

# Analiza efektivnosti transportnih sredstava

---

Klišanin, Matej

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:119:424658>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-09-08**



Repository / Repozitorij:

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



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

**Matej Klišanin**

**ANALIZA EFEKTIVNOSTI TRANSPORTNIH SREDSTAVA**

**ZAVRŠNI RAD**

**Zagreb, 2020.**

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

Zagreb, 11. ožujka 2020.

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

## ZAVRŠNI ZADATAK br. 5521

Pristupnik: **Matej Klišanin (0135239364)**  
Studij: **Inteligentni transportni sustavi i logistika**  
Smjer: **Logistika**

Zadatak: **Analiza efektivnosti transportnih sredstava**

Opis zadatka:

Definirati efektivnost odražava transportnih sredstava i ukazati na njen značaj. Opisati pouzdanost kao kvantitativnu mjeru procesa održavanja, njen značaj i poveznicu s drugim mjerama koje uključuju analizu utjecaja ljudskog čimbenika na proces održavanja. Definirati pogodnost za održavanje. Opisati čimbenike proteklog vremena održavanja.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:

  
\_\_\_\_\_  
doc. dr. sc. Damir Budimir

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti

**ZAVRŠNI RAD**

**ANALIZA EFEKTIVNOSTI TRANSPORTNIH SREDSTAVA**  
**ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF TRANSPORT EQUIPMENT**

Mentor: doc. dr. sc. Damir Budimir

Student: Matej Klišanin

JMBAG: 0135239364

Zagreb, rujan 2020.

## SAŽETAK

U ovome završnom radu prikazane su vrste transportnih sredstava. U današnje vrijeme transportna sredstva više nisu luksuz nego potreba, što se može vidjeti iz podataka o broju registriranih vozila koja se koriste ne samo za vlastite potrebe nego i za rad u sve većemu broju, bilo to za neki specifičan rad ili za transport tereta. Svakomu vlasniku transportnoga sredstva u cilju je maksimalno iskoristiti to sredstvo uza što manje kvarova, otkaza i dodatnih troškova. Upravo zato pouzdanost, raspoloživost i funkcionalna pogodnost imaju važnu ulogu. Poboljšanje tih parametara dovodi sredstvo do većega stupnja iskorištenosti koji se izražava efektivnošću.

**KLJUČNE RIJEČI:** transportna sredstva, efektivnost, pouzdanost, raspoloživost i funkcionalna pogodnost

## SUMMARY

This final paper presents the types of means of transport. Nowadays, means of transport are no longer a luxury but a necessity, which can be seen from the data on the number of registered vehicles used not only for their own needs but also for work in increasing numbers, whether for specific work or for cargo transport. The goal of every vehicle owner is to make the most of that vehicle with as few breakdowns, cancellations and additional costs as possible. That is why reliability, availability and functional convenience play an important role. Improving these parameters leads the tool to a higher degree of utilization which is expressed in effectiveness.

**KEY WORDS:** Means of transport, Effectiveness, reliability, availability and functional convenience

## Sadržaj

1. Uvod .....	2
2. Prijevozna sredstva.....	4
2.1. Kopnena prijevozna sredstva .....	4
2.1.1. Motorna vozila .....	4
2.1.2. Priključna vozila .....	5
2.1.3. Električna vozila za javni gradski prijevoz.....	5
2.1.3.1. Tramvaj.....	6
2.1.3.2. Trolejbus.....	6
2.1.3.3. Metro.....	7
2.1.4. Željeznička vozila .....	7
2.2. Vodena prijevozna sredstva .....	8
2.3. Zračna prijevozna sredstva.....	8
2.4. Lebduća prijevozna sredstva .....	9
3. Efektivnost, raspoloživost ili spremnost.....	11
4. Razlika između efikasnosti i efektivnosti uporabe transportnog sredstava.....	15
5. Analiza efektivnosti transportnih sredstava i mjere za povećanje pouzdanosti.....	18
6. Zaključak.....	34
Literatura .....	36
Popis slika .....	37
Popis tablica .....	37
Popis grafikona.....	37

# 1. Uvod

U današnjemu suvremenom svijetu potreba za prometnim uslugama raste iz dana u dan. Transportna sredstva imaju glavnu ulogu u ostvarenju tih usluga i služe u transportu putnika i robe. Razvojem gospodarskih djelatnosti razvila su se i transportna(prijevozna) sredstva. Razvojem transportnih sredstava javlja se veća potreba za organiziranim i kvalitetnim upravljanjem sredstvima. Razvojem prometne industrije transportna su sredstva postala kompleksnija što je dovelo do većega broja kvarova, a samim time i većega troška održavanja. Kako bi se smanjili troškovi održavanja, broj kvarova i povećala pouzdanost, potrebno je promatrati sredstvo od ranih faza. Efektivnost sustava promatra sredstvo od faze koncepta, faze projekta i razvoja, faze proizvodnje i faze eksploatacije do otpisa sredstva. Efektivnost daje uvid u to obavlja li sredstvo željenu funkciju na odgovarajući način i kako poboljšati to sredstvo u obavljanju budućih funkcija. Tema završnoga rada je analiza efektivnosti transportnih sredstava. Sadržaj rada sastoji se od 6 povezanih dijelova:

1. Uvod
2. Prijevozna sredstva
3. Efektivnost, raspoloživost ili spremnost
4. Razlika između efektivnosti i efikasnosti upotrebe transportnog sredstava
5. Analiza efektivnosti transportnih sredstava i mjere za povećanje pouzdanosti
6. Zaključak.

Cilj prvoga poglavlja je ukratko opisati rad, navesti predmet, svrhu, strukturu i osnovne ciljeve rada. Drugo poglavlje govori o prijevoznim sredstvima, definira sam pojam prijevoznih sredstava, opisuje njihovu podjelu i pojedina sredstva. Efektivnost, raspoloživost ili spremnost je tema trećega poglavlja u kojemu su opisani sami pojmovi efektivnosti, raspoloživosti ili spremnosti te njihova međusobna povezanost. U četvrtome poglavlju naslovljenomu Razlika između efektivnosti i efikasnosti u uporabi transportnih sredstava predstavlja se njihova međusobna razlika, kao i njihova razlika u prometu. U petome poglavlju Analiza efektivnosti i mjere za povećanje pouzdanosti govori se o efektivnosti transportnih sredstava i kako iskoristiti mjere za povećanje pouzdanosti u povećanju efektivnosti. U petome poglavlju prikazana je i matematička analiza podataka skupljenih u Porscheu Inter auto Hrvatska. Posljednji dio rada je zaključak koji sadrži završna razmatranja i spoznaje o tome što se tijekom rada proučavalo, spoznalo i kako se može djelovati u cilju postignuća promjene. Na kraju rada

dolazi popis literature i popis slika, grafikona i tablica.



## 2. Prijevozna sredstva

Prijevozna sredstva predstavljaju vrlo važnu ulogu u svim djelatnostima, posebice u području prometa. Njihova je glavna uloga omogućiti prijevoz ljudi i dobara na siguran, pouzdan i ekonomičan način. Prijevozna sredstva predstavljaju tehnička sredstva namijenjena transportu putnika i robe. Zbog prisutnosti prijevoza u svim oblicima ljudske djelatnosti, prijevozna sredstva imaju izuzetno značenje. Prijevozna sredstva izvode se na različite načine i oblike, s raznovrsnim svojstvima kako bi udovoljila svim potrebama u prijevozu. Osnovna podjela prijevoznih sredstava prema području primjene mogu biti:

- kopnena
- vodena
- zračna
- lebdeća. [1]

### 2.1. Kopnena prijevozna sredstva

Kopnena prijevozna sredstva se pri prijevozu putnika i robe kreću kopnom. Prema vrsti pogona i uređenju terena po kojemu se kreću, kopnena prijevozna sredstva mogu biti:

- bicikli
- zaprežna vozila
- motorna vozila
- priključna vozila
- električna vozila za javni gradski prijevoz
- željeznička vozila. [1]

#### 2.1.1. Motorna vozila

Motorna vozila su vozila koja imaju ugrađen motor čija snaga im služi za kretanje. Predviđena su za kretanje po kopnu, ali ne i po tračnicama. Neka od njih predviđena su za kretanje po cestama pa se nazivaju cestovna vozila, dok su neka predviđena za kretanje i po

terenima izvan cesta, pa se nazivaju terenska vozila. Osim toga, motorna se vozila razlikuju i po broju tragova koje vozilo ostavlja pri pravocrtnome kretanju. Tako mogu biti vozilo s jednim ili više tragova. Prema namjeni motorna, vozila se mogu podijeliti na:

- putnička
- kombinirana
- teretna
- specijalna
- radna
- vučna
- vojna
- sportska. [1]

### 2.1.2. Priključna vozila

Priključno vozilo je vozilo bez vlastita motora za kretanje koje je konstrukcijski predviđeno za to da bude priključeno motornom vozilu. Motorno vozilo se u ovome slučaju smatra vučnim vozilom u odnosu na priključno. Može biti izvedeno kao tegljač ili neko drugo motorno vozilo, npr. teretni automobil, odnosno kamion. Prednosti prijevoza kombinacijom vučnoga i priključnoga vozila ističu se u odnosu na prijevoz pojedinačnim vozilom s manjom masom vlastite težine u odnosu na bruto masu, nižom cijenom priključnoga vozila i manjim troškovima održavanja u odnosu na motorno vozilo iste nosivosti, mogućnošću kombiniranja različitih sklopova vučnih i priključnih vozila. [1]

### 2.1.3. Električna vozila za javni gradski prijevoz

Električna vozila za javni gradski prijevoz služe za brz i siguran prijevoz putnika u gradovima gdje je problem zagušenosti prometne mreže izuzetno velik zbog velikoga broja korisnika kojima je potreban prijevoz. Javni gradski prijevoz treba u potpunosti biti odvojen od ostaloga prometa u gradovima, također treba imati pravo prvenstva prijevoza na dijelovima

prometne mreže gdje ga nije moguće u potpunosti izdvojiti. Električna vozila za javni gradski prijevoz dijele se na:

- metro sustav
- tramvaj
- trolejbus
- laka gradska željeznica. [1]

#### 2.1.3.1. Tramvaj

Tramvaj (engl. *tramway*) je električno vozilo za prijevoz putnika u javnome gradskom prijevozu koje se kreće po tračnicama, a napaja se iz kontaktne mreže preko krovnoga oduzimača snage te zatvara strujni krug preko tračnica koje služe kao povratni vod. Krovni oduzimač struje naziva se pantograf, a svojom zglobnom izvedbom i djelovanjem opruga omogućuje stalnu kliznu vezu s kontaktnom mrežom u svim njezinim dopuštenim pozicijama. Električna energija u kontaktnoj mreži je istosmjerna, napona 600 V, a postoje i rješenja s naponom od 750 V. Tramvajske se pruge uglavnom izvode s dvjema širinama kolosijeka:

- 1000 mm, metarski kolosijek
- 1435 mm, normalni kolosijek. [1]

#### 2.1.3.2. Trolejbus

Trolejbus (eng. *trolley-bus*) je električno vozilo za gradski prijevoz putnika. Glavni pogon ostvaruje preko elektromotorā koji mogu biti istosmjerni serijski ili trofazni asinkroni motori. Kreće se po putovima bez tračnica (slično autobusu), u stalnoj je električnoj vezi s dvožičnom kontaktnom mrežom preko krovnih oduzimača struje i s ograničenom slobodom bočnoga kretanja u odnosu na os kontaktne mreže (4,5 m). Regulacija brzine vožnje može se ostvariti s otpornicima ili tiristorima. Kontaktna mreža ima dva električna voda (+ i -) napajana istosmjernom strujom napona 600 V, a rjeđe 750 V. [1]

### 2.1.3.3. Metro

Metro (franc. *Metropolitian* – koji pripada glavnome gradu) opći je naziv za električnu podzemnu željeznicu koja služi gradskom prijevozu putnika u velikim gradovima. Predstavlja optimalan oblik masovnoga prijevoza putnika. Odvija se na potpuno izdvojenim kolosiječnim trasama koje se ne ukrštaju u razini niti se usporedno dodiruju s drugim vozilima ili prometnicama. Vođenje se može ostvariti s visokim stupnjem automatizacije uz dopušteno veliku prosječnu brzinu vožnje te svim preduvjetima za točnost, pouzdanost i sigurnost odvijanja prometa. Metro sustav je ustvari kompozicija željezničkih vozila posebno prilagođenih profilom, oblikom i konstruktivnim komponentama visokofrekventnom i brzom gradskom i prigradskom prijevozu putnika koji se većinom obavlja u podzemnim tunelima. Metro se smješta ispod zemlje, što ujedno rasterećuje površinski promet. [1]

### 2.1.4. Željeznička vozila

Željeznička vozila su prijevozna sredstva predviđena za kretanje po tračnicama bilo da imaju vlastiti pogon ili ih pokreću druga vozila. Predviđena su za prijevoz putnika ili robe ili za vlastite potrebe željeznice. U prijevozu putnika ili robe vozila se povezuju u odgovarajuću skupinu potrebnih značajki koja se naziva vlak. On je u načelu sastavljen od jednoga ili više vučnih vozila i odgovarajućega broja vučenih vozila. Prema općoj namjeni, željeznička vozila se dijele na:

- vučna vozila
- vučena vozila
- vozila za vlastite potrebe željeznice.

Vučna vozila su željeznička vozila s vlastitim pogonom namijenjena za vuču ili guranje drugih vozila, a neka i za neposredan prijevoz putnika ili robe. Moguće su raznovrsne izvedbe vučnih vozila što se može vidjeti iz podjele prema odabranim kriterijima. Tako se vučna vozila dijele prema:

- vrsti pogona

- vrsti konstrukcije
- eksploatacijskoj namjeni
- dosegu opsluživanja
- širini kolosijeka i vrsti pruge.

Vučena vozila su željeznička vozila bez vlastita pogona, namijenjena za prijevoz putnika ili robe, a vuku ih vučna vozila. Postoje sljedeće osnovne vrste vučenih vozila:

- putnički vagoni
- teretni vagoni
- vagoni specijalne namjene. [1]

## 2.2. Vodena prijevozna sredstva

Vodena prijevozna sredstva se pri prijevozu putnika i robe kreću po vodi ili u vodi. Prema tome, mogu se podijeliti na:

- plovila, brodovi
- podmornice.

Brod je plovno sredstvo koje služi za prijevoz robe i putnika, kao i za obavljanje raznih poslova i zadataka koji su vezani uz plovidbu. Brodom se smatra veći plovni objekt, a čamac je manji plovni objekt. Moguće izvedbe brodova vrlo su raznovrsne, pa se podjela može učiniti prema kriterijima kao što su namjena, područje plovidbe, materijal od kojega se gradi trup broda, vrsta pogona. [1]

## 2.3. Zračna prijevozna sredstva

Zračna prijevozna sredstva ili zrakoplovi pri prijevozu putnika i robe kreću se zrakom. Zrakoplovi predstavljaju svaku napravu ili stroj koja se vlastitim sredstvima može samostalno održavati u zraku ili letjeti. Prema osnovnim načelima postizanja sposobnosti letenja ili održavanja u zraku, razlikuju se dvije vrste zrakoplova:

- zrakoplovi lakši od zraka ili statički leteći strojevi (baloni i dirizabli)
- zrakoplovi teži od zraka ili dinamički leteći strojevi (avioni i zrakoplovi).

Avion je letjelica teža od zraka koja, pomoću vlastita pogonskoga stroja, iskorištava aerodinamičku silu uzgona što nastaje uslijed strujanja zraka oko krila kao posljedica razlike tlaka ispod i iznad njih. Podjela aviona može se napraviti prema raznim kriterijima kao što su broj krila, izvedba krila, broj motora, vrsta pogona i namjena. [1]

## 2.4. Lebdeća prijevozna sredstva

Lebdeća prijevozna sredstva su vrsta prijevoznih sredstava koja se kreću i lebde u neposrednoj blizini odgovarajuće podloge koja može biti u svim prirodnim oblicima površine ili u obliku posebno izgrađenih staza ili pruga. Lebdeća vozila mogu se prema načinu lebdenja i kretanja, kao i prema vrsti podloge iznad koje se kreću podijeliti na:

- lebdjelice sa statičkim uređajem za kretanje
- lebdjelice s dinamičkim uređajem za kretanje
- lebdeća pružna vozila.

Gradnjom lebdećih vozila željelo se izbjeći nedostatke drugih vrsta prijevoznih sredstava koji proizlaze iz njihove mehaničke veze s podlogom koja im je potrebna za kretanje. Gradnjom lebdjelice dobiva se univerzalno prijevozno sredstvo koje se može kretati po kopnu i po vodi te svladavati razne prepreke bez otpora koji bi proizlazili iz mehaničke veze s podlogom. [1]



Slika 1. Prikaz prijevoznih sredstva. Izvor: <https://www.welovesolo.com/7-transport-vehicle-vector-graphics/>

### 3. Efektivnost, raspoloživost ili spremnost

Suvremena znanstvena teorija sustava u iznimno važnom području prometa postavlja bitno drukčije, složenije i strože zahtjeve i pristupe rješavanju problema i zadaća. Parcijalnim promatranjem samo nekih, vidljivih, izrazitih čimbenika mogu se dobiti sasvim pogrešne prosudbe i ocjene učinkovitosti i dobrote prometnog sustava. Dakle, kao i drugi složeni sustavi; prometni sustav je organizirani skup ljudi, strojeva, objekata, procesa, metoda, propisa, normi usmjerenih ka ostvarenju zadanih ciljeva (funkcije namjene). Pa stoga, efektivnost sustava je mjera vrijednosti očekivanih funkcija cilja. Ona može biti shvaćena kao vjerojatnost da će sustav ostvariti željene ih zacrtane ciljeve, zbog kojih sustav postoji. Efektivnost u sebi sadrži utjecaj svih sudionika procesa koji se odvijaju u određenom sustavu, ponajprije utjecaj korisnika i osoblja na održavanju. Efektivnost je vjerojatnost da će sredstvo uspješno stupiti u rad u bilo kojemu trenutku i vršiti zadanu funkciju u projektiranome vremenu i danim uvjetima okoline na optimalan način. Efektivnost podrazumijeva postizanje ciljeva, odnosno raditi prave stvari. To je veličina kojom se određuje koliko se dobro gospodari promatranim raspoloživim resursima. Efektivnost se u različitim primjerima definira s različitim atributima, a najčešće se spominju:

- pouzdanost
- raspoloživost
- pogodnost za održavanje
- pogodnost za remont
- funkcionalna pogodnost
- zavisnost
- troškovi životnoga ciklusa.

Efektivnost se može izračunati putem formule:

$$E(t) = A(t) \times R(t) \times FP$$

$A(t)$  – raspoloživost (vjerojatnost ispravnosti sustava za rad)

$R(t)$  – pouzdanost (vjerojatnost da će sustav obaviti zadanu funkciju)



FP – funkcionalna prilagodljivost (koliko dobro sustav izvršava zadaću ili funkciju namjene)

Efektivnost je složena funkcija vrijednosti transportnoga sredstva koja daje ocjenu o pogodnosti vozila za integralnu tehničku podršku tijekom eksploatacije. Ona je vremenska funkcija vjerojatnosti čije vrijednosti zavise od načina na koje je vozilo koncipirano, konstruirano i proizvedeno, kao i od načina na koji se koristi i održava tijekom eksploatacije. Efektivnost predstavlja kompleksan kriterij i mjerilo kvalitete samoga tehničkog sredstva i kvalitete tehničke podrške tijekom eksploatacije. Na efektivnost utječu i osposobljeno i educirano ljudstvo za rukovanje i održavanje sredstva.

Efektivnost daje odgovore na temeljna pitanja:

- koliko često će transportno sredstvo moći biti u uporabi
- koliko dugo će tijekom uporabe biti ispravno
- koliko dobro će izvršavati projektiranu zadaću ili funkciju. [4]

Ako se radi o razvoju novoga transportnog sredstva, tada se ocjenom efektivnosti želi utjecati na razvoj konstrukcije koja će imati veću pouzdanost, koja će zahtijevati što jednostavnije održavanje i čiji će ukupni troškovi životnoga ciklusa biti niži. Kod ocjenjivanja transportnih sredstava koja se već nalaze u eksploataciji koriste se parametri efektivnosti za donošenje adekvatnih odluka o uporabi sredstva, za optimizaciju raspoloživih resursa, za predviđanje stanja vozila, planiranje i provedbu održavanja i izlaznih karakteristika. Krajnji cilj koji se želi postići je osiguranje što uspješnije namjenske funkcije sa što manjim troškovima. Kvantifikacijom čimbenika efektivnosti stvaraju se mogućnosti:

- otkrivanja slabih mjesta
- prevencije pojave otkaza
- očuvanja visoke radne sposobnosti i raspoloživosti
- smanjenja direktnih i indirektnih troškova životnoga ciklusa.

Analizom efektivnosti treba početi već u najranijim fazama razvoja transportnoga sredstva kada su moguće relativno jednostavne promjene u konstrukciji, u cilju povećanja pouzdanosti ili pogodnosti za održavanje. Što je vozilo tehnički složenije, to su zahtjevi podrške kompleksniji. [4]

Raspoloživost sustava je vjerojatnost da sustav bude u radno sposobnom stanju, da obavlja zadanu funkciju u bilo kojemu trenutku vremena. Razlikuje se operativna, vlastita i dostignuta raspoloživost. Operativna raspoloživost (eng. *operational availability*) sustava je vjerojatnost da sustav ima sposobnost početi obavljati zadanu funkciju (funkcija počinje u bilo kojemu trenutku vremena gdje ukupno vrijeme sadrži vrijeme zastoja). Operativna raspoloživost obavlja zadanu funkciju u trenutku vremena kada se za to ukaže potreba. Operativna raspoloživost najčešće se definira kao:

$$A_o = \frac{MTBM}{MTBM+MDT}$$

MTBM – srednje vrijeme između održavanja

MDT – vrijeme zastoja

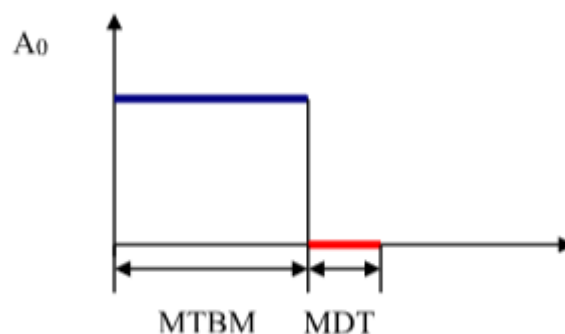
Ukupno vrijeme zastoja definira se kao:

$$MDT = M + ADT + LDT$$

M – srednje vrijeme održavanja

ADT – administrativni gubitak vremena

LDT – logistički gubitak vremena. [2]



Slika 2. Prikaz izračuna operativne raspoloživosti. Izvor: [3]

Kod prometnih sustava izračun operativne raspoloživosti mora se modificirati jer se vrijeme rada sredstva često izražava prijeđenim kilometrima puta, a vremena održavanja prikazuju se u radnim satima. Za izračun operativne raspoloživosti koristi se izraz:

$$A_o = \frac{MTBM}{MTBM + K_l * MDT}$$

Koeficijent  $K_l$  predstavlja odgovarajući odnos broja prijeđenih kilometara u jedinici vremena. Visok stupanj raspoloživosti osigurava se sistemskim održavanjem sredstva i stalnim uvidom u njegovo tehničko stanje. Sve brži i uspješniji tehničko-tehnološki razvoj zahtijeva i veću brigu oko pouzdanosti sredstva. Time se troškovi razvoja drastično povećavaju što samo po sebi u prvi plan ističe pouzdanost i raspoloživost sredstva. Razlika između operative raspoloživosti i spremnosti je u tome što spremnost uzima u obzir vrijeme skladištenja i slobodno vrijeme sustava. [2]

Vlastita ili inherentna raspoloživost (eng. *inherent availability*) sustava je vjerojatnost da sustav ima sposobnost početi obavljati zadanu funkciju (funkcije namjena) u bilo kojemu trenutku vremena, pri čemu ukupno vrijeme sadrži vrijeme korištenja i aktivno vrijeme popravka. Ova raspoloživost je pokazatelj unutarnjih sposobnosti sustava da uspješno funkcionira u specifičnim uvjetima. Izraz za vlastitu raspoloživost poprima sljedeći oblik:

$$A_v = \frac{MTBF}{MTBF + M_{ct}}$$

MTBF – srednje vrijeme između otkaza

$M_{ct}$  – srednje vrijeme između korektivnoga održavanja

Dostignuta raspoloživost (eng. *achieved availability*) sustava je vjerojatnost da će sustav ili prometno sredstvo biti spremno početi obavljati zadanu funkciju u uvjetima korektivnoga i preventivnoga održavanja u bilo kojemu trenutku vremena. Dostignuta raspoloživost uzima u obzir sve vrste održavanja sustava, bilo da je to planirano i neplanirano održavanje i izraz za dostignutu raspoloživost će glasiti:

$$A_d = \frac{MTBM}{MTBM + M}$$

MTBM – srednje vrijeme između održavanja

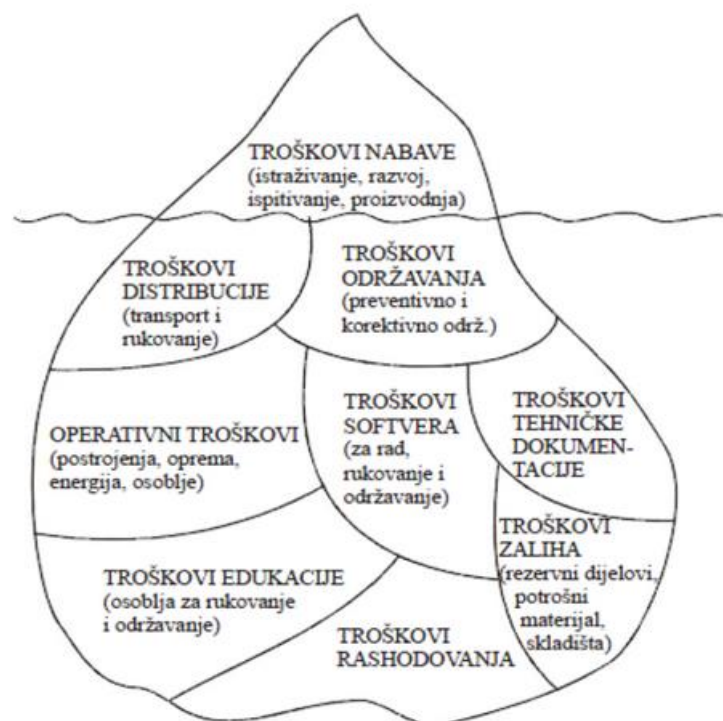
M – srednje vrijeme održavanja (planiranoga ili neplaniranoga) [2]

## 4. Razlika između efikasnosti i efektivnosti uporabe transportnog sredstava

U dosadašnjoj znanstvenoj i stručnoj literaturi upotrebljavaju se pojmovi učinkovitost, efektivnost i efikasnost kao slični pojmovi. Na nekim se mjestima efektivnost i učinkovitost koriste kao sinonimi, a na drugim efikasnost i učinkovitost. Mnogi strani i domaći autori pokušali su objasniti razliku između pojmova efektivnosti i efikasnosti. Nerijetko se pojmovi efikasnosti i efektivnosti nedosljedno tumače. Peter Drucker je u djelu *Management: task, responsibilities, practices* definirao efikasnost kao obavljati stvari na pravi način, a efektivnost kao obavljati prave stvari. Prema Robinsonu i De Cezu, pod efektivnošću se podrazumijeva činiti prave stvari i ostvariti cilj, a pod efikasnošću raditi prave stvari na pravi način, odnosno odnos između inputa i outputa, usmjeravanje na minimiziranje troškova resursa. Prema Daftu, efektivnost je stupanj kojim poduzeće ostvaruje zacrtane ciljeve, odnosno to je stupanj do kojega je poduzeće uspjelo ostvariti ono što je pokušalo ostvariti. Efikasnost je, prema istome autoru, korištenje minimalnih resursa za proizvodnju željene količine outputa. Prema Thompsonu, efikasnost znači raditi stvari na pravi način, odnosno resursi moraju biti razvijeni i korišteni kako bi se maksimizirali povrati. Prema istome autoru, efektivnost znači raditi prave stvari, odnosno resursi moraju biti usmjereni na takve aktivnosti koje zadovoljavaju potrebe, očekivanja i prioritete vlasnika posla. Mogu li se onda pojmovi efikasnosti, efektivnosti i učinkovitosti tretirati kao sinonimi? Pod efektivnošću se podrazumijeva postizanje ciljeva, odnosno raditi prave stvari, a pod efikasnošću se podrazumijeva postizanje ciljeva uza što manje troškove, odnosno raditi stvari na pravi način što se može izraziti odnosom inputa i outputa. Pojam efektivnost može se prevoditi kao učinkovitost, a za efikasnost se može koristiti riječ djelotvornost.

U prometu gdje postoje različita transportna sredstva pojmovi efikasnost i efektivnost imaju veliku ulogu, ali ne odlučujuću. Pomoću njih se definiraju uloge pojedinih transportnih sredstava. Automobil je neefikasan jer uglavnom stoji na mjestu, ali kada zatreba, automobil je efektivan jer se pomoću njega uspješno dolazi do željenoga cilja. Neefikasnost automobila može se vidjeti i u njegovu inputu odnosno outputu, to jest ono što se uložilo u automobil skoro se nikada neće vratiti kroz ta ista sredstva. Jedino ako taj isti automobil ne služi kao radno sredstvo (taxi, dostava). Nadalje, transportna sredstva mogu biti efikasna i efektivna

ako se njima služi na odgovarajući način, odnosno ako ih se organizira na pravi način. Organizacija treba zadovoljiti potrebe klijenata koje se učestalo mijenjaju mnogo brže od vremena koje je potrebno da se organizacija reorganizira kako bi efikasno zadovoljila te potrebe. Povećanjem brzine promjene, manje su šanse da se efektivnost i efikasnost usklade. Što je veća brzina promjene, organizacija mora u većoj mjeri žrtvovati efikasnost kako bi bila efektivna. Organizator, odnosno logističar dužan je napraviti sve kako bi sredstvo bilo efikasno i efektivno. On ima ulogu ispuniti određene želje kupaca kako bi sredstvo bilo efektivno, a u drugu ruku mora najbolje iskoristi to sredstvo kako bi ono bilo efikasno.



Slika 3. Prikaz troškova životnoga ciklusa Izvor: [2]

U rješavanju ekonomskih problema i pomanjkanja uočljivosti ukupnih troškova koristi se „ledeni brijeg“. Za mnoge su sustave troškovi povezani s razvojem i oblikovanjem, konstruiranjem, početnom nabavom i instalacijom glavne opreme, proizvodnjom i drugim elementima koji su djelomično poznati, a na osnovu tih troškova su se u početku najčešće donosile odluke. Međutim, troškovi su povezani s korištenjem i održavanjem, te podrškom za sustav kroz njegov planirani životni vijek, što nosi dodatne troškove koji su nevidljivi. [2]

Kod transportnih sredstava dosta je troškova nevidljivo, zato su početne investicije u nabavi novih sredstava visoke. Efektivnost i efikasnost su isprepleteni pojmovi koji na prvu imaju i isto značenje, ali to nije tako. Efikasnost podrazumijeva ostvarenje najveće dobiti iz najmanje uloženoga resursa, odnos inputa i outputa. Pod efektivnošću se, ipak, podrazumijeva uspostavljanje i osiguravanje stalne željene funkcije, uz isprobavanje različitih rješenja dok se ne dođe do željenoga rezultata. Dolazak do ostvarene željene funkcije ponekad podrazumijeva i rasipanje resursima, sve u svrhu pronalaska najboljega načina za realizaciju željene funkcije.

## 5. Analiza efektivnosti transportnih sredstava i mjere za povećanje pouzdanosti

Iz perspektive tehničke logistike; efektivnost prometnih sredstava ili sustava predstavlja vjerojatnost da će prometno sredstvo ili sustav uspješno stupiti u rad u bilo kojem, proizvoljnom trenutku vremena ( $t < T$ ) i vršiti zadanu funkciju (zadaću namjene) u propisanom vremenu i definiranim uvjetima uporabe. Efektivnost je složena funkcija prometnog sredstva ili sustava, kroz koju se implicitno iskazuje pogodnost sustava za provedbu integralne ukupne logističke potpore tijekom čitavog životnog ciklusa. Efektivnost je specifična veličina koja ovisi o više čimbenika. Ti su čimbenici međusobno povezani i zajedno imaju ključnu ulogu u određivanju te veličine. Kod efektivnosti se u obzir moraju uzeti:

1. sustav provođenja i fizički parametri: kapacitet, razina dostave, izlazna energija, raspon, točnost, količina, brzina, težina itd.
2. operativni i potporni faktori sustava: dostupnost, ovisnost, kapacitet, operativna pripremnost, pouzdanost, održavanje, ljudski faktori, potpora, transport, proizvodnost itd.
3. ukupni troškovi radnoga ciklusa: troškovi istraživanja i razvoja, proizvodni/konstruktivski troškovi, operativni i troškovi održavanja, radni vijek i troškovi odstranjivanja itd. [9]

Efektivnost sustava mjerit će se preko vjerojatnosti, funkcije vremena i uvjeta pod kojima se sustav koristi, odnosno vjerojatnost početka funkcije sustava, dostizanje izlaznih veličina u područje dopuštenih odstupanja prema definiranoj funkciji kriterija, pouzdanost zadržavanja funkcije u području definiranom funkcijom kriterija u projektiranome vremenskom periodu i sposobnost prilagođavanja sustava promjenama uvjeta okoline.



Slika 4. Prikaz efektivnosti. Izvor: [2]

Analiza efektivnosti temelji se na pouzdanosti, raspoloživosti i funkcionalnoj prilagodljivosti. Pouzdanost je vjerojatnost na određenome nivou povjerenja da će sustav uspješno obaviti zahtijevanu funkciju za koju je namijenjen, bez otkaza, i unutar granica dozvoljenih odstupanja, u projektnome ili zadanome vremenu trajanja i zadanim uvjetima okoline, tj. kada se koristi na propisani način i pod specificiranim nivoima opterećenja. Pouzdanost je karakteristika sustava, općenito označena s R. Pouzdanost je vjerojatnost, znači broj između 0 i 1, odnosno 0 % – 100 %. [2]

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 nekome 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.

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



4. tijek zadanoga razdoblja vremena – je suprotno proporcionalan pouzdanosti. To je vremenski interval za koji se želi zahtijevani rad. Ako je to vrijeme kraće, tada se zadržava visoka pouzdanost. [2]

Efektivnost sustava kao i pouzdanost je povezana s pojavom kvara pojedinih dijelova ili cijelog sustava. To znači da je efektivnost prometnoga sredstva ili sustava u kvaru jednaka nuli a nakon otklanjanja kvara njegova efektivnost je realna vrijednost u području [0,1]. Tako se vrijednost efektivnosti određenog prometnoga sredstva ili sustava tijekom uporabe neprestano mijenja. Otkaz 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 nepropisnoga, odnosno nekvalitetnoga ili nesigurnoga rada, izvan nekih postavljenih ili propisanih granica. 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. [3]

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

- katastrofalni
- degradacijski
- rani
- slučajni

- kasni. [3]

Specifičnost transportnih sredstava prikazana je u njihovoj konstrukciji koja je sastavljena od niza elemenata koji su međusobno povezani i koji su u međusobnoj interakciji. Transportna sredstva izvršavaju svoju funkciju kao cjelina, a ne kao pojedinačni element, zato se transportna sredstva i predstavljaju kao složeni tehnički sustav gdje svi njegovi elementi, kao i njihove veze, imaju zadatak izvršavati funkciju koja se nalazi unutar dozvoljenih granica odstupanja. Sposobnost transportnoga sredstva da izvršava funkciju u okviru granica dozvoljenih odstupanja karakterizira se kao stanje u radu. Stanje u otkazu označava nesposobnost transportnoga sredstva da na odgovarajući način izvršava zadanu funkciju. Tijekom eksploatacije transportnoga sredstva javljaju se neispravnosti odnosno otkazi, stanje kada vozilo više nije u mogućnosti izvršavati funkciju unutar dozvoljenih granica. Glavnu ulogu u eksploataciji i efektivnosti transportnih sredstava ima pouzdanost. Nepouzdanost transportnoga sredstva rezultira većim troškovima, izgubljenim vremenom i nepovoljnim psihološkim efektima. Cijena nepouzdanosti ne predstavlja samo cijenu proizvoda koji je otkazao već uzima u obzir i prateće efekte koji su nastali radi otkaza. Jednostavni otkaz koji je nastao na sredstvu prouzročit će trošak zamjenskoga dijela i trošak zamjene, ali složeniji otkaz na sredstvu može prouzročiti ogromnu materijalnu štetu i dovesti u pitanje izvršavanje funkcije toga sredstva. Zbog svega toga kod transportnih sredstava posebno se značenje pridonosi pouzdanosti. [2]

Koliko god se radilo na povećanju pouzdanosti i efektivnosti sredstva od ranih početaka, na neke otkaze je nemoguće utjecati ili ih izbjeći. U slučaju kvara, sredstvo je potrebno vratiti u radno stanje, onakvo kakvo je bilo prije toga otkaza. U cilju povećanja pouzdanosti, a samim time i efektivnosti transportnoga sredstva, potrebno je redovno i pravilno održavanje. Održavanje (eng. *Maintenance*) je skup aktivnosti koje se obavljaju u cilju održavanja radne sposobnosti sredstva, a pogodnost za održavanje (eng. *Maintenability*) definira se kao lakoća i ekonomičnost održavanja sredstva u radnome, tj. operativnom stanju. Održavanje je skup aktivnosti koje se obavljaju u cilju održavanja radne sposobnosti sredstva.

Održavanje se može podijeliti na:

- korektivno održavanje
- preventivno održavanje

- održavanje prema stanju. [3]

Korektivno održavanje je takva vrsta održavanja kod koje se komponenti/sredstvu vraća zahtijevana radna sposobnost nakon otkaza. Tipične aktivnosti korektivnoga održavanja su:

- uočavanje otkaza
- lokacija otkaza
- izgradnja otkazanog sklopa, rastavljanje
- popravak
- sastavljanje, ugradnja
- testiranje, provjera
- verifikacija.

Ovakva vrsta održavanja može se primijeniti na elemente kod kojih otkaz nema utjecaja na sigurnost ili neće prouzročiti velike gubitke zbog neplaniranoga zastoja. Također, otkaz komponente mora biti signaliziran vozaču sredstva i ne smije inicirati otkaz druge komponente ili sustava. Najčešće komponente koje se održavaju tako su komponente elektronike, instrumenti, svjetlosna oprema itd., odnosno komponente kod kojih se ne može dobro predvidjeti otkaz. [3]

Preventivno održavanje je takva vrsta održavanja kada se aktivnosti održavanja provode planski na sredstvu koje je ispravno ili se smatra da je ispravno jer nije uočen otkaz. Tipične aktivnosti korektivnog održavanja su:

- rastavljanje
- popravak ili zamjena
- sastavljanje, ugradnja
- testiranje, provjera
- verifikacija.

U ovome se slučaju radi o točno određenim resursima koje je sredstvo odradilo do poduzimanja preventivnoga 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 (prijednim kilometrima ili satima rada). Npr., zrakoplovni klipni motor u cjelini i veliki broj komponenti klipnoga motora (zupčasti remen). [3]

Održavanje zavisno od stanja ili tzv. *on condition* održavanje je takva vrsta održavanja gdje se akcije održavanja poduzimaju na temelju stanja sredstava, a ne nakon točno određenoga radnog vijeka. Primjena ovakve vrste održavanja pretpostavlja provjeru stanja, tj. uvid u stanje sredstva. Stanje sredstva opisuje se nekim parametrom ili parametrima koji se provjeravaju, a akcija održavanja se primjenjuje pri dostizanju neke kritične vrijednosti prije nego što nastupi otkaz. Ovim načinom održavanja izbjegava se nepotrebna prijevremena zamjena komponente čime se poboljšava ekonomičnost održavanja. Komponente koje se održavaju na ovaj način moraju imati neki mjerljivi dijagnostički parametar koji „najavljuje“ otkaz. Za takvu komponentu potrebno je odrediti:

- dijagnostičke parametre i način njihova mjerenja
- vrijeme između mjerenja dijagnostičkih parametara i
- granične vrijednosti parametara. [3]

Pogodnost za održavanje je potrebna jer nakon pojave kvara mjeri brzinu kojom se sustav vraća u prvobitno stanje prije kvara. Pogodnost za održavanje (*Maintanability*) općenito se može definirati kao lakoća i ekonomičnost održavanja. Definiraju se parametri pomoću kojih se ovo svojstvo može egzaktno opisati. Pogodnost za održavanje se mjeri:

- prosječnim vremenom utrošenim na održavanje, kao i učestalošću akcija održavanja
- pogodnost potpore: ustrojava se nova potpora ili se novo sredstvo uklapa u već postojeći sustav održavanja
- troškovima održavanja.

Ako je sredstvo na održavanju, ono se ne može koristiti, tj. sredstvo je neraspoloživo. To vrijeme nazivamo vrijeme zastoja (eng. *Maintenance Downtime – MDT*). Vrijeme zastoja obuhvaća aktivno vrijeme održavanja (eng. *Active Maintenance Time – AMT*), logističko vrijeme (*Logistic Down Time – LDT*) i administrativno vrijeme (*Administrative Downtime – ADT*). [3]

Aktivno vrijeme popravka je vremenski interval u kojemu se provode aktivnosti u vezi s popravkom sredstva. To vrijeme obuhvaća:

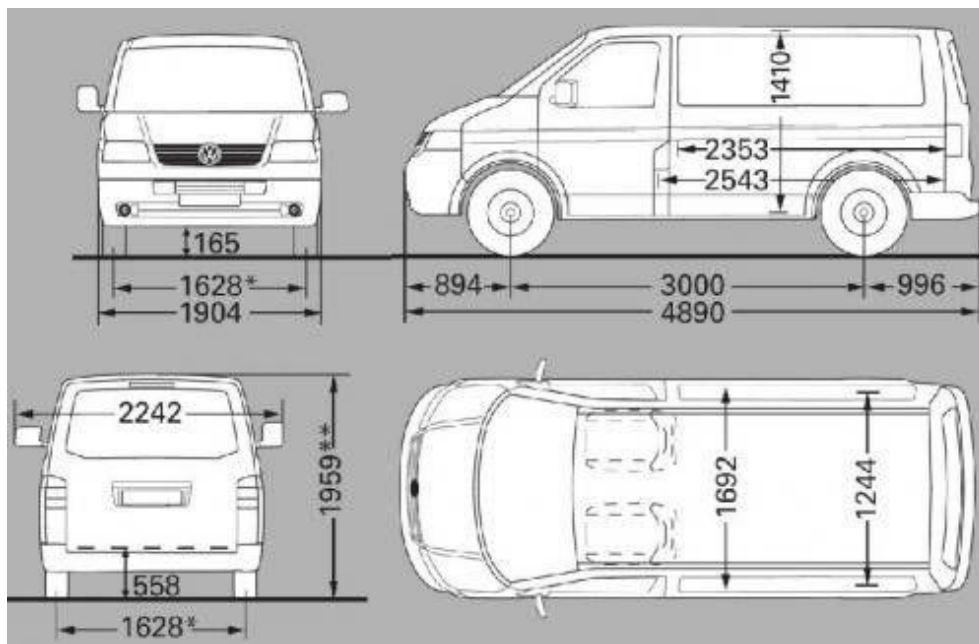
- uočavanje otkaza i lokalizaciju neispravnosti
- tehničke zastoje: uključivanje, hlađenje itd.
- popravak: rasklapanje, zamjena, sklapanje
- podešavanje i završnu provjeru.

Logističko vrijeme je vrijeme utrošeno na čekanje rezervnih dijelova, čekanje na opremu za održavanje, transportiranje itd. Administrativno vrijeme je vrijeme koje se utroši na administrativne postupke kao što je izdavanje radnoga naloga za popravak, čekanje na popravak zbog manjega prioriteta, čekanje zbog organizacijskih propusta ili npr. štrajka radnika itd. [3]

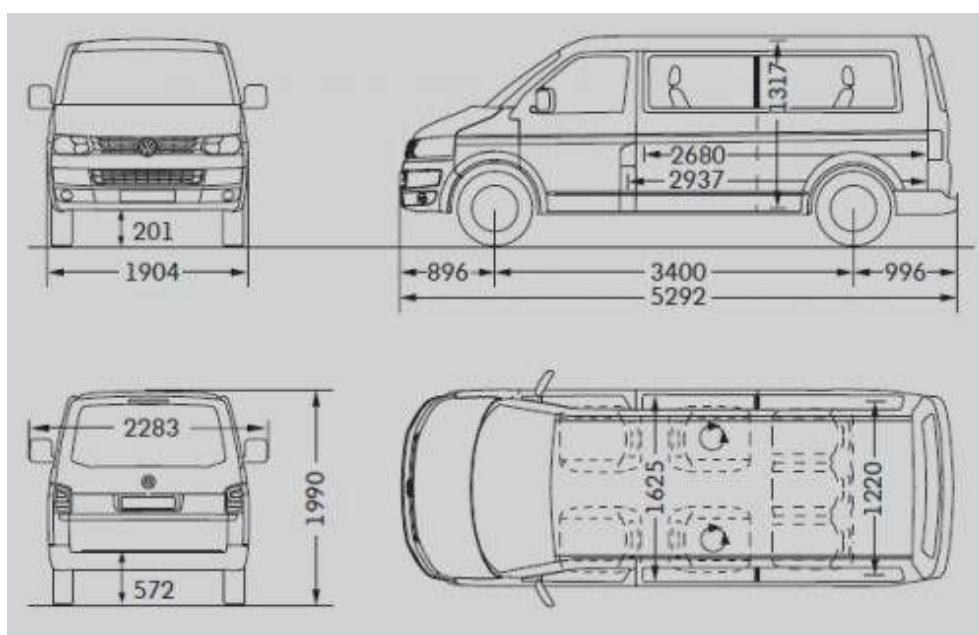
U ovome poglavlju bit će obrađena matematička analiza na primjeru transportnoga sredstva. Prikupljeni podatci dobiveni su od Porschea Inter auto Hrvatska za vozilo Volkswagen Transporter T5. Porsche Inter auto Hrvatska je partner zastupnik za Volkswagen grupaciju. Dobiveni podatci prikupljeni su u njihovim servisnim poslovnica na Jankomiru i Slavenskoj aveniji u Zagrebu. Podatci se prikupljaju prilikom dolaska vozila u servis, zajedno s prijeđenim kilometrima i datumom dolaska. Podatci koji se evidentiraju su radnje koje se izvršavaju na vozilu, zamjenski dijelovi koji se koriste i koji su kvarovi na vozilu. Podatci dobiveni iz servisa spremaju se u bazu podataka. Baza podataka im služi za nabavku rezervnih dijelova i brzo rješavanje administrativnih problema, kao i za rješavanje svih mogućih sporova s klijentima. Podatci će se grupirati po intervalima i preko tih intervala će se napraviti izračuni. Na temelju tih podataka vršit će se i izračuni za pouzdanosti i raspoloživosti. Vozila su u vlasništvu Porschea, ali su vozila pod leasingom dana na korištenje Hrvatskom telekomu. Leasing je ugovorni odnos koji omogućava korisniku leasinga korištenje nekog dobra (predmeta leasinga)

koji se nalazi u vlasništvu davatelja leasinga u zamjenu za ugovorene mjesečne obroke leasinga.

Volkswagen Transporter je kombi vozilo koje se proizvodi od 1950 godine. Volkswagen Transporter T5 dolazi u različitim izvedbama kao transporter furgon, transporter kombi, transporter furgon plus i drugim oblicima koji se dorađuju zavisno od potreba kupca. Transporter je opremljen dizelskim i benzinskim motorom, snage 66 – 146 kW (90 – 199 KS), pogonom na sva četiri kotača u kombinaciji sa 6-stupanjskim i 7-stupanjskim mjenjačem.



Slika 5. Prikaz transportera furgon. Izvor: <https://cz.pinterest.com/pin/735212707893051852/>



Slika 6. Prikaz transportera kombi. Izvor: <https://www.pinterest.com/pin/435864070188208493/>

Analiza će se vršiti na podacima dobivenim u intervalu od 0 do 200 000 prijeđenih kilometara. Analiza će se provoditi na bilo kojoj vrsti otkaza te će biti obrađeni podatci za izračun pouzdanosti, nepouzdanosti, intenzitetu otkaza i gustoći otkaza za to transportno sredstvo.

Intervali	0-25	25-50	50-75	75-100	100-125	125-150	150-175	175-200
Broj otkaza po intervalu	10	22	8	15	5	22	10	24
Ukupan broj otkaza	10	32	40	55	60	82	92	116

Tablica 1. Frekvencija otkaza transportnog sredstva u intervalima 25 x 1000 km

Prema Tablici 1. vidljiva je frekvencija od 116 otkaza u određenim intervalima zadanim u kilometrima. Da bi se došlo do odgovarajućih proračuna, prvo je potrebno odrediti sumu otkaza po intervalu i ukupan broj otkaza. Vidljivo je kako je veći broj otkaza nastao u prvim i zadnjim intervalima, što bi značilo da su ti otkazi nastali uzrokom grešaka u proizvodnji, propusta kontrole, oštećenja u transportu i slično te zbog starosti sustava odnosno istrošenja.

Ukupan broj otkaza iznosi  $n = 116$  u intervalima po 25 000 km.

Pouzdanost ovoga sustava može se 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 izračuna pouzdanosti  $R(t)$  i nepouzdanosti  $F(t)$ :

$$R(0 - 25) = \frac{116 - 10}{116} = 0,91379, F(0 - 25) = 1 - R(0 - 25) = 0,08621$$

$$R(25 - 50) = \frac{116 - 32}{116} = 0,724138, F(25 - 50) = 1 - R(25 - 50) = 0,275862$$

Ostatak rezultata prikazan je u Tablici 2, a izračun i provjera napravljeni su Excelu.

Pouzdanost		Nepouzdanost		Gustoća otkaza		Intenzitet otkaza	
R(0-25)	0,913793	F(0-25)	0,086206897	f(0-25)	3,44828E-06	λ(0-25)	3,77358E-06
R(25-50)	0,724138	F(25-50)	0,275862069	f(25-50)	7,58621E-06	λ(25-50)	1,04762E-05
R(50-75)	0,655172	F(50-75)	0,344827586	f(50-75)	2,75862E-06	λ(50-75)	4,21053E-06
R(75-100)	0,525862	F(75-100)	0,474137931	f(75-100)	5,17241E-06	λ(75-100)	9,83607E-06
R(100-125)	0,482759	F(100-125)	0,517241379	f(100-125)	1,72414E-06	λ(100-125)	3,57143E-06
R(125-150)	0,293103	F(125-150)	0,706896552	f(125-150)	7,58621E-06	λ(125-150)	2,58824E-05
R(150-175)	0,206897	F(150-175)	0,793103448	f(150-175)	3,44828E-06	λ(150-175)	1,66667E-05
R(175-200)	0	F(175-200)	1	f(175-200)	8,27586E-06	λ(175-200)	∞

Tablica 2. Izračunati podatci za pouzdanost, nepouzdanost, gustoću otkaza i intenzitet otkaza

Iz Tablice 2 vidljivo je da je pouzdanost na početku visoka 0,91379 i s intervalima opada. Nepouzdanost je na početku niska, što bi značilo da je vozilo od početka eksploatacije vrlo pouzdano.

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

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

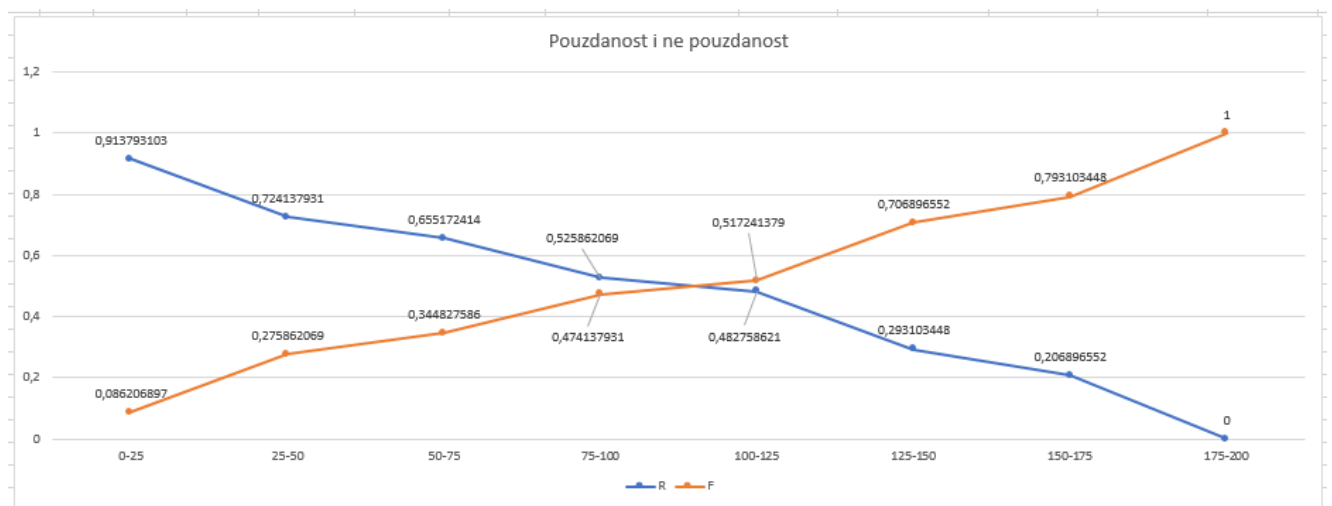
Primjer izračuna intenziteta otkaza  $\lambda(t)$  i gustoće otkaza  $f(t)$ :  $n = 116$ ,  $\Delta t = 25000$  km

$$\lambda(0-25) = \frac{10}{(116-10)*25000} = 3,77358 * 10^{-6}$$

$$\lambda(25-50) = \frac{22}{(116-10-22)*25000} = 1,04762 * 10^{-5}$$

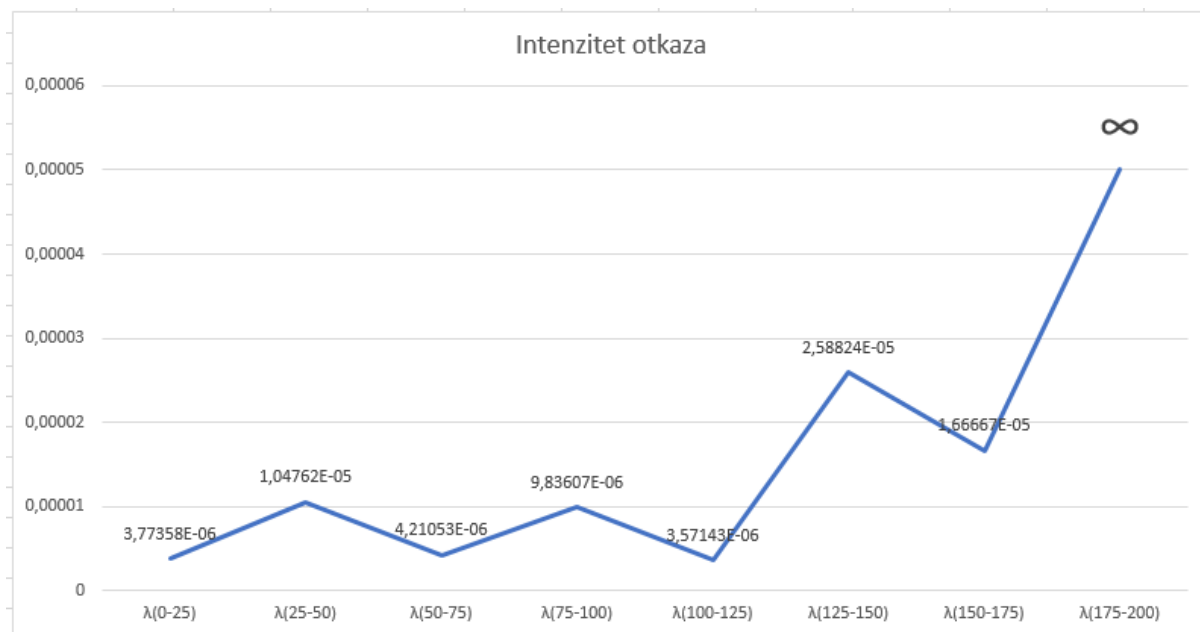
$$f(0-25) = \frac{10}{116*25000} = 3,44828 * 10^{-6}$$

$$f(25-50) = \frac{22}{116*25000} = 7,58621 * 10^{-6}$$



Grafikon 1. Prikaz pouzdanosti i nepouzdanosti transportnoga sredstva





Grafikon 2. Prikaz intenziteta otkaza transportnoga sredstva

Nakon predzadnjega intervala, sustav odlazi u  $\infty$ , što bi značilo da će svi sustavi otkazati do kraja eksploatacije.



Grafikon 3. Prikaz gustoće otkaza transportnoga sredstva

Kako bi se uspjelo izračunati efektivnost sustava, potrebno je izračunati i raspoloživost sustava koji ima veliku ulogu. Raspoloživost sustava je vjerojatnost da sustav bude u radno sposobnome stanju, da obavlja zadanu funkciju u bilo kojemu trenutku vremena. Razlikuje se operativna, vlastita i dostignuta raspoloživost. Za izračun raspoloživosti kod transportnih sredstava koristi se operativna raspoloživost. Operativna raspoloživost ima široku primjenu i može poslužiti kao ocjena prometnoga sredstva tijekom eksploatacije.

Prijeđeni km između servisa	Broj radnih sati između servisa	Sati popravka	Raspoloživost
22292	1024	8	0,854646462
21833	912	8	0,82644812
19867	872	8	0,827115694
16009	768	8	0,8216009
25980	1392	16	0,82336624
23262	1432	16	0,84638041
22540	1488	16	0,859933882
18400	1312	24	0,795833826

Tablica 3. Izračun raspoloživosti za transportno sredstvo 1

Prijeđeni km između servisa	Broj radnih sati između servisa	Sati popravka	Raspoloživost
20075	920	8	0,840516385
19833	904	8	0,837414436
18589	1552	16	0,890092412
17496	2120	16	0,941366506
20506	3240	24	0,955217883
24102	1480	16	0,850299996
21276	1272	8	0,90481559
23766	1504	24	0,798621664

Tablica 4. Izračun raspoloživosti za transportno sredstvo 2

Iz tablica je vidljiva raspoloživost za dva transportera, kao i za njihove radne sate i sate potrebne za popravak. Što je bolja logistička potpora (održavanje, zalihe), operativna raspoloživost bit će veća jer će biti kraća vremena zastoja (LDT i ADT). Također, što je veća pouzdanost cijeloga sustava, intenzitet otkaza će biti manji, a time i srednje vrijeme u radu veće, a to će se opet izraziti preko operativne raspoloživosti. Sustav s malom pouzdanosti često će dovesti do zastoja što će rezultirati malom operativnom raspoloživosti. Najčešći zastoji su:

- zastoj zbog preventivnoga i korektivnoga održavanja
- logistički zastoji (nedostatak rezervnih dijelova, alata i slično)
- administrativni zastoji (slaba organizacija i slično).

Veća operativna raspoloživost sredstava rezultira kraćim vremenima zastoja što je rezultat bolje logističke potpore i bolje organiziranosti. Prosječna raspoloživost za ovo transportno sredstvo je 0.85 % (od 0.79 do 0.95). LDT i ADT su smanjeni na minimum. Servisni centar Porschea zalihe zamjenskih dijelova drži na visokoj razini, a administrativne probleme rješavaju tijekom popravka odnosno servisa vozila. [2]

Uz pouzdanost i raspoloživost sustava u obzir treba uzeti i funkcionalnu prilagodljivost vozila. Funkcionalna prilagodljivost sustava je slabo istraženo svojstvo i do sada je u znanstvenoj literaturi različito obrađivano. Svojstvo funkcionalne prilagodljivosti temeljno se odnosi na mogućnost sustava da zadrži stanje „u radu“ i pri promjeni radnih uvjeta sustava ili pri promjeni inputa sustava koji je rezultat rada nekoga drugog sustava, odnosno funkcionalna prilagodljivost je stupanj zadovoljenja funkcionalnih zahtjeva, prilagođavanja okolini. Pod radnim uvjetima tehničkoga sustava podrazumijevaju se okolišni uvjeti temperature, vlažnosti, slanosti, čestice prašine, dinamički utjecaji, vibracija, magnetska polja, elektromagnetska polja, zračenja i slično. Funkcionalna prilagodljivost sustava na navedene uvjete postiže se osiguranjem dovoljnih zalihosti resursa materijala i konstrukcije tehničkoga sustava, pri čemu je podjednako učinkovito primijeniti odgovarajuće materijale, kao i primijeniti odgovarajuće zalihe resursa. Primjenom odgovarajućih materijala omogućavamo zadržavanje funkcije (stanja u radu). Funkcionalna prilagodljivost sustava ima vrijednosti 0 do 1, isto kao i ostale komponente efektivnosti. Vrijednosti funkcionalne pogodnosti, kao pokazatelja ukupne kakvoće projektiranja, razvoja i proizvodnje, razmjerno se malo mijenjaju tijekom uporabe, ukoliko se naknadno ne vrše određeni konstrukcijski zahvati i modifikacije. Zbog nedostatka podataka i ograničavajućih čimbenika za funkcionalnu prilagodljivost uzeta je konstanta.

Eksploatacija prometnih sredstava i sustava je po svojoj naravi stohastički proces. Trenutak pojave kvara i vrijeme između dva kvara su također izrazito stohastičke pojave. Tijekom dugotrajnijeg praćenja uporabe prometnih sredstava mogu se prikupiti iznimno važne, statističke vrijednosti o vremenima između kvarova, na temelju kojih se, primjenom metoda matematičke statistike, mogu vršiti predviđanja ponašanja prometnih sredstava, dakako u granicama stanovitih granica povjerenja moguće je kvantificirati efektivnost. Efektivnost tehničkog sustava predstavlja presjek skupova stanja pouzdanosti, raspoloživosti i funkcionalne pogodnosti, sukladno operativnim, tehničkim i drugim zahtjevima u uvjetima djelovanja odgovarajućih vanjskih i unutarnjih ograničenja. Efektivnost se obično definira kao vjerojatnost da će sustav uspješno zadovoljiti operativni zahtjev u tijeku danoga vremena kada radi pod specifičnim uvjetima. Efektivnost sustava mjerit će se preko vjerojatnosti, funkcije vremena i uvjeta pod kojima se sustav koristi, odnosno vjerojatnost početka funkcije sustava, dostizanje izlaznih veličina u područje dopuštenih odstupanja prema definiranoj funkciji

kriterija, pouzdanost zadržavanja funkcije u području definiranom funkcijom kriterija u projektiranome vremenskom periodu i sposobnost prilagođavanja sustava promjenama uvjeta okoline.

Formula za izračun efektivnosti:

$$E(t) = A(t) \times R(t) \times FP$$

A(t) – raspoloživost (ispravnost sustava za rad)

R(t) – pouzdanost (koliko dugo će sustav tijekom uporabe biti ispravan)

FP – funkcionalna prilagodljivost (koliko dobro sustav izvršava zadaću ili funkciju)

Prema ovoj formuli dobiveni su sljedeći rezultati.

Pouzdanost	Prosječna raspoloživost	Funkcionala prilagodljivost	Efektivnost	
R(0-25)	0,9137931	0,889267681	0,85	0,690715673
R(25-50)	0,72413793	0,825667662	0,85	0,508212682
R(50-75)	0,65517241	0,846060981	0,85	0,471168443
R(75-100)	0,52586207	0,830609966	0,85	0,371268334
R(100-125)	0,48275862	0,863908184	0,85	0,354500255
R(125-150)	0,29310345	0,839218415	0,85	0,209081139
R(150-175)	0,20689655	0,859296634	0,85	0,151117684
R(175-200)	0	0,774439328	0,85	0

Tablica 5. Izračun efektivnosti

Iz tablice 5 vidljivo je da efektivnost ima najveći iznos u prvom intervalu kao i pouzdanost. U tablici je vidljivo da s padom pouzdanosti pada i efektivnost.

Pouzdanost	Raspoloživost	Funkcionalna prilagodljivost	Efektivnost
0,97826087	0,871519851	0,85	0,724687702
0,86956522	0,854646462	0,85	0,631695211
0,82608696	0,82644812	0,85	0,580310311
0,80434783	0,827115694	0,85	0,565495404
0,7173913	0,8216009	0,85	0,50099794
0,52173913	0,82336624	0,85	0,365145028
0,39130435	0,84638041	0,85	0,281513484
0,26086957	0,859933882	0,85	0,190680991
0	0,795833826	0,85	0

Tablica 6. Izračun efektivnosti za vozilo 1

Pouzdanost	Raspoloživost	Funkcionalna prilagodljivost	Efektivnost
0,92105263	0,867480724	0,85	0,679146093
0,89473684	0,840516385	0,85	0,63923483
0,81578947	0,837414436	0,85	0,5806808
0,71052632	0,890092412	0,85	0,53756897
0,63157895	0,941366506	0,85	0,505365177
0,57894737	0,955217883	0,85	0,470067748
0,39473684	0,850299996	0,85	0,285298025
0,28947368	0,90481559	0,85	0,222632257
0	0,798621664	0,85	0

Tablica 7. Izračun efektivnosti za vozilo 2

Tablica 6 i 7 su prikaz efektivnosti za pojedinačna vozila. U tablici 6 efektivnost je nešto veća u prvom intervalu od efektivnosti iz tablice 7, zbog veće pouzdanosti i raspoloživosti u prvom intervalu. Prosječna raspoloživost vozila 2 je veća od prosječne raspoloživosti vozila 1. Iz tablici 7 vidljivo je da vozilo 2 ima nešto veću efektivnost u krajnjim intervalima u odnosu na vozilo 1, zbog veće prosječne raspoloživosti. Iz dobivenih podataka može se vidjeti da najveći utjecaj na efektivnost ima pouzdanost, s padom pouzdanosti pada i efektivnost.

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 transportnog sredstva predviđa se kvar prije nego što sami kvar nastane. Preventivnim održavanjem moguće je planirati trenutak sljedećeg redovnog servis. Učestalost preventivnog održavanja povećavaju pouzdanost transportnog sredstva, ali i same troškove održavanja. Korektivno održavanje zahtijeva manje troškove i ne postoje aktivnosti održavanja dok ne nastupi otkaz. U slučaju otkaza jednog elementa transportnog sredstva postoji mogućnost za oštećenjem drugih elemenata, što bi značilo da će se ukupni troškovi održavanja znatno povećati. Oba načina održavanja su potrebna kako bi se produljio životni vijek transportnog sredstva. Pravilnim i pravovaljanim održavanjem može se dosta utjecati na efektivnost. Održavanje transportnoga sredstva treba se shvatiti ozbiljno i ne treba se obavljati nikakav skraćeni postupak kako bi se uštedjelo na vremenu i novcu. Održavanje sredstva ima u cilju sredstvo održati ispravnim i sigurnim, ne samo za to sredstvo nego i za sve druge koji se nađu u prometu. Neredovitim održavanjem sredstva opada pouzdanost i dolazi do sve češćih i sve većih kvarova. Neredovito ili neučinkovito održavanje može prouzročiti velike materijalne štete, samim time i duže i skuplje vrijeme popravka, odnosno vraćanje sredstva u radno

sposobno stanje. Ako se sredstvo održava redovito i ispravno, troškovi će se smanjiti, a time će i sredstvo postati efikasnije te izvršenje zadane funkcije efektivnije. 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 transportnog sredstva. 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 itd. Ti problemi mogu prouzročiti ponovne otkaze transportnog sredstva, 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. [8]

## 6. Zaključak

Transportna sredstva danas za cilj imaju transport putnika i robe. Zbog njihove složene konstrukcije, relativno velike pouzdanosti i mogućnosti obavljanja velikoga broja posla, transportna sredstva upotrebljavaju se u velikome broju s tendencijom rasta. Zbog njihovih povoljnih osobina, ušla su u život ljudi na velika vrata. Analizom podataka transportnog sredstva dobiveni su rezultati prikazani u grafičkom i statističkom obliku. Efektivnost se može izračunati na temelju pojedinačnog sredstva ili čitavog skupa vozila. Pouzdanost, raspoloživost i funkcionalna prilagodljivost su parametri s kojima će se izračunati efektivnost. Iz analize podataka vidljivo je da efektivnost najviše ovisi o pouzdanosti za ovo transportno sredstvo. Nadalje, u svrhu poboljšanja efektivnosti, sredstvo treba zadržati visoku raspoloživost kako bi i uz pad pouzdanosti sredstvo moglo imati što veću efektivnost. Povećanje raspoloživosti ponajprije ovisi o vremenu održavanja, administrativnom gubitku vremena i logističkom gubitku vremena. Kako bi se vrijeme zastoja smanjilo, treba se djelovati da vrijeme održavanja bude što kraće te da se vrijeme ne gubi na administrativne i logističke probleme. Kako s vremenom transportnom sredstvu pada pouzdanost ono postaje ne pouzdano, kao i ne efektivno. Kako bi se povećala pouzdanost a samim tim i efektivnost treba se djelovati na pouzdanost. Transportna sredstva pripadaju skupini tehničkih sredstava i zbog toga njihova pouzdanost ponajviše ovisi o njihovu održavanju. Njihovo održavanje trebalo bi biti preventivno i korektivno, odnosno kombinirano, čak i nakon pojave kvara. Svako transportno sredstvo ima svoj vijek trajanja, a održavanje u tome ima veliku ulogu i produžuje taj vijek ako je sredstvo redovito i ispravno održavano. Glavni i osnovni smisao održavanja je smanjenje i izbjegavanje broja otkaza. Ako nisu osigurani uvjeti održavanja i održavanje se ne provodi na vrijeme, i najbolja transportna sredstva neće moći pružiti svoj maksimalni učinak. Pouzdanost i efektivnost sredstva se mogu povećati ranim djelovanjem na sredstvo dok je još u fazi koncepta, razvoja i proizvodnje tako da se ispita sustav i njegove komponente kako bi se uklonila kritična mjesta kao i olakšalo održavanje u procesu eksploatacije i time povećala efektivnost. Što je veća pouzdanost prometnoga sredstva, njegovih podsustava i dijelova manja će biti učestalost kvarova (intenzitet kvarova). Što je veća pogodnost za održavanje, što je bolje organiziran sustav održavanja i opskrbe pričuvnim dijelovima bit će kraće vrijeme zastoja zbog održavanja i veća će biti efektivnost sustava. Što je osoblje koje održava prometna

sredstva bolje osposobljeno i obrazovano, manji će biti pad pouzdanosti, veće će biti vrijeme između kvarova, veća će biti efektivnost sustava a manji troškovi životnoga ciklus. Zato svako sredstvo treba iskoristi na pravi način i iz njega izvući najveću korist u odnosu na ono što je uloženo u njega tijekom eksploatacije.



## Literatura

- [1] Zavada, J. Prijevozna sredstva, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2000.
- [2] Marvin, I., Budimir, D.: Tehnička logistika, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2013.
- [3] Bazijanac, E., Božić, D., Budimir, D.: Tehnička logistika, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2015.
- [4] Klisura, F. Prilog određivanju efikasnosti rada sustava tehničkih pregleda vozila u cilju poboljšanja održavanja motornih vozila. Disertacija, Zenica: MFZ; 2014.
- [5] Benjamin, B. Blanchard. Logistics engineering and management.
- [6] Ćuže, I. Elementi efektivnosti i održavanja tračničkih vozila: Tramvajska vozila – Eksploatacija, Suvremeni promet. 22 (2002), 5; str. 370–372.
- [7] Ćuže, I. Elementi eksploatacije efektivnosti i planiranja gospodarenja tramvajskim vozilima tipa TMK 101, Tramvajska vozila – Eksploatacija, Suvremeni promet. 19 (1999), 3/4; str. 287–289.
- [8] Pavlić, M. (2019) Kvalitativne i kvantitativne mjere podizanja pouzdanosti tehničkih sustava, Završni rad. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti.
- [9] Tišljar, T. (2002) Koncept sustava održavanja motornih vozila, Diplomski rad. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti.

## Popis slika

Slika 1. Prikaz prijevoznih sredstava

Slika 2. Prikaz izračuna operativne raspoloživosti

Slika 3. Prikaz troškova životnoga ciklusa

Slika 4. Prikaz efektivnosti

Slika 5. Prikaz transporterera furgon

Slika 6. Prikaz transporterera kombi

## Popis tablica

Tablica 1. Frekvencija otkaza transportnog sredstva u intervalima 25 x 1000 km

Tablica 2. Izračunati podatci za pouzdanost, nepouzdanost, gustoću otkaza i intenzitet otkaza

Tablica 3. Izračun raspoloživosti za transportno sredstvo 1

Tablica 4. Izračun raspoloživosti za transportno sredstvo 2

Tablica 5. Izračun efektivnosti

Tablica 6. Izračun efektivnosti za vozilo 1

Tablica 6. Izračun efektivnosti za vozilo 2

## Popis grafikona

Grafikon 1. Prikaz pouzdanosti i nepouzdanosti transportnoga sredstva

Grafikon 2. Prikaz intenziteta otkaza transportnoga sredstva

Grafikon 3. Prikaz gustoće otkaza transportnoga sredstva



Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti  
10000 Zagreb  
Vukelićeva 4

## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj \_\_\_\_\_ završni rad  
isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na  
objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.  
Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz  
necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.  
Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj  
visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.  
Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu \_\_\_\_\_ završnog rada  
pod naslovom **Analiza efektivnosti transportnih sredstava**

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

U Zagrebu, 9.9.2020

Student/ica:

*Ključman*

(potpis)