

# Analiza efektivnosti transportnog sredstva

---

**Rašlić, Leon**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2024**

*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:119:606748>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-10-11**



*Repository / Repozitorij:*

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



Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti

**ZAVRŠNI RAD**

**ANALIZA EFEKTIVNOSTI TRANSPORTNOG SREDSTVA**

**VEHICLE EFFECTIVENESS ANALYSIS**

Mentor: doc.dr.sc. Damir Budimir

Student: Leon Rašić

JMBAG: 0246061078

Zagreb, veljača 2024.

## SAŽETAK

U ovom radu analizirat će se efektivnost transportnih sredstava, točnije osobnih vozila kroz izračune temeljene na stvarnim ulaznim podacima iz eksploatacije. Rad se sastoji od dva dijela, prvi dio je teoretski dok se u drugom djelu nalazi izračun efektivnosti kao i analiza dobivenih rezultata. Ideja rada je prikazati kako pojedini čimbenici utječu na efektivnost vozila te na koji način na nju možemo utjecati u cilju optimizacije poslovanja.

## KLJUČNE RIJEČI

Efektivnost; sustav; pouzdanost; funkcionalna pogodnost; raspoloživost

## SUMMARY

This paper will analyze the effectiveness of means of transport, more precisely passenger vehicles through calculations based on real input data from exploitation. This paper consists of two parts, the first part is theoretical, while the second part contains the calculation of effectiveness as well as the analysis of the obtained results. The idea of this paper is to show how certain factors affect the effectiveness of the vehicle and how we can influence it in order to optimize business performance.

## KEYWORDS

Effectiveness; system; reliability; functional convenience; availability

Zagreb, 5. travnja 2023.

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

## ZAVRŠNI ZADATAK br. 7244

Pristupnik: **Leon Rašić (0246061078)**  
Studij: **Inteligentni transportni sustavi i logistika**  
Smjer: **Logistika**

Zadatak: **Analiza efektivnosti transportnog sredstva**

### Opis zadatka:

Objasniti utjecajni čimbenici na efektivnost transportnog sredstva. U sljedećem djelu potrebno je prikazati glavne značajke za izračun efektivnosti i matematičku interpretaciju kvantitativnih mjera. Isto tako, izvršiti sistematizaciju podataka utjecajnih na efektivnost primjenom proračunskih tablica. Na kraju napraviti izračun efektivnosti na temelju podataka iz eksploatacije.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:

---

doc. dr. sc. Damir Budimir

## SADRŽAJ

1. Uvod.....	2
2. Opće označnice efektivnosti transportnog sustava .....	3
2.1. Sustav.....	3
2.2. Životni vijek i troškovi sustava .....	3
2.3. Kvarovi i održavanje .....	7
3. Čimbenici koji utječu na efektivnost transportnog sustava .....	10
3.1. Raspoloživost.....	11
3.2. Pouzdanost.....	12
3.3. Funkcionalna pogodnost.....	15
4. Sistematizacija podataka utjecajnih na efektivnost primjenom proračunskih tablica .....	17
5. Izračun efektivnosti na temelju podataka iz eksploatacije.....	20
6. Analiza dobivenih rezultata .....	24
7. Zaključak.....	28

## 1. Uvod

Efektivnost je pojam često poistovjećen sa efikasnosti, a zapravo se radi o dva različita pojma koji se često isprepliću u nastojanju da se opiše učinak nekog sustava. Naime efikasnost sustava je mjera koliko sustav dobro radi, a efektivnost je pokazatelj da li je dobro to što sustav radi. Ukupan pokazatelj uspješnosti sustava bio bi umnožak efektivnosti i efikasnosti. Kao primjer možemo navesti učenika koji se priprema za izlazak na ispit. Ukoliko on brzo i sa razumijevanjem savladava gradivo kažemo da je vrlo efikasan, ali ako savladava gradivo pogrešnog predmeta onda nije nimalo efektivan jer neće položiti ispit, a to je krajnji cilj njegovog učenja. Može se zaključiti kako je efikasnost pokazatelj izvedbe, a efektivnost namjene sustava. Prvi dio rada bavi se teorijom sustava, životnim vijekom, troškovima te održavanjem. Nadalje u drugom dijelu rada koriste se ulazni podaci o kvarovima vozila na temelju kojih su dobivene kvantificirane vrijednosti čimbenika efektivnosti čija se analiza nalazi na samom kraju rada.

## **2. Opće označnice efektivnosti transportnog sustava**

Kako bi tematika rada bila detaljnije obrađena potrebno je definirati sustav i njegove osnovne parametre kao što su životni vijek, troškovi i održavanje.

### **2.1.Sustav**

U teoriji sustava, sustavom se smatra skup objekata (elementi sustava ili podsustavi) ujedinjenih vezama među njima, pri čem objekti djeluju kao cjelina. Podsustavi se prema potrebi mogu razložiti na svoje komponente, a elementi ne mogu. Svaki je sustav podsustav nekoga nadsustava, koji se obično označuje njegovom okolinom, a s kojim razmjenjuje tvari, energiju ili informacije. Nasuprot klas. analizi teorije sustava, sustavna analiza proučava sustav kao dio okruženja, a promjene koje se u njem događaju tumači kao posljedicu prilagođivanja okruženju. Glavno je obilježje sustava proces kojim se ulazne veličine transformiraju u izlazne. Dio ulaznih veličina transformira se u korisne izlazne veličine kojima se ostvaruje cilj sustava, a dio se troši na funkcioniranje samoga sustava, tj. transformira se u nekorisne (neiskoristive) izlazne veličine. Kako bi sustav mogao ostvarivati postavljene ciljeve, njim se mora upravljati. Sustav bez upravljanja teži stanju maksimalne entropije koja se tumači kao kvantitativna mjera nereda u sustavu<sup>1</sup>.

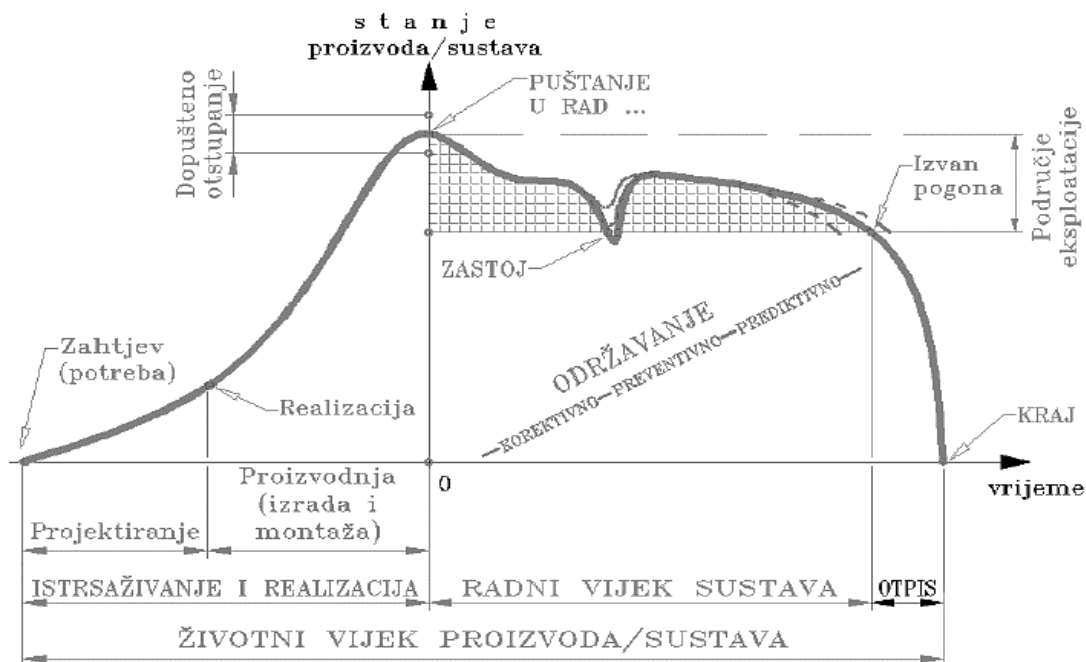
Logistika u današnje vrijeme u širem smislu predstavlja skup svih aktivnosti usmjerenih postizanju optimalnih uvjeta rada sustava. Česta podjela logistike je ona na vojnu, poslovnu, transportnu, tehničku, itd. Kako god bila podijeljena, glavna zadaća logistike je opskrba sustava onime što mu je potrebno, kada mu je potrebno i to tamo gdje mu je to potrebno.

### **2.2. Životni vijek i troškovi sustava**

Svaki sustav u svojem životnom vijeku prolazi kroz nekoliko faza, a svaku fazu prate specifični troškovi. Faze kroz životni vijek sustava prikazane su na slici 1.

---

<sup>1</sup> teorija sustava. Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021. Pristupljeno 22. 8. 2023. <<http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=60892>>.



Slika 1.

#### Životni vijek sustava

Izvor: Marvin, I., Budimir, D.: Tehnička logistika, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2013.

Faza projektiranja uključuje aktivnosti i odluke kojima se definira i dizajnira sustav, u ovoj fazi bitno je uzeti u obzir svrhu sustava, okolinu u kojoj će se nalaziti, željene pogodnosti za održavanje, načine proizvodnje i montaže, performanse koje sustav mora pružati, materijale koje ćemo koristiti, zakone i norme kojima sustav mora udovoljavati.

Sljedeća faza je faza proizvodnje te uključuje izradu i postavljanje sustava u radnu okolinu tj. montažu. Ove dvije aktivnosti mogu biti istovremene, ali i odvojene ovisno o vrsti sustava. Primjerice kada se gradi neka građevina, tada je građevina sustav koji se gradi u okolini u kojoj će provesti ostatak životnog vijeka dok će s druge strane sustav ventilacije te iste zgrade biti izrađen u tvornici te naknadno montiran u okruženje u kojem će provesti ostatak životnog vijeka.

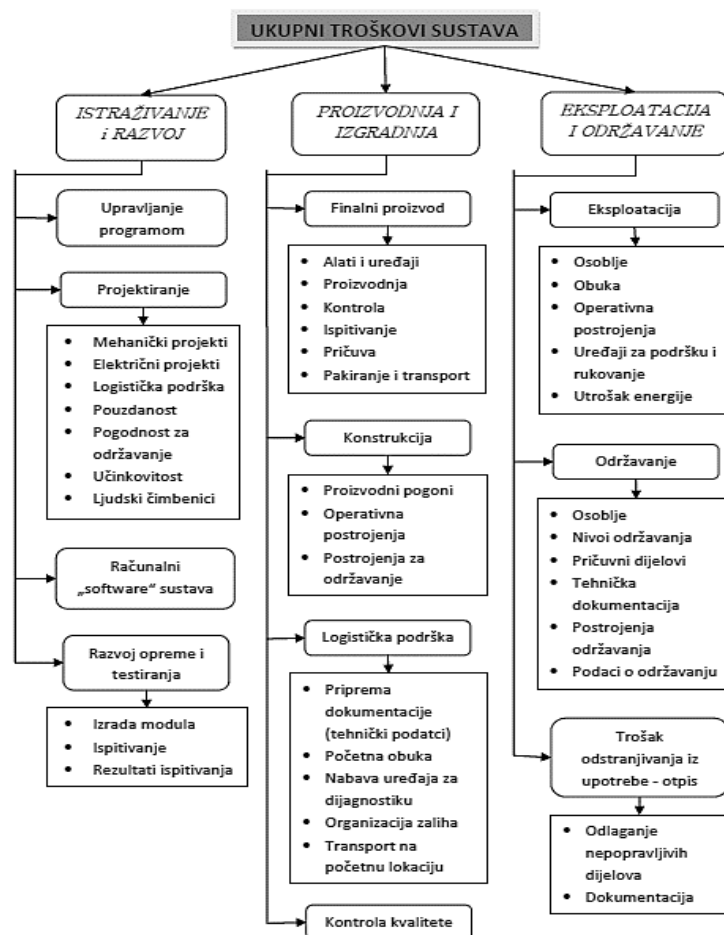
Grafikon sa slike 1 pokazuje kako efektivnost sustava u prve dvije faze životnog ciklusa raste da bi u trenutku puštanja u rad stanje sustava bilo na vrhuncu te dolazi do promjene trenda.

Puštanjem u rad počinje treća faza životnog vijeka, a stanje sustava počinje prirodno opadati. Razlog tome je činjenica da eksploatacijom dolazi do očekivanog trošenja i zamora materijala uzrokovanih raznim opterećenjima prilikom izvršavanja namjene, ali i raznim utjecajima iz okoline. Prema teoriji sustava svakom sustavu je neophodno upravljanje, a dobro upravljanje podrazumijeva između ostalog i održavanje. Kvaliteta i



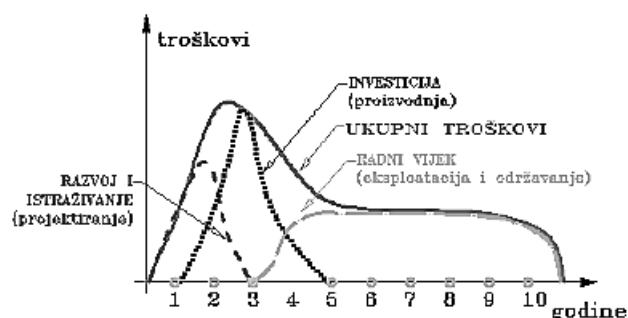
pravovremenost održavanja uvelike utječu na trajanje radnog vijeka kao i na efektivnost sustava u eksploataciji. Zastoji u radu mogu biti uzrokovani održavanjem ili nadogradnjom sustava, ali uzrok im može biti i pojava kvara.

Također životni vijek prate određeni troškovi specifični za pojedinu fazu. Na idućoj slici prikazana je struktura troškova kroz navedene faze životnog vijeka.



Slika 2. Struktura troškova životnog vijeka sustava  
Izvor: Marvin, I., Budimir, D.: Tehnička logistika, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2013.

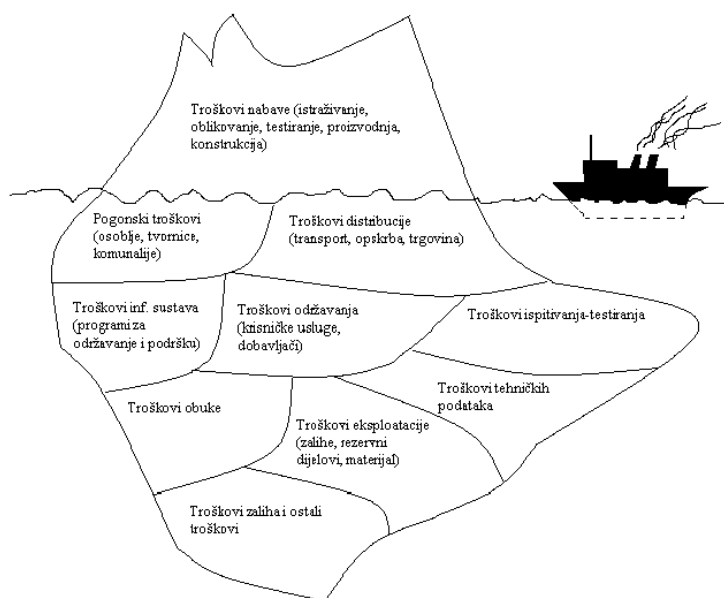
Graf na slici 3 pokazuje razine troškova kroz životni vijek sustava. Kako je vidljivo prema grafu, troškovi u fazama projektiranja i proizvodnje imaju iznimno visoku vrijednost u relativno kratkom vremenskom periodu. Nadalje troškovi u fazi radnog vijeka imaju relativno nisku vrijednost, ali trajanje radnog vijeka može višestruko premašiti trajanje prethodnih faza. Uzimajući to u obzir ukupni iznos troškova radnog vijeka vrlo lako može premašiti početnu investiciju nabave i puštanja u rad.



Slika 3. Visina troškova životnog vijeka sustava

Izvor: Marvin, I., Budimir, D.: Tehnička logistika, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2013.

Odluke koje se donose na osnovu odabira tehnologija i materijala, oblikovanja proizvodnog procesa, ambalažne opreme, performansi manualizacije u odnosu na automatizaciju, oblik opreme za održavanje i podršku i sl. imaju veliki utjecaj na smanjenje troškova odnosno na troškove životnog vijeka. Osim toga, krajnje održavanje i infrastruktura za odabrani sustav tijekom svog razdoblja korištenja može značajno utjecati na ukupnu troškovnu isplativost sustava. Iako se poboljšanja, kako bi se smanjili troškovi, mogu pokrenuti u bilo kojoj fazi, vidi se da najveći utjecaj na troškove životnog vijeka (održavanje i podrška) može se ostvariti kroz najranije faze ustroja i razvoja sustava. Drugim riječima, logistika i način podrške moraju biti svojstveni unutar ranog razvoja i ustroja sustava ako se želi osigurati ekonomičnost.<sup>2</sup>



Slika 4. Ledeni brijeg logističke podrške sustava

Izvor: Marvin, I., Budimir, D.: Tehnička logistika, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2013.

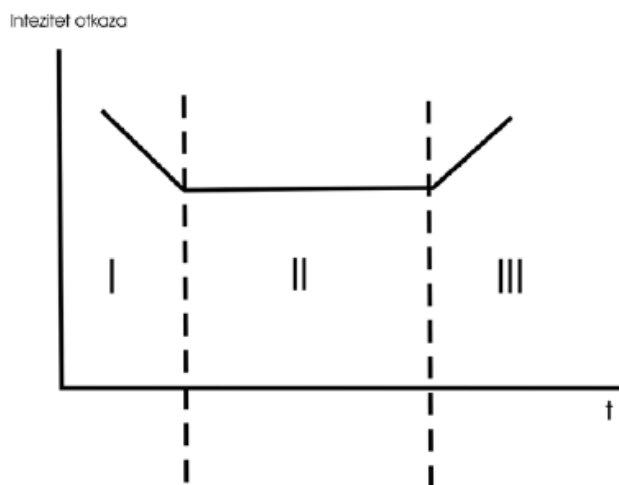
<sup>2</sup> Mavrin I.; Budimir D., Tehnička logistika, Fakultet prometnih znanosti, 2013., autorizirana predavanja.

Kako je već spomenuto, troškovi životnog vijeka tj. logističke podrške sustava mogu premašiti samu vrijednost planiranja i proizvodnje. Stoga je vrlo bitno te troškove uzeti u obzir prilikom planiranja kako bismo imali realan uvid u financijsku isplativost. Prilikom donošenja odluka o upravljanju sustavima u prošlosti često nisu uzimani u obzir „nevidljivi“ troškovi logističke podrške, a kasnije je praksa pokazala da je logistička podrška nerazdvojni dio životnog vijeka sustava te se „nevidljivi“ troškovi često ilustriraju ledenim brijegom sa slike 4.

### 2.3. Kvarovi i održavanje

Kako je ranije već spomenuto u radnom vijeku sustava javljaju se zastoji koji su najčešće uzrokovani kvarovima ili održavanjem.

Prema Begoviću kvar je događaj kada sustav prestaje ispunjavati radne zahtjeve koji se odnose na njegovu izvedbu. Kvar za posljedicu ima pad ili čak potpuni nestanak kvalitete, oni kvarovi koji uzrokuju samo pad kvalitete smatramo običnim kvarom dok oni koji uzrokuju prestanak rada tj. potpuni nestanak kvalitete nazivamo katastrofalnim. Uzroci kvarova mogu biti unutarnji ili vanjski. Unutarnji kvarovi uzrokovani su svojstvima sustava u kojem se događaju, a vanjski kvarovi ovise o okolini u kojoj se sustav nalazi. Vanjski uzroci još se nazivaju i slučajnima, a očituju se kao jaki udari (naponski, strujni, prometni, mehanički, itd.). Nadalje unutarnji uzroci su djelomično ili potpuno neslučajni, a najčešće se pojavljuju u fazama uhodavanja i starenja sustava kako je vidljivo na slici 5.



Slika 5. Intenzitet otkaza kroz radni vijek sustava

Izvor: Marvin, I., Budimir, D.: Tehnička logistika, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2013.

Prvi period često nazivamo uhodavanjem, tada nastaju kvarovi uzrokovani greškom u proizvodnji. Proizvođači često svoje proizvode puštaju u testni rad u samoj tvornici pri uvjetima koji simuliraju predviđeno radno okruženje kako bi se proizvodi koji sadrže ugrađenu grešku odmah doradili.

Drugi period pokazuje period radnog vijeka u kojemu je intenzitet otkaza konstanta, a trajanje ovog perioda naziva se korisni vijek trajanja. Uzroci otkaza u korisnom vijeku su slučajni.

Treći period prikazuje nagli rast brzine kvarenja, a kako ne bi došlo do kraja životnog vijeka potrebna su velika ulaganja u obnovu ili rekonstrukciju sustava. Troškovi obnove i održavanja mogu toliko porasti da je nerijetko dugoročno isplativije zamijeniti sustav nego ga održavati u životu.

Kako bi se kvarovi otklonili, a njihova učestalost svela na minimum potrebno je redovito održavati svaki sustav. Razlikujemo nekoliko vrsta održavanja, a to su:

1. Korektivno održavanje
2. Preventivno održavanje
3. Održavanje prema stanju

Korektivno održavanje je održavanje pri kojem se sustavu ili dijelu sustava vraća radna sposobnost nakon što je nastupio kvar. Bitno je naglasiti da se na ovaj način održavaju isključivo oni elementi čiji kvar ne uzrokuje daljnju štetu ili narušavanje sigurnosti sustava. Komponente koje se održavaju na ovaj način su one kojima se teško predviđa otkaz, a to su najčešće elektroničke komponente. Ukoliko je ta komponenta ključna za sigurnost ili rad sustava njezinu pouzdanost možemo nadoknaditi redundancijom, tj. ugradnjom „viška“ elemenata koji će u slučaju otkaza primarnog elementa preuzeti njegovu funkciju. Korektivno održavanje na primjeru osobnog automobila bi bila zamjena žarulja svjetlosne signalizacije, njihov otkaz neće uzrokovati druge kvarove, a teško je predvidjeti kada će žarulja pregorjeti.

Druga vrsta održavanja je preventivno održavanje, kako i sam naziv govori ovakvim održavanjem nastojimo prevenirati otkaz elementa ili sustava. Aktivnosti ove vrste održavanja izvodi se po unaprijed određenom planu te predviđaju zamjenu ispravnog elementa. Ovaj način održavanja pokazao se idealan za mehaničke elemente sustava pošto im je moguće precizno odrediti trenutak otkaza. Zupčasti remen motora u automobilu sa unutarnjim izgaranjem odličan je primjer preventivnog održavanja, proizvođači propisuju interval

zamjene najčešće od 70000 do 100000 prijeđenih km ili 4 do 6 godina starosti ovisno što prije nastupi, a sve kako bi se izbjegla havarija motora koju uzrokuje pucanje tog remena.

Održavanje prema stanju uključuje aktivnosti provjere stanja sustava i njegovih elemenata. Komponente koje se ovako održavaju moraju imati neki mjerljivi parametar koji najavljuje kvar. Kako bi se neko sredstvo moglo održavati na ovaj način potrebno je unaprijed odrediti granične vrijednosti njegovih parametara i način mjerenja istih te definirati koliko je maksimalno trajanje perioda između dvije provjere. Kada parametri dosegnu granične vrijednosti potrebno je zamijeniti dio da bi sustav zadržao svoju funkcionalnost i ne bi došlo do kvara. Primjer iz automobilizma bi bila zamjena pneumatika ili kočionih obloga i diskova. Kod pneumatika se provjerava zazor ripne, tvrdoću materijala i popucalost površina. Kočione obloge i diskove će najčešće mehaničar pregledati na godišnjem servisu te mjerenjem njihove debljine utvrditi da li su za zamjenu. Novija vozila često imaju implementirane sustave za aktivnu kontrolu debljine kočionih obloga ili tlaka u gumama koji će obavijestiti vozača da je došao trenutak za zamjenu istih. Štoviše i na starija vozila je moguće ugraditi kočione obloge koje pri kraju životnog vijeka prilikom kočenja počinju proizvoditi škripu koja upozorava vozača na njihovo stanje.

### 3. Čimbenici koji utječu na efektivnost transportnog sustava

Efektivnost prometnog sredstva sa stajališta logističke potpore može se opisati kao vjerojatnost da će neko prometno sredstvo uspješno raditi u bilo kojem trenutku vremena i izvršavati funkciju namjene u propisanom vremenu pod definiranim uvjetima uporabe.

Kvantifikacija čimbenika efektivnosti omogućava uvid u potencijalne slabe točke, mogućnosti prevencije kvarova, zadržavanje ili poboljšanje performansi sustava te u konačnici smanjenje troškova životnog ciklusa.



Slika 6. Dijagram čimbenika efektivnosti

Zapisivanjem dijagrama sa slike 6. u matematičkom obliku dobivamo izraz:

$$E(t) = A(t) \cdot R(t) \cdot FP(t) \quad (1)$$

Gdje  $E(t)$  predstavlja efektivnost transportnog sredstva u trenutku  $t$  unutar vremenskog intervala  $T$ . Pošto je efektivnost definirana kao vjerojatnost njena vrijednost se može mijenjati od 0 do 1.

- $A(t)$  je raspoloživost transportnog sredstva u trenutku  $t$ .
- $R(t)$  je pouzdanost transportnog sredstva u trenutku  $t$ .
- $FP(t)$  je funkcionalna pogodnost transportnog sredstva u trenutku  $t$ .

U nastavku ovog poglavlja pobliže su pojašnjeni ovi čimbenici kao i njihov utjecaj na samu efektivnost.

### 3.1. Raspoloživost

Raspoloživost je vjerojatnost da je popravljivi sustav (ili promatrani dio) ispravan (spreman za rad) u bilo kojem trenutku  $t$ . Oznaka:  $A(t)$ .

Za nepopravljivu opremu kod koje se raspoloživost i pouzdanost izjednačuju, odlučujuća je pouzdanost, a za popravljivu raspoloživost.

Postoje tri oblika izražavanja raspoloživosti kao vjerojatnosti u kojima se ogleda dosegnuti stupanj pouzdanosti i raspoloživosti:

a. prirodna raspoloživost,  $A_i$

$A_i$  je vjerojatnost da će popravljivi sustav biti ispravan u bilo kojem trenutku uz propisane uvjete rada u idealnom potpornom okolišu korektivnog održavanja (tj. uvijek raspoloživi alati, rezervni dijelovi, osoblje za korektivno održavanje, itd.). Iz  $A_i$  isključujemo utjecaj preventivnog održavanja, logističko vrijeme zastoja i administracijsko vrijeme zastoja:

$$A_i = MTTF / ( MTTF + \bar{M}ct ) \quad (2)$$

gdje je  $MTTF = 1 / \lambda$  prosječno trajanje (vrijeme) ispravnog rada, a  $\bar{M}ct$  prosječno vrijeme korektivnog održavanja.

b. postignuta raspoloživost,  $A_a$

$A_a$  je vjerojatnost da će popravljivi sustav biti ispravan u bilo kojem trenutku ako radi uz propisane uvjete rada u idealnom potpornom okolišu ukupnog održavanja (tj. uvijek raspoloživi alati, rezervni dijelovi, osoblje za ukupno održavanje itd.). Ova je definicija jednaka onoj za  $A_i$ , samo što je ovdje uključeno preventivno održavanje, ali su i dalje isključeni logističko vrijeme zastoja i administracijsko vrijeme zastoja:

$$A_a = MTBM / MTBM + \bar{M} \quad (3)$$

gdje je  $MTBM$  prosječno vrijeme između ukupnog održavanja.<sup>3</sup>

---

<sup>3</sup> Begović M., Održavanje tehničkih sustava, Fakultet prometnih znanosti, 2003., str. 195.

c. Radna raspoloživost,  $A_0$

$A_0$ , je vjerojatnost da će sustav biti ispravan u bilo kojem trenutku uz propisane uvjete rada u stvarnom radnom i potpornom okolišu ukupnog održavanja:

Raspoloživosti  $A_a$  i  $A_i$  su pogodna mjerila za određivanje opreme od dobavljača kada on ne može utjecati na radnu okolinu u kojoj oprema mora raditi. Inače je potrebno koristiti  $A_0$ . Ukupni zaključak je sljedeći: uvijek se mora precizno definirati što se misli pod pojmom "raspoloživost."<sup>4</sup>

### 3.2. Pouzdanost

Pouzdanost se odnosi na vjerojatnost, uz određenu razinu povjerenja, da će sustav ispravno izvršiti svoju namijenjenu funkciju, bez problema ili otkaza, unutar definiranih granica odstupanja, u okviru predviđenog vremenskog trajanja i specificiranih uvjeta okoline, pod uvjetom da se koristi prema uputama i unutar propisanih opterećenja. U svojoj definiciji sastoji od četiri osnovna elementa koja zajedno oblikuju njezinu suštinu:

Nivo povjerenja: Pouzdanost se mjeri na određenom nivou povjerenja, što znači da se ocjenjuje koliko se može vjerovati da će sustav obaviti svoju funkciju ispravno i bez problema.

Zahtijevana funkcija, funkcija namjene: Pouzdanost je usmjerena prema zahtijevanoj funkciji ili svrsi sustava. To znači da se evaluira kako sustav obavlja svoj zadatak ili namjenu.

Zadani uvjeti: Pouzdanost se ocjenjuje u skladu s uvjetima pod kojima sustav radi. To uključuje okolinu, nivoe opterećenja i druge relevantne faktore koji utječu na njegovu funkcionalnost.

Tijek zadanog perioda vremena: Pouzdanost se promatra tijekom određenog vremenskog razdoblja kako bi se osiguralo da sustav ostaje ispravan i funkcionalan tijekom cijelog tog razdoblja.

Matematički gledano funkcija pouzdanosti  $R(t)$  pokazuje vjerojatnost  $P$  da će vrijeme rada bez otkaza  $T$  biti veće od zadanog vremena  $t$ , a formula izgleda ovako:

$$R(t) = P(T > t) \quad (4)$$

---

<sup>4</sup> Begović M., Održavanje tehničkih sustava, Fakultet prometnih znanosti, 2003., str. 196.



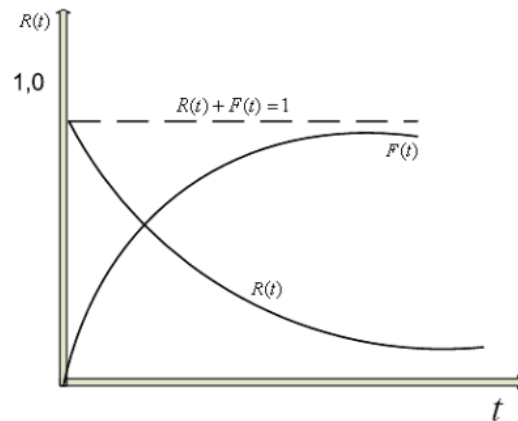
Njoj komplementarna funkcija je funkcija nepouzdanosti  $F(t)$ , a njena vrijednost je vjerojatnost da će se otkaz dogoditi do određenog trenutka  $t$ . Matematički zapis koji povezuje funkcije pouzdanosti i nepouzdanosti glasi:

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

Dok samu pouzdanost možemo izraziti kao omjer broja ispravnih elemenata u trenutku  $t$  i ukupnog broja promatranih elemenata te dobivamo izraz:

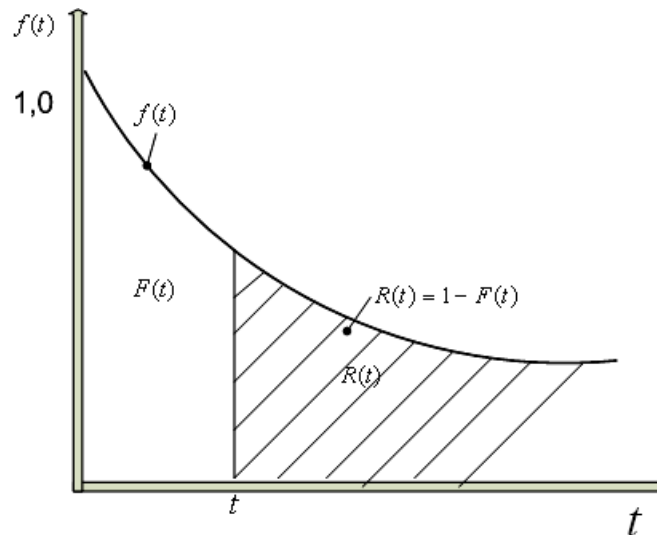
$$R(t) = n(t) / n \quad (6)$$

Grafički prikaz odnosa dviju navedenih funkcija prikazan je na slici 7.



Slika 7. Grafički prikaz odnosa funkcija pouzdanosti i nepouzdanosti  
Izvor: Marvin, I., Budimir, D.: Tehnička logistika, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2013.

Funkcija gustoće otkaza  $f(t)$  je zapravo funkcija gustoće vjerojatnosti otkaza što znači da ona izražava vjerojatnost da će varijabla poprimiti određenu vrijednost odnosno to je vjerojatnost da će se kvar dogoditi u određenom vremenskom intervalu.



Slika 8. Grafički prikaz funkcije gustoće otkaza  $f(t)$

Izvor: Marvin, I., Budimir, D.: Tehnička logistika, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2013.

Kao što vidimo na grafu sa slike 8. površina ispod krivulje  $f(t)$  iznosi 1 tako da površina ispod krivulje u određenim intervalima odgovaraju vrijednostima  $F(t)$  i  $R(t)$ . Tako da vrijede izrazi:

$$\int_0^{\infty} f(t)dt = 1 \quad (7)$$

$$F(t) = \int_0^t f(t)dt \quad (8)$$

$$R(t) = \int_t^{\infty} f(t)dt \quad (9)$$

Korištenjem stvarnih povijesnih podataka funkciju gustoće otkaza možemo računati kao omjer broja otkaza u pojedinom intervalu  $\Delta t$  i ukupnog broja ispitanih elemenata pa dobivamo zapis:

$$f(t) = \frac{\Delta n(t, \Delta t)}{n \cdot \Delta t} \quad (10)$$

Gdje je:  $\Delta n(t, \Delta t)$  – broj otkaza elemenata u intervalu  $\Delta t$ ,

$n$  – ukupan broj elemenata,

$\Delta t$  – trajanje intervala.

Funkcija intenziteta otkaza  $\lambda(t)$  opisuje brzinu događanja otkaza komponenata ili sustava u trenutku  $t$ , uz preduvjet da tijekom tog vremena nije došlo do otkaza. Ova funkcija je povezana s funkcijom gustoće otkaza  $f(t)$  i funkcijom pouzdanosti  $R(t)$ , izražavajući njihov omjer.

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \left[ \frac{\text{otkaza}}{h} \right] \quad (11)$$

Također korištenjem podataka iz eksploatacije intenzitet otkaza može se prikazati kao omjer broja otkaza po intervalu  $\Delta t$  u odnosu na prosječan broj ispravnih elemenata.

$$\lambda(t) = \frac{\Delta n(t, \Delta t)}{n(t) \cdot \Delta t} \left[ \frac{\text{otkaza}}{h} \right] \quad (12)$$

Gdje je:  $n(t)$  - broj ispravnih elemenata do trenutka  $t$ .

### 3.3. Funkcionalna pogodnost

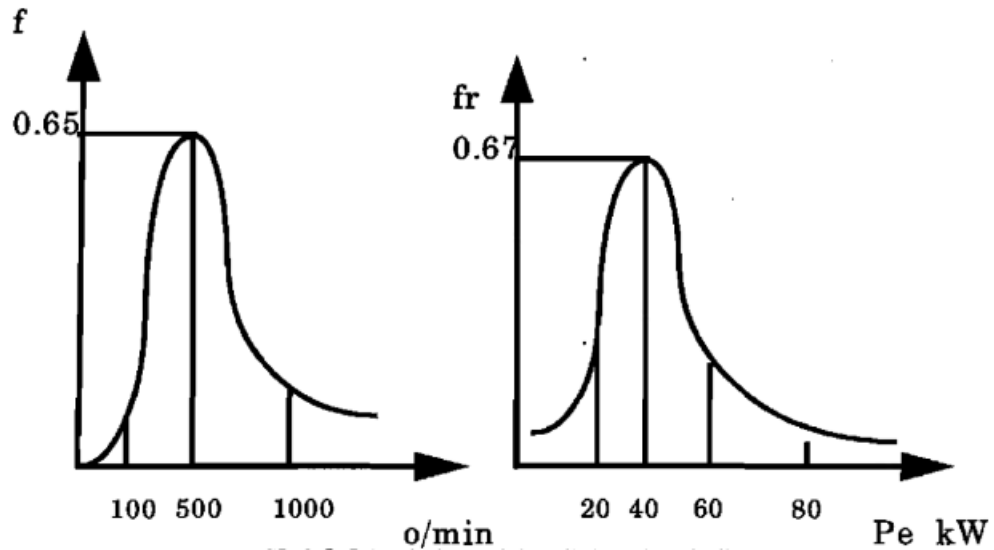
Funkcionalna pogodnost prometnog sredstva ili sustava može se opisati kao vremenski ovisna funkcija vjerojatnosti s vrijednostima unutar određenog intervala:

$$0 < F \cdot P(t) < 1 \quad (13)$$

Ova funkcija omogućuje uvid u sposobnost sustava da se prilagodi vanjskim promjenama, uvjetima okoline i radnim zahtjevima. Također, funkcionalna pogodnost odražava utjecaj i dopuštene razine poremećaja ključnih čimbenika, uz uvjet da sustav i dalje zadovoljava uvjete za uspješan i učinkovit rad prometnog sredstva.

Može se reći da je funkcionalna pogodnost mjera fleksibilnosti ili prilagodljivosti sustava unutar definiranih vremenskih okvira i konstruktivnih ograničenja. Što je funkcionalna pogodnost veća, to je sustav bolje sposoban prilagoditi se operativnim zahtjevima i uvjetima okoline u kojima djeluje.

Važno je napomenuti da projektiranje prometnog sredstva treba postići ravnotežu između prilagodljivosti sustava promjenama i održavanja optimalne iskoristivosti strukture sustava.



Slika 9. Iskoristivost izlaznih karakteristika

Izvor: Begović M., Održavanje tehničkih sustava, Fakultet prometnih znanosti, 2003.

Na slici 9 možemo vidjeti grafikon koji prikazuje relativnu frekvenciju brzine vrtnje nekog stroja i relativnu frekvenciju najčešće korištene efektivne snage nekog cestovnog vozila. Iz grafa je jasno vidljivo da se većina strojeva i vozila najčešće koristi pri nižim vrijednostima svojih tehničkih karakteristika. Imati rezervu performansi iznimno je važno kako bi vozila mogla funkcionalno odgovoriti na izazove koji se mogu pojaviti u manje očekivanim situacijama, kao što su potreba za brzim pretjecanjem, vožnja po zahtjevnim uzbrdicama ili čak vožnja izvan uređenih cesta. Ova dodatna snaga i kapaciteti pružaju sigurnost i pouzdanost u uporabi vozila, osiguravajući da će se vozilo moći nositi s različitim zahtjevima i neočekivanim situacijama na cesti.

#### **4. Sistematizacija podataka utjecajnih na efektivnost primjenom proračunskih tablica**

U ovom istraživanju korišteni su podaci prikupljeni s internetskih stranica centra za pomoć na cesti Oryx Asistencija, temeljeni na statističkim informacijama koje je objavio njemački auto-moto klub ADAC za 2021. godinu. Podaci su prikupljeni za vozila koja su prvi put registrirana između 2012. i 2019. godine, uz uvjet da je svaki model vozila imao najmanje 10.000 registracija u barem jednoj godini ispitivanja. Cijela analiza uključuje više od 130 različitih modela vozila, no za potrebe ovog rada odabrani su modeli za koje su dostupni podaci za svaku godinu u navedenom vremenskom periodu. Prije samog izračuna, vozila su razvrstana prema segmentu kojem pripadaju kako bi se u ovom radu mogla napraviti usporedba ne samo pojedinih modela već i segmenata vozila.

Vozila su razvrstana u sljedećih pet segmenata:

- Mikro-segment (A-segment)
- Maleni segment (B-segment)
- Kompaktni segment (C-segment)
- Srednji segment (D-segment)
- Veliki segment (E-segment)

U nastavku, analizirat će se prosječan broj kvarova po segmentu u svrhu usporedbe segmenata. U idućem koraku iz svakog segmenta bit će izdvojena vozila sa najmanjim prosječnim brojem kvarova u cijelom promatranom periodu.

Za izračun, prikaz i analizu podataka iz eksploatacije vozila koristi se programski alat Microsoft Excel, a ulazni podaci o broju kvarova vozila dani su u Tablici 1.

			BROJ KVAROVA U 2021. NA 1000 VOZILA							
SEGMENT	PROIZVOĐAČ	MODEL	2019	2018	2017	2016	2015	2014	2013	2012
A	Fiat	500	2,6	4,5	13,9	21,8	23	20,2	19,1	22
	Hyundai	i10	4,6	8,6	11,6	19,5	19,4	22,6	17,2	18,5
	Renault	Twingo	5,7	7,9	11,8	14,9	20	17	14,3	19,6
	Škoda	Citigo	2,4	3,4	7,6	8,7	14	18,2	19,1	24,5
	Smart	Fortwo	7,5	14,3	21,8	26,3	25,6	21,9	17,4	21
	Toyota	Aygo	2,2	3,7	4,9	4,9	8,6	10,9	12,9	9,3
	VW	Up!	2	4,1	7	12,3	15,3	17,5	18,7	18,4
B	Audi	A1	2	3,5	2,5	4,3	5,7	8,6	7,6	9,9
	Dacia	Sandero	2,4	3,5	5,5	11	10,1	13,6	14,3	18,1
	Ford	Fiesta	3,2	4,5	12,8	9,3	15,4	19,8	20,7	19
	Hyundai	i20	2,4	5,5	6,6	10,6	18,4	34,4	32,3	31,4
	Mini	Cooper	0,6	1,9	3,4	8,9	5,9	7	9	13,6
	Opel	Corsa	5,4	7,2	11,5	15,8	19,2	17	16,5	19,4
	Peugeot	208	1,8	2,7	3,5	12,8	17	16	17,8	23,2
	Renault	Clio	8,8	12,9	11,6	19,4	34,6	34,2	26,3	23,4
	Seat	Ibiza	2,6	3,4	4,4	9,1	14	17,5	17,6	19,5
	Škoda	Fabia	3	4,1	3,8	6,4	9,9	17	18	20,8
	Toyota	Yaris	3,2	3,9	7,4	10,7	14,2	20,9	20,5	19,4
VW	Polo	2,1	2,5	5,6	8,8	12,1	15,9	16,3	19,6	
C	Audi	A3	1,4	3,6	3,9	4,8	6,3	9,6	13,3	15,3
	Audi	Q3	2,2	5,3	3,6	3,1	7	7,9	10,6	11,5
	BMW	serije 1	2	1,6	2,4	3,4	5,3	9,5	8,7	11
	BMW	X1	1,3	1,8	3,4	7,2	8,5	8,3	8,4	9,8
	Citroën	Berlingo	5,6	5,9	8,5	12,8	15,2	18,6	21,4	28
	Dacia	Duster	4,3	7,7	8,2	13,7	19	19,3	11,7	12,2
	Ford	C Max	4,1	4,8	6,2	11,6	15,1	24,6	26,7	32,8
	Ford	Focus	5,2	7,4	6,9	12,3	16,5	31,4	30	28,4
	Ford	Kuga	6	6,8	10,4	14,3	20,1	24,5	26	26
	Hyundai	i30	4,9	5,2	7,3	8,4	14,5	22	22,4	29,3
	Kia	Ceed	3,7	5,7	6,5	17,6	19,4	24,9	24,3	31
	Kia	Sportage	4,9	4	6,7	8,8	16,6	18,2	20,6	21,3
	Mazda	3	5,4	2,6	4,5	9,7	11,7	12	21,8	18
	Mercedes	A klasa	2,4	3,9	5,4	9,5	9,3	8,3	10,4	20,9
	Mercedes	B klasa	3,5	3,9	6,6	10,3	9,2	9,9	11,2	13,1
	Nissan	Qashqai	5,2	10,6	14,6	15,7	13	15,1	19	20,8
	Opel	Astra	5,7	7,4	10,2	12	16,5	20,2	20,8	25
	Renault	Megane	5,6	8,7	16,5	28,1	27,3	22,6	25	21,1
	Seat	Leon	2,3	3,5	3,7	6,2	8,5	10,8	11,6	16,8
VW	Golf	2,1	3,6	6,3	8,4	9,2	11,3	14,2	20,3	
VW	Caddy	3,4	5,2	6,4	7,5	11,1	13,7	15,8	19	
VW	Tiguan	2,6	7,5	9,3	9,7	10,1	13,8	15,9	17,9	
VW	Touran	5,1	10,2	11,2	9,9	16,7	15,6	19,3	22,1	
D	Audi	A4	1,9	2,4	2,8	4,2	5	5,2	5,1	9,1
	Audi	A5	1,4	3,1	4,1	5,2	5,8	6,6	7,9	10,8
	Audi	Q5	1,3	1,8	3,2	3,8	7	10,3	8,6	12,4
	BMW	serije 3	2	2	3,2	3,9	5,4	7,4	9,8	11,6
	BMW	X3	0,8	1	2,3	2,8	3,4	3,4	4	5,7
	Ford	Mondeo	7,5	5,4	9,5	17,3	26,8	21,4	20,9	23
	Mercedes	C klasa	1,6	3,5	5,5	5,4	9,9	12,6	15,6	15,2
	Opel	Insignia	12,3	14,7	24,6	36	27,7	24,7	26,2	26,4
	Škoda	Octavia	3,1	4,6	5,7	6,7	9,9	11,4	16,9	22,9
	VW	Passat	3,2	6,5	6,4	8,3	9,5	14,1	15,2	20,7
	Volkswagen	Sharan	5,3	8,8	10,6	22,1	33,1	33,2	37	35,2
E	Audi	A6	1,6	3,3	4,3	6	7	10,2	8,4	12,3
	BMW	serije 5	1,4	1,8	3,3	4,5	6,1	7,5	11,1	16,5
	Mercedes	E klasa	2,4	4,6	6,5	13	16,2	18,7	21,4	23,7
	Mercedes	kombi vozila	3,7	3,5	6	7,9	11,2	16,1	12,5	18,3
	Škoda	Superb	4,7	5,2	6,3	9,2	13,4	15,2	18,7	23,7
VW	kombi vozila	4,1	5,6	8,1	10,4	15,6	14,1	16,9	19,4	

Tablica 1. Broj kvarova na 1000 vozila u 2021. godini prema starosti vozila.

Prvi korak prije samog izračuna je određivanje srednje vrijednosti broja otkaza na 1000 vozila za pojedini segment kao i za pojedini model. Ulazni podaci dani su prema godištu vozila, a za potrebe ovog rada pretpostavit ćemo da se godišnje prosječno prelazi 15000 kilometara.

Tablica 2. pokazuje usporedbu srednjih vrijednosti broja kvarova po segmentu, također radi analize podataka tablica sadrži prosjek broja kvarova po intervalima.

BROJ KVAROVA	30000km	45000km	60000km	75000km	90000km	105000km	120000km	135000km	PROSJEK
A	3,86	6,64	11,23	15,49	17,99	18,33	16,96	19,04	13,69
B	3,13	4,63	6,55	10,59	14,71	18,49	18,08	19,78	11,99
C	3,87	5,52	7,33	10,65	13,31	16,18	17,79	20,50	11,89
D	3,67	4,89	7,08	10,52	13,05	13,66	15,20	17,55	10,70
E	2,98	4,00	5,75	8,50	11,58	13,63	14,83	18,98	10,03
PROSJEK	3,50	5,14	7,59	11,15	14,13	16,06	16,57	19,17	11,66

Tablica 2. Prosjek broja kvarova po segmentima

Nadalje, usporedbom ulaznih podataka o broju kvarova po modelu izdvojeni su modeli vozila s najmanjim i najvećim brojem kvarova u ukupno promatranom vremenu za svaki segment. Ova vozila koristit će kao primjer za izračun efektivnosti, a njihov broj kvarova prikazan je u tablicama 3 i 4.

BROJ KVAROVA		30000km	45000km	60000km	75000km	90000km	105000km	120000km	135000km	PROSJEK
A	Toyota Aygo	2,2	3,7	4,9	4,9	8,6	10,9	12,9	9,3	7,18
B	Audi A1	2	3,5	2,5	4,3	5,7	8,6	7,6	9,9	5,51
C	BMW serije 1	2	1,6	2,4	3,4	5,3	9,5	8,7	11	5,49
D	BMW X3	0,8	1	2,3	2,8	3,4	3,4	4	5,7	2,93
E	BMW serije 5	1,4	1,8	3,3	4,5	6,1	7,5	11,1	16,5	6,53
PROSJEK		1,68	2,32	3,08	3,98	5,82	7,98	8,86	10,48	5,53

Tablica 3. Vozila sa najmanjim brojem kvarova u segmentu

BROJ KVAROVA		30000km	45000km	60000km	75000km	90000km	105000km	120000km	135000km	PROSJEK
A	Smart Fortwo	7,5	14,3	21,8	26,3	25,6	21,9	17,4	21	19,48
B	Hyundai i20	2,4	5,5	6,6	10,6	18,4	34,4	32,3	31,4	17,70
C	Kia Ceed	3,7	5,7	6,5	17,6	19,4	24,9	24,3	31	16,64
D	Opel Insignia	12,3	14,7	24,6	36	27,7	24,7	26,2	26,4	24,08
E	Mercedes E klasa	2,4	4,6	6,5	13	16,2	18,7	21,4	23,7	13,31
PROSJEK		5,66	8,96	13,2	20,7	21,46	24,92	24,32	26,7	18,24

Tablica 4. Vozila sa najvećim brojem kvarova u segmentu

## 5. Izračun efektivnosti na temelju podataka iz eksploatacije

Kako je već ranije navedeno efektivnost izražavamo umnoškom funkcionalne pogodnosti, pouzdanosti i raspoloživosti sredstva.

Pošto je funkcionalna pogodnost najvećim dijelom konstrukcijska karakteristika sustava i rijetko se mijenja u životnom vijeku bez većih zahvata na samom sustavu, za potrebe ovog izračuna pretpostavit ćemo da je ona konstantna za cijeli životni vijek te da za sva vozila iznosi 1. Pretpostavka se temelji na tome da se radi o osobnim vozilima koja su proizvedena u skladu sa strogim međunarodnim normama i standardima za cestovni promet.

Preostaje nam odrediti pouzdanost i raspoloživost sustava kako bismo izračunali efektivnost vozila.

Pouzdanost smo već definirali kao vjerojatnost da sustav obavlja svrhu namjene pri zadanim uvjetima u zadanom vremenskom periodu. Prilikom izračuna na temelju podataka iz eksploatacije koristimo statističku procjenu koja kaže:

<sup>5</sup>Ako imamo na početku eksploatacije ( $t=0$ )  $n$  elemenata ili sklopova i ako je do vremena  $t$  otkazalo  $N(t)$  elemenata ili  $n(t)$  je ukupan broj ispravnih elemenata do trenutka  $t$ , onda je funkcija pouzdanosti jednaka:

$$R(t) = \frac{n(t)}{n} = \frac{n(t)}{n(t) + N(t)} \quad (14)$$

Prilikom izračuna u svakom intervalu početni broj ispravnih elemenata je  $n=1000$  pošto se ne radi o istim vozilima, već se promatraju različita vozila različite starosti. Uvrštavanjem broja kvarova, zadanih u ranije navedenoj tablici, u navedenu formulu dobivamo pouzdanost na 1000 vozila, a rezultate izračuna možemo vidjeti u tablici 5 za vozila sa najmanjim brojem kvarova po segmentu.

POUZDANOST			R(30000)	R(45000)	R(60000)	R(75000)	R(90000)	R(105000)	R(120000)	R(135000)	PROSJEK
A	Toyota	Aygo	0,9978	0,9963	0,9951	0,9951	0,9914	0,9891	0,9871	0,9907	0,9928
B	Audi	A1	0,9980	0,9965	0,9975	0,9957	0,9943	0,9914	0,9924	0,9901	0,9945
C	BMW	serije 1	0,9980	0,9984	0,9976	0,9966	0,9947	0,9905	0,9913	0,9890	0,9945
D	BMW	X3	0,9992	0,9990	0,9977	0,9972	0,9966	0,9966	0,9960	0,9943	0,9971
E	BMW	serije 5	0,9986	0,9982	0,9967	0,9955	0,9939	0,9925	0,9889	0,9835	0,9935
PROSJEK			0,9983	0,9977	0,9969	0,9960	0,9942	0,9920	0,9911	0,9895	0,9945

Tablica 5. Pouzdanost vozila sa najmanjim brojem kvarova po segmentu

<sup>5</sup> Predavanje, tema: Osnove pouzdanosti, kolegij: Tehnička logistika, dr.sc. Damir Budimir, 2019.



Kao što u tablici 6 vidimo rezultate izračuna za vozila sa najvećim brojem kvarova po segmentu.

POUZDANOST		R(30000)	R(45000)	R(60000)	R(75000)	R(90000)	R(105000)	R(120000)	R(135000)	PROSJEK
A	Smart Fortwo	0,9925	0,9857	0,9782	0,9737	0,9744	0,9781	0,9826	0,9790	0,9805
B	Hyundai i20	0,9976	0,9945	0,9934	0,9894	0,9816	0,9656	0,9677	0,9686	0,9823
C	Kia Ceed	0,9963	0,9943	0,9935	0,9824	0,9806	0,9751	0,9757	0,9690	0,9834
D	Opel Insignia	0,9877	0,9853	0,9754	0,9640	0,9723	0,9753	0,9738	0,9736	0,9759
E	Mercedes E klasa	0,9976	0,9954	0,9935	0,9870	0,9838	0,9813	0,9786	0,9763	0,9867
PROSJEK		0,9943	0,9910	0,9868	0,9793	0,9785	0,9751	0,9757	0,9733	0,9818

Tablica 6. Pouzdanost vozila sa najvećim brojem kvarova po segmentu

Uvrštavanjem prosječnog broja kvarova po segmentu u istu formulu dobivamo prosječnu pouzdanost svakog segmenta, a vrijednosti su navedene u tablici 7.

POUZDANOST	30000km	45000km	60000km	75000km	90000km	105000km	120000km	135000km	PROSJEK
A	0,9961	0,9934	0,9888	0,9845	0,9820	0,9817	0,9830	0,9810	0,9863
B	0,9969	0,9954	0,9935	0,9894	0,9853	0,9815	0,9819	0,9802	0,9880
C	0,9961	0,9945	0,9927	0,9893	0,9867	0,9838	0,9822	0,9795	0,9881
D	0,9963	0,9951	0,9929	0,9895	0,9870	0,9863	0,9848	0,9825	0,9893
E	0,9970	0,9960	0,9943	0,9915	0,9884	0,9864	0,9852	0,9810	0,9900
PROSJEK	0,9965	0,9949	0,9924	0,9889	0,9859	0,9839	0,9834	0,9808	0,9883

Tablica 7. Prosječna pouzdanost segmenata vozila

Idući korak je izračun raspoloživosti. Raspoloživost vozila generalno izražavamo kao vjerojatnost da je vozilo dostupno za eksploataciju u promatranom vremenu. Kod izračuna raspoloživosti u ovom slučaju uzimamo u obzir vrijeme potrebno za preventivno i korektivno održavanje.

Propisani interval preventivnog održavanja, tj. redovnog servisa varira od vozila do vozila pošto ga propisuje svaki proizvođač zasebno. Intervali najčešće variraju od 10000 do 30000 prijeđenih kilometara ili vremenski gledano od jedna do dvije godine. Za potrebe izračuna pretpostavit ćemo da je duljina intervala jedna godina ili najviše 15000 prijeđenih kilometara. Procijenjeno trajanje održavanja je jedan radni dan, a ako u obzir uzmemo vrijeme potrebno za dovoz i prikupljanje vozila te administrativne radnje možemo reći da vozilo neće biti dostupno jedan cijeli dan za korištenje.

Također kada promatramo raspoloživost u obzir moramo uzeti vrijeme za izmjenu guma koja se vrši 2 puta godišnje što implicira da vozilo te dane neće biti dostupno za korištenje. Nadalje u obzir je potrebno uzeti i vrijeme potrebno za tehnički pregled i registraciju vozila što dodaje još jedan dan u godini kada vozilo nije dostupno.

Kada se zbroje svi navedeni zastoji dobivamo da svako od navedenih vozila u slučaju da je potpuno ispravno, godišnje nije raspoloživo barem četiri dana za eksploataciju.

Nadalje, ukoliko se dogodi kvar na vozilu pristupa se korektivnom održavanju vozila za koje možemo reći da traje prosječno tri dana. Prvi dan vozilo se transportira do servisne radionice te se vrši dijagnostika, drugi dan obično se svodi na nabavu potrebnih dijelova i treći dan se vrši ugradnja ispravnih dijelova i testiranje vozila. Uzimajući navedeno u obzir možemo postaviti formulu za izračun raspoloživosti i to na način:

$$A(t) = \frac{\text{vrijeme između zastoja}}{\text{vrijeme između zastoja} + \text{vrijeme zastoja}} \quad (15)$$

Kako je već definirano u izračunu trajanje intervala je jedna godina, odnosno 365 dana. Od navedenih 365 dana svako od 1000 vozila 4 dana nisu na raspolaganju zbog preventivnog održavanja i registracije te je za svaki kvar definirano da su 3 dana potrebna za aktivnosti kod popravka vozila. Sve ovo možemo svesti na niže navedeni zapis, gdje  $N(t)$  označava broj kvarova na 1000 vozila u intervalu.

$$A(t) = \frac{(365 - 4) \times 1000 - 3N(t)}{365 \times 1000} \quad (16)$$

Tablica 8. prikazuje raspoloživost vozila s najmanjim brojem kvarova u segmentu.

RASPOLOŽIVOST			30000km	45000km	60000km	75000km	90000km	105000km	120000km	135000km	PROSJEK
A	Toyota	Aygo	0,989023	0,989011	0,989001	0,989001	0,988970	0,988952	0,988935	0,988965	0,988982
B	Audi	A1	0,989025	0,989012	0,989021	0,989006	0,988994	0,988970	0,988979	0,988960	0,988996
C	BMW	serije 1	0,989025	0,989028	0,989021	0,989013	0,988998	0,988963	0,988970	0,988951	0,988996
D	BMW	X3	0,989035	0,989033	0,989022	0,989018	0,989013	0,989013	0,989008	0,988994	0,989017
E	BMW	serije 5	0,989030	0,989026	0,989014	0,989004	0,988991	0,988979	0,988950	0,988905	0,988987
PROSJEK			0,989027	0,989022	0,989016	0,989008	0,988993	0,988976	0,988968	0,988955	0,988996

Tablica 8. Raspoloživosti vozila s najmanjim brojem kvarova u segmentu

Dok tablica 9. prikazuje raspoloživost vozila s najvećim brojem kvarova ispod nje u tablici 10. možemo naći rezultate izračuna prosječne raspoloživosti po segmentu.

RASPOLOŽIVOST			A(30000)	A(45000)	A(60000)	A(75000)	A(90000)	A(105000)	A(120000)	A(135000)	PROSJEK
A	Smart	Fortwo	0,988979	0,988924	0,988862	0,988825	0,988831	0,988861	0,988898	0,988868	0,988881
B	Hyundai	i20	0,989021	0,988996	0,988987	0,988954	0,988890	0,988758	0,988776	0,988783	0,988896
C	Kia	Ceed	0,989011	0,988994	0,988988	0,988896	0,988882	0,988836	0,988841	0,988786	0,988904
D	Opel	Insignia	0,988940	0,988920	0,988839	0,988745	0,988813	0,988838	0,988826	0,988824	0,988843
E	Mercedes	E klasa	0,989021	0,989003	0,988988	0,988934	0,988908	0,988887	0,988865	0,988846	0,988932
PROSJEK			0,988995	0,988967	0,988933	0,988871	0,988865	0,988836	0,988841	0,988822	0,988891

Tablica 9. Raspoloživost vozila s najvećim brojem kvarova u segmentu

RASPOLOŽIVOST	30000km	45000km	60000km	75000km	90000km	105000km	120000km	135000km	PROSJEK
A	0,989009	0,988986	0,988949	0,988914	0,988893	0,988890	0,988902	0,988885	0,988929
B	0,989015	0,989003	0,988987	0,988954	0,988920	0,988889	0,988893	0,988879	0,988943
C	0,989009	0,988996	0,988981	0,988954	0,988932	0,988908	0,988895	0,988873	0,988943
D	0,989011	0,989001	0,988983	0,988955	0,988934	0,988929	0,988916	0,988897	0,988953
E	0,989017	0,989008	0,988994	0,988971	0,988946	0,988929	0,988919	0,988885	0,988959
PROSJEK	0,989012	0,988999	0,988979	0,988949	0,988925	0,988909	0,988905	0,988884	0,988945

Tablica 10. Rezultat izračuna prosječne raspoloživosti segmenata.

Ovime su dobiveni svi potrebni parametri za izračun efektivnosti. Za konačan izračun koristit ćemo ranije spomenuti zapis za efektivnost transportnog sredstva:

$$E(t)=A(t) \cdot R(t) \cdot FP(t) \quad (17)$$

Kao i kod prethodnih izračuna rezultati su podijeljeni u tri tablice. Tablica 11. prikazuje efektivnost najpouzdanijih vozila u svakom segmentu, Tablica 12. najnepouzdanijih, a Tablica 13. prosječnu efektivnost segmenata.

EFEKTIVNOST		E(30000)	E(45000)	E(60000)	E(75000)	E(90000)	E(105000)	E(120000)	E(135000)	PROSJEK
A	Toyota Aygo	0,9868	0,9854	0,9842	0,9842	0,9805	0,9782	0,9762	0,9798	0,9819
B	Audi A1	0,9870	0,9856	0,9865	0,9848	0,9834	0,9805	0,9815	0,9792	0,9835
C	BMW serije 1	0,9870	0,9874	0,9866	0,9857	0,9838	0,9796	0,9804	0,9781	0,9836
D	BMW X3	0,9882	0,9880	0,9867	0,9862	0,9857	0,9857	0,9851	0,9834	0,9861
E	BMW serije 5	0,9876	0,9872	0,9858	0,9846	0,9830	0,9816	0,9780	0,9726	0,9825
PROSJEK		0,9874	0,9867	0,9860	0,9851	0,9832	0,9811	0,9802	0,9786	0,9835

Tablica 11. Rezultat izračuna efektivnosti vozila s najmanjim brojem kvarova u segmentu.

EFEKTIVNOST		E(30000)	E(45000)	E(60000)	E(75000)	E(90000)	E(105000)	E(120000)	E(135000)	PROSJEK
A	Smart Fortwo	0,9816	0,9748	0,9673	0,9628	0,9635	0,9672	0,9717	0,9681	0,9696
B	Hyundai i20	0,9866	0,9836	0,9825	0,9785	0,9707	0,9547	0,9568	0,9577	0,9714
C	Kia Ceed	0,9854	0,9834	0,9826	0,9715	0,9697	0,9642	0,9648	0,9581	0,9725
D	Opel Insignia	0,9768	0,9744	0,9645	0,9532	0,9614	0,9644	0,9629	0,9627	0,9650
E	Mercedes E klasa	0,9866	0,9845	0,9826	0,9761	0,9729	0,9704	0,9677	0,9654	0,9758
PROSJEK		0,9834	0,9801	0,9759	0,9684	0,9676	0,9642	0,9648	0,9624	0,9709

Tablica 12. Rezultat izračuna efektivnosti vozila s najvećim brojem kvarova u segmentu

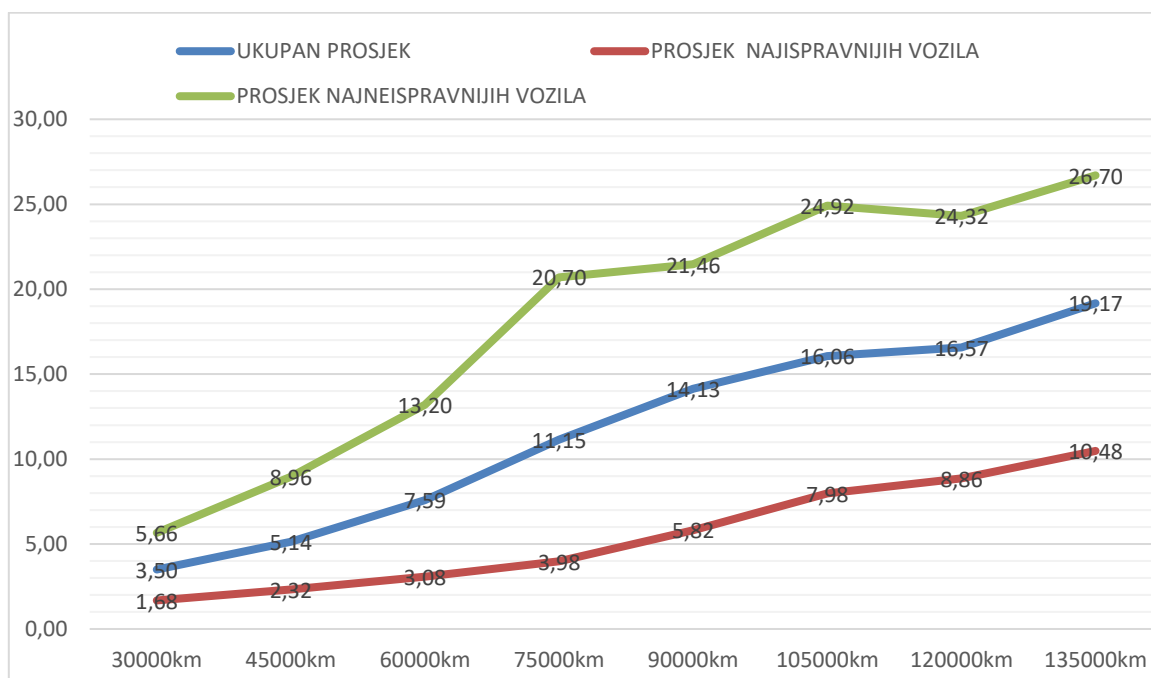
EFEKTIVNOST		E(30000)	E(45000)	E(60000)	E(75000)	E(90000)	E(105000)	E(120000)	E(135000)	PROSJEK
A		0,9852	0,9824	0,9778	0,9736	0,9711	0,9708	0,9721	0,9701	0,9754
B		0,9859	0,9844	0,9825	0,9785	0,9744	0,9706	0,9710	0,9693	0,9771
C		0,9852	0,9835	0,9817	0,9784	0,9758	0,9729	0,9713	0,9686	0,9772
D		0,9854	0,9842	0,9820	0,9786	0,9760	0,9754	0,9739	0,9715	0,9784
E		0,9861	0,9851	0,9833	0,9806	0,9775	0,9754	0,9743	0,9701	0,9790
PROSJEK		0,9856	0,9839	0,9815	0,9779	0,9750	0,9730	0,9725	0,9699	0,9774

Tablica 13. Prosječna efektivnost segmenata vozila.

## 6. Analiza dobivenih rezultata

U ovom poglavlju rada analizirat će se ulazni podaci kao i rezultati dobiveni prethodnim izračunom.

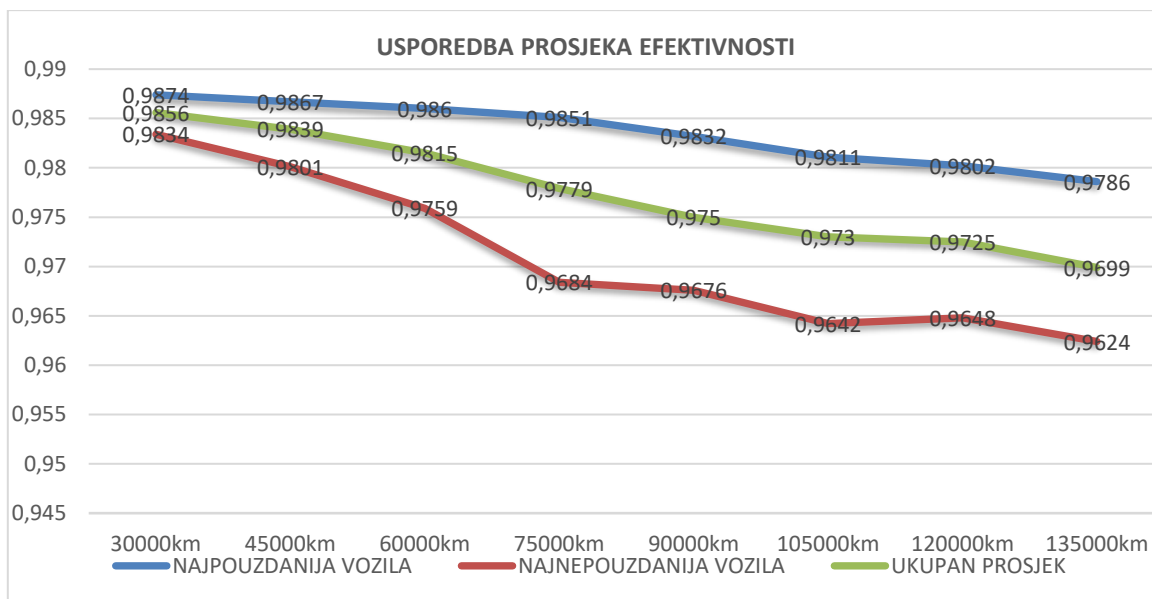
Na prvom grafikonu prikazano je kretanje broja kvarova u ovisnosti o starosti vozila. Zeleno su prikazane vrijednosti za vozila sa najvećim, a crveno sa najmanjim brojem kvarova u svom segmentu dok je plavo označen prosjek svih promatranih vozila za koje su dostupni potpuni podaci.



Grafikon 1. Kretanje broja kvarova u odnosu na starost vozila

Kao što je očekivano, na grafu je vidljivo da starenjem, tj. većom prijeđenom kilometražom raste i broj kvarova. Kad promatramo graf broja kvarova najnekvarljivijih vozila po segmentu vidimo da je broj kvarova u blagom, ali konstantnom porastu. Nadalje, kada promatramo graf najkvarljivijih modela u segmentu nailazimo na izražen porast broja kvarova na vozilima između 4. i 5. godine starosti dok u 8. godini nailazimo na blagi, ali neočekivani pad broja kvarova.

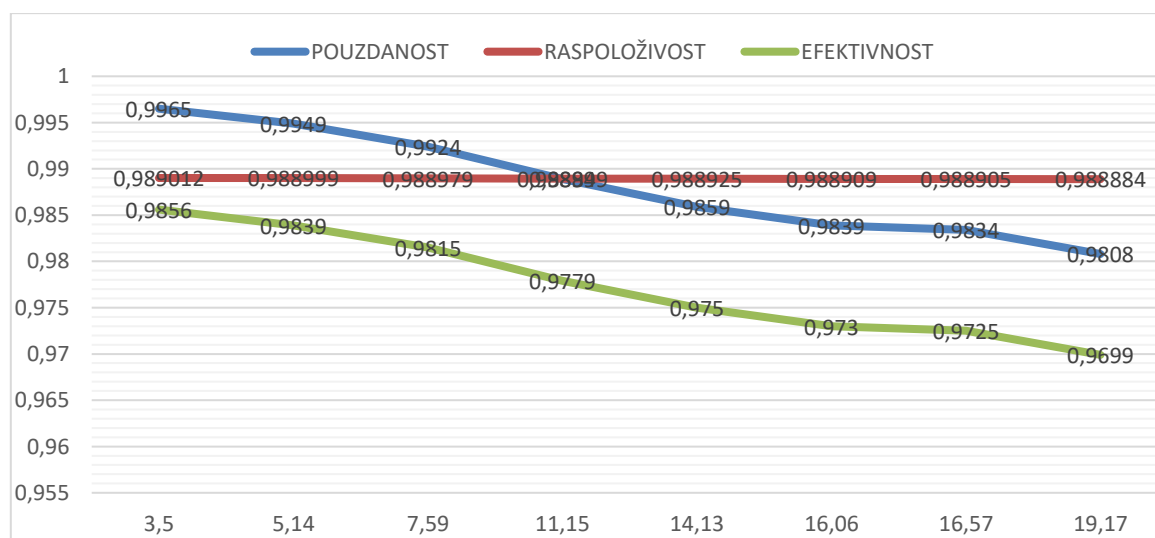
Nakon analize ulaznih podataka o broju kvarova na idućem grafikonu prikazana je usporedba prosjek najpouzdanijih, najnepouzdanijih kao i svih vozila za koja su dostupni podaci.



Grafikon 2. Usporedba prosječnih efektivnosti

Kao što je vidljivo, efektivnost poprima vrijednosti u trendu obrnuto proporcionalnom broju kvarova na vozilima. Što se više vozila kvare pada im pouzdanost, a samim time i efektivnost.

Idući grafikon prikazuje na koji način broj kvarova utječe na pouzdanost, raspoloživost i na efektivnost vozila. Na osi x prikazan je prosječan broj svih kvarova za svaki promatrani period dok je na osi y prikazana brojčana vrijednost promatranih parametara. Pošto su pouzdanost, raspoloživost i efektivnost vjerojatnosti, vrijednost tih parametara uvijek je u intervalu između 0 i 1.

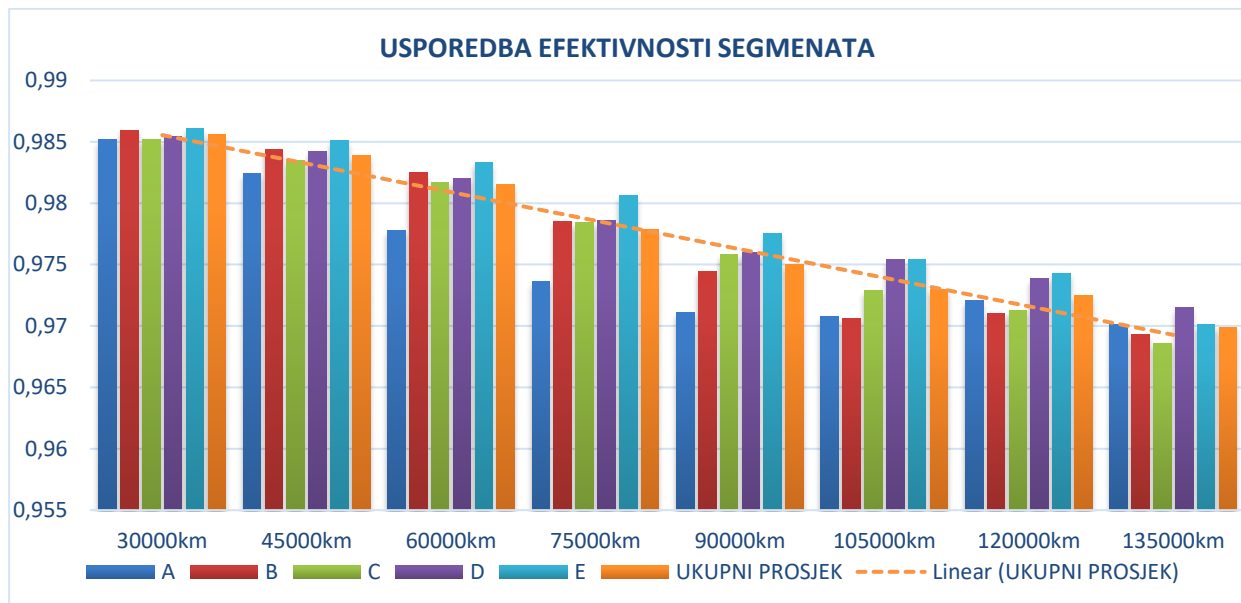


Grafikon 3. Pouzdanost, raspoloživost i efektivnost u odnosu na broj kvarova

Na grafikonu je jasno vidljivo da pouzdanost i efektivnost imaju gotovo usporedan padajući trend uzrokovan rastom broja kvarova, dok je raspoloživost gotovo konstantna.

Za povećanje broja kvarova od 5,5 puta pouzdanost je pala za 1,60%, a efektivnost za 1,62% dok je pad raspoloživosti manji od 0,2 %.

Kad uspoređujemo rezultate efektivnosti pojedinih segmenata vozila vidljivo je da efektivnost raste sa segmentom ako pričamo o ukupno promatranom vremenu, ali kada uspoređujemo efektivnost segmenata po intervalima dobivamo stanje koje je prikazano na grafikonu 3.



Grafikon 4. Usporedba efektivnosti segmenata po starosti

Na grafu vidimo da je A segment najmanje efektivan za vozila stara između 2 i 6 godina, tj. do prijeđenih 90000km nakon čega tu ulogu preuzima B segment, ali u zadnjem promatranom periodu A segment ima jednaku efektivnost kao i E segment koji u ukupnom prosjeku ima najveću efektivnost. Također je vidljivo da je A segment jedini koji je s protekom vremena imao povećanje efektivnosti i to u 8. godini starosti, tj. 120000 prijeđenih km.

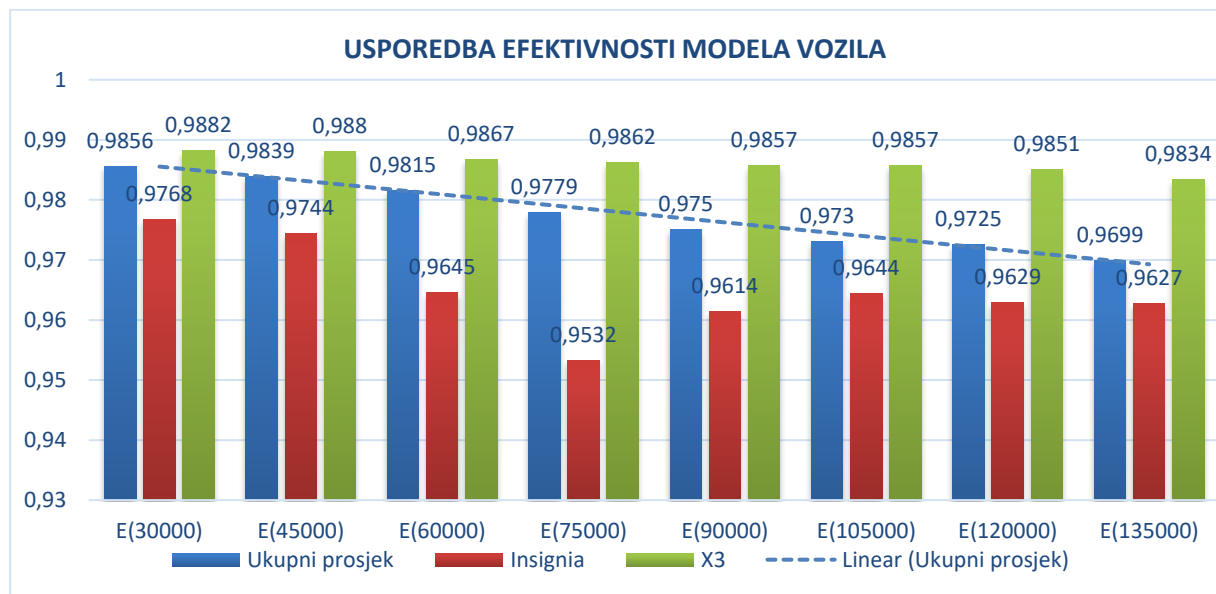
Efektivnost segmenta B je iznadprosječna kod primjeraka mlađih od 6 godina nakon čega preuzima ulogu najslabijeg po tom pitanju.

Za C segment možemo reći da najbolje prati prosjek efektivnosti, osim u prvom promatranom periodu, odnosno 2. godini starosti vozila kad dijeli najlošiju poziciju zajedno s A segmentom.

Kod D segmenta bilježimo konstantu iznadprosječnu efektivnost koja u dva navrata zauzima vodeću poziciju. Prvi puta prvo mjesto dijeli sa E segmentom u 7. godini starosti, a u 9. godini starosti ima uvjerljivo najbolji rezultat.

E segment uvjerljivo održava najbolju efektivnost kroz životni vijek vozila sve do 9. godine starosti kada i dalje ima iznadprosječan rezultat.

Obzirom na veliki broj različitih vozila koja su obuhvaćena u ulaznim podacima za potrebe ovog rada analizirat će se modeli sa najvećim i najmanjom prosječnom efektivnosti.



Grafikon 5. Efektivnost vozila sa najvećom i najmanjom prosječnom efektivnosti

Iako bi možda bilo za očekivati da vozilo sa najmanjom efektivnosti pripada segmentu A ili eventualno B, grafikon 4 pokazuje da to u stvarnosti nije slučaj. Naime, vidljivo je da vozila sa najvećom i najmanjom efektivnosti dolaze iz D segmenta.

Vozilo s najmanjom efektivnosti je Opel Insignia, na grafu je vidljivo da efektivnost ovog vozila poprilično odstupa od prosjeka. Najlošiji rezultat bilježi se kod primjeraka koji su stari 5 godina kad efektivnost padne za 2,5% u odnosu na prosjek, a zanimljivo je da vozila starija od 5 godina bilježe povećanje efektivnosti.

U konačnici došli smo i do najefektivnijeg vozila, a to je BMW X3. Kod ovog modela vidljivo je da efektivnost vrlo visoka te ima gotovo linearni, blagi pad bez oscilacija. U periodu od 7 promatranih godina najveći pad efektivnosti je 1% i to u 9. godini starosti, u odnosu na svoju najbolju godinu dok je ona i dalje 1,4% iznad prosjeka efektivnosti svih promatranih vozila.

## 7. Zaključak

Kad govorimo o pouzdanost vozila posljednjih godina ona je iznimno visoka što je očiti pokazatelj velikih napora koje proizvođači ulažu u kvalitetu. U korist navedenom govori to da je najnepouzdaniji model vozila obuhvaćen ovom analizom u svom najkvarljivijem periodu imao pouzdanost veću od 0,95. S druge strane kada govorimo o raspoloživosti vozila uvidjeli smo da višestruko povećan broj kvarova nije izazvao njen značajniji pad.

Kako je vidljivo u analizi podataka, kada funkcionalnu pogodnost izjednačimo svim vozilima, razlike u efektivnosti praktično su zanemarive. Bez kvantificiranja funkcionalne pogodnosti vozila koja imaju 2 sjedala postaju podjednako efektivna kao i kombi vozila koja ih imaju do 9. Ovakav pristup izračuna efektivnosti u kojem su izjednačene funkcionalne pogodnosti svih vozila mogao bi biti interesantan za rent a car tvrtku kod koje je poželjna široka paleta vozila u ponudi, kako bi tvrtka svojom ponudom mogla konkurirati na tržištu.

Uzmimo za primjer tvrtku koja se bavi dostavom hrane, najefektivnija vozila za tu tvrtku biti će ona iz A segmenta zbog malih gabarita. Ako za primjer uzmemo taksi tvrtku, vozila u njihovoj floti neće biti iz A segmenta jer takva vozila ne zadovoljavaju minimalne zakonske propise čime im je funkcionalna pogodnost, a samim time i efektivnost jednaka nuli. Dok su za tvrtku koja vrši transfere za luksuzne hotele najefektivnija vozila u E segmentu iako im mogu poslužiti i neka vozila iz D segmenta.

Na kraju ovog rada možemo zaključiti kako je efektivnost vrlo kompleksan pojam te da kod planiranja voznog parka uz pouzdanost i raspoloživost ne smijemo zanemariti funkcionalnu pogodnost. Tek kada su svi navedeni parametri usklađeni dobivamo optimalan sustav kao preduvjet za ostvarivanje maksimalne financijske dobiti.



## POPIS LITERATURE

- [1.] teorija sustava. Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021. Pristupljeno 22. 8. 2023.  
<<http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=60892>>.
- [2.] Mavrin I.; Budimir D., Tehnička logistika, Fakultet prometnih znanosti, 2013., autorizirana predavanja.
- [3.] Begović M., Održavanje tehničkih sustava, Fakultet prometnih znanosti, 2003., str. 195
- [4.] Nastavni materijali s predavanja, Osnove pouzdanosti, 2019./2020.

## POPIS SLIKA

Slika 1. Životni vijek sustava

Slika 2. Struktura troškova životnog vijeka sustava

Slika 3. Visina troškova životnog vijeka sustava

Slika 4. Ledeni brijeg logističke podrške sustava

Slika 5. Intenzitet otkaza kroz radni vijek sustava

Slika 6. Dijagram čimbenika efektivnosti

Slika 7. Grafički prikaz odnosa funkcija pouzdanosti i nepouzdanosti

Slika 8. Grafički prikaz funkcije gustoće otkaza  $f(t)$

Slika 9. Iskoristivost izlaznih karakteristika

## POPIS TABLICA

Tablica 1. Broj kvarova na 1000 vozila u 2021. godini prema starosti vozila.

Tablica 2. Prosjek broja kvarova po segmentima

Tablica 3. Vozila sa najmanjim brojem kvarova u segmentu

Tablica 4. Vozila sa najvećim brojem kvarova u segmentu

Tablica 5. Pouzdanost vozila sa najmanjim brojem kvarova po segmentu

Tablica 6. Pouzdanost vozila sa najvećim brojem kvarova po segmentu

Tablica 7. Prosječna pouzdanost segmenata vozila

Tablica 8. Raspoloživosti vozila s najmanjim brojem kvarova u segmentu

Tablica 9. Raspoloživost vozila s najvećim brojem kvarova u segmentu

Tablica 10. Rezultat izračuna prosječne raspoloživosti segmenata.

Tablica 11. Rezultat izračuna efektivnosti vozila s najmanjim brojem kvarova u segmentu.

Tablica 12. Rezultat izračuna efektivnosti vozila s najvećim brojem kvarova u segmentu

Tablica 13. Prosječna efektivnost segmenata vozila.

## POPIS GRAFIKONA

Grafikon 1. Kretanje broja kvarova u odnosu na starost vozila

Grafikon 2. Usporedba prosječnih efektivnosti

Grafikon 3. Pouzdanost, raspoloživost i efektivnost u odnosu na broj kvarova

Grafikon 4. Usporedba efektivnosti segmenata po starosti

Grafikon 5. Efektivnost vozila sa najvećom i najmanjom prosječnom efektivnosti

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 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 „Analiza efektivnosti transportnog sredstva“, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

U Zagrebu, 28.02.2024.

Student/ica:

Leon Rašlić

(ime i prezime, potpis)