

# Kvalitativne i kvantitativne mjere podizanja pouzdanosti tehničkih sustava

---

**Pavlić, Matija**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2019**

*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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:168649>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-14**



*Repository / Repozitorij:*

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



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

**Matija Pavlič**

**KVALITATIVNE I KVANTITATIVNE MJERE  
PODIZANJA POUZDANOSTI TEHNIČKIH  
SUSTAVA**

**ZAVRŠNI RAD**

**Zagreb, 2019.**

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**  
ODBOR ZA ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 30. ožujka 2018.

Zavod: **Zavod za transportnu logistiku**  
Predmet: **Tehnička logistika**

## ZAVRŠNI ZADATAK br. 4770

Pristupnik: **Matija Pavlić (0135237076)**  
Studij: **Inteligentni transportni sustavi i logistika**  
Smjer: **Logistika**

Zadatak: **Kvalitativne i kvantitativne mjere podizanja pouzdanosti tehničkih sustava**

Opis zadatka:

U prvom djelu rada potrebno je definirati pouzdanost tehničkog sustava. U sljedećem djelu prikazati kvalitativne mjere za poboljšanje pouzdanosti na primjeru vozila i matematičku interpretaciju kvalitativnih mjera. U završnom dijelu analizirati učinkovitost mjera za povećanje pouzdanosti.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:

---

dr. sc. Damir Budimir

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

**ZAVRŠNI RAD**

**KVALITATIVNE I KVANTITATIVNE MJERE**  
**PODIZANJA POUZDANOSTI TEHNIČKIH**  
**SUSTAVA**

**QUALITATIVE AND QUANTITATIVE MEASURES TO**  
**INCREASE THE RELIABILITY OF TECHNICAL**  
**SYSTEMS**

Mentor: dr. sc. Damir Budimir

Student: Matija Pavlič

JMBAG: 0135237076

Zagreb, kolovoz 2019.

## **SAŽETAK:**

Tema završnog rada odnosi se na mjere podizanja pouzdanosti tehničkih sustava. U ovom radu motorno vozilo je prikazano kao tehnički sustav i na njega se odnosi analiza pouzdanosti. Na pouzdanost se može utjecati kroz kvalitativne i kvantitativne mjere. Kvalitativne mjere pouzdanosti su namijenjene za potvrdu različitih načina neuspjeha i načine povećanja pouzdanosti motornog vozila. Kvantitativne mjere pouzdanosti se temelji na stvarnim podacima neuspjeha (numeričkim podacima) i korištenjem odgovarajućih matematičkih modela. Pouzdanost motornih vozila definira se kao vjerojatnost da će se sustav izvršiti svoju predviđenu funkciju tijekom određenog vremenskog intervala, a da radi u normalnom okruženju odnosno u određenim uvjetima rada. Kroz održavanje motornih vozila ostvaruju se mjere za podizanje njihove pouzdanosti s ciljem da se vrati ili zadrži stanje u kojem mogu izvršavati zadanu funkciju.

**Ključne riječi:** pouzdanost, tehnički sustav, kvalitativne i kvantitativne mjere, održavanje, motorna vozila

## **SUMMARY:**

The theme of this final work refers to measures to increase the reliability of technical systems. In this paper, a motor vehicle is shown as a technical system and the analysis of reliability refers to it. Reliability can be affected through qualitative and quantitative measures. Qualitative reliability measures are intended to confirm different types of failures and ways of increasing motor vehicle reliability. Quantitative reliability measures are based on substantial failure data (numeric data) and the use of corresponding mathematical models. Motor vehicle reliability is defined as the probability that the system will perform its intended function over a certain period, and that it will work in a normal environment under certain operating conditions. While maintaining motor vehicles, measures are being implemented to increase their reliability with the goal of returning or retaining the system's conditions in the state in which it can perform its default function.

**KEY WORDS:** reliability, technical systems, qualitative and quantitative measures, maintenance, motor vehicle

## SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. DEFINICIJA POUZDANOSTI.....	2
2.1. Krivulja kade.....	5
2.2. Otkaz.....	6
2.3. Vrste otkaza .....	7
3. PRIKAZ KVALITATIVNE MJERE ZA POBOLJŠANJE POUZDANOSTI NA PRIMJERU MOTORNIH VOZILA.....	8
3.1. Održavanje .....	8
3.1.1. Korektivno održavanje.....	9
3.1.2. Preventivno održavanje.....	11
3.2. Autodijagnostika .....	14
3.3. Pogodnost za održavanje .....	16
3.4. Zahtjevi logističke podrške.....	17
3.5. Zahtjevi učinkovitosti.....	18
4. LJUDSKI UTJECAJ U POUZDANOSTI I ODRŽAVANJU AUTOMOBILA.....	20
5. MATEMATIČKA INTERPRETACIJA KVANTITATIVNIH MJERA.....	21
5.1. Funkcija pouzdanosti i gustoće otkaza.....	21
5.2. Srednje vrijeme između otkaza.....	23
5.3. Srednje vrijeme do otkaza i srednje vrijeme popravka .....	25
6. MATEMATIČKA ANALIZA NA PRIMJERU MOTORNIH VOZILA.....	26
7. DISKUSIJA I ZAKLJUČAK .....	35
LITERATURA.....	37
POPIS KRATICA .....	38
POPIS SLIKA .....	38
POPIS TABLICA.....	38

POPIS DIJAGRAMA.....	39
POPIS GRAFIKONA.....	39

## 1. UVOD

Tema završnog rada odnosi se na mjere povećanja pouzdanosti tehničkih sustava. U ovom radu taj tehnički sustav predstavlja motorno vozilo. Potrebno je definirati pouzdanost, te objasniti i analizirati kvalitativne i kvantitativne mjere za povećanje pouzdanosti na primjeru motornih vozila. Za proizvođača i kupca, pouzdanost je jedan od najvažnijih karakteristika koje definiraju kvalitetu proizvoda ili sustava. Visoka pouzdanost se postiže kroz dizajniranje, izbor materijala, osiguranje kvalitete, pravilno održavanje i mnoge srodne odluke i aktivnosti.

Nedostatak pouzdanosti može dovesti do značajnih troškova. U slučaju kvara velikog proizvodnog pogona, gubitak prihoda može iznositi milijune kuna dnevno. Neuspjeh svemirske letjelice može rezultirati gubitkom od nekoliko desetaka ili stotina milijuna kuna. Neuspjeh medicinskog proizvoda može uzrokovati teške ozljede ili smrt pacijenta i može imati ozbiljne pravne posljedice. Neispravan automobil od strane logističke firme može prouzročiti velike troškove u ostvarenju logističkih zadaća. Mogućnosti za postizanje visoke pouzdanosti uključuje brojne analize matematičkih i statističkih podataka, poznavanje materijala, korištenje informatičkih alata, razumijevanje i nauka o potrebnim softverima, itd. Znanstveni pristup teorije pouzdanosti počeo je za vrijeme Drugog svjetskog rata. Najveći problem tada su predstavljale vakuumske cijevi kod radara. Od tada, za poboljšanje proizvoda ali i kvalitete usluge koriste se metode poboljšanja pouzdanosti, uspostavili su se zahtjevi kvalitete i pouzdanosti za dobavljače, metode održavanja, itd. Prikupljanjem podataka o uzroku otkaza također je pomoglo u poboljšanju pouzdanosti i održavanju. Teorija pouzdanosti od tada pa do danas ima konstantan razvitak. Danas je pouzdanost dio svakodnevnog života i služi kao mjera za zadovoljstvo potrošača.



## 2. DEFINICIJA POUZDANOSTI

Svijet je u dvadeset i prvom stoljeću vrlo složen u mnogim područjima kao što su društveni, politički, ekonomski, tehnološki, i tako dalje. Ta složenost se pojavljuje u mnogim proizvodima i sustavima koji se proizvode i koriste. Očekivanja kupaca tehničkih sustava s obzirom na zahtjev da izvede svoje namijenjene funkcije (prema percepciji pouzdanost) obično su visoka i s vremenom će biti sve viša.

Pouzdanost se definira kao vjerojatnost da će sustav izvršiti svoju predviđenu funkciju (zadaću) tijekom određenog perioda, a da pri tome radi u predviđenom okruženju odnosno u određenim uvjetima rada. Veća pouzdanost znači da će vrijeme zastoja zbog održavanja biti manje, a s tim će se povećati učinkovitost i smanjiti troškovi.

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.

Pouzdanost u svojoj definiciji ima četiri osnovna elementa:

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, funkcija namjene - namjenska funkcija uključuje u sebi ne samo vrijeme rada već i definiciju otkaza. Otkazi mogu biti:

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

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.

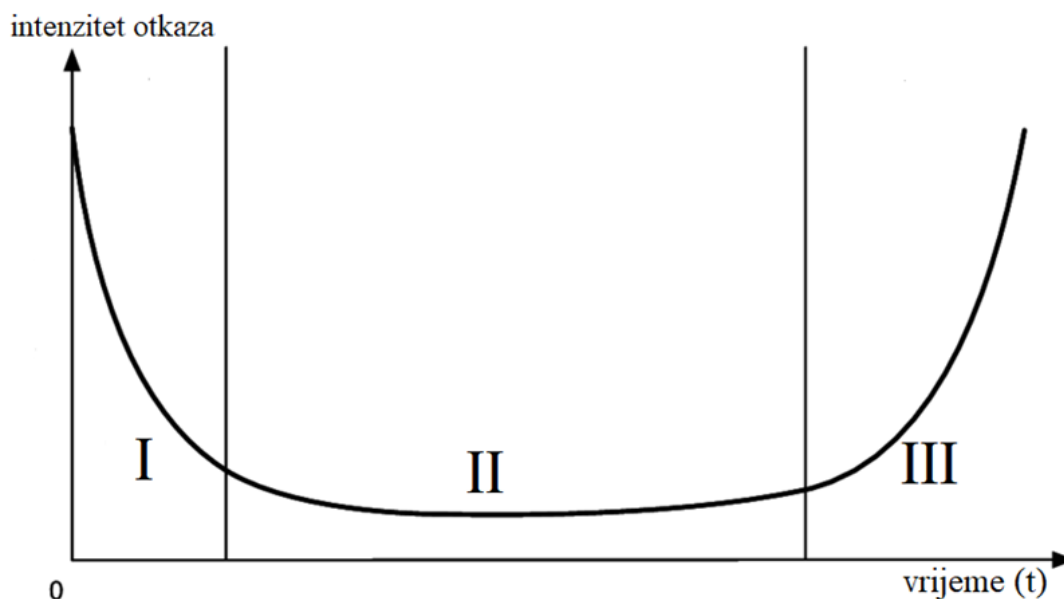
4. tijek zadanog perioda vremena - je suprotno proporcionalno pouzdanosti. To je vremenski interval za koji se želi zahtijevani rad. Ako je to vrijeme kraće tada se zadržava visoka pouzdanost. [1]

## 2.1. Krivulja kade

Krivulja kade 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.

U prvom djelu otkazi su posljedica grešaka u proizvodnji te npr. skrivenih grešaka u materijalu koja se nisu otkrila u procesu kontrole tijekom izrade. Drugi dio su konstantni otkazi koje je gotovo nemoguće izbjeći i javljaju se s manjom ili većom vjerojatnošću. Stopa povećanih otkaza uglavnom nastaje zbog istrošenosti, zbog zamora materijala, pojavom korozije, općenito procesa izazvanih starenjem.

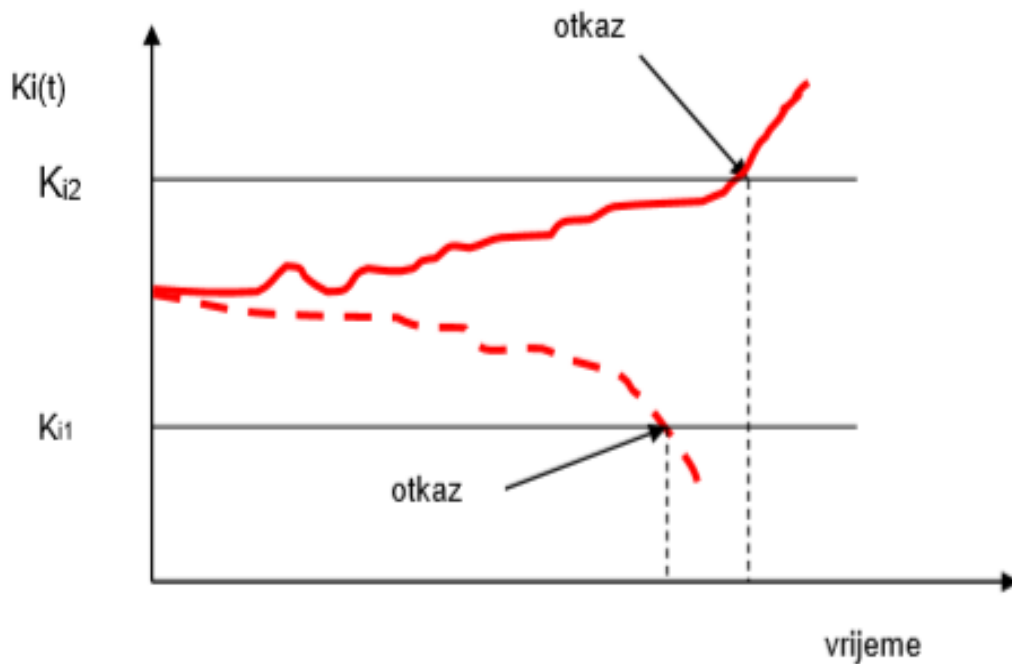


Slika 1. Krivulja kade Izvor: [1]

## 2.2. 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. [2]

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.



Slika 2. Nastanak otkaza Izvor: Mavrin, I., Budimir, D.: Tehnička logistika, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2013., str. 6

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.

### 2.3. 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. [2]

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

- katastrofalni,
- degradacijski,
- rani,
- slučajni i
- kasni. [2]

### **3. PRIKAZ KVALITATIVNE MJERE ZA POBOLJŠANJE POUZDANOSTI NA PRIMJERU MOTORNIH VOZILA**

Kvalitativne mjere za poboljšanje pouzdanosti mogu se promatrati kroz održavanje i servisiranje. Održavanje vozila može se provoditi nakon što je utvrđen neki kvar ili nakon nekog određenog vremenskog intervala, dok je servisiranje određeno u nekom intervalu danom od strane proizvođača.

#### **3.1. Održavanje**

Održavanje je skup akcija s ciljem da se sustav zadrži ili vrati u stanje u kojem izvršava zadanu funkciju. Kada se radi o održavanju, bitno je da ono bude redovito i pravilno. Tehnički pregledi vozila uključuju [1]:

- Svakodnevni pregled
- Prvi servisni pregled
- Drugi servisni pregled
- Redoviti tehnički pregled
- Izvanredni tehnički pregled
- Laki popravci
- Srednji popravci
- Generalni popravci

Održavanje se može podijeliti u 3 skupine:

- korektivno održavanje
- preventivno održavanje
- održavanje prema stanju

### 3.1.1. Korektivno održavanje

Korektivno održavanje podrazumijeva popravak sustava nakon što je sustav pretrpio kvar. Odnosno komponenta ili sustav ne obavlja predviđenu funkciju, pri čemu im se nakon korektivnog održavanja vraća zahtijevana radna sposobnost nakon otkaza.

Ovo je najčešći način održavanja koji se danas primjenjuje. Održavanje se vrši tek nakon što kvar nastupi, a često uz kvar pojedinog dijela nastaje šteta i na okolnim dijelovima i uređajima. Osim toga, pouzdanost sustava s ovim načinom održavanja je upitna, ona je direktno ovisna o pouzdanosti najslabije komponente. Nije moguće predvidjeti zastoje u radu niti vrijeme potrebno za popravak. Kako bi se izbjegli duži zastoji uslijed kvarova pri ovom načinu održavanja postoji mogućnost sa se svi dijelovi sustava skladište u pričuvi, što znatno poskupljuje održavanje.

Dijagramom toka 1. prikazane su faze korektivnog održavanja u teoriji. U praksi kod korektivnog održavanja motornih vozila koriste se sljedeće faze:

- U prvoj fazi je uočavanje otkaza- otkaz na motornom vozilu može se uočiti na instrument ploči. Moguće je i uočavanje otkaza osjetilima (vid, sluh, itd.), no tada je potrebno točno lociranje mjesta otkaza.
- Druga faza je faza dijagnoze - u toj fazi dobiva se točan uvid u stanje vozila, odnosno da li je otkaz na samo jednom djelu vozila ili na više (većina dijelova na vozilima se iskorištava u potpunosti, odnosno dok ne nastupi kvar, to znači da će biti potrebno zamijeniti dijelove).
- Treća faza je faza popravka- popravka motornog vozila (ugrađuje se onaj dio koji je otkazao)
- Četvrta faza je faza verifikacije- faza u kojoj se pokazuje ispravnost motornog vozila, ako je vozilo ispravno, vraćena mu je radna sposobnost koja je bila prije otkaza.



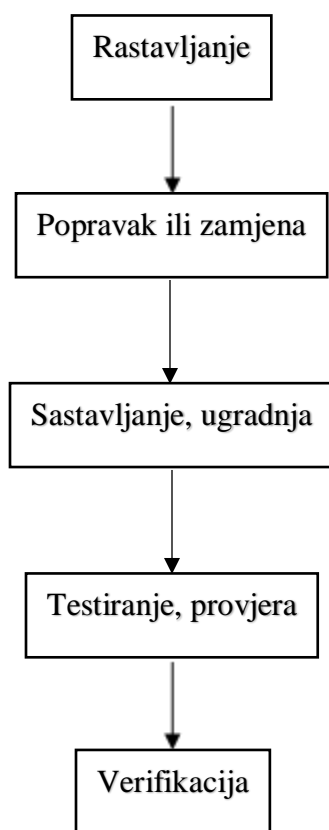


Dijagram toka 1. Prikaz faza korektivnog održavanja Izvor: [2]

### 3.1.2. Preventivno održavanje

Preventivno održavanje podrazumijeva brigu i servisiranje motornog vozila kako bi ono ostalo u zadovoljavajućim radnim karakteristikama. Preventivnim održavanjem izvodi se sustavni nadzor, detekcija i ispravak potencijalnog kvara prije nego dođe do njega. Preventivno održavanje se izvodi periodički odnosno može biti vremenski orijentirano i/ili radno orijentirano. Ako je vremenski orijentirano znači da će nakon isteka određenog vremena motorno vozilo biti pregledano i servisirano. To može biti nakon određenog broja sati, nakon tjedan dana, svakih 10 dana, jednom mjesečno i slično. Ako je radno orijentirano, motorno vozilo će se pregledati i servisirati nakon što je radilo određen period. Razlika u odnosu na vremenski orijentirano održavanje može se prikazati na sljedeći način: Neka se vozilo održava na temelju rada nakon 500 sati vožnje. Da u nekom kontinuiranom periodu odvozi 100 sati, i nakon mjesec dana odvozi još 400 sati. Vremenski je prošlo više od 500 sati, ali je vozilo ukupno radilo 500 sati i tek se tada izvodi održavanje.

Preventivno održavanje ima svoje prednosti i mane u odnosu na korektivno održavanje. Prednosti su mu: veća pouzdanost motornog vozila i njegovih komponenata u radu, mogućnost planiranja trenutka održavanja, mogućnost predviđanja troškova održavanja, samim time i bolji uvid u stanje vozila. Nedostaci su: povećani troškovi održavanja (teoretski, iako često ne i stvarni, otkaz na motornom vozilu s korektivnim održavanjem može donijeti mnogo veće troškove), povećana mogućnost kvara vozila radi utjecaja ljudske greške osoblja koje vrši održavanje. Visoki su troškovi održavanja često uzrokovani bespotrebnom zamjenom dijelova.



Dijagram toka 2. Prikaz faza preventivnog održavanja Izvor: [2]

U ovom slučaju se radi o točno određenim resursima koje je sredstvo odradilo do poduzimanja preventivnog održavanja te se zbog toga kaže da se primjenjuje tzv. "hard time" princip poduzimanja preventivnih aktivnosti. Ova vrsta održavanja je posebno prikladna za mehaničke komponente čije trošenje pokazuje dobru korelaciju s vremenom rada (ciklusima ili satima rada). [2]

Održavanje zavisno od stanja je takva vrsta održavanja gdje se akcije održavanja poduzimaju na temelju stanja sredstava, a ne nakon točno određenog radnog vijeka. Primjena ovakve vrste održavanja pretpostavlja provjeru stanja, tj. uvid u stanje sredstva. Stanje sredstva se opisuje nekim parametrom ili parametrima koji se provjeravaju, a akcija održavanja se primjenjuje pri dostizanju neke kritične vrijednosti prije nego što nastupi otkaz. [2]

Aktivnosti održavanja prema stanju su:

- mjerenje parametara stanja,
- interpretacija izmjerenih parametara stanja,
- donošenje odluke o aktivnostima održavanja koje treba poduzeti.

Održavanje motornog vozila je niz postupaka koji se obavljaju u zadanom vremenskom intervalu ili nakon što je vozilo prošlo određene udaljenosti. Intervali servisiranja su određeni od strane proizvođača, neka moderna vozila imaju indikator za sljedeći servis na elektronskoj instrumentalnoj ploči.

Stvarni raspored održavanja motornih vozila varira ovisno o godini i modelu vozila, njegovim uvjetima vožnje i ponašanja vozača. Proizvođači vozila preporučuju servisiranje vozila na temelju utjecaja parametara, kao što su:

- broj putovanja i udaljenosti putovanja po putu dnevno
- utjecaj velikih klimatskih promjena
- planinska vožnja, prašnja vožnja i vožnja po ledu
- vuča prikolice, prijevoz teškog tereta itd.

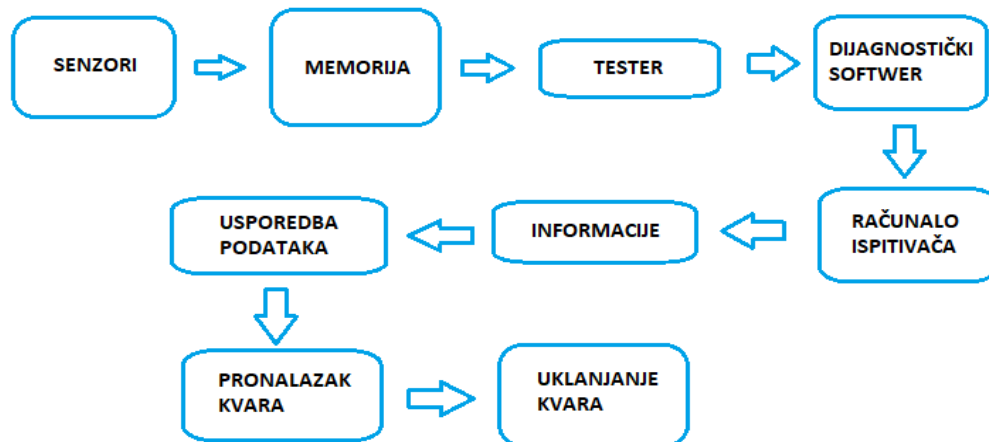
Zadaci servisiranja koje treba provoditi kako bi se povećala pouzdanost vozila su:

- promjena ulja u motoru
- zamjena filtera ulja
- zamjena zračnih filter
- zamjena filtera za gorivo
- zamjena svjećice
- provjeriti razinu i napuniti tekućinu za kočnice / spojku
- provjeriti pedalu kočnice / kočne diskove i zamijeniti ako je istrošeno
- provjeriti razinu i napuniti tekućinu servoupravljača
- provjeriti razinu i podmazati automatski / ručni mjenjač
- pogledati i zamijeniti razvodni remen ili razvodni lanac, ako je potrebno
- provjeriti stanje guma
- provjeriti pravilan rad svih svjetala, brisača itd.
- pranje vozila i čišćenje interijera, itd.

## 3.2. Autodijagnostika

Kod održavanja vozila, koristi se autodijagnostika kojom se utvrđuje stanje vozila ili dijela vozila bez demontiranja. Zamisao autodijagnostike je mjerenje stanja sustava, odnosno mjerenje nekog parametra. Izmjereni dijagnostički parametri se uspoređuju s definiranim vrijednostima, te se donosi odluka o stanju sustava. Nadalje da li je potrebno zamijeniti ili popraviti neke komponente. Autodijagnostika se može obavljati stalno, obavlja ju neki uređaj ili se može obavljati u zadanim vremenskim intervalima, obavlja ju čovjek ili uređaj. Osnovne metode autodijagnostike su: vizualne metode, ispitivanje buke i šuma, magnetske metode, kapacitivne metode, mjerenja vibracija i druge. Osnova autodijagnostike zasniva se na tome da svaki modul u automobilu (motor, ABS, itd.) ima memoriju u kojoj se zapisuju sve greške ili kvarovi koji su nastali tijekom vožnje. Uz pomoć autodijagnostičkog programa ti podatci se mogu vidjeti iz memorije pa je kvar vrlo lako pronaći.

Na elektronskim reguliranim sustavima današnjih automobila nije moguće izvršiti dijagnostiku bez povezivanja računala na vozilo. Kada računalo registrira neku grešku, zapisuje kodove pogrešaka u svoju memoriju. Kôd se sastoji od broja i od oznake (slovna oznaka), te od kratkog opisa. Kôd upućuje korisnika (npr. automehaničara) na pogrešku u točno određenom dijelu sustava, ali to ne znači da pokazuje koji dio treba zamijeniti. Korisnik započinje s dijagnozom i traži pogrešku na onom dijelu vozila na kojem mu je ukazao kôd greške. Koristeći tehničke informacije korisnik počinje s nizom mjerenja; to su mjerenja napona i otpora na pojedinom strujnom krugu. Uspoređivanjem podataka dobivenih mjerenjem i tehničkih informacija proizvođača automobila dolazi se do rješenja i utvrđivanja mjesta kvara na sustavu. Dijagnostički programi mogu prikazivati fizičke veličine tijekom rada motora ili vožnje, kao npr. broj okretaja, pritisak ulja, temperatura motora, volumen usisnog zraka, tlak turbine, potrošnja goriva, fazni pomak, itd.



Slika 3. Postupak autodijagnostike u otklanjanju kvara na vozilu

Softver koji se koristi za autodijagnostiku se naziva Actia Multi-Diag. Moguće je koristiti softver na više od 40 marki vozila. Ispitivač se spaja na automobil pomoću kabela, a na računalo može pomoću kabela ili bluetootha. Nakon odabira proizvođača automobila, dijagnostika se može provesti za različite module automobila npr. održavanje, klima uređaj, kotači, ovjes, motor, sustav ispuha ,katalizator itd.



Slika 4. Sučelje autodijagnostičkog softvera Actia Multi-Diag Izvor: <https://the-best-manuals-online.com/products/actia-multi-diag-i-2016-sp4-multilanguage-all-cars-diagnostics-software>

### 3.3. Pogodnost za održavanje

Pogodnost za održavanja (maintainability) je karakteristika sustava da se pod određenim uvjetima upotrebe, može zadržati u radnom stanju ili vratiti u radno stanje prije otkaza. Mjeri se prosječnim vremenom provedenim na održavanju, učestalošću akcija održavanja, ustrojem nove potpore ili uklapanjem novih sredstva u postojeći sustav održavanja i troškovima održavanja.

Srednje vrijeme korektivnog održavanja (Mean Corrective Maintenance Time- Mct) je vrijeme potrebno da se neispravan sustav dovede u potpuno ispravno stanje, a predstavlja aritmetičku sredinu vremena pojedinačnih ciklusa.

$$Mct = \frac{\sum_{i=1}^n Mct_i}{n} \quad (1)$$

$n$ - broj korektivnih održavanja u promatranom vremenu

$Mct_i$ - aktivno vrijeme korektivnog održavanja kod  $i$ -tog održavanja

Za razliku od srednjeg korektivnog vremena održavanja, koje kao vrijeme zastoja uključuje aktivno vrijeme održavanja, logističko vrijeme i administrativno vrijeme, srednje vrijeme preventivnog održavanja (Mean Preventive Maintenance Time- Mpt) uključuje samo aktivno vrijeme održavanja. To vrijeme može biti vrijeme podešavanja, kalibracije, inspekcije, remonta, itd. Srednje vrijeme preventivnog održavanja se odnosi na aktivnosti koje su potrebne za zadržavanje sustava na posebnom nivou djelatnosti.

Formula za srednje vrijeme preventivnog održavanja glasi:

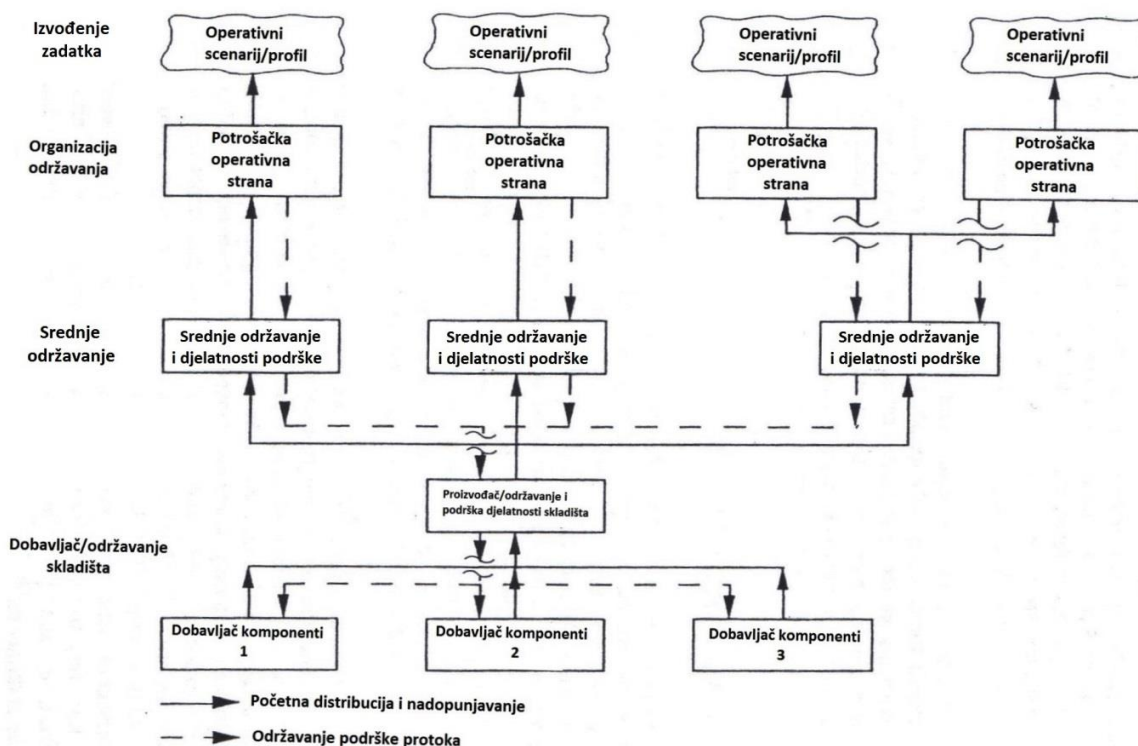
$$Mpt = \frac{\sum_{i=1}^n fpt_i \cdot Mpt_i}{\sum_{i=1}^n fpt_i} \quad (2)$$

$fpt_i$ -učestalost preventivne aktivnosti  $i$ -te komponente

$Mpt_i$ -aktivno vrijeme preventivnog održavanja  $i$ -te komponente

### 3.4. Zahtjevi logističke podrške

Kao dio početnog koncepta održavanja, kriterij dizajna mora se uspostaviti u korelaciji s raznim elementima logističke podrške. Ovi elementi uključuju podršku opskrbe (dijelova i popravka dijelova, zalihe dijelova itd.), test i pomoćnu opremu, osoblje i obuku, prijevoz i rukovanje opremom, objekte, podatke i računalne resurse. Proces održavanja sustava pregledom literature može se prikazati blok dijagramom kao na slici 5.[3]



Slika 5. Proces održavanja sustava (aktivnosti) Izvor: Blanchard, BS, System Engineering Management, John Wiley & Sons, NY, 1991, str.28.

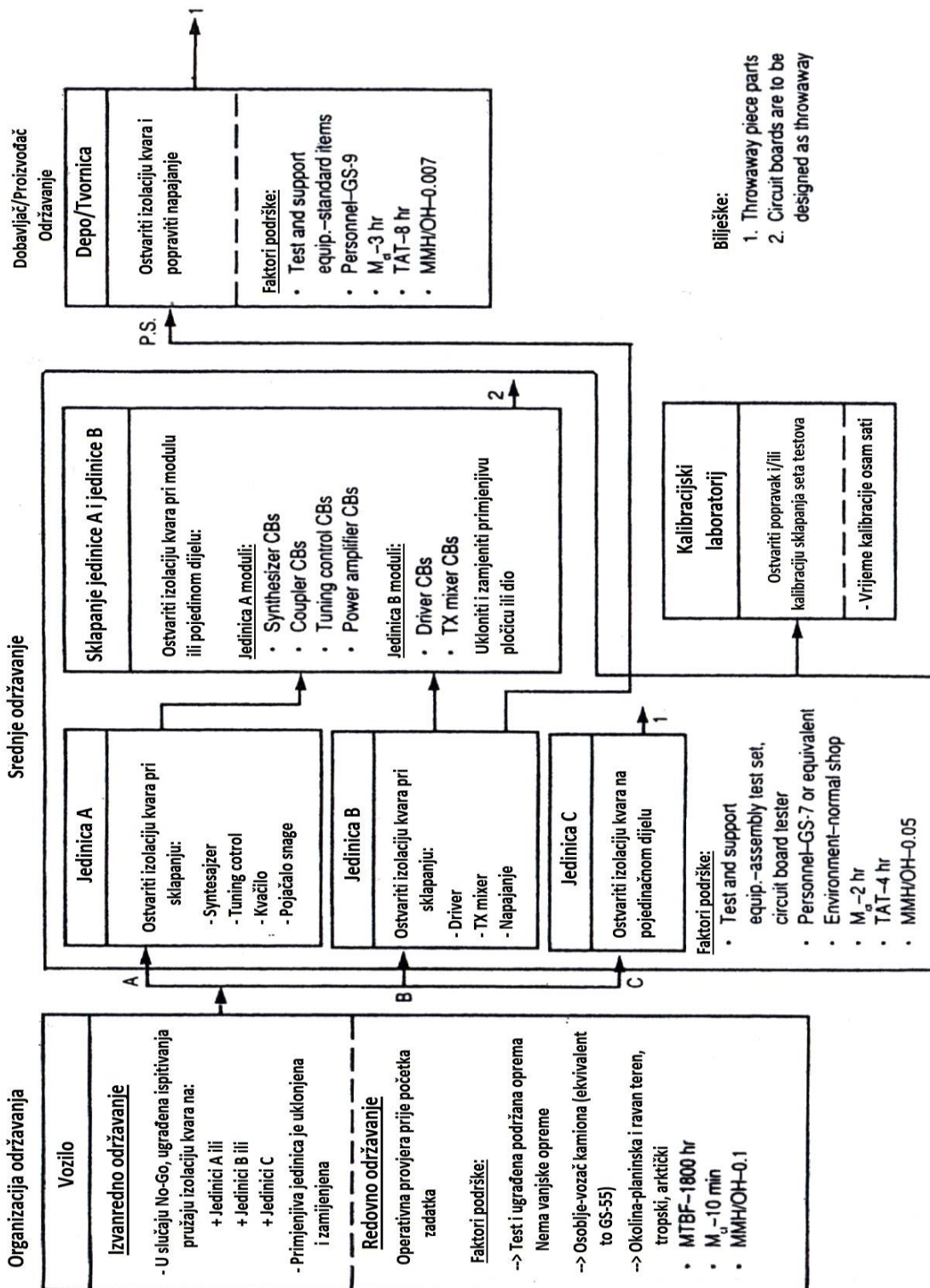
Interpretiranjem slike 5., elementi logističke potpore u početku se odnose na svaku od razina održavanja. Bit će zahtjeva rezervnih dijelova, potrebe za ispitivanjem opreme, a bit će i zahtjeva za osobljem. Jasno je da se radi o kvalitativnim čimbenicima. Iz perspektive održavanja, neke smjernice trebaju biti pružene da se osigura dobar dizajn za podržavanje, na primjer, dizajn za maksimalnu standardizaciju, da se smanji raznolikost i količina rezervnih dijelova, dizajn, kako bi se osigurala usklađenost između početne opreme i elemenata vanjske opreme za ispitivanje, dizajn za minimalne kadrovske vještine i dizajn za jednostavno pakiranje i rukovanje.[3]



### 3.5. Zahtjevi učinkovitosti

Koncept održavanja treba sadržavati neke kvantitativne čimbenike dizajnirane za učinkovitosti, primijenjene na sposobnost podrške sustava. U opskrbnom području, na primjer, to može uključivati stopu potražnje za rezervnim dijelovima, vjerojatnost da će rezervni dio biti dostupan kada je to potrebno, vjerojatnost dostupnosti veće količine određenih rezervnih dijelova ili ekonomsko stanje u odnosu na nabavu inventara. Za ispitivanje opreme, duljina reda dok čekaju testiranje, trajanje procesa testne stanice, te testiranje pouzdanosti ili dostupnosti opreme su ključni čimbenici. U prijevozu, stopa prijevoza, vremena prijevoza, pouzdanost prijevoza i troškovi u prijevozu su od velikog značaja. Dok primjerice u softveru, broj pogrešaka u kodnom retku može biti važno mjerilo. [3]

Mnogi od tih faktora mogu se navesti kao dio koncepta održavanja i primijeniti u vezi s aktivnostima utvrđenim za svaku razinu održavanja, kao što je prikazano na slici Y. Osim toga, oni moraju biti komplementarni i podrška čimbenicima učinkovitosti navedenim pod uvjetima za početne elemente sustava. Besmisleno je odrediti uske kvantitativne zahtjeve za dijelovima koji se odnose na popravke primarne opreme kada nabavka rezervnog dijela traje 6 mjeseci. Zahtjevi učinkovitosti koji su primjenjivi na podršku moraju biti dobro integrirani u zahtjevima za sustav u cijelosti. [3]



Slika 6. Koncept održavanja tehničkog sustav (politika popravka) Izvor: Blanchard, BS, System Engineering Management, John Wiley & Sons, NY, 1991, str.32.

## 4. LJUDSKI UTJECAJ U POUZDANOSTI I ODRŽAVANJU AUTOMOBILA

Ljudski utjecaj je s tehničkim parametrima pouzdanosti i definiranim zadacima održavanja važan čimbenik u održavanju vozila i podizanja njihove pouzdanosti. Koncept održavanja može biti vrhunski definiran i pred planiran, ali uzimajući u obzir ljudski pristup, njegova uspješnost postat će upitna. Kada govorimo o osobi koja je zadužena za održavanje govorimo o stručnom radniku, sa svim potrebnim znanjem i stupnjem obrazovanja.

Postoji niz problema koji negativno utječu na kvalitetu održavanja i na njegov vremenski vijek kao na primjer ljudska pogreška, nemogućnost osobi da pristupi određenim elementima, loša vidljivost, teško raspoznavanje dijelova (raznobojni dijelovi), uvjeti okoline mogu biti nepovoljni (npr. visoka ili niska temperatura u prostorijama rada ili dijelovima na kojima se radi, visoka razina buke, vibracije opreme, itd.), otežan rad s predmetima velike mase. Nejasne upute za održavanje i složene procedure održavanja, te nedovoljno znanje i iskustvo djelatnika zaduženog za održavanje su isto problemi koji smanjuju pouzdanost i kvalitetu održavanja.

Proces održavanja mora težiti lakoći i ekonomičnosti, tj. ukupni troškovi održavanja moraju biti niski uz optimalnu kvalitetu motornog vozila. Kako bi se smanjio vijek trajanja održavanja potrebno je zaposliti veći broj stručnih osoba za održavanje, ali zapošljavanjem većeg broja izvršitelja održavanja, povećat će se ukupni troškovi koji trebaju biti manji kako bi održavanje imalo smisla. U procesu održavanja se razmatraju sljedeće veličine kako bi se došlo do ukupnih troškova:

- MLH/OH (Maintenance Labor Hours per system Operating Hour) - vrijeme osoblja provedenog na održavanju sustava po satu,
- MLH/cycle (Maintenance Labor Hours per cycle of System Operation) - vrijeme osoblja provedenog na održavanju po jednom operativnom ciklusu u satima,
- MLH/MA (Maintenance Labor Hours per Maintenance Action) - vrijeme osoblja provedenog na održavanju po zadanoj akciji održavanja u satima,
- MLH/month (Maintenance Labor Hours per month)- vrijeme osoblja provedenog na održavanju mjesečno u satima.

## 5. MATEMATIČKA INTERPRETACIJA KVANTITATIVNIH MJERA

Za ispitivanje pouzdanosti motornog vozila i bilo kojeg elementa, sklopa, uređaja, pa i motora, treba najprije odrediti pokazatelje koji će opisivati, odnosno definirati pouzdanost ispitivanog vozila. Temeljem sljedećih parametra može se dobiti detaljan izračun pouzdanosti.

### 5.1. Funkcija pouzdanosti i gustoće otkaza

Pouzdanost koja je već u ranijem poglavlju definirana kao vjerojatnost da će se sustav ili proizvod izvršiti svoju predviđenu funkciju tijekom određenog perioda, matematički se definira kao vjerojatnost da će vrijeme rada bez otkaza ( $T$ ) biti veće od određenog vremena ( $t$ ).

Formula za pouzdanost glasi:

$$R(t) = P(T > t) \quad (3)$$

$R(t)$  je funkcija pouzdanosti, pošto je pouzdanost vjerojatnost to znači da je broj između 0 i 1.

$F(t)$  je funkcija nepouzdanosti ili funkcija distribucije vjerojatnosti otkaza. Ona glasi:

$$F(t) = 1 - R(t) \quad (4)$$

Iz prethodnog izraza (4) dobivamo da zbroj funkcija pouzdanosti i nepouzdanosti iznosi 1, odnosno prema formuli:

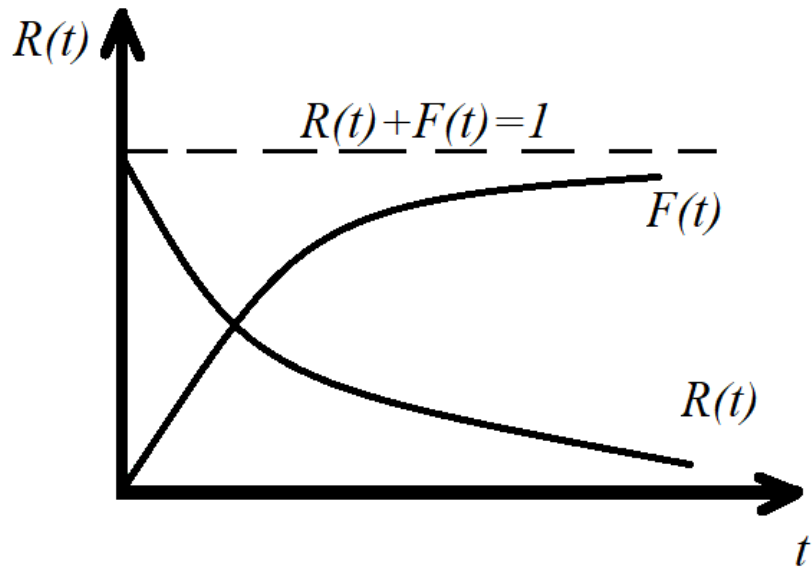
$$R(t) + F(t) = 1 \quad (5)$$

Funkcija  $f(t)$  je funkcija gustoće otkaza, ona je vjerojatnost bez otkaznog rada sustava do prvog otkaza.

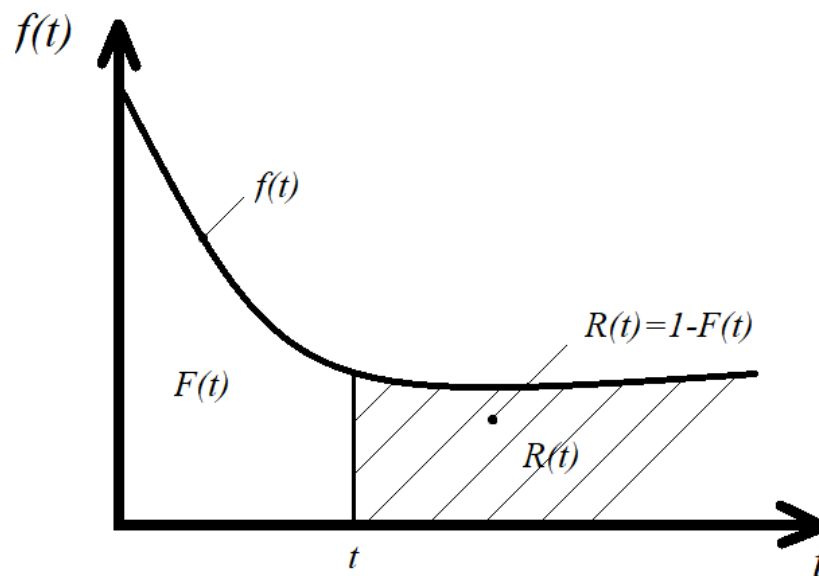
$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} \quad (6)$$

Funkcija intenziteta otkaza pokazuje promjenu intenziteta otkaza tijekom životnog vijeka sustava. U tome je njezin značaj. Formula za funkciju intenziteta otkaza glasi:

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



Slika 7. Odnos funkcije pouzdanosti i vjerojatnosti otkaza Izvor: [1]



Slika 8. Odnos funkcije pouzdanost, nepouzdanosti i gustoće otkaza Izvor: [1]

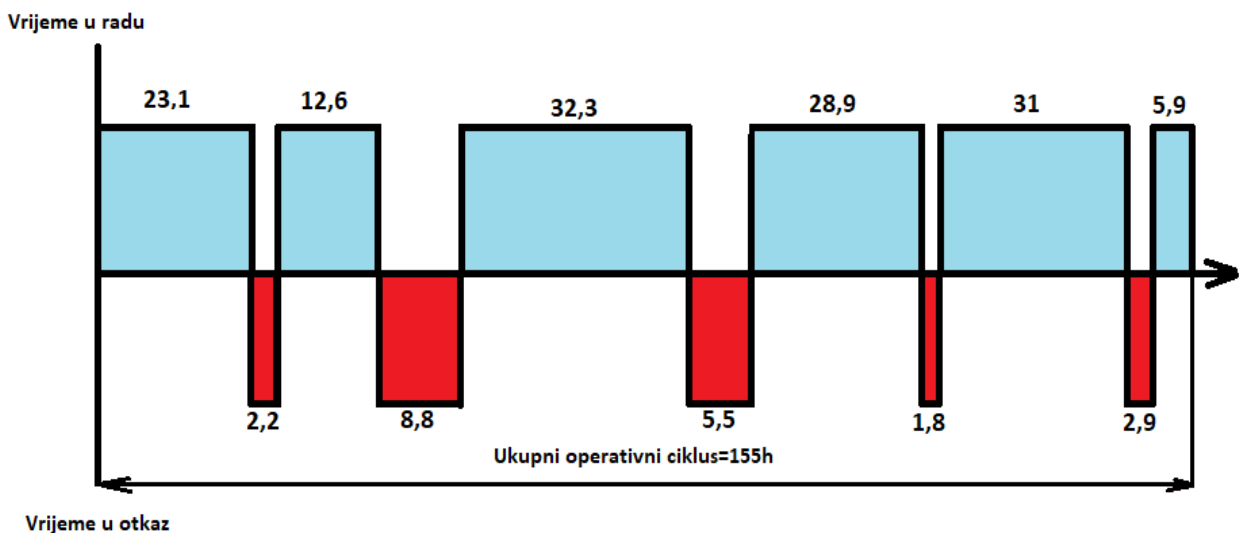
## 5.2. Srednje vrijeme između otkaza

Srednje vrijeme između otkaza (engl. Mean Time Between Failure-MTBF) predstavlja recipročnu vrijednost za konstantni intenzitet otkaza sustava, motornih vozila. Može se opisati i kao broj sati koji treba proći do otkaza na nekom promatranom vozilu ili nekoj njegovoj komponenti. Poznato je da to nije neka točna konkretna vrijednost, već statistička, očekivana, prosječna vrijednost do trenutka otkaza. To je prosječno vrijeme između otkaza nekog tehničkog sustava, pa i motornog vozila, u određenom razdoblju eksploatacijskog vijeka trajanja.

$$MTBF = \frac{\text{broj otkaza}}{\text{ukupno vrijeme rada}} = \frac{T}{n} \quad (8)$$

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \quad (9)$$

Primjerice jedan sustav ima promatrani ciklus rada 155 sati, u tom periodu sredstvo je bilo u radu 133,8 sati, dok je preostalo vrijeme provelo u otkaznom stanju. Otkazi su se dogodili 5 puta. Vremenska raspodjela otkaza dana je slikom 8.



Slika 9. Vremenska raspodjela otkaza

Prema jednadžbi 8 i jednadžbi 9 može se izračunati stupanj otkaza i srednje vrijeme rada između otkaza MTBF:

$$\lambda = \frac{\text{broj otkaza}}{\text{ukupno vrijeme rad}} = \frac{5}{133,8} = 0,03736921 \text{ h}^{-1}$$

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{0,03736921} = 26,76 \text{ h}$$

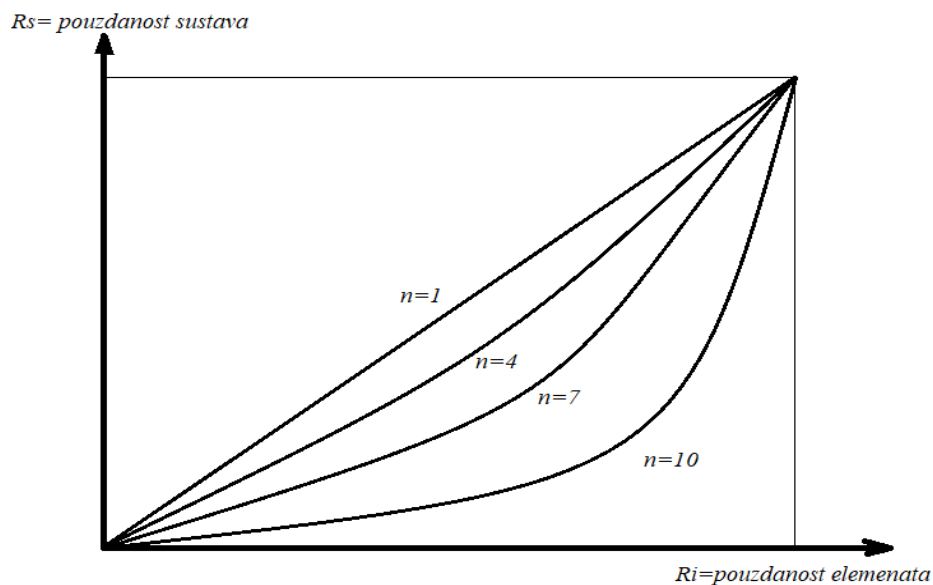
Strukturu motornog vozila možemo promatrati kao serijsku mrežu elemenata, to znači da u slučaju da jedan od elemenata otkáže, vozilo je neispravno. Prikaz serijske mreže elemenata dan je slikom 10.



Slika 10. Elementi u serijskoj mreži Izvor: [1]

Sveukupna pouzdanost takvog sustava označava se s  $R_s$ , a ona je jednaka umnošku pouzdanosti pojedinih elemenata:

$$R_s = R_1 \cdot R_2 \cdot R_3 \cdot \dots \cdot R_n = \prod_{i=1}^n R_i = e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n)t} \quad (10)$$



Slika 11. Odnos pouzdanosti i elemenata u mreži Izvor: [1]

Prema slici 11. je vidljiv odnos između pouzdanosti i elemenata u mreži, pokazuje da će ukupna pouzdanost sustava sa serijskom vezom elemenata biti manja od pouzdanosti najslabijeg elementa.

### 5.3. Srednje vrijeme do otkaza i srednje vrijeme popravka

Srednje vrijeme do otkaza (engl. Mean Time to Failure-MTTF), predstavlja srednje vrijeme do prvog otkaza, do drugog otkaza, do trećeg otkaza, itd. To je mjera pouzdanosti za nepopravljive sustave (npr. lampice, elektroničke komponente itd), . MTTF vrijednost možemo dobit iz formule:

$$MTTF = \frac{\sum_{i=1}^n T_{ri}}{n} \quad (11)$$

$n$ -broj sredstava koje se promatraju

$T_{ri}$ -vrijeme rada do otkaza  $i$ -tog sustava

Srednje vrijeme popravka (engl. Mean Time To Repair-MTTR) je vrijeme utrošeno za popravak sredstva, ovisi o vrsti otkaza pa može biti različito. Za određivanje MTTR-a koristi se:

$$MTTR = \frac{\sum_{i=1}^n T_{oi}}{n} \quad (12)$$

$T_{oi}$ -trajanje  $i$ -tog popravka

$n$ -ukupan broj rada i otkaza

MTBF i MTTF govore o pouzdanosti sredstva, jer je očigledno: ako MTBF i MTTF imaju veće vrijednosti, to će biti manje otkaza u određenom vremenskom intervalu, odnosno kažemo da su sredstva pouzdanija. MTTR govori o pogodnosti za održavanje, jer je očigledno: što je manje MTTR, sredstvo se manje vremena zadržava u radionici, pa se može reći da je pogodnije za održavanje. [1]



## 6. MATEMATIČKA ANALIZA NA PRIMJERU MOTORNIH VOZILA

Specifičnost motornih vozila, kao složenih tehničkih sustava, prikazan je na njihovoj strukturi sastavljenoj od niza različitih elemenata koji se međusobno nalaze u kompleksnim interakcijama. Motorna vozila svoju funkciju, po pravilu, ne izvršavaju pojedinačno već u sklopu različitih funkcionalnih cjelina. Svi elementi motornog vozila, kao i sve njihove veze i ustanovljene funkcionalne cjeline, imaju zadatak izvršavanja funkcija, koje se nalaze unutar zadanih granica dozvoljenih odstupanja. Sposobnost vozila da izvršava funkciju kriterijima u okviru granica dozvoljenih odstupanja, karakterizira se njegovim stanjem „u radu“. Stanje „u otkazu“ označava stanje nesposobnosti vozila da na odgovarajući način izvršava zadanu funkciju. Kao prilog tome, održavanje ima zadatak da spriječi nastanak stanja u otkazu. Ako je, međutim, ovo stanje već nastupilo, onda održavanje mora osigurati vraćanje vozila iz stanja „u otkazu“ u stanje „u radu“. Na motornom vozilu se u toku korištenja javljaju neispravnosti (otkazi), tj. stanja kada vozilo nije sposobno izvršavati zadanu funkciju unutar granica dozvoljenih odstupanja. Na vozilu otkazuju elementi ili njihove veze, što dovodi do otkaza viših funkcionalnih cjelina, pa konačno i do otkaza sustava, tj. kompletnog vozila. Kod motornih se vozila veoma rijetko događaju tzv. „potpuni“ otkazi sustava. Međutim, „djelomični“ otkazi se javljaju veoma često, kao posljedica potpunih ili djelomičnih otkaza sastavnih elemenata.

Zbog svega toga, kod motornih vozila se kao posebno značajne promjene stanja promatraju promjene performansi vozila zavisno o njegovoj starosti, odnosno putu koje je ono prešlo. Iz prakse je poznato da starija vozila nisu u stanju osigurati iste performanse kao i nova vozila. Uostalom, danas je normalno da se na novoizrađena vozila odnose oštriji (tzv. homologacijski) propisi, dok se na vozila iz eksploatacije (ili starija vozila) primjenjuju blaži propisi. Svi radni i prateći procesi koji se odvijaju u toku rada jednog motornog vozila, dovode do toga da se zavisno od njegove starosti, odnosno veličine prijeđenog puta, povećava vjerojatnost pojave otkaza vozila ili njegovih pojedinih elemenata. [5]

U ovom poglavlju bit će odrađena matematička analiza pouzdanosti na primjeru motornih vozila TAM 110 T7 B/BV 4X4.

Kamion TAM 110 T7 B/BV 4X4 je vojno terensko vozilo namijenjeno za prijevoz ljudi i materijala i za vuču prikolica .Opremljeni su dizelskim motorom od 80 kW (110 KS), pogonom na sve kotače i jednostrukim pneumaticima. Smanjenjem stupnja prijenosa, središnje podešavanje tlaka zraka u gumama i blokiranje rada diferencijala omogućuju prevladavanje puknutih, blatnih, pješčanih i snijegom pokrivenih terena, kao i vodenih prepreka dubine od 1 m. [7]



Slika 12. Kamion TAM 110 T7 B/BV 4X4. Izvor:

<http://www.paluba.info/smf/index.php?action=dlattach;topic=8845.0;attach=214121;image>

Analiza će se provoditi na podacima dobivenih u intervalu od 0 do 75 000 prijeđenih kilometara. Analiza se temelji na podacima za otkaze motora, transmisije, električnih uređaja, kočnica i ostalih sklopova. Bit će obrađeni podaci za izračun pouzdanosti, nepouzdanosti, intenziteta otkaza, gustoće otkaza na cijelom sustavu i na pojedinom dijelu sustava(motor). Na kraju bit će izvršena provjera dobivenih intenziteta otkaza.

Tablica 1. Frekvencija otkaza kamiona u intervalima od 5x1000 km.

<b>Interval</b>	<b>0-5</b>	<b>5-10</b>	<b>10-15</b>	<b>15-20</b>	<b>20-25</b>	<b>25-30</b>	<b>40-45</b>	<b>50-55</b>	<b>65-70</b>	<b>70-75</b>
Motor	39	55	8	9	5	8	3	9	5	5
Transmisija	35	64	7	19	2	7	6	8	4	4
El. Uređaji	10	23	0	4	1	2	1	0	2	1
Uređaji za kočenje	32	44	6	15	2	6	4	6	3	3
Ostali sklopovi	53	78	11	29	5	12	8	13	3	7
<b>Σ po intervalu</b>	<b>169</b>	<b>264</b>	<b>32</b>	<b>76</b>	<b>15</b>	<b>35</b>	<b>22</b>	<b>36</b>	<b>17</b>	<b>20</b>
<b>Ukupan broj otkaza</b>	<b>169</b>	<b>433</b>	<b>465</b>	<b>541</b>	<b>556</b>	<b>591</b>	<b>613</b>	<b>649</b>	<b>666</b>	<b>686</b>

Izvor: [5]

Prema tablici 1. je vidljiva frekvencija od 686 otkaza u određenim intervalima zadanim u kilometrima. Kako bi se došlo do odgovarajućih proračuna prvo je potrebno odrediti sumu otkaza po intervalu i ukupan broj otkaza. Odmah je vidljivo da je veći broj otkaza nastao u intervalima od 0-5 i 5-10, što bi značilo da su ti otkazi nastali zbog loše proizvodnje elemenata ili neadekvatnog rukovanja.

Ukupan broj otkaza iznosi  $n=686$  u intervalima po 5000 km.

Pouzdanost ovog sustava možemo izračunati prema formuli:

$$R(t) = \frac{n(\text{ukupan broj otkaza}) - N(\text{broj otkaza po intervalu})}{n(\text{ukupan broj otkaza})}$$

Također nepouzdanost se računa po formuli:

$$F(t) = 1 - R(t)$$

Primjer izračun pouzdanosti  $R(t)$  i nepouzdanosti  $F(t)$ :

$$R(0 - 5) = \frac{686 - 169}{686} = 0,7536 \rightarrow F(0 - 5) = 1 - R(0 - 5) = 0,2464$$

$$R(5 - 10) = \frac{686 - 433}{686} = 0,3688 \rightarrow F(5 - 10) = 1 - R(5 - 10) = 0,6312$$

Ostatak dobivenih rezultata prikazan je putem tablice 2. Izračun i provjera napravljeni su u Excelu.

Tablica 2. Izračunati podaci za pouzdanost, nepouzdanost, gustoću otkaza i intenzitet otkaza u Excelu.

Pouzdanost		Nepouzdanost		Gustoća otkaza		Intenzitet otkaza	
R (0-5)	0,7536	F (0-5)	0,2464	f (0-5)	4,9271E-05	$\lambda$ (0-5)	6,5377E-05
R (5-10)	0,3688	F (5-10)	0,6312	f (5-10)	7,6968E-05	$\lambda$ (5-10)	2,0870E-04
R (10-15)	0,3222	F (10-15)	0,6778	f (10-15)	9,3294E-06	$\lambda$ (10-15)	2,8959E-05
R (15-20)	0,2114	F (15-20)	0,7886	f (15-20)	2,2157E-05	$\lambda$ (15-20)	1,0483E-04
R (20-25)	0,1895	F (20-25)	0,8105	f (20-25)	4,3732E-06	$\lambda$ (20-25)	2,3077E-05
R (25-30)	0,1385	F (25-30)	0,8615	f (25-30)	1,0204E-05	$\lambda$ (25-30)	7,3684E-05
R (40-45)	0,1064	F (40-45)	0,8936	f (40-45)	6,4140E-06	$\lambda$ (40-45)	6,0274E-05
R (50-55)	0,0539	F (50-55)	0,9461	f (50-55)	1,0496E-05	$\lambda$ (50-55)	1,9459E-04
R (65-70)	0,0292	F (65-70)	0,9708	f (65-70)	4,9563E-06	$\lambda$ (65-70)	1,7000E-04
R (70-75)	0	F (70-75)	1	f (70-75)	5,8309E-06	$\lambda$ (70-75)	$+\infty$

Iz tablice 2. vidljivo je da je pouzdanost 0,7536 što baš i nije zadovoljavajuće. Odnosno nepouzdanost je odmah na prvom izračunu dosta visoka, što bi značilo da su vozila od početka eksploatacije nepouzdana.

Intenzitet otkaza  $\lambda(t)$  i gustoća otkaza  $f(t)$  su dobiveni sljedećim formulama:

$$\lambda(t) = \frac{N(\Delta t)}{n(t) \cdot \Delta t}, km^{-1}, \quad f(t) = \frac{N(\Delta t)}{n \cdot \Delta t}, km^{-1}$$

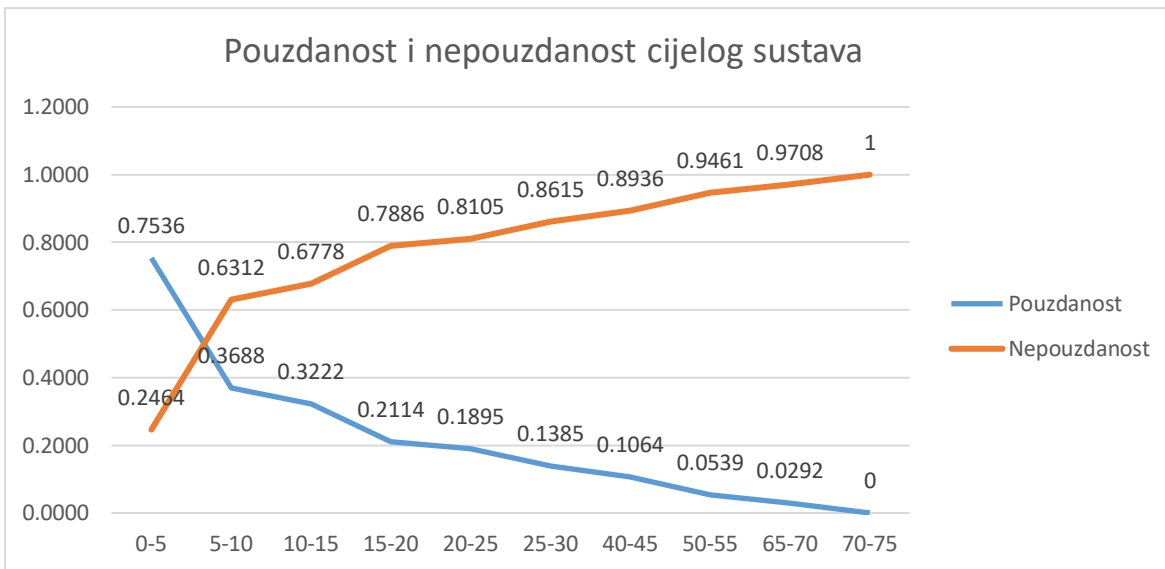
Primjer izračun intenziteta otkaza  $\lambda(t)$  i gustoće otkaza  $f(t)$ :  $n=686$ ,  $\Delta t=5000$  km

$$f(0 - 5) = \frac{169}{686 \cdot 5000} = 4,9271 \cdot 10^{-5} km^{-1}$$

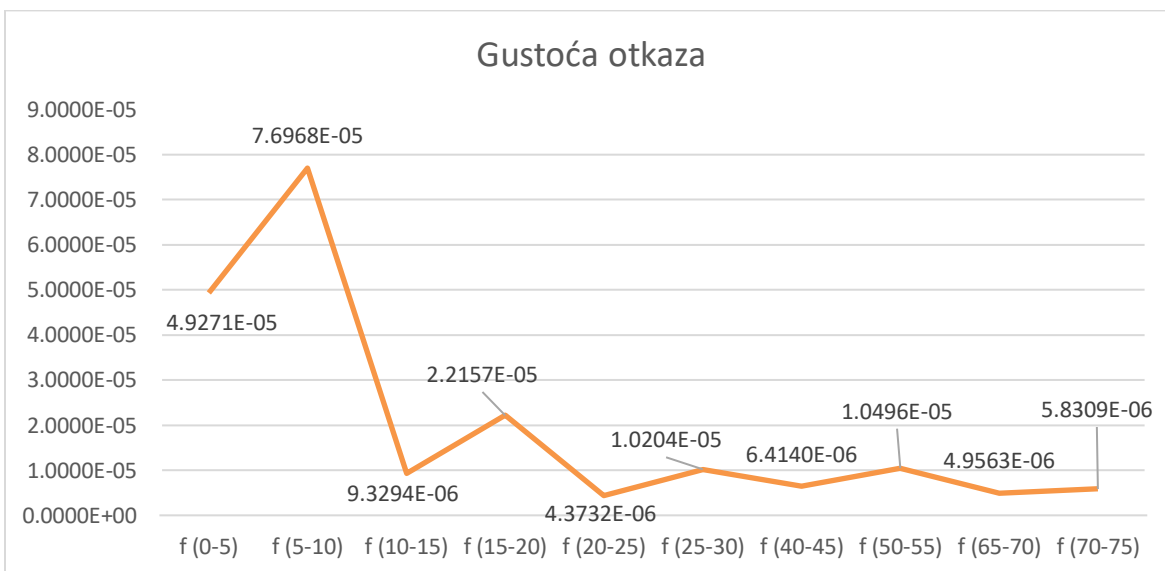
$$f(5 - 10) = \frac{264}{686 \cdot 5000} = 7,6968 \cdot 10^{-5} km^{-1}$$

$$\lambda(0 - 5) = \frac{169}{(686 - 169) \cdot 5000} = 6,5377 \cdot 10^{-5} km^{-1}$$

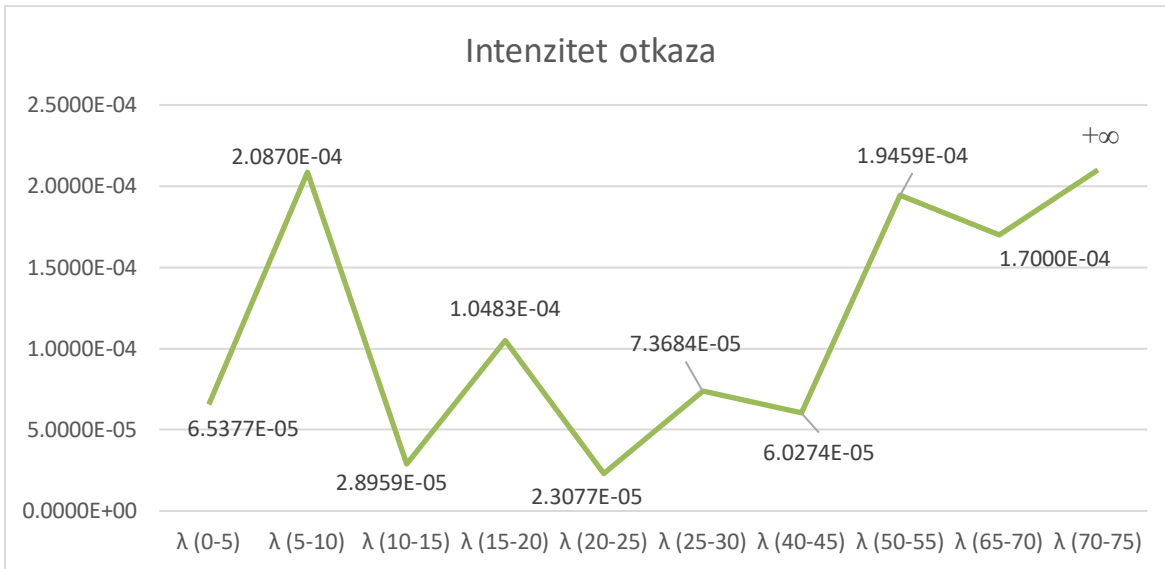
$$\lambda(5 - 10) = \frac{169}{(686 - 169 - 264) \cdot 5000} = 2,0870 \cdot 10^{-4} km^{-1}$$



Grafikon 1. Prikaz odnosa pouzdanosti i nepouzdanosti sustava kamiona.



Grafikon 2. Gustoća otkaza sustava kamiona.



Grafikon 3. Intenzitet otkaza sustava kamiona.

Nakon predzadnjeg intervala sustavi odlazi u  $+\infty$  što znači da će svi sustavi otkazati.

Na motoru kao pojedinom elementu sustava bit će prikazan izračun kao što je prikazan na cijelom sustavu. Podaci su dani tablicom 3.

Tablica 3. Frekvencija otkaza motora po intervalima.

Interval	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	40-45	50-55	65-70	70-75
Motor	39	55	8	9	5	8	3	9	5	5
<b>Ukupan broj otkaza</b>	<b>39</b>	<b>94</b>	<b>102</b>	<b>111</b>	<b>116</b>	<b>124</b>	<b>127</b>	<b>136</b>	<b>141</b>	<b>146</b>

Izvor: [6]

Koristit će se iste formule kao za izračun cijelog sustava. Ukupan broj otkaza iznosi  $n=146$  u intervalima po 5000 km.

Primjeri izračuna:  $n=146$ ,  $\Delta t=5000$  km

$$R(0 - 5) = \frac{146 - 39}{146} = 0,7329 \rightarrow F(0 - 5) = 1 - R(0 - 5) = 0,2671$$

$$R(5 - 10) = \frac{146 - 94}{146} = 0,3562 \rightarrow F(0 - 5) = 1 - R(0 - 5) = 0,6438$$

$$f(0 - 5) = \frac{39}{146 \cdot 5000} = 5,3425 \cdot 10^{-5} km^{-1}$$

$$f(5 - 10) = \frac{55}{146 \cdot 5000} = 7,5342 \cdot 10^{-5} km^{-1}$$

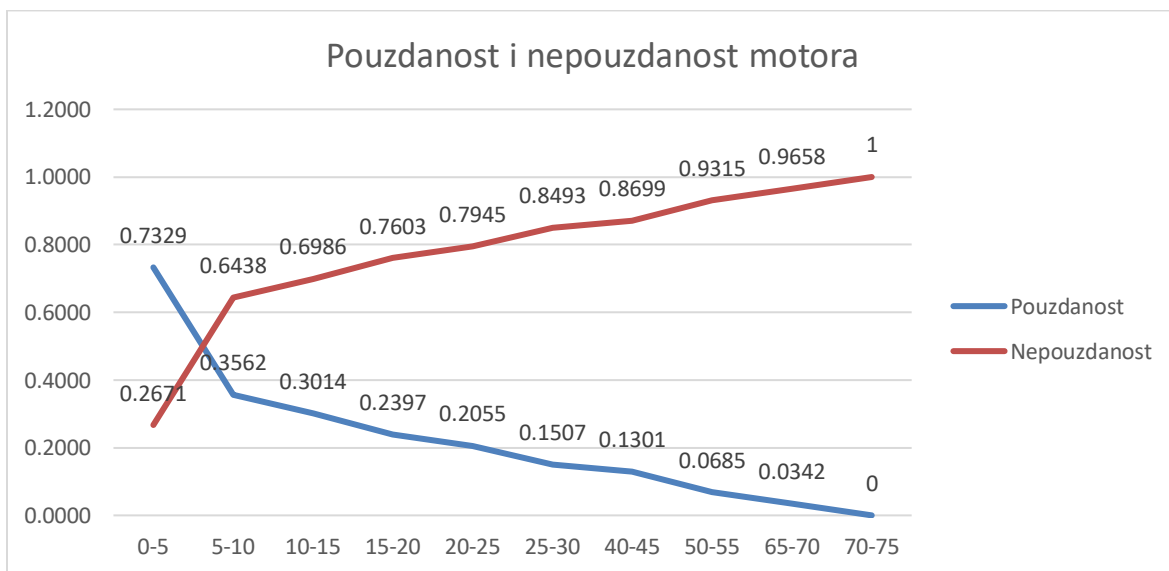
$$\lambda(0 - 5) = \frac{39}{(146 - 39) \cdot 5000} = 7,2897 \cdot 10^{-5} km^{-1}$$

$$\lambda(5 - 10) = \frac{55}{(146 - 39 - 55) \cdot 5000} = 2,1154 \cdot 10^{-4} km^{-1}$$

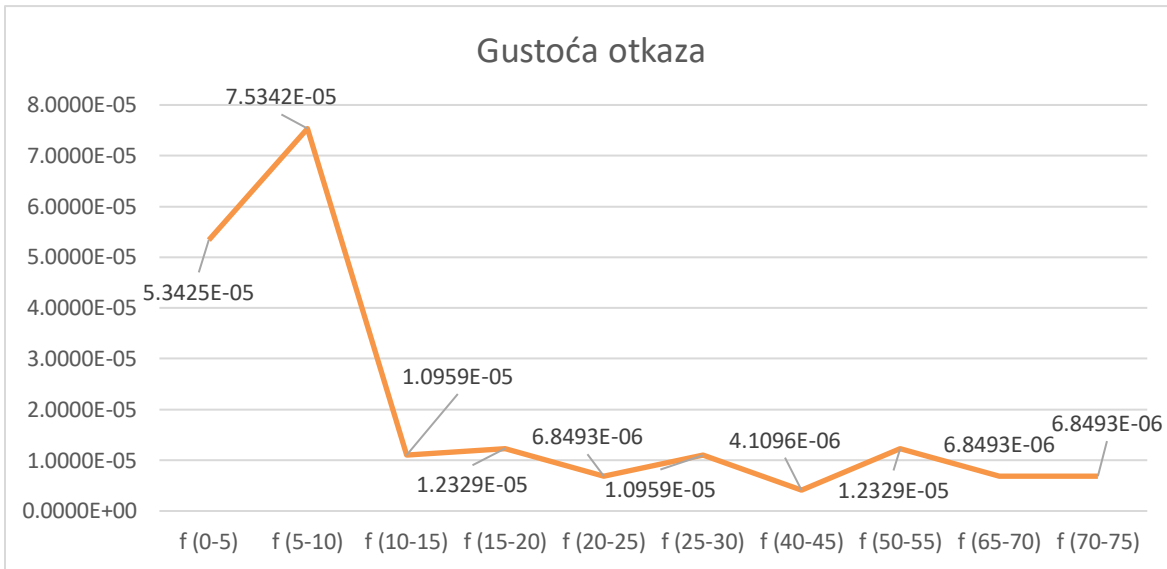
Ostatak rezultata prikazan je tablicom 4. Izračun i provjera napravljeni su u Excelu.

Tablica 4. Dobiveni rezultati za nepouzdanost, pouzdanost, intenzitet otkaza i gustoću otkaza motora.

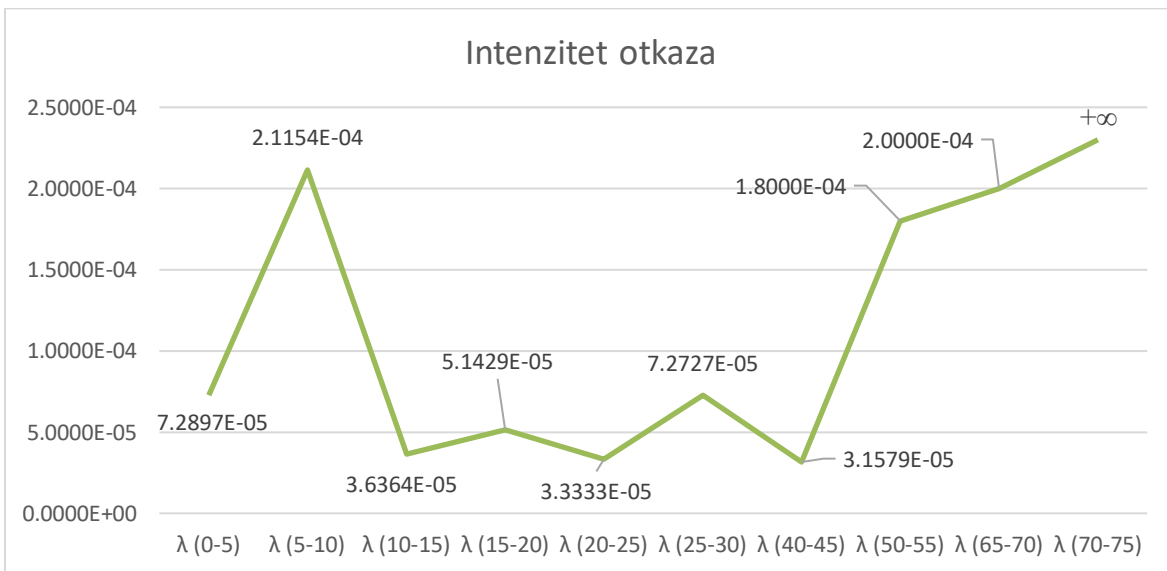
Pouzdanost		Nepouzdanost		Gustoća otkaza		Intenzitet otkaza	
R (0-5)	0,7329	F (0-5)	0,2671	f (0-5)	5,3425E-05	$\lambda$ (0-5)	7,2897E-05
R (5-10)	0,3562	F (5-10)	0,6438	f (5-10)	7,5342E-05	$\lambda$ (5-10)	2,1154E-04
R (10-15)	0,3014	F (10-15)	0,6986	f (10-15)	1,0959E-05	$\lambda$ (10-15)	3,6364E-05
R (15-20)	0,2397	F (15-20)	0,7603	f (15-20)	1,2329E-05	$\lambda$ (15-20)	5,1429E-05
R (20-25)	0,2055	F (20-25)	0,7945	f (20-25)	6,8493E-06	$\lambda$ (20-25)	3,3333E-05
R (25-30)	0,1507	F (25-30)	0,8493	f (25-30)	1,0959E-05	$\lambda$ (25-30)	7,2727E-05
R (40-45)	0,1301	F (40-45)	0,8699	f (40-45)	4,1096E-06	$\lambda$ (40-45)	3,1579E-05
R (50-55)	0,0685	F (50-55)	0,9315	f (50-55)	1,2329E-05	$\lambda$ (50-55)	1,8000E-04
R (65-70)	0,0342	F (65-70)	0,9658	f (65-70)	6,8493E-06	$\lambda$ (65-70)	2,0000E-04
R (70-75)	0	F (70-75)	1	f (70-75)	6,8493E-06	$\lambda$ (70-75)	$+\infty$



Grafikon 4. Odnos pouzdanosti i nepouzdanosti motora.



Grafikon 5. Gustoća otkaza motora.



Grafikon 6. Intenzitet otkaza motora.

Nakon predzadnjeg intervala sustav odlazi u  $+\infty$  što znači da će svi sustavi otkazati. Dobiveni rezultati za intenzitet otkaza cijelog sustava i motora opisuju krivulju kade, te su vidljive sve tri faze životnog vijeka.



Na kraju zadatka izvršila se provjera dobivenih rezultata za intenzitet otkaza  $\lambda$ . Provjera se izvodila formulom:

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

te se iz tablice 5. može vidjeti da su dobiveni isti rezultati, stoga je intenzitet otkaza točno izračunat.

Tablica 5. Provjera dobivenih rezultata.

Cijeli sustav			Motor		
Intenzitet otkaza		Za formulu f(t)/R(t)	Intenzitet otkaza		Za formulu f(t)/R(t)
$\lambda$ (0-5)	6,5377E-05	6,5377E-05	$\lambda$ (0-5)	7,2897E-05	7,2897E-05
$\lambda$ (5-10)	2,0870E-04	2,0870E-04	$\lambda$ (5-10)	2,1154E-04	2,1154E-04
$\lambda$ (10-15)	2,8959E-05	2,8959E-05	$\lambda$ (10-15)	3,6364E-05	3,6364E-05
$\lambda$ (15-20)	1,0483E-04	1,0483E-04	$\lambda$ (15-20)	5,1429E-05	5,1429E-05
$\lambda$ (20-25)	2,3077E-05	2,3077E-05	$\lambda$ (20-25)	3,3333E-05	3,3333E-05
$\lambda$ (25-30)	7,3684E-05	7,3684E-05	$\lambda$ (25-30)	7,2727E-05	7,2727E-05
$\lambda$ (40-45)	6,0274E-05	6,0274E-05	$\lambda$ (40-45)	3,1579E-05	3,1579E-05
$\lambda$ (50-55)	1,9459E-04	1,9459E-04	$\lambda$ (50-55)	1,8000E-04	1,8000E-04
$\lambda$ (65-70)	1,7000E-04	1,7000E-04	$\lambda$ (65-70)	2,0000E-04	2,0000E-04
$\lambda$ (70-75)	$+\infty$	$+\infty$	$\lambda$ (70-75)	$+\infty$	$+\infty$

Dobiveni rezultati ovog zadatka, kao i grafovi opisuju izgled krivulje kade. U početnom periodu eksploatacije motornih vozila javlja se veći broj otkaza sustava vozila i motora. Ti otkazi mogu nastati zbog lošeg materijala, propusta u proizvodnji, itd. Nakon tog početnog perioda javlja se period konstantnih otkaza koji se ne mogu izbjeći. Zadnja faza otkaza je zbog istrošenosti i starenja sustava i motora.

## 7. DISKUSIJA I ZAKLJUČAK

Koristeći matematičke funkcije pouzdanosti i uporabom softverskog alata Excel na temelju danih podataka dobivene su osnovne komponente pouzdanosti. Analizom podataka sastavnog elementa motornog vozila (motora), ali i cijelog sustava vozila, dobiveni rezultati su prikazani u statističkom i grafičkom obliku. Pouzdanost se može izračunati na temelju pojedinog elementa ili cijelog sustava vozila. U početnom periodu eksploatacije motornih vozila vidljiva je veća količina otkaza, uzrok tomu mogu biti propusti u proizvodnji, neadekvatno korištenje, loše održavanje, itd. Prema tome proizvođači imaju uvid u dobivene rezultate kako bi mogli usavršiti proizvod. Također, to korisnika upućuje da bi trebao usavršiti znanje rukovanja i poboljšati načine održavanja. Kasnije tijekom eksploatacije vozilo je u fazi konstantnih otkaza, koje je nemoguće izbjeći i mogu se javljati s manjom ili većom vjerojatnošću. S dužom eksploatacijom i starenjem, javlja se stopa povećanih otkaza koja nastaje zbog istrošenosti, korozije, zamora materijala itd. Za daljnje istraživanje i detaljniji uvid u pouzdanost vozila potrebno je daljnje praćenje eksploatacije sustava vozila i pojedinih elemenata, te temeljem prikupljenih podataka organizirati provođenje ubrzanih programskih ispitivanja.

Stoga, mjere za povećanje pouzdanosti motornih vozila možemo razmatrati s njegovih kvalitativnim i kvantitativnim čimbenicima. Kvalitativne mjere podizanja pouzdanosti se temelje na korektivnom i preventivnom održavanju. Te mjere se provode nakon nekog određenog perioda ili nakon nastupanja otkaza. Preventivnim održavanjem motornog vozila se predviđa kvar prije nego on nastane. Preventivnim održavanjem moguće je planirati trenutak održavanja. Učestale akcije preventivnog održavanja povećavaju pouzdanost motornog vozila, ali i troškove održavanja. Kod korektivnog održavanja manji su troškovi i ne postoje aktivnosti održavanja dok ne nastupi otkaz. Ali postoji mogućnost da otkaz jednog elementa motornog vozila ima za posljedicu oštećenje drugih elemenata, što bi značilo da bi se ukupni troškovi održavanja mogli znatno povećati. Oba načina održavanja su potrebna kako bi se produljio životni vijek motornog vozila. Pogodnost za održavanje je potrebna jer nakon pojave kvara mjeri brzinu kojom se sustav vraća u prvobitno stanje prije kvara. Kod održavanja vozila, važna je autodijagnostika kojom se dobiva uvid u vozilo ili dio vozila bez demontiranja. Zamisao autodijagnostike je mjerenje stanja motornog vozila, odnosno mjerenje nekog parametra.

Ljudski utjecaj je važan faktor podizanja pouzdanosti i održavanja motornih vozila. Iako uzimajući u obzir ljudski pristup, uspješnost održavanja postaje upitna. Postoji niz problema kada se radi o ljudskom utjecaju u održavanju, kao mogućnost ljudske pogreške, nemogućnost osobi da pristupi određenim elementima, loša vidljivost, teško raspoznavanje dijelova (raznobojni dijelovi) itd. Ti problemi mogu prouzročiti ponovne otkaze motornih vozila, a s time i veće troškove. Kako bi se smanjila ljudska pogreška potrebno je stručno i kvalificirano osoblje sa svim potrebnim znanjem i stupnjem obrazovanja, koje može obavljati zadaće održavanja u adekvatno opremljenim prostorijama rada.

Kvantitativne mjere podizanja pouzdanosti su mjere koje se temelje na statističkoj obradi podataka i nemaju nikakav fizički uvid u stanje sustava. Temeljem njih pouzdanost se može izraziti u matematičkom obliku kao vjerojatnost. Vozilo će biti pouzdanije s većom vrijednošću MTBF i MTTF, što su veće te dvije vrijednosti, manje je otkaza u sustavu. Uzimajući u obzir utjecaj održavanja na vozilo, ljudski utjecaj, optimiziranje parametara, postiže se veća mjera pouzdanosti uz smanjene troškove, a time i dulji životni vijek sustava.

## LITERATURA

- [1] Mavrin, I., Budimir, D.: Tehnička logistika, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2013.
- [2] Bazijanac, E., Božić, D., Budimir, D.: Tehnička logistika, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2015.
- [3] Blanchard, BS, System Engineering Management, John Wiley & Sons, NY, 1991
- [4] Kilibarda, M.: Logistički kontroling kao podrška upravljanju kvalitetom u logistici, Beograd 2007
- [5] Guberinić R., Milojević I.: Određivanje funkcije pouzdanosti motornih vozila kao složenog tehničkog sistema, Beograd, 2009.
- [6] Todorović J. Održavanje motornih vozila - osnovi teorije održavanja. Beograd : Mašinski fakultet; 1984.

### Internet izvori

- [7] <https://bs.wikipedia.org/wiki/TAM-110>
- [8] [https://en.wikipedia.org/wiki/Service\\_\(motor\\_vehicle\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Service_(motor_vehicle))
- [9] <https://www.mechanicscout.com/>
- [10] <https://accendoreliability.com/>
- [11] <https://en.wikipedia.org/wiki/Reliability>
- [12] <https://www.astron.nl/~broekema/papers/SDPPDR/PDR11%20Preliminary%20ILS%20Plan.pdf>

## POPIS KRATICA

MTBF	(Mean Time Between Failure) - srednje vrijeme između otkaza
MTTF	(Mean Time to Failure) – srednje vrijeme do otkaza
MTTR	(Mean Time To Repair) – srednje vrijeme do popravka
MLH/OH	(Maintenance Labor Hours per system Operating Hour)- vrijeme osoblja provedenog na održavanju sustava po satu,
MLH/cycle	(Maintenance Labor Hours per cycle of System Operation)- vrijeme osoblja provedenog na održavanju po jednom operativnom ciklusu u satima,
MLH/MA	(Maintenance Labor Hours per Maintenance Action)-vrijeme osoblja provedenog na održavanju po zadanoj akciji održavanja u satima,
MLH/month	(Maintenance Labor Hours per month) - vrijeme osoblja provedenog na održavanju mjesečno u satima.

## POPIS SLIKA

- Slika 1. Krivulja kade
- Slika 2. Nastanak otkaza
- Slika 3. Postupak autodijagnostike u otklanjanju kvara na vozilu
- Slika 4. Sučelje autodijagnostičkog softvera Actia Multi-Diag
- Slika 5. Proces održavanja sustava (aktivnosti)
- Slika 6. Koncept održavanja tehničkog sustav (politika popravka)
- Slika 7. Odnos funkcije pouzdanosti i vjerojatnosti otkaza
- Slika 8. Odnos funkcije pouzdanost, nepouzdanosti i gustoće otkaza
- Slika 9. Vremenska raspodjela otkaza
- Slika 10. Elementi u serijskoj mreži
- Slika 11. Odnos pouzdanosti i elemenata u mreži
- Slika 12. Kamion TAM 110 T7 B/BV 4X4

## POPIS TABLICA

- Tablica 1. Frekvencija otkaza kamiona u intervalima od 5x1000 km
- Tablica 2. Izračunati podaci za pouzdanost, nepouzdanost, gustoću otkaza i intenzitet otkaza u Excelu
- Tablica 3. Frekvencija otkaza motora po intervalima
- Tablica 4. Dobiveni rezultati za nepouzdanost, pouzdanost, intenzitet otkaza i gustoću otkaza motora.
- Tablica 5. Provjera dobivenih rezultata

## **POPIS DIJAGRAMA**

Dijagram toka 1. Prikaz faza korektivnog održavanja

Dijagram toka 2. Prikaz faza preventivnog održavanja

## **POPIS GRAFIKONA**

Grafikon 1. Prikaz odnosa pouzdanosti i nepouzdanosti sustava kamiona

Grafikon 2. Gustoća otkaza sustava

Grafikon 3. Intenzitet otkaza sustava kamiona

Grafikon 4. Odnos pouzdanosti i nepouzdanosti motora

Grafikon 5. Gustoća otkaza motora

Grafikon 6. Intenzitet otkaza motora



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 **Kvalitativne i kvantitativne mjere podizanja pouzdanosti  
tehničkih sustava**

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

U Zagrebu, 5.9.2019 \_\_\_\_\_

Student/ica:

*M. Pavlič*

(potpis)