T3	HS T3
25	Pogon B7	Pogon B7	Pogon B7	Pogon B7	70	Upravljanje B5	Upravljanje B5	Upravljanje B5	Upravljanje B5
26	Kočnice B1	Kočnice B1	Kočnice B1	Kočnice B1	71	Pogon B4	Pogon B4	Pogon B4	Pogon B4
27	HS B4	HS B4	HS B4	HS B4	72	Sasija B6	Sasija B6	Sasija B6	Sasija B6
28	Generator B10	Generator B10	Generator B10	Generator B10	73	Sasija T1	Sasija T1	Sasija T1	Sasija T1
29	Kočnice B4	Kočnice B4	Kočnice B4	Kočnice B4	74	Pogon T2	Pogon T2	Pogon T2	Pogon T2
30	Generator B5	Generator B5	Generator B5	Generator B5	75	Sasija B5	Sasija B5	Sasija B5	Sasija B5
31	HS B3	HS B3	HS B3	HS B3	76	Gume B9	Gume B9	Gume B9	Gume B9
32	HS T1	HS T1	HS T1	HS T1	77	HS T4	HS T4	HS T4	HS T4
33	HS B1	HS B1	HS B1	HS B1	78	Kočnice T1	Kočnice T1	Kočnice T1	Kočnice T1
34	HS B6	HS B6	HS B6	HS B6	79	Generator T2	Generator T2	Generator T2	Generator T2
35	Sasija B4	Sasija B4	Sasija B4	Sasija B4	80	Napajanje T4	Napajanje T4	Napajanje T4	Napajanje T4
36	Pogon B1	Pogon B1	Pogon B1	Pogon B1	81	Napajanje T5	Napajanje T5	Napajanje T5	Napajanje T5
37	HS B9	HS B9	HS B9	HS B9	82	Sasija B2	Sasija B2	Sasija B2	Sasija B2
38	Pogon B6	Pogon B6	Pogon B6	Pogon B6	83	Upravljanje B7	Upravljanje B7	Upravljanje B7	Upravljanje B7
39	HS B2	HS B2	HS B2	HS B2	84	Napajanje B10	Napajanje B10	Napajanje B10	Napajanje B10
40	Upravljanje B10	Upravljanje B10	Upravljanje B10	Upravljanje B10	85	Generator B6	Generator B6	Generator B6	Generator B6
41	Pogon B9	Pogon B9	Pogon B9	Pogon B9	86	Napajanje B8	Napajanje B8	Napajanje B8	Napajanje B8
42	Sasija B8	Sasija B8	Sasija B8	Sasija B8	87	Gume T1	Gume T1	Gume T1	Gume T1
43	Sasija T2	Sasija T2	Sasija T2	Sasija T2	88	Napajanje T1	Napajanje T1	Napajanje T1	Napajanje T1
44	Pogon B5	Pogon B5	Pogon B5	Pogon B5	89	Napajanje B5	Napajanje B5	Napajanje B5	Napajanje B5
45	Gume B8	Gume B8	Gume B8	Gume B8	90	Napajanje B2	Napajanje B2	Napajanje B2	Napajanje B2

R. br.	Područje pouzdanosti	Kriterij broj zastoja (FCI)	Kriterij dužine trajanja zastoja (DTCI)	Kriterij ukupnih troškova (TC)
91	Upravljanje B8	Upravljanje B8	Upravljanje B8	Upravljanje B8
92	Napajanje T3	Napajanje T3	Napajanje T3	Napajanje T3
93	HS B10	HS B10	HS B10	HS B10
94	Napajanje B6	Napajanje B6	Napajanje B6	Napajanje B6
95	Generator B3	Generator B3	Generator B3	Generator B3
96	Gume B4	Gume B4	Gume B4	Gume B4
97	Sasija T3	Sasija T3	Sasija T3	Sasija T3
98	Napajanje B4	Napajanje B4	Napajanje B4	Napajanje B4
99	Gume B2	Gume B2	Gume B2	Gume B2
100	Sasija B7	Sasija B7	Sasija B7	Sasija B7
101	Sasija B1	Sasija B1	Sasija B1	Sasija B1
102	Gume T5	Gume T5	Gume T5	Gume T5
103	Gume T2	Gume T2	Gume T2	Gume T2
104	Kočnice B10	Kočnice B10	Kočnice B10	Kočnice B10
105	Gume B6	Gume B6	Gume B6	Gume B6
106	Kočnice T2	Kočnice T2	Kočnice T2	Kočnice T2
107	Gume T4	Gume T4	Gume T4	Gume T4
108	Upravljanje T4	Upravljanje T4	Upravljanje T4	Upravljanje T4
109	Kočnice B9	Kočnice B9	Kočnice B9	Kočnice B9
110	Gume B3	Gume B3	Gume B3	Gume B3
111	Gume T3	Gume T3	Gume T3	Gume T3
112	Gume B5	Gume B5	Gume B5	Gume B5
113	Generator B8	Generator B8	Generator B8	Generator B8
114	Kočnice T3	Kočnice T3	Kočnice T3	Kočnice T3
115	Gume B7	Gume B7	Gume B7	Gume B7
116	Gume B1	Gume B1	Gume B1	Gume B1
117	Kočnice B3	Kočnice B3	Kočnice B3	Kočnice B3
118	Generator B2	Generator B2	Generator B2	Generator B2
119	Upravljanje B3	Upravljanje B3	Upravljanje B3	Upravljanje B3
120	Upravljanje B4	Upravljanje B4	Upravljanje B4	Upravljanje B4
121	Kočnice B5	Kočnice B5	Kočnice B5	Kočnice B5
122	Generator T1	Generator T1	Generator T1	Generator T1
123	Upravljanje B2	Upravljanje B2	Upravljanje B2	Upravljanje B2
124	Kočnice B8	Kočnice B8	Kočnice B8	Kočnice B8
125	Generator B1	Generator B1	Generator B1	Generator B1
126	Napajanje B3	Napajanje B3	Napajanje B3	Napajanje B3
127	Kočnice T5	Kočnice T5	Kočnice T5	Kočnice T5
128	Kočnice B7	Kočnice B7	Kočnice B7	Kočnice B7
129	Kočnice B2	Kočnice B2	Kočnice B2	Kočnice B2
130	Kočnice B6	Kočnice B6	Kočnice B6	Kočnice B6
131	Napajanje B1	Napajanje B1	Napajanje B1	Napajanje B1
132	Generator B7	Generator B7	Generator B7	Generator B7
133	Kočnice T4	Kočnice T4	Kočnice T4	Kočnice T4
134	Generator T3	Generator T3	Generator T3	Generator T3
135	Generator T5	Generator T5	Generator T5	Generator T5

Slika 8. Tabelarno predstavljeni nivoi značajnosti analiziranih podsistema po različitim kriterijima



Na slici 8 se vidi da prvih 12 podsistema ima visok nivo značajnosti po svakom od kriterija, a već na trinaestom podsistemu odn. generator kamiona Terex 4 pojavljuje se razlika gdje po kriteriju klasične analize pouzdanosti ovaj podsistem je voma značajan dok po svim ostalim kriterijima ovaj podsistem ima nizak nivo značajnosti. Zamjenom ili opravkom ovog podsistema povećala bi se pouzdanost ovog podsistema ali ne bi se značajno smanjio broj zastoja, dužina trajanja zastoja ni troškovi usljed zastoja. Nadalje u tabeli se primjećuju velike razlike i primjetno je da veliki broj podsistema koji predstavljaju visok nivo značajnosti po drugim kriterijima imaju srednji ili nizak nivo značajnosti. Takođe na slici 8 vidi se da podsistemi koji po kriteriju klasične analize pouzdanosti imaju srednji nivo značajnosti po kriteriju rizika imaju veoma različit nivo značajnosti. Tabela predstavljena na slici 8 predstavlja komparativnu analizu primjene klasičnog pristupa baziranog na eksploatacionoj pouzdanosti i pristupa koji u analizu uključuje i rizik od otkaza te stanje eksploatacione pouzdanosti podsistema. Tabela na slici 8 na slikovit način predstavlja različitost rezultata navedenih analiza a koje se trebaju koristiti kod određivanja značajnosti podsistema za korektivne i plan preventivnih akcija. U tabeli na slici 8 se vidi da ako bi se kao kriterij za određivanje opravki i preventivnih akcija koristila samo klasična analiza bazirana na stanju eksploatacione pouzdanosti u velikom broju slučajeva bi trebalo primijeniti opravke i preventivne akcije ili zamjenu podsistema zato što imaju visok nivo značajnosti a za rezultat ne bi se smanjio broj otkaza, dužine trajanja otkaza ili se ne bi smanjili ukupni troškovi usljed otkaza. Takođe na slici 8 se vidi da značajan broj podsistema koji ne predstavljaju visok nivo značajnosti i na kojima se prioritarno ne bi vršile opravke, ne bi se prioritarno primijenio plan preventivnih akcija ili zamjena podsistema, predstavljaju visok nivo značajnosti po kriteriju rizika od otkaza kako po smanjenju broja otkaza, smanjenju dužine trajanja otkaza tako i po kriteriju rizika baziranog na ukupnim troškovima otkaza.

### **3. ZAKLJUČAK**

Iako je intenzivnije analiziranje eksploatacione pouzdanosti popravljivih sistema donijelo značajne prednosti kao i činjenica da se sve češće rezultati analize pouzdanosti koriste kao bitan argument u donošenju ključnih odluka nesumnjivo je potrebno izvršiti više analiza te primjeniti inovativnije pristupe analiziranja eksploatacione pouzdanosti i rizika od otkaza tehničkih sistema. Sveobuhvatnijim analizama eksploatacione pouzdanosti i rizika od otkaza kao što je predstavljeno u ovom radu potrebno je značajnije ukazati na moguće negativne posljedice jednostranog pristupa kod donošenja odluka te veći angažman na inovativnijim pristupima posebno primjenom danas dostupnih specijaliziranih softverskih paketa kojima je moguće izvršiti matematsko modeliranje te simuliranje realnog procesa i na bazi rezultata izvršenih simulacija na kvantitativan način predstaviti prednosti i nedostatke svakog od kriterija i zavisno od željenog kriterija izabrati optimalno rješenje.

Na osnovu izvršenih eksperimentalnih istraživanja koja su rađena na realnim tehničkim sistemima a za čiju izradu su korišteni stvarni izvorni podaci može se zaključiti da kod donošenja značajnijih odluka nije dovoljno koristiti rezultate analize samo po jednom kriteriju bez obzira koji kriterij se koristi. Sveobuhvatan i inovativan pristup analizi eksploatacione pouzdanosti i rizika od otkaza tehničkih sistema uveliko može da smanji troškove životnog ciklusa tehničkih sistema, odredi optimalna rješenja u vidu preventivnih popravki planiranja proizvodnje a što u konačnici ima velike uštede, povećanje raspoloživih sati rada te povećanje konkurentnosti preduzeća.

#### 4. LITERATURA

- [1] Vujanović, „*Teorija pouzdanosti tehničkih sistema*“, Beograd, 1987
- [2] Dž. Tufekčić, H. Avdić, „*Terotehnologija I*“, Univerzitet u Tuzli, Tuzla, 2007.
- [3] Michael T. Tadinov, “*Risk-based reliability analysis and generic principles for risk reduction*”, Elsevier Science & Technology Books, 2006.
- [4] Mohammed Modarres, “*Reliability engineering and risk analysis*”, Marcel Dekker, Inc New York, 1999.