

# Analiza pouzdanosti voznog parka teretnih vozila

---

**Benja, Bože**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2020**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:119:364951>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-18**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Transport and Traffic Sciences -  
Institutional Repository](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

**BOŽE BENJA**

**ANALIZA POUZDANOSTI VOZNOG PARKA TERETNIH  
VOZILA**

**ZAVRŠNI RAD**

**Zagreb, 2020.**

Zagreb, 24. ožujka 2020.

## ZAVRŠNI ZADATAK br. 5826

Pristupnik: **Bože Benja (0135247027)**  
Studij: Inteligentni transportni sustavi i logistika  
Smjer: Logistika

Zadatak: **Analiza pouzdanosti voznog parka teretnih vozila**

Opis zadatka:

Navesti o objasniti pokazatelje pouzdanosti tehničkih sredstava. Objasniti funkcioniranje sustava održavanja, te prikazati koncepcije i modele održavanja. Napraviti analizu pouzdanosti voznog parka teretnih vozila na primjeru prijevozničkog poduzeća.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:

---

izv. prof. dr. sc. Ratko Stanković

**Sveučilište u Zagrebu**  
**Fakultet prometnih znanosti**

**ZAVRŠNI RAD**

**ANALIZA POUZDANOSTI VOZNOG PARKA TERETNIH  
VOZILA**

**Analysis of the Rolling Stock Reliability**

Mentor: izv. prof. dr. sc. Ratko Stanković

Student: Bože Benja

JMBAG: 0135247027

Zagreb, rujan, 2020.

## **SAŽETAK**

U radu je objašnjen pojam pouzdanosti i njegovi pokazatelji na primjeru voznog parka teretnih vozila odabrane prijevozničke tvrtke, te analizirani relevantni podatci. Temeljem rezultata analize izveden je zaključak o pouzdanosti voznog parka dotične tvrtke. Održavanje teretnih vozila sastoji se od niza mjera i aktivnosti koje se moraju provoditi kako bi se zadržalo njihovo optimalno stanje te kako bi se zadani ciljevi zadovoljili. Redovito održavanje vozila jedno je od glavnih mjera kako bi vozila mogla u što dužem vremenu održavati zadanu funkciju.

**KLJUČNE RIJEČI:** analiza, pouzdanost, teretna vozila, vozni park, održavanje

## **SUMMARY**

The paper explains the concept of reliability and its indicators on the example of vehicle fleet from selected transport company and analyzed relevant data. Based on the results of the analysis, a conclusion was drawn on the reliability of the fleet of the company. Maintenance of cargo vehicles consists of a series of measures and activities which must be implemented in order to maintain their optimal condition and to set goals met. Regularly maintenance is one of the main measures so that vehicles can maintain given function for as long as possible.

**KEYWORDS:** analysis, reliability, cargo vehicles, fleet, maintenance

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b> .....	1
<b>2. POJAM POUZDANOSTI</b> .....	3
2.1. Otkaz.....	7
2.2. Vrste otkaza .....	8
<b>3. POKAZATELJI POUZDANOSTI</b> .....	10
3.1 Funkcija pouzdanosti, funkcija intenziteta otkaza i gustoće otkaza .....	10
3.2. Srednje vrijeme između otkaza.....	12
3.3. Srednje vrijeme do otkaza i srednje vrijeme do prvog otkaza .....	12
3.4. Funkcije distribucije u teoriji pouzdanosti .....	13
3.4.1. Eksponencijalna distribucija.....	13
3.4.2. Weibull-ova distribucija.....	14
<b>4. ODRŽAVANJE VOZNOG PARKA TERETNIH VOZILA</b> .....	16
4.1. Korektivno održavanje vozila.....	19
4.2. Preventivno održavanje vozila.....	21
4.2.1. Preventivno održavanje po periodici ili konstantom ciklusu .....	23
4.2.2. Preventivno održavanje po stanju.....	26
<b>5. ANALIZA POUZDANOSTI VOZNOG PARKA PRIJEVOZNIČKE TVRTKE</b> .....	28
<b>6. ZAKLJUČAK</b> .....	39
<b>7. LITERATURA</b> .....	40
<b>POPIS SLIKA</b> .....	41
<b>POPIS TABLICA</b> .....	41
<b>POPIS GRAFIKONA</b> .....	41

# 1. UVOD

Tema ovog rada je izvršiti analizu pouzdanosti teretnih vozila voznog parka određene prijevozničke tvrtke. Tvrtke koje se bave cestovnim prijevozom te im je primarna djelatnost prijevoz robe imaju vlastita cestovna transportna vozila (kamioni, šleperi, kombiji i sl.) kojima obavljaju transport. Sva vozila je potrebno održavati na propisan način kako bi mogla ispunjavati svakodnevne potrebe te svakog trenutka svojeg životnog vijeka davati svoj maksimum u eksploataciji. Pouzdanost je jedna od najvažnijih funkcija kod tvrtki koje se bave prijevozom u bilo kojem obliku jer na taj način osiguravaju svoje poslovanje i učinkovitost. Cilj ovog rada je analizirati dobivene podatke, te prikazati koji su to elementi koji moraju biti zadovoljeni kako bi prijevoznička tvrtka ispravno funkcionirala. Rad je podijeljen u šest cjelina:

1. Uvod
2. Pojam pouzdanosti
3. Pokazatelji pouzdanosti
4. Održavanje voznog parka teretnih vozila
5. Analiza pouzdanosti voznog parka prijevozničke tvrtke
6. Zaključak

U drugom poglavlju je definiran pojam pouzdanosti, kao i osnovni elementi pouzdanosti, također je ukratko definiran otkaz i njegove vrste.

U trećem poglavlju navedeni su osnovni pokazatelji otkaza, grafički je prikazan njihov međusobni odnos te matematičke formule koje se odnose na njih. Navedene su i dvije najbitnije funkcije distribucije te odnos svih osnovnih pokazatelja u navedenim funkcijama.

U četvrtom poglavlju je definirano održavanje voznog parka, te su pobliže objašnjena dva osnovna tipa održavanja.

U petom poglavlju je analizirana pouzdanost i njezini osnovni pokazatelji na konkretnim primjerima dobivenih od RALU logistike te su izračuni potkrepljeni tablicama i grafikonima.

U šestom poglavlju se navode spoznaje i zaključci do kojih je došlo tijekom izrade rada i obavljanja analize.



## 2. POJAM POUZDANOSTI

Pouzdanost se do 1960-ih godina definirala kao „vjerojatnost da će element izvršiti zadanu funkciju pod utvrđenim uvjetima za utvrđeni period vremena“. Općenitija definicija pouzdanosti definirana je ISO 8402 standardom te glasi „sposobnost elementa da obavi zahtijevanu funkciju, pod zadanim okolišnim i radnim uvjetima i za utvrđeni period vremena“. U definiciji izraz „element“ označava svaku komponentu, podsustav ili sustav koji se može smatrati kao objekt. Zahtijevana funkcija može biti jedna ili kombinacija funkcija, a koja je potrebna za pružanje određene aktivnosti. Svi tehnički elementi (komponente, podsustavi, sustavi) dizajnirani su za obavljanje jedne ili više potrebnih funkcija. Kompleksni sustavi, na primjer automobil, obično imaju širok raspon potrebnih funkcija. Za procjenu pouzdanosti automobila prvo moramo odrediti traženu funkciju koju ćemo razmatrati. Tehnički elementi u sustavu moraju zadovoljavajuće raditi u određenom periodu vremena tokom stvarne primjene za koju su namijenjeni. [1]

Opće prihvaćena definicija pouzdanosti je: Pouzdanost je vjerojatnost na određenom nivou povjerenja, da će sustav uspješno obaviti zahtijevanu funkciju za koju je namijenjen, bez otkaza, i unutar granica dozvoljenih odstupanja, u projektnom ili zadanom vremenu trajanja i zadanim uvjetima okoline tj. kada se koristi na propisani način i pod specificiranim nivoima opterećenja. [2]

Teorija pouzdanosti bavi se interdisciplinarnim korištenjem vjerojatnosti, statistike, i stohastičkog modeliranja. Kao takva, teorija pouzdanosti obuhvaća probleme kao što su:

- pouzdanost modeliranja,
- optimizacija,
- inženjerstvo,
- pouzdanost u tehnologiji,
- upravljanje pouzdanošću.

Modeliranje pouzdanosti bavi se izgradnjom modela za dobivanje rješenja problema u predviđanju, procjeni i optimiziranju opstanka ili učinkovitosti nepouzdanog sustava. Bavi se i akcijama ublažavanja nepouzdanosti.

Analiza pouzdanosti bavi se procjenom pouzdanosti na temelju stvarnih podataka, koji mogu biti test podatci, operativni podaci, itd. Dijeli se na dvije kategorije: kvalitativnu i kvantitativnu. Prva je namijenjena za potvrdu različitih načina neuspjeha i načine povećanja pouzdanosti proizvoda ili sustava. Druga se temelji na stvarnim podacima neuspjeha (dobivenih, na primjer od testnog programa) i korištenjem odgovarajućih matematičkih modela za izradu kvantitativne procjene proizvoda ili sustava pouzdanosti.

Dizajnersko inženjerstvo bavi se projektiranjem i izgradnjom sustava i proizvoda. Uzima u obzir nepouzdanost njegovih dijelova i komponenti. Dizajnersko inženjerstvo također uključuje testiranje i programe za poboljšanje pouzdanosti. Dobri rezultati dizajnerskog inženjerstva daju veću pouzdanost krajnjeg proizvoda i olakšavaju održavanje.

Upravljanje pouzdanošću bavi se nadzorom aktivnosti unutar neke organizacije, tvrtke, tvornice, manje proizvodnje, itd. Neke organizacije imaju menadžera za pouzdanost, druge inženjera pouzdanosti, a u ostalima upravljanje pouzdanošću dio je funkcija upravljanja organizacijom. Nadležna osoba, zadužena za upravljanjem pouzdanošću, može se baviti upravljanjem u kontekstu projektiranja, proizvodnje, te upravljanje i održavanje pouzdanih proizvoda i sustava. Ona je također zadužena za praćenje troškova održavanja.

Oni koji ignoriraju pouzdanost unutar organizacije, manje je vjerojatno da će stvoriti pouzdan proizvod. Ne postoji jedan način organiziranja kako bi se postigla poboljšana pouzdanost proizvoda. [3]

Pouzdanost u svojoj definiciji ima četiri osnovna elementa:

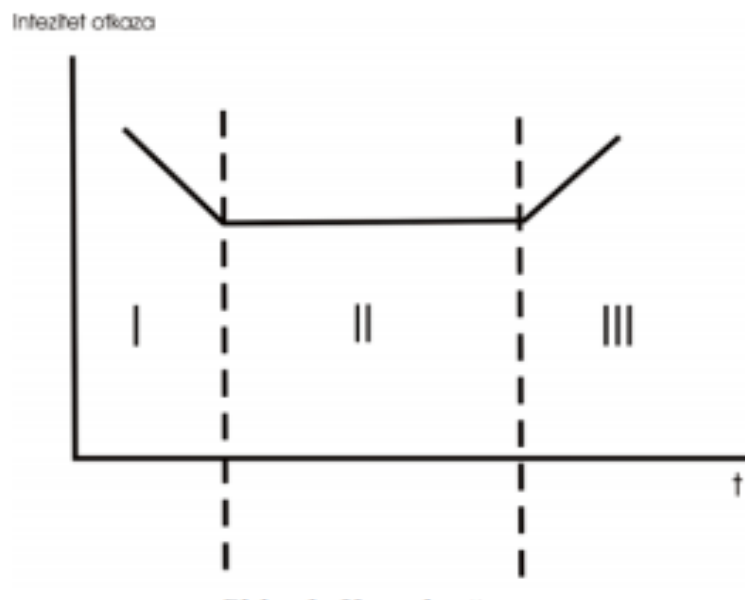
1. nivo povjerenja,
2. zahtijevana funkcija, funkcija namjene,
3. zadani uvjeti,
4. tijek zadanog perioda vremena

1. Nivo povjerenja – zbog odstupanja procjene pouzdanosti od stvarne vrijednosti uvodi se pojam nivo povjerenja. To je vjerojatnost da je neki parametar u granicama dozvoljenih odstupanja, u nekom intervalu. Ako se kaže da je pouzdanost nekog sustava 0,9 na nivou povjerenja 95% to znači da postoji rizik od 5%.

2. Zahtijevana funkcija – namjenska funkcija uključuje u sebi ne samo vrijeme rada već i definiciju otkaza. Otkazi mogu biti:

- katastrofalni (kada sustav iznenada otkaže)
- povremeni (koji se javljaju s vremena na vrijeme i nestanu)
- promjenljivi (kada sustav radi čas ispod a čas iznad dozvoljenih granica)

Sami otkaz može se dobro prikazati na tzv. krivulji života (slika 1).



Slika 1. Krivulja života

Izvor: [2]

Krivulja života je tipičan prikaz intenziteta otkaza tehničkog sustava o vremenu i to kroz životni vijek sustava. Sastoji se od tri dijela:

- prvi dio su rani otkazi,
- drugi dio su konstantni otkazi, slučajni otkazi,
- treći dio je stopa povećanih otkaza, istrošenosti

Prvi period je period tzv. "dječjih bolesti" on može biti uzrokom grešaka u proizvodnji, propusta kontrole, oštećenja u transportu isl. Ovi otkazi mogu se smanjiti i gotovo izbjeći ako se poslije proizvodnje obavi jedno prethodno puštanje u rad.

Drugi period je period "konstantnog" intenziteta otkaza. Ovdje su otkazi slučajni. Obično se opisuju Eksponencijalnom distribucijom.

Treći period je period "istrošenja". Ovdje dolazi do otkaza uslijed starosti sustava. Preventivne intervencije su ovdje najdjelotvornije, ali to zahtjeva dobro poznavanje ovog perioda.

3. zadani uvjeti - zadani uvjeti okoline imaju veliki utjecaj na vrijednost pouzdanosti. To su mehanički, električki, termički, i sl. uvjeti koji rezultiraju vibracijama, udarima, vlagom, temperaturom. Ako sustav radi stalno pod ovakvim povećanim opterećenjem vijek trajanja se smanjuje a intenzitet otkaza povećava.

4. tijekom zadanog perioda vremena - je suprotno proporcionalno pouzdanosti. To je vremenski interval za koji se želi zahtijevani rad. Ako je to vrijeme kraće tada se zadržava visoka pouzdanost. [2]

Pouzdanost ne ovisi samo o spomenutim elementima nego i o postupanjima zaposlenih prema vozilima, održavanjima te uvjetima u kojima vozila rade. Zaključno, pouzdanost je nemoguće odrediti unaprijed, ali se svakako može predvidjeti.

Ukoliko se radi o  $N$  broju vozila, nakon određenom vremena broj vozila će biti  $n_1$  (vozila koja nisu otkazala) kao i  $n_2$  (vozila koja su otkazala). Upravo se na taj način može u bilo kojem mogućem trenutku i odrediti pouzdanost voznog parka, primjenom izraza (1), (2), (3). [4]

$$N = n_1 + n_2 \quad (1)$$

$$R(t) = \frac{n_1(t)}{t} \quad (2)$$

$$R(t) = \frac{n - N(t)}{n} \quad (3)$$

Gdje je:

- $R(t)$  - pouzdanost
- $t$  - vrijeme rada

Samim time ukoliko se promatra pouzdanost cjelokupnoga vijeka prijevoznog sredstva uočljivo je kako se ponavljaju određene zakonitosti prema kojima dolazi do kvara ili pak zastoja. Ovdje je riječ o tri temeljna vremenska intervala koji su [4]:

- Interval uhadavanja –  $t_0, t_1$
- Interval normalne upotrebe –  $t_1, t_2$
- Interval dotrajnosti –  $t_2, t_3$

Metode određivanja pouzdanosti tehničkih sustava mogu se mjeriti kroz dvije metode:

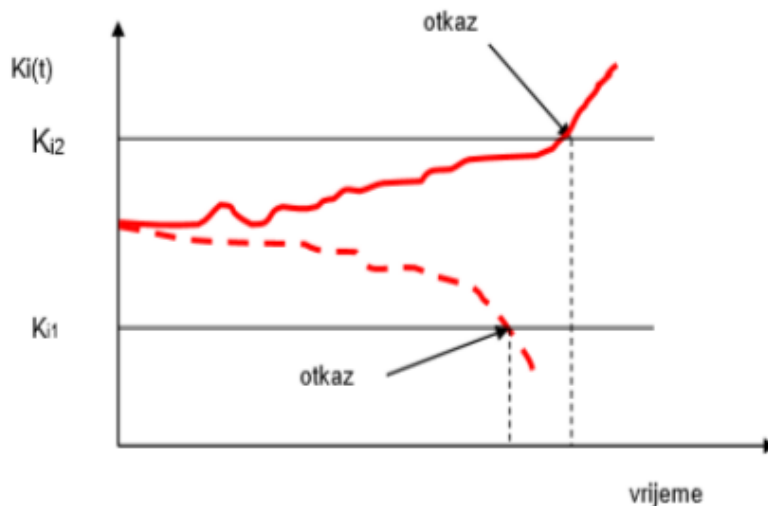
1. „**A priori**“ **metoda**- poznata je još po nazivu prediktivna metoda. U ovoj metodi pouzdanost se predviđa unaprijed, odnosno u fazi razvoja i projektiranja sustava i to na temelju poznavanja komponenti sustava i njihovih pouzdanosti.

2. „**A posteriori**“ **metoda**- ovdje se pouzdanost određuje na temelju podataka dobivenih iz eksploatacije sustava. Ta metoda vrši provjeru „a priori“ metode te omogućuje daljnju optimizaciju sustava. [5]

## 2.1. Otkaz

Otkaz (failure) predstavlja događaj poslije kojega sredstvo ne može izvršavati svoju funkciju, odnosno poslije kojega ne može na propisan način izvršavati svoju funkciju. To znači da otkaz ne mora značiti potpuni kvar, koji onemogućava rad sredstva, već i svaki događaj koji dovodi do nepropisnog, odnosno nekvalitetnog ili nesigurnog rada, izvan nekih postavljenih ili propisanih granica.

Tijekom korištenja odnosno eksploatacije motornog vozila, sredstvo može biti u dva stanja. Ta stanja su u radu i u otkazu. Tijekom stanja u radu vozilo radi bez problema i može uspješno obavljati svoje zadaće, dok za vrijeme stanja u otkazu vozilo se osposobljava kako bi se vratilo u ponovno stanje neometanog rada. [6]



Slika 2. Nastanak otkaza

Izvor: [3]

Kao što je prikazano na slici 2., funkcija  $K_i(t)$  predstavlja funkciju cilja u odnosu na koju se definira otkaz, te u trenutku kad karakteristični parametar prijeđe graničnu vrijednost nastaje otkaz.

## 2.2. Vrste otkaza

Vrste otkaza mogu biti različite, a jedna od njih je da se otkazi klasificiraju kao potpuni i djelomični. Pri tome potpuni i djelomični otkazi nastaju prema stupnju ugrožavanja funkcije. Potpuni otkazi izazivaju potpuni gubitak zahtijevane funkcije, a djelomični otkazi dovode do nedostataka neke funkcije, ali ne izazivaju potpuni gubitak zahtijevane funkcije. Prema brzini nastajanja otkaza postoje iznenadni i postupni. Iznenadni otkazi su otkazi koji se nisu mogli predvidjeti prethodnim pregledima i ispitivanjima. Postepeni otkazi su otkazi koji su se mogli predvidjeti pregledom i ispitivanjem.

Uzroci nastajanja otkaza mogu biti:

- ugrađene greške,
- pogrešna upotreba,
- zamor, starenje ili trošenje,
- primarni i
- sekundarni. [6]

Prema brzini nastajanja, stupnju narušavanja funkcije, intenzitetu i trenutku pojave otkaza, oni mogu biti:

- katastrofalni,
- degradacijski,
- rani,
- slučajni i
- kasni. [6]

### 3. POKAZATELJI POUZDANOSTI

#### 3.1 Funkcija pouzdanosti, funkcija intenziteta otkaza i gustoće otkaza

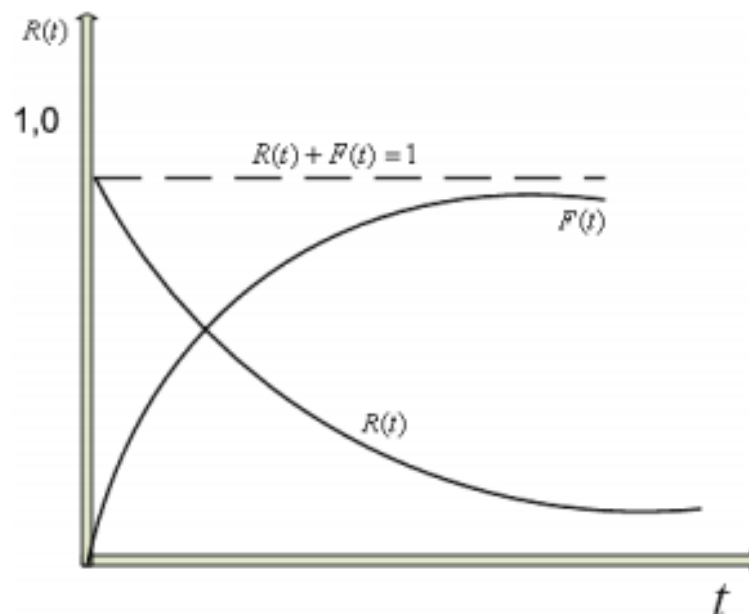
Ako je  $T$  slučajna promjenjiva veličina koja označava vrijeme pojave otkaza onda se vjerojatnost otkaza u funkciji od tog vremena  $t$  matematički može definirati izrazom (4).

$$P(T \leq t) = F(t) \quad (4)$$

gdje je  $R(t)$  funkcija pouzdanosti. Pouzdanost je vjerojatnost, što znači da je pouzdanost broj između 0 i 1. Pouzdanost definiramo kao vjerojatnost bez-otkaznog rada, odnosno kao vjerojatnost da će sustav obaviti funkciju za koju je namijenjen u određenom vremenu  $t$ , kako je zadano izrazom (5).

$$R(t) = 1 - F(t) = P(T > t) \quad (5)$$

gdje je  $F(t)$  funkcija distribucije vjerojatnosti otkaza. Funkcija  $F(t)$  može se nazvati funkcijom nepouzdanosti.



Slika 3. Odnos između funkcije pouzdanosti i vjerojatnosti otkaza

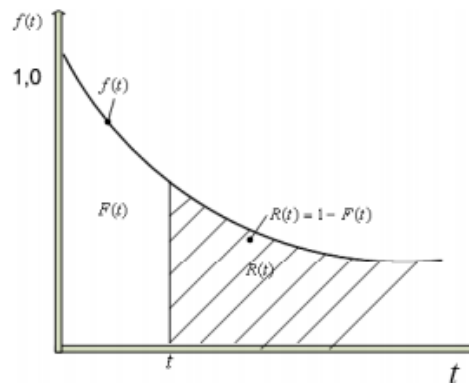
Izvor: [2]

Funkcija gustoće otkaza  $f(t)$  je gustoća vjerojatnosti bez otkaznog rada sustava do prvog otkaza, a na osnovu osnovnih zakona iz teorije vjerojatnosti zadana je izrazom (6).



$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} \quad (6)$$

Odnos funkcije pouzdanosti i vjerojatnosti otkaza prikazani su na slici 3., a njihov odnos s frekvencijom otkaza dan je na slici 4.



Slika 4. Odnos funkcije pouzdanosti, nepouzdanosti i gustoće otkaza

Izvor: [2]

Funkcija intenziteta otkaza  $\lambda(t)$  dana je izrazom (7).

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (7)$$

Značaj funkcije intenziteta otkaza je u tome što ona pokazuje promjenu intenziteta otkaza tijekom vijeka trajanja sustava. Na primjer, u promatranom vremenskom trenutku dva sustava mogu imati jednaku pouzdanost ali se intenziteti otkaza do tog trenutka promatranja mogu razlikovati. [7]

Funkcija gustoće otkaza i funkcije intenziteta otkaza nisu vjerojatnost, ali se pomoću njih mogu izračunati vjerojatnosti otkaza. Pri tome je potrebno je uočiti razliku u između funkcije gustoće otkaza  $f(t)$  i funkcije intenziteta otkaza  $\lambda(t)$ :

- bezuvjetna vjerojatnost zadana je izrazom (8).

$$p(t < T \leq t + \Delta t) = f(t) * \Delta t = \frac{N(\Delta t)}{n} \quad (8)$$

- uvjetna vjerojatnost zadana je izrazom (9).

$$p(t < T \leq t + \Delta t | T > t) = \lambda(t) * \Delta t = \frac{N(\Delta t)}{n(t)} \quad (9)$$

Funkcija	$R(t)$	$F(t)$	$f(t)$	$\lambda(t)$
$R(t)$	-	$1-R(t)$	$-\frac{dR(t)}{dt}$	$-\frac{1}{R(t)} \frac{dR(t)}{dt}$
$F(t)$	$1-F(t)$	-	$\frac{dF(t)}{dt}$	$\frac{1}{1-F(t)} \cdot \frac{dF(t)}{dt}$
$f(t)$	$\int_t^{\infty} f(t)dt$	$\int_0^t f(t)dt$	-	$\frac{f(t)}{\int_t^{\infty} f(t)dt}$
$\lambda(t)$	$e^{-\int_0^t \lambda(t)dt}$	$1 - e^{-\int_0^t \lambda(t)dt}$	$\lambda(t) \cdot e^{-\int_0^t \lambda(t)dt}$	-

Slika 5. Tablica funkcijskih veza između pokazatelja pouzdanosti

Izvor: [2]

Na slici 5. prikazana je tablica funkcijskih veza između pokazatelja pouzdanosti.

### 3.2. Srednje vrijeme između otkaza

Sustav koji se održava (popravlja) je povoljniji sustav, ima *srednje vrijeme između otkaza MTBF* (Mean–Time–Between–Failure). Pretpostavka je da popravljeni sustav ima intenzitet otkaza isto kao novi sustav. Srednje vrijeme između otkaza je jedan od najvažnijih parametara pouzdanosti sustava. Pokazuje koliko je prosječno vrijeme između otkaza te se njegovim povećanjem također povećava pouzdanost. [2]

Srednje vrijeme između otkaza ili očekivano vrijeme bez otkaznog rada dano je izrazom (10).

$$m = E(T) = \int_0^{\infty} t * f(t)dt \quad (10)$$

Promotrimo li n sustav, koji imaju i vremena otkaza  $t_1, t_2, \dots, t_n$  tada se MTBF matematički može definirati izrazom (11).

$$MTBF = \frac{t_1+t_2+\dots+t_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i \quad (11)$$

### 3.3. Srednje vrijeme do otkaza i srednje vrijeme do prvog otkaza

Srednje vrijeme do otkaza sustava ili komponente se često miješa i koristi se kao sinonim s MTBF. Iako se može koristiti za popravljive sisteme, često se koristi kao mjera pouzdanosti za nepopravljive sustave i komponente poput žarulja, tranzistora i

otpornika. Srednje vrijeme do otkaza je definirano kao srednje vrijeme do pada sustava mjereno od određene referentne točke u vremenu ili mjestu. Može se matematički izraziti jednačinom (12).

$$MTTF = \frac{\text{ukupan broj radnih sati jedinica opreme}}{\text{ukupan broj kvarova jedinica za određeno vrijeme}} \quad (12)$$

Srednje vrijeme do prvog otkaza (MTFF) je još jedna mjera pouzdanosti koja se često koristi za sustave koji pokazuju varirajuće karakteristike stope kvara suvišnih sustava. Može biti definirano kao srednje vrijeme do otkaza sustava mjereno od određene točke kada su relevantni sustavi novi i nekorisćeni.

### 3.4. Funkcije distribucije u teoriji pouzdanosti

Kod opisivanja pouzdanosti i intenziteta otkaza koriste se funkcije gustoće otkaza. Kako su funkcija pouzdanosti i funkcija intenziteta otkaza jedinstvene iz toga proizlazi da određenoj funkciji pouzdanosti pripada određena funkcija intenziteta otkaza. Funkcije gustoće otkaza biti će prikazane na osnovu dviju funkcija distribucije koje se najčešće koriste u teoriji pouzdanosti i najbolje opisuju funkciju gustoće su eksponencijalna distribucija i Weibull-ova distribucija.

#### 3.4.1. Eksponencijalna distribucija

Eksponencijalna distribucija mnogo se koristi kao matematički model za aproksimaciju perioda "konstantnog" intenziteta otkaza.

Kod eksponencijalne distribucije funkcija gustoće otkaza zadana je izrazom (13).

$$f(t) = \lambda * e^{-\lambda t}, t \geq 0, t > 0 \quad (13)$$

Izrazom (14) i (15) dana je funkcija pouzdanosti kod eksponencijalne distribucije.

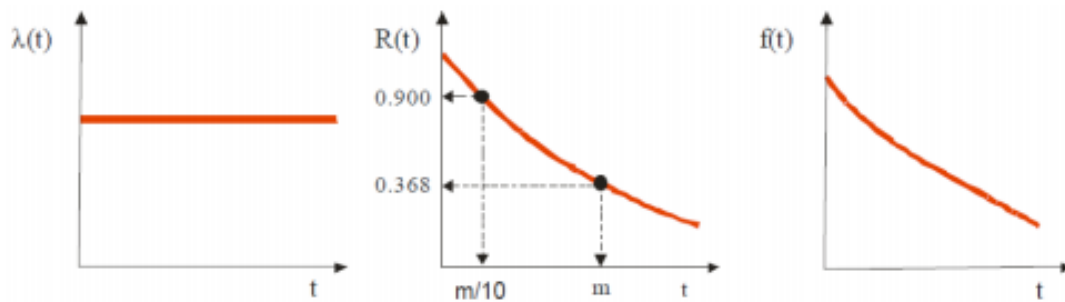
$$R(t) = 1 - F(t) = \int_t^{\infty} \lambda e^{-\lambda t} dt \quad (14)$$

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (15)$$

Funkcija intenziteta otkaza u eksponencijalnoj distribuciji ne zavisi od vremena već je konstanta i može se izraziti sljedećim izrazom (16).

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\lambda e^{-\lambda t}}{e^{-\lambda t}} = \lambda \quad (16)$$

Na slici 6. prikazani su pokazatelji pouzdanosti za eksponencijalnu funkciju.



Slika 6. Pokazatelji pouzdanosti za eksponencijalnu distribuciju

Izvor: [8]

### 3.4.2. Weibull-ova distribucija

Weibullova distribucija koristi se kod prikaza eksperimentalnih rezultata. Mnogi oblici otkaza mogu se ovom distribucijom dobro aproksimirati. S njom se mogu opisati rastuće i padajuće funkcije intenziteta otkaza, što nije slučaj s eksponencijalnom distribucijom.

Funkcija gustoće otkaza zadana je izrazom (17).

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} * e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta}}, t \geq 0, \beta > 0, \eta > 0 \quad (17)$$

gdje je:

$\beta$  – parametar oblika,

$\eta$  – parametar mjere,

$\gamma$  – parametar položaja,

$t$  – vrijeme otkaza

Weibullova distribucija kod određenih vrijednosti svojih parametara prelazi u neke druge distribucije. Oblik  $f(t)$  mijenja se s vrijednostima parametara.

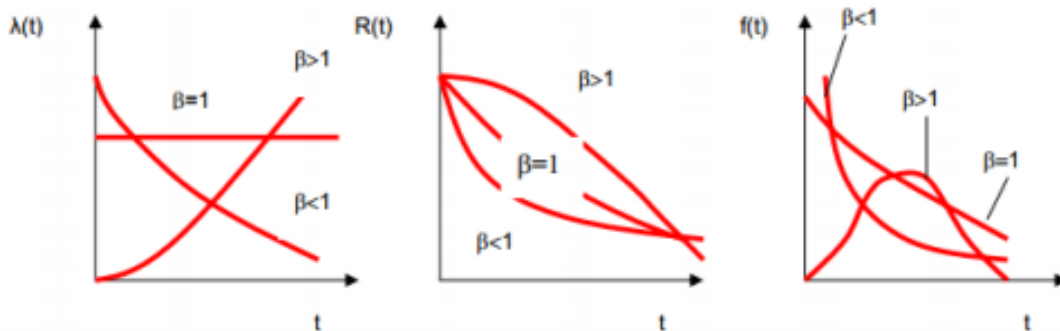
Funkcija pouzdanosti za weibullovu distribuciju je zadana je izrazom (18).

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta}} \quad (18)$$

Funkcija intenziteta otkaza zadana je izrazom (19).

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (19)$$

Intenzitet otkaza je rastuća funkcija ako je  $\beta > 1$ , a ako je  $\beta < 1$  tada je intenzitet otkaza padajuća funkcija. Kada je vrijednost  $\beta = 1$  funkcija intenziteta otkaza jednaka je eksponencijalnoj distribuciji i ne zavisi o vremenu. Na slici 7. prikazan je odnos pokazatelja pouzdanosti za Weibull-ovu distribuciju.



Slika 7. Pokazatelji pouzdanosti za Weibull-ovu distribuciju

Izvor: [8]

## 4. ODRŽAVANJE VOZNOG PARKA TERETNIH VOZILA

Održavanje je složeni organizacijsko – tehnološki sustav gdje svaki element sustava ima vlastite karakteristike i parametre stanja. Elementi sustava međusobno su povezani i ovise jedan o drugom. Dvije karakteristične koncepcije održavanja su preventivni i korektivni postupci. Značaj preventivnih postupaka je zadržati vozilo u ispravnom stanju, dok korektivni postupci imaju zadaću neispravno vozilo dovesti u ispravno stanje.

Da bi održavanje vozila tijekom eksploatacije bilo uspješno, treba ispuniti određene pretpostavke [9] :

- odgovarajuće stručno osoblje
- pričuvni dijelovi
- odgovarajući objekti i oprema
- odgovarajuća tehnička dokumentacija
- financijska sredstva za izvršenje postupaka održavanja

Osnovna obilježja sustava održavanja su:

- koncepcija
- organizacija
- tehnologija

Koncepcija je najvažnije obilježje sustava održavanja te bitno utječe na opću kvalitetu sustava održavanja. Ona je i princip donošenja odluke o vremenu i načinu provođenja aktivnosti održavanja. Dobro odabranom koncepcijom održavanja postići će se osnovni zadatak održavanja u tvrtki, a to je smanjenje zastoja vozila. Koncepcija održavanja će ovisiti o zahtjevima proizvođača, okruženju, mogućnostima korisnika, uvjetima eksploatacije. Izborom odgovarajuće koncepcije slijede sljedeći poslovi: razrada tehnoloških procesa održavanja za planirane radove, planiranje izvođenja definiranih radova i logistička potpora, praćenje stanja opreme, zastoja i troškova. Ovako se postiže osnovni cilj, a to je minimizacija zastoja uz optimalna ulaganja potrebnih resursa.

Organizacija definira razine održavanja i međuovisnosti unutar njih. Može biti linijske, hijerarhijske ili kombinirane strukture. Što je sustav složeniji on ima više kanala opsluživanja te je organizacijska struktura kompleksnija. Temeljni čimbenici su: izbor

metoda održavanja, organizacija transporta, planiranje i organizacija nadzora procesa održavanja, priprema i provedba tehnološkog procesa održavanja, praćenje motornih vozila u procesu eksploatacije, potpora pričuvnim dijelovima i agregatima, odgovarajuća kvalifikacijska struktura radne snage. Usklađenost i povezanost ovih elemenata daje optimalnu sposobnost sustava održavanja.

Tehnologija je način provođenja postupaka održavanja. Ona određuje s kojim alatom, kojim redoslijedom, u kojem vremenu i s kojim stručnim osobljem će se neki postupak obaviti. Tehnologija održavanja ovisi o konstrukcijskoj složenosti vozila, opremljenosti radionice, osposobljenosti djelatnika, koncepciji i organizaciji sustava. Problemi u tehnologiji rješavaju se metodama operacijskih istraživanja uz detaljne analize ekonomičnosti. Tehnologija može biti riješena na više načina, a izbor tehnologije je veoma bitna faza u projektiranju sustava održavanja. Na nju utječu i koncepcija i organizacija. Sustav održavanja treba projektirati jedinstveno te tražiti najpovoljnija rješenja optimizacijom, sistematizacijom i standardizacijom razina i pojedinih zahvata održavanja. [9]



Slika 8. Održavanje vozila

Izvor: [9]

Uobičajeno se pod održavanjem podrazumijeva skup različitih postupaka koji (slika 8.):

- se primjenjuju radi odgode nastanka kvara motornog vozila ili njegovog pojedinog sklopa
- sprječavanja trenutka nastanka kvara motornog vozila ili njegovog pojedinog sklopa,

- omogućavaju da se motorno vozilo ili pojedini sklop iz tzv. “stanja u kvaru” vrati u “stanje u radu”.

Razlikuju se dva osnovna koncepta održavanja vozila, a to su:

- Korektivno održavanje vozila
- Preventivno održavanje vozila

Dokazano je da primjenom korekcije stanja, odnosno intervencije održavanja nakon što je kvar nastao ne daje dobre ekonomske efekte, a nije moguće u potpunosti sagledati unaprijed koje intervencije i planske aktivnosti održavanja treba ostvariti da ne dođe do nepredvidivog zastoja rada, pa iz toga proizlazi i treći oblik održavanja a to je kombinirani. [10]

Gledano kroz vrijeme, korektivno održavanje je početni oblik održavanja koji sa razvojem podjele rada i svih drugih tehničkih disciplina ima ubrzan razvoj kao što je prikazano na slici 9. Tijekom ovog razvoja razmišlja se kako spriječiti nastajanje kvara i dolazi do razvoja drugih metoda održavanja.



Slika 9. Razvoj koncepta održavanja

Izvor: [10]

Posljednjih godina održavanje vozila postaje sve značajnije jer omogućava maksimalnu mogućnost eksploatacije motornih vozila po vremenu i vijeku trajanja uz konstantnu tehničku ispravnost koja je imperativ u današnjem cestovnom prometu.

Danas u svijetu postoji više metoda i koncepata održavanja, od kojih se mogu izdvojiti:



- korektivno održavanje
- više metoda preventivnog održavanja
- terotehnološki pristup održavanju
- logistički pristup održavanju
- totalno produktivno održavanje
- pouzdanosti usmjereno održavanje
- ekspertni sustavi
- samoodržavanje

Izbor koncepta ili metode održavanja ovisi od niza faktora (ukupne efikasnosti određene metode održavanja, vremenskih intervala izvođenja aktivnosti održavanja, ukupnih troškova i vremena izvođenja aktivnosti održavanja), te se pravilnim izborom koncepta ili metode održavanja želi postići maksimalna pouzdanost uz minimalne troškove.

#### **4.1. Korektivno održavanje vozila**

Korektivno održavanje je najstariji pristup održavanju. Metoda korektivnog održavanja nastala je s prvim počecima održavanja, a razvijala se skladno s razvojem tehnike i tehnologije. Korektivno održavanje je održavanje koje se izvodi poslije otkrivanja greške koja može a i ne mora dovesti do kvara, kada podaci o stvarnom stanju nisu poznati.

Vrijeme popravka odnosno održavanja ili zamjene dijela u kvaru i ponovno puštanje u rad nije moguće unaprijed u potpunosti odrediti, ali izvjesno je da je dužina trajanja održavanja relativno velika. Kako je pojava kvara slučajna, korektivno održavanje se ne može planirati pa su ograničene mogućnosti radova i tehničko tehnološke pripreme.

Pod korektivnim održavanjem se podrazumijeva niz aktivnosti (zahvata) potrebnih za vraćanje motornog vozila nakon pojave stanja neispravnosti u ispravno stanje, radi osposobljavanja za vršenje predviđene funkcije.

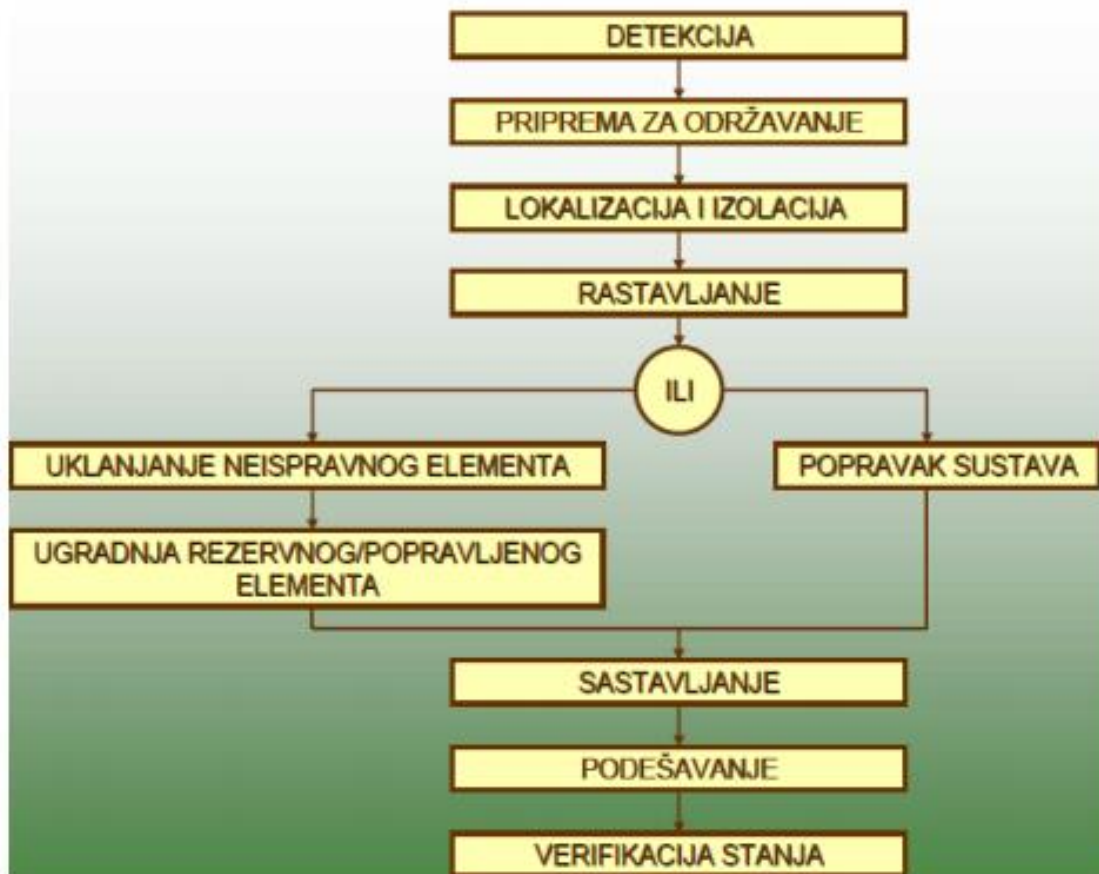
Korektivno održavanje obuhvaća slijedeće neplanske postupke:

- podešavanje,
- male ili lake popravke,
- srednje popravke,

- generalne popravke,
- zamjenu dijela,
- revitalizaciju.

Glavni postupci kod korektivnog održavanja su (slika 10.):

- otkrivanje kvara (neispravnosti),
- dijagnoza stanja,
- korektivna akcija (popravak),
- verifikacija (provjera stanja).



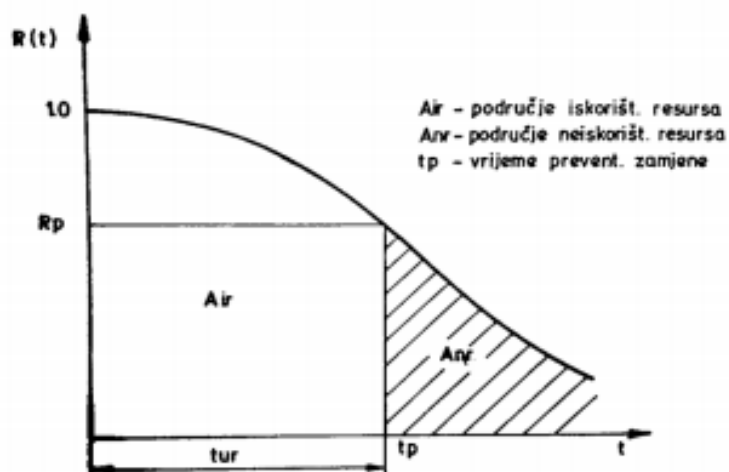
Slika 10. Korektivni ciklus održavanja

Izvor: [9]

Osnovni nedostaci korektivnog održavanja su:

- sastavni dijelovi i sklopovi iznenada ispadaju iz rada, a trenuci otkaza se ne mogu unaprijed predvidjeti,
- tokom popravka dolazi do dužih zastoja i relativno velikih troškova održavanja,
- otkaz jednog dijela ili sklopa može uzrokovati teže havarije i oštećenja sklopova ili cijelog vozila

Za razliku od preventivnog, kod korektivnog održavanja postiže se potpuno iskorištenje resursa sastavnih dijelova vozila (dio radi do kvara), nisu potrebna saznanja o stanju dijelova ili sklopova u radu (slika 11.). Posebno ekonomski pokazatelji potvrđuju nedostatke korektivnog održavanja i upućuju na potrebe uvođenja preventivnog održavanja. Danas se pristup („čekaj i vidi“) primjenjuje za pomoćnu, manje bitnu opremu, čiji zastoj ne utječe direktno na proizvodni proces [11].



Slika 11. Interpretacija metode korektivnog održavanja

Izvor: [11]

## 4.2. Preventivno održavanje vozila

Općenito preventivno održavanje u svim sektorima razvija se u Americi nakon II. svjetskog rata. Ukratko se opisuje kao održavanje po planu, prije pojave otkaza. Službe održavanja obavljaju periodične preventivne zadatke u dogovoru s pripremom proizvodnje kako bi stroj ili linija bila zaustavljena.

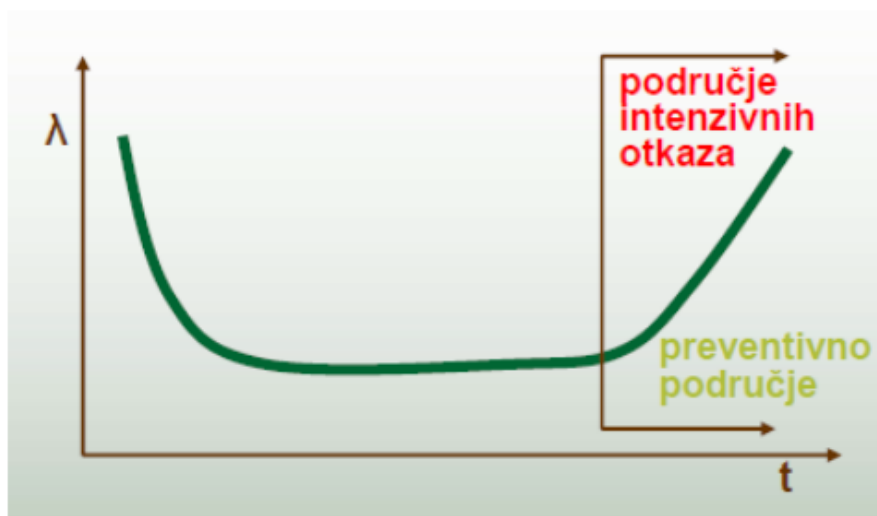
Stručnjaci su izradili univerzalni katalog svih pozicija i sklopova opreme s preporukama kad i što se preventivno obavlja. Ovaj pristup traži velika sredstva

(materijal, pričuvni dijelovi i stručnjaci) i uvjet je često plansko zaustavljanje opreme (nepovoljno za procese i visoko produktivne sustave). Iz SAD-a se proširilo po cijelome svijetu i postalo je podloga svim kasnijim suvremenim koncepcijama. [9]

Preventivno održavanje podrazumijeva niz aktivnosti koje se poduzimaju da smanje vjerojatnost pojave kvara ili slabljenja funkcionalnosti elemenata te da spriječe pojavu stanja neispravnosti, a funkcije pojedinih dijelova ili sklopova vozila budu u dozvoljenim granicama u određenom vremenskom razdoblju. Preventivne aktivnosti se, dakle, izvode prije nego što neispravnost nastane, pa zahtijevaju, za razliku od korektivnih, planiranje održavanja.

Cjelokupno preventivno održavanje se realizira kao planska operacija, prije pojave kvara, a s ciljem da se spriječi iznenadna pojava kvara i pronade i otkloni uzrok pojave kvara.

Preventivne zamjene su smislene ukoliko je element koji se zamjenjuje ušao u područje poznih otkaza (trošenje, zamor) tj. treba ih vršiti kad je element „odradio“ veći dio vijeka, kada je vjerojatnost pojave kvara u narednom periodu relativno visoka (slika 12). Ukoliko se zamjena vrši prije tog vremena, te ako se radi o skupim i složenim rezervnim dijelovima, tada se zbog neiskorištenog resursa mogu javiti relativno veliki troškovi održavanja, te je takvo preventivno održavanje neracionalno i neekonomično. Da bi se moglo definirati vrijeme potrebno je poznavati dozvoljenu razinu pada pouzdanosti kao i zakon promjene pouzdanosti u funkciji vremena.



Slika 12. Područje primjene preventivnih zamjena

Izvor: [9]

U svim slučajevima kada se od nekog vozila zahtijevaju visoka sigurnost u radu, visoka spremnost za izvršenje projektirane funkcije i relativno mali pad funkcije pouzdanosti, vrši se preventivno održavanje.

Poduzimanjem određenog broja preventivnih akcija sa konstantnom ili promjenjivom periodikom dobiva se točan uvid u tehničko stanje i umanjuje pojava kvara između dva preventivna pregleda. Kvarovi se mogu pojaviti i prije perioda preventivne zamjene, tada se to rješava sa korektivnim održavanjem, što znači da se u preventivnoj koncepciji, uz preventivne zamjene, obavljaju i određeni korektivni postupci održavanja. [10]

Postoje dva osnovna modela preventivnog održavanja a to su :

- preventivno održavanje po periodici ili konstantnom ciklusu,
- preventivno održavanje po stanju.

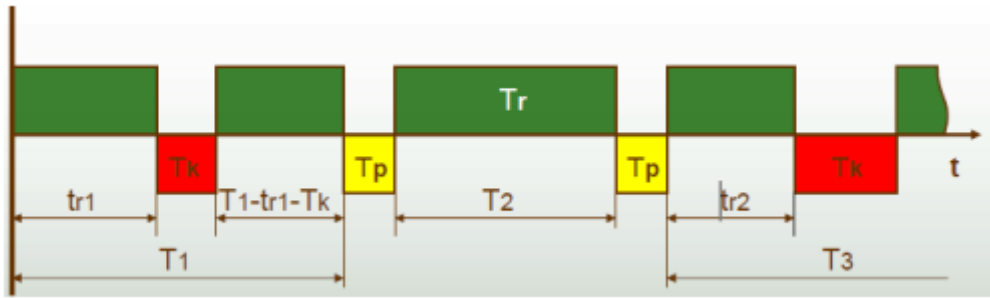
#### **4.2.1. Preventivno održavanje po periodici ili konstantom ciklusu**

Preventivni model po zadanoj periodici ili konstantnom ciklusu može se podijeliti na [9]:

- periodični model održavanja prema pojedinačnom sastavnom elementu,
- pravovremeni ili model održavanja na temelju stanja sklopa, podsklopa odnosno više sastavnih elemenata,
- adaptivni ili model na temelju stanja pojedinačnih elemenata i grupe elemenata i sklopova.

##### **4.2.1.1. Periodični (individualni) model**

Zadatak periodičnog (individualnog) modela je da pretpostavlja poznavanje podataka o raspodjeli otkaza i troškovima održavanja pojedinih sustavnih elemenata. Postupci održavanja se izvršavaju neposredno prije pojave otkaza, na temelju unaprijed definirane periodike. Optimalan je ako se svi elementi promatraju kao statistički neovisni, a intenzitet pojave otkaza svakog elementa je rastući.



Slika 13. Vremenska slika stanja periodičnog modela

Izvor: [9]

Na slici 13. može se utvrditi da tijekom eksploatacije vozila promatrani element radi ispravni, ali mu se stanje pogoršava tijekom vremena. U nekom slučajnom trenutku vremena može doći do otkaza, pa se mora obaviti korektivno održavanje prema vremenu  $T_k$ . Nakon obnavljanja, element, a i vozilo, su ispravni i izvršavaju funkciju namjene u intervalu  $T_1 - t_{r1} - T_k$ . Zatim dolazi preventivno održavanje, koje s određenim stupnjem povjerenja garantira ispravan rad u vremenu  $T_2$  do ponovnog preventivnog održavanja. Za ovakvu vremensku sliku stanja nije moguće točno predvidjeti trenutak otkaza elementa koji se preventivno zamjenjuje nakon intervala  $T_1, T_2, \dots T_i \dots$  ili nakon pojave otkaza.

Zamjena elementa prije pojave otkaza je ekonomski opravdana samo ako funkcija intenziteta otkaza raste s vremenom i ako su troškovi preventivne zamjene manji od korektivnog održavanja. Karakteristika čistog periodičnog modela je zamjena elementa kada dođe do otkaza ili nakon određenog vremena ( $T_i$ ), odnosno broja prijeđenih kilometara (zamjena ulja, filtera,...). Vremenski intervali preventivnih zamjena su jednaki.

Blok zamjena je pojam koji se može definirati ako se preventivna zamjena obavlja uvijek nakon točno precijeđenih kilometara ili vremena rada, neovisno da li je ili nije izvršena korektivna zamjena između dvije preventivne. U praksi vrijedi sekvencijalni periodički model gdje se period  $T$  stalno mijenja nakon svake zamjene, a cilj je minimalizacija troškova održavanja. Preporuča se kada se kod zamjene elemenata koji su rezultat brzih tehnoloških promjena ugrade savršeniji, kvalitetniji i pouzdaniji ugrađeni elementi poboljšavaju karakteristike cijelog vozila, a ne samo sustava [9].

Za periodični model općenito vrijedi [9]:

- interval preventivnog održavanja se karakterizira veličinom  $T$  (broj prijeđenih kilometara ili vrijeme rada)
- element se mijenja poslije isteka vremena  $T$  ili ako nastupi otkaz neovisno što se prije toga dogodilo
- intenzitet otkaza ima rastući karakter
- zamjenom elementa se smatra da je vozilo potpuno ispravno (kao novo)

#### **4.2.1.2. Pravovremeni model**

Ako su elementi međusobno stohastički ovisni, tada je opravdana i preporučljiva primjena preventivnog održavanja odnosno zamjena više sastavnih elemenata odjednom (niži troškovi nego pri pojedinačnim neovisnim zamjenama svakog elementa).

Spomenuti model je optimalan ako su raspodjele pojave otkaza sastavnih elemenata stohastički ovisne ili ako su troškovi zamjene više elemenata manji od ukupnih troškova zamjene svakog elementa pojedinačno [9].

#### **4.2.1.3. Adaptivni model**

Za razliku od periodičnog i pravovremenog modela, gdje je za određivanje vremena provedbe preventivnog održavanja neophodno [1]:

- raspolagati podacima o raspodjeli vremena do pojave otkaza pojedinih elemenata,
- podacima o troškovima održavanja.

Kod adaptivnog modela ti podaci nisu poznati već se periodika održavanja definira na temelju pretpostavljenih podataka. Ovaj se model primjenjuje kod vozila koja se tek uvode u eksploataciju pa se ti podaci skupljaju tijekom eksploatacije. Praćenjem vozila korigira se utvrđena periodika za svaki naredni preventivni pregled.

Model nije optimalan, primjenjuje se do trenutka kada se saznaj sve informacije za matematičko modeliranje i određivanje periodike pravovremenog ili periodičnog modela preventivnog održavanja.

#### **4.2.2. Preventivno održavanje po stanju**

Preventivno održavanje prema stanju izvodi se po potrebi, na temelju rezultata dijagnostike stanja i prognoze. Kako je prognoza pojave otkaza između dvije kontrole stanja, vrši se preventivna zamjena ili popravak, s toga pozitivni efekti ovakvog tipa održavanja su [9]:

- smanjenje troškova i vremena održavanja zbog blagovremenih intervencija,
- pouzdanost i operativna raspoloživost se odražavaju na zadanom nivou u okviru dozvoljenih troškova,
- lakše planiranje održavanja,
- blagovremeno uočavanja kritičnih mjesta u konstrukciji i prevencija pojave katastrofalnih otkaza,
- mogućnost usavršavanja konstrukcije uklanjanjem nedostataka i modifikacijom kritičnih elemenata.

Preventivno održavanje prema stanju dijeli se na:

- kontrola parametara stanja
- kontrola nivoa pouzdanosti

##### **4.2.2.1. Kontrola parametara stanja**

U kontrola parametara stanja spadaju stalna ili periodična kontrola i mjerenje vrijednosti parametara koji određuju stanje elemenata sklopova. Veličina koja karakterizira promjenu stanja je fizička, lako mjerljiva, transformira se i obrađuje digitalnom opremom s toga treba imati podatke o kritičnim (graničnim) nivoima s gledišta tehničkih karakteristika.

Odluka o postupcima održavanja se donosi kada vrijednosti kontroliranih parametara dostignu kritičnu granicu ili kritičan nivo.

Promjenu vrijednosti uzrokuje stohastičan proces koji se karakterizira [9]:

- funkcijom gustoće raspodjele parametara stanja
- funkcijom gustoće raspodjele stanja u otkazu



#### **4.2.2.2. Kontrola nivoa pouzdanosti**

Vozilo se koristi bez ograničenja međuremontnog resursa, ali se vrše određeni postupci održavanja radi otklanjanja nastalih otkaza sve dok se nivo pouzdanosti nalazi unutar dozvoljenih granica. Ako tijekom eksploatacije parametri pouzdanosti padnu ispod dozvoljenog (kritičnog) nivoa, vrše se aktivnosti preventivne zamjene kritičnih elemenata čime se podiže nivo pouzdanosti.

Kao mjerilo nivoa pouzdanosti najčešće se koristi intenzitet otkaza I. Za početni period primjene ove varijante, utvrđivanje dozvoljenog nivoa pouzdanosti se vrši na temelju podataka iz tekuće eksploatacije, koji se prikupljaju pri obavljanju dnevnih, tjednih, mjesečnih, kvartalnih i godišnjih preventivnih pregleda. Pretpostavka uspješnosti je razvijen informacijski sustav koji podržava održavanje vozila te blagovremen, točan i uredan unos, praćenje i obradu podataka o parametrima pouzdanosti tijekom uporabe [9].

## 5. ANALIZA POUZDANOSTI VOZNOG PARKA PRIJEVOZNIČKE TVRTKE

Tvrtka RALU logistika d.d. je jedna od vodećih prijevoznčkih tvrtki koja se, osim transportom, bavi i pružanjem logističkih usluga (skladištenjem i distribucijom) na području Hrvatske i susjednih zemalja regija. RALU logistika svoje usluge prilagođava zahtjevima i očekivanjima klijenata, od ponude cjelokupnog logističkog rješenja, do samo nekih dijelova logistike.

Integrirana logistička usluga obuhvaća primarni transport od bilo kojeg skladišta ili proizvodnog pogona s područja EU-a i Rusije, preko skladišnih manipulacija u vlastitom hladnom skladištu, samog čuvanja robe na određenim temperaturama, komisioniranja, etiketiranja, prepakiravanja i ostalih usluga s dodanom vrijednošću, do isporuke na prodajno mjesto.

Također nude i postupak 42, a to je postupak uvoznoga carinjenja dobara u slučajevima kad se zahtijeva postupak puštanja dobara u slobodni promet uz primjenu oslobođenja od plaćanja poreza na dodanu vrijednost obzirom da su dobra namijenjena poreznom obvezniku u drugoj državi članici Europske unije ili ih porezni obveznik premješta za svoje potrebe, što znači da u trenutku uvoznoga carinjenja nema plaćanja PDV-a u Republici Hrvatskoj, EU primatelj plaća PDV u državi članici EU gdje je roba namijenjena.

Ocarinjena pošiljka može direktno kod daljnjih kupaca čime se smanjuju transportni troškovi, nema dodatnih carinskih procedura koje se odnose na otpremu sa provoznom T1 deklaracijom, što skraćuje vrijeme carinskih formalnosti.

RALU Logistika obavlja logističke operacije na teritoriju Republike Hrvatske iz svojeg centralnog skladišta u Zagrebu i svoja tri regionalna skladišta koja se nalaze u Rijeci, Osijeku i u Splitu. Kapacitet modernog skladišta u Zagrebu, izgrađenog 2015. godine, u kontroliranim temperaturnim uvjetima i rasponu temperature od -25 do +25 °C (hlađeni i duboko smrznuti) iznosi 10.000 paletnih mjesta, te obuhvaća 4.000 m<sup>2</sup> cross-dock zone i zone za dodatne logističke usluge.

Tvrtka također ima sjedište i na teritoriju Republike Srbije gdje obavlja logističke operacije iz centralog skladišta u Beogradu. Kapacitet tog skladišta u kontroliranim temperaturnim uvjetima i rasponu temperature od -25 do +25 °C (hlađeni i duboko

smrznuti) iznosi 8.000 paletnih mjesta, te obuhvaća 2.000 m<sup>2</sup> cross-dock zone i zone za dodatne logističke usluge. [12]

U ovom poglavlju biti će odrađena matematička analiza pouzdanosti na primjeru voznog parka RALU logistike.

Vozila koja se analiziraju su tegljači marke MAN i Mercedes u razdoblju od 2014. do 2019.

Prijevoznačka tvrtka mijenja vozni park svake 3 godine kako bi bili u toku s vremenom i tehnologijom i bili sigurni da su vozila u skladu sa svim normama i ekološki potrebnim klasama (Euro 5 ili više).

Vozila vuku poluprikolice hladnjače za prijevoz pod kontroliranim temperaturnim režimima.

U prosjeku vozila svaka 2,5 tjedna ulaze u garažu te se vrši preventivni pregled vozila.

Popravak svih kvarova se vrši u vlastitim prostorima, odnosno tvrtka ima svoje licencirane servisere.

Svi kvarovi koji se dogode u međunarodnom prometu se rješavaju putem asistencija na putu. Redovni servisi se vrše prema specifikacijama proizvođača prema broju pređenih kilometara. Na slici 14. prikazani su MAN tegljači prijevoznačke tvrtke.



Slika 14. Vozni park MAN tegljača RALU logistike

Izvor: [12]

Promatrani period za vozni park je od 2014. do 2019. Svaki vozač u prosjeku radi 250 dana godišnje, te dnevno zakonski može voziti najviše 9 sati. Prvi korak u izračunu pouzdanosti je izračunati širinu vremenskog intervala  $\Delta(t)$  koji je zadan izrazom (20).[2]

$$\Delta(t) = \frac{t_{max} + t_{min}}{1 + 3.3 \log(n)} \quad (20)$$

Gdje je:  $t_{min}$  - vrijeme pojave prvog zastoja

$t_{max}$  - vrijeme pojave posljednjeg zastoja

Vrijeme pojave posljednjeg zastoja predstavlja vrijeme između redovitih servisa. Prema ustupljenim podacima, vozila od 2014. do 2016. po specifikaciji proizvođača redovni servis obavljaju nakon 80000km ili nakon 12 mjeseci, a vozila od 2017. do 2019. nakon 120000 ili 12 mjeseci. Radi jednostavnijeg računanja pretpostavlja se da svako vozilo jednom godišnje obavlja redovni servis. Ukupno godišnje vrijeme rada jednako je umnošku radnih dana i dopuštenog vremena rada dnevno za vozača (250\*9).

Kada se izračuna broj radnih dana i dopušteno vrijeme rada vozača dobije se  $t_{max} = 2250$  sati.

Vrijeme pojave prvog zastoja  $t_{min}$  je 0, jer mjerenje počinje nakon redovnog servisa. Broj promatranih vozila je prikazan u tablici 1.

Tablica 1. Broj promatranih vozila

Broj vozila						
Marka	2014.	2015.	2016.	2017.	2018.	2019.
MAN	86	90	88	85	86	86
MERCEDES	10	10	10	10	10	10
Ukupno:	96	100	98	95	96	96

Zbog promjene količine vozila marke MAN u promatranom peroidu radi jednostavnijeg računanja uzeta je prosječna količina koja iznosi 86,833 ~ 87 vozila. Broj promatranih vozila  $n$  tada će iznositi 97.

Uvrštavanjem u formulu (20) dobije se:

$$\Delta(t) = \frac{2250 + 0}{1 + 3.3 \log(97)} = 297.7629 \text{ sati}$$

Radi lakšeg i jednostavnijeg prikaza za širinu intervala uzeta je vrijednost od 300 sati.

U tablici 2. prikazani su otkazi vozila u vremenima rada u promatranom periodu. Vremenski interval od 300 sati podijeljen je na osam intervala, od kojih su sedam od 300 sati, a osmi interval je od 150 sati.

U tablici 3. prikazani su svi tipovi otkaza na vozilima, a u tablici 4. njihov udio prikazan u postotcima.

Tablica 2. Broj otkaza vozila po intervalima od 400 sati rada od 2014. do 2019.

interval (h)	Godine					
	2014	2015	2016	2017	2018	2019
0-300	356	442	468	357	414	465
300-600	304	412	478	312	384	405
600-900	283	266	377	248	364	354
900-1200	124	104	155	283	236	323
1200-1500	365	397	403	488	394	379
1500-1800	294	377	357	377	346	344
1800-2100	314	396	422	427	404	379
2100-2250	180	143	176	136	188	234
Σ po godini:	2220	2537	2836	2628	2730	2883
Prosječno/mjesečno/kamion:	1,9	2,1	2,4	2,3	2,4	2,5

Tablica 3. Tipovi otkaza na vozilima

Broj kvarova po tipu						
Mjesto rada	2014.	2015.	2016.	2017.	2018.	2019.
Akumulator i struja	67	51	85	131	109	115
Motor	311	330	397	368	383	360
Ispuh i podvozje	333	406	425	368	328	346
Kabina	44	76	57	53	41	86
Gume	266	279	340	342	382	375
Mehanika	444	533	596	499	546	605
Tahograf	155	203	199	184	205	216
Limarija	333	406	425	394	410	404
Ostali sitni popravci	266	254	312	289	328	375

Tablica 4. Udio kvarova prikazan u postocima

Udio (%)	2014.	2015.	2016.	2017.	2018.	2019.
Akumulator i struja	3%	2%	3%	5%	4%	4%
Motor	14%	13%	14%	14%	14%	12%
Ispuh i podvozje	15%	16%	15%	14%	12%	12%
Kabina	2%	3%	2%	2%	2%	3%
Gume	12%	11%	12%	13%	14%	13%
Mehanika	20%	21%	21%	19%	20%	21%
Tahograf	7%	8%	7%	7%	8%	8%
Limarija	15%	16%	15%	15%	15%	14%
Ostali sitni popravci	12%	10%	11%	11%	12%	13%

Prema tablici 2. vidljiva je frekvencija otkaza za promatrano razdoblje u vremenskim intervalima. Kako bi se došlo do odgovarajućih proračuna prvo je potrebno odrediti sumu otkaza po intervalu i ukupan broj otkaza.

Ukupan broj otkaza prikazan je u tablici 2.

Pouzdanost ovog sustava možemo izračunati po formuli (3).

Nepouzdanost se računa po zadanom izrazu (21).

$$F(t) = 1 - R(t) \quad (21)$$

Primjeri izračuna pouzdanosti  $R(t)$  i nepouzdanosti  $F(t)$  za 2014. godinu:

$$R(0 - 300) = \frac{2220 - 356}{2220} = 0,83964$$

$$R(300 - 600) = \frac{2220 - (356 + 304)}{2220} = 0,702703$$

$$F(0 - 300) = 1 - 0,83964 = 0,16036$$

$$F(300 - 600) = 1 - 0,702703 = 0,297297$$

Intenzitet otkaza  $\lambda(t)$  i gustoća otkaza  $f(t)$  zadani su izrazima (22) i (23).

$$\lambda(t) = \frac{N(\Delta t)}{n(t) \cdot \Delta t} \quad (22)$$

$$f(t) = \frac{N(\Delta t)}{n \cdot \Delta t} \quad (23)$$

Primjer izračuna intenziteta otkaza  $\lambda(t)$  i gustoće otkaza  $f(t)$  za 2014. godinu:  $n = 2220$ ,  $\Delta t = 300$  h, osim u osmom intervalu gdje  $\Delta t$  iznosi 150 h.

$$\lambda(0 - 300) = \frac{356}{(2220-356)*300} = 0,000637$$

$$\lambda(300 - 600) = \frac{304}{(2220-304-356)*300} = 0,00065$$

$$f(0 - 300) = \frac{356}{2220*300} = 0,000535$$

$$f(300 - 600) = \frac{304}{2220*300} = 0,000456$$

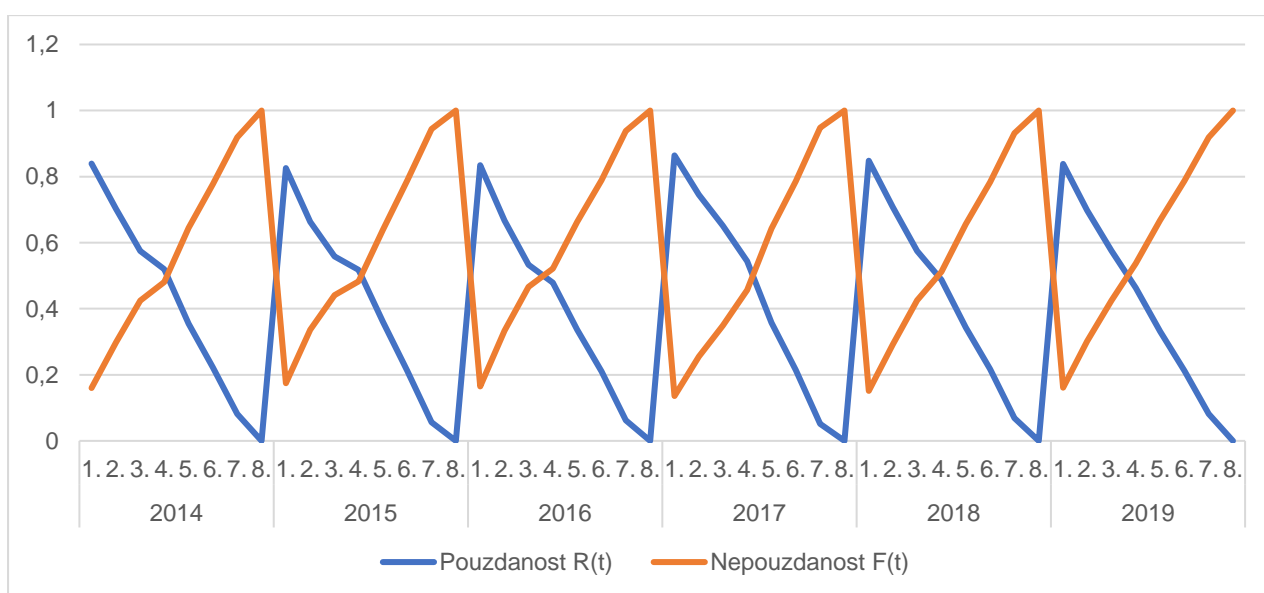
Nakon početnih izračuna za 2014. godinu, na isti način je potrebno izračunati sve parametre i za ostale godine. Kada su svi rezultati izračunati u programu Excelu dobivena je sljedeća tablica 5. i tablica 6.

Tablica 5. Izračunati podatci u programu Excel za razdoblje od 2014. do 2016.

Godina	Interval	Pouzdanost R(t)	Nepouzdanost F(t)	Gustoća otkaza f(t)	Intenzitet otkaza $\lambda(t)$
2014	1.	0,839640	0,160360	0,000535	0,000637
	2.	0,702703	0,297297	0,000456	0,000650
	3.	0,575225	0,424775	0,000425	0,000739
	4.	0,519369	0,480631	0,000186	0,000358
	5.	0,354955	0,645045	0,000548	0,001544
	6.	0,222523	0,777477	0,000441	0,001984
	7.	0,081081	0,918919	0,000471	0,005815
	8.	0	1	0,000541	+ $\infty$
2015	1.	0,825778	0,174222	0,000581	0,000703
	2.	0,663382	0,336618	0,000541	0,000816
	3.	0,558534	0,441466	0,000349	0,000626
	4.	0,517540	0,482460	0,000137	0,000264
	5.	0,361056	0,638944	0,000522	0,001445
	6.	0,212456	0,787544	0,000495	0,002331
	7.	0,056366	0,943634	0,00052	0,009231
	8.	0	1	0,000376	+ $\infty$
2016	1.	0,834979	0,165021	0,00055	0,000659
	2.	0,666432	0,333568	0,000562	0,000843
	3.	0,533498	0,466502	0,000443	0,000831
	4.	0,478843	0,521157	0,000182	0,000380
	5.	0,336742	0,663258	0,000474	0,001407
	6.	0,210860	0,789140	0,00042	0,001990
	7.	0,062059	0,937941	0,000496	0,007992
	8.	0	1	0,000414	+ $\infty$

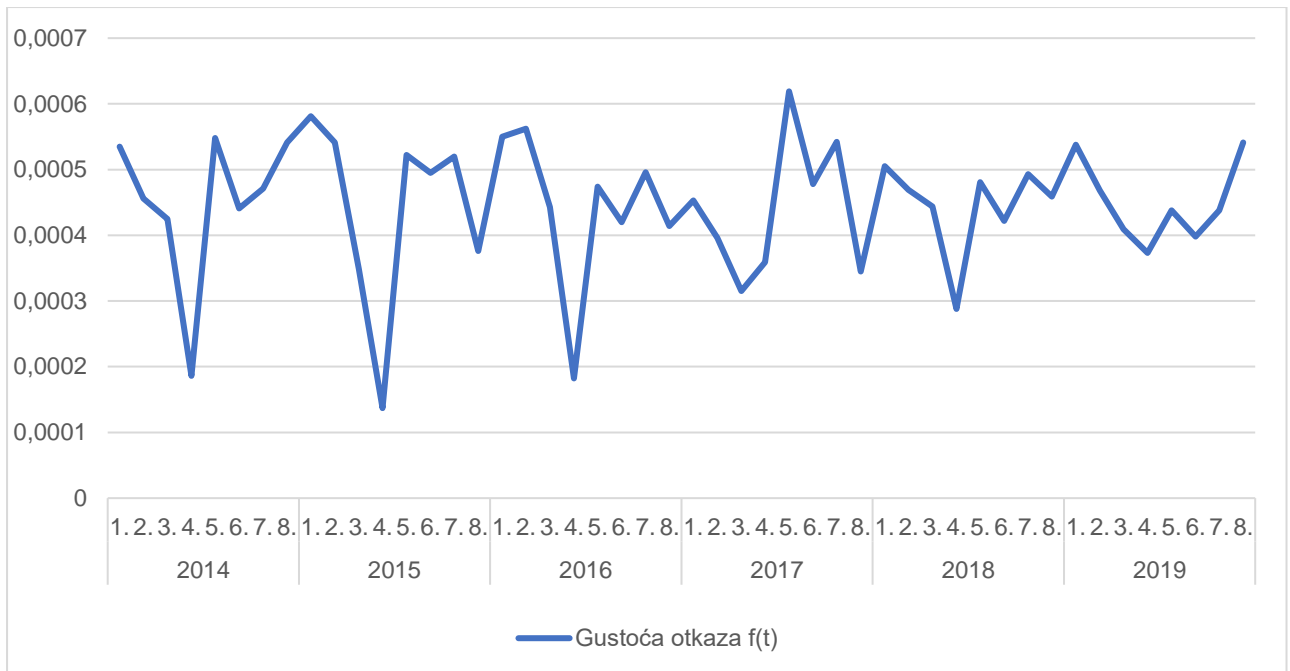
Tablica 6. Izračunati podatci u programu Excel za razdoblje od 2017. do 2019.

Godina	Interval	Pouzdanost R(t)	Nepouzdanost F(t)	Gustoća otkaza f(t)	Intenzitet otkaza $\lambda(t)$
2017	1.	0,864155	0,135845	0,000453	0,000524
	2.	0,745434	0,254566	0,000396	0,000531
	3.	0,651065	0,348935	0,000315	0,000483
	4.	0,543379	0,456621	0,000359	0,000661
	5.	0,357686	0,642314	0,000619	0,001730
	6.	0,214231	0,785769	0,000478	0,002232
	7.	0,051750	0,948250	0,000542	0,010466
	8.	0	1	0,000345	$+\infty$
2018	1.	0,848352	0,151648	0,000505	0,000596
	2.	0,707692	0,292308	0,000469	0,000663
	3.	0,574359	0,425641	0,000444	0,000774
	4.	0,487912	0,512088	0,000288	0,000591
	5.	0,343590	0,656410	0,000481	0,001400
	6.	0,216850	0,783150	0,000422	0,001948
	7.	0,068864	0,931136	0,000493	0,007163
	8.	0	1	0,000459	$+\infty$
2019	1.	0,838710	0,161290	0,000538	0,000641
	2.	0,698231	0,301769	0,000468	0,000671
	3.	0,575442	0,424558	0,000409	0,000711
	4.	0,463406	0,536594	0,000373	0,000806
	5.	0,331946	0,668054	0,000438	0,001320
	6.	0,212626	0,787374	0,000398	0,001871
	7.	0,081165	0,918835	0,000438	0,005399
	8.	0	1	0,000541	$+\infty$

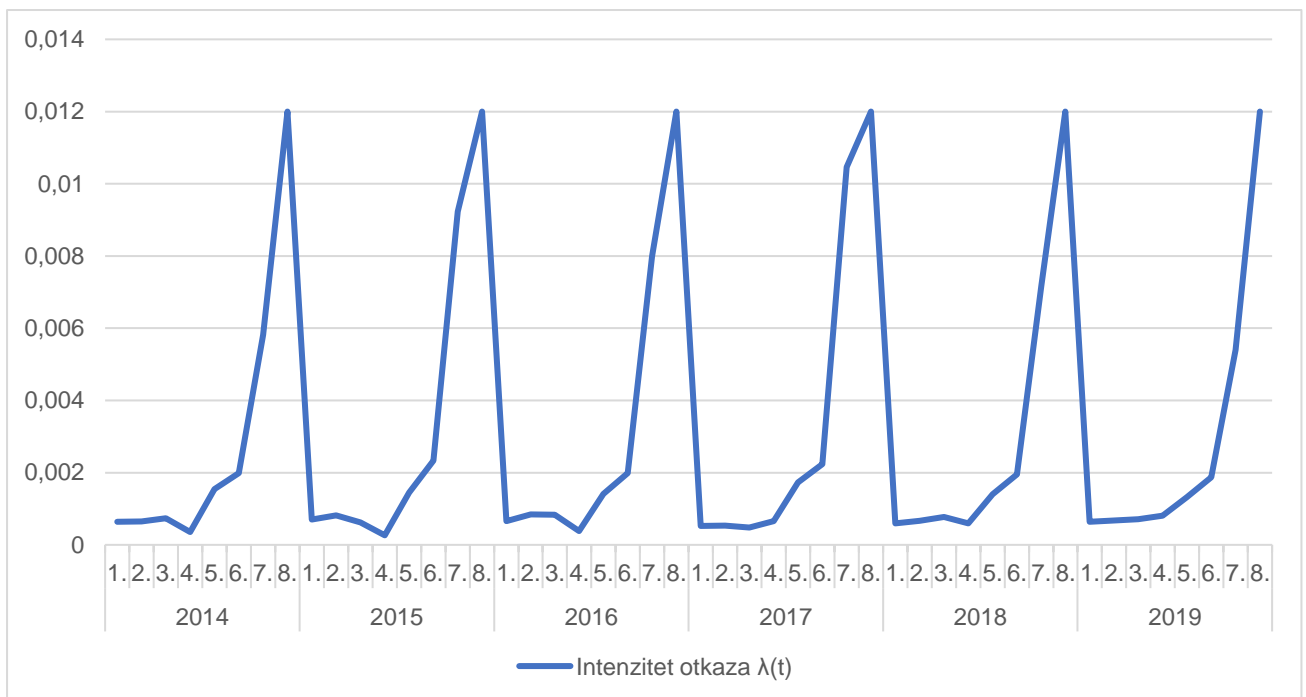


Grafikon 1. Pouzdanost i nepouzdanost u razdoblju od 2014. do 2019.





Grafikon 2. Gustoća otkaza u razdoblju od 2014. do 2019.



Grafikon 3. Intenzitet otkaza u razdoblju od 2014. do 2019.

Na grafikonu 1., grafikonu 2., i grafikonu 3. prikazani su pokazatelji pouzdanosti u razdoblju od 2014. do 2019. godine

Izrazom (24) definirana je formula za prosječan broj vozila koja su raspoloživa tokom promatranog perioda.[8]

$$i_a = \frac{h_{uk}-h_s}{h_{uk}} * i_{uk} = \frac{h}{h_{uk}} * i_{uk} \quad (24)$$

Gdje je:  $h_{uk}$  – maksimalni raspoloživi sati rada vozila za promatrani period, npr. u godina dana

$h_s$  – neraspoloživi sati rada vozila za promatrani period, npr. u godini dana

$i_{uk}$  – ukupni broj vozila

$h$  – raspoloživi sati rada vozila za promatrani period, npr. u godini dana

Maksimalni raspoloživi sati rada vozila u godini dana zadani su izrazom (25).

$$h_{uk} = \text{broj radnih dana u godini} * \text{broj radnih sati dnevno} * \text{ukupni broj vozila} \quad (25)$$

U tablici 7. upisani su podatci za neraspoložive sate rada za 97 vozila ( $h_s$ ) dobiveni od prijevoznčke tvrtke. Također su ustupljeni podatci koji pokazuju da su vozila za vrijeme obavljanja izvanrednih servisa izvan pogona 2 dana ili 48 sati. Pod izvanredne servise spadaju akumulator i struja, motor, ispuh i podvozje, mehanika, tahograf i limarija dok pod sitne popravke poput popravaka u kabini, guma, i ostalih sitnih popravaka su vozila izvan pogona 0,5 dana ili 12 sati. Sve vrste kvarova su prikazane u tablici 3.

Tablica 7. Podatci o vremenima u radu i izvan upotrebe

Godina	2014.	2015.	2016.	2017.	2018.	2019.
broj radnih dana	250	250	250	250	250	150
maksimalni raspoloživi sati voznog parka za 97 vozila( $h_{uk}$ )	218250	218250	218250	218250	218250	218250
neraspoloživi sati rada za 97 vozila ( $h_s$ )	44814	48888	54320	46172	46648	47530
raspoloživi sati rada za 97 vozila (h)	173436	169362	163930	172078	171602	170720
Broj raspoloživih vozila tijekom promatranog perioda ( $i_a$ )	77.08	75.27	72.86	76.48	76.27	75.88

Uvrštavanjem dobivenih podataka u formulu (25) za maksimalnu raspoloživi sati rada vozila za godinu dana dobijemo:

$$h_{uk} = 250 * 9 * 97 = 218250 \text{ sati}$$

Raspoloživi broj sati (h) za 2014. godinu izračunat je razlikom maksimalnog broja raspoloživih sati rada za 97 vozila ( $h_{uk}$ ) i neraspoloživim satima rada za 97 vozila ( $h_s$ ). Matematička formula za izračun prikazana je u brojniku formule (24).

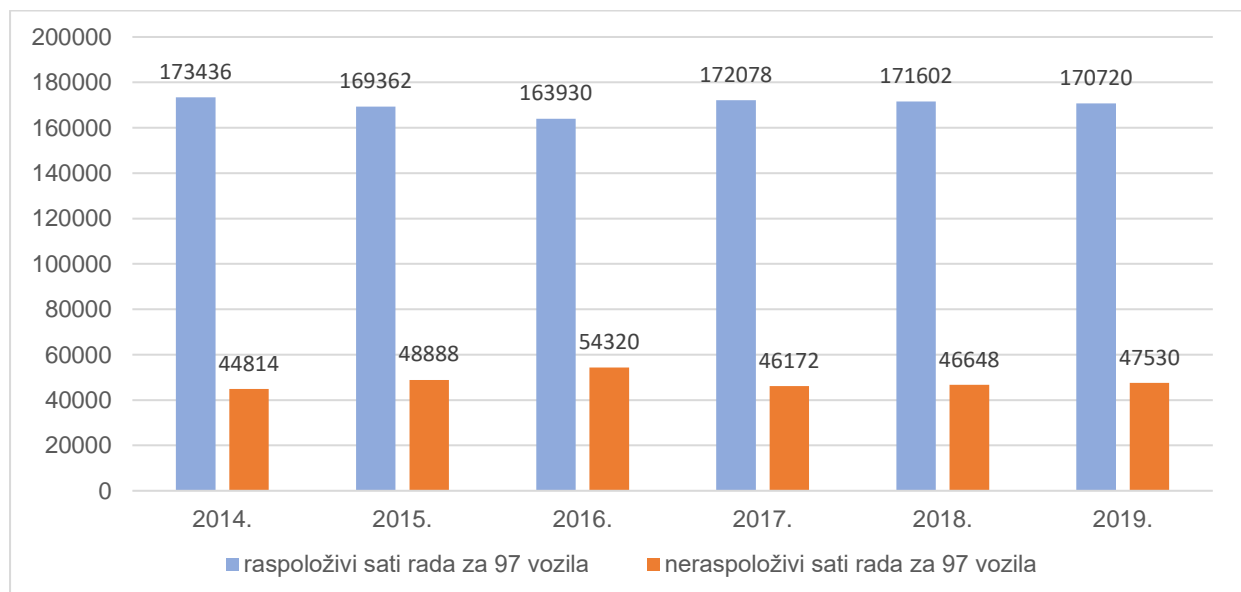
$$h = 218250 - 44814 = 173436 \text{ sati}$$

Broj raspoloživih vozila za 2014. godinu je izračunat uvrštavanjem podataka u formulu (24):

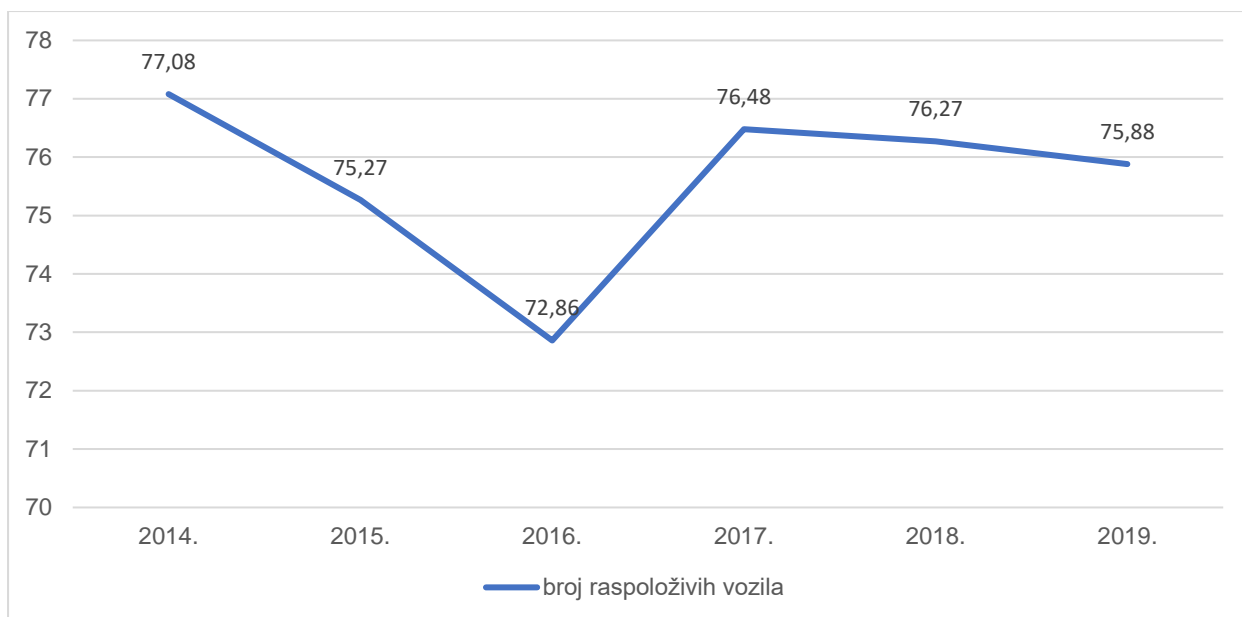
$$i_a = \frac{218250 - 44814}{218250} * 97 = 77.08 \text{ vozila}$$

Izračun za ostale godine je izračunat u programu Excel te su podatci uneseni u tablicu 7.

Na grafikonu 4. prikazan je broj raspoloživih i neraspoloživih sati. U razdoblju od tri godine može se vidjeti da broj raspoloživih sati svake godine pada, dok je broj neraspoloživih sati svake godine sve veći. 2014. i 2017. godine broj raspoloživih sati je najveći, razlog toga je promjena voznog parka svake tri godine kako bi vozila bila u što boljem stanju. Iz grafikona je vidljivo da su vozila u 2014. godini bila raspoloživa više nego vozila u 2017. godini.



Grafikon 4. Raspoloživi i neraspoloživi sati rada voznog parka



Grafikon 5. Broj raspoloživih vozila od 2014. do 2019.

Iz grafikona 5. je vidljivo kako je broj raspoloživih vozila u periodu od tri godine sve manji, te kako teretna vozila nakon određenog broja kilometara i vremena rada gube na svojstvima te češće dolazi do otkaza. No ipak, pouzdanost ovog voznog parka je veća od prikazanih rezultata jer prijevoznička tvrtka obavlja velik broj preventivnih servisa. Zbog velikog obima posla i velikog broja vozila u voznom parku tvrtka si to može dopustiti te neće imati nezadovoljne klijente radi produženja roka dostave. Upravo na tome profitiraju vozači koji obavljaju stresan posao s velikom odsutnosti od svog doma te velikog broja sati provedenih u vozilu. S čestim preventivnim servisima mala je vjerojatnost kvarova na vozilu u prometu, pogotovo kada vozači voze međunarodne rute. Zbog toga što RALU logistika d.d. ima licencirane servisere te vlastitu radionicu, sama tvrtka preventivnim pregledima i servisima štedi vlastiti novac jer ne mora plaćati asistencije na putu u slučaju kvara.

Dobiveni rezultati ovog zadatka, kao i grafikoni približno odgovaraju tipičnim funkcijama koje opisuju slučajne otkaze, tj. približno opisuju „krivulju života“. U rezultatima je vidljivo da su na krajevima intervala kvarovi najčešći. U zadnjim intervalima (sedmom i osmom) dolazi do otkaza najviše zbog istrošenosti i starenja sustava i motora. Nakon 2250 sati rada, odnosno nakon redovitog servisa u rezultatima je vidljivo da vozila vraćaju svoja svojstva praktički na prvobitno stanje.

## 6. ZAKLJUČAK

Kako bi se sam prijevoz obavio na ispravan način potrebno je osigurati sve elemente koji su za njega potrebni, a najprije to su vozila. Ukoliko je vozni park pouzdan on će biti uspješan, odnosno njegova vozila neće biti sklona kvarenju s obzirom da će zadovoljavati sve potrebne uvjete rada. Upravo radi toga je pouzdanost vozila jedna od najbitnijih stavki tvrtke koja se bavi prijevozom.

Koristeći matematičke funkcije pouzdanosti i njegovih pokazatelja te programa Excel na temelju dobivenih podataka dobivena je osnovna analiza pouzdanosti. Analizom pouzdanosti voznog parka teretnih vozila dobiveni rezultati su prikazani u statičkom i grafičkom obliku. Na temelju rezultata iz tablice 5. i tablice 6. vidljivo je da su vozila u razdoblju iz 2017. do 2019. pouzdanija nego iz 2014. do 2016. godine. Također je vidljivo da svake godine pouzdanost opada, upravo radi toga tvrtka mijenja vozila svake tri godine.

Sva vozila voznog parka tvrtke svaka 2,5 tjedna imaju preventivni pregled čime produljuju vrijeme trajanja vozila te smanjuju moguće kvarove u prometu što dovodi do zadovoljnijih klijenata te većoj uštedi.

U slučaju voznog parka, kombinirano održavanje je najbolji izbor. Kombinirano održavanje daje najbolje rezultate, upravo zato jer se temelji na kombinaciji pozitivnih segmenata za korektivno i preventivno održavanje te time smanjuje troškove održavanja.

Vlastita servisna radionica koju posjeduje RALU logistika ima prednosti poput smanjenja troškova održavanja voznog parka, popravljanja u sklopu tvrtke, uštedom vremena trajanja servisa itd.. Takva vrsta održavanja voznog parka je bolja jer se svako vozilo poslije svake rute temeljito kontrolira, bilježe se sve promjene, omogućava se lakši nadzor nad vlastitim voznim parkom i radi se plan održavanja za svako vozilo.

## 7. LITERATURA

- [1] Rausand M., Hoyland A.: System Reliability Theory: Models, Statistical Methods and Applications, Second Edition, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2004.
- [2] Mavrin I., Budimir D.: Tehnička logistika, Nastavni materijali, Fakultet prometnih znanosti, 2013.
- [3] Pavlič M., Kvalitativne i kvantitativne mjere podizanja pouzdanosti tehničkih sustava, Fakultet prometnih znanosti, 2019. (Završni rad)
- [4] Kuharić M.: Optimiranje upravljanja voznim parkom, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2015. (Diplomski rad)
- [5] Lisjak, D.: Pouzdanost tehničkih sustava, Zagreb, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Ver. 23.03.11.
- [6] Bazijanac, E., Božić, D., Budimir, D.: Tehnička logistika, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2015.
- [7] dr. N. Vujanović, dipl. ing.: Teorija pouzdanosti tehničkih sistema, Vojnoizdavački i novinski centar, Beograd, 1987.
- [8] Bazijanac E.: Tehnička eksploatacija i održavanje zrakoplova, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2007
- [9] Jurić, I.: Predavanja iz kolegija Održavanje cestovnih vozila, FPZ, Zagreb, 2017.
- [10] Sebastijanović S. Osnove održavanja strojarskih konstrukcija. Slavonski Brod: Strojarski fakultet; 2002.
- [11] Adamović, Ž., Todorović, J., Organizacija održavanja, OMO, Beograd, 1988.
- [12] <http://www.ralulogistics.com/>

## POPIS SLIKA

Slika 1. Krivulja života .....	5
Slika 2. Nastanak otkaza.....	8
Slika 3. Odnos između funkcije pouzdanosti i vjerojatnosti otkaza.....	10
Slika 4. Odnos funkcije pouzdanosti, nepouzdanosti i gustoće otkaza.....	11
Slika 5. Tablica funkcijskih veza između pokazatelja pouzdanosti .....	12
Slika 6. Pokazatelji pouzdanosti za eksponencijalnu distribuciju.....	14
Slika 7. Pokazatelji pouzdanosti za Weibull-ovu distribuciju.....	15
Slika 8. Održavanje vozila .....	17
Slika 9. Razvoj koncepta održavanja.....	18
Slika 10. Korektivni ciklus održavanja .....	20
Slika 11. Interpretacija metode korektivnog održavanja .....	21
Slika 12. Područje primjene preventivnih zamjena .....	22
Slika 13. Vremenska slika stanja periodičnog modela.....	24
Slika 14. Vozni park MAN tegljača RALU logistike .....	29

## POPIS TABLICA

Tablica 1. Broj promatranih vozila .....	30
Tablica 2. Broj otkaza vozila po intervalima od 400 sati rada od 2014. do 2019. ....	31
Tablica 3. Tipovi otkaza na vozilima.....	31
Tablica 4. Udio kvarova prikazan u postotcima .....	32
Tablica 5. Izračunati podatci u programu Excel za razdoblje od 2014. do 2016.....	33
Tablica 6. Izračunati podatci u programu Excel za razdoblje od 2017. do 2019.....	34
Tablica 7. Podatci o vremenima u radu i izvan upotrebe.....	36

## POPIS GRAFIKONA

Grafikon 1. Pouzdanost i nepouzdanost u razdoblju od 2014. do 2019. ....	34
Grafikon 2. Gustoća otkaza u razdoblju od 2014. do 2019. ....	35
Grafikon 3. Intenzitet otkaza u razdoblju od 2014. do 2019.....	35
Grafikon 4. Raspoloživi i neraspoločivi sati rada voznog parka .....	37
Grafikon 5. Broj raspoloživih vozila od 2014. do 2019.....	38



Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti  
10000 Zagreb  
Vukelićeva 4

## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj završni rad

isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu završnog rada  
pod naslovom \_\_\_\_\_

### ANALIZA POUZDANOSTI VOZNOG PARKA TERETNIH VOZILA

na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

Student/ica:

U Zagrebu, 07.09.2020

Bože Benja

(potpis)

*Bože Benja*