

# Analiza eksploatacije voznog parka u paketnoj distribuciji

---

**Benja, Bože**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2023**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:723501>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-08-19**



*Repository / Repozitorij:*

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



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

**BOŽE BENJA**

**ANALIZA EKSPLOATACIJE VOZNOG PARKA U**  
**PAKETNOJ DISTRIBUCIJI**

**DIPLOMSKI RAD**

**Zagreb, 2023.**

Zagreb, 3. travnja 2023.

Zavod: **Zavod za transportnu logistiku**  
Predmet: **Prijevozna logistika II**

## DIPLOMSKI ZADATAK br. 7161

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

Zadatak: **Analiza eksploatacije voznog parka u paketnoj distribuciji**

### Opis zadatka:

Prikazati prometno eksploatacijske značajke voznog parka cestovnih teretnih vozila. Objasniti elemente upravljanja voznim parkom i ključne izvedbene pokazatelje radne učinkovitosti voznog parka. Opisati tržište paketne distribucije u Republici Hrvatskoj. U okviru studije slučaja analizirati upravljanje voznim parkom tvrtke za paketnu distribuciju, ukazati na uočene slabosti, te predložiti mogućnosti unaprjeđenja. Izvesti zaključke iz analitičkog dijela rada.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za  
diplomski ispit:

---

izv. prof. dr. sc. Ratko Stanković

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

**DIPLOMSKI RAD**

**ANALIZA EKSPLOATACIJE VOZNOG PARKA U  
PAKETNOJ DISTRIBUCIJI**

**Analysis of the fleet utilization in the parcel division**

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

Student: Bože Benja

JMBAG: 0135247027

Zagreb, svibanj, 2023.

## SAŽETAK

Kod planiranja kapaciteta voznog parka, potrebno je odrediti potreban broj vozila s obzirom na očekivanu potražnju. Tvrtke moraju upravljati svojim voznim parkom kako bi korisnicima pružili odgovarajuću uslugu, uz minimalne troškove. Tvrtke se često oslanjaju na vlastite iskustvene metode, bez znanstvenog pristupa i analize. U radu je definiran postupak određivanja optimalne veličine voznog parka tvrtke za paketnu distribuciju. Izvedena je studija slučaja u kojoj su prikupljeni realni povijesni podaci tvrtke te je napravljen izračun optimalnog udjela vozila koje tvrtka treba imati i vozila angažirana od vanjskog prijevoznika za prikazano razdoblje. Također, elektrifikacijom voznog parka otvara se mogućnost smanjenja troškova održavanja, a daljnjim razvojem tehnologije smanjuje se cijena baterije, u konačnici i samog vozila. U radu je napravljena usporedba voznog parka dizelskih vozila i voznog parka električnih vozila, te su uspoređeni troškovi vozila i analizirana isplativost nabavki električnih vozila zajedno s ugradnjom solarne elektrane i punionica za vozila.

**KLJUČNE RIJEČI:** optimizacija, vozni park, prijevozna potražnja, električna vozila, usporedba troškova

## SUMMARY

When planning the fleet capacity, it is necessary to determine the required number of vehicles with regard to the expected demand. Companies need to manage their fleet in order to provide customers with adequate service at minimal costs. Companies mostly rely on their own experiential methods, without a scientific approach and analysis. In this paper, it defines the procedure for determining the optimal size of the company's vehicle fleet for parcel distribution. A case study was conducted in which real historical data of the company was collected and a calculation was made of the optimal share of vehicles that the company should have and vehicles hired for an external carrier for the period shown. Also, the electrification of the vehicle fleet opens up the possibility of reducing maintenance costs, and the further development of technology reduces the price of the battery, and ultimately of the

vehicle itself. The paper compares the fleet of diesel vehicles and the fleet of electric vehicles, and compares vehicle costs and analyzes the profitability of purchasing electric vehicles together with the installation of a solar power plant and charging stations for vehicles.

**KEYWORDS:** optimization, fleet, transport demand, electric vehicles, cost comparison

# SADRŽAJ

1. Uvod.....	1
2. Prometno – eksploatacijske značajke voznog parka cestovnih teretnih vozila .....	3
2.1. Prometno – eksploatacijske značajke voznog parka.....	3
2.1.1. Učinkovitost goriva.....	4
2.1.2. Kapacitet vozila.....	4
2.1.3. Određivanje rute i raspored .....	4
2.1.4. Sigurnosne značajke .....	4
2.1.5. Obuka vozača.....	4
2.1.6. Održavanje i popravak .....	4
2.1.7. Sukladnost s propisima.....	5
2.1.8. Praćenje vozila i telematika .....	5
3. Elementi upravljanja voznim parkom .....	6
3.1. Potražnja za prijevoznim uslugama .....	7
3.2. Upravljanje radom vozila.....	10
3.2.1. Izbor itinerara.....	11
3.3. Radno vrijeme mobilnih radnika.....	12
4. Ključni izvedbeni pokazatelji radne učinkovitosti voznog parka.....	17
4.1. Pokazatelji vremenske učinkovitosti.....	18
4.1.1. Koeficijent ispravnosti prijevoznih sredstava ( $a_{is}$ ) .....	19
4.1.2. Koeficijent angažiranosti prijevoznih sredstava ( $a_a$ ).....	19
4.1.3. Koeficijent iskorištenja vožnje ( $a_v$ ) .....	20
4.2. Pokazatelji prijeđenog puta .....	20
4.2.1. Koeficijent iskorištenja prijeđenog puta pod opterećenjem ( $\beta$ ).....	21
4.2.2. Koeficijent iskorištenja nultog prijeđenog puta ( $\beta_0$ ) .....	22
4.3. Pokazatelji brzine kretanja .....	22
4.3.1. Prometna brzina ( $V_p$ ) .....	22
4.3.2. Prijevozna brzina ( $V_{pr}$ ) .....	22
4.3.3. Brzina obrta ( $V_o$ ) .....	23
4.3.4. Eksploatacijska brzina ( $V_e$ ) .....	23
4.4. Pokazatelji nazivne nosivosti .....	24
4.4.1. Koeficijent statičkog opterećenja ( $\gamma_s$ ) .....	24
4.4.2. Koeficijent dinamičkog iskorištenja nazivne nosivosti ( $\gamma_d$ ) .....	25

4.5. Tehnologije i tehnika sustava za upravljanje voznim parkom.....	25
4.6. Princip rada sustava za upravljanje voznim parkom .....	26
5. Tržište paketne distribucije u Republici Hrvatskoj .....	28
5.1. Regulatorni okvir poštanskog tržišta u Republici Hrvatskoj.....	28
5.2. Paketsko tržište Republike Hrvatske.....	29
6. Studija slučaja: Analiza upravljanja voznim parkom tvrtke za paketnu distribuciju31	
6.1. Određivanje optimalnog broja vozila voznog parka tvrtke za paketnu distribuciju .....	34
6.2. Usporedba vozila s unutarnjim izgaranjem s električnim vozilima u voznom parku tvrtke .....	40
6.2.1. Usporedba troškova vozila i povrat ulaganja .....	41
7. Zaključak .....	46
7. Literatura .....	48
Popis slika .....	51
Popis tablica .....	51
Popis grafikona .....	52



# 1. Uvod

Tema ovog rada je izvršiti analizu eksploatacije voznog parka određene tvrtke koja se bavi paketnom distribucijom. Kod planiranja voznog parka, potrebno je odrediti potreban broj i strukturu vozila, s obzirom na očekivanu potražnju, odnosno potrebe za prijevozom. Kako bi ostale konkurentne na tržištu, tvrtke moraju upravljati svojim voznim parkom tako da korisnicima pruže odgovarajuću kvalitetu usluge, uz minimalne prijevozne troškove. U ovom radu potrebno je definirati postupak određivanja optimalne veličine (broja vozila) voznog parka cestovnih teretnih vozila. S tim u svezi, izvodi se studija slučaja tvrtke koja se bavi paketnom distribucijom, u okviru podataka koji su prikupljeni te analizirani povijesni podaci o prijevoznj potražnji i prijevoznim troškovima, te je potrebno napraviti prognozu prijevozne potražnje za predstojeće razdoblje. Temeljem toga, po kriteriju minimalnih prijevoznih troškova, određen je optimalni udjel outsourcinga (angažiranja vanjskih prijevoznika) i optimalni broj vlastitih vozila tvrtke, to jest optimalnu veličinu voznog parka. Sa sve većim brojem električnih vozila koje tvrtke koriste u svom poslovanju, u radu će također biti prikazana usporedba troškova upotrebe voznog parka potpuno električnih vozila i vozila s unutarnjim izgaranjem. Rad je podijeljen u sedam cjelina:

## 1. Uvod

## 2. Prometno - eksploatacijske značajke voznog parka cestovnih vozila

## 3. Elementi upravljanja voznim parkom

## 4. Ključni izvedbeni pokazatelji radne učinkovitosti voznog parka

## 5. Tržište paketne distribucije u Republici Hrvatskoj

## 6. Studija slučaja: Analiza upravljanja voznim parkom tvrtke za paketnu distribuciju

## 7. Zaključak

Drugo poglavlje zasniva se na definiranju i pojašnjavanju prometno eksploatacijskih značajki voznog parka, njihove uloge i važnosti u samom procesu

Trećim poglavljem objašnjen je pojam voznog parka i elementi voznog parka, njihov utjecaj na cjelokupni transportni i poslovni proces.

Četvrto poglavlje zasniva se na definiranju i pojašnjavanju ključnih pokazatelja radne učinkovitosti, njihove uloge i važnosti u procesu upravljanja.

U petom poglavlju je opisano tržište Republike Hrvatske te udio paketskih pošiljaka u unutarnjem i međunarodnom prometu.

Šesto poglavlje zasnovano je na praktičnom primjeru upravljanja voznim parkom tvrtke koja se bavi paketnom distribucijom gdje će se predstaviti vozni park tvrtke, te predložiti izračun za optimalnu veličinu voznog parka. Predložiti će se adekvatna rješenja za vozni park, odnosno koliko bi tvrtka trebala imati vlastitih vozila te angažiranih vozila od vanjskih prijevoznika. Također će biti prikazana usporedba voznog parka vozila s unutarnjim izgaranjem s električnim vozilima, tj. razlika u troškovima i isplati li se tvrtki preći na homogeni električni vozni park.

## 2. Prometno – eksploatacijske značajke voznog parka cestovnih teretnih vozila

Cestovna teretna prijevozna sredstva su motorna vozila i priključna vozila (prikolice i poluprikolice) koja su namijenjena prijevozu tereta, odnosno dobara između dva mjesta (mjesto utovara i mjesto istovara).

Pod pojmom „vozni park“ podrazumijeva se skup svih prijevoznih sredstava određenog poslovnog subjekta: automobili, autobusi, zglobni autobusi, teretna motorna vozila, tegljači, prikolice i poluprikolice.

Potrebno je spomenuti da vozni park može biti formiran prema organizacijskim i teritorijalnim potrebama poslovnog subjekta.

Ukoliko je riječ o organizacijskim potrebama, vozni park može se formirati za djelatnosti javnog prijevoza ili kao djelatnost prijevoza za vlastite potrebe. U aspektu organizacijskih potreba poslovnog subjekta razlikujemo vozni park na fiksnim rutama ili vozni park na promjenjivim rutama, što ovisi o potražnji.[1]

Glavna svrha voznog parka je prijevozni proces. Prijevozni proces predstavlja proces prevoženja tereta, ljudi uključujući sve pripremno-završne operacije kao što su:

- upućivanje vozila na mjesto ukrcaja robe
- prijem i ukrcaj robe
- prijevoz
- iskrcaj i predaja robe

### 2.1. Prometno – eksploatacijske značajke voznog parka

Prometno-eksploatacijska obilježja voznog parka cestovnih vozila odnose se na svojstva koja su važna za učinkovito i sigurno korištenje vozila u prometu. Neki primjeri prometno-eksploatacijskih značajki flote cestovnih vozila uključuju:[2]

- Učinkovitost goriva
- Kapacitet vozila
- Određivanje rute i raspored
- Sigurnosne značajke
- Obuka vozača
- Održavanje i popravak

- Sukladnost s propisima
- Praćenje vozila i telematika

#### 2.1.1. Učinkovitost goriva

Odnosi se na količinu goriva koju vozilo koristi po jedinici prijeđene udaljenosti. Vozila koja štede gorivo mogu uštedjeti na operativnim troškovima i smanjiti utjecaj prijevoza na okoliš. Vozila s učinkovitom potrošnjom goriva obično imaju značajke kao što su lagana konstrukcija, učinkoviti motori i aerodinamični dizajn.

#### 2.1.2. Kapacitet vozila

Kapacitet vozila važan je faktor u prijevozu robe ili putnika. Upravitelji voznog parka trebaju razmotriti optimalni kapacitet svakog vozila kako bi povećali učinkovitost transportnih operacija. Veća vozila mogu prevesti više tereta ili putnika, ali mogu biti manje učinkovita u potrošnji goriva i možda nisu prikladna za sve rute ili odredišta.

#### 2.1.3. Određivanje rute i raspored

Pravilno određivanje rute i raspored vozila može pomoći u smanjenju vremena i troškova putovanja, kao i smanjiti rizik od nesreća. Upravitelji voznih parkova moraju uzeti u obzir faktore kao što su prometna gužva, uvjeti na cesti i dostupnost vozača kada određuju najbolje rute i rasporede za svoja vozila.

#### 2.1.4. Sigurnosne značajke

Vozila bi trebala biti opremljena sigurnosnim značajkama kao što su zračni jastuci, sustav protiv blokiranja kočnica, kontrola stabilnosti i druge tehnologije koje mogu pomoći u sprječavanju nesreća. Sigurnosne značajke mogu pomoći u zaštiti vozača i putnika u slučaju nesreće, a također mogu pomoći u sprječavanju nesreća.

#### 2.1.5. Obuka vozača

Pravilna obuka vozača ključna je za sigurnu i učinkovitu upotrebu vozila u prijevozu. Vozači bi trebali biti obučeni za defenzivnu vožnju, osiguranje tereta i druge relevantne vještine. Dobro obučeni vozači mogu pomoći u sprječavanju nesreća, smanjiti trošenje vozila i poboljšati ukupnu učinkovitost transportnih operacija.

#### 2.1.6. Održavanje i popravak

Redovito održavanje i popravak vozila važni su kako bi vozila ostala u dobrom radnom stanju i sigurna za rad. Upravitelji voznog parka trebali bi uspostaviti redoviti

raspored održavanja svojih vozila i trebali bi imati uspostavljen sustav za praćenje i rješavanje svih problema koji se pojave.

#### 2.1.7. Sukladnost s propisima

Vozila moraju biti u skladu sa svim primjenjivim propisima koji se odnose na prijevoz, kao što su ograničenja težine, standardi emisija i sigurnosni propisi. Upravitelji voznog parka trebali bi biti svjesni ovih propisa i osigurati da su njihova vozila u skladu s njima kako bi izbjegli novčane kazne, kazne ili pravne probleme.

#### 2.1.8. Praćenje vozila i telematika

Vozila u voznom parku mogu biti opremljena GPS sustavima za praćenje i telematskim uređajima koji omogućuju praćenje lokacije vozila, brzine i drugih pokazatelja performansi u stvarnom vremenu. Ova značajka omogućuje upraviteljima voznog parka optimizaciju ruta, praćenje ponašanja vozača i poboljšanje ukupne učinkovitosti voznog parka.

Uzimajući u obzir ove značajke, upravitelji voznih parkova moraju donositi informirane odluke o odabiru i korištenju vozila u operacijama prijevoza, što može pomoći u povećanju učinkovitosti i sigurnosti uz smanjenje troškova i utjecaja na okoliš.

### 3. Elementi upravljanja voznim parkom

Upravljanje voznim parkom (engl. Fleet management) podrazumijeva cjelokupnu infrastrukturu i suvremena tehnološka rješenja koja omogućuju upravljanje flotom vozila u smislu automatizacije i optimizacije poslovnih procesa uz povezivanje svih segmenata poslovanja kao što su disponiranje, nabava, komunikacija, navigacija, računovodstvo i financije u jedinstven sustav koji je lako kontrolirati i optimizirati. Predstavlja kompleksan sustav planskih aktivnosti, a uključuje organizacijsku i logističku platformu te potrebne specijalizirane resurse za planiranje, praćenje i potpuni nadzor događaja vezanih u cjelokupan ciklus korištenja vozila u poslovne svrhe.[3]

U upravljanje voznim parkom ubraja se niz različitih funkcija poput praćenja (zasnovanog na uporabi vektorskih zemljopisnih karata te na korištenju terminalnih uređaja, ugrađenih u vozila, koji koriste GPS te GSM/GPRS tehnologiju) i dijagnostike vozila, upravljanja ponašanjem vozača, upravljanje potrošnjom goriva, daljinsko isključivanje vozila i tome slično, kao što je prikazano na slici 1.[4]



Slika 1. Elementi upravljanja voznim parkom

Izvor: [3]

U poslovnim procesima prijevoznih poduzeća, pojavljuje se potreba za prikupljanjem niza podataka, koje je zatim potrebno obraditi u svrhu donošenja adekvatnijih i

kvalitetnijih poslovnih odluka na temelju činjenica. Istraživanjem prijevoznih procesa spoznalo se da najveći problem nastaje u fazi prikupljanja informacija s prijevoznog sredstva kao temeljnog izvora podataka, naročito ako se podaci temelje na putnom radnom listu iz kojeg nije moguć detaljan uvid u sve aktivnosti, a pojavom informacijskih sustava bitno se povećala pristupačnost takvoj vrsti podataka i informacija.[5]

Kao osnovni elementi koji utječu na upravljanje voznim parkom mogu se izdvojiti:[5]

- potražnja za prijevoznim uslugama,
- upravljanje radom vozila i
- radno vrijeme mobilnih radnika

### 3.1. Potražnja za prijevoznim uslugama

Kod optimiranja upravljanja voznim parkom, od velike važnosti je planiranje prijevoznih procesa koje je moguće jedino kada se dobro poznaje potražnja za prijevoznim uslugama. Potražnja se može promatrati kao zavisna varijabla koja je povezana s gospodarskim stanjem na određenom teritoriju u određenom vremenu. Za potražnju može se reći da ovisi o proizvodnji te o razini BDP-a. Kada se promatra zakon ponude i potražnje, može se reći da rastom potražnje za prijevoznom uslugom u odnosu na ponudu, raste i cijena prijevozne usluge.[6]

Smanjenjem potražnje u odnosu na ponudu, smanjuje se i cijena. Međutim visoke cijene usluge mogu privući veliki broj gospodarskih subjekata kojima prijevoz nije bio primarna djelatnost da prijeđu u prijevozničku branšu jer tu u određenom trenutku vide profit. Isto tako s porastom cijena, pružanje prijevoznih usluga postaje sve interesantnije svim prijevoznicima jer oni tada pokušavaju povećati svoj vozni park u nadi da će zauzeti veliki udio na tržištu. S takvim razvojem enormno brzo raste broj prijevoznika koji nude svoje usluge s ciljem ostvarivanja profita, a veliki dio ne shvaća da takvim ponašanjem sami sebi rade štetu. I to na način da nakon određenog vremena dolazi do zasićenja tržišta, jer ponuda postaje veća od potražnje.[6]

Radi povećanja ponuđenih prijevoznih kapaciteta, pada i potražnja za njima, te se kao posljedica javlja sve čvršća konkurentnost među davateljima takvih usluga, posebice u cestovnom prijevozu robe, kao najraširenijem obliku prijevoza. Idealna situacija na tržištu je potpuno susretanje ponude i potražnje. U tablici 1, prikazane su

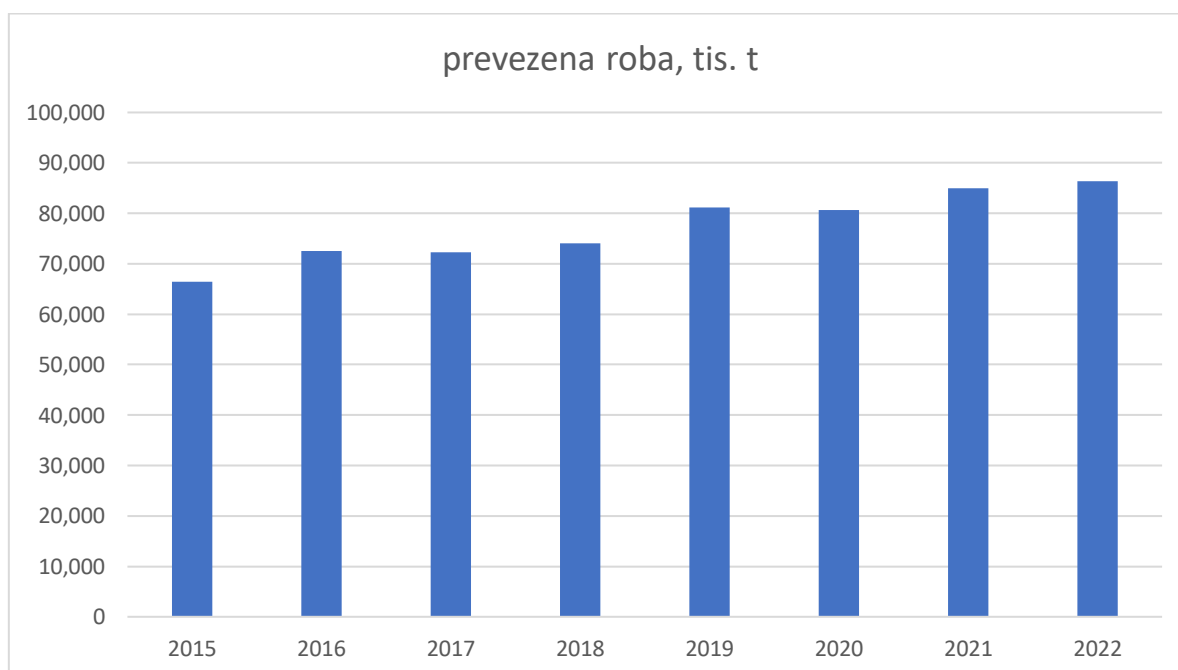
količine prevezene robe cestovnim prijevozom u milijunima tona i u tonskim kilometrima u razdoblju od 2015. do 2022. u Republici Hrvatskoj.

Tablica 1. Prevezena količina robe cestovnim prijevozom u razdoblju od 2015. do 2022. godine u Republici Hrvatskoj

Godina	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Prevezena roba, tis. T	66.491	72.503	72.329	73.997	81.110	80.693	84.953	86.402
Tonski kilometri, mil.	10.439	11.337	11.833	12.635	12.477	12.254	13.629	13.659

Izvor: [7]

Iz tablice je vidljiv blagi, konstantan rast prevezenih količina cestovnim oblikom prijevoza. Jedini pad se dogodio u 2020. godini, koji je prekinuo pozitivan trend potražnje koji je bio uzrokovan pandemijom COVID-19. Na grafikonu 1 je prikazan jasniji konstantan rast prevezene količine robe cestovnim putem u Republici Hrvatskoj.



Grafikon 1. Prevezena količina robe cestovnim putem u Republici Hrvatskoj

Izvor: [7]



Potražnja za prijevoznim uslugama na određenom području ovisi o razvijenosti svih oblika prijevoza, njihove integriranosti u cjelinu, cijeni po modovima prijevoza, kvaliteti usluge koje se izvršavaju potencijalnim klijentima, itd. Jedno od najvažnijih pitanja za korisnika prijevoznih usluga je izbor optimalnog oblika prijevoza. Svaka vrsta prijevoza ima određene karakteristike koje treba točno definirati i ocijeniti svaki tip prijevoznog sredstva.

Najvažniji kriteriji za ocjenu prijevoznog sredstva su:[8]

- kapacitet,
- oprema,
- pogon,
- brzina,
- ekonomičnost,
- održavanje,
- autonomija,
- sigurnost,
- zagađenje okoliša,
- pouzdanost,
- točnost, redovitost i udobnost,
- specifičnosti.

Takva stručna ocjena prijevoznih sredstava važna je i za analizu postojećeg stanja i za planiranje budućeg razvoja.

Kamionski prijevoz je najčešći način prijevoza različitih vrsta robe i na različite udaljenosti. Cjenovno je negdje između ekstremno visokih cijena brzog prijevoza, kao što je zračni prijevoz, i niskih cijena dugotrajnog prijevoza poput željeznice ili brodskog prijevoza. Ipak, glavna prednost mu je u tome što postoji dobra infrastrukturna povezanost u gotovo svim dijelovima svijeta, omogućavajući prihvat robe i njezinu isporuku na lokacije koje nisu dostupne drugim prijevoznim sredstvima, tzv. princip "od vrata do vrata".[9]

Zahvaljujući rasprostranjenosti cestovne mreže, velikom broju kamiona i pouzdanosti cestovnog prijevoza, cestovnim se prijevozom prevozi više od polovice robe u industrijski razvijenim zemljama. U unutrašnjem prijevozu Europske unije cestovni

prijevoz sudjeluje s 72,5% dok se željeznicom prevozi samo 17,7% tereta. U SAD-u cestovnim prijevozom se prevozi oko 86% pošiljki namještaja i 75% svih prehrambenih proizvoda.[9]

### 3.2. Upravljanje radom vozila

Prilikom organizacije i planiranja prijevoznih procesa bitna činjenica je ima li poduzeće unaprijed ugovorom zajamčene količine robe koju treba prevesti u određenom razdoblju. Na taj se način mogu ponuditi niže cijene prijevoza jer se rizik poslovanja smanjuje.

Kada je riječ o voznom parku kojeg čine teška teretna vozila i o smanjenju troškova, najjeftinije je kad poduzeća u vlasništvu imaju jednak broj tegljača i poluprikolica. Međutim, u praksi tvrtke ponekad imaju na jedan tegljač dvije poluprikolice za prijevoz različitih tereta. Na taj način je omogućeno da tegljač i vozač budu stalno zaposleni, odnosno da voze onu robu za kojom u tom trenutku postoji potražnja. Troškovi održavanja takvog voznog parka su veći, ali je sveukupno isplativije nego da tegljač uopće ne vozi.[6]

Pri određivanju prijevoznog rada voznog parka potrebno je izmjeriti elemente koji se odnose na:[10]

- vremenski balans vozila u danima,
- vremenski balans vozila u satima,
- zahtjeve pri izvršenju prijevoznih procesa (brzina vožnje, prijevozna udaljenost),
- prijedeni put vozila i stupanj iskorištenja prijedenog puta,
- stupanj iskorištenja kapaciteta vozila.

Na organizaciju rada vozila uvelike utječe prijevozna potražnja, koja je relativno promjenjiva, te na takav način predstavlja problem prilikom planiranja rada vozila. Problematika organizacije rada vozila sastoji se i u vjerojatnosti od neočekivanog otkaza, odnosno gubitku prijevozne sposobnosti vozila, koju je donekle moguće smanjiti pravovremenim i kvalitetnim preventivnim održavanjem i kontrolom voznog parka.[10]

### 3.2.1. Izbor itinerara

Tijekom prijevoznog procesa koriste se različiti modeli organizacije kretanja prijevoznih sredstava, ovisno o prirodi robnih tokova i udaljenostima koje treba svladati. Prema tome razlikuju se sljedeći oblici itinerara, odnosno pravaca kretanja prijevoznog sredstva:[6]

- ponavljajući,
- radijalni,
- prstenasti,
- zbirni ili distributivni

Ponavljajući itinerar je takvo kretanje vozila gdje se pojedine vožnje tijekom prijevoznog procesa ponavljaju istim itinerarom između dviju točaka.

Radialni itinerar odgovara zbroju nekoliko ponavljajućih itinerara s prijevozom u jednom smjeru koji se spajaju u jednu točku s više mjesta isporuke ili se teret otprema s jednog mjesta na veći broj lokacija.

Prstenastim itinerarom smatra se kretanje prijevoznog sredstva po zatvorenom prstenu sastavljenom od prijevoza s nekoliko točaka utovara i istovara.

Distributivni itinerar razlikuje se od prstenastog po tome što se tijekom vožnje postupno utovaruje ili istovaruje roba.

Odabir rute kojom će se vozilo konkretno kretati između početne i odredišne lokacije, izravno utječe na troškove kao što su potrošnja goriva, guma, trošak cestarine, tunelarine, troškovi trajekta, carinske pristojbe.[6]

Na organizaciju prijevoznih procesa utječe i dopuštena nosivost. Ukupna dopuštena masa za tegljač s poluprikolicom ili kamion prikoličar iznosi 40 tona, što znači da je moguće prevesti oko 26 tona tereta, pošto masa prazne kompozicije iznosi oko 14 tona. Izuzetak su vozila koja sudjeluju u intermodalnom prijevozu kojima je dozvoljeno 44 tone bruto uz uvjet da tegljač ima tri osovine. Dodatno ograničenje je i dopušteno osovinsko opterećenje koje mora biti zadovoljeno. Kod klasične kompozicije dvoosovinskog tegljača i troosovinske poluprikolice opterećenje na svaku od osovina poluprikolice iznosi po 8 tona, na zadnju osovinu tegljača 10 tona i prvu osovinu tegljača 6 tona.[11]

### 3.3. Radno vrijeme mobilnih radnika

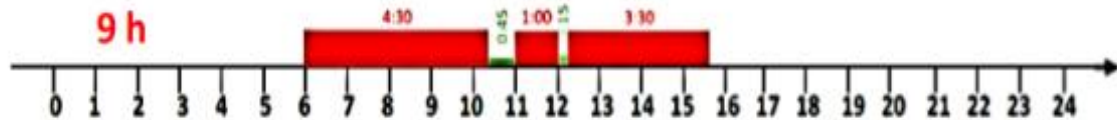
Na mobilne radnike koji sudjeluju u aktivnostima cestovnog prijevoza - vozače, kao i na samozaposlene vozače vozila čije je najveća dopuštena masa s priključnim vozilom veća od 3,5 tona i autobusa konstruiranih ili trajno prilagođenih za prijevoz više od 9 putnika, uključujući vozača, primjenjuju se odredbe Zakona o radnom vremenu, obveznim odmorima mobilnih radnika i uređajima za bilježenje u cestovnom prijevozu (NN 75/13, 36/15, 46/17; 2017)(u daljnjem tekstu Zakon).[12]

Zakonom se uređuje radno vrijeme i obvezni odmori mobilnih radnika i vozača u cestovnom prijevozu, vremena vožnje, prekidi vožnje, potrebna dokumentacija, način, uvjeti i postupak stjecanja dozvole za radionice, memorijske kartice i uvjeti za njihovo izdavanje, postupci provjere, službene evidencije, nadzor i inspekcija, odgovornost te prekršajne odredbe.[12]

"Mobilni radnik" je svaki radnik koji čini dio prijevoznog osoblja zaposlen u tvrtki koja obavlja cestovni prijevoz putnika ili tereta kao javni prijevoz ili prijevoz za vlastite potrebe, uključujući vježbenike i naučnike glede odredaba koje se odnose na odmore mobilnih radnika.[12]

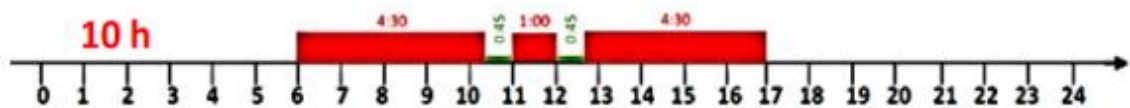
"Radno vrijeme" je vrijeme od početka do završetka rada, tijekom kojeg se mobilni radnik nalazi na svome radnom mjestu, na raspolaganju poslodavcu te obavlja svoje poslove. U radno vrijeme ubraja se kako vožnja, tako i utovar i istovar, pomoć putnicima pri ulasku i izlasku iz vozila, čišćenje i tehničko održavanje vozila, kao i svi ostali poslovi čija je svrha osiguranje sigurnosti vozila, njegova tereta i putnika ili ispunjavanje zakonskih obveza koje su vezane uz vožnju koja je u tijeku, uključujući nadzor utovara i istovara, kao i administrativnih formalnosti s policijom, carinom, inspekcijским službama i sl. Radno vrijeme radnika regulira se pomoću tahografskog uređaja koji se koristi za bilježenje aktivnosti vozača u cestovnom prometu.[12]

Vozač, dnevno, u jednoj smjeni smije neprekidno voziti najviše 9 sati (Slika 2.), ali dva puta tjedno svoje vrijeme dnevne vožnje smije produljiti do najviše 10 sati (Slike 3. i 4.).



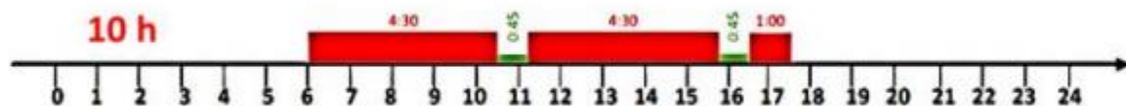
Slika 2. Dnevna vožnja 9 h

Izvor: [13]



Slika 3. Dnevna vožnja 10 h

Izvor: [13]

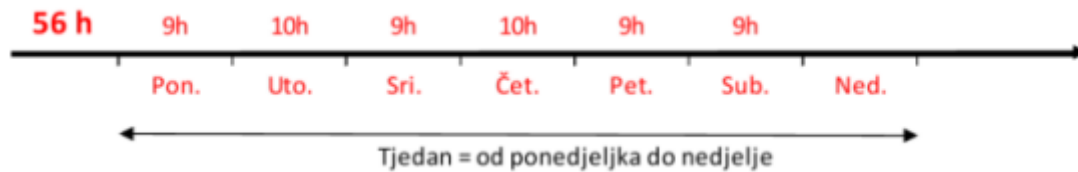


Slika 4. Dnevna vožnja 10 h

Izvor: [13]

Stanka je propisana na dva načina: nakon 6 sati ukupnog rada i/ili 4 sata i 30 minuta razdoblja vožnje, ovisno od toga što prije nastupi. Nakon ukupnog rada više od 6 sati vozač je obavezan uzeti stanku u trajanju od 30 minuta, odnosno stanku od 45 minuta ako vrijeme ukupnog rada prelazi 9 sati.

"Tjedno vrijeme vožnje" je sveukupno vrijeme vožnje tijekom jednog tjedna, s tim da tjedan označava razdoblje između 00:00 sati u ponedjeljak i 24:00 sata u nedjelju. Tjedno vrijeme vožnje (Slika 5.) ne smije biti dulje od 56 sati i ne smije dovesti do toga da se prekoračiti maksimalno tjedno radno vrijeme od 60 sati. [12]



Slika 5. Tjedna vožnja

Izvor: [13]

U slučaju kontrole vozač mora dokumentirati sve aktivnosti za tekući dan te za prethodnih 28 kalendarskih dana.

Zakon pripisuje da vozila spomenuta u gornjem tekstu moraju imati ugrađeni tahograf. Prema izvedbi postoje dvije vrste tahografa:

- analogni tahograf
- digitalni tahograf



Slika 6. Analogni tahograf

Izvor: [14]

Nova vozila koja se prvi put registriraju u Republici Hrvatskoj nakon 1.1.2009. godine moraju imati ugrađeni digitalni tahograf, dok se u ostalim vozilima mogu koristiti postojeći analogni tahografi.

Temeljna ideja digitalnog tahografa je iskorištavanje prednosti digitalne obrade podataka u svrhu jednostavnijeg i bržeg pristupa podacima o vozačevim aktivnostima i njegove bolje zaštite. Osim vođenja evidencije radnog vremena vozača, prijevoznim menadžerima omogućena je bolja kontrola u eksploataciji i upravljanu voznim parkom.



Slika 7. Digitalni tahograf

Izvor: [15]

Digitalni tahograf u svojoj memoriji pohranjuje:[13]

- podatke o vozaču i poduzeću,
- vremena vožnje, obvezne odmora, razdoblja raspoloživosti i radno vrijeme vozača kao i eventualnog suvozača,
- identifikacijski broj vozila,
- registarsku oznaku vozila,
- podatke
- servisu / kalibriranju,
- sigurnosne elemente,
- posebne događaje (npr. manipulacije, prekomjeran broj okretaja),
- pogreške/probleme s karticom vozača / tahografom,
- brzinu,
- prijeđeni put (broj prijeđenih kilometara) i
- kontrolne aktivnosti.

Postoji još i tzv. Smart tahograf (Pametni tahograf). To je digitalni tahograf najnovije generacije koji ima sljedeće dodatne funkcije (u odnosu na svoje prethodnike):[15]

- GPS – pozicioniranje vozila na početku i na kraju radnog vremena vozača (prilikom ubacivanja kartice i izbacivanja kartice) i svaka 3 sata kontinuirane vožnje,
- DSRC – skidanje podataka (beskontaktno na kratkoj udaljenosti) od strane kontrole. Skidaju se podaci o pogreškama koja mogu upućivati na manipulaciju (NE radna vremena vozača),

- novi senzor – Kitas 4 – drugačiji način plombiranja (uključen serijski broj plombe) – onemogućena manipulacija stavljanjem novih senzora i trganjem plombe bez posebne zabilješke, i
- nova generacija kartica vozača, kontrole, radionice i prijevoznika (kartice koje imaju mogućnost memoriranja dodatnih podataka koje pametni tahograf pohranjuje na kartici).



Slika 8. Pametni tahograf

Izvor: [16]

Cijeli sustav pametnog tahografa namijenjen je za smanjenje mogućnosti manipulacije tahografom. Također, skidanje podataka u vožnji će omogućiti kontroli da ne mora nepotrebno zaustavljati vozila ukoliko se ne radi o određenoj manipulaciji.

Vozači koji upravljaju pretovarenim ili tehnički neispravnim vozilima i pritom ne poštuju odredbe Zakona, znatno su veća opasnost u prometu na cestama od drugih sudionika i u bitnoj mjeri ugrožavaju sigurnost prometa na cestama, pa je stoga upravljanje radnim vremenima mobilnih radnika veoma bitno.

Također, nisu zanemarive ni kazne koje su pripisane u slučaju kršenja Zakona, a koje iznose od 2000 do 5400 eura za pravne osobe. Kazne postoje i za vozače, fizičke osobe – obrtnike, te za odgovorne osobe u pravnoj osobi.[12]



## 4. Ključni izvedbeni pokazatelji radne učinkovitosti voznog parka

Ključni izvedbeni pokazatelji (Key Performance Indicators - KPI) su osnovni alat uprave poduzeća kojim se unaprijeđuje poslovanje. Oni predstavljaju analitički prikaz prikupljenih podataka tj. odnos postignutih i postavljenih ciljeva poduzeća. Ključnim izvedbenim pokazateljima se dakle ne predviđa buduće stanje ali se na temelju njihove analize donose odluke o smjeru u kojem će se tvrtka nastaviti razvijati. Pojednostavljeni prikaz primjene ključnih izvedbenih pokazatelja je sljedeći:[17]



Slika 9. Pojednostavljeni prikaz primjene KPI

Izvor: [17]

Za potrebe planiranja, analize i ocjene radne učinkovitosti vozila u cestovnom prometu uveden je sustav pokazatelja i koeficijenta uz pomoć kojih je moguće prikazati stupanj iskorištenja vozila te voznog parka u cjelini, kao i vrednovanje ostvarenih rezultata. Te informacije mogu upozoriti na eventualne slabosti u prijevoznom procesu koje se analizom mogu detektirati, a zatim i otkloniti.[20]

Tehničko-eksploatacijski pokazatelji mogu se podijeliti na:[20]

- pokazatelje vremenske učinkovitosti prijevoznih sredstava,
- pokazatelje iskorištenja prijednog puta,
- pokazatelje brzine kretanja prijevoznih sredstava,
- pokazatelji nazivne nosivosti prijevoznih sredstava.

#### 4.1. Pokazatelji vremenske učinkovitosti

Informacije o uspješnosti djelovanja prijevoznih sredstava mogu upozoravati na subjektivne slabosti nositelja operativnog procesa, ali i na slabosti uvjetovane objektivnim ograničenjima, stoga se analizom pokazatelja rada prijevoznih sredstava mogu detektirati, a potom otkloniti poremećaji i nedostaci u odvijanju prijevoznih procesa.[18]

Prijevozna se sredstva, gledano vremenski, nalaze u radu, u pričuvi ili na održavanju, odnosno servisu, kako je prikazano u izrazu (1):

$$PS_k = PS_r + PS_p + PS_n \quad (1)$$

Gdje je:

- $PS_k$  – sva prijevozna sredstva koja se u promatranom danu nalaze na radu
- $PS_p$  – prijevozna sredstva koja se u promatranom danu nalaze u pričuvi
- $PS_n$  – prijevozna sredstva koja su neispravna i nisu sposobna za obavljanje radnih zadataka u promatranom danu

Prijevozna se sredstva, s obzirom na tehničko stanje, dijele na tehnički ispravna i neispravna, koja se mogu predočiti izrazom (2) i (3):

$$PS_k = PS_s + PS_n \quad (2)$$

$$PS_s = PS_r + PS_p \quad (3)$$

Gdje je:

- $PS_s$  – sposobna prijevozna sredstva

Svako prijevozno sredstvo, u promatranom vremenskom razdoblju može biti sposobno, odnosno nesposobno (neispravno) za rad, kako je prikazano u izrazu (4):

$$D_k = D_s + D_n \quad (4)$$

Gdje je:

- $D_s$  – sposobni dani prijevoznog sredstva
- $D_n$  – nesposobni dani prijevoznog sredstva

Vrijeme u kojemu je prijevozno sredstvo sposobno za rad može provesti u radu ili u pričuvi računa se prema izrazu (5):

$$D_s = D_r + D_p \quad (5)$$

Gdje je:

- $D_r$  – dani prijevoznog sredstva u radu
- $D_p$  – dani prijevoznog sredstva u pričuvi

#### 4.1.1. Koeficijent ispravnosti prijevoznih sredstava ( $a_{is}$ )

Koeficijent ispravnosti prijevoznih sredstava odražava prosječno stanje opće ispravnosti voznog parka, odnosno sposobnosti homogenog voznog parka tijekom promatranog vremenskog razdoblja, odnosno predstavlja udio prijevoznih sredstava sposobnih za rad u voznom parku, a računa se prema izrazu (6) izvedenoj iz izraza (7) i (8).[18]

$$a_{is} = \frac{DPS_s}{DPS_k} \quad (6)$$

$$DPS_k = DPS_r + DPS_p + DPS_n \quad (7)$$

$$DPS_s = DPS_r + DPS_p \quad (8)$$

Gdje je:

- $DPS_k$  – ukupni dani voznog parka
- $DPS_r$  – radni (aktivni) dani voznog parka
- $DPS_p$  – pričuveni (pasivni) dani voznog parka
- $DPS_n$  – nesposobni(neispravni) dani voznog parka

#### 4.1.2. Koeficijent angažiranosti prijevoznih sredstava ( $a_a$ )

Koeficijent angažiranosti prijevoznih sredstava odražava prosječno stanje opće zaposlenosti voznog parka, odnosno stupanj prisutnosti homogenog voznog parka na radu tijekom promatranog vremenskog razdoblja, a računa se prema izrazu (9). Riječ je o udjelu radnog resursa u knjigovodstvenom. Razlozi izostanka prijevoznih sredstava s radnog zadatka mogu biti neispravnost, s jedne, i tržišno uvjetovana ili planirana pričuva, s druge strane.[18]

$$a_a = \frac{DPS_r}{DPS_k} \quad (9)$$

#### 4.1.3. Koeficijent iskorištenja vožnje ( $a_v$ )

Uspješnost angažiranosti prijevoznih sredstava obično se prati s pomoću koeficijenta iskorištenja vremena rada za vožnju, odnosno koeficijenta iskorištenja vožnje ( $a_v$ ). Koeficijent se određuje iz količnika vremena provedenog u kretanju ili vožnji ( $HPS_v$ ) i vremena koje je prijevozno sredstvo ukupno provelo na radnom zadatku ( $HPS_r$ ), uključujući cijeli prijevozni proces, a računa se prema izrazu (10), dobivenoj prema izrazu (11):[18]

$$a_v = \frac{HPS_v}{HPS_r} \quad (10)$$

$$HPS_r = HPS_u + HPS_v + HPS_i \quad (11)$$

Gdje je:

- $HPS_r$  - ukupni sati prijevoznog sredstva provedeni u prijevoznom procesu
- $HPS_u$  – sati prijevoznog sredstva provedeni na ukrcaju
- $HPS_v$  – sati transportnog sredstva provedeni u vožnji
- $HPS_i$  – sati transportnog sredstva na iskrcaju

#### 4.2. Pokazatelji prijeđenog puta

Prijevozno sredstvo u obrtu ostvaruje određeni prijevozni učinak koji ovise o nizu čimbenika. Jednu skupinu čine objektivni čimbenici, a uvjetovani su tehničko – eksploatacijskim karakteristikama vozila i stanjem infrastrukture. Drugu skupinu čine tzv. subjektivni čimbenici, koje bi trebalo pridružiti organizaciji rada. Po pitanju nazivne nosivosti, prijevozno sredstvo može biti potkapacitirano, optimalno kapacitirano ili prekapacitirano.[18]

Kretanja prijevoznog sredstva također je potrebno analizirati iz aspekta iskorištenja prijeđenog puta, pri čemu prijevozno sredstvo u transportnom procesu ostvaruje:[18]

- prijevozni put od smještajnog do operativnog prostora
- prijevozni put na relaciji transporta
- prijevozni put od operativnog do smještajnog prostora

To se simbolično može predočiti u sljedećem obliku izraza (12), (13) i (14):

$$L = L_{01} + L_p + L_t + L_{02} \text{ (km)} \quad (12)$$

$$L = L_{01} + L_{02} \text{ (km)} \quad (13)$$

$$L = L_0 + L_t + L_p \text{ (km)} \quad (14)$$

Gdje je:

- L – ukupno prijeđeni put prijevoznog sredstva (km)
- $L_{01}$  – udaljenost od smještajnog prostora do mjesta ukrcaja (km)
- $L_t$  – put koji je prijevozno sredstvo prešlo pod opterećenjem (km)
- $L_p$  – put koji je prijevozno sredstvo prešlo bez tereta na relaciji prijevoza (km)
- $L_{02}$  – udaljenost (put) koju prijevozno sredstvo prijeđe od završetka procesa prijevoza do povratka u mjesto smještaja (km)
- $L_0$  – nulti prijeđeni put, odnosno udaljenost koju je prijevozno sredstvo prešlo od smještajnog prostora do prvog mjesta ukrcaja i od zadnjeg mjesta iskrcaja natrag do smještajnog prostora (km)

Za homogeni vozni park, odnosno vozni park sastavljen od prijevoznih sredstava iste marke i tipa, prethodni model poprima oblik prema izrazu (15):

$$PSL = PSL_t + PSL_p + PSL_0 \quad (15)$$

Gdje je:

- PSL - ukupno prijeđeni put prijevoznog sredstva (km)
- $PSL_t$  – put koji je prijevozno sredstvo prešlo pod opterećenjem (km)
- $PSL_p$  – put koji je prijevozno sredstvo prešlo bez tereta na relaciji transporta (km)
- $PSL_0$  – nulti prijeđeni put

#### 4.2.1. Koeficijent iskorištenja prijeđenog puta pod opterećenjem ( $\beta$ )

Iskorištenje prijeđenog puta izražava se pomoću koeficijenta ( $\beta$ ), koji ukazuje na iskorištenost prijeđenog puta glede pojave supstrata na prijevoznom sredstvu, bez obzira na to u kojoj je mjeri iskorištena nazivna nosivost. Računa se prema izrazu (16).[18]

$$\beta = \frac{PSL_t}{PSL} \quad (16)$$

#### 4.2.2. Koeficijent iskorištenja nultog prijeđenog puta ( $\beta_0$ )

Koeficijent nultoga prijeđenog puta ( $\beta_0$ ), svojevrsni je pokazatelj stupnja dislociranosti smještajnog prostora prijevoznih sredstava u odnosu na lokacije operativnih prostora, odnosno relacije prijevoza supstrata.

Koeficijentom ( $\beta_0$ ) iskazuje se udio nultoga prijeđenog puta u ukupnom prijeđenom putu, a računa se prema izrazu (17).

$$\beta_0 = \frac{PSL_0}{PSL} \quad (17)$$

#### 4.3. Pokazatelji brzine kretanja

Brzina kretanja prijevoznih sredstava jedna je od bitnih veličina koje utječu na prijevozni učinak. U literaturi se mogu naći različiti pojmovi vezani uz brzine. U ovom razmatranju, brzina se može podijeliti u četiri osnovne brzine:

- prometna,
- prijevozna,
- brzina obrta i
- eksploatacijska.

##### 4.3.1. Prometna brzina ( $V_p$ )

Prometna brzina je brzina koju ostvari prijevozno sredstvo radeći na radnom zadatku, uzimajući u obzir samo vrijeme vožnje (rad motora), a isključujući stajanja zbog usputnog zadržavanja koje ne uzrokuje prometni tijek. Za homogeni vozni park računa se po izrazu (18).[18]

$$V_p = \frac{PSL}{HPS_v} \text{ (km/h)} \quad (18)$$

##### 4.3.2. Prijevozna brzina ( $V_{pr}$ )

Prijevozna brzina se razlikuje od prometne utoliko što uzima u obzir i vrijeme mogućeg zadržavanja od polaska do dolaska bez obzira na razloge zadržavanja. Međutim, u vrijeme provedeno u prijevozu nisu uključena vremena ukrcaja i iskrcaja u polaznoj i završnoj točki relacije na kojoj je prijevoz obavljen. Zbog tih razloga prijevozna brzina je manja od prometne brzine ili jednaka njoj, a računa se prema izrazu (19).[18]

$$V_{pr} = \frac{PSL}{HPS_{pr}} \quad (19)$$

Gdje je:

- $HPS_{pr}$  – trajanje prijevoza u satima

#### 4.3.3. Brzina obrta ( $V_o$ )

Brzina obrta ili obrtna brzina dobije se odnosom dvostruke dužine linije vremena trajanja obrta. Vrijeme obrta obuhvaća vrijeme vožnje, vrijeme zadržavanja na usputnim stanicama radi utovara – istovara robe kao i vrijeme zadržavanja tijekom obrta. To je brzina koju ostvaruje prijevozno sredstvo radeći obrte između početne i završne točke u procesu prijevoza. Računa se prema izrazu (20).[18]

$$V_o = \frac{PSL}{HPS_o} \quad (20)$$

Vrijeme obrta računa se prema sljedećem izrazu (21):

$$HPS_o = hps_{v0} + hps_{ui0} + hpz_{z0} \quad (21)$$

Gdje je:

- $HPS_o$  – vrijeme obrta
- $hps_{v0}$  – vrijeme vožnje u obrtu
- $hps_{ui0}$  – vrijeme trajanja ukrcaja i iskrcaja u obrtu
- $hpz_{z0}$  – vrijeme ostalih zadržavanja u obrtu

#### 4.3.4. Eksploatacijska brzina ( $V_e$ )

Eksploatacijska brzina prijevoznog sredstva je prosječna brzina koju vozilo ostvari radeći na radnom zadatku tijekom ukupnoga radnog vremena, a računa se prema izrazu (22):

$$V_e = \frac{PSL}{HPS_r} \quad (22)$$

Gdje je:

- $HPS_r$  – ukupni sati prijevoznog sredstva provedeni u prijevoznom procesu

#### 4.4. Pokazatelji nazivne nosivosti

Osnovno je pitanje koje se nameće u svezi s djelovanjem prijevoznih sredstava: da li je učinak na razini mogućeg i očekivanog. Pritom bi trebalo smatrati optimalnima one uvjete kod kojih je zadovoljeno, a prikazuje se izrazom (23):[18]

$$U_{max} = \beta * L * q_n \text{ (tkm)} \quad (23)$$

Gdje je:

- $U_{max}$  – kapacitet prijevoznog sredstva
- $L_t$  – put kojim je prijevozno sredstvo prešlo pod opterećenjem (km)
- $q_n$  – nazivna nosivost prijevoznog sredstva

Odnosno maksimalni kapacitet je moguće izraziti i izrazom (24):

$$U_{max} = \beta * PSL * q_n \quad (24)$$

Ti će modeli bit zadovoljeni ako je prijevozno sredstvo optimalno opterećeno. Ako nije, pojavit će se manji učinak od mogućeg. Mjerenje odstupanja opterećenja odnosno iskorištenosti nazivne nosivosti prema nazivnom opterećenju postiže se analizom koeficijenata statičnog opterećenja i dinamičnog iskorištenja.[18]

##### 4.4.1. Koeficijent statičkog opterećenja ( $\gamma_s$ )

Koeficijent statičnog opterećenja prijevoznih sredstava ( $\gamma_s$ ) je količnik koji se dobije dijeljenjem stvarnog i mogućeg (nazivnog) opterećenja. Računa se prema izrazu (25):[18]

$$\gamma_s = \frac{Q_1}{q_n * n_\lambda} = \frac{\sum_{i=1}^{n_\lambda} q_{\lambda i}}{\sum_{i=1}^{n_\lambda} q_{ni}} \quad (25)$$

Gdje je:

- $Q_1$  – ukupna količina supstrata prevezena jednim prijevoznim sredstvom u nekom vremenskom razdoblju
- $n_\lambda$  – broj vožnja s teretom
- $Q_\lambda$  – stvarna količina supstrata na prijevoznom sredstvu tijekom jedne vožnje u tonama
- $q_n$  – nazivna nosivost prijevoznog sredstva



#### 4.4.2. Koeficijent dinamičkog iskorištenja nazivne nosivosti ( $\gamma_d$ )

Koeficijent dinamičkog iskorištenja nazivne nosivosti ( $\gamma_d$ ) je količnik koji se dobije dijeljenjem ostvarenog i mogućega prometnog učinka. To znači da za razliku od koeficijenta statičnog iskorištenja nazivne nosivosti koji se dobiva pomoću stvarne količine prevezene robe, koeficijent dinamičkog iskorištenja nazivne nosivosti uključuje ne samo stvarno prevezenu robu, već i udaljenosti na kojima se roba prevozi. Prikazan je izrazom (26).[18]

$$\gamma_D = \frac{U}{U_{max}} = \frac{U}{q_n * PSL_t} = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i * PSL_{ti})}{q_n * \sum_{i=1}^{n_{\lambda}} PSL_{ti}} \quad (26)$$

Gdje je:

- $L_{t\lambda}$  – prijeđena udaljenost s teretom u pojedinim vožnjama
- $U$  – ostvareni prijevozni učinak (tkm)
- $U_{max}$  – mogući prijevozni učinak (tkm)

#### 4.5. Tehnologije i tehnika sustava za upravljanje voznim parkom

Sustavi za upravljanje voznim parkom zasnivaju se na primjeni modernih tehnologija, u prvom redu to su GPS te GPRS, odnosno GSM.

GPS (engl. Global positioning system) je globalni navigacijski satelitski sustav koji služi za određivanje pozicije korisnika te se sastoji od prostornog, nadzorno-upravljačkog te korisničkog segmenta. Sastoji se od 24 satelita koji kontinuirano kruže u orbiti na visini od oko 20 tisuća kilometara, a smještaj na tako visokoj orbiti omogućuje pokrivanje cijele Zemljine površine i veliku preciznost određivanja položaja GPS prijarnika. Sateliti su praćeni istovremeno iz pet zemaljskih stanica koje nadgledaju njihov rad. Prijarnik mora uspješno uhvatiti signal sa tri satelita da bi mogao dati informaciju o točnom položaju korisnik i tada GPS mjeri udaljenosti od svakog od tih satelita pomoću mjerenja vremena koje je potrebno radiosignalima da prijeđu tu udaljenost, a takva metoda zove se metoda triangulacije.[19]

GPRS (engl. General radio packet service) je bežična, paketno orijentirana mobilna podatkovna usluga dostupna korisnicima druge generacije GSM (eng. Global System for Mobile Communications) mobilnih komunikacijskih sustava, a svrha mu je prijenos podataka s GPS-a na računalo koje je priključeno na internet.[20]

Kombiniranje GPS tehnologije sa drugim tehnologijama, poput mobilne telefonije, omogućuje svim korisnicima korištenje podataka koji su zabilježeni, a to se pokazalo prilično korisnim za neke aplikacije poput GPS praćenja na terenu, odnosno upravljanja voznim parkom uopće. Postavljanjem GPS prijemnika u vozilo, moguće je odrediti lokaciju vozila, a ona može poslužiti vozaču u pogledu boljeg i efikasnijeg prostorno - vremenskog snalaženja ili se može koristiti za praćenje položaja vozila. Zbog dobre pokrivenosti terena signalom i raširenosti GSM mobilne telefonije, pogodno je da se upravo ta tehnologija koristi za prijenos podataka od pokretnog objekta u centar za praćenje, a ilustrativni primjer funkcioniranja GSP sustava u kombinaciji s GPRS tehnologijom prikazan je na slici 10.[21]



Slika 10. Praćenje vozila primjenom GPS i GPRS tehnologije

Izvor: [21]

Glavna značajka ovakvih sustava je ugrađeni GPRS modul koji putem mobilne mreže šalje podatke o vozilu u centar disponentima. Pozitivna osobina GPRS – a, u kontekstu primjene pri upravljanju voznim parkom, očituje se kroz povoljno tarifirane usluge mobilnog operatera, obzirom na to da GPRS zauzima resurse mobilne telefonije samo onda kada šalje podatke, što je razmjerno rijetko i relativno malo opterećuje mrežu.[21]

#### 4.6. Princip rada sustava za upravljanje voznim parkom

Sustav za upravljanje voznim parkom koristi uređaje za praćenje vozila u svrhu kontrole i provjere lokacije vozila i vozača. Tehnička izvedba sustava je prilično

jednostavna. Sastoji se od uređaja koji se ugrađuje u vozilo, a ono se sastoji od GPS sustava i SIM kartice, koja u prvom redu služi za odašiljanje prikupljenih podataka putem GPRS veze. Ovisno o opremljenosti uređaja, on osim podataka za pozicioniranje i brzinu može odašiljati podatke o potrošnji goriva, stanju rezervoara, prepoznavanju vozača i još mnoge druge informacije, čija dostupnost je također uvjetovana tehničkom opremljenošću vozila (različiti senzori i mjerni instrumenti).[20]

Davatelj usluga sustava upravljanja voznim parkom zahtijevani podatkovni promet dogovara s određenim davateljem mobilnih usluga, ako i sam to nije, te se oni međusobno dogovaraju oko cijene usluge. Takvi uređaji obično imaju ugrađenu memoriju za prikupljanje podataka, koji se u slučaju gubitka mobilne mreže ili ulaska u roaming (područje koje nije pokriveno mrežom ugovorenog davatelja mobilnih usluga) spremaju u memoriju, da bi se prilikom ponovne uspostave veze s mrežom, ponovno aktiviralo njihovo stanje.[20]

Podaci koje je poslala SIM-kartica putem mobilne mreže dolaze na server sustava za upravljanje, a potom u korisničku aplikaciju za upravljanje voznim parkom. Najčešće se radi o sučelju unutar internetskog pretraživača kojem ej moguće pristupiti sa različitih platformi, a zaprimljeni podaci sa SIM kartice prikazuju se pomoću tablica i grafikona, što je od puno veće koristi korisniku naspram pojedinačnih zapisa podataka.[20]

## 5. Tržište paketne distribucije u Republici Hrvatskoj

### 5.1. Regulatorni okvir poštanskog tržišta u Republici Hrvatskoj

Republika Hrvatska postala je punopravna članica Europske unije (EU) 1. srpnja 2013. Obilježje liberalizacije tržišta poštanskih usluga u RH u odnosu na ostale članice je to da je liberalizacija nastupila prije formalnog ulaska RH u EU, odnosno 1. siječnja 2013. Liberalizacija omogućava ostvarenje cilja stvaranja unutarnjeg tržišta EU prema jedinstvenim uvjetima i načinima funkcioniranja. Istovremeno, naročito na tržištima sa uspostavljenim državnim monopolima, liberalizacija potiče dodatni razvoj i povećanje učinkovitosti tržišta, postupnim usvajanjem i primjenom propisa o tržišnom natjecanju.[22]

Tržište poštanskih usluga na razini EU utvrđeno je u osnovi jednom direktivom koja je u proteklom razdoblju dva puta mijenjana i dopunjavana, s ciljem harmonizacije tržišta poštanskih usluga:[22]

- Direktiva 97/67/EZ Europskog parlamenta i Vijeća od 15. prosinca 1997. o zajedničkim pravilima za razvoj unutarnjeg tržišta Zajednice u području poštanskih usluga i poboljšanju kakvoće poštanskih usluga (Prva poštanska direktiva)
- Direktiva 2002/39/EZ Europskog parlamenta i Vijeća od 10. lipnja 2002., kojom se mijenja Direktiva 97/67/EZ u vezi s daljnjim otvaranjem poštanskih usluga tržišnom natjecanju na razini Zajednice (Druga poštanska direktiva)
- Direktiva 2008/6/EZ Europskog parlamenta i Vijeća od 20. veljače 2008., kojom se mijenja i dopunjuje Direktiva 97/67/EZ u vezi s potpunim razvojem unutarnjeg tržišta poštanskih usluga u Zajednici (Treća poštanska direktiva)

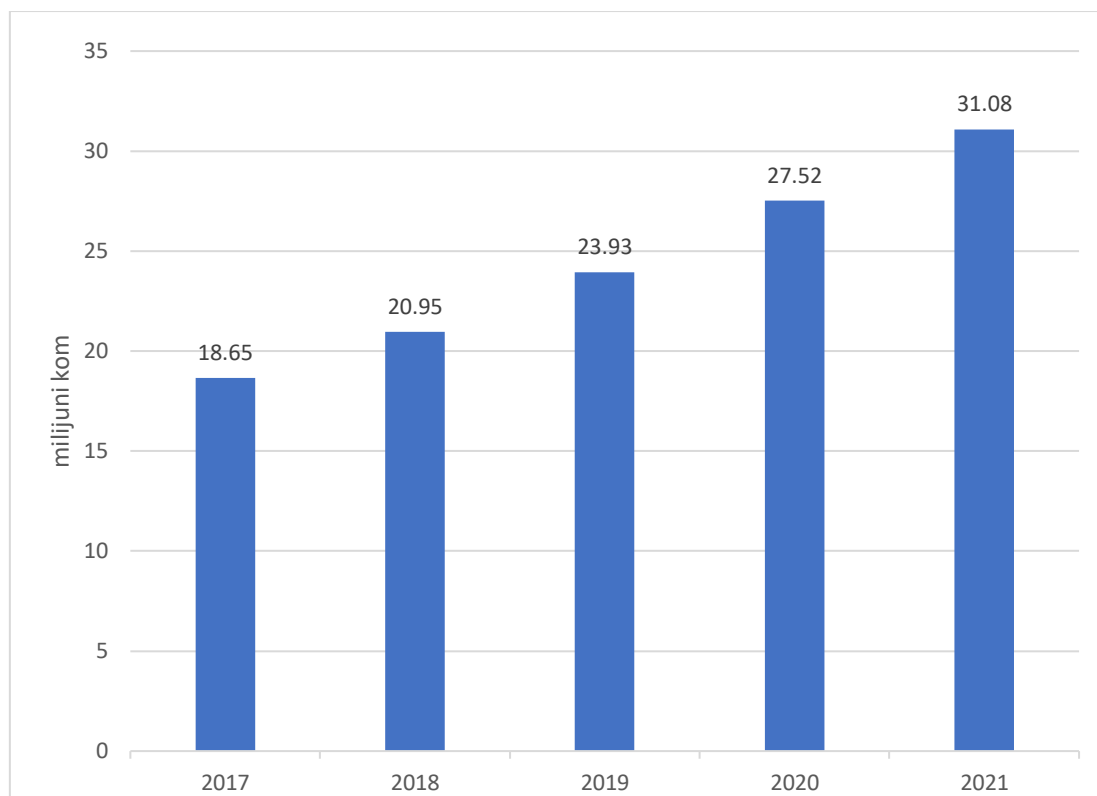
Bitno je naglasiti da su direktive pravno obvezujuće za članice EU, ali samo s obzirom na cilj koji je određen u direktivi. Korijeni liberaliziranog tržišta poštanskih usluga u Hrvatskoj potječu još iz 1994. godine kada je Zakonom o pošti (NN 053/94) propisana obveza prijenosa paketa javnom poduzeću (Hrvatska pošta i telekomunikacije), dok se istovremeno dozvoljava da „te usluge mogu obavljati i druge pravne i fizičke osobe u uvjetima slobodnog tržišta“. Formalni proces liberalizacije tržišta poštanskih usluga u RH započet je donošenjem Zakona o pošti 2003. kada je ukinut monopol Hrvatskoj pošti na pismovne pošiljke iznad 100 grama, te osnivanjem Vijeća za poštanske usluge kao neovisnog nacionalnog regulatornog

tijela za poštanske usluge. Opseg univerzalnih usluga smanjen je 2005., te su specificirane kurirske usluge. Usvajanjem Strategije razvoja tržišta poštanskih usluga u Republici Hrvatskoj do 2013. godine utvrđena je dinamika daljnje liberalizacije tržišta poštanskih usluga u RH prema scenariju postupne liberalizacije tržišta.[22]

U Hrvatskoj nacionalno regulatorno tijelo na poštanskom tržištu predstavlja Hrvatska regulatorna agencija za mrežne djelatnosti. Većina zemalja članica Europske unije provela je liberalizaciju poštanskog tržišta, stoga iste karakterizira velik broj konkurenata na tržištu. U analizi procesa liberalizacije tržišta poštanskih usluga u Republici Hrvatskoj bitno je istaknuti kako je donošenjem Zakona o poštanskim uslugama u 2009. godini osigurano usklađivanje nacionalnog zakonodavstva s Drugom poštanskom direktivom dok je donošenjem Zakona o poštanskim uslugama u 2012. te izmjenama istog u 2013. godini osigurana implementacija Treće poštanske direktive.[23]

## 5.2. Paketsko tržište Republike Hrvatske

Određeni trendovi u Republici Hrvatskoj prate trendove EU. Napredak tehnologije širokopojasnog pristupa doveo je do promjene ponašanja korisnika. Dolazi do supstitucije poštanskih usluga elektroničkim odnosno elektroničke komunikacije sve više zamjenjuju korištenje tradicionalne pisane oblike komunikacija što je jedan od razloga trenda pada broja pismovnih pošiljaka u proteklom razdoblju. U 2021. ostvareno je 268.014.952 usluga ili za 4,1% manje nego prethodne godine. Smanjenje je ipak manje nego 2020. kada je iznosilo 10,3%. Takvo kretanje očekivano je te tržište u RH prati trendove prisutne na poštanskim tržištima država članica EU-a. Strukturalne promjene na poštanskom tržištu uzrokovane pandemijom bile su vidljive i tijekom 2021. te je nastavljeno smanjenje broja pismovnih pošiljaka i tiskanica uz rast paketskih usluga. Rast paketa i kretanja na poštanskom tržištu u RH vrlo su slični tržištima u ostalim državama članicama EU-a. U 2021. obavljeno je 11,2 milijuna pismovnih pošiljaka ili pet posto manje nego prethodne godine, a tiskanica je bilo 14,2% manje. Broj paketa veći je za 3,6 milijuna i rastao je 12,9% u odnosu na 2020. godinu. Time je udjel paketa na ukupnom tržištu porastao na 11,6% ili 1,7% više nego prethodne godine i najveći je udjel paketa na tržištu do sada. Očekuje se da će paketski promet nastaviti rasti i narednih godina, naročito zbog velikog potencijala e-trgovine u RH. Broj paketnih pošiljaka je prikazan na slici 11.[24,25]



Slika 11. Broj paketskih pošiljaka

Izvor:[25]

Otvoreno tržište utječe na povećanje broja međunarodnih pošiljaka zbog prekogranične dostave pošiljaka u sklopu e-trgovine. Ovo nije slučaj samo u Republici Hrvatskoj već u cijelom svijetu. Na poštanskom tržištu Republike Hrvatske u 2021. godini u unutarnjem prometu ostvareno je 92,8% usluga, dok se na međunarodni promet odnosi 7,2% usluga, a ukupni prihodi rastu od obavljanja poštanskih usluga. Najveći utjecaj na povećanje prihoda ima rast broja paketskih pošiljaka. Na rast paketskih usluga najveći utjecaj ima rast ekspresnih paketskih pošiljaka koje su najvećim dijelom povezane s e-trgovinom. Udio paketskih pošiljaka na ukupnom tržištu je 7,7%.[24]

## 6. Studija slučaja: Analiza upravljanja voznim parkom tvrtke za paketnu distribuciju

U ovom poglavlju analizirano je upravljanje voznog parka tvrtke za paketnu distribuciju. Prikazana je analiza za dio koji se temelji na posljednjoj milji, odnosno distribucija robe od transportnog terminala do krajnjeg korisnika. Cilj dostave posljednje milje je svladati vrijeme i prostor te uz što niže troškove isporučiti robu na što veće zadovoljstvo potrošača. Dostava posljednje milje u današnje vrijeme susreće se s najvećim problemima, a samim time i u najvećem dijelu sudjeluje u troškovima, ona čini čak do 30% ukupne cijene proizvoda. Konkretno, prikazano je određivanje optimalne veličine voznog parka te usporedba voznog parka vozila s unutarnjim izgaranjem i električnih vozila. Za izračun se koriste stvarni povijesni podaci dobiveni od tvrtke za paketnu distribuciju sa sjedištem u Zagrebu. Podaci prikazuju dnevni broj paketa koji su dostavljeni iz glavnog skladišta u Zagrebu na lokacije u 2022. godini. Također je prikazan broj vozila koje svaka linija koristi, kapaciteti tih linija, potreban broj vozila po mjesecima te su označeni mjeseci kada je bio potreban veći broj vozila te su ta vozila angažirana od vanjskog prijevoznika u vrijeme sezonalnosti, odnosno povećane količine posla.

Tvrtka za paketnu distribuciju raspolaže heterogenim voznim parkom u kojem je najzastupljenija kategorija kombija i lakih dostavnih vozila te je analiza ograničena na tu kategoriju vozila.

Također uz podatke o lokacijama i broju vozila, dobiveni su i podaci o fiksnim i varijabilnim troškovima za određeno vozilo, troškovi outsourcing vozila te prosječan broj paketa koje vozač dostavi dnevno.

Vozač u tvrtki prosječno dnevno dostavi 80 paketa, stoga je broj paketa po vozilu 80. U trenutku prikupljanja podataka, tvrtka tvrdi da je prosječno za jedno vozila mjesečna potrošnja u zadnjem kvartalu 2022. godine bila 400 eura. Naravno, ta cijena varira ovisno o cijeni goriva u promatranom periodu. Tvrtka u vlastitom voznom parku ima vozila pod leasingom, te mjesečna cijena leasinga za jedno vozilo iznosi 750 eura. U tu cijenu su također uključeni svi popratni troškovi vozila, kao npr. cijena popravaka, tehnički pregledi i slično. Trenutna bruto plaća za vozača s B kategorijom iznosi 1100 eura. Vozila angažirana od vanjskog prijevoznika tvrtka

mjesečno plaća 2940 eura. U tablici 2 su prikazani fiksni troškovi, operativni troškovi i troškovi outsourcinga.

Tablica 2. Troškovi vozila

CF	1850,00 €
CV	400,00 €
CO	2940,00 €

U nastavku rada biti će prikazani ostali podaci potrebni za usporedbu vozila s unutarnjim izgaranjem i električnih vozila kao što su cijena ugradnje punjača, cijena ugradnje solarne elektrane, cijena struje itd.

U tablici 3. prikazani su podaci koji su potrebni za izračun optimalnog broja voznog parka.



Tablica 3. Tablica dobivenih podataka od tvrtke za paketnu distribuciju

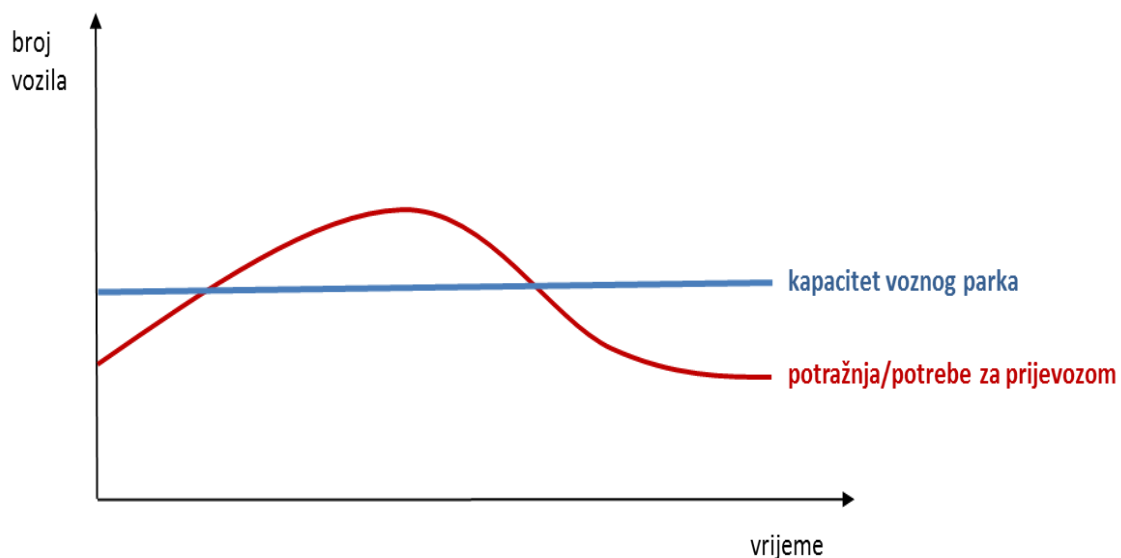
Mjesečni broj paketa	38.736	40.144	57.291	42.375	43.975	47.624	48.904	52.723	59.781	54.696	60.026	75.238		
Prosječni broj paketa	1845	1912	2728	2018	2094	2268	2329	2511	2847	2605	2858	3583		
	siječanj	veljača	ožujak	travanj	svibanj	lipanj	srpanj	kolovoz	rujan	listopad	studeni	prosinac	broj vozila	kapacitet linije
Gornja Dubrava	342	355	506	374	388	420	432	465	528	483	530	664	6	480
Donja Dubrava	205	213	304	225	233	252	259	279	317	290	318	399	4	320
Maksimir	274	284	405	299	311	336	346	372	422	386	424	531	5	400
Sesvete	399	414	590	436	453	490	504	543	616	563	618	775	7	560
Podsljemenska zona	114	119	169	125	130	140	144	155	176	161	177	222	2	160
Peščenica - Žitnjak	319	331	472	349	362	392	403	434	493	451	495	620	5	400
Sveti Ivan Zelina	92	95	135	100	104	112	116	124	141	129	142	177	2	160
Dugo Selo	103	107	152	113	117	126	130	140	159	145	159	200	2	160
													<b>33</b>	
<b>Potreban broj vozila po mjesecima</b>	<b>24</b>	<b>24</b>	<b>35</b>	<b>26</b>	<b>27</b>	<b>29</b>	<b>30</b>	<b>32</b>	<b>36</b>	<b>33</b>	<b>36</b>	<b>45</b>		

## 6.1. Određivanje optimalnog broja vozila voznog parka tvrtke za paketnu distribuciju

Radi određivanja optimalne veličine (broja vozila) voznog parka u slučaju kombiniranog korištenja vlastitih vozila i outsourcinga, potrebno je matematički definirati funkcionalnu povezanost ukupnih prijevoznih troškova i broja vlastitih vozila (veličine voznog parka).[26]

Prijevozna potražnja zadovoljava se vlastitim vozilima i angažiranjem vanjskih prijevoznika (Slika 12), na sljedeći način:[28]

- vlastita vozila;
- podugovaranje odnosno outsourcing prijevoza;
- kombinacija 1. i 2.:
  - tako da su vlastita vozila optimalno iskorištena, a u vršnim periodima angažiraju se vanjski prijevoznici;
    - problem određivanja optimalnog sastava voznog parka:
    - omjer vlastitih kapaciteta/outsourcing (vlastita vozila/vanjski prijevoznici),
    - određivanje broja/kapaciteta vlastitih vozila.



Slika 12. Način zadovoljenja prijevozne potražnje

Izvor:[29]

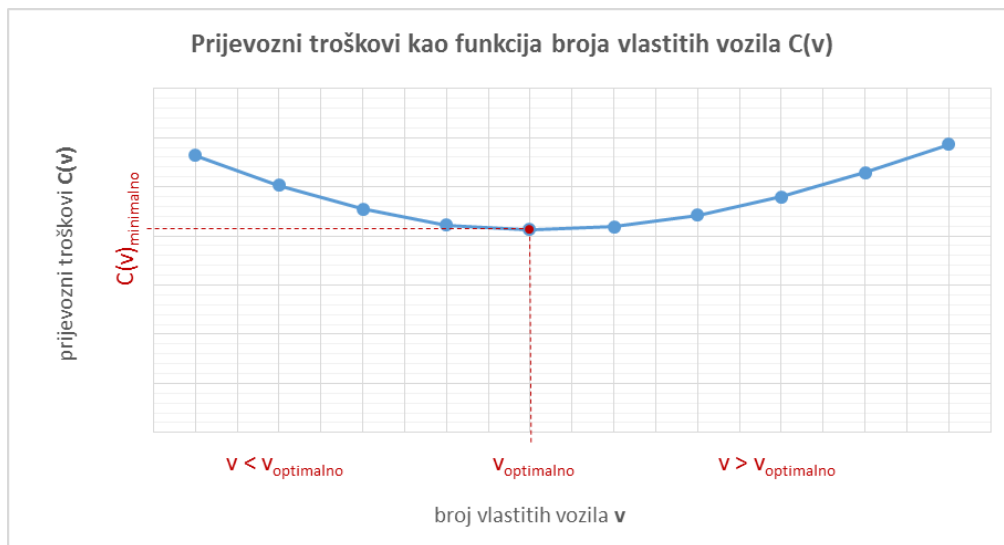
Ukupni prijevozni troškovi kao funkcija broja vlastitih vozila mogu se kvantificirati matematičkim izrazom (27):

$$C(v) = CF * v * n + CV * \sum_{t=1}^n \min(v_t, v) + CO * \sum_{t:v_t > v} (v_t - v) \quad (27)$$

Gdje je:

- $C(v)$  = ukupni prijevozni trošak u promatranom razdoblju
- $n$  = broj perioda promatranog razdoblja (primjerice  $n = 52$ )
- $v$  = broj vlastitih vozila
- $v_t$  = broj vozila koji je potreban u periodu  $t$  (potražnja)
- $CF$  = jedinični fiksni trošak vlastitih vozila u periodu  $t$
- $CV$  = jedinični varijabilni trošak vlastitih vozila u periodu  $t$
- $CO$  = jedinični trošak outsourcinga u periodu  $t$ , ( $CO > CF + CV$ )

Graf funkcije  $C(v)$  prikazan je na slici 13.



Slika 13. Graf funkcije  $C(v)$

Izvor:[29]

Za veličinu voznog parka s optimalnim brojem vlastitih vozila ( $v = v_{\text{optimalno}}$ ), ukupni prijevozni troškovi su najmanji  $C(v)_{\text{minimalno}} = C(v_{\text{optimalno}})$ , tj. funkcija  $C(v)$  postiže minimum za  $v = v_{\text{optimalno}}$ . Smanjenjem ili povećanjem broja vlastitih vozila u odnosu na  $v_{\text{optimalno}}$ , ukupni prijevozni troškovi rastu.

Deriviranjem funkcije  $C(v)$  po  $v$  dobiva se:

$$\frac{dC(v)}{dv} = CF \cdot n + CV \cdot m + CO \cdot (-m) = CF \cdot n + CV \cdot m - CO \cdot m \quad (28)$$

gdje je parametar  $m$  jednak broju perioda  $t$  u kojima je potreban broj vozila (prijevozna potražnja) veći od broja vozila voznog parka ( $v_t > v$ ).

Optimalni broj vlastitih vozila jednak je vrijednosti varijable  $v$  u kojoj funkcija  $C(v)$  postiže minimum, tj. u kojoj je  $C'(v) = 0$ , iz čega slijedi:[30]

$$CF \cdot n + CV \cdot m - CO \cdot m = 0 \quad (29)$$

i daljnjim sređivanjem:

$$m = \frac{CF \cdot n}{CO - CV} \quad (30)$$

U  $m$  perioda prijevozna potražnja veća je od broja vlastitih vozila ( $v_t > v$ ), te se nedostatak vlastitih vozila nadoknađuje outsourcingom (angažiranjem vanjskih prijevoznika).

Optimalni broj vlastitih vozila  $v_{\text{optimalno}}$  jednak najmanjem broju vozila kojim se prijevozna potražnja može zadovoljiti u  $n - m$  perioda. Sortiranjem perioda  $t$  od kojih se sastoji promatrano razdoblje prema prijevoznoj potražnji, od najmanje do najveće, dobiva se  $v_{\text{optimalno}}$  koji je jednak potražnji u  $(n - m)$ -tom periodu tako sortiranog niza.[29]

Prema podacima dobivenih od tvrtke za paketnu distribuciju možemo prikazati:

- fiksni troškovi  $CF = 1850 \text{ €/vozilo/mjesec}$
- varijabilni troškovi  $CV = 400 \text{ €/vozilo/mjesec}$
- troškovi outsourcinga  $CO = 2940 \text{ €/vozilo/mjesec}$

Kako je navedeno ranije u radu, tvrtka u voznom parku ima vozila pod leasingom, te pod leasing spadaju redoviti servisi, registracije itd.

U tablici 4. prikazan je broj vozila potreban za 2022. godinu kroz mjesece.

Tablica 4. Potreban broj vozila kroz mjesece

	Mjesec	Prijevozna potražnja
2022	siječanj	<b>24</b>
	veljača	<b>24</b>
	ožujak	<b>35</b>
	travanj	<b>26</b>
	svibanj	<b>27</b>
	lipanj	<b>29</b>
	srpanj	<b>30</b>
	kolovoz	<b>32</b>
	rujan	<b>36</b>
	listopad	<b>33</b>
	studeni	<b>36</b>
	prosinac	<b>45</b>

Uvrštavanjem vrijednosti u (30) dobije se vrijednost parametra  $m$ :

$$m = \frac{12 * 1850}{2940 - 400} = 8,74$$

iz čega se dobije:

$$n - m = 12 - 8,74 = 3,26$$

Prema izračunu za  $m$  i  $n$ , potražnja za 2022. godinu treba biti takva da se u četiri mjeseca prijevozna potražnja može zadovoljiti vlastitim vozilima, a u preostalih osam mjeseci uz vlastita vozila treba angažirati vozila vanjskih prijevoznika.

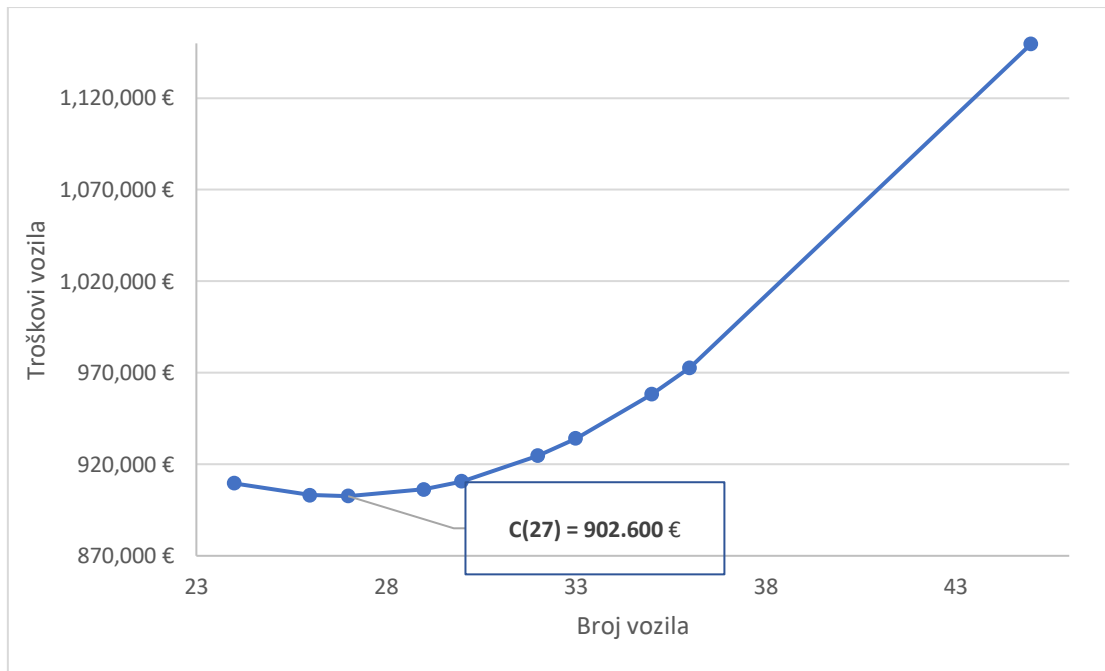
Sortiranjem prijevozne potražnje po mjesecima od najmanje do najveće dobije se niz prikazan u tablici 5 te je prikazan optimalan broj vozila voznog parka. Optimalan broj vlastitih vozila jednak je najmanjem broju vozila s kojima se potražnja može zadovoljiti u četiri mjeseca, te prema tomu iznosi  $v_{\text{optimalno}} = 27$  vozila. Navedeni optimalni broj vlastitih vozila omogućuje zadovoljenje prijevozne potražnje uz minimalne ukupne prijevozne troškove koji iznose:  $C(v)_{\text{minimalno}} = C(27) = 902.600$  €/godina, što smo dobili uvrštavanjem u (27). U tablici 6 prikazani su prijevozni troškovi za sve brojeve vozila kroz godinu te je na grafikonu 2 prikazan graf funkcije  $C(v)$  za prijevozne troškove.

Tablica 5. Sortirana prijevozna potražnja

Mjesec	Potražnja (broj vozila)	
1	24	4 mjeseca
2	24	
4	26	
5	<b>27</b>	
6	30	8 mjeseci
7	32	
8	33	
10	35	
3	36	
9	36	
11	36	
12	45	

Tablica 6. Prikaz troškova za sva vozila u godini

v	C(v)
24	909.660 €
26	903.260 €
<b>27</b>	<b>902.600 €</b>
29	906.360 €
30	910.780 €
32	924.700 €
33	934.200 €
35	958.280 €
36	972.860 €
45	1.149.800 €



Grafikon 2. Graf funkcije  $C(v)$  za prijevozne troškove

Kako bi prikazali rezultate točnosti same metode u usporedbi s rješenjem tvrtke za 2022. godinu, prikazana je tablica 7 koja nam pokazuje razliku u cijeni za:

- a) Broj vozila tvrtke za 2022. godinu (33 vozila)
- b) Broj vozila primjenom postupka određivanja optimalne veličine voznog parka (27 vozila)

Tablica 7. Ukupni godišnji prijevozni troškovi

a)	$C(33)=$	934.200 €
b)	$C(27)=$	902.600 €
Razlika		31.600 €
		3,5%

Iz same tablice 7 može se vidjeti da je metoda određivanja optimalne veličine voznog parka dala bolje rješenje, prema kojem bi se ukupni transportni troškovi za 2022. godinu smanjili za 31.600 €, odnosno za 3,5%.

## 6.2. Usporedba vozila s unutarnjim izgaranjem s električnim vozilima u voznom parku tvrtke

Temeljen na činjenici da gotovo 80% vozača lakih gospodarskih vozila prevali manje od 200 km dnevno, uvođenje električnog voznog otvara se mogućnost racionalizacije troškova pogona i održavanja za logistička poduzeća jer bi se troškovi održavanja kroz godine mogli znatno smanjiti, a stalnim razvojem tehnologije smanjuje se cijena baterije, u konačnici i samog vozila.

Kod uvođenja električnog voznog parka, troškovi početnih ulaganja su mnogo viši od nabavke klasičnog voznog parka, ali smanjuju se troškovi održavanja zbog manje kvarova i manje dijelova od kojih su električna vozila sastavljena, te troškovi goriva koji su svedeni na minimum. Kao ranije napisano u radu, vozni park tvrtke se sastoji od kategorije kombija i lakih dostavnih vozila. Na slici 14 su prikazani primjeri vrste vozila koje tvrtke koristi.



Slika 14. Renault Kangoo i Renault Master

Izvor:[30]

Tvrtka za paketnu distribuciju locirana je u istočnom dijelu Zagreba, a u tablici 3 su prikazane lokacije koje vozači dnevno obilaze radi dostave. Radi prikaza usporedbe voznog parka vozila s unutarnjim izgaranjem i električnih vozila, potrebno je odrediti mogućnost obilazaka istih lokacija s električnih vozila, odnosno provjeriti domet do lokacija, upravo zbog toga jer je domet i dalje jedan od glavnih problema električnih vozila. Dometi su određeni prema Google Maps-u te su prikazani u tablici 8. Prema podacima je vidljivo da je najveća udaljenost do Svetog Ivana Zeline, koja iznosi 26,8 km te s obzirom da je prosječan maksimalan domet za električna vozila 200 km, za navedene lokacije tvrtke može uvesti električna vozila.



Tablica 8. Udaljenost od tvrtke do lokacija za dostavu

Početna lokacija	Lokacije	Udaljenost (km)
Lokacija tvrtke	Gornja Dubrava	4,5
	Donja Dubrava	4,4
	Maksimir	8,1
	Sesvete	2,2
	Podsljemenska zona	15,3
	Peščenica - Žitnjak	8,3
	Sveti Ivan Zelina	26,8
	Dugo Selo	11,9

### 6.2.1. Usporedba troškova vozila i povrat ulaganja

Radi jednostavnosti izračuna, određene su dvije vrste vozila. Određena vozila su Renault Master i Renault Kangoo, prikazana na slici 14. Usporedba je prikazana s njihovim električnim inačicama, Renaultom Master E-tech i Renaultom Kangoo E-tech koji su prikazani na slici 15. Usporedba je prikazana za potražnju za 2022. godinu, tj. po izračunu koji je prikazan u tablici 9. Potreban broj vozila je 27, te je prikazan izračun za 24 vozila Renaulta Kangoo-a i za 3 vozila Renaulta Mastera.



Slika 15. Renault Master E-tech i Renault Kangoo E-tech

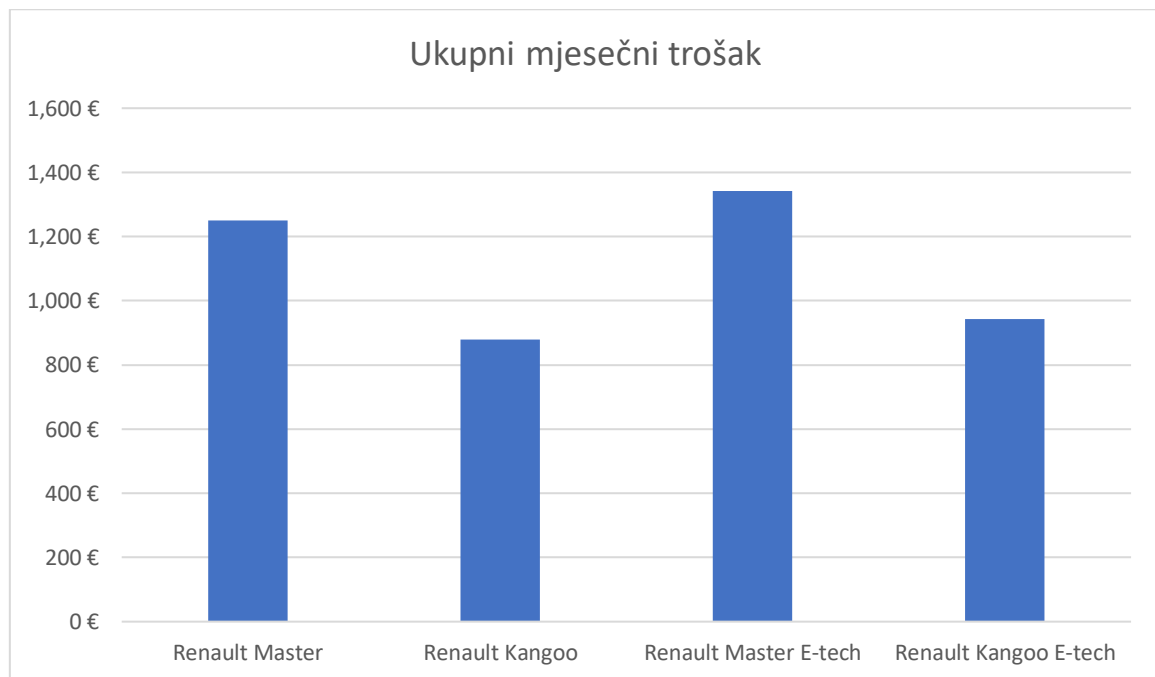
Izvor:[30]

Troškovi voznog parka prikazani su za navedene modele vozila. Izračun cijena za vozila ustupila je tvrtka koja se temelji na upravljanju voznog parka. Cijena je navedena za period od 48 mjeseci, te su u cijenu uključeni tehnički pregled, registracija, obvezno osiguranje, kasko osiguranje, izvanredno održavanje itd. Cijene

goriva prikazane su za mjesec svibanj u 2023. godini. Prikaz ukupnih godišnjih troškova vlasništva dizelskih vozila i novih električnih ekvivalenata prikazani su u tablici 9. Kapacitet baterije za Master E-tech iznosi 52 kW, a za Kangoo E-tech 45 kW. Trošak je također prikazan i na grafikonu 3.

Tablica 9. Prikaz mjesečnih troškova za vozila

Troškovi vozila	Renault Master	Renault Kangoo	Renault Master E-tech	Renault Kangoo E-tech
Trošak rate leasinga	850 €	570 €	1210 €	830 €
Trajanje leasinga(mjeseci)	48	48	48	48
Cijena goriva(L)/struje(kWh)	1,24 €/L	1,24 €/L	0,18 €/kWh	0,18 €/kWh
Mjesečna potrošnja goriva/struje	400 €	310 €	131 €	113 €
Ukupni mjesečni trošak za jedno vozilo	<b>1250 €</b>	<b>880 €</b>	<b>1341 €</b>	<b>943 €</b>



Grafikon 3. Ukupni mjesečni trošak za jedno vozilo

Kao što je vidljivo iz tablice 9, ukoliko se tvrtka odluči na uvođenje električnog voznog parka bez ugradnje solarne elektrane, trošak električnih vozila je veći nego trošak dizelskih vozila. Električna vozila su mjesečno skuplja nego dizelska vozila, radi veće mjesečne cijene leasinga. Renault Master je mjesečno jeftiniji za 91 € u odnosu na Renault Master E-tech, a Renault Kangoo je mjesečno jeftiniji za 63 € u odnosu na Renault Kangoo E-tech.

U nastavku rada su prikazani podaci za ulaganje u nove punionice i solarne panele. Solarni paneli su potrebni kako bi se povećala veličina zakupa električne energije upravo zato kako bi se izbjegli troškovi povećanja zakupa električne energije te u budućnosti smanjenje troška električne energije. Tvrтка trenutno raspolaže sa manjim zakupom nego što je potrebno, stoga bez ugradnje solarnih panela tvrtka ne bi bila u mogućnosti puniti vozila u isto vrijeme jer bi vrijednost energije bila veća od vrijednosti zakupa tvrtke što bi izazvalo preopterećenje električne mreže.

Za 2022. godinu potrebna potražnja je 27 vozila, te će izračun ulaganja biti za 9 punjača zbog pretpostavke da se sva vozila neće puniti u isto vrijeme. Prema dobivenim podacima od tvrtke, vozači završavaju radni dan u 16 sati. S obzirom da tvrtka radi do 22 sata, vozači svoja vozila pune u periodu od 16 sati do 22 sata. Upravo radi toga bi ugradili punjače snage do 22 kW. Punjač također podržava snage punjenja od 7,4 kW i 11 kW. Punjači punom snagom punjenja od 22 kW pune navedena vozila u rasponu od 1,5 do 2,5 sata. S obzirom da vozila nisu potpuno prazna nakon vožnje, tvrtka u rasponu od 16 do 22 sata može napuniti 3 vozila na jednom punjaču do punog kapaciteta.

Za ugradnju 9 punjača tvrtka bi morala uložiti 18.800 eura, a u tu cijenu spadaju punjač, materijal i ugradnja punjača.

Ako u slučaju 9 punjača puni maksimalnom snagom od 22 kW, zakup struje mora biti veći od 200 kW. Upravo radi toga tvrtka bi trebala uložiti u solarnu elektranu koja omogućuje stvaranje električne energije snage u rangu 200 kW. Za ugradnju smo se odlučili za solarne panele snage 550 W. Za solarnu elektranu koja generira 200 kW snage potrebno je 364 solarnih panela. Solarni panel je dimenzija 2278x1134x35mm te 364 panela bi zauzimalo 1000 m<sup>2</sup> prostora. S obzirom da se tvrtka nalazi na parceli od 14000 m<sup>2</sup>, te skladišnom prostoru od 3000 m<sup>2</sup>, postoji mogućnost ugradnje solarnih panela na krovu skladišta ili na slobodnom dijelu parcele. Cijena za ugradnju solarne elektrane iznosi 139.000 eura. U cijenu ugradnje solarne elektrane su uključeni solarni paneli, mrežni pretvarači, nosači za krov, kablovi, konektori te sva ostala oprema potrebna za puštanje elektrane u pogon.

Podaci za ugradnju punjača i solarnih elektrana su ustupljeni od tvrtke koja je ovlaštena za ugradnju solarnih panela i punjača.

Nakon ugradnje solarne elektrane i punjača, tvrtka više nema trošak električne energije, upravo zato jer proizvodi sama svoju struju. U tablici 10 prikazani su podaci nakon ugradnje solarne elektrane za cijelu godinu.

Tablica 10. Prikaz godišnjih troškova nakon ugradnje punjača i solarne elektrane

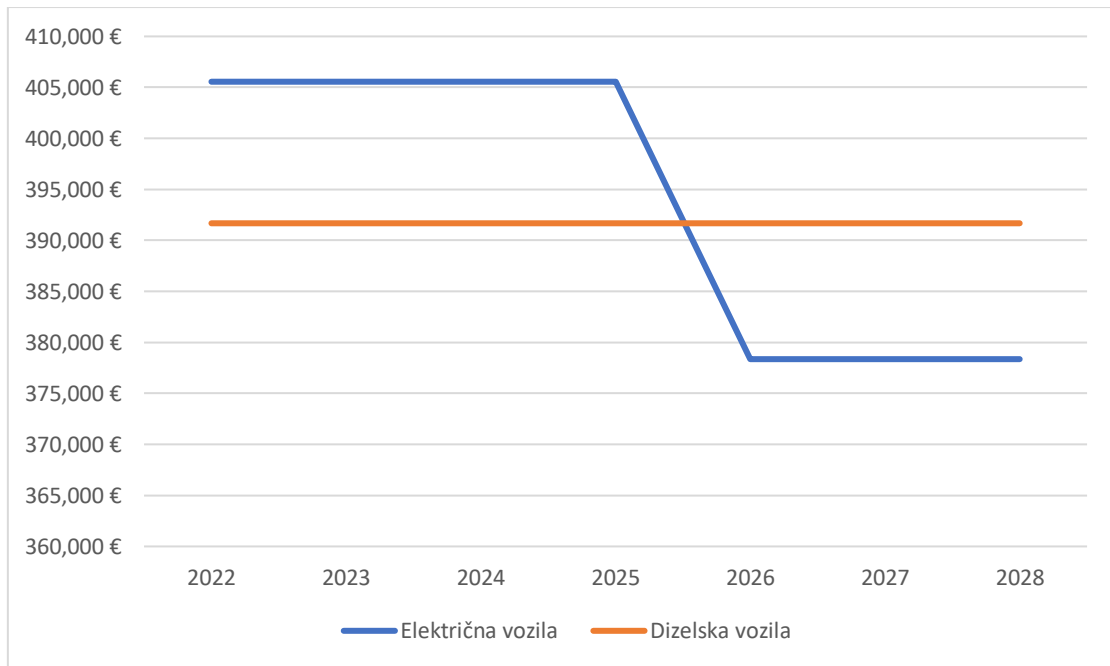
Troškovi vozila	Renault Master	Renault Kangoo	Renault Master E-tech	Renault Kangoo E-tech
Trošak rate leasinga	850 €	570	1210 €	830 €
Trajanje leasinga(mjeseci)	48	48	48	48
Cijena goriva(L)/struje(kWh)	1,24 €/L	1,24 €/L	0,18 €/kWh	0,18 €/kWh
Mjesečna potrošnja goriva/struje	400 €	310 €	0	0
Broj vozila	24	3	24	3
Ukupno cijena za jedno vozilo	<b>1250 €</b>	<b>880 €</b>	<b>1210 €</b>	<b>830 €</b>
<b>Ukupna cijena svih vozila za godinu dana</b>	<b>360.000 €</b>	<b>31.680 €</b>	<b>348.480 €</b>	<b>29.880 €</b>

Kao što je prikazano iz tablice 10, električna vozila nakon ugradnje solarne elektrane i punjača su jeftinija nego dizelska vozila. Godišnja ušteda za 24 vozila za klasu Master iznosi 11520 eura, a za 3 vozila klase Kangoo iznosi 1800 eura. Ukupna godišnja ušteda za vozni park bi iznosila 13.320 eura, odnosno 3,4%. Kako bi napravili potpunu usporedbu, potrebno je zbrojiti iznose ugradnje solarne elektrane i punjača koji iznosi 157.800 eura.

Kako bi se izračunala isplativost ugradnje solarne elektrane, potrebno je podijeliti iznos ugradnje s godišnjom uštedom. Također, u izračun su uključeni i poticaji od Republike Hrvatske i Europske unije za poticaj korištenja električne energije. Tvrtka za vozila može dobiti do 53.200 eura bespovratnih sredstava.[31]

Za izgradnju solarne elektrane, tvrtka može dobiti iznos poticaja do 40% iznosa, odnosno u našem slučaju 55.600 eura bespovratnih sredstava.[32]

Nakon što se podijeli iznos ugradnje solarne elektrane i punjača zajedno sa razlikom u cijeni vozila, ugradnja bi se tvrtki isplatila za četiri godine. U grafikonu 4 je prikazana isplativost ugradnje.



Grafikon 4. Usporedba troškova električnih i dizelskih vozila

Također ugradnja ne donosi samo isplativost radi voznog parka, nego i za ostale troškove električne struje u vrijeme kada punjači ne koriste maksimalni kapacitet snage struje. U tom slučaju, tvrtka koristi vlastitu struju koju proizvodi ili u slučaju proizvodnje većeg broj energije struje nego koji koristi, tada može višak struje prodati za 80% vrijednosti struje u elektroenergetsku mrežu.

Zaključno iz prikazanih proračuna, tvrtki bi se višestruko isplatila izgradnja solarne elektrane i uvođenja električnih vozila za vozni park. Smjer poslovanja na taj način može ići u pozitivnom smjeru i prema kreiranju eco-friendly imidža poduzeća.

## 7. Zaključak

U ovom radu predstavljena je analiza eksploatacije voznog parka u paketnoj distribuciji na području grada Zagreba. Kako bi ostale konkurentne na tržištu, tvrtke moraju upravljati svojim voznim parkom tako da korisnicima pruže odgovarajuću kvalitetu usluge, uz minimalne prijevozne troškove, pri čemu je veličina voznog parka jedan od ključnih čimbenika. Problem određivanja optimalne veličine voznog parka dolazi iz toga što veličina voznog parka ne prati prijevoznu potražnju kroz godinu, tj. prijevozna potražnja se mijenja tijekom godine, dok je veličina voznog parka zadana planom za dotičnu godinu ili duže razdoblje.

Također, u današnje vrijeme tvrtke za paketnu distribuciju se sve više odlučuju za uvođenje električnog voznog parka umjesto dizelskih vozila. Električna vozila su u sve većem rastu, kako tehnologija napreduje, tako i njihove negativne strane više nisu toliki problem, kao npr. domet ne predstavlja prepreku za tvrtke za paketnu distribuciju koje dnevno u prosjeku ne pređu preveliku kilometražu.

U radu smo definirali koncept određivanja optimalne veličine (broja vozila) voznog parka primjenom matematičkih metoda pomoću programa Excel, s ciljem zadovoljenja prijevozne potražnje uz minimalne prijevozne troškove. Primijenili smo na primjeru tvrtke za paketnu distribuciju na području grada Zagreba i okolice. U studiji slučaja smo koristili stvarne orijentacijske podatke tvrtke za paketnu distribuciju. Ukupne prijevozne troškove odredili smo na taj način da smo ukupne prijevozne troškove za izračunati optimalni broj vozila usporedili s ukupnim prijevoznim troškovima s iskustveno određenim brojem vozila od strane tvrtke (postojeće rješenje tvrtke). Optimalni broj vozila koji smo dobili je 27 vozila, u odnosu na iskustvenim rješenjem tvrtke koji iznosi 36 vozila. Rezultati su pokazali poboljšanje u odnosu na postojeće rješenje tvrtke, što smo kvantificirali u vidu smanjenja ukupnih prijevoznih troškova od 31.600 eura godišnje, odnosno za 3,5 % u odnosu na iskustveno rješenje tvrtke.

Također je u radu napravljena usporedba voznog parka dizelskih vozila s voznim parkom električnih vozila. Usporedbu smo napravili za 2022. godinu, po optimalnom broju vozila. Po dobivenim podacima od tvrtke za paketnu distribuciju i tvrtke koja se bavi upravljanjem voznog parka, možemo vidjeti da su sama dizelska vozila jeftinija za kupnju nego električna vozila, te također ukoliko tvrtka nema vlastitu solarnu

elektranu i punjače, tada su i dalje isplativija dizelska vozila nego električna. No izgradnjom solarne elektrane i punjača za punjenje električnih vozila, čime je cijena punjenja za tvrtku besplatna jer tvrtka proizvodi svoju struju, električna vozila postaju jeftinija te ušteda za električna vozila iznosi 13.320 eura godišnje, odnosno 3,4%. Prema dobivenom izračunu, tvrtka će isplatiti ugradnju za četiri godine.

Sve veći broj kompanija uvodi električni vozni park, koji je sam po sebi fenomen koji ubrzano dolazi na sva svjetska tržišta. Svako poduzeće koje namjerava unaprijediti poslovanje ili ostati na tržištu rada mora investirati u smjeru održivosti i kreiranju pogodnog imidža tvrtke.

## 7. Literatura

[1] Čuljat J.: Analiza pouzdanosti voznog parka teretnih vozila, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2022. (Završni rad)

[2]<https://www.frotcom.com/blog/2022/01/five-must-have-features-fleetmanagement-system>

[3] Penava Ž. Mogućnosti optimiranja upravljanja voznim parkom., Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2016. (Diplomski rad)

[4] Mijatović J. Fleet management u Hrvatskoj pošti d.d., Veleučilište u Šibeniku, Prometni odjel, Šibenik 2016. (Završni rad)

[5] Hrženjak J. Optimizacija upravljanja voznim parkom na primjeru Mobilisis sustava za upravljanje, optimizaciju, nadzor i administraciju voznog parka. Diplomski rad. Sveučilište Sjever, Koprivnica; 2020.

[6] Tupanović, I.; Ribarić, B.: Organizacija i praćenje učinaka cestovnih prijevoznih sredstava, Zagreb, Fakultet prometnih znanosti, 1993.

[7] Državni zavod za statistiku <https://podaci.dzs.hr/media/nkmivfsu/transport-prijevoz.xlsx>

[8] Perše, B., Prikrlil, B.: Prijevozna sredstva, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 1991.

[9] Šiško M., Analiza kriterija za odabir optimalnih prijevoznih sredstava u transportnim lancima, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2016. (Diplomski rad)

[10] Kordić Z. Optimizacija korištenja tahografskih podataka u upravljanju voznim parkom, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2016. (Diplomski rad)

[11]<https://www.cvh.hr/propisi-i-upute/pravilnici/zakon-o-sigurnosti-prometa-nacestama/pravilnik-o-tehnickim-uvjetima-vozila-u-prometu-na-cestama>

[12] Zakon o radnom vremenu, obveznim odmorima mobilnih radnika i uređajima za bilježenje u cestovnom prijevozu, NN 75/13, 36/15, 46/17; 2017.

[13] Bandov D., Analiza radnog vremena mobilnih radnika podružnice Zagrebparking u funkciji sigurnosti, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2018. (Diplomski rad)



[14]<https://www.digitalni.tahograf.hr/>

[15]<http://www.tahograf.hr/clanak/nova-generacija-digitalnih-tahografa-vdo-dtco1381-verzija-14/hr-1-71-6.html>

[16]<http://www.taho.hr/digitalni-tahografi/>

[17] Posilović F., Analiza sustava za upravljanje voznim parkom, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2022 (Diplomski rad)

[18] Županović, I.: Tehnologija cestovnog prijevoza, Zagreb, Fakultet prometnih znanosti, 2002.

[19] Vogel A. Analiza troškova voznog parka zasnovana na obradi GPS podataka, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti; 2017. (Završni rad)

[20] Rašić J., Analiza upravljanja voznim parkom teretnih cestovnih vozila, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, 2022. (Diplomski rad)

[21] Kanižai A. Primjena telematike u vozilima, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet, Rijeka, 2013. (Diplomski rad)

[22] Marjanović D. Analiza učinkovitosti transporta u sustavu paketne distribucije s prijedlogom unaprjeđenja, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2019. (Diplomski rad)

[23] D. Naletina, A. Vuletić, L. Meštrović: Analiza poštanskog tržišta u Republici Hrvatskoj, Zbornik Veleučilišta u Rijeci, Vol. 7 (2019)

[24] Poljičak A. Prognozički model broja paketskih pošiljaka u funkciji unaprjeđenja učinkovitosti prijevoza, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb 2021. (Doktorski rad)

[25] HAKOM: Godišnje izvješće o radu za 2021. Godinu, lipanj 2022.

[26] Stanković, R., Kolarić, G.: KONCEPT POSTUPKA ODREĐIVANJA OPTIMALNE VELIČINE VOZNOG PARKA, Polytechnic & Design, Vol. 10, No. 1, 2022. Polytechnic & Design, Vol. 10., No. 1., 2022.

[27] Jazbec M.S. Metode prognoze potražnje u lancu opskrbe, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb 2019 (Diplomski rad)

[28] Fakultet prometnih znanosti, Distribucijska logistika II (materijali), Zagreb, 2019.

[29] Fakultet prometnih znanosti, Prijevozna logistika II (materijali), Zagreb, 2021.

[30]<https://www.renault.hr/>

[31]<https://www.fzoeu.hr/hr/sufinanciranje-nabave-energetski-ucinkovitijihvozila/7713>

[32]<https://www.fzoeu.hr/hr/natjecaj/7539?nid=179>

## Popis slika

Slika 1. Elementi upravljanja voznim parkom .....	6
Slika 2. Dnevna vožnja 9 h.....	13
Slika 3. Dnevna vožnja 10 h.....	13
Slika 4. Dnevna vožnja 10 h.....	13
Slika 5. Tjedna vožnja .....	14
Slika 6. Analogni tahograf .....	14
Slika 7. Digitalni tahograf.....	15
Slika 8. Pametni tahograf .....	16
Slika 9. Pojednostavljeni prikaz primjene KPI .....	17
Slika 10. Praćenje vozila primjenom GPS i GPRS tehnologije .....	26
Slika 11. Broj paketskih pošiljaka .....	30
Slika 12. Način zadovoljenja prijevozne potražnje .....	34
Slika 13. Graf funkcije C(v).....	35
Slika 14. Renault Kangoo i Renault Master .....	40
Slika 15. Renault Master E-tech i Renault Kangoo E-tech .....	41

## Popis tablica

Tablica 1. Prevezena količina robe cestovnim prijevozom u razdoblju od 2015. do 2022. godine u Republici Hrvatskoj .....	8
Tablica 2. Troškovi vozila .....	32
Tablica 3. Tablica dobivenih podataka od tvrtke za paketnu distribuciju .....	33
Tablica 4. Potreban broj vozila kroz mjesec .....	37
Tablica 5. Sortirana prijevozna potražnja .....	38
Tablica 6. Prikaz troškova za sva vozila u godini .....	38
Tablica 7. Ukupni godišnji prijevozni troškovi .....	39
Tablica 8. Udaljenost od tvrtke do lokacija za dostavu .....	41
Tablica 9. Prikaz mjesečnih troškova za vozila .....	42
Tablica 10. Prikaz godišnjih troškova nakon ugradnje punjača i solarne elektrane ..	44

## Popis grafikona

Grafikon 1. Prevezena količina robe cestovnim putem u Republici Hrvatskoj .....	8
Grafikon 2. Graf funkcije $C(v)$ za prijevozne troškove .....	39
Grafikon 3. Ukupni mjesečni trošak za jedno vozilo .....	42
Grafikon 4. Usporedba električnih i dizelskih vozila.....	45

## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je \_\_\_\_\_ **diplomski rad** \_\_\_\_\_  
(vrsta rada)

isključivo rezultat mojega 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 eksploatacije voznog parka u paketnoj distribuciji, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

Student/ica:

U Zagrebu, 7.7.2023.

Bože Benja *Benja*  
(ime i prezime, potpis)