

# Utjecaj održavanja na parametre efektivnosti cestovnih vozila

---

Špeljak, Karlo

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

*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:119:958364>

*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

**UTJECAJ ODRŽAVANJA NA PARAMETRE  
EFEKTIVNOSTI CESTOVNIH VOZILA**

ZAVRŠNI RAD

Karlo Špeljak

Zagreb, 2023.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

**UTJECAJ ODRŽAVANJA NA PARAMETRE  
EFEKTIVNOSTI CESTOVNIH VOZILA**

**THE INFLUENCE OF MAINTENANCE ON THE  
PARAMETERS OF THE EFFECTIVENESS OF  
ROAD VEHICLES**

ZAVRŠNI RAD

**Mentor:** mr. sc. Ivo Jurić

**Student:** Karlo Špeljak, 0135249890

Zagreb, 2023.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu. Ovaj završni rad izvorni je rezultat mojega rada te se u izradi istoga nisam koristio drugim izvorima literature osim onih koji su u njemu navedeni.

Zahvaljujem mentoru mr. sc. Ivi Juriću, dipl. ing. koji mi je nesebično pomagao svojim savjetima, znanjem i iskustvom pri izradi ovoga rada, na strpljenju, podršci i izdvojenom vremenu. Također, želio bih zahvaliti svojim roditeljima, sestri i obitelji, Editi, svim bliskim prijateljicama i prijateljima, kolegicama i kolegama koji su me bezuvjetno pratili tijekom ovog fakultetskog obrazovanja i bili potpora u odlučujućim trenucima te su vjerno čekali i dočekali ovaj trenutak.

Bez njih ovaj uspjeh ne bi bio moguć!

Hvala Vam!

Karlo Špeljak

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

Zagreb, 5. svibnja 2022.

Zavod: **Zavod za cestovni promet**  
Predmet: **Održavanje cestovnih vozila**

## **ZAVRŠNI ZADATAK br. 6637**

Pristupnik: **Karlo Špeljak (0135249890)**  
Studij: **Promet**  
Smjer: **Cestovni promet**

Zadatak: **Utjecaj održavanja na parametre efektivnosti cestovnih vozila**

### Opis zadatka:

Definirati parametre efektivnosti cestovnih vozila. Prikazati i opisati temeljne sastavnice efektivnosti cestovnih vozila. Obraditi sustav održavanja cestovnih vozila kroz koncepciju i metode te organizacijsku strukturu i tehnološke postupke održavanja. Definirati utjecaj održavanja na parametre efektivnosti cestovnih vozila. Objasniti kako održavanje utječe na pouzdanost, te ovisnost raspoloživosti o intenzitetu kvarova i intenzitetu održavanja. Navesti i pojasniti utjecajne čimbenike na raspoloživost.

Na kraju prikazati zaključna razmatranja s prijedlozima.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:

---

mr. sc. Ivo Jurić, v. pred.

# SADRŽAJ

SAŽETAK.....	I
SUMMARY .....	II
1. UVOD .....	1
2. EFEKTIVNOST CESTOVNIH VOZILA .....	3
2.1. Pouzdanost cestovnih vozila .....	5
2.1.1. Osnove pouzdanosti .....	6
2.1.2. Intenzitet kvarova .....	8
2.2. Raspoloživost cestovnih vozila .....	10
2.2.1. Vlastita ili inherentna raspoloživost .....	11
2.2.2. Dostignuta raspoloživost .....	11
2.2.3. Operativna raspoloživost .....	12
2.2.4. Intenzitet popravka .....	13
2.3. Fleksibilnost cestovnih vozila .....	13
2.3.1. Tehničko-tehnološka komponenta .....	14
2.3.2. Prostorna komponenta .....	15
2.4. Podobnost za održavanje i čimbenici za ocjenu .....	15
2.4.1. Čimbenici vremena održavanja .....	16
2.4.2. Čimbenici radnih sati održavanja .....	17
2.4.3. Čimbenici učestalosti održavanja .....	18
2.4.4. Čimbenici troškova održavanja .....	18
3. SUSTAV ODRŽAVANJA CESTOVNIH VOZILA .....	19
3.1. Metode održavanja cestovnih vozila .....	20
3.1.1. Korektivno održavanje .....	20
3.1.2. Preventivno održavanje .....	21
3.1.3. Kombinirano održavanje .....	23
3.2. Organizacija održavanja cestovnih vozila .....	23
3.3. Tehnološki postupci održavanja .....	25
3.4. Dokumentacija u održavanju .....	27
4. OSIGURANJE I KONTROLA KVALITETE ODRŽAVANJA CESTOVNIH VOZILA ..	29
5. UTJECAJ ODRŽAVANJA NA PARAMETRE EFEKTIVNOSTI CESTOVNIH VOZILA	

5.1. Utjecaj održavanja na pouzdanost vozila .....	31
5.2. Utjecaj koeficijenta nerasploživosti i popravljivosti na raspoloživost .....	32
5.3. Utjecaj intenziteta kvarova i intenziteta održavanja na raspoloživost .....	32
6. ZAKLJUČAK .....	35
POPIS LITERATURE .....	36
POPIS SLIKA .....	37
POPIS KRATICA .....	38

## SAŽETAK

Cestovna vozila su složeni tehnički sustavi koji se, kao i svi tehnički sustavi, mijenjaju tijekom eksploatacija. Promjena tehničkog stanja vozila uzrokuje pojavu poremećaja u radu i/ili potpunih zastoja u radu. Sva cestovna vozila su popravljivi tehnički sustavi, njihovo stanje se može obnoviti odgovarajućim preventivnim i korektivnim postupcima

Održavanje vozila igra značajnu ulogu u njihovoj efektivnosti. Opravdanost ulaganja u vozila ovisi o tome što ona pružaju u odnosu na postavljene zahtjeve. Efektivnost je složena funkcija, a pouzdanost i raspoloživost su osnovni parametri koji su vjerojatnosne kategorije

Pouzdanost ovisi o konstrukcijskim karakteristikama vozila i definira se kao sposobnost sustava i njegovih elemenata da funkcioniraju bez kvara.

Raspoloživost ne ovisi samo o karakteristikama dizajna, već i o radnom okruženju, skladištenju i održavanju, pa čak i o pouzdanosti vozila.

Održavanje cestovnih vozila kao složeni organizacijsko - tehnološki sustav bitno utječe na parametre efektivnosti cestovnih vozila.

Ključne riječi: cestovna vozila, održavanje, efektivnost, pouzdanost, raspoloživost



## **SUMMARY**

Road vehicles are complex technical systems that, like all technical systems, change during exploitation. A change in the technical condition of the vehicle leads to disruptions in operation and/or complete operational failures. All road vehicles are repairable technical systems, their condition can be restored by appropriate preventive and corrective measures

Maintenance of vehicles plays an important role in their efficiency. The justification for investment in vehicles depends on what they perform in relation to the requirements set. Effectiveness is a complex function, and reliability and availability are fundamental parameters that are probabilistic categories.

Reliability depends on the design characteristics of the vehicle and is defined as the ability of the system and its elements to function without failure.

Availability depends not only on the design characteristics, but also on the operating environment, storage and maintenance, and even on the reliability of the vehicle.

Road vehicle maintenance as a complex organizational-technical system significantly affects the parameters of road vehicle efficiency.

Keywords: road vehicles, maintenance, effectiveness, reliability, availability

# 1. UVOD

Održavanje cestovnih vozila vrlo je značajna komponenta kako bi se osigurala njihova funkcionalnost, pouzdanost također i trajnost. Kvaliteta samog održavanja imaju popriličan utjecaj na efektivnost. Kako bi se postiglo što kvalitetnije održavanje cestovnih vozila potrebno je pravovremeno i tehnološki prihvatljivo reagirati tj. primijeniti metode održavanja.

Postoji nekoliko različitih vrsta održavanja vozila, od rutinskih pregleda i zamjene ulja do složenih popravaka i rekonstrukcija. Održavanje može biti preventivno, poput redovitih servisa, ili korektivno, kao što je popravak nakon nesreće. Osim što je važno za sigurnost vozača i putnika, održavanje vozila također ima pozitivan utjecaj na okoliš. Redovito održavano vozilo može trošiti manje goriva, emitirati manje štetnih plinova i imati manji utjecaj na okoliš.

Pronalaženjem slabih točaka na vozilu i prevencijom kvarova smanjujemo rizik od otkaza cestovnih vozila. Ukoliko je vozilo lakše za održavanje dolazi do veće operativne raspoloživosti, što znači da ima i veću efektivnost.

Efektivnost cestovnih vozila pokazatelj je kvalitetnog, sustavno pravilnog i tehnološki usmjerenog održavanja cestovnih vozila.

Tema ovog završnog rada je „Utjecaj održavanja na parametre efektivnosti cestovnih vozila“.

Cilj završnog rada je prikazati utjecaj sustava održavanja na parametre efektivnosti.

Završni rad je izložen u 6 poglavlja:

1. Uvod
2. Efektivnost cestovnih vozila
3. Sustav održavanja cestovnih vozila
4. Osiguranje i kontrola kvalitete održavanja cestovnih vozila
5. Utjecaj održavanja na parametre efektivnosti cestovnih vozila
6. Zaključak

U drugom poglavlju je ukratko objašnjena efektivnost cestovnih vozila, te njezini parametri: pouzdanost, raspoloživost, fleksibilnost te pogodnost za održavanje.

Treće poglavlje prikazuje sustav održavanja kroz razne primjere i vrste održavanja, modele, strukturu organizacije održavanja vozila, tehnologiju održavanja, kao i postupke održavanja cestovnih vozila.

U četvrtom poglavlju naglasak je na osiguranju i kvaliteti održavanja koji se odnosi se na svaki proces kojim se osiguravaju zahtjevi kvalitete prije ili tijekom proizvodnog procesa.

Objašnjenje utjecaja održavanja na parametre efektivnosti cestovnih vozila, na raspoloživost, pouzdanost, kao i utjecaj intenziteta kvarova i intenziteta popravaka, sadržano je i opisano u petom poglavlju

## 2. EFEKTIVNOST CESTOVNIH VOZILA

Efektivnost predstavlja vjerojatnost da će cestovno vozilo uspješno funkcionirati u bilo kojem trenutku ( $t < T$ ) i obavljati zadatak namjene u propisanom vremenskom roku i uvjetima okoline. To je važno za određivanje kvalitete i eksploatacije cestovnog vozila, uključujući frekvenciju uporabe, trajanje ispravnog funkcioniranja i kvalitetu obavljanja zadataka. Efektivnost je važan pokazatelj kvalitete unutarnjih svojstava sustava i logističke podrške tijekom njegovog životnog vijeka. Veća pouzdanost vozila i sustava rezultira manjim intenzitetom kvarova i kraćim vremenom zastoja zbog održavanja. Parametri efektivnosti utječu na razvoj konstrukcije sa što većom pouzdanošću i jednostavnijim održavanjem te manjim ukupnim troškovima vijeka trajanja. Ocjenjivanje efektivnosti treba početi u ranim fazama razvoja sustava kako bi se omogućile jednostavne promjene u konstrukciji i povećanje pouzdanosti i pogodnosti za održavanje.

Efektivnost daje odgovor na ključna pitanja eksploatacije svakog motornog vozila, a to su:

- koliko dugo se vozilo može koristiti
- koliko će biti tijekom upotrebe ispravno
- kakvo je izvršavanje dizajnirane funkcije zadatka ili namjene

Učinkovitost ili efektivnost je standardna mjera za kvalitetu svih važnih unutarnjih karakteristika samog vozila, kao i ukupnu kvalitetu logističke potpore u cijelom njegovom trajanju. Što je veća pouzdanost vozila, njegovih elemenata i podsustava, to je manji intenzitet kvarova. S boljom organizacijom održavanja i opskrbe pričuvnih dijelova, postiže se kraće vrijeme zastoja i veća učinkovitost. Kvalificirano osoblje koje rukuje ili održava vozila poboljšava pouzdanost, produljuje razdoblje između kvarova te smanjuje troškove životnog vijeka.

Efektivnost je važan parametar pri razvoju novih vozila, jer utječe na pouzdanost, jednostavnost održavanja i ukupne troškove životnog vijeka. Greške u početnoj fazi razvoja vozila mogu rezultirati skupim i čestim održavanjem, niskom pouzdanošću i kratkim vijekom trajanja. Stoga, ocjena efektivnosti treba biti dio početne faze razvoja sustava kako bi se omogućile jednostavne promjene u konstrukciji koje će povećati pouzdanost i olakšati održavanje.

Definicija (formula) efektivnosti jest sljedeća:

$$E(t) = A(t) \cdot R(t) \cdot FP(t) \quad (2.1.)$$

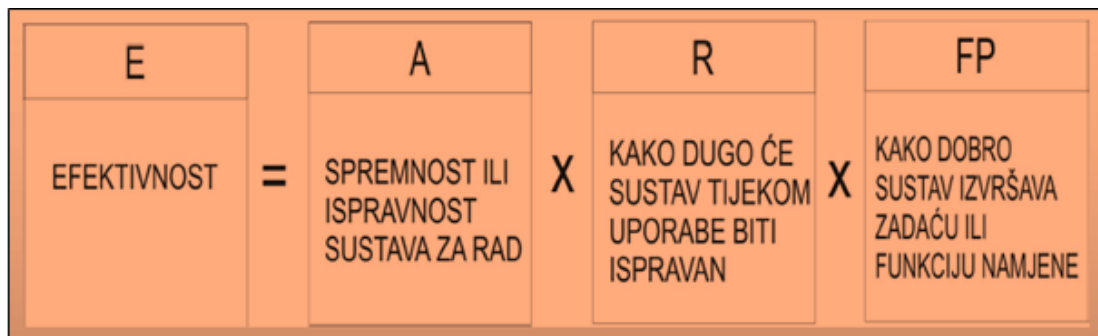
gdje je:

A(t) - funkcija raspoloživosti (Availability)

R(t) - funkcija pouzdanosti (Reliability)

FP(t) - funkcionalna pogodnost ili fleksibilnost (Design adequacy/Capability)

Efektivnost se sastoji od dvije glavne komponente, pouzdanosti i raspoloživosti, koje su probabilističke prirode. Pouzdanost ovisi o karakteristikama sustava i njegovih elemenata za određene uvjete rada i radno vrijeme, a odnosi se na sposobnost sustava da radi bez kvara. Raspoloživost, također probabilistička funkcija, ovisi ne samo o karakteristikama vozila, već i o uvjetima rada, skladištenju i održavanju. Funkcionalna pogodnost ili fleksibilnost, s druge strane, je deterministička funkcija koja se odnosi na sposobnost sustava da zadovolji zahtjeve i izvrši postavljene zadatke. Fleksibilnost sustava odnosi se na njegovu sposobnost prilagodbe promjenjivim okolnostima tijekom vremena. Prikaz opće prihvaćene definicije efektivnosti prikazuje slika 1 [3].



Slika 1. Definicija efektivnosti sustava [5]

Troškovi održavanja bitno utječu na ukupne troškove životnog ciklusa, zahvaćajući veliki dio ukupnih troškova ILP-a (integralna logistička potpora).

Globalni odnosi na slici 2. se odnose na sve vrste tehničkih sustava i na sve uvjete njihove primjene, stvarni udio pojedinih aktivnosti u ukupnim troškovima životnog ciklusa ovisi o vrsti tehničkog sustava i namjeni.



Slika 2. Prikaz troškova tzv. „Ledeni brijeg“ [5]

Istraživanja su pokazala da 85-90 % troškova ŽC je definirano u početnim razdobljima razvoja tehničkih sustava. Znači, početne se greške u konstrukciji skupo plaćaju teškoćama u proizvodnji, niskom pouzdanošću u uporabi, skupim i čestim održavanjem, kratkim ŽC i sl.

## 2.1. Pouzdanost cestovnih vozila

Pouzdanost je vjerojatnost rada bez otkaza tijekom vremena t tj. vjerojatnost održavanja funkcije u granicama funkcije kriterija u određenom vremenskom periodu.

Kako je vozilo složeni sustav, njegova pouzdanost ovisi o pouzdanosti svakog elementa i sklopa od kojeg je vozilo sastavljeno. Proizvođači vozila su ti koji moraju voditi računa o pouzdanosti projektiranih vozila. Naravno, što je veća pouzdanost vozila, ono će imati veću

tržišnu vrijednost i cijenu. Pouzdanost vozila ima značajnu važnost pri kupnji vozila, jer su podaci o njezinim karakteristikama jednako važni kao i tehničke karakteristike svakog vozila.

Pouzdanost vozila određuju:

- intenzitet kvarova
- srednje vrijeme između kvarova
- funkcija raspodjele vremena između kvarova

Brojni faktori prilikom kreiranja vozila utječu na njegovu početnu pouzdanost, uključujući izbor materijala, kinematičke veze, tolerancije, uvjete podmazivanja i režime opterećenja. Tokom eksploatacije vozila, vrijednost pouzdanosti elemenata i sklopova pada uslijed trošenja i drugih utjecaja. Međutim, održavanjem se te vrijednosti vraćaju unutar željenih vrijednosti i time se postiže manji pad pouzdanosti i duži vijek trajanja vozila. Proračun pouzdanosti cijelog sustava temelji se na poznatim pouzdanostima ugrađenih elemenata i ovisi o načinu veza između tih elemenata. Serijska veza elemenata je uobičajeni primjer u vozilima, u kojem svaki element ima ključnu ulogu za funkcionalnost sustava. U slučaju kvara jednog elementa u takvom sustavu, dolazi do kvara cijelog sustava.

### 2.1.1. Osnove pouzdanosti

Definicija pouzdanosti ima tri osnovna elementa:

- zadana funkcija
- zadani uvjeti
- određeni vremenski period.

U okviru navedenih elemenata, pouzdanost se može izraziti u matematičkom obliku:

$$R(t) = P(T > t) \quad (2.2.)$$

Statistički:

$$R(t) = \frac{n-N(t)}{n} = 1 - \frac{N(t)}{n} = \frac{n(t)}{n} \quad (2.3)$$

gdje je:

$n$  - ukupan broj promatranih elemenata u trenutku  $t = 0$

$N(t)$  - ukupan broj elemenata koji su u kvaru do  $t$

$n(t)$  - ukupan broj ispravnih elemenata do trenutka  $t$

ili drugačije, kao vremenska slika stanja:

$n$  - ukupan broj pojava stanja „u radu“

$N(t)$  - ukupan broj pojava stanja „u kvaru“ do  $t$

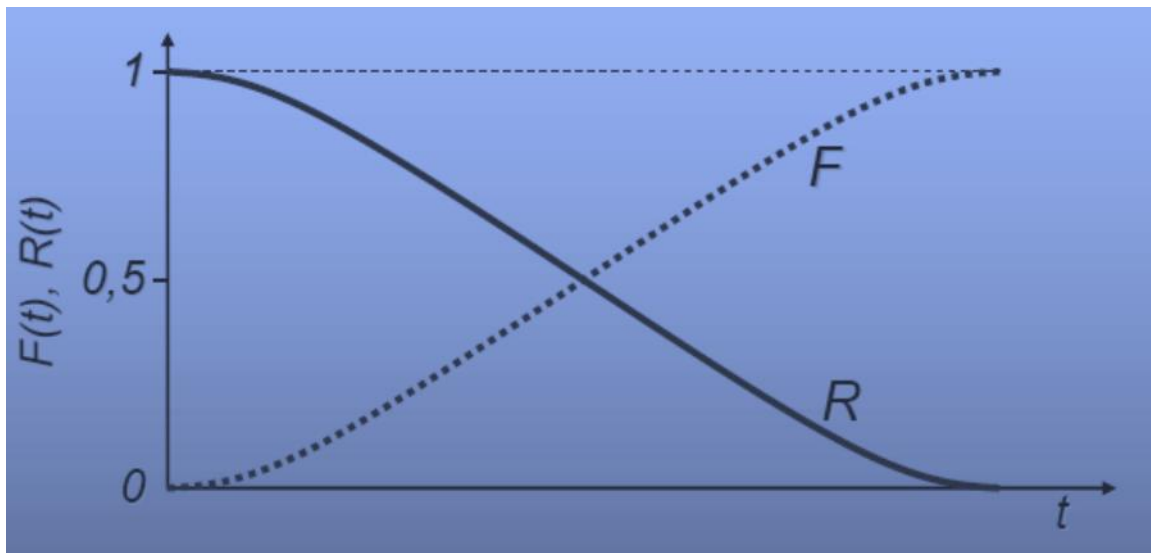
ukupan broj pojava stanja „u radu“ do trenutka  $t$

Funkcija nepouzdanosti  $F(t)$ , odnosno, vjerojatnost pojave kvara do vremena  $t$  je komplementarna  $R(t)$ :

$$F(t) = \frac{N(t)}{n} \quad (2.4.)$$

Na slici 3. je prikazano da uvijek vrijedi:

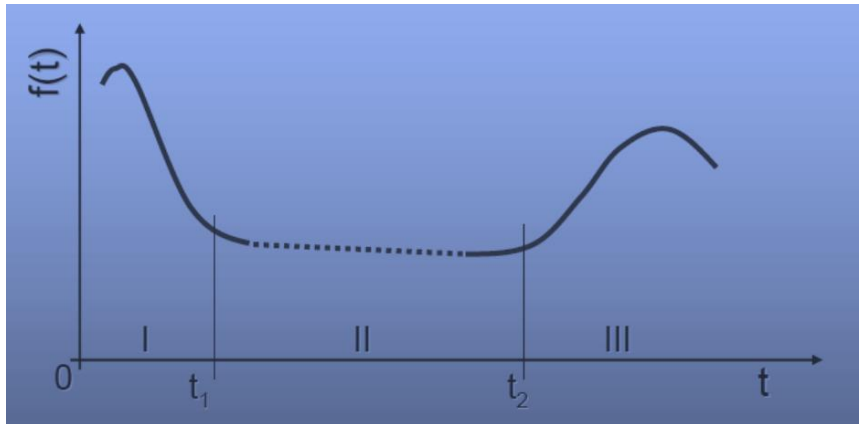
$$R(t) + F(t) = 1 \quad (2.5)$$



Slika 3. Prikaz veze između funkcije pouzdanosti i funkcije nepouzdanosti [2]

Određivanje funkcije gustoće kvarova se postiže praćenjem broja vozila koja otkazuju tijekom određenog vremenskog intervala. Taj interval se obično naziva  $\Delta t$ . Funkcija gustoće kvarova je funkcija koja opisuje raspodjelu pojave kvarova u vremenu. Pri korištenju motornog vozila, različiti uzroci mogu utjecati na pojavu stanja "u kvaru" s različitim intenzitetima. To znači da funkcija  $f(t)$  može imati različite oblike i karakteristike. [5]





Slika 4. Karakteristični opći oblik  $f(t)$  [5]

$$F(t) = \int_0^{t_1} f(t) dt \quad (2.6)$$

Ovaj oblik omogućava potpunu analizu tri karakteristična perioda u radu elemenata i motornog vozila. Područje I predstavlja područje čestih kvarova, gdje se pojavljuju "dječje bolesti", odnosno pogreške nastale u procesu projektiranja, proizvodnje i kontrole. Područje II se zove period normalnog rada, gdje se  $f(t)$  stabilizira, a kvarovi se javljaju slučajno s gotovo konstantnom učestalošću. U području III dolazi do poznih kvarova i veće učestalosti stanja "u kvaru" zbog starenja, korozije, zamora materijala i povećanog intenziteta trošenja.

### 2.1.2. Intenzitet kvarova

U praksi, pouzdanost se najčešće mjeri pomoću intenziteta kvarova ( $\lambda$ ), koji predstavlja brzinu kojom se kvarovi događaju. Intenzitet kvarova je uvjetna vjerojatnost da će neki element, koji nije bio u kvaru do trenutka  $t$ , otkazati u sljedećem vremenskom periodu. Odnos je sljedeći:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.7)$$

Intenzitet kvarova se može izraziti praćenjem elemenata u eksploataciji, za male vrijednosti  $\Delta t$  vrijedi izraz:

$$\frac{N(\Delta t)}{n(t)} = \lambda(t) \cdot \Delta t \quad (2.8)$$

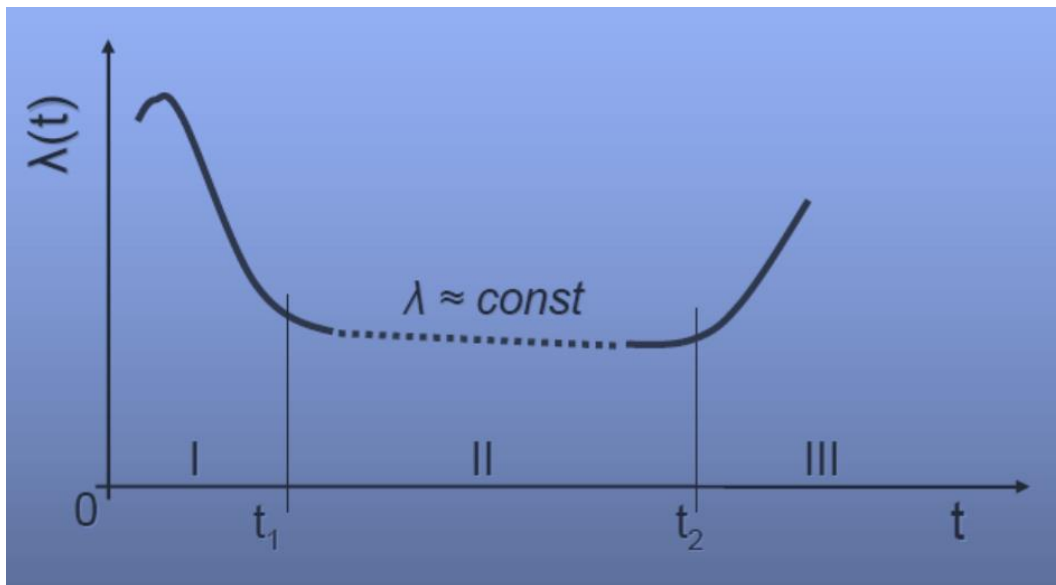
Naime,  $\lambda(t)$  predstavlja vjerojatnost da cestovno vozilo koje radi bez kvara do momenta  $t$ , otkáže u sljedećoj jedinici vremena. Zbog navedenog se ponekad  $\lambda(t)$  naziva i opasnost od

rizika. Zatim  $\lambda(t)$  se može računati i kao prosječna vrijednost za duži period rada cestovnog vozila:

$$\lambda = \frac{\text{broj otkaza}}{\text{ukupno vrijeme u radu}} \quad (2.9)$$

Prosječno vrijeme rada između kvarova **MTBF** (*Mean Time Between Failure*) se dobije jednadžbom:

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} [h] \quad (2.10)$$



Slika 5. Prikaz „krivulje kade“ intenziteta kvarova [1]

U praksi se često koristi intenzitet kvarova kao mjera relativne brzine promjene pouzdanosti kroz vrijeme. Intenzitet kvarova ima karakterističan oblik tijekom vremena, tzv. „oblik kade“ ili „krivulja kade“, prikazano na slici 5. U razdoblju I se pojedini sustavi detaljno razrađuju u tvornici kako bi se smanjio intenzitet kvarova.

Kako bi se spriječio pad pouzdanosti tijekom eksploatacije, važno je poznavati početak razdoblja III za pojedine elemente i na vrijeme izvršiti preventivnu zamjenu elemenata. Kako bi se optimizirala pouzdanost elemenata, nužno je uzeti u obzir sva tri razdoblja, te razumjeti osnovne uzroke pojedinih vrsta kvarova [5].

## 2.2. Raspoloživost cestovnih vozila

Raspoloživost se odnosi na vjerojatnost da će vozilo biti spremno za rad i da će izvršiti svoju funkciju kada bude potrebno. Ona pokazuje kako su vozila povezana s ljudskim čimbenicima, posebno s rukovateljima i održavateljima.

Definira se kao:

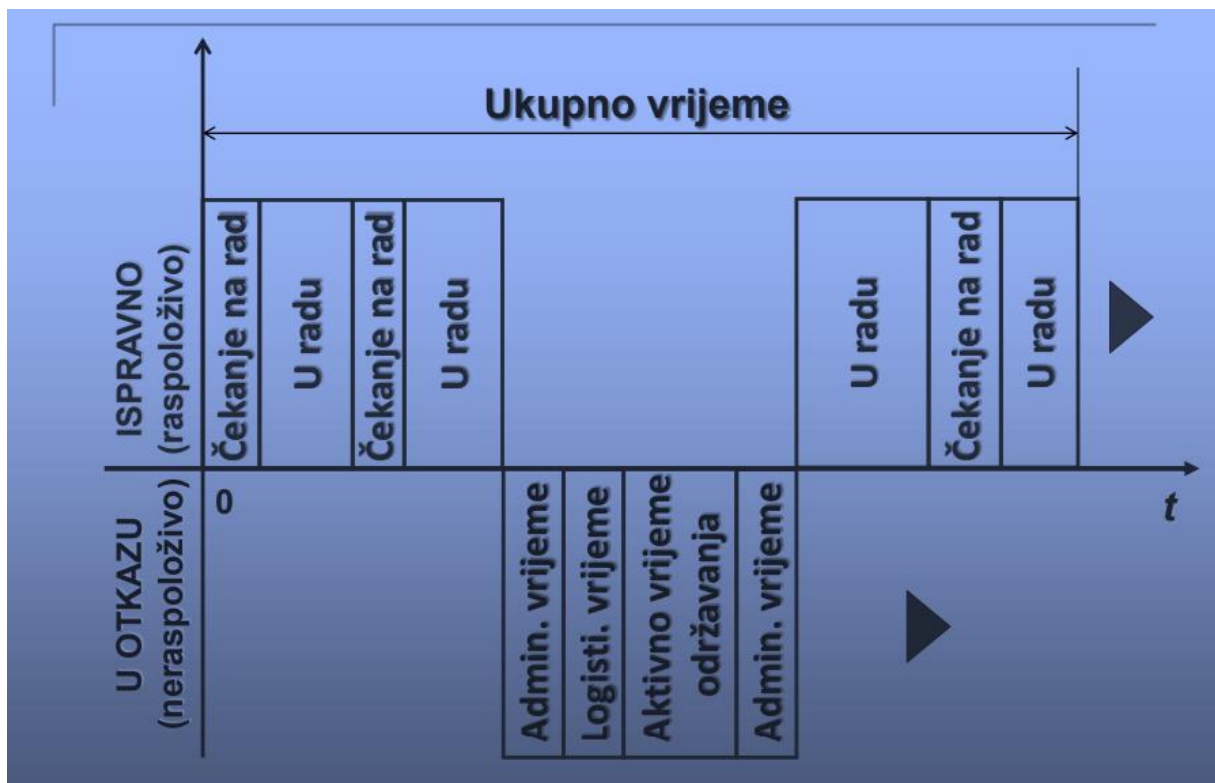
$$A(t) = \frac{\bar{t}_r}{\bar{t}_r + \bar{t}_o} \quad (2.11)$$

gdje je:

$t_r$  - srednje vrijeme u radu ili srednje vrijeme između kvarova

$t_o$  - srednje vrijeme u kvaru (srednje vrijeme zastoja zbog održavanja).

Na slici 6. prikazana su vremena za proračun raspoloživosti



Slika 6. Prikaz vremena za proračun raspoloživosti [5]

Vrijeme "u radu" pa vozilo funkcionira zadovoljavajuće, što je osnova za izračun pouzdanosti  
Vrijeme "u otkazu" znači aktivno vrijeme održavanja (popravka): dijagnoza, popravak, provjera

Logističko vrijeme (LDT) znači čekanje na rezervne dijelove (RD), ne vrši se popravak  
Administrativno vrijeme (ADT) znači administrativne (organizacijske) aktivnosti – primjerice izdavanje radnog naloga

Vrijeme "u otkazu" (zastoj) je osnova za izračun Pogodnosti održavanja (POD-maintainability)

### 2.2.1. Vlastita ili inherentna raspoloživost

Kada se za neaktivno vrijeme ( $t_o$ ) uzme samo srednje aktivno vrijeme korektivnog održavanja  $t_{ako}$ , onda se ta raspoloživost naziva vlastita ili inherentna raspoloživost, te poprima oblik:

$$A_i(t) = \frac{\bar{t}_r}{\bar{t}_r + t_{ako}} \quad (2.12)$$

Inherentna raspoloživost je pokazatelj vlastitih (inherentnih) osobina vozila, kao što su pouzdanost i pogodnost za održavanje u uvjetima ILP (idealne logističke potpore).

### 2.2.2. Dostignuta raspoloživost

Dostignuta (Achievable) raspoloživost se dobiva kada se za neoperativno vrijeme uzme srednje aktivno vrijeme preventivnog i korektivnog održavanja i poprima sljedeći oblik:

$$A_d(t) = \frac{\bar{t}_r}{\bar{t}_r + t_{ako} + t_{apo}} \quad (2.13)$$

Ona predstavlja vjerojatnost da će vozilo obavljati zadanu funkciju na zadovoljavajući način u uvjetima korektivnog i preventivnog održavanja i ILP-a u bilo kojem trenutku.

### 2.2.3. Operativna raspoloživost

Operativna raspoloživost izražava ponašanje vozila u stvarnom okruženju i stvarnim uvjetima eksploatacije i održavanja. Ona se dobiva kada su u prosječnom neoperativnom vremenu sadržane sve vrste zastoja koje prate vozilo tijekom uporabe i održavanja. Neki od tih zastoja su:

- zastoji zbog preventivnog i/ili korektivnog održavanja
- administrativni zastoji
- logistički zastoji - čekanje na pričuvne dijelove i zastoji radi manjka resursa u procesu održavanja.

Ako za srednje vrijeme svih zastoja zbog održavanja uzme izraz  $t_{zo}$ , onda operativna raspoloživost poprima oblik:

$$A_o(t) = \frac{\bar{t}_r}{\bar{t}_r + t_{zo}} \quad (2.14)$$

Operativna raspoloživost je složeni pokazatelj efektivnosti vozila koji pokazuje:

- razinu pouzdanosti izraženu kroz  $t_r$
- organiziranost, učinkovitost i tehnološku kvalitetu sustava održavanja i ukupne ILP izraženo kroz  $t_{zo}$

U operativnoj raspoloživosti je sadržana i pogodnost sredstva za održavanje. Operativna raspoloživost će biti veća što je sredstvo pogodnije za održavanje. A kada je sredstvo pogodnije za održavanje biti će kraće vrijeme aktivnog održavanja, te kraće ukupno vrijeme zastoja zbog održavanja. Može se zaključiti, da ako je vozilo često u stanju kvara, a vrijeme zastoja zbog kvara veliko, da će tada operativna raspoloživost biti mala. Analogno tome, može se zaključiti, da što je veća pouzdanost vozila i elemenata, tada će biti manji intenzitet kvarova, veće vrijeme u radu i naravno, veća operativna raspoloživost. To pokazuje vrlo jaku povezanost između parametara pouzdanosti i operativne raspoloživosti. Veća operativna raspoloživost, rezultira

kraćim vremenima zastoja, a postiže se boljom logističkom potporom sredstva tijekom vijeka trajanja, a naročito bolje organiziranim i učinkovitijim sustavom održavanja.

#### **2.2.4. Intenzitet popravka**

Popravlјivost vozila je složeni parametar stanja, odnosno prilagođenost sredstva za otklanjanje kvarova i provedbu preventivnih i/ili korektivnih radnji održavanja. Što je popravlјivost veća, veća je i raspoloživost, kraće je vrijeme popravaka, a dulje vrijeme između kvarova. Popravlјivost je u izravnoj ovisnosti od:

- kvalitete konstrukcije
- pouzdanosti elemenata
- pogodnosti za održavanje
- kvalitete sustava održavanja
- pripravnosti ljudskih, materijalnih, prostornih, tehničkih i vremenskih resursa za održavanje.

Analogno intenzitetu kvarova ( $\lambda$ ), može se uvesti pojam intenziteta popravka ili održavanja ( $\mu$ ). Intenzitet popravka je uvjetovana vjerojatnost da će popravak nekog tehničkog sustava u kvaru, koji nije završen u vremenu ( $t$ ), biti završen u periodu ( $t+\Delta t$ ).

#### **2.3. Fleksibilnost cestovnih vozila**

Fleksibilnost cestovnih vozila je sposobnost vozila za uspješno vršenje funkcije namjene, prilagođavanje zadanim uvjetima uporabe i okoline u zadanom vremenu trajanja. Temeljne vrijednosti se definiraju u najranijim fazama proizvodnje vozila. Tada se definiraju temeljni parametri vozila, te se radi studija izvodljivosti. Fleksibilnost je sastavljena od mnogo veličina među kojima su:

- pogodnost za održavanje
- sigurnost rada vozila

- struktura, povezanost i međusobni utjecaji nižih konstrukcijskih cjelina (podsustava, sklopova, podsklopova, blokova, modula)
- pogodnost za rukovanje i opsluživanje
- radno ili operativno okruženje
- konstrukcijska ograničenja
- kvaliteta izlaznih karakteristika vozila

U procesu razvoja, nabave i kupnje vozila postoji mnogo pitanja. Uz ona osnovna, koliko vozila i u kojem vremenskom periodu će se koristiti, jedno od važnijih pitanja je kojim sredstvima, metodama i postupcima, vozila treba logistički podržavati u eksploataciji, te kakva je kompatibilnost izabranih vozila s postojećim okruženjem? Sustavnom i detaljnom analizom mogu se dobiti glavne odrednice potrebne ili željene fleksibilnosti, a to su:

- definiranje funkcije namjene
- tehničke, fizičke i taktičke karakteristike vozila
- operativni razvoj i raspodjela vozila
- predviđeni ili planirani vijek trajanja
- čimbenici efektivnosti
- zahtjevi i uvjeti okruženja

Fleksibilnost se može definirati kao mjera sposobnosti vozila, prilagođavanju okolini koja je promjenjiva u vremenu. Fleksibilnost je mjera funkcionalnosti ili prilagodljivosti vozila unutar definiranih vremenskih granica i zadanih struktura.

### **2.3.1. Tehničko-tehnološka komponenta**

Postoji skup čimbenika kojima se izražava vjerojatnost uspješnog izvršavanja funkcije namjene i promjena stanja motornog vozila u granicama predviđenih ili projektiranih mogućnosti, što čini tehničko-tehnološku komponentu veoma složenom:

- prosječna, maksimalna, optimalna i dozvoljena brzina vozila
- dozvoljeno, potrebno i poželjno ubrzanje
- specifična i nazivna efektivna snaga
- mogućnost savladavanja prepreka
- efektivni okretni moment
- prosječna potrošnja energije (najčešće goriva)

Kod određivanja vrijednosti ovih čimbenika, često se počinje od zadanih, planiranih ili željenih vrijednosti, ali je potrebno odrediti i minimalne dozvoljene vrijednosti u ovisnosti o namjeni i važnosti motornog vozila. Kada je to vozilo što sofisticiranije, radi se o složenom i teškom poslu, jer postoji čitav niz strogo definiranih kriterijskih funkcija s dozvoljenim mjestima rasipanja.

### **2.3.2. Prostorna komponenta**

Prostorna komponenta sadrži i funkcionalnu pogodnost i pogodnost za održavanje, a određena je načinom razmještaja elemenata u motornom vozilu, tj. sustavu. Kod motornog vozila prostorni razmještaj određuje:

- stupanj iskoristivosti raspoloživog prostora
- dostupnost kritičnim elementima i sklopovima s gledišta održavanja
- potrebno vrijeme za sklapanje i rasklapanje sustava
- udobnost korištenja i upravljanja
- sigurnosna motrišta konstrukcije
- redundandnost kritičnih funkcija, elemenata, sklopova
- veličinu sila aktiviranja poluga za upravljanje.

### **2.4. Podobnost za održavanje i čimbenici za ocjenu**

Podobnost za održavanje se odnosi na karakteristiku konstrukcije vozila koja utječe na sposobnost da se vozilo lako održava i brzo popravi nakon kvara. Tijekom razvoja vozila, cilj je osigurati učinkovitu tehničku, tehnološku i logističku potporu tijekom cijelog vijeka trajanja vozila. Veća pogodnost za održavanje znači veću raspoloživost vozila i manje vrijeme koje vozilo provodi u kvaru. Visoka pouzdanost vozila često zahtijeva visoku razinu pogodnosti za održavanje. Vozila s niskom pouzdanošću imaju česte kvarove i zahtijevaju često održavanje, stoga je važno osigurati visoku pogodnost za održavanje kako bi se smanjili troškovi održavanja i vrijeme zastoja vozila. Pogodnost za održavanje i pouzdanost su povezane karakteristike koje zajedno utječu na raspoloživost i učinkovitost vozila. [5]

Povećanjem pogodnosti za održavanje postižu se sljedeći efekti:



- smanjenje vremena zastoja zbog održavanja
- smanjenje iznenadnih kvarova i otkaza uzrokovanih starenjem
- brže vraćanje vozila u upotrebljivo stanje
- održavanje postaje lakše
- manja potreba za radnom snagom i manji trošak energije
- smanjenje potrebe za preventivnim i korektivnim održavanjem
- smanjenje opreme potrebne za održavanje
- smanjenje ukupnih troškova održavanja

#### 2.4.1. Čimbenici vremena održavanja

Najvažniji čimbenici u određivanju vremena održavanja su faktori vremena. Budući da korektivno održavanje može varirati u vremenu, ono se procjenjuje kroz srednje vrijeme korektivnog održavanja, odnosno  $M_{ct}$  (*engl. Mean Corrective Maintenance Time*). To je prosječno vrijeme koje je potrebno za izvođenje pojedinih ciklusa korektivnog održavanja.

Izgleda ovako:

$$\overline{M_{ct}} = \frac{\sum_{i=1}^n M_{cti}}{n} \quad (2.15)$$

gdje je:

$n$  - broj korektivnih održavanja u promatranom vremenu

$M_{cti}$  - aktivno vrijeme korektivnog održavanja kod  $i$ -tog održavanja.

U fazi razvoja cestovnog vozila se također može izračunati  $M_{ct}$ , po osnovi poznavanja intenziteta kvarova:

$$\overline{M_{ct}} = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot M_{cti}}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} \quad (2.16)$$

gdje je:

$\lambda_i$  - intenzitet kvarova  $i$ -tog elementa

$M_{cti}$  - aktivno vrijeme korektivnog održavanja i-tog elementa.

Za preventivno održavanje se može definirati srednje vrijeme preventivnog održavanja  $M_{pt}$  (engl. *Mean Preventive Maintenance Time*):

$$\overline{M}_{pt} = \frac{\sum_{i=1}^n f_{pti} \cdot M_{pti}}{\sum_{i=1}^n f_{pti}} \quad (2.17)$$

gdje je:

$f_{pti}$  - učestalost preventivne aktivnosti i-tog elementa

$M_{pti}$  - aktivno vrijeme preventivnog održavanja i-tog elementa.

Za srednje aktivno vrijeme održavanja  $M$  (engl. *Mean Active Maintenance Time*) se uzima vrijeme korektivnog i preventivnog održavanja:

$$\overline{M} = \frac{\lambda \cdot \overline{M}_{ct} + f_{pt} \cdot \overline{M}_{pt}}{\lambda + f_{pt}} \quad f_{pt} = \sum_{i=1}^n f_{pti} \quad \lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (2.18)$$

Vrijeme zastoja vozila tijekom održavanja može se podijeliti na tri vrste: logističko vrijeme (LDT), administrativno vrijeme (ADT) i vrijeme zastoja (MDT). LDT uključuje vrijeme čekanja na dostavu rezervnih dijelova, opreme i transportiranje, dok se pod ADT-om podrazumijevaju administrativne radnje koje su potrebne za popravak vozila, poput izdavanja radnog naloga i organizacijskih propusta. MDT predstavlja ukupno vrijeme potrebno za popravak vozila do potpunog radnog stanja, odnosno vrijeme održavanja u kojem vozilo nije raspoloživo.

Vrijeme korektivnog održavanja ( $M_{ct}$ ) predstavlja prosječno vrijeme potrebno za popravak vozila tijekom korektivnog održavanja, koje se ponaša kao slučajna varijabla. [5]

## 2.4.2. Čimbenici radnih sati održavanja

Uz vrijeme koje se potroši na održavanje vozila, važno je razmotriti i broj radnih sati:

- radni sati održavanja po satu rada vozila s motorom
- radni sati održavanja prema ciklusu rada vozila s motorom
- radni sati održavanja po mjesecu
- radni sati potrošeni na svaku pojedinu radnju održavanja.

### **2.4.3. Čimbenici učestalosti održavanja**

MTBM (*engl. Mean Time Between Maintenance*) je prosječno vrijeme između dva uzastopna održavanja cestovnog vozila, bilo preventivnog ili korektivnog. Ova vrijednost je važna jer utječe na raspoloživost vozila, a češće održavanje znači manju raspoloživost vozila za korištenje. MTBR (*engl. Mean Time Between Replacements*) predstavlja srednje vrijeme između zamjena pojedinih dijelova te je ključni parametar u određivanju potreba za rezervnim dijelovima i logističke podrške.

### **2.4.4. Čimbenici troškova održavanja**

Najveći dio troškova tijekom trajanja vozila proizlazi iz održavanja, a odluke donesene tijekom faze razvoja vozila ključne su za utjecaj na ove troškove. Stoga, ukupni trošak vijeka trajanja vozila treba biti ključni parametar pri razvoju i dizajnu vozila. Također, pri izvođenju održavanja, važno je voditi računa o isplativosti radnji [5].

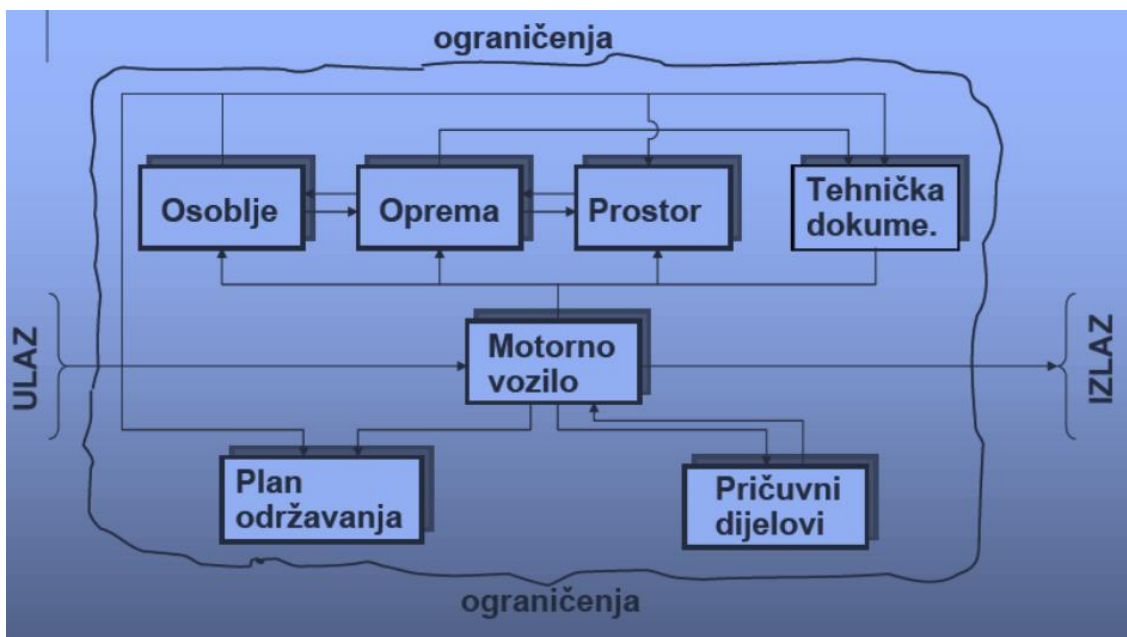
Podjela troškova održavanja obuhvaća sljedeće kategorije:

- trošak po pojedinačnoj radnji održavanja
- trošak održavanja po satu rada vozila
- trošak održavanja po mjesecu
- trošak održavanja po izvršenom zadatku ili dijelu zadatka
- omjer troška održavanja i ukupnog troška vijeka trajanja vozila

### 3. SUSTAV ODRŽAVANJA CESTOVNIH VOZILA

Sustav održavanja je skup aktivnosti koje se poduzimaju kako bi se određeni objekt održavanja što dulje održao ili doveo u ispravno stanje s ciljem kvalitetnog vršenja funkcije namjene. Također čini skup mjera kojima se održava i obnavlja zadato stanje i kojima se određuje i ocjenjuje postojeće stanje.

Sustav održavanja vozila može biti organiziran na različite načine, ovisno o preferencijama i potrebama vlasnika. Mnogi proizvođači vozila imaju preporučene intervale održavanja koje se temelje na broju prijeđenih kilometara ili vremenu korištenja vozila. Također, postoje i različiti programi održavanja koje nude ovlaštene servisi, a koji se mogu prilagoditi specifičnim potrebama vozača [10].



Slika 6. Sustav održavanja kao složeni organizacijsko-tehnološki sustav [5]

Održavanje je složeni organizacijsko – tehnološki sustav gdje svaki element sustava ima vlastite karakteristike i parametre stanja. U organizacijskoj strukturi postoje vodoravne i okomite veze s jednoznačnom definicijom radnih obveza i kompetencije učesnika u tehnološkom procesu.

### **3.1. Metode održavanja cestovnih vozila**

Metode održavanja cestovnih vozila bitno utječu na kvalitetu održavanja, a ujedno su i najvažnije obilježje sustava održavanja. U metodama održavanja vozila je sadržan princip, prema kojemu se donose odluke o načinu i vremenu provođenja postupaka održavanja. Osnovni zadatak održavanja u poduzećima je smanjenje zastoja vozila, a postiže se dobro odabranom strategijom održavanja, koja će ovisiti o:

- zahtjevima proizvođača
- okruženju
- mogućnostima korisnika
- uvjetima eksploatacije.

Osnovni cilj poduzeća, minimalizacija zastoja, postiže se izborom odgovarajuće strategije s ciljem učinkovitog upravljanja održavanjem. Ti ciljevi se postižu razradom tehnoloških procesa održavanja za planirane radove, planiranjem izvođenja definiranih radova i logističke potpore, te praćenjem stanja opreme, zastoja i troškova. Također, jedan od ciljeva je da ulaganja potrebnih resursa budu optimalna.

Izbor metoda održavanja ima ključan utjecaj na kvalitetu održavanja i predstavlja glavnu karakteristiku sustava održavanja. U metodama održavanja vozila važan je princip donošenja odluka o načinu i vremenu provođenja postupaka održavanja. Osnovni cilj održavanja u poduzećima je smanjenje zastoja vozila, što se postiže odabirom odgovarajuće strategije održavanja koja ovisi o zahtjevima proizvođača, okruženju, mogućnostima korisnika i uvjetima eksploatacije.

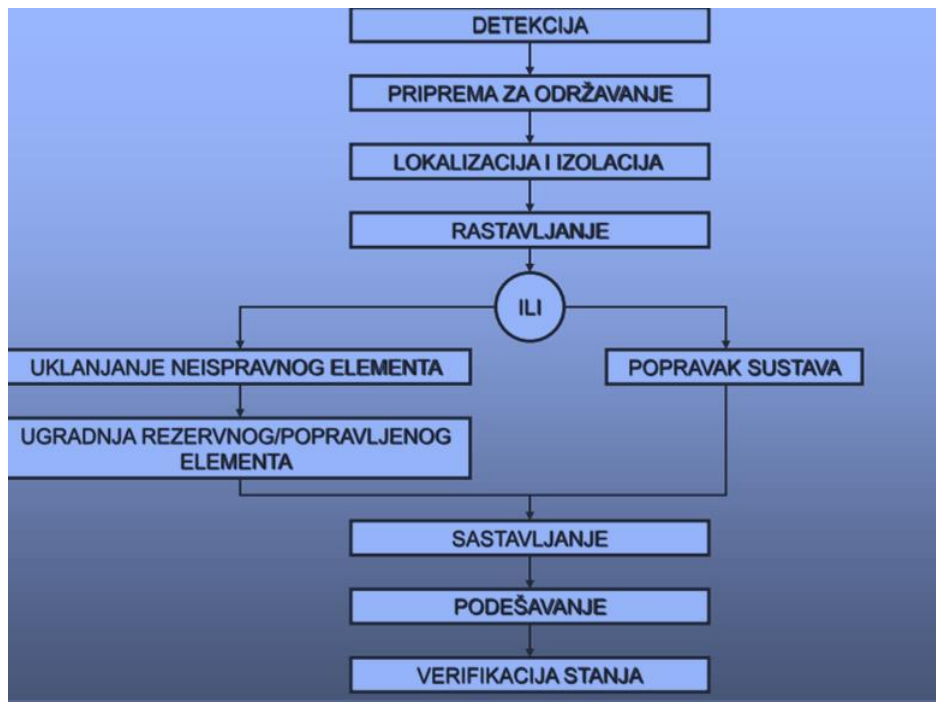
Različite koncepcije održavanja uključuju preventivnu, korektivnu, terotehnološku, logistički pristup, održavanje prema stanju, plansku, totalno produktivno održavanje (TPM), ekspertne sustave i samoodržavanje.

#### **3.1.1. Korektivno održavanje**

Korektivno održavanje se još naziva i neplansko, te naknadno održavanje. Zadatak korektivnog održavanja je da pri slučajnoj pojavi kvara, dovede vozilo u ispravno stanje, a postiže se sljedećim postupcima:

- otkrivanje kvara (neispravnosti, otkaza)

- dijagnoza stanja vozila
- korektivni popravci
- provjera stanja vozila (verifikacija). [5].



Slika 7. Prikaz ciklusa korektivnog održavanja

Metoda korektivnog održavanja nije prikladna za tehničke sustave s visokom pouzdanošću i operativnom raspoloživošću jer se ne može predvidjeti stanje vozila u kasnijoj eksploataciji. Ova metoda nije preporučljiva za elemente s kritičnom pouzdanošću jer otkaz takvih elemenata može dovesti do teških kvarova. Primjeri takvih elemenata uključuju pogonski zupčasti remen i filter ulja. Kod korektivnog održavanja, troškovi održavanja se proračunavaju na temelju broja prijeđenih kilometara ili sati rada. Ključni faktor za ovu metodu je dostupnost pričuvnih dijelova.

### 3.1.2. Preventivno održavanje

Preventivno održavanje (Preventive Maintenance) se provodi u planiranim vremenskim intervalima prije pojave kvara s ciljem sprječavanja ili odlaganja kvara. Preventivno održavanje obuhvaća periodična ispitivanja, praćenje stanja, opsluživanje,

zamjenu elemenata i kontrolu stanja, te omogućava konstantno i sigurno poznavanje tehničkog stanja vozila. Preventivno održavanje je unaprijed planirano, a zadatak je smanjivanje intenziteta kvarova, sprječavanje degradacije karakteristika vozila i produljenje vijeka trajanja vozila u eksploataciji. U eksploataciji motornih vozila moguće su pojave iznenadnih kvarova sa katastrofalnim posljedicama, a preventivno održavanje bitno umanjuje mogućnost pojave istih.

Isključivo je opravdano obavljati preventivne zamjene dijelova vozila ako se intenzitet kvarova povećava s vremenom ili ako se dijelovi približavaju kraju svog vijeka trajanja. Zamjena dijela prije nego što se intenzitet kvarova poveća neće smanjiti vjerojatnost pojave kvara. Preventivne zamjene dijelova treba provoditi kada dijelovi dosegnu kraj svog vijeka trajanja ili kada postoji visoka vjerojatnost kvara u bliskoj budućnosti. Međutim, kvarovi se mogu dogoditi i prije preventivnih zamjena, a to se rješava korektivnim održavanjem. Stoga, u preventivnoj strategiji održavanja, uz preventivne zamjene, treba provoditi i korektivne postupke održavanja.

Modeli preventivnog održavanja po zadanoj periodici se dijele na:

- periodični ili 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.

Kod periodičnog modela je pretpostavljeno poznavanje podataka o raspodjeli kvarova i troškovima održavanja pojedinih elemenata, koji su sastavni dio vozila. Periodika je unaprijed određena, a postupci održavanja se vrše neposredno prije pojave kvara. Kod ovakvog modela, intenzitet pojave kvarova je rastuća funkcija, a biti će optimalan ako se svaki element promatra neovisno.

Ako intenzitet kvarova raste s vremenom i troškovi preventivne zamjene su manji od korektivnog održavanja, tada je opravdana zamjena elemenata. Karakteristika čistog periodičnog modela je zamjena elemenata kod pojave kvara ili nakon određenog vremena, tj. broja prijeđenih kilometara. Kao primjer se može navesti promjena ulja, filtera i sl. Kod ovog modela vremenski intervali preventivnih zamjena su identični. Blok zamjena jest kada se preventivna zamjena stalno obavlja nakon točno prijeđenih kilometara, neovisno o tome da li je izvršena

korektivna zamjena između dvije preventivne. Zamjenom elemenata se smatra da je vozilo potpuno ispravno. Model se naziva i individualni jer se sastavni elementi promatraju individualno, neovisno o stanju drugih elemenata.

Pravovremeni model se koristi kadu su elementi međusobno stohastički ovisni. Preporučuje se zamjena više elemenata odjednom, zato jer su niži troškovi nego kod zamjene pojedinih elemenata pojedinačno. Tada se može za ovaj model reći da je optimalan.

Kod adaptivnog modela nisu poznati podaci o raspodjeli vremena do pojave kvara pojedinih elemenata, te podaci o troškovima održavanja. Periodika održavanja se definira na osnovi pretpostavke podataka. Podaci se skupljaju tokom eksploatacije vozila, a primjenjuju se kod vozila koja se tek uvode u eksploataciju. Ovaj model nije optimalan i primjenjuje se dok se ne saznaju sve informacije za matematičko modeliranje. Poslije se određuje da li se uzima pravovremeni ili periodični model.

### **3.1.3. Kombinirano održavanje**

Nakon izlaska osnovnih karakteristika i parametara vozila van dozvoljenih granica odstupanja, izvršavaju se postupci održavanja. Tada se vrše i zamjene elemenata kojima uskoro treba preventivna zamjena. Kombinirano održavanje se sastoji od kvalitetnih svojstava preventivnog i korektivnog održavanja, te u nekim uvjetima eksploatacije daje najbolje ishode.

Izbor strategije održavanja u određenim uvjetima eksploatacije ovisi o:

- intenzitetu eksploatacije vozila
- zahtijevanom nivou pouzdanosti i operativne raspoloživosti
- složenosti vozila
- raspoloživosti resursa za održavanje.

## **3.2. Organizacija održavanja cestovnih vozila**

Organizacija održavanja cestovnih vozila definira razine održavanja i njihove međuovisnosti. Kod organizacije održavanja postoji izbor linijske, hijerarhijske i kombinirane



strukture. Organizacijska struktura će biti kompleksnija što je sustav složeniji, te u skladu s time ima više kanala opsluživanja.

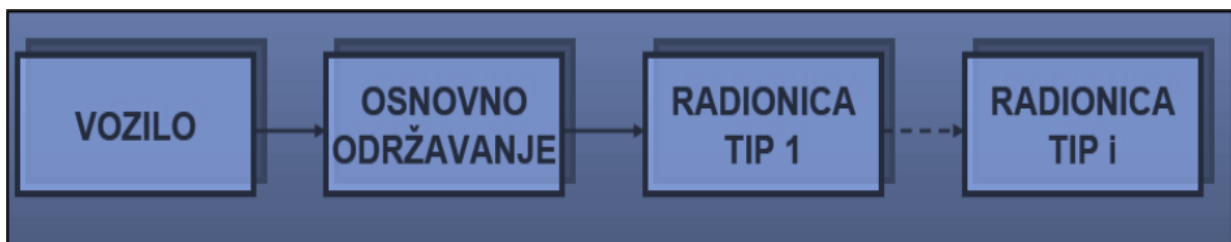
Temeljni čimbenici organizacije su:

- praćenje motornih vozila u procesu eksploatacije
- izbor metoda održavanja
- planiranje i organizacija nadzora procesa održavanja
- priprema i provedba tehnološkog procesa održavanja
- organizacija transporta
- potpora pričuvnim dijelovima i agregatima
- odgovarajuća kvalifikacijska struktura radne snage.

Sklad i povezivanje ovih elemenata daje optimalnu sposobnost sustava održavanja uz zadovoljenje ekonomskih i vremenskih kriterija.

Kod upravljanja zalihama treba obratiti pozornost na njihov ulaz i izlaz. Oni moraju biti što proporcionalniji. Lošim gospodarenjem zalihama dolazi do većih troškova, čak i do gubitka financijskih sredstava. Štoviše, zauzima se veći skladišni prostor, elementi brže zastarijevaju, te postoji višak radne snage.

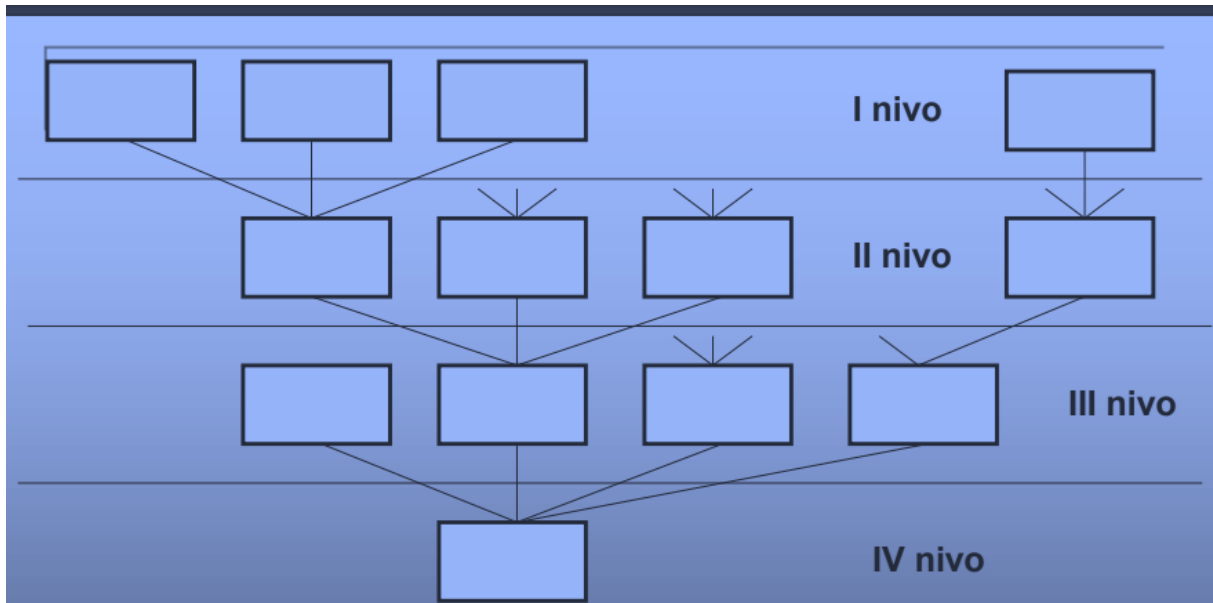
Struktura primjerena jednostavnijim i manjim zahtjevima u procesu održavanja jest linijska struktura, prikazana na slici 8.



Slika 8. Linijska struktura sustava održavanja s dva ili više serijski vezanih elemenata [5]

Sustav održavanja vozila organizira se putem različitih struktura ovisno o složenosti sustava i potrebama organizacije. Linijska struktura je prikladna za manje složene tehničke sustave i sastoji se od osnovnog održavanja, preventivnih pregleda i manjih korektivnih zahvata koji se obavljaju na licu mjesta. Hijerarhijska struktura je složenija i organizirana je u nekoliko razina, a najviša razina održavanja provodi najkompleksnije zahvate i nalazi se na najvišoj tehnološkoj razini.

Za velike transportne organizacije (brojan i raznovrstan vozni park) više odgovara hijerarhijska ili piramidalna struktura sustava održavanja.

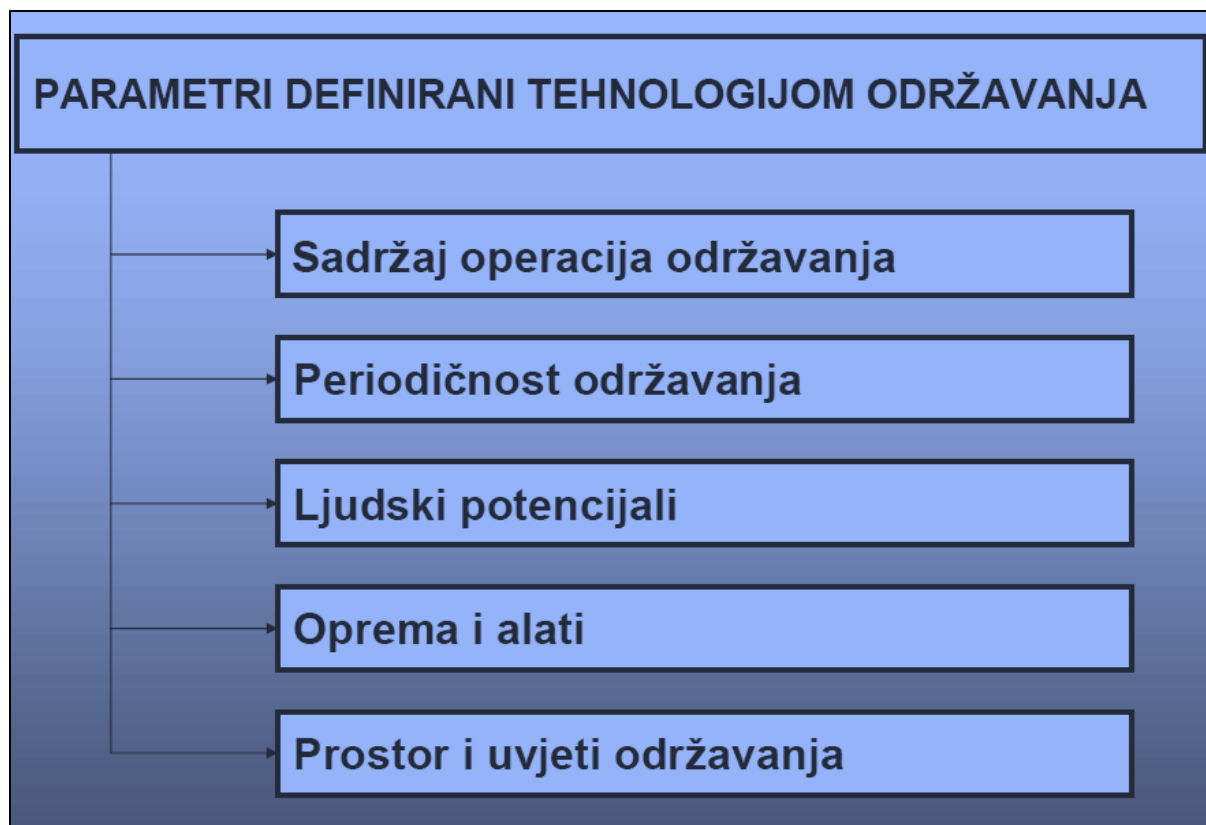


Slika 9. Hijerarhijska tj. piramidalna struktura sustava održavanja

### 3.3. Tehnološki postupci održavanja

Održavanje se može opisati kao sustav koji uključuje tehnološki proces i tehnologiju. Tehnologija održavanja izravno je povezana s razvojem tehničkih sustava. Tehnologija održavanja vozila određuje način na koji se provode postupci održavanja, uključujući upotrebu alata, redoslijed operacija, vrijeme izvođenja i potrebnu stručnost osoblja. Tehnologija održavanja ovisi o složenosti vozila, opremljenosti radionice, obučenosti osoblja i organizaciji sustava.

Probleme tehnologije održavanja treba riješiti tijekom projektiranja radionice uz korištenje operativnih istraživanja i detaljne ekonomske analize. Tehnologija održavanja može se riješiti na različite načine, a odabir tehnologije ovisi o koncepciji i organizaciji sustava. Projektiranje sustava održavanja treba biti jedinstveno i tražiti najpovoljnija rješenja kroz optimizaciju, sistematizaciju i standardizaciju postupaka održavanja.



Slika 10. Elementi tehnologije održavanja [5]

Tehnologija održavanja vozila ovisi o tome koliko je vozilo složeno, kakvom opremom raspolaže radionica, koliko je stručno osoblje obučeno i kakav je sustav održavanja organiziran. Za rješavanje problema koji se javljaju tijekom održavanja vozila potrebno je primijeniti operativna istraživanja i detaljno analizirati ekonomičnost u fazi projektiranja radionice. Najprije se detaljno razrađuje postupak pojedinih radnih operacija, a zatim se utvrđuju potrebe za opremom, prostorom, pomoćnim uređajima i kvalificiranom radnom snagom. Za svaki pojedinačni slučaj postoji nekoliko opcija tehnologije održavanja. Stoga je izbor tehnologije ključni korak u projektiranju sustava održavanja, a utječe na koncepciju i organizaciju sustava.

Dakle, sustav održavanja treba biti jedinstveno koncipiran, te je potrebno tražiti najpovoljnija rješenja kroz optimizaciju, sistematizaciju i standardizaciju razine i pojedinih zahvata u održavanju.

### 3.4. Dokumentacija u održavanju

Dokumentacija u održavanju je zbirka pisanih informacija o opremi, sustavima, postupcima ili procesima koje se održavaju u organizaciji. Ova dokumentacija uključuje informacije o rutinskom održavanju, popravcima, zamjeni dijelova i drugim aktivnostima vezanim za održavanje. Osnovni cilj dokumentacije u održavanju je osigurati da su sve informacije o održavanju lako dostupne i razumljive svima koji su uključeni u održavanje opreme, sustava ili procesa. Ova dokumentacija pomaže u identificiranju problema, dijagnosticiranju kvara i planiranju preventivnog održavanja [7].

Primjeri vrsta dokumenata koje se mogu koristiti u održavanju su:

- planovi održavanja: detaljno opisuju raspored i aktivnosti održavanja koje su potrebne za održavanje opreme, sustava ili procesa.
- izvješća o održavanju: dokumentiraju svaki održavateljski zadatak, popravak ili aktivnost koja je izvršena na opremi, sustavu ili procesu.
- specifikacije opreme: detaljno opisuju značajke opreme, uključujući način upotrebe, kapacitet, performanse i zahtjeve za održavanje.
- standardi održavanja: detaljno opisuju postupke održavanja koji se moraju provoditi u skladu sa standardima i propisima.
- vodiči za održavanje: sadrže korake koje održavatelji trebaju slijediti za održavanje opreme, sustava ili procesa.
- tehnička dokumentacija: sadrži tehničke crteže, sheme, specifikacije, upute za rukovanje i druge tehničke informacije o opremi, sustavu ili procesu [7].

Dokumentacija u održavanju je izuzetno važna kako bi se osiguralo da se oprema, sustavi ili procesi održavaju na siguran, učinkovit i ekonomičan način. Održavanje dokumentacije može pomoći u smanjenju troškova održavanja, povećanju učinkovitosti održavanja i poboljšanju ukupne produktivnosti organizacije. Na slici 11. je prikazan primjer evidencijske liste preventivnog održavanja opreme koja pripada u dokumentaciju, točnije u tehničku dokumentaciju održavanja sa početnim, ulaznim podacima za daljnju dokumentaciju

Objekt:	EVIDENCIJA PREVENTIVNOG ODRŽAVANJA OPREME	Datum: _____
		Izdanje: 01
		Stranica: 1/1

R.b.	Oprema	Izvođač	Datum
1.			
2.			
3.			
4.			
5.			
6.			
7.			
8.			
9.			
10.			
11.			
12.			
13.			
14.			
15.			
16.			
17.			
18.			
19.			
20.			
21.			
22.			
23.			
24.			
25.			
26.			
27.			
28.			
29.			
30.			

**NAPOMENA:**  
Izveštaje o provedenom preventivnom održavanju opreme obavezno arhivirati.

Datum	Kontrolirao	Odobrio
		Voditelj objekta:

Slika 11. Dokumentacija u održavanju – evidencija preventivnog održavanja opreme [10]

## **4. OSIGURANJE I KONTROLA KVALITETE ODRŽAVANJA CESTOVNIH VOZILA**

Osiguranje kvalitete odnosi se na svaki proces kojim se osiguravaju zahtjevi kvalitete prije ili tijekom proizvodnog procesa. Kod popravaka automobila to bi bilo jednako definiranju standarda kvalitete i priopćavanju tih zahtjeva tehničarima. Drugo, to bi se odnosilo na proces kojim tehničari osiguravaju ispunjenje zahtjeva kvalitete tijekom obavljanja popravaka. Ako su standardi jasno definirani i procesi kojima se standardi primjenjuju ispravni, tada bi se željene razine kvalitete trebale postići.

Primjena osiguranja kvalitete može se promatrati kao ugradnja kvalitete u proizvod na mjestu proizvodnje/ugradnje. Kontrola kvalitete odnosi se na proces kojim se pregledavaju i ispituju svi aspekti proizvodnog procesa kako bi se osiguralo da su standardi kvalitete zadovoljeni. Vjerojatno najutjecajniji element kontrole kvalitete je proces inspekcije. Kod popravka automobila (cestovnih vozila) postupak kontrole kvalitete provodi se nakon završetka radova na vozilu kako bi se osiguralo da su svi potrebni popravci obavljeni i da zadovoljavaju zahtjeve kvalitete. Pregledi se provode nakon proizvodnje i usmjereni su na utvrđivanje problema prije isporuke vozila.

Osiguranje kvalitete usredotočeno je na poboljšanje i stabilizaciju procesa kojima se usluga isporučuje čime se problemi kvalitete tijekom procesa popravka smanjuju na minimum. Kontrola kvalitete usmjerena je na prepoznavanje i ispravljanje problema nakon obavljenih popravaka i osiguravanje da su ispravljeni prije nego što se vozilo vrati kupcu. Oba su područja ključna za pružanje kvalitetne usluge popravka automobila. Načela osiguranja i kontrole kvalitete mogu se primijeniti na sva područja poslovanja. Primjena načela kvalitete na ovaj način može se nazvati potpunim upravljanjem kvalitetom. Kvaliteta održavanja cestovnih vozila ključna je za sigurnost u prometu, učinkovitost prijevoza i dugovječnost vozila [8].

Kvaliteta održavanja cestovnih vozila ovisi o nekoliko čimbenika, kao što su:

- redovitost održavanja – vozila treba redovito održavati prema preporukama proizvođača i/ili servisne knjižice. To uključuje zamjenu ulja i filtera, provjeru tekućina i kočnica, zamjenu guma, provjeru ispravnosti svjetala i drugih sigurnosnih sustava.
- kvaliteta dijelova – korištenje originalnih dijelova ili dijelova visoke kvalitete poboljšava trajnost vozila i smanjuje rizik od kvarova.

- stručnost servisera – kvalitetno održavanje vozila zahtijeva stručnog i obučenog servisera koji će provjeriti sve sustave vozila i otkloniti potencijalne probleme.
- upotreba pravilnih alata – korištenje pravilnih alata prilikom održavanja vozila ključno je za pravilno podešavanje sustava vozila, kao što su kočnice, suspenzija i upravljački mehanizmi.
- pravilno skladištenje vozila – vozila se trebaju čuvati u suhom i sigurnom okruženju kako bi se izbjeglo oštećenje vanjskih i unutarnjih dijelova.

Generalno, kvaliteta održavanja vozila igra ključnu ulogu u sigurnosti prometa i dugotrajnosti vozila. Redovito održavanje, upotreba kvalitetnih dijelova i stručan servis osiguravaju optimalnu izvedbu vozila i smanjuju rizik od neželjenih događaja na cesti.

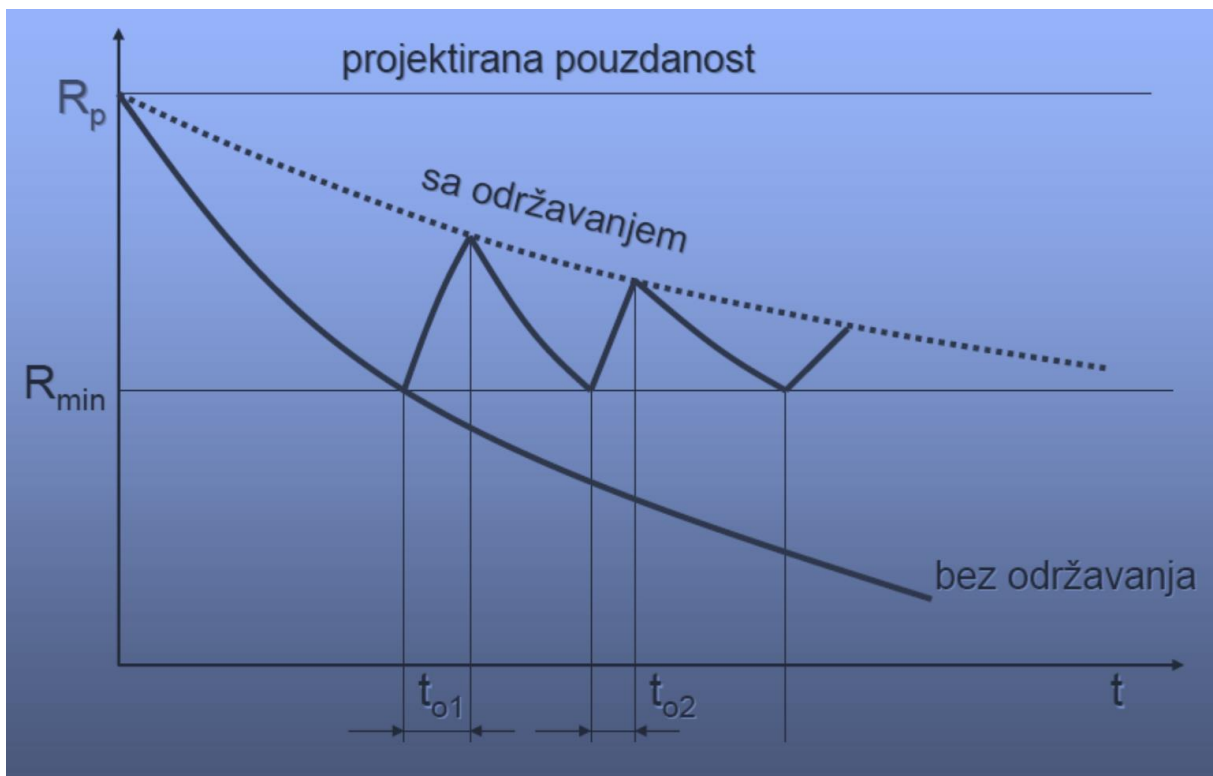
Check Lista vozila			
Vozilo	R	RENAULT	Klijent
			42864 AK2 d.o.o.
Datum	29.03.2016	Kontrolu obavio	HARTO
			Broj radnog naloga
			2406
<b>PROVJERE IZ VOZILA</b>		OK	Potreban popravak
Truba Mlaznice za pranje vjetrobranskog stakla Mlaznice za pranje, stražnje (ovisno o opremi) Visina svjetlosnog snopa (bez aparata)		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<b>PROVJERE IZ VOZILA (PROSTOR OPREMLJEN STAKLIMA I OGLEDALIMA)</b>		OK	Potreban popravak
<b>PREDNJA SVJETLA</b>		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<b>STRAŽNJA SVJETLA</b>		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<b>(1) HITNI POPRAVAK:</b>		<input type="text"/>	
<b>(2) Popravci koji će biti izvršeni:</b>		<input type="text"/>	
<b>MOTORNI PROSTOR</b>			
		OK	Potreban popravak
			Ispravljeno
Ulje u motoru (nivo i kontrola kartice) Tekućina za servo (ovisno o opremi) Tekućina za kočnice Tekućina za hlađenje (nivo, temperatura) Tekućina za pranje vjetrobrana (ako je vidljivo) Stražnje (ovisno o opremi)		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<b>VANJSKI DIO VOZILA</b>			
TLAK pneumatice (uključen i rezervni kotač)			<input type="text"/>
			Podešeno
Stanje guma		Dobro	Srednje
		Potrebno zamjeniti	
Prednja lijeva Prednja desna Zadnja desna Zadnja lijeva		<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>
		OK	Potreban popravak
Vjetrobransko staklo Brisači vjetrobranskog stakla Zadnji brisači (ovisno o opremi) Stakla prozora Prozirni dijelovi svjetala Retrovizori		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

Slika 12. Check lista vozila (kontrolna lista) za pravovremeno održavanje i popravke [9]

## 5. UTJECAJ ODRŽAVANJA NA PARAMETRE EFEKTIVNOSTI CESTOVNIH VOZILA

### 5.1. Utjecaj održavanja na pouzdanost vozila

Kada se vozilo koristi, pouzdanost njegovih dijelova i sklopova opada zbog habanja i drugih čimbenika. Preventivno i korektivno održavanje vraća pouzdanost unutar prihvatljivih granica, što produkuje životni vijek vozila. Slika 13. prikazuje kako se pouzdanost mijenja tijekom vremena s i bez održavanja.



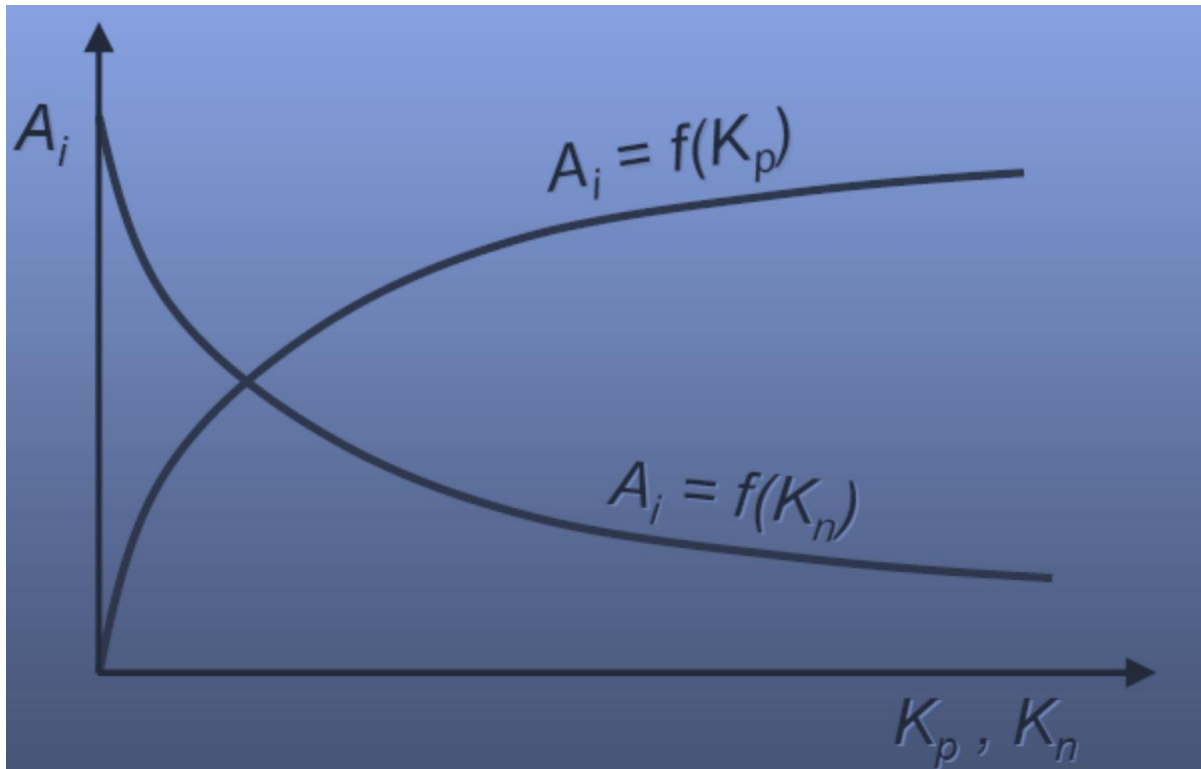
Slika 13. Prikaz promjene pouzdanosti sa i bez održavanja [4]

Krivulja pokazuje da je funkcija pouzdanosti mnogo veća sa održavanjem nego bez održavanja. Vrijednosti funkcije pouzdanosti sa održavanjem ima znatno manji pad u dijagramu, stoga se može zaključiti da održavanjem vozilo ima znatno veću vrijednost pouzdanosti tijekom vijeka trajanja. Bez održavanja vozilo neće biti u mogućnosti da odradi predviđeni vijek trajanja.



## 5.2. Utjecaj koeficijenata neraspoloživosti i popravljivosti na raspoloživost

Popravljivost motornog vozila podrazumijeva sposobnost vozila da se otklone kvarovi te sve mjere i postupke koji osiguravaju da vozilo ostane u ispravnom stanju. Na slici 14. prikazan je odnos raspoloživosti vozila i koeficijenata popravljivosti ( $K_p$ ) i neraspoloživosti ( $K_n$ ).

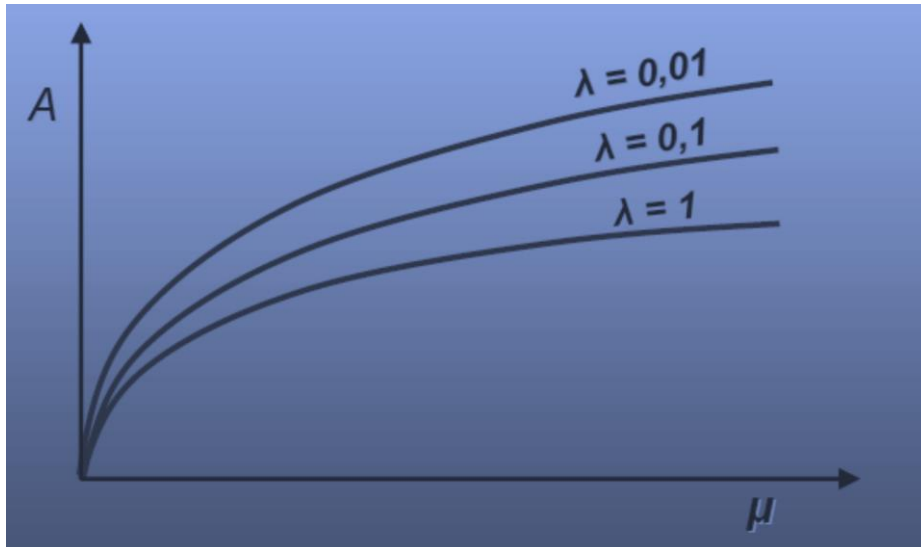


Slika 14. Promjena raspoloživosti u funkciji  $K_p$  i  $K_n$  [4]

Kako se vidi iz slike 15., što je veći koeficijent popravljivosti, veća je i raspoloživost vozila. Što kraće vrijeme otklanjanja neispravnosti, duže vrijeme između kvarova, tada je koeficijent popravljivosti veći, a ujedno i raspoloživost.

## 5.3. Utjecaj intenziteta kvarova i intenziteta održavanja na raspoloživost

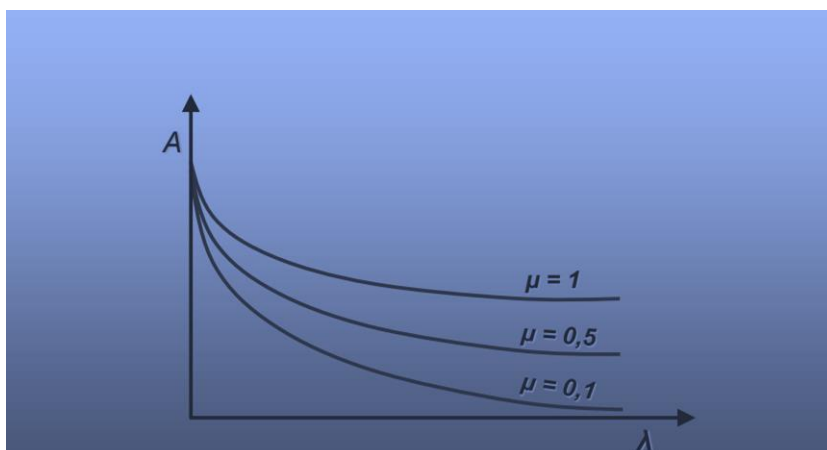
Raspoloživost cestovnih vozila uglavnom ovisi o intenzitetu kvarova  $\lambda$  i intenzitetu popravka ili održavanja  $\mu$ .



Slika 15. Ovisnost raspoloživosti o intenzitetu kvarova i intenzitetu popravaka [5]

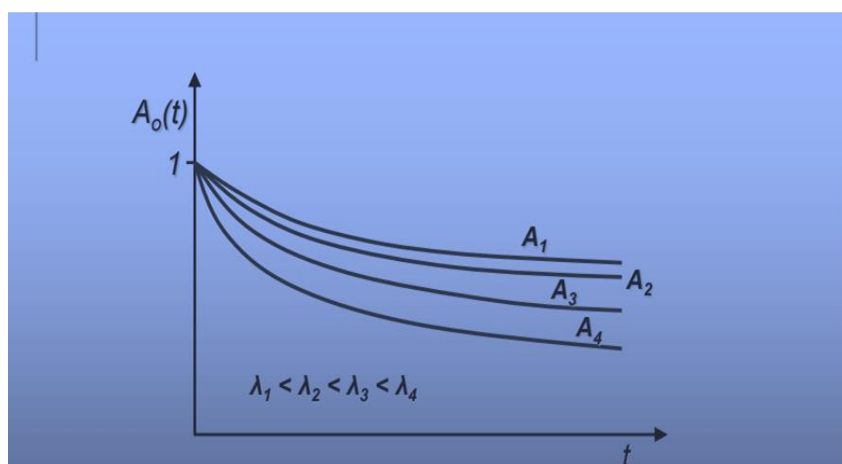
Kako se vidi na slici 16. s povećanjem intenziteta popravka, raspoloživost vozila raste razmjerno smanjenju intenziteta kvarova. Manji intenzitet kvarova ukazuje na veću pouzdanost vozila, dok veći intenzitet kvarova uzrokuje češće zahtjeve za održavanjem i manju operativnu raspoloživost.

Intenzitet kvarova ovisi o uvjetima eksploatacije i složenosti vozila, dok se veća raspoloživost postiže većim intenzitetom održavanja. Intenzitet popravka (održavanja) odražava kvalitetu sustava održavanja, a bolja organizacija dovodi do kraćeg vremena zastoja, većeg intenziteta popravka i veće raspoloživosti vozila.



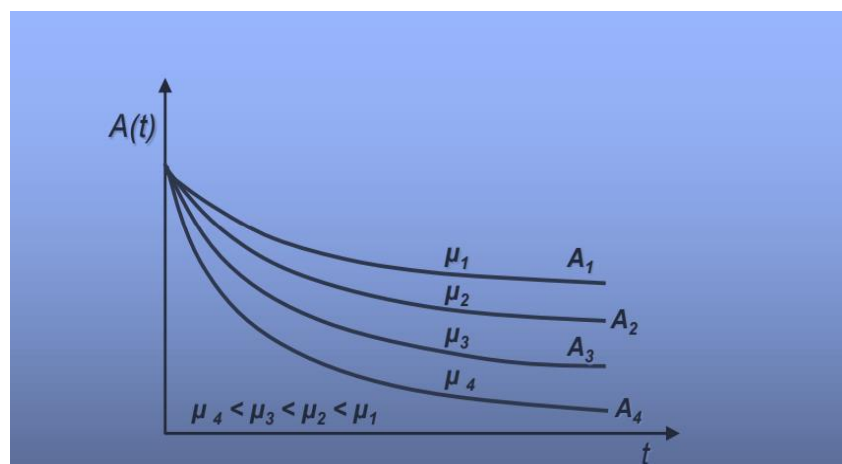
Slika 16. Prikaz ovisnosti raspoloživosti o  $\lambda$  za različite vrijednosti  $\mu$

Intenzitet popravka ili održavanja ( $\mu$ ) je mjerilo kakvoće što znači da je vrijeme zastoja zbog održavanja kraće, intenzitet održavanja veći te također povećava se i raspoloživost.



Slika 17. Ovisnost raspoloživosti o vremenu i  $\lambda$

Povećanjem intenziteta kvarova padaju vrijednosti operativne raspoloživosti i ona dosta brzo poprima vrijednost stacionarnog stanja, a vrijeme trajanja prijelaznog razdoblja razmjerno malo ovisi o vrijednosti intenziteta kvarova.



Slika 18. Raspoloživost u ovisnosti "t" i "mu" za  $\lambda$  konstantno

S porastom intenziteta održavanja (popravka) raste i operativna raspoloživost, što znači da rast nije linearan, već ovisi o vrijednosti intenziteta kvarova, ako je manji (pouzdaniji sustav) odgovara mu brži rast operativne raspoloživosti i suprotno.

## 6. ZAKLJUČAK

Kvaliteta i način održavanja značajno utječu na efektivnost cestovnih vozila, kao i na njihove ključne parametre pouzdanost i raspoloživost. Učinkovitije korištenje materijalnih i ljudskih resursa može se postići implementacijom kvalitetnijeg sustava održavanja, koji smanjuje zastoje u održavanju i optimizira korištenje rezervnih dijelova i opreme za održavanje. Time se smanjuju ukupni troškovi održavanja, a vrijednosti parametara efektivnosti postaju povoljnije.

Analizom ovih parametara tijekom životnog vijeka vozila (ili sustava) mogu se utvrditi učinci pojedinih parametara, a ciljevi takve analize su prevencija kvarova, otkrivanje slabih točaka, održavanje visoke radne sposobnosti i raspoloživosti te u konačnici smanjenje ukupnih troškova.

Dostupnost cestovnog vozila izravno ovisi o interakciji između vozila, vozača i održavatelja. Operativna raspoloživost odnosi se na ponašanje vozila u stvarnim uvjetima korištenja i održavanja. Što je vozilo lakše za održavanje, to će imati veću operativnu raspoloživost, kraće vrijeme potrebno za održavanje i manje zastoja u održavanju. Sve to dovodi do veće efektivnosti cestovnog vozila. Prilikom proizvodnje vozila, nabave ili kupnje cestovnog vozila efektivnost je jedan od važnih čimbenika koji se uzima u obzir. Korisnici očekuju da će vozilo češće biti dostupno za korištenje, dulje vrijeme ispravno i kvalitetno obavljati svoju funkciju. Da bi se to postiglo potrebno je primijeniti kvalitetnije, organiziranije i tehnološki naprednije metode održavanja vozila, što dovodi do povećanja efektivnosti sustava, odnosno cestovnog vozila.

Važno je uzeti u obzir efektivnost cestovnih vozila pri njihovoj proizvodnji, nabavi ili kupnji. Korisnici očekuju vozila koja se mogu češće koristiti, imaju dulji vijek trajanja i na visokoj razini obavljaju funkciju za koju su namijenjena. Ta se očekivanja mogu ispuniti primjenom kvalitetnijeg, bolje organiziranog i tehnološki naprednijeg održavanja vozila, što dovodi do veće efektivnosti sustava odnosno cestovnih vozila.

## POPIS LITERATURE

- [1] Adamović, Ž.: Logistički sistem održavanja, Privredni pregled, Beograd, 1989.
- [2] Belak, S.: Terotehnologija, Visoka škola za turistički menadžment u Šibeniku, Šibenik, 2005.
- [3] Zelenović, D., Todorović, J.: Efektivnost sistema u mašinstvu, Naučna knjiga, Beograd, 1990.
- [4] Vrhovski, M.: Istraživanje utjecaja sistema održavanja na efektivnost motornih vozila primjenom metode simulacije, Fakultet strojarstva i brodogradnje sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 1988.
- [5] Jurić, I.: Predavanja iz kolegija Održavanje cestovnih vozila, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2022.
- [6] Caban, J., Drożdziel, P., Krzywonos, L., Rybicka, I., Šarkan, B., & Vrábel, J. (2019). Statistical Analyses of Selected Maintenance Parameters of Vehicles of Road Transport Companies. *Advances in Science and Technology Research Journal*, 13(1), 1–13. <https://doi.org/10.12913/22998624/92106>
- [7] Mikulić, I., Bošković, I. i Zovak, G. (2020). Effects of Driving Style and Vehicle Maintenance on Vehicle Roadworthiness. *Promet - Traffic&Transportation*, 32 (5), 667-677. <https://doi.org/10.7307/ptt.v32i5.3443>
- [8] Giakoumis, E. G., & Triantafillou, G. (2018). Analysis of the Effect of Vehicle, Driving and Road Parameters on the Transient Performance and Emissions of a Turbocharged Truck. *Energies*, 11(2), 295. <https://doi.org/10.3390/en1102029>
- [9] Centar za vozila Hrvatske | Naslovnica. (n.d.). <https://cvh.hr/naslovnica/>
- [10] Kalinić.info | Organizacija održavanja strojeva i opreme. (n.d.).

## POPIS SLIKA

Slika 1. Definicija efektivnosti sustava [5] .....	4
Slika 2. Prikaz troškova tzv. „Ledeni brijeg“ [5] .....	5
Slika 3. Prikaz veze između funkcije pouzdanosti i funkcije nepouzdanosti [2] .....	7
Slika 4. Karakteristični opći oblik $f(t)$ [5] .....	8
Slika 5. Prikaz „krivulje kade“ intenziteta kvarova [1] .....	9
Slika 6. Sustav održavanja kao složeni organizacijsko-tehnološki sustav [5] .....	19
Slika 7. Prikaz ciklusa korektivnog održavanja .....	21
Slika 8. Linijska struktura sustava održavanja s dva ili više serijski vezanih elemenata [5] ...	24
Slika 9. Hijerarhijska tj. piramidalna struktura sustava održavanja .....	25
Slika 10. Elementi tehnologije održavanja [5] .....	26
Slika 11. Dokumentacija u održavanju – evidencija preventivnog održavanja opreme [10] ...	28
Slika 12. Check lista vozila (kontrolna lista) za pravovremeno održavanje i popravke [9] ....	30
Slika 13. Prikaz promjene pouzdanosti sa i bez održavanja [4] .....	31
Slika 14. Promjena raspoloživosti u funkciji $K_p$ i $K_n$ [4] .....	32
Slika 15. Ovisnost raspoloživosti o intenzitetu kvarova i intenzitetu popravaka [5] .....	33
Slika 16. Prikaz ovisnosti raspoloživosti o $\lambda$ za različite vrijednosti $\mu$ .....	33
Slika 17. Ovisnost raspoloživosti o vremenu i $\lambda$ .....	34
Slika 18. Raspoloživost u ovisnosti "t" i " $\mu$ " za $\lambda$ konstantno .....	34

## POPIS KRATICA

- A - (Availability) raspoloživost
- Ad - dostignuta raspoloživost
- ADT - ( Administrative Delay Time) administrativno vrijeme
- Ai - vlastita ili inherentna raspoloživost
- Ao - operativna raspoloživost
- F - funkcija nepouzdanosti
- f - funkcija gustoće kvarova
- fpti - učestalost preventivne aktivnosti i-tog elementa
- FP - (Design adequacy / Capability) funkcionalna pogodnost
- FK - FK je temeljno mjerilo za procjenu radnog stanja vozila i za ocjenu efektivnosti kroz određivanje radnog resursa
- ILP - idealna logistička potpora
- LDT - (Logistic Delay Time) logističko vrijeme
- M - (Mean Active Maintenance Time) srednje aktivno vrijeme održavanja
- MDT - (Maintenance Downtime) vrijeme zastoja
- Mct - korektivnog održavanja
- Mpt - preventivnog održavanja
- MTBF - (Mean Time Between Failure) srednje vrijeme rada između kvarova
- MTBM- (Mean Time Between Maintenance) srednje vrijeme između održavanja
- MTBMc - srednje vrijeme između korektivnog održavanja
- MTBMp - srednje vrijeme između preventivnog održavanja
- POD - (Maintainability) pogodnost za održavanje
- R - (Reliability) pouzdanost
- Rmin - minimalna pouzdanost
- Rp - projektirana pouzdanost
- tako - aktivno vrijeme korektivnog održavanja
- tapo - aktivno vrijeme preventivnog održavanja

to - vrijeme u kvaru

tr - vrijeme u radu

tzo - vrijeme svih zastoja zbog održavanja

TPM - (Total Productive Maintenance) totalno produktivno održavanje

$\lambda$  - intenzitet kvarova

$\mu$  - intenzitet popravaka

ŽC - životni ciklus vozila



Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti  
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb



## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je **završni rad** (*vrsta rada*) isključivo rezultat mogega vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju upotrijebljene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedopušten način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da 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/diplomskog rada pod naslovom **Utjecaj održavanja na parametre efektivnosti cestovnih vozila**, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

U Zagrebu, 23.4.2023.

Student/ica:

*Karlo Špeljak*

(ime i prezime, *potpis*)