

## PRIMENA AHP I PROMETHEE METODE ZA ODREĐIVANJE POUZDANOSTI RADA TRANSPORTNOG PREDUZEĆA

Tamara Janković, Nina Mladenović

Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet u Boru, Odsek za inženjerski menadžment  
Bor, Srbija

---

### Izvod

Pouzdanost rada sistema predstavlja osnovu za uspešno poslovanje. Kako bi se ispunili poslovni ciljevi, sistemi su morali da zadovolje određene kriterijume po pitanju ispravnog rada, eksploatacije i održavanja. Rad se zasniva na ispitivanju pouzdanosti transportnog sistema i ocenjivanje uspešnosti rada istog. Proces identifikacije problema i mogućnosti njihovog rešavanja u ovom radu prikazan je kroz primer transportnog preduzeća u donošenju odluka vezanih za otkaze koji se mogu javiti u sistemu. Vrste otkaza navedene u zadatku bazirane su na iskustvu koje podrazumeva ponavljanje situacija u navedenom privrednom društvu. Kroz ovaj rad korišćena je FMEA metoda za utvrđivanje alternativa koje predstavljaju vrste i uzroke mogućih otkaza na osnovu kojih će se primenom AHP i PROMETHEE metoda utvrditi najrizičniji otkaz za poslovanje. Najvažniji kriterijumi za ovo transportno preduzeće su cena koštanja otklanjanja kvara, vreme trajanja popravke i učestalost pojave kvara. Cilj rada jeste određivanje najštetnijeg otkaza po svim kriterijumima, kako bi se dobile informacije potrebne za donošenje prave odluke vezane za poboljšanje kvaliteta budućeg poslovanja.

***Ključne reči:*** Pouzdanost sistema, Transportni problem, FMEA, AHP, PROMETHEE

---

### 1. UVOD

U svakom poslovanju najbitnije je pravilno donošenje odluka zbog čega je potrebno poznavati metode koje u tome pomažu kako bi se unapredilo buduće poslovanje. Donošenje odluka podrazumeva izbor između više mogućnosti, načina na koji će se posao obavljati kako bi se ostvarili postavljeni ciljevi (Pavličić, 2014). U daljem radu biće prikazano donošenje odluka na osnovu otkaza u jednom sistemu transportnog preduzeća. Određivanje otkaza u radu sredstava za rad koja se nalaze u poslovnom sistemu jednog privrednog društva od velikog je značaja kod donošenja odluka u poslovanju. Sagledavanje najčešćih otkaza u sistemu doprinosi boljoj analizi poslovanja, kako bi se na vreme otklonili rizici od eventualnih suvišnih troškova ili neefikasnog poslovanja i unapredio kvalitet usluga. Otkazi u poslovanju vezani su za pouzdanost rada elemenata sistema i predstavljaju događaj koji za posledicu imaju gubitak radne sposobnosti. Do otkaza rada elemenata dolazi posle izvesnog perioda rada sistema, a za njihovo određivanje koriste se razne kvalitativne i kvantitativne metode (Miličić, 2005). U ovom radu je predstavljena FMEA metoda (*engl.* Failure Mode and Effects Analysis) kao jedna od kvalitativnih metoda za određivanje vrste i uzroka otkaza, a za donošenje odluka koristiće se AHP i PROMETHEE metoda. Petrović i saradnici sa Univerziteta u Beogradu pisali su rad na

temu: „Risk assessment model of mining equipment failure based on fuzzy logic”. Oni su u svom istraživanju ispitivali pouzdanost rudarskih mašine i opreme koja je od ključnog značaja za normalno funkcionisanje rudnika. Vršili su detalju analizu sistema u rudarstvu radi utvrđivanja kritičnih elemenata koji su skloni kvarovima (Petrović et al., 2014). Takođe, još jedan od radova koji se bavi proučavanjem transportnog sektora je rad autora: Boujelbene-a i Derbel-a na temu: „The performance analysis of public transport operators in Tunisia using AHP method“. Rad se bavi istraživanjem problema u sektoru javnog prevoza takođe u cilju poboljšanja poslovanja gradskih prevoznika. U tu svrhu za ocenu različitih problema korišćena je metoda višekriterijumskog odlučivanja AHP (Boujelbene & Derbel, 2015). Na osnovu ovih radova koji su poslužili kao uzor za ideju, istraživanje je vršeno u preduzeću „IK-Speditor“ koje se bavi pružanjem transportnih usluga. Cilj rada je određivanje najrizičnijeg otkaza u sistemu transportnog preduzeća kako bi se poboljšao kvalitet rada datog privrednog društva.

## 2. LITERATURNI PREGLED

### 2.1. Analiza načina i efekata otkaza

Analiza načina i efekata otkaza (FMEA) je kvalitativna metoda, široko rasprostranjena i korišćena u inženjerstvu za identifikaciju i eliminisanje potencijalnih i poznatih grešaka i problema u sistemu (Kutlu & Ekmekçioğlu, 2012). Ova metoda predstavlja priznat alat za identifikaciju i definisanje potencijalnih otkaza (kvarova) kako bi se poboljšala pouzdanost sistema (Li & Chen, 2019). FMEA metoda ima za cilj utvrđivanje vrste i uzroka otkazivanja nekog elementa ili sistema u celini ali i posledice koje ti otkazi ostavljaju na sistem ukoliko se otkaz dogodi (Ahn et al., 2017). Ključna uloga ove metode jeste u predviđanju mogućih grešaka (odnosno otkaza) i samim tim stvara mogućnost da se pojava otkaza svede na minimum (Kutlu & Ekmekçioğlu, 2012). Razvijena je pedesetih godina dvadesetog veka za potrebe istraživanja ispravnosti sistema odbrane u SAD-u nakon Drugog svetskog rata (Ahn et al., 2017). Najviše je korišćena za analizu oružanih sistema, pištolja i vojne opreme, a kasnije njena primena se proširila i na ostale sfere poslovanja kao što su: vazduhoplovna i automobilska industrija (Miličić, 2005). Veliki broj stručnjaka koji se bave ispitivanjem pouzdanosti različitih sistema smatraju da je primena FMEA metode kao mere zaštite od neuspeha jedan od najvažnijih zadataka za izradu detaljne analize kvarova (Ahn et al., 2017). Standardna FMEA metoda koja se koristi kao alat u analizi pouzdanosti nekog sistema dizajnirana je na takav način da pruža informacije za upravljane rizikom prilikom donošenja odluke. Važna mera koja se koristi u ovoj metodi za određivanje prioriteta rizika je proizvod pojave (O), ozbiljnosti (C) i detekcije kvara (D) (Ivanović et al., 2010). Primenom navedene mere FMEA je postala snažan alat korišćenja za analizu bezbednosti i pouzdanosti svih vrsta sistema (Kutlu & Ekmekçioğlu, 2012).

#### 2.1.1. Faze FMEA metode

FMEA analiza se sastoji iz nekoliko faza, a to su (Ivanović et al., 2010):

**1. Formiranje FMEA tima.** Tim treba da čine stručnjaci i inženjeri ili pak oni koji dobro poznaju rad posmatranog sistema (u okviru ove faze vrši se imenovanje vođe tima). Sam tim odlučuje koji tip ove metode će koristiti u zavisnosti od mogućnosti i troškova.

**2. Plan rada i priprema za analizu.** Ova faza podrazumeva:

- Definisane zadatka i postavljanje ciljeva. Upoznavanje strukture sistema i načina funkcionisanja.
- Definisane strukture blok dijagram sistema (hijerarhijski, funkcionalni i blok dijagram pouzdanosti).

- Prikupljanje postojećih relevantnih podataka i formiranje inicijalnog dokumenta.

**3. Analiza potencijalnih otkaza.** Ova faza podrazumeva:

- Identifikacija vrste mogućih otkaza.
- Identifikacija uzroka odnosno načina na osnovu kojih dolazi do mogućih otkaza.
- Evidencija posledica otkaza i predviđanje kontrolnih mera.

**4. Procena projekta.**

**2.2. AHP METOD**

Analitički hijerarhijski proces (*engl.* Analytic Hierarchy Process - AHP), koji je razvio Thomas Saaty početkom sedamdesetih godina dvadesetog veka, jedan je od najpoznatijih višekriterijumskih metoda (Debbarma et al., 2017). AHP je koristan pristup za rešavanje složenih problema koji uključuju subjektivnu procenu (Didem & Durmusoglu, 2018). U njima učestvuje veći broj donosilaca odluke, veći broj kriterijuma i radi se o višestrukim vremenskim periodima (Mitevska, 2005).

Ova metoda omogućava upoređivanje parova faktora sa ciljem da se odredi prioritet prisutan među njima kako bi se donela najbolja odluka (Debbarma et al., 2017). Izabrana najbolja alternativa iz niza konkurentnih alternativa ocenjuje se skupom kriterijuma (Fu, 2019). Metod se zasniva na konceptu balansa koji se koristi za određivanje sveukupne značajnosti atributa, aktivnosti ili kriterijuma posmatranog problema (Mitevska, 2005). To se ostvaruje modelovanjem problema uz pomoć hijerarhijske strukture, dodeljivanjem težina u obliku serije matrica poređenja parova, prikazujući pritom povezanost cilja, kriterijuma, subkriterijuma i alternativa (Živković & Nikolić, 2016).

AHP generiše težinu za svaki kriterijum prema proceni donosioca odluke. Što je veći faktor težine, važniji je kriterijum. AHP metod čine četiri faze (Mitevska, 2005):

- strukturiranje problema,
- prikupljanje podataka,
- ocenjivanje relativnih težina i
- određivanje rešenja problema.

1. *Strukturiranje problema* podrazumeva rastavljanje kompleksnog problema odlučivanja na niz hijerarhija (Mitevska, 2005).

2. *Prikupljanje podataka* i njihova evaluacija na svim nivoima celokupne hijerarhije (Živković & Nikolić, 2016). Ocenjivanje alternativa i kriterijuma se vrši dodeljivanjem težina primenom skale devet tačaka (Prvulović & Manasijević, 2006). Donosioc odluke dodeljuje težine svakom paru posebno, kao meru koliko je jedan par atributa značajniji od drugog. Ukoliko raspolaže objektivnim podacima, može ih koristiti pri dodeljivanju težina, u suprotnom, koristi sopstvene procene i informacije (Mitevska, 2005).

3. *Ocenjivanje relativnih težina* je faza u kojoj se matrice poređenja po parovima prevode u probleme određivanja sopstvenih vrednosti u cilju dobijanja normalizovanih sopstvenih vektora težina za sve attribute na svakom nivou hijerarhije (Prvulović & Manasijević, 2006).

4. *Određivanje rešenja problema* kao poslednja faza podrazumeva nalaženje normalizovanog vektora koji se određuje množenjem vektora težina svih nivoa (Prvulović & Manasijević, 2006). AHP kombinuje težinu kriterijuma i rezultate opcija, tako da se za svaku opciju može odrediti globalna ocena na osnovu kojih će se alternative rangirati (Debbarma et al., 2017).

### 2.3. PROMETHEE II

Promethee metoda je jedna od takozvanih „outranking“ metoda višekriterijumske analize za rangiranje određenog broja alternativa (akcija) po svakom zadatom kriterijumu koji su u međusobnim konfliktima (Debbarma et al., 2017). Cilj Promethee metode je da se na osnovu upoređivanja alternativa, u osnovi po svakom kriterijumu odredi preferencija jedne alternative u odnosu na druge (Živković & Nikolić, 2016). Formulisanje preferencija se vrši tako što se porede sve definisane alternative za svaki kriterijum, gde svaki kriterijum ima dodeljenu funkciju preferencije i težinu značajnosti kriterijuma (Mitevska, 2005). Promethee II metod su razvili naučnici Jean-Pierre Brans i Bertrand Mareschal (1992) (Debbarma et al., 2017). Osnovni princip Promethee II metode je što pruža mogućnost potpunog rangiranja alternativa (Doan & Smet, 2018).

#### 2.3.1. Procedura primene Promethee II metode

Metoda Promethee se manifestuje kroz četiri koraka:

**1. Kreiranje polazne tabele odlučivanja** za definisane kriterijume i alternative. Tabela može biti formirana na osnovu kvalitativnih i kvantitativnih podataka.

**2. Dodeljivanje funkcije preferencije**  $P(a,b)$  za svaki kriterijum se vrši kako bi se odlučilo koliko je alternativa „a“ preferentna u odnosu na alternativu „b“. Metod Promethee na raspolaganju ima šest oblika funkcija preferencije (Usual, U – shape, V- shape, Level, Linear, Gaussian)- Svaka od njih ima po dva praga  $Q$  i  $P$ . „Prag indiferentnosti ( $Q$ ) predstavlja najveću devijaciju koju donosilac odluke smatra nevažnom, dok prag preferentnosti ( $P$ ) predstavlja najmanju devijaciju koja se smatra odlučujućom za donosioca odluke, pri čemu  $P$  ne sme biti manje od  $Q$ .“

**3. Izračunavanje indeksa preferencije**  $IP(a,b)$ , kojim se određuje intenzitet preferencije  $a$  u odnosu na  $b$ , izračunava se po sledećoj formuli (Boujelbene & Derbel, 2015):

$$IP(a,b) = \sum_{j=1}^n w_j * P_j(a,b); (\sum_{j=1}^n w_j = 1) \quad (1)$$

**4. Izračunavanje „outranking“ tokova** se vrši na osnovu proračuna pozitivnog toka ( $\Phi^+$ ) i negativnog toka ( $\Phi^-$ ) za svaku alternativu po sledećim formulama (Debbarma et al., 2017):

$$\text{- pozitivan tok: } \Phi^+(a) = \frac{1}{(m-1)} \sum IP(a,x) \quad (2)$$

$$\text{- negativan tok: } \Phi^-(a) = \frac{1}{(m-1)} \sum IP(x,a) \quad (3)$$

$$\text{Konačno rangiranje alternative: } \Phi(a) = \Phi^+(a) - \Phi^-(a) \quad (4)$$

## 3. METODOLOGIJA

### 3.1. Predmet istraživanja

U cilju poboljšanja kvaliteta i efikasnosti poslovanja menadžment kompanije „IK Speditor“ želi da utvrdi koji su to kvarovi (otkazi) najčešći i najštetniji za poslovanje. Svoje dugogodišnje poslovanje preduzeće obavlja sa 10 kamiona različitih marki, a u ovom istraživanju za ispitivanje pouzdanosti kao uzorak uzet je kamion MAN-LC-180, koji je proteklih pet godina najviše korišćen u poslovanju. Podaci o njegovom radu prikupljeni su na osnovu dokumentacije odnosno knjige eksploatacije kamiona MAN-LC-180 koje preduzeće poseduje. Dokumentacijom su dobijeni kvantitativni i kvalitativni podaci neophodni za proces analize rada ovog transportnog sredstva. Pomoću FMEA-

metode preduzeće je odredilo uzroke (kvarove) otkaza na kamionu, metodom AHP određene su težine za svaki od posmatranih kriterijuma, a na osnovu prikupljenih podataka PROMETHEE metodom dobijeni su rezultati koji pokazuju najštetniji otkaz za kompaniju po svim kriterijumima.

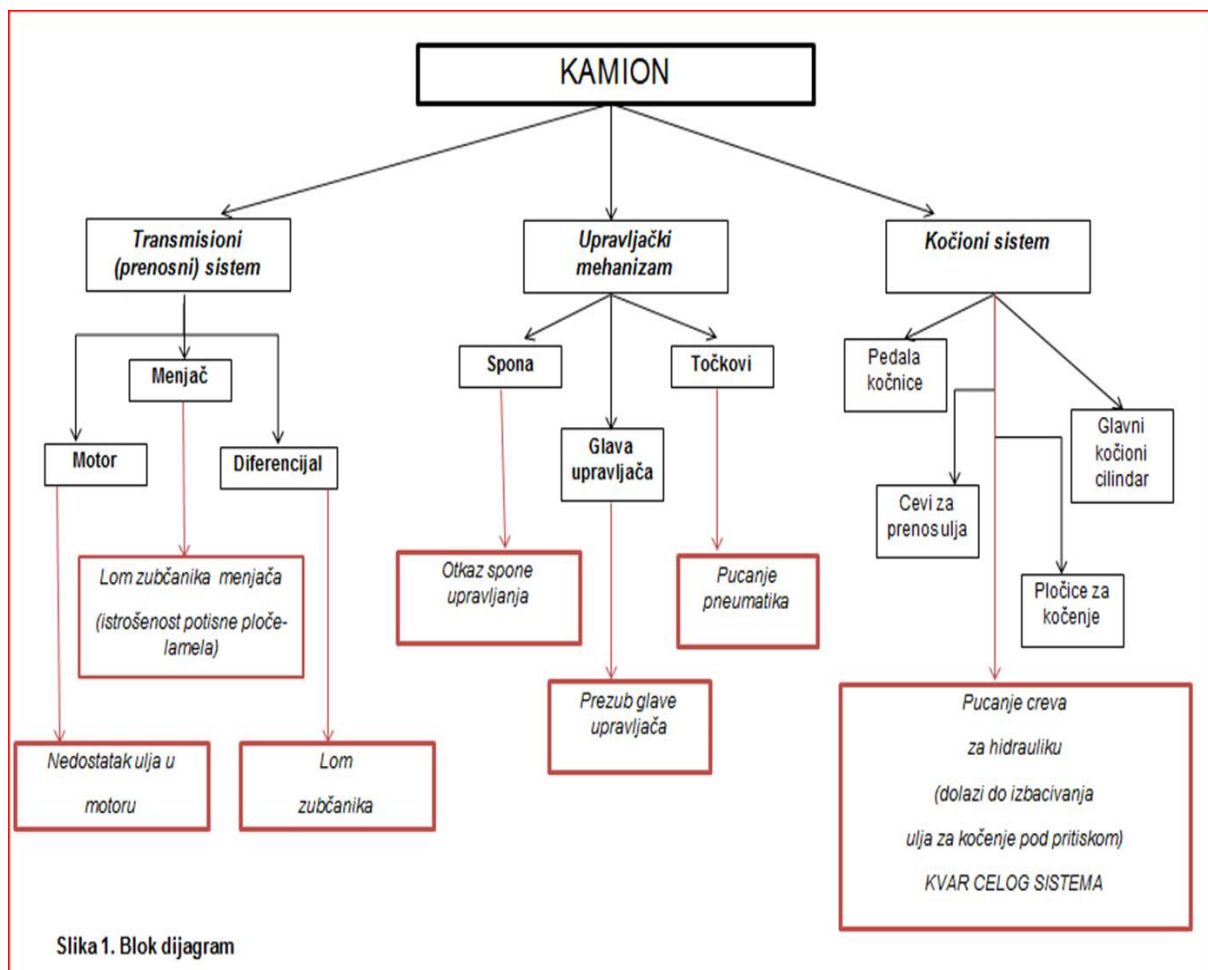
### **3.2. Primena FMEA metode**

Radi utvrđivanja vrste i uzroka otkaza primenjena je FMEA metoda u poslovanju “IK Speditor“ na kamionu MAN-LC-180, koji je najviše korišćen proteklih godina. S’ obzirom da je odlučeno da se ova metoda koristi isključivo u ove svrhe kako bi se nakon utvrđivanja uzroka zbog kojih dolazi do otkaza sistema moglo primenom drugih metoda utvrditi koji je to najrizičniji odnosno najštetniji otkaz za poslovanje. Za predstavljanje problema korišćena je hijerarhijska struktura koja je prikazana na slici 1.

Kamion se sastoji od tri glavna podsistema:

1. Transmisioni (prenosni) sistem - sastoji se od: motora , menjača i diferencijala.
2. Upravljački mehanizam - koji čine: spona, glava upravljača i točkovi.
3. Kočioni sistem - sastoji se od: pedala kočnice, cevi za prenos ulja, pločice za kočenje i glavni kočioni cilindar.

Na osnovu istraživanja dokumentacije koja beleži čitav radni vek ovog kamiona došlo se do potrebnih podataka o najčešće zabeleženim vrstama i uzrocima otkaza. Vrste otkaza kod kamiona raspoređene su po njegovim podsistemima i to su motor, menjač i diferencijal kod transmissionog podsistema. Kod upravljačkog su to spona, glava upravljača i točkovi i kod kočionog su pedala kočnice, cevi za prenos ulja, pločice za kočenje i glava cilindra. Uzroci otkaza ovih delova koji mogu dovesti i do otkaza čitavog podsistema su: nedostatak ulja u motoru, lom zupčanika menjača (istrošenost potisne ploče), lom zupčanika izaziva i otkaz diferencijala, otkaz spone upravljača, prezub glave upravljača, pucanje pneumatika, pucanje creva za hidrauliku (kada se ovaj otkaz desi dolazi do izbacivanja ulja za kočenje pod pritiskom). Svaki otkaz sa sobom nosi i određene posledice, neke od njih su štetnije i ostavljaju veći trag na čitav sistem, takođe zahtevaju i veće troškove rešavanja problema i duže vreme trajanja. Na osnovu dosadašnjeg iskustva u ovom slučaju najveću posledicu na sistem može ostaviti otkaz motora do kojeg dolazi usled nedostatka ulja. Ukoliko motor ostane bez ulja dolazi do prestanka rada čitavog sistema. Samim tim možemo reći da ovaj otkaz ostavlja velike posledice na pouzdanost sistema. Otkaz menjača i diferencijala dolazi usled loma zupčanika pa je samim tim velika posledica jer dolazi do prestanka rada sistema. Otkaz spone i prezub glave upravljača isključivo ostavlja posledice na upravljački sistem dok pucanje pneumatika može imati posledicu na čitav sistem. Pucanje creva za hidrauliku ostavlja posledicu na kočioni sistem jer ukoliko dođe do ovakvog otkaza, kvar izaziva izbacivanje ulja pod velikim pritiskom i to dovodi do kvara celog podsistema. Mere prevencije se mogu vršiti u vidu redovne kontrole kao što su: servisi, tehnički pregled, preventivna zamena dotrajalih delova, obavezna prateća oprema. Ocena projekta će biti izvršena na samom kraju kroz prikazivanje i diskusiju rezultata. Sve ovo se vrši u cilju poboljšanja efikasnosti i kvaliteta poslovanja.



Slika 1. Blok dijagram

### 3.3. Primena AHP metode

Kao osnova za primenu AHP metode korišćeni su podaci dobijeni FMEA metodom pomoću koje su određeni uzroci otkaza koji će prilikom izbora, u ovoj metodi, predstavljati alternative. Dobijene alternative su upoređivane po kriterijumima važnim za poslovanje privrednog društva. Preduzeće “IK Speditor“ odlučilo je da alternative oceni po sledećim atributima: *Cena popravke otkaza*, *Vreme trajanja otkaza*, i *Frekvencija otkaza*. Za korišćenje AHP metode potrebna je Saaty-eva skala pomoću koje se dodeljuju subjektivne ocene za svaki par alternativa kojom se određuju njihove značajnosti pri čemu su ispoštovani svi aksiomi – recipročnost, homogenost, zavisnost i očekivanja.

Tabela 1. I nivo – težinski koeficijenti kriterijuma

I nivo – kriterijumi			
	Cena popravke otkaza	Vreme trajanja otkaza	Frekvencija otkaza
Cena popravke otkaza	1	4	1
Vreme trajanja otkaza	0.25	1	4
Frekvencija otkaza	1	0.25	1
	2.25	5.25	6

Upoređivanjem parova kriterijuma dolazimo do normalizacije dobijenih vrednosti kako bi se odredio odnos kriterijuma i težinski koeficijenti odnosno značajnost svakog od njih.

**Tabela 2.** Normalizovane vrednosti težina

Normalizacija					
Cena popravke otkaza	Cena popravke otkaza	Vreme trajanja otkaza	Frekvencija otkaza	$\Sigma$	Wi
Vreme trajanja otkaza	0.444	0.762	0.167	1.373	0.458
Frekvencija otkaza	0.111	0.190	0.667	0.968	0.323
	0.444	0.048	0.167	0.659	0.220

U daljim koracima dodeljuju se ocene svakom paru alternativa koje za cilj imaju određivanje normalizovanih vrednosti težina za sve kriterijume na ovom hijerarhijskom nivou. Kod dodeljivanja ocena za svaki par alternativa pravilo za metodu AHP je da po dijagonali sve vrednosti budu jednake jedinici, jer je u pitanju upoređivanje svake alternative same sa sobom. Nakon dodeljenih subjektivnih ocena, naredni korak je proračun suma elemenata kolone, koji je potreban za proračun količnika elemenata kolona sa sumom odgovarajuće kolone (svaki element kolone podeljen je sa sumom vrednosti te kolone iz prethodnog koraka). Sledeći korak za proračun normalizovanog vektora, podrazumeva proračun vrednosti u koloni  $\Sigma$  kao zbir elemenata u svakom redu, koje se dele sa brojem alternativa, čije se vrednosti upisuju u zadnjoj koloni tabele. Poslednja kolona predstavlja normalizovani vektor. Ovaj princip proračuna normalizovanih vektora primenjuje se za sve kriterijume, na istim alternativama. U poslednjoj fazi određivanja problema vrši se proračun sveobuhvatnog vektora na osnovu težina koje su dobijene prilikom normalizacije alternativa po svim kriterijumima, kao i težina dobijene normalizacijom samih kriterijuma. Za izračunavanje vektora ukupnog prioriteta koriste se matematički proračun u kome se dobija suma proizvoda (po redovima) svake vrednosti kolone i težine na kraju iste kolone. Ukupni vektor prikazuje se u poslednjoj koloni završne tabele na osnovu koga se vrši rangiranje alternativa, odnosno izbor najrizičnijeg otkaza.

**Tabela 3.** Vektor ukupnog prioriteta

III nivo – vektor ukupnog prioriteta				
	Cena popravke otkaza	Vreme trajanja otkaza	Frekvencija otkaza	Wi
Nedostatak ulja u motoru	0.423	0.349	0.022	0.311
Lom zupčanika menjača	0.190	0.237	0.030	0.170
Lom zupčanika	0.188	0.160	0.046	0.148
Otkaz spone upravljanja	0.040	0.072	0.261	0.099
Otkaz glave upravljača	0.082	0.117	0.108	0.099
Pucanje pneumatika	0.035	0.027	0.365	0.105
Pucanje creva za hidrauliku	0.042	0.038	0.168	0.069
W	0.458	0.323	0.220	

Pomoću AHP metode privredno društvo "IK Speditor" došlo je do zaključka da je najštetniji otkaz za sistem Nedostatak ulja u motoru. Za proveru da li je ovaj otkaz najštetniji menadžment kompanije doneo je odluku da pomoću Promethee metode proveri dobijene rezultate, koristeći težinske vrednosti svih kriterijuma dobijene pomoću AHP metode kao polazne podatke.

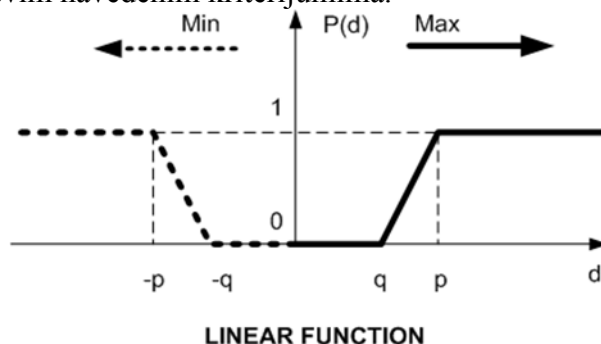
### 3.4. Primena PROMETHE metode

Sređivanjem prikupljenih podataka primenom FMEA metode o vrstama i uzrocima otkaza i dobijenim težinskim vrednostima za svaki definisani kriterijum primenom AHP metode, dobijeni su podaci za formiranje početne tabele odlučivanja za primenu PROMETHE metode prikazana tabelom 1. Takođe na osnovu dobijene dokumentacije iz “IK Speditor“ kvalitativnih podataka prikupljeni su i kvantitativni podaci o učestalosti otkaza, vremenu trajanja i ceni koštanja njihove popravke. Cilj korišćenja PROMETHE metode je za dobijanje kompletne rang liste kvarova po štetnosti za poslovanje i utvrđivanje najštetnijeg za čitav sistem.

**Tabela 4.** Početna tabela odlučivanja

<b>Korak 1</b>			
<b>Kriterijumi</b>	<b>K1</b>	<b>K2</b>	<b>K3</b>
<b>Alternative</b>	<i>Cena popravke otkaza</i>	<i>Vreme trajanja otkaza</i>	<i>Frekvencija otkaza</i>
<b>Tip kriterijuma (min/max)</b>	max	max	max
<b>Funkcija preferencije</b>	Linear	Linear	Linear
<b>Prag Q</b>	9.75	7.175	0.3
<b>Prag P</b>	58.5	43.05	1.8
<b>Jedinica</b>	hiljade dinara	sati	broj otkaza
<i>Nedostatak ulja u motoru</i>	200	144	1
<i>Lom zupčanika menjača</i>	75	48	1
<i>Lom zupčanika</i>	70	48	1
<i>Otkaz spone upravljanja</i>	6	3	2
<i>Otkaz glave upravljača</i>	25	24	1
<i>Pucanje pneumatika</i>	5	0.5	7
<i>Pucanje creva za hidrauliku</i>	13	24	2
<b>Težine – tj</b>	<b>0.458</b>	<b>0.323</b>	<b>0.220</b>

Određenja je Linearna funkcija preferencije prikazana na slici 2. Pragovi indiferentnosti Q i preferentnosti P određeni su sa 5 i 30% razlike između najveće i najmanje vrednosti po svakom zadatom kriterijumu. Tip kriterijuma je definisan sa maksimum kako bi se odredio najrizičniji otkaz po svim navedenim kriterijumima.



**Slika 2.** Prikaz funkcije preferencije

Na osnovu definisane funkcije preferencije određena je preferencija za sve alternative po svakom pojedinačno zadatom kriterijumu  $P(a_i, a_s)$ , kako bi se daljim proračunom odredio indeks preferencije (IP) za svaku alternativu (otkaz), prikazan u tabeli 2.



**Tabela 5.** Izračunavanje indeksa preferenci

	Nedostatak ulja u motoru	Lom zupčanika menjača	Lom zupčanika	Otkaz spone upravljanja	Otkaz glave upravljača	Pucanje pneumatika	Pucanje creva za hidrauliku
Nedostatak ulja u motoru	0	0.781	0.781	0.781	0.781	0.781	0.781
Lom zupčanika menjača	0	0	0	0.781	0.530	0.781	0.609
Lom zupčanika	0	0	0	0.781	0	0.781	0.595
Otkaz spone upravljanja	0.103	0.103	0.103	0	0.103	0	0
Otkaz glave upravljača	0	0	0	0.211	0	0.243	0.021
Pucanje pneumatika	0.220	0.220	0.220	0	0.220	0	0.220
Pucanje creva za hidrauliku	0.103	0.103	0.103	0	0.103	0.147	0

Korišćenjem podataka dobijenih proračunom indeksa preferencije izvršen je proračun „outranking tokova“, pozitivnog i negativnog toka i kompletan NetFlow  $\Phi(a)$  odnosno dobijen je konačan rezultat prikazan u tabeli 3.

**Tabela 6.** Konačna rang lista

	$\Phi+$	$\Phi-$	$\Phi(a)$	Rang
<i>Nedostatak ulja u motoru</i>	0.7810	0.0709	0.7101	1
<i>Lom zupčanika menjača</i>	0.4502	0.2011	0.2491	2
<i>Lom zupčanika</i>	0.4400	0.2011	0.2390	3
<i>Otkaz spone upravljanja</i>	0.0684	0.4831	-0.4147	7
<i>Otkaz glave upravljača</i>	0.0793	0.3698	-0.2905	6
<i>Pucanje pneumatika</i>	0.2200	0.4555	-0.2355	4
<i>Pucanje creva za hidrauliku</i>	0.1137	0.3712	-0.2575	5

Primenom PROMETHE metode na osnovu podataka u tabeli 3 dobijeno je da je najrizičniji otkaz nedostatak ulja u motoru, odmah iza njega slede lom zupčanika menjača i lom zupčanika čime se potvrđuje već pomenuti iskaz u FMEA metodi odnosno ono što važi u praksi za pouzdanost rada transportnih sredstava u konkretnom primeru kamiona.

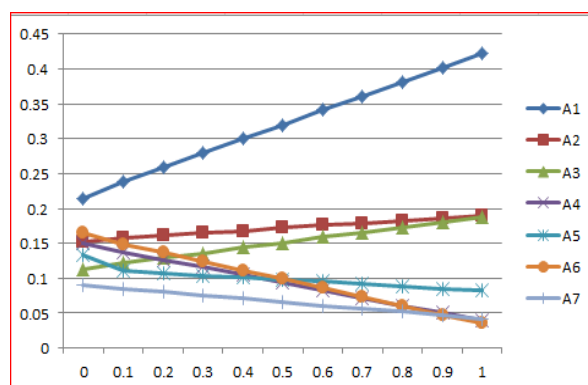
#### 4. DISKUSIJA REZULTATA

Kroz metodologiju rada primenom AHP i PROMETHEE metoda dobijeni su isti rezultati vezani za najrizičniji otkaz. Iz tabele 7 se može videti da je po sva tri navedena kriterijuma najštetniji otkaz nedostatak ulja u motoru. Dobijeni rezultati ukazuju na male razlike u rangiranju poslednja tri otkaza (otkaz glave upravljača, otkaz spone upravljanja i pucanje creva za hidrauliku).

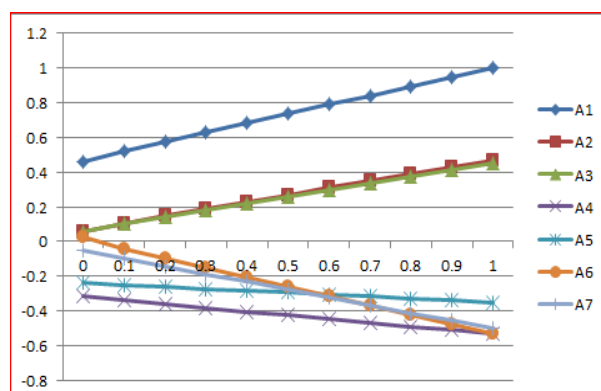
Tabela 7. Rang liste

	AHP	PROMETHEE
Nedostatak ulja u motoru	1	1
Lom zupčanika menjača	2	2
Lom zupčanika	3	3
Pucanje pneumatika	4	4
Otkaz glave upravljača	5	6
Otkaz spone upravljanja	6	7
Pucanje creva za hidrauliku	7	5

U ovom primeru izvršena je analiza osetljivosti promenom težinskih koeficijenata iz rešenja dobijenih AHP i PROMETHEE metoda. Kao najvažniji kriterijum uzeta je Cena popravke kvara čiji se težinski koeficijent menjao u rasponu od 0 do 1 (0 - najmanje važan; 1 - najznačajniji) kako bi se uvidele promene u rangiranju otkaza po rizičnosti. Sa povećanjem vrednosti težinskog koeficijenta kriterijuma Cena težine preostala dva kriterijuma se smanjuju. Vrednost težinskog koeficijenta kriterijuma Vreme trajanja otkaza u svim varijantama je veća od težina kriterijuma Frekvencija.



Slika 3. Grafički prikaz analize osetljivosti u AHP metodi



Slika 4. Grafički prikaz analize osetljivosti u PROMETHEE metodi

Na slici 3 vidi se promena ranga alternativa kada je težinska vrednost kriterijuma Cena jednaka jedinici, odnosno kada bi se alternative ocenjivale samo po ovom kriterijumu, rang alternativa bi bio: 1. Nedostatak ulja u motoru, 2. Lom zupčanika menjača, 3. Lom zupčanika diferencijala, 4. Prezub glave upravljača, 5. Pucanje creva za hidrauliku, 6. Otkaz spone upravljanja, 7. Pucanje pneumatika.

Na slici 4 prikazan je redosled alternativa kada je težinski koeficijent Cene 0,5 i tada je rang alternativa sledeći: 1. Nedostatak ulja u motoru, 2. Lom zupčanika menjača, 3. Lom

zupčanika diferencijala, 4. Pucanje pneumatika, 5. Pucanje creva za hidrauliku, 6. Prezub glave upravljača, 7. Otkaz spone upravljanja.

**Tabela 8.** Entropijske vrednosti

<b>PROMETHEE/ENTROPIJSKE VREDNOSTI</b>			
$w_j$	0.398	0.372	0,230
	Vrednosti		Rang
A1	0.6959		1
A2	0.2335		2
A3	0.2246		3
A4	-0.4121		7
A5	-0.2816		6
A6	-0.2254		4
A7	-0.2348		5

Iz tabele 8 prikazano je kako se menja sveobuhvatni vektor prioriteta ukoliko se umesto subjektivnih težina PROMETHEE metodom koriste objektivne procene dobijene proračunom entropijskih vrednosti težina za svaki navedeni kriterijum. Zamenom entropijskih težina umesto početnih u PROMETHEE metodi dobijena je ista rang lista otkaza (alternativa) po značajnosti, to jest u ovom slučaju subjektivne i objektivne težine dovode do istog krajnjeg rezultata.

## 5. ZAKLJUČAK

Preduzeće „IK Speditor“ predstavlja jedno od najuspešnijih preduzeća u pružanju transportnih usluga. Uspeh saradnje sa poslovnim partnerima zavisi od samog kvaliteta poslovanja preduzeća i iz tog razloga menadžment preduzeća je odlučio da proceni rizik otkazivanja svog transportnog sistema. Kako bi došli do zaključka o tome koji kvar transportnog sistema predstavlja najveći rizik za poslovanje, korišćene su FMEA metoda za određivanje uzroka otkaza sistema, a metode AHP i Promethee za utvrđivanje najrizičnijih otkaza. Takođe ovim metodama se odredio i redosled štetnosti otkaza na poslovanje. Kao ključni kriterijumi poslovanja uzeti su cena otklanjanja otkaza, vreme trajanja otkaza i frekvencija. Upoređivanjem najčešćih otkaza ustanovljenih na osnovu prethodnog perioda poslovanja po svim navedenim kriterijumima došlo se do zaključka da je najštetniji otkaz nedostatak ulja u motoru a odmah iza njega lom zupčanika menjača, jer ovi otkazi dovode do prestanka rada čitavog sistema. Nastanak ovih otkaza ima za posledicu najveće troškove poslovanja i najduže vreme otklanjanja kvara, dok je učestalost njihovog javljanja izuzetno mala. Analizom mogućih otkaza na osnovu dobijenih rezultata utvrđeno je da je najmanje štetan otkaz za poslovanje otkaz spone upravljanja. Primenom analize osetljivosti utvrđeno je da ukoliko se promeni vrednost težine za kriterijum cena počevši od njene najmanje značajnosti pa do najveće, najštetniji otkaz ostaje isti ali dolazi do promene značajnosti ostalih otkaza za poslovanje. Dobijanjem svih rezultata menadžment preduzeća može da poboljša svoje poslovanje uvođenjem raznih preventivnih mera u vidu redovne kontrole svog transportnog sistema. Redovan tehnički pregled, provera ulja u motoru, evidencija o eksploataciji određenih delova podsistema i stalna opremljenost rezervnim delovima.

## **APPLICATION OF AHP AND PROMETHEE METHODS FOR DETERMINING THE RELIABILITY OF THE TRANSPORT COMPANY**

**Tamara Janković, Nina Mladenović**

*University of Belgrade, Technical Faculty in Bor, Engineering Management Department  
Bor, Serbia*

---

### **Abstract**

System reliability is the basis for successful operations. In order to fulfill business goals, systems had to meet certain criteria in terms of proper operation, exploitation and maintenance. The work is based on testing the reliability of the transport system and evaluating its performance. The process of identifying problems and the possibility of solving them in this paper is presented through a primary transport company that makes a decision about the failures that can occur in the system. The type of failure specified in the assignment is based on experience that implies a repetition of the situation in the said company. Through this work, the FMEA method was used to identify alternatives which present types and causes of possible failures based on which AHP and PROMETHEE methods will be applied to determine the most risky failures for business. The most important criteria for this transport company are the cost of removing the fault, the duration of the repair and the frequency of the failure. The aim of this paper is to determine the most frequent cancellation by all criteria in order to obtain the information necessary for making decisions for improving the quality of future business.

***Keywords:*** *System Reliability, Transport problem, FMEA, AHP, PROMETHEE*

---

### **LITERATURA / REFERENCES**

- Ahn, J., Noh, Y., Park, S.H., Choi, B.I., Chang, D. (2017). Fuzzy-based failure mode and effect analysis (FMEA) of a hybrid molten carbonate fuel cell (MCFC) and gas turbine system for marine propulsion. *Journal of Power Sources*, 364, 226-233.
- Boujelbene, Y., Derbel, A. (2015). The performance analysis of public transport operators in Tunisia using AHP method. *The International Conference on Advanced Wireless, Information, and Communication Technologies (AWICT 2015)*, 73, 498-508.
- Debbarma, B., Chakraborti, P., Bose, P. K., Deb, M., Banerjee, R. (2017). Exploration of PROMETHEE II and VIKOR methodology in a MCDM approach for ascertaining the optimal performance-emission trade-off vantage in a hydrogen-biohol dual fuel endeavour. *Fuel*, 210, 922-935.
- Didem, Z., Durmusoglu, U. (2018). Assessment of techno-entrepreneurship projects by using Analytical Hierarchy Process (AHP). *Technology in Society*, 54, 41-46.
- Doan, N.A.V., Smet, Y. De. (2018). An alternative weight sensitivity analysis for PROMETHEE II rankings. *Omega*, 80, 166-174.
- Fu Y. (2019). An integrated approach to catering supplier selection using AHP-ARASMCGP methodology. *Journal of Air Transport Management*, 75, 164-169.

Ivanović, G., Stanković, D., Beker, I. (2010). Pouzdanost tehničkih sistema, Fakultet tehničkih nauka Novi Sad, Mašinski fakultet Beograd, Vojna akademija Beograd, Beograd.

Kutlu, A.C., Ekmekçioğlu, M. (2012). Fuzzy failure modes and effects analysis by using fuzzy TOPSIS-based fuzzy AHP. *Expert Systems with Applications*, 39, 61-67.

Li, Z., Chen, L. (2019). A novel evidential FMEA method by integrating fuzzy belief structure and grey relational projection method. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 77, 136-147.

Miličić, D. (2005). Pozdanost mašinskih sistema, Univerzitet u Nišu, Mašinski fakultet, Niš, 199.

Mitevska, N. (2005). Teorija odlučivanja sa primerima, Tehnički fakultet u Boru, Univerzitet u Beograd, Bor, 102.

Pavličić, D. (2014). Teorija odlučivanja, Ekonomski fakultet Beograd, Centar za izdavačku delatnost, Beograd.

Petrović, D.V., Tanasijević, M., Milić, V., Lilić, N., Stojadinović, S., Svrkota, I. (2014). Risk assessment model of mining equipment failure based on fuzzy logic. *Expert Systems with Applications*, 41, 8157-8164.

Prvulović, S., Manasijević, D. (2006). Teorija odlučivanja sa primerima, Tehnički fakultet u Boru, Bor, 195.

Živković, Ž., Nikolić, Đ. (2016) Osnove matematičke škole strategijskog menadžmenta, Tehnički fakultet u Boru, Bor, 217.