

Koncept uvođenja električnih dostavnih vozila u maloprodajnim lancima

Čefko, Dominik

Master's thesis / Diplomski rad

2018

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:119:169591>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-20**



Repository / Repozitorij:

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



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

Dominik Čefko

**KONCEPT UVOĐENJA ELEKTRIČNIH DOSTAVNIH VOZILA
U MALOPRODAJNIM LANCIMA**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2018.

Zagreb, 23. ožujka 2018.

Zavod: **Zavod za transportnu logistiku**
Predmet: **Distribucijska logistika I**

DIPLOMSKI ZADATAK br. 4566

Pristupnik: **Dominik Čefko (0246044393)**
Studij: **Inteligentni transportni sustavi i logistika**
Smjer: **Logistika**

Zadatak: **Koncept uvođenja električnih dostavnih vozila u maloprodajnim lancima**

Opis zadatka:

U radu je potrebno istražiti kupovne navike stanovnika grada Zagreba te na temelju prikupljenih podataka predložiti način uvođenja električnih dostavnih vozila u maloprodaji. Potrebno je analizirati podatke te odrediti primjenjiv i dugoročno održiv koncept u svrhu smanjenja emisije ispušnih plinova osobnih vozila te smanjenja prometnih gužvi. U konceptu je potrebno odrediti zone opsluživanja, tipove vozila, organizaciju distribucije te troškove realizacije. Glavni je cilj iskazati razliku između trenutnog stanja te budućeg stanja u slučaju primjene prikazanog koncepta.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
diplomski ispit:

dr. sc. Tomislav Rožić

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

KONCEPT UVOĐENJA ELEKTRIČNIH DOSTAVNIH VOZILA U MALOPRODAJNIM LANCIMA

THE CONCEPT OF ELECTRIC DELIVERY VEHICLES IMPLEMENTATION IN RETAIL CHAINS

Mentor: dr.sc. Tomislav Rožić

Student: Dominik Čefko

JMBAG: 0246044393

Zagreb, rujan 2018.

KONCEPT UVOĐENJA ELEKTRIČNIH DOSTAVNIH VOZILA U MALOPRODAJNIM LANCIMA

SAŽETAK

Održivi prometni sustav od velike je važnosti u gradovima i urbanim sredinama. Sve većim brojem stanovnika u gradovima dolazi do povećanja broja osobnih vozila te količine urbanog kretanja. Među izrazito izražena urbana kretanja ubrajaju se posjećivanja trgovina u svrhu kupovine. Stanovnici gradova najčešće koriste osobna vozila u svrhu obavljanja kupovine te time negativno utječu na urbani prometni i ekološki sustav. Istraživanjem kupovnih navika stanovnika te razine negativnog utjecaja na okoliš u kojem žive, potrebno je predložiti primjenjivi i održivi model gradske logistike. Temelj modela je organizacija distribucije roba široke potrošnje i prehrambenih proizvoda primjenom električnih dostavnih vozila. Izračunom i analizom modela bit će iskazana stvarna primjenjivost modela s obzirom na sve prisutne čimbenike koji utječu na nj te prikazani prednosti i nedostaci modela.

KLJUČNE RIJEČI: gradska logistika; distribucija roba; maloprodaja; očuvanje okoliša; električna dostavna vozila

SUMMARY

A sustainable traffic system is of crucial importance in cities and urban areas. An increasing number of city inhabitants affects on increase in the number of passenger cars and the amount of urban movements. Among the most reported urban movements are end consumer movements as a shopping trips. Inhabitants of cities most often use passenger cars for shopping trips and thus negatively affect the urban traffic and ecological system. By researching the shopping habits of the population and the level of negative impacts on the environment in which they live, it is necessary to propose an applicable and sustainable city logistics model. The basis of the model is the organization of distribution of consumer goods and food products using electric delivery vehicles. Calculating and analyzing the model will show the actual applicability with respect to all the factors that affect it and the presented advantages and disadvantages of the model.

KEYWORDS: city logistics; goods distribution; retail; environmental protection; electric delivery vehicles

Sadržaj

1. UVOD.....	1
2. GRADSKA LOGISTIKA.....	2
2.1 Struktura sustava gradske logistike.....	4
2.2 Logistički outsourcing.....	6
2.3 Utjecaj gradske logistike na okoliš i kvalitetu života	9
3. MALOPRODAJNA LOGISTIKA	12
3.1 Upravljanje lancem opskrbe u maloprodaji.....	14
3.2 Logistika maloprodaje prehrambenim proizvodima	16
3.3 Logistika modne industrije.....	19
4. SUVREMENA ORGANIZACIJA DISTRIBUCIJE MALOPRODAJNIH ROBA.....	22
4.1 Distribucija neprehrambenih proizvoda iz e-trgovina.....	23
4.2 Distribucija prehrambenih proizvoda iz e-trgovina.....	24
4.3 Određivanje optimalnog distribucijskog modela za kućne dostave	26
4.3.1 Ključni elementi u organizaciji kućnih dostava	28
4.3.2 Problem usmjeravanja vozila	29
5. ELEKTRIČNA DOSTAVNA VOZILA	31
5.1 Tipovi električnih vozila	31
5.1.1 Baterijska električna vozila.....	31
5.1.2 Hibridna električna vozila	32
5.1.3 Električna vozila s gorivim ćelijama.....	33
5.2 Komparativna analiza modela električnih dostavnih vozila.....	34
5.3 Ekološki i ekonomski aspekti korištenja električnih vozila u gradskom teretnom transportu	39
6. ISTRAŽIVANJE TRŽIŠTA O KUPOVNIM NAVIKAMA I UTJECAJU NA OKOLIŠ .	42
.....	
6.1 Metodologija istraživanja i prikupljeni podaci.....	43
6.2 Izračun emisija ispušnih plinova za područje grada Zagreba	46
7. ODREĐIVANJE LOKACIJE URBANOG DISTRIBUCIJSKOG CENTRA ZA	
PODRUČJE GRADA ZAGREBA	55
7.1 Teorijske osnove AHP metode.....	56
7.2 Matematički model AHP metode	58
7.3 Primjena AHP metode u određivanju lokacije urbanog distribucijskog centra na području grada Zagreba	61

7.4	Određivanje lokacije urbanog distribucijskog centra primjenom metode težišta	73
8.	PROBLEM USMJERAVANJA ELEKTRIČNIH DOSTAVNIH VOZILA NA PODRUČJU GRADA ZAGREBA.....	75
8.1	Problem usmjeravanja vozila s vremenskim prozorima.....	75
8.2	Rješavanje problema usmjeravanja vozila s vremenskim prozorima na području grada Zagreba primjenom računalnog programa "VRP Spreadsheet Solver"	78
8.2.1	Obilazak Istok	82
8.2.2	Obilazak Zapad – Centar – Sjever	86
8.2.3	Obilazak Zapad – Jug	88
8.2.4	Obilazak Istok - Centar – Jug.....	90
8.3	Primjenjivost prikazanog modela za usmjeravanje vozila na području grada Zagreba.....	92
9.	ZAKLJUČAK	93
	Popis literature.....	95
	Popis kratica	100
	Popis slika	102
	Popis tablica	103
	Popis grafikona.....	105

1. UVOD

Primjena električnih dostavnih vozila još uvijek broji vrlo male udjele od ukupnog broj dostavnih vozila, kako u Europi, tako i u svijetu. Sve veći broj vozila na cestama onečišćuje atmosferu te smanjuje kvalitetu života stanovnika. Želja i potreba za uvođenjem električnih vozila u sve većem broju ne krije se samo u očuvanju okoliša već i održivom razvoju gradova.

Gradska logistika može se smatrati razvijenom u samo nekolicini europskih država dok pojedine uopće nemaju razvijene prijedloge ili sustave upravljanja istom. Sve veći razvoj trgovine utječe na promet. Potrebe za dostavom roba u trgovine ili odlasci kupaca u trgovine u velikoj mjeri utječu na sustav gradske logistike te trebaju biti analizirani i predloženi načini upravljanja istim. Suvremeni načini distribucije roba ostvaraju pozitivne učinke na cjelokupni prometni sustav no koriste se u vrlo maloj mjeri.

Diplomskim radom na temu Koncept uvođenja električnih dostavnih vozila u maloprodajnim lancima želi se prikazati mogućnost uvođenja električnih dostavnih vozila u svrhu dostave roba široke potrošnje naručenih putem internet trgovina. Sve većim razvojem tehnologije kupci imaju mogućnost kupovati proizvode iz vlastitog doma no i dalje se većina ipak odlučuje na posjećivanje trgovačkih centara zbog kupovine. Utjecaj korištenja osobnih automobila u spomenutu svrhu izrazito negativno djeluje na okoliš te kvalitetu života stanovnika. U radu su istražene navike kupaca, utjecaj istih na cjelokupni sustav te mogućnost uvođenja kvalitetnih i održivih načina obavljanja kupovine te dostave roba.

Temeljem izvršenih istraživanja glavni cilj rada je predložiti način distribucije roba široke potrošnje na području grada Zagreba upotrebom električnih dostavnih vozila. U svrhu predlaganja optimalnog rješavanja biti će prikazani i objašnjeni pojmovi gradske i maloprodajne logistike te načini suvremene organizacije distribucije maloprodajnih roba. Prikazati će se vrste i modeli električnih dostavnih vozila pogodnih za gradske dostave te uz pomoć matematičkih metoda i modela odrediti lokacija urbanog distribucijskog centra za područje grada Zagreba te optimalan način usmjeravanja vozila.

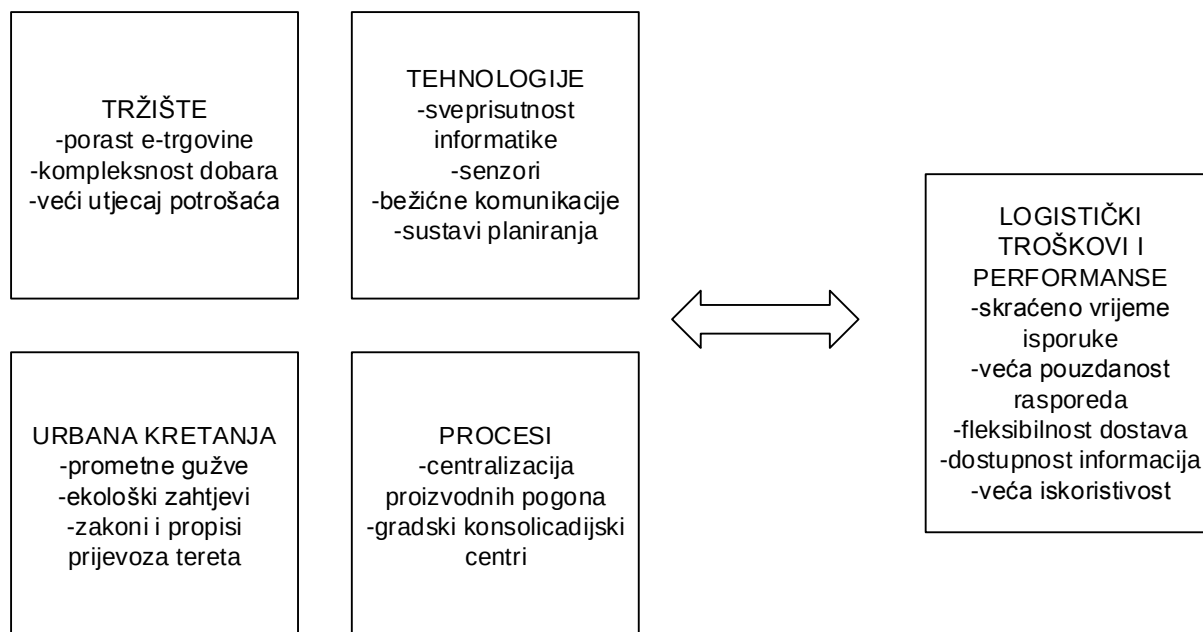
2. GRADSKA LOGISTIKA

Gradska logistika predstavlja proces optimizacije urbanih logističkih aktivnosti uključujući socijalne, ekološke, ekonomske, financijske i energetske utjecaje urbanih transportnih kretanja. Cilj gradske logistike je optimizacije logističkog sustava u granicama određenog urbanog područja pri čemu se nastoji uzeti u obzir interese pojedinih društvenih skupina i koristi kako javnog tako i privatnog sektora. Ciljevi raznih sudionika poput proizvođača, distributera, trgovaca i prijevoznika su smanjiti transportne troškove dok javni sektor želi ublažiti prometna zagušenja i probleme zagađenja okoliša što dobra organizacija sustava gradske logistike i omogućava.

Glavne značajke i ciljevi primjene sustava gradske logistike su:

- Obuhvatiti prostorni kriterij te usmjeriti djelovanje sustava gradske logistike na središnje i povijesne dijelove grada
- Usmjeriti djelovanje na središnje gradske zone zbog visoke gustoće izgrađenosti, naseljenosti te često neadekvatne prometne infrastrukture
- Usmjeriti djelovanje na središta gradova kao mjesta odvijanja različitih aktivnosti i koncentracije poslovnih djelatnosti: trgovine, ugostiteljstva, administracije te u današnje vrijeme rijetko industrije
- Usuglasiti različite interesne skupine poput poslovnih subjekata, građana i administracije u svrhu rješenja problematike dostave roba zbog nerijetko različitih interesa te viđenja rješenja spomenutog problema.[1]

U budućnosti se nameće sve veći broj zahtjeva prema pružateljima logističkih usluga. Ubrzani razvoj tehnologija u posljednjem desetljeću doveo je do stanja gdje gotovi svi pružatelji logističkih usluga morali svoje poslovanje prilagoditi tržištu te investirati u nove ideje i tehnologije kako bi održali korak s vremenom. Uvođenjem novih tehnologija korisnici spomenutih usluga u mogućnosti su vrlo lako dobiti sve željene informacije što predstavlja dodatan napor u nadilaženju zahtjeva korisnika.



Slika 1. Izazovi logističkih pružatelja usluga u budućnosti

Izvor:[2]

Daljnjom povećanom migracijom ljudi u gradove očekuje se da će do 2025. godine u urbanim područjima živjeti oko 4,5 milijardi ljudi što odgovara povećanju od oko 50% u odnosu na broj ljudi koji žive u gradovima u 2010. godini. Prijevoz tereta izrazito je bitan za razvoj gradova i opskrbu njihovih stanovnika. Povećanje i razvoj gradova ovisi o učinkovitom i održivom sustavu prijevoza tereta odnosno roba kako bi se osigurala njihova privlačnost, ekonomska snaga i kvaliteta života.

Pružatelji logističkih usluga često djeluju u okruženju gradova u nastajanju te su izloženi različitim izazovima koji proizlaze iz budućeg razvoja tržišta, povećanja ekoloških zahtjeva, novih tehnologija i evolucije kompleksnih opskrbnih lanaca. U budućnosti se očekuje sve veće suočavanje povećanjem važnosti logističkih troškova i kvalitete logističkih performansi. Navedeno rezultira kraćim rokovima isporuke, većom pouzdanosti usluge, fleksibilnosti dostava te neprekidnim zahtjevima korisnika za što većom kvalitetom usluge.[2] Izazovi koji se stavljaju pred pružatelje logističkih usluga dolaze sa strane tržišta porastom e-trgovine, sve većim asortimanom i kompleksnosti roba te sve većim zahtjevima kupaca. Urbana kretanja i prometne gužve te ekološki zahtjevi, lokalni zakoni i propisi zahtijevaju od pružatelja dodatne prilagodbe. Sveprisutnost informatike te nove tehnologije u logistici tjeraju pružatelje usluga na modernizaciju infrastrukture i suprastrukture. Spomenuto vodi k cilju povećanja

logističkih performansi poput skraćivanja vremena isporuke, većoj pouzdanosti te većoj transparentnosti no uzrokuje velika financijska ulaganja. Slika 1 prikazuje izazove pružatelja logističkih usluga u budućnosti.

2.1 Struktura sustava gradske logistike

Struktura sustava gradske logistike vrlo je kompleksna a sastoji se od više dijelova. Dijelovi sustava gradske logistike su:

- generatori logističkih tokova,
- logistički centri,
- robni-transportni centri,
- skladišni sustavi,
- prijevozna sredstva (suprastruktura),
- prometna infrastruktura,
- informacijski logistički sustavi,
- operatori i pružatelji logističkih usluga. [1]

Generatorom logističkih tokova može se opisati objekt u kojem se obavlja neka od urbanih funkcija i koji inicira logistički zahtjev transporta, skladištenja, prekrcaja, držanja zaliha i pakiranja. Generatori su disperzirani po različitim gradskim područjima što predstavlja dodatni izazov za organizaciju logistike. Jedan od najvećih generatora robnih tokova u gradskim područjima je sektor trgovine na malo. Razmještaj maloprodajnih objekata ovisi o veličini grada čime se u današnje vrijeme veliki trgovački centri pokušavaju smještati u rubnim dijelovima grada ili na određenim strateškim pozicijama. Ovakvim se načinom postiže pozitivan učinak usmjeravanja robnih tokova izvan gradskih područja no povećava se potreba za putovanjem krajnjih korisnika. [1]

Logistički i robno-transportni centri trebaju biti bazirani na tri važna elementa[2]:

- teritorijalnom planiranju uz racionalizaciju infrastrukture,
- kvaliteti transporta,
- razvoju intermodalnosti.

S obzirom da je logistički centar mjesto gdje se susreću sve aktivnosti vezane uz transport, skladištenje i distribuciju roba, podrazumijeva se potrebno planiranje područja i racionalizaciju infrastrukture kako bi se isto moglo optimalno iskoristiti u svrhu zaštite okoliša odnosno uklanjanje teškog transporta iz gradskih područja.

Visoki standard kvalitete transportne usluge zasigurno je jedan od najvažnijih elemenata u osiguravanju visoke razine konkurentnosti osobito u današnje vrijeme povećanog stupnja globalizacije. Globalizacija, povećanje teretnog prometa i sve veća konkurencija između svih proizvodnih i trgovačkih grana utječu na potrebu za učinkovitim transportom i novim logističkim rješenjima. Logistički centar može osigurati najbolje moguće rješenje u smislu logistike, transporta i skladišnih djelatnosti. Ono uključuje kontrolu transportnih troškova te konkurentnost proizvodnje.

U smislu intermodalnosti logistički centri povezuju tok teretnog prometa kojim upravljaju transporti i logistički operatori te im je glavni cilj ponuditi efikasne i povoljne usluge ali i sinergiju rješenja kojima će se povezati različiti vidovi transporta: željeznički, cestovni, pomorski.[3]

Prometna infrastruktura te suprastruktura bitno utječu na organizaciju sustava gradske logistike. Vrste prijevoznih sredstava, kvaliteta, efikasnost, efektivnost te načini primjene u različitim uvjetima doprinose lakšem, troškovno efikasnijem te ekološki prihvatljivom načinu planiranja organizacije gradske logistike.

Informacijski logistički sustavi u današnje su vrijeme neophodni, zbog velikog broja podataka koji trebaju biti obrađeni u što kraćem vremenu te zahtjeva za velikom pouzdanosti podataka. Logistički informacijski sustav treba omogućiti tri bitna elementa: ulaz podataka, bazu podataka i izlaz podataka. Na temelju ulaznih podataka te kvalitetno organizirane baze podataka logistički sustav mora biti u mogućnosti izdati:

1. izvješće o troškovima te statistiku izvedbe logističkih procesa
2. izvješće o statusu zaliha ili narudžbi
3. izvješće o promjenama koje uspoređuju željenu izvedbu sa stvarnim performansama.[4]

Pružatelji logističkih usluga nositelji su logističkih usluga te sudjeluju u analizama, implementaciji, održavanju, skladištenju, distribuciji, marketingu,

kontrolingu, osiguranju, menadžmentu te ostalim pratećim uslugama koje obuhvaća logistički sektor.

2.2 Logistički outsourcing

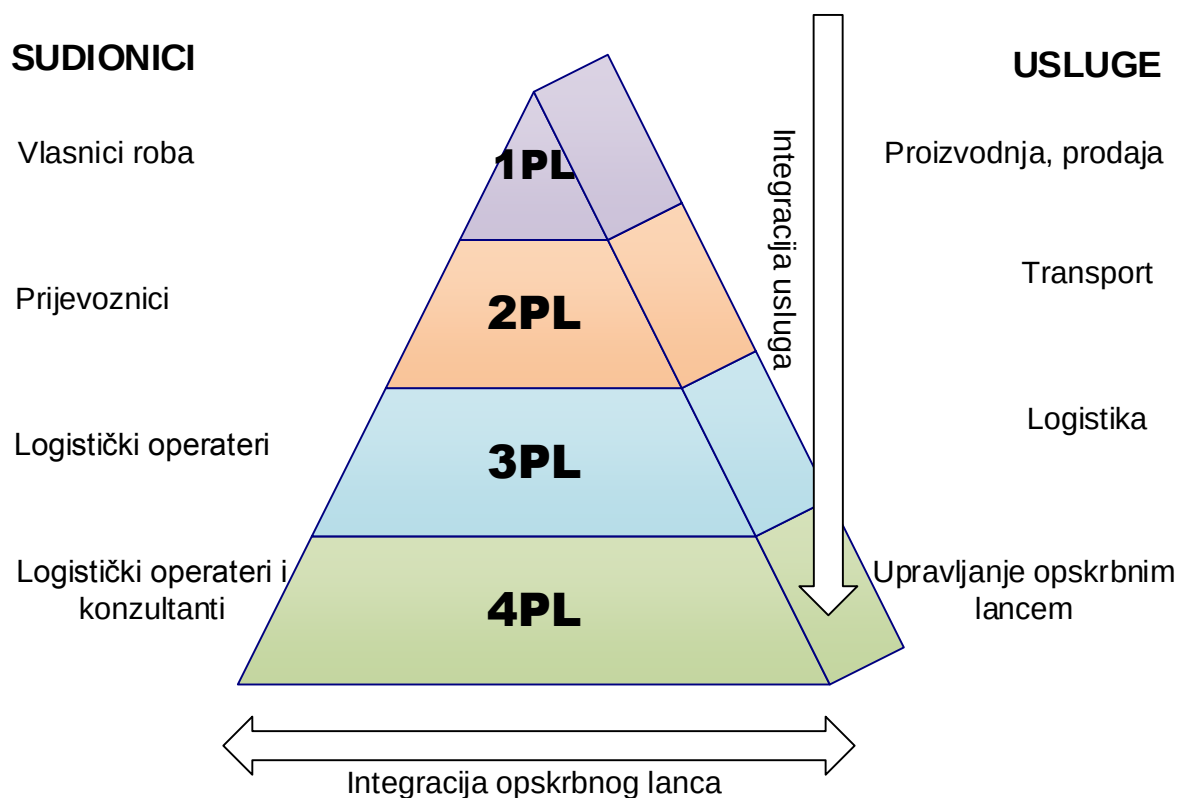
Značajka gradske logistike od osamdesetih godina prošlog stoljeća je povećanje stope logističkog outsourcinga. Na temelju parametara troškova i kvalitete usluge, tvrtke odlučuju trebaju li one same proizvoditi i prodavati odnosno koristiti logističke usluge ili unajmiti određenog pružatelja usluga koji će iste obavljati za njih. U slučaju da tvrtka analizom ustanovi kako je jeftinije da sama obavlja logističke, tada bi na temelju analize kvalitete trebala odlučiti obavljati iste u vlastitom angažmanu. Ovakav koncept naziva se logistička inkorporacija. Ukoliko tvrtka ustanovi da je veća isplativost za cjelokupno poslovanje unajmiti treću stranu da logističke usluge obavlja za nju, tada je logistički outsourcing pravi izbor. Logistički outsourcing može se definirati kao proces nabave usluga od specijaliziranih tvrtki koje pružaju logističke usluge, odnosno logističkih operatora.[5]

U gradskoj logistici različiti uoperatori i pružatelji logističkih usluga pojavljuju se u procesima organizacije i realizacije logističkih aktivnosti. Manje tvrtke, obično logističke usluge obavljaju u vlastitoj organizaciji što uključuje proces naručivanja, kupnje dobara, pakiranja, transporta vlastitim vozilima, skladištenja te upravljanja zalihama. Velike kompanije s vlastitim opskrbnim lancem kao što su proizvođači, trgovci na veliko i malo također pripadaju u skupinu organizatora i logističkog pružatelja usluga u vlastite svrhe. Prednosti vlastite realizacije logističkih aktivnosti su bolja kontrola nad prodajom, vremenom i troškovima provođenja logističkih aktivnosti te lakše i efikasnije usklađivanje s drugim granama poslovanja poput marketinga. U slučaju malih količina roba upitna je efikasnost vlastite organizacije logistike a osobito u području transporta te konsolidacije.[6]

Promatrajući duži period vidljiv je pad vlastite organizacije logističkih procesa iz razloga sve veće robne potražnje te potražnje za kvalitetom usluge. Iz navedenog se razloga tvrtke odlučuju organizaciju dijela ili kompletne logistike prepustiti logističkim operaterima. Osim usluga transporta logistički operateri preuzimaju organizaciju skladištenja, sortiranja, parkiranja, komisioniranja te ostalih pratećih aktivnosti. Tvrtke u se u tom slučaju mogu odlučiti odabrati varijantu logističkog operatera koji će

obavljati određenu logističku djelatnost što je najčešće transport (2PL – *Second Party Logistics*) ili se odlučiti na suradnju s logističkom tvrtkom koja će im pružati više logističkih usluga (3PL – eng. *Third Party Logistics*).

2PL pružatelji logističkih usluga uglavnom su prijevoznika poduzeća često specijalizirana za određenu vrstu robe. Neke tvrtke kombiniraju svoj prijevoz na način da redoviti dio transporta provode vlastitim vozilima dok u slučaju povećanih zahtjeva dodatno angažiraju prijevoznika tvrtke. Prepuštanjem organizacije logističkih aktivnosti specijaliziranim pružateljima logističkih usluga (3PL pružatelji usluga) tvrtke smanjuju troškove te postižu veću mogućnost za razvoj osnovne djelatnosti. Osim spomenutih modela outsourcinga postoji i 4PL model koji uz sve navedeno integrira kompletni *know-how* sustav te konzultantske usluge i kompletno upravljanje opskrbnim lancem. Modele logističkog outsourcinga prikazuje Slika 2. Logistički outsourcing kao poslovni sustav također pozitivno utječe s perspektive okolišta iz razloga ostvarivanja konsolidiranih isporuka a osobito unutar grada kada se jednim vozilom određenom primatelju može dostaviti roba od više pošiljatelja te iskoristiti teretni prostor vozila što smanjuje broj dostavni vozila i prijeđenih kilometara. Obzirom na konsolidaciju robe mogu se koristiti vozila većeg kapaciteta te se time smanjiti broj dostavnih vozila u gradu.[7] Povećana upotreba logističkog outsourcinga utječe na smanjenje potrebne ukupne površine za skladišne prostore te time povećava kvalitetu usluge. Prednosti ovakvog modela posebno se osjećaju u sektoru maloprodaje. Ulaskom u urbanizirana područja rastu operativni troškovi te se profit smanjuje. Logistički outsourcing omogućava dobavljačima isporuku svih vrsta pakiranja i vrsta roba specijaliziranim pružateljima logističkih usluga, 24 sata dnevno, sedam dana u tjednu čime se izbjegava zagušenje prometa te se smanjuju troškovi.



Slika 2. Prikaz modela logističkog outsourcinga

Izvor:[9]

Pružatelji logističkih usluga u urbanim sredinama su najčešće manje tvrtke. Prema istraživanjima u Europi, udio od 85% takvih tvrtki broji manje od pet zaposlenika. U Italiji male tvrtke sa samo jednim operativnim vozilom izvrše 80% dostava u gradska područja. Sličina je situacija i u ostatku svijeta. Maxico City broji 80% privatnih prijevoznčkih tvrtki koji upravljaju s manje od pet vozila te je 70% od ukupne brojke registrirano kao laka dostavna vozila do 3,5 tone nosivosti.[8] U većini gradova urbani transport je izuzetno neefikasan te se korištenjem usluga logističkog outsourcinga može postići smanjenje broja vozilo-kilometara uz prevezene jednake ili veće količine robe. Neefikasnost se većinom očituje u problemu što tvrtke organiziraju vlastiti prijevoz te je prostorna i volumenska iskoristivost vozila u većini slučajeva mala.[10] Bez obzira na veličinu, u većini slabije razvijenih zemalja kao dominantna strategija prevladava organiziranje logističkih usluga unutar tvrtke (eng. *logistics insourcing*). U spomenutom slučaju, logističke aktivnost a prvenstveno transport generiraju visoke logističke troškove unutar organizacije. U velikom broju zemalja

neučinkovitost korištenja komercijalnih i dostavnih vozila objašnjava visoke logističke troškove.[11]

2.3 Utjecaj gradske logistike na okoliš i kvalitetu života

Dominantni udio i konstanti porast cestovnog prijevoza u svrhu realizacije robnih tokova negativno utječe na održivost. Utjecaji se odnose na razne aspekte života u gradu od kojih su najvažniji:

- utjecaj na okoliš (emisije ispušnih plinova, potrošnja neobnovljivih izvora energije, stvaranje otpada i uništavanje eko sustava)
- utjecaj na društvo (štetan utjecaj na zdravlje, prometne nesreće, buka, smanjena kvaliteta života)
- utjecaj na gospodarstvo (smanjenje pouzdanosti i pristupačnosti, povećanje cijena).[12]

Zagušenje prometnog toka te stvaranje prometnih gužvi povećava vrijeme putovanja. Iz navedenog razloga plasman proizvoda na tržište kasni ili se odgađa zbog čega dolazi do povećanja logističkih troškova. Prometna zagušenja na određenim cestovnim dionicama često su razlog korištenja alternativnih ruta koja mogu biti duže uz smanjenje prometne sigurnosti čime se direktno povećavaju logistički troškovi i rizici. Tako stvoreni dodatni troškovi prenose se duž opskrbnog lanca do krajnjeg korisnika odnosno kupca. Obzirom da su stanovnici glavni generatori robnih i transportnih tokova a u obzir često ne uzimaju poremećaje koji proizlaze iz zahtjeva tržišta, potrebno je izraditi efikasnu strategiju logističkog poslovanja što otporniju na vanjske tržišne utjecaje. Povećanjem broja vozila na cestama smanjuje se stopa sigurnosti što dovodi do povećanog broja prometnih nesreća. Trend rasta prometa u gradovima dovodi do povećane potrošnje goriva te time i zagađenjem okoliša u kojem stanovnici žive. Emisije ispušnih plinova i razina buke su u također u porastu. Spomenutim djelovanjem stvara se začarani krug utjecaja razvoja transporta koji prikazuje Slika 3.

Teretni promet odgovoran je za trećinu eksternih troškova uključujući i prometna zagušenja te cestovni promet u tome ima dominantnu ulogu. Transport u gradovima neupitno utječe na neodrživost sustava. Neki utjecaji imaju lokalni karakter, poput buke, dok drugi imaju regionalni karakter kao što su emisije stakleničkih plinova.

Lokalni utjecaj određen je gustoćom naseljenosti stoga su utjecaji posebno povećani u urbanim područjima. Struktura, prosječna starost vozila kao i operativni režim s



Slika 3. Začarani krug utjecaja razvoja transporta

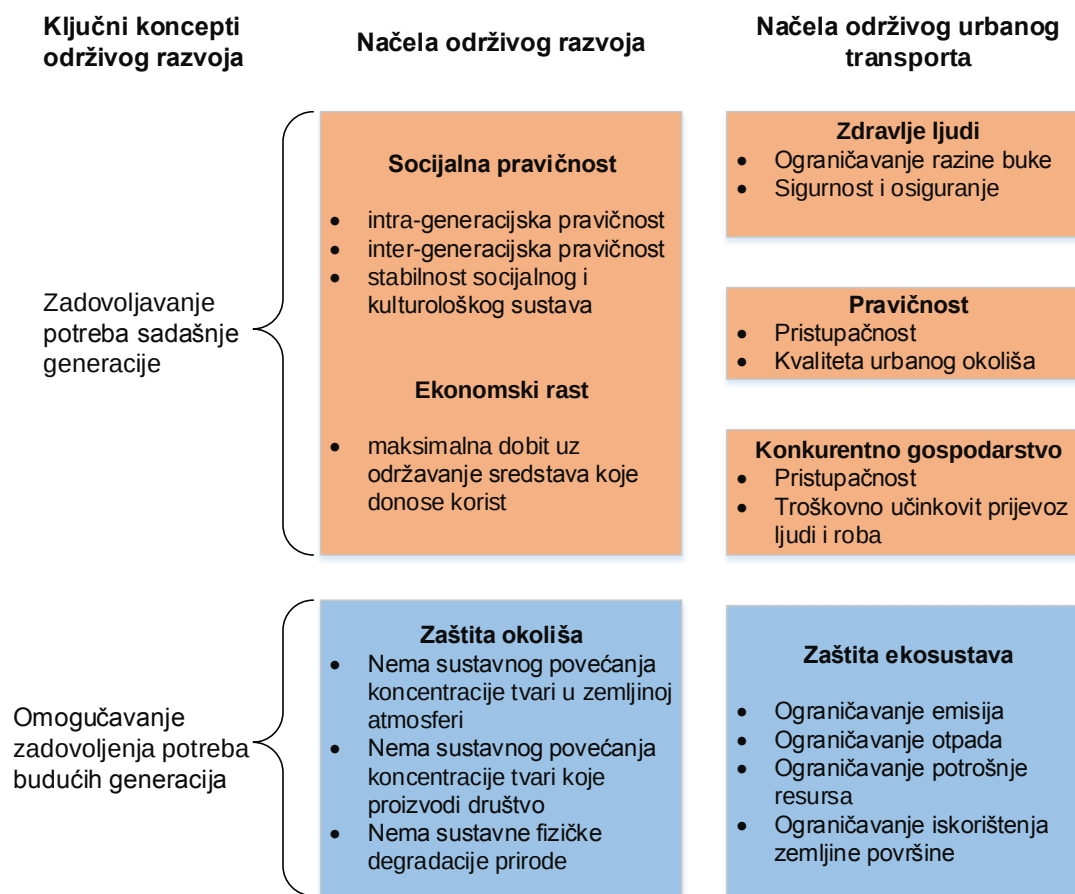
Izvor:[14]

velikim brojem putovanja na kratke udaljenosti i velikim brojem zaustavljanja, urbani cestovni transport čine manje održivim od prijevoza na duge relacije. [13]

Održivi urbani transport definira šest ciljeva. Navedenim ciljevima potrebno je osigurati:

- ekonomsku učinkovitost;
- ulice i gradske četvrti prikladne za život;
- zaštitu okoliša;
- pravednost i socijalno uključivanje;
- sigurnost;
- doprinos gospodarskom rastu.[15]

Ključni koncept održivog razvoja podrazumijeva zadovoljavanje potreba sadašnje generacije i omogućavanje zadovoljenja potreba generacija u budućnosti.



Slika 4. Načela održivog urbanog transportnog sustava

Izvor:[15]

Ključne koncepte održivog razvoja s načelima održivog razvoja te načelima održivog urbanog transporta prikazuje Slika 4.

Zabilježena je velika interakcija između e-trgovine i gradske logistike. Urbana kretanja roba mogu se podijeliti u dvije kategorije: kretanja unutar posljednje milje prilikom dostava i kretanja krajnjih kupaca. Kretanja krajnjih kupaca čine 45-50% od ukupnog broja urbanih kretanja roba u urbanim sredinama, dok oko 11% čine kretanja unutar posljednje milje prilikom dostava.[15] Većina kretanja odnosi se na klasični odlazak u kupovinu dok bi se u razmatranje trebali uključiti novi načini distribucije s gledišta urbane gradske logistike. Urbana kretanja u svrhu kupovine predstavljaju kompleksi lanac. Ukupno 82% od ukupnih urbanih kretanja u urbanom dijelu Lyona (Francuska) uključuju povratno putovanje koje započinje i završava na kućnoj adresi. Ostalih 15% uključuje putovanja na posao i s posla. Navedena praska trebala bi se promijeniti u svrhu očuvanja okoliša i života u urbanoj sredini.[16]

3. MALOPRODAJNA LOGISTIKA

Trgovci su nekoć bili pasivni primatelji proizvoda koje su proizvođači dodijelili trgovinama u očekivanju potražnje. Od nedavno, trgovci su kontrolori ponude proizvoda u reakciji na poznate potrebe kupaca. Oni kontroliraju, organiziraju i upravljaju opskrbnim lancem od proizvodnje do potrošnje. To je bit transformacije maloprodajne logistike i opskrbnog lanca koja se dogodila tijekom posljednjih 20 do 30 godina.

1996. godine McKinnon je pregledao i sažeo ključne komponente potrebne za maloprodajnu logističku transformaciju. Utvrdio je šest usko povezanih i međusobno ojačavajućih trendova [17]:

1. Povećana kontrola nad sekundarnom distribucijom - Trgovci su povećali kontrolu nad sekundarnom distribucijom (tj. od skladišta prema trgovini) kanalizacijom sve većeg dijela svojih zaliha putem distribucijskih centara¹ (DC). U nekim sektorima kao što je hrana ovaj proces je gotovo potpun. Trgovci na malo koji primjenjuju ovakav način upravljanja imaju puno jači nadzor nad lancem opskrbe od ostalih. Njihova logistička operacija jako je ovisna o informacijskoj tehnologiji (IT), posebice velikim integriranim sustavima nadopunjavanja zaliha koji kontroliraju kretanje i skladištenje ogromnog broja zasebnih proizvoda.
2. Reorganizirani logistički sustavi - Trgovci su smanjili zalihe i općenito poboljšali učinkovitost kroz razvoj "kompozitne distribucije" (distribucija proizvoda različitih temperaturnih režima kroz isti DC i na istom vozilu) i centralizaciju u specijaliziranim skladištima sporije pokretnih zaliha. U slučaju mješovitog maloprodajnog poslovanja uspostavlja se osnivanje "zajedničkih lokacija zaliha" gdje se zalihe dijele na više prodajnih mjesta na osnovu odluke o potrebama zaliha pojedinih proizvoda na određenoj lokaciji.
3. Uvođenje sustava brze reakcije (engl. *Quick Response System* - QR²) - Cilj je bio smanjiti razine zaliha i poboljšati brzinu protoka proizvoda. To je

¹ U daljnjem tekstu DC

² U daljnjem tekstu QR

uključivalo smanjenje vremena naručivanja i prelazak na češće isporuke manjih pošiljki između DC-a i trgovine kao i između dobavljača i DC-a. To je uvelike povećalo stopu obrta zaliha robe i količinu proizvoda koji je prolaze kroz cross-dock umjesto pohrane u DC-ima. Sustav brze reakcije (QR) omogućen je razvojem elektroničke razmjene podataka i elektronske prodajne točke. Sustavi naručivanja bazirani na prodaji (eng. *Order Based Sales*) instalirani su kod većine trgovaca. Na primjer, prilikom skeniranja prodajne stavke u trgovini, podaci se koriste za informiranje sustava nadopunjavanja i ponovnog naručivanja te se na taj način brzo reagira na potražnju. Dijeljenje takvih podataka s ključnim dobavljačima dodatno integrira proizvodnju s funkcijom nabave.

4. Racionalizacija primarne distribucije (od proizvođača u DC) - djelomično kao rezultat QR pritisaka, a djelomično kao rezultat intenziviranja konkurencije, trgovci su proširili svoju kontrolu uzlazno od DC prema proizvođačima. U nastojanju da poboljšaju iskorištavanje svoje logističke infrastrukture, mnogi su integrirali svoje sekundarne i primarne distribucijske operacije i uspostavili ih kao jedan mrežni sustav. Spomenuto smanjuje gubitke i poboljšava učinkovitost.
5. Povećani povratni tok proizvoda - trgovci su postali sve više uključeni u operacije povratne logistike. Taj je trend pojačan uvođenjem direktive o ambalaži Europske unije. U tom području ostaju mogućnosti za razvoj novih oblika pakiranja koji se mogu ponovno koristiti te novih sustava povratne logistike za upravljanje njihovom cirkulacijom.
6. Uvođenje upravljanja opskrbnim lancem i učinkovitim odgovorom potrošača (eng. *Efficient Consumer Response* - ECR). Nakon što je poboljšana učinkovitost vlastitih logističkih operacija, mnogi trgovci su počeli blisko surađivati s dobavljačima kako bi se povećala učinkovitost maloprodajnog lanca opskrbe u cjelini. Upravljanje opskrbnim lancem (eng. *Supply Chain Management* - SCM) i unutar njega, ECR-om se osigurava okvir upravljanja unutar kojeg trgovci i dobavljači mogu učinkovitije koordinirati svoje aktivnosti.

3.1 Upravljanje lancem opskrbe u maloprodaji

Opskrbni lanac treba razumjeti kao sustav koji omogućuje zadovoljenje potreba potrošača odnosno kupaca a pritom ostvaruje komercijalnu dobit. Sustav opskrbnog lanca obuhvaća međudjelovanje uključenih subjekata, kao što su: kupci, dobavljači sirovina i repromaterijala, proizvođači finalnih proizvoda, distributeri odnosno veletrgovci, maloprodajni trgovci, logistički operateri, prijevoznici i drugi. Međudjelovanje se očituje u odvijanju tokova roba, informacija i financijskih sredstava između i unutar pojedinih faza opskrbnog lanca.[18] Upravljanje opskrbnim lancem može se opisati kao upravljanje operacijama zaduženim za zadovoljenje potreba svih sudionika opskrbnog lanca generirajući komercijalnu dobit uz postizanje što veće efikasnosti. Tradicionalan lanac opskrbe u maloprodaji prikazuje Slika 5.



Slika 5. Tradicionalni lanac opskrbe u maloprodaji

Izvor:[19]

Procesi u maloprodaji u prošlosti su se smatrali odvojenim funkcijama te se integracijom u opskrbni lanac uvidjelo nekoliko bitnih činjenica:

- pomak od *push* strategije k *pull* strategiji, reakcija na potražnju odnosno upravljanje opskrbnim lancem;
- kupci stječu veću ulogu u marketinškom kanalu;
- pojačana uloga informacijskih sustava za bolju kontrolu opskrbnog lanca;

- smanjenje nepotrebnih zaliha u opskrbnom lancu;
- fokusiranje na osnovnu djelatnost te prepuštanje ostalih aktivnosti outsourcingu.[20]

Da bi se postigla maksimalna učinkovitost lanaca opskrbe potrebna je integracija, tj. povezivanje prethodno odvojenih aktivnosti unutar jednog sustava. Tvrtke stoga moraju pregledati svoju unutarnju organizaciju kako bi uklonile dupliciranje i osigurale smanjenje ukupnih troškova, a ne dopustiti da zasebne funkcije kontroliraju svoje troškove na neoptimalan način. Slično tome, integracija lanca opskrbe može se postići uspostavljanjem kontinuiranog odnosa s trgovinskim partnerima diljem lanca opskrbe.

Može se reći da ključni koncepti unutar upravljanja lancem opskrbe uključuju lanac vrijednosti, teoriju temeljenu na resursima tvrtke, ekonomičnost transakcijskih troškova i teoriju mreže. Poticaj svih spomenutih koncepata je dobivanje konkurentске prednosti kroz učinkovitije upravljanje opskrbnim lancem. Cilj trgovaca i njihovih partnera u opskrbi je upravljanje lancem kako bi se stvorila vrijednost kupcu po prihvatljivom trošku.

Postoje tri dimenzije na vremensko utemeljenu konkurenciju kojima se mora učinkovito upravljati ukoliko organizacija želi reagirati na promjene tržišta [21]:

- vrijeme do tržišta: brzina pri privlačenju poslovne prilike na tržište;
- vrijeme usluge: brzina prilikom ispunjenja narudžbe kupca;
- vrijeme reakcije: brzina pri ispunjenju zahtjeva kod nestabilnosti u potražnji.

Spomenuta strategija o obzir uzima upravljanje vremenom te definira horizontalno i vertikalno vrijeme [21]:

- horizontalno vrijeme je vrijeme provedeno na procese kao što su proizvodnja, prijevoz, pakiranje ili obrada narudžbi;
- vertikalno vrijeme je vrijeme prilikom kojeg se ništa ne događa, nema dodane vrijednosti, postoje fiksni troškovi i proizvodi koje služe kao zalihe.

Zaključeno je da ako se tvrtke previše usredotoče na troškovne implikacije upravljanja opskrbnim lancem, one više naglašavaju troškovnu učinkovitost na štetu udovoljavanja zahtjevima potrošača. Budući da su opskrbni lanci postali složene mreže i mreže s kojima se upravlja dobavljačima, poslovna tendencija upravljanja

složenosti je usmjeriti se na troškovnu učinkovitost. Tvrdnje su da će tvrtke bolje poslovati ako kombiniraju svoje sposobnosti opskrbnog lanca s učinkovitostima lanca potražnje. Sugerira se da su lanci potražnje koji se usredotočuju na potražnju, kupce i tržište te trenutne i potencijalne proizvode i usluge, od vitalnog značaja za tvrtke, uključujući i trgovce. Kao što prikazuje Tablica 1, postoje razlike između procesa i pristupa prateće ponude i potražnje.[22] Neki tvrde da učinkoviti lanci opskrbe prema definiciji uključuju razmatranja potražnje. Svi modeli uključuju veze između koncepta ponude i potražnje. Upravljanje lancem opskrbe uključuje korištenje orijentacije potražnje i ravnoteže, te korištenje učinkovitih „lean“ i agilnih principa.[23]

Tablica 1. Usporedba lanca opskrbe i potražnje

LANAC OPSKRBE	LANAC POTRAŽNJE
Fokus na efikasnost, cijena po jedinici	Fokus na efektivnost i korisnika
Orijentiranost na izvršavanje procesa	Orijentiranost procesa na planiranje i stvaranje vrijednosti
Cijena kao ključni faktor	Profitabilnost kao ključni faktor
Orijentiranost na kratkoročno upravljanje	Orijentiranost na dugoročno upravljanje
Domena taktičkog upravljanja i logistike	Domena marketinga, prodaje i strateškog upravljanja
Fokus na trenutne resurse i ograničenja kapaciteta	Fokus na dugoročne mogućnosti, ne na trenutna ograničenja
Povijeni fokus na operativno planiranje i kontrolu	Povijesni fokus na upravljanje potražnjom i upravljanje lancem opskrbe

Izvor: [24]

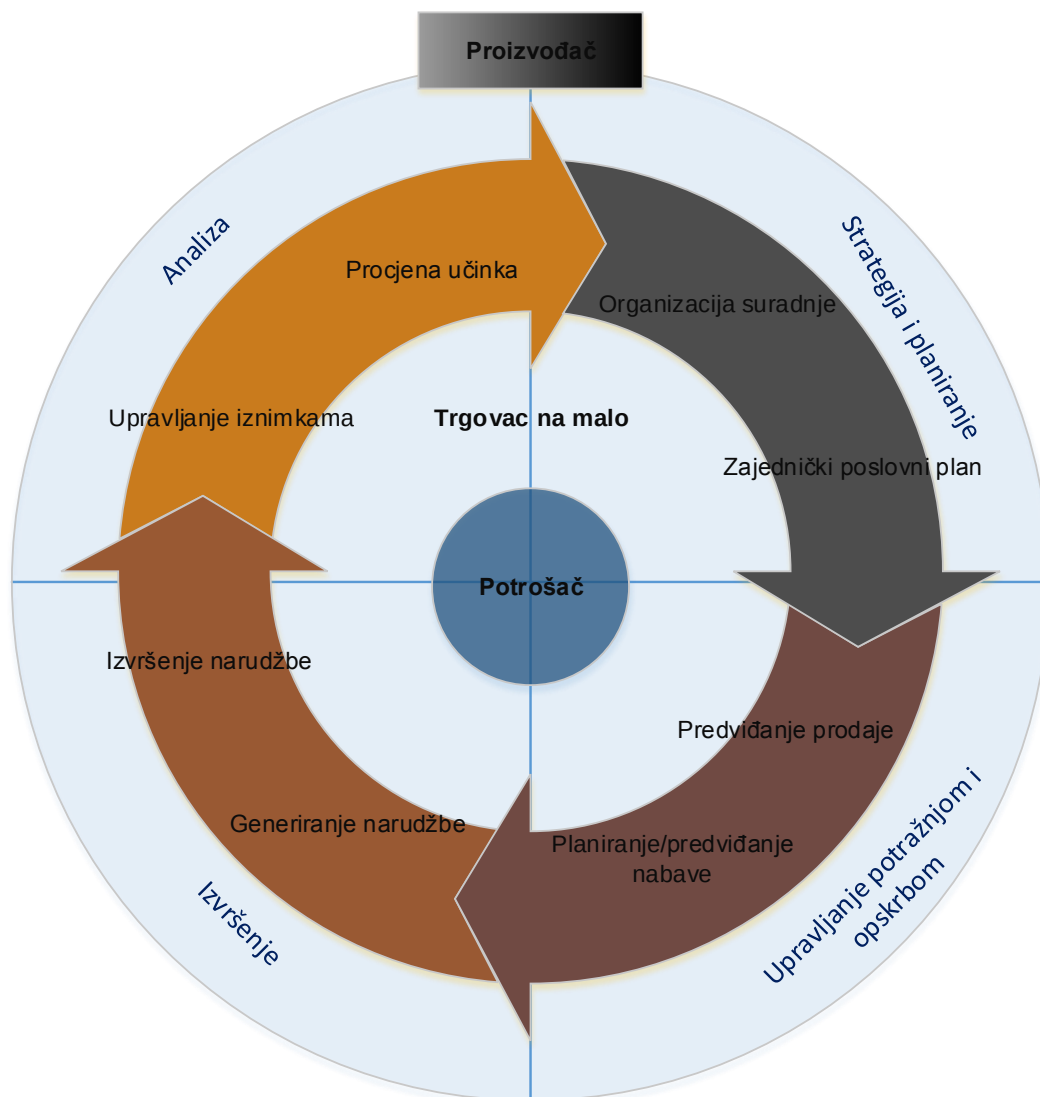
3.2 Logistika maloprodaje prehrambenim proizvodima

Smatra se kako Velika Britanija ima najučinkovitiji lanac opskrbe prehrambenim proizvodima u svijetu, što je ključni doprinos uspjehu i profitnoj margini trgovaca prehrambenim proizvodima. Logistička pretvorba maloprodaje u Velikoj Britaniji dogodila se u kratkom vremenskom razdoblju.[25] U prvoj fazi razvoja prije 1980. godine dominantna metoda distribucije odvijala se putem proizvođača koji su skladištili proizvode u tvornicama ili skladištima za višestruke isporuke u brojne trgovine. Budući da se broj trgovaca na malo povećavao, isti su odlučili uložiti u regionalne distribucijske centre kako bi konsolidirali isporuke dobavljača za daljnje isporuke u trgovine.

Spomenuto je bila prva promjena u nabavi robe široke potrošnje (*Fast-moving Consumer Goods* - FMCG) u kupnji i distribuciji. Ona je postala glavna funkcija u maloprodaji, a logistička infrastruktura stvorila je tržište za pružatelje logističkih usluga treće strane.[26]

Spomenuta promjena označila je uklanjanje dobavljača od kontrole opskrbnog lanca i povećala položaj snaga maloprodajnih trgovaca. Ovo razdoblje centralizacije tijekom osamdesetih godina omogućilo je trgovcima da smanje vrijeme isporuke, minimiziraju količine zalihe i omoguće veću dostupnost proizvoda kupcima u vlastitim trgovinama. U mnogim slučajevima zalihe su prebačene iz trgovina u distribucijske centre. Primjenom pravednih načela, trgovci su se počeli fokusirati na svoje primarne distribucijske mreže (od dobavljača do distribucijskog centra) zahtijevajući češće isporuke manjih količina. Navedeno je stvorilo problem za mnoge dobavljače iz razloga nemogućnosti isporuke kompletne količine proizvoda. Kako bi se osiguralo maksimalno iskorištenje vozila, središta za konsolidaciju su stvorena uzlazno od distribucijskih centara. Osim toga, trgovci su uspostavili programe prikupljanja roba direktno iz tvornica dobavljača kako bi prikupili proizvode na povratnim rutama iz trgovina.

Maloprodajne mreže nastavile su se razvijati a trgovci prehrambenih proizvoda povećali su porast protoka neprehrambenih proizvoda kroz svoje distribucijske centre. Veća razmjena informacija, posebice putem internetskih razmjena, poticala je zajedničko planiranje, prognoziranje i popunjavanje zaliha (eng. *Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment* - CPFR) za zadovoljenje potreba za smanjenjem vremena odgovora lanca opskrbe. Logistika maloprodaje u određenim državama osebnija je od drugih. Trgovci na malo ne samo da kontroliraju opskrbni lanac, već su preuzeli odgovornost za marketing koji je nekoć bio domena proizvođača, npr. razvoj proizvoda, branding, oglašavanje i distribucija. Visoka razina penetracije robnih marki maloprodajnih proizvoda im je omogućila izgradnju lojalnosti trgovine i preinaku u druge tvrtke poput bankarstva. Slika 6 prikazuje procesni CPFR model.



Slika 6. Prikaz CFPR procesnog modela

Izvor: [27]

U različitim zemljama vidljiva je ponuda fragmentiranih trgovina i očiti su različiti atributi izbora trgovine. Cijena i promocije ključni su pokretači izbora potrošača u SAD-u, Njemačkoj i Francuskoj u usporedbi s Velikom Britanijom. To znači da potrošač kupuje u većim količinama, a prodavač unaprijed kupuje promotivni fond roba koji treba biti smješten u distribucijskom centru. U spomenutim zemljama tržišni zemljišni i imovinski troškovi relativno su niski u usporedbi s Velikom Britanijom, tako da štednja u troškovima kupnje može nadmašiti dodatne troškove logistike. Kao glavni pokretači ovakvog načina poslovanja u svijetu su tvrtke Tesco i Wal-Mart. Tesco je integracijom logističkih usluga izravno stvorio pritisak svojim konkurentima u pogledu percepcije lanca opskrbe. Kako je Tesco stalno unaprjeđivao svoj lanac opskrbe Wal-Mart je

doživio svoje transformacijsko razdoblje u smislu logističke integracije kroz naprednu tehničku i tehnološku reorganizaciju lanca opskrbe.[28] Spomenute promjene dovele su do trenutno loših posljedica. Stanje bez zaliha roba (eng. *Out of stocks* - OOS) i slabe dostupnosti robe na policama trgovina (eng. *On Shelf Availability* - OSA) dovelo je do nezadovoljstva kupaca i gubitka tržišnog udjela. Nakon spomenutog Wal-Mart je ponovno oko 2000. godine vratio svoju poziciju na tržištu kroz oporavak koji se u velikoj većini temelji na povratku na tradicionalnije sustave i pristupe upravljanja logistikom.

3.3 Logistika modne industrije

Velik dio istraživanja u maloprodajnoj logistici usmjeren je na trgovinu hranom odnosno prehrambenim namirnicama zbog dominantnosti i položaja snage trgovaca hranom na tržištu.[29] Za modne trgovce, proces se razvio drugačije, uglavnom zbog različitosti prirode modnih tržišta. Christopher et al. (2004) identificira četiri obilježja modnog tržišta [30]:

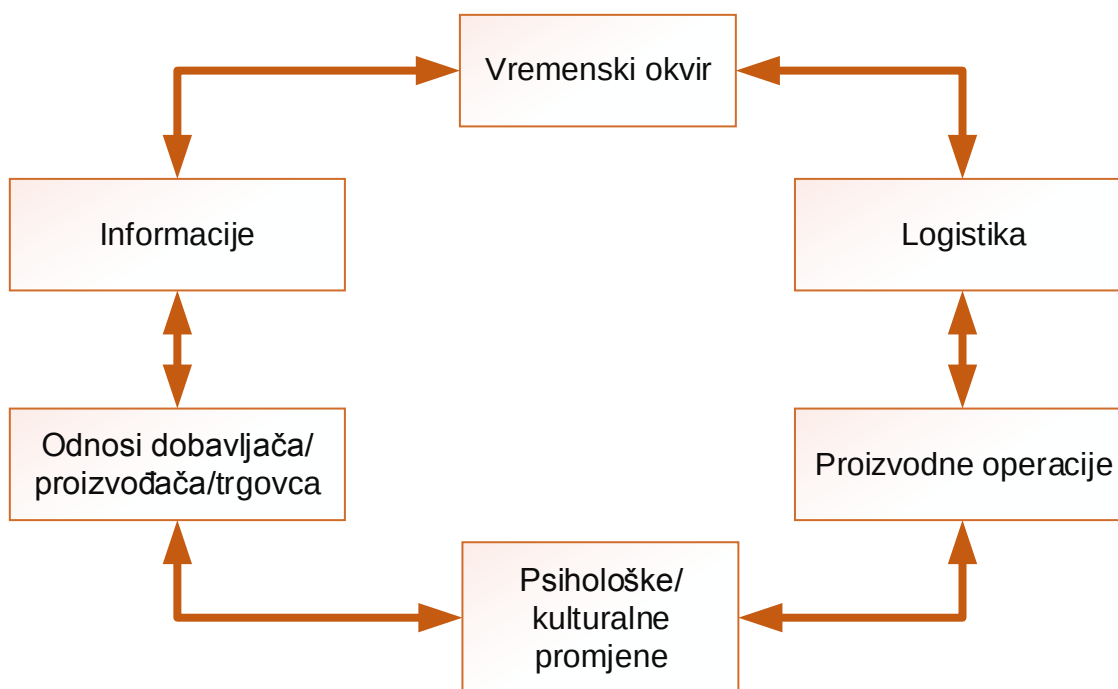
1. Kratki životni ciklusi. Proizvodi su dizajnirani da predstavljaju vremensko razdoblje ili trend, a to je kraći vremenski period.
2. Visoka volatilnost. Trendovi dobivaju i gube popularnost zbog događaja izvan kontrole modnih trgovaca, na primjer utjecaja slavne osobe.
3. Niska predvidljivost. Visoka volatilnost smanjuje sposobnost prognoziranja prodaje.
4. Visoka razina spontane kupnje. Potrošači stavljaju visoku hedonističku vrijednost na modnu robu pa iz toga proizlazi potreba za često neplaniranom kupnjom.

Dodatna karakteristika maloprodaje u modnoj industriji je inozemna nabava. Globalizacija lanca opskrbe tekstila i odjeće trenutačno se pojačava, s mnogim tvrtkama koje nabavljaju sirovine i gotove proizvode iz inozemstva.[31] To je pridonijelo uspjehu maloprodajnih tvrtki kao što su Zara, Hennes & Mauritz, New Look i Matalan, a među njima su i neki od prodavaonica prehrambenih namirnica, osobito George u grupaciji Asda, koji su 1990. godine pojavili kao jaki sudionici na britanskom modnom tržištu.[32] Povećana razina prijeteći od maloprodajnih trgovaca prisilila je druge britanske trgovce na malo (na primjer, prethodni tržišni lider Marks i Spencer) da

usredotoče svoju pozornost na trošak i pronađu načine za smanjenje cijene. Prirodna reakcija na to bilo je da proizvodnju za trgovce na malo premjeste u zemlje s niskim troškovima rada.[31] Navedeno je rezultiralo opsežnim i složenim opskrbnim lancem modnih proizvoda, a posljedično i dugim vremenima za nabavu modnih proizvoda zbog velike zemljopisne udaljenosti između proizvodnih i prodajnih tržišta.[32] Bez obzira na iznesenu problematiku modni trgovci smatraju da su prednosti troškovne cijene vanjske proizvodnje veći od negativnog utjecaja na produženo vremensko razdoblje potrebno za nabavu proizvoda.[33]

Tvrdnja je kako je kombinacija svih tih karakteristika utjecala na način na koji se logistički proces razvio za modne trgovce. Postizanje brzog odgovora najveće je važnosti. QR sustav razvijen je 1980-ih godina u SAD-u kao rezultat procjene da zbog neučinkovitosti u lancu opskrbe tvrtke godišnje gube oko 25 milijardi dolara. Čimbenici koji uzrokuju takve ogromne gubitke uključuju vremensko razdoblje između naručivanja proizvoda i njegovog prijema te posljedičnih poremećaja između prodaje, narudžbe, zaprimanja, dopunjavanja zaliha.[34]

Razvijene su QR strategije u pokušaju da se ubrza vrijeme koje je potrebno za obradu sirovina u gotove proizvode. QR je definiran kao poslovna strategija planiranja pokretana od strane potrošača za kooperativno upravljanje od strane partnera u lancu opskrbe koristeći IT i fleksibilnu proizvodnju kako bi se uklonile neučinkovitosti iz cijelog opskrbnog lanca.[35] QR je proces kojim dobavljači i maloprodajni partneri razviju uzajamno korisne i dugoročne veze kako bi se smanjili vremenski rokovi i pogreške u predviđanjima.[36] Španjolska modna marka Zara primjer je uspostavljene vertikalno integrirane maloprodaje pomoću QR metoda. Zara ulaže do 20% svog proračuna za kupnju zaliha šest mjeseci prije sezone, a ulaganje se povećava na 50% posto do početka sezone. Takav način poslovanja osigurava Zari fleksibilnost za preostalih 50% svog proračuna, omogućujući tvrtki da reagira na najnovije modne trendove. Rezultat je raspodjela novih zaliha u trgovinama svaka dva tjedna, potičući učestalije posjete kupaca. Cijeli posao je potaknut potražnjom a vrijeme odaziva od dizajna do proizvoda u trgovini može biti samo 21 dan.[37] Osnovne elemente QR sustava prikazuje Slika 7.



Slika 7. Osnovni elementi QR sustava

Izvor:[38]

Snažan odnos dobavljača i tehnologija nisu jedini faktori koji podupiru postizanje QR-a. Dodatni čimbenici opskrbnog lanca također mogu pridonijeti smanjenju vremena isporuke i pogrešaka predviđanja, oba važna elementa za postizanje QR poslovanja. Tvrdnje su da će agilni opskrbeni lanac smanjiti vrijeme isporuke i postići QR. Obzirom na specifičnosti, tekstilna i modna industrija se nužno ne uklapaju ni u vitku (eng. *lean*) ni agilnu (eng. *agility*) paradigmu. Stoga je nastao treći hibridni pristup opskrbnom lancu u kojem se zalihe održavaju u nekom generičkom ili modularnom obliku, a krajnji proizvod ili konfiguracija završava samo kada je poznat precizan zahtjev kupca.[39] Način odgađanja proizvodnje gotovog proizvoda podrazumijeva da trgovci na malo mogu generirati velike količine generičkih proizvoda iz zemalja s niskim troškovima proizvodnje i mijenjati ih bliže tržištu kada je zabilježena točna potražnja. Izazov za prodavača je precizirati izbor proizvoda koji će se tako tretirati te mjesto točke odgode u lancu proizvodnje i opskrbe. Postoji također potreba za izvrsnim podatkovnim sustavima te sposobnost brzog završavanja proizvoda.

4. SUVREMENA ORGANIZACIJA DISTRIBUCIJE MALOPRODAJNIH ROBA

Posljednjih godina uvođenjem inovacija te sve većim razvitkom i dostupnom tehnologijom došlo je do porasta internet prodaje. Iako neke brojke uključuju internet prodaju gdje trgovci svoje proizvode isporučuju u digitalnom obliku poput zrakoplovnih karata, ulaznica za manifestacije, itd. Od 1998. godine kada je internet trgovina u Velikoj Britaniji ostvarivala promet od 362 milijuna funti odnosno oko 0,2% tržišne prodaje, 2008. godina ta je brojka bila 19,5 milijardi funti odnosno 6,7% ukupne tržišne prodaje. Godine 2017. internet trgovina zauzima oko 17,8% od ukupne tržišne prodaje.[40]

Prognoze rasta internet trgovine uvijek je potaknuta potražnjom uz pretpostavku da će sve narudžbe biti moguće isporučiti uz razinu usluge i cijenu prihvatljivu krajnjem kupcu. U zadnjem desetljeću mnoge tvrtke koje su se bavile internet trgovinom nisu uspjele prvenstveno zbog nemogućnosti ispunjenja narudžbi uz isplative troškove.

Najveći logistički izazovi kojima se suočavaju tvrtke su distribucija prehrambenih proizvoda naručenih iz internet trgovina. Kod ovakve vrste trgovine i distribucije trgovci moraju složiti narudžbu od obično 60-80 artikala, unutar tri temperaturna režima od ukupne 10000 do 25000 artikala. Narudžba mora biti kompletirana unutar 12-24 sata te dostavljena kupcu unutar 2-satnog vremenskog okvira. U Velikoj Britaniji Tesco na ovakav način distribuira u prosjeku 250000 narudžbi svaki tjedan.[41]

Nove logističke tehnike osmišljene su kako bi se što više olakšalo poslovanje u maloprodajnoj elektronskoj trgovini. Internet kupovina neprehrambenih proizvoda zahtjeva manje logističke inovacije dok je kvalitetna i inovativna dostava u slučaju prehrambenih proizvoda ključan element uspjeha.

Povećavajući količinu robe koje se mora obrađivati, stvara se potreba za novim distribucijskim centrima i većim voznim parkom. Internet trgovina dopire do svih slojeva društva pa se i na taj način trgovci moraju prilagoditi različitim sociološko-ekonomskim stanjima. Kao izrazito važnu činjenicu potrebno je navesti kako kupci imaju visoka logistička očekivanja te zahtijevaju brzu i pouzdanu isporuku u prihvatljivom vremenskom periodu.[41]

4.1 Distribucija neprehrambenih proizvoda iz e-trgovina

Distribucija neprehrambenih proizvoda iz e-trgovina obično sadrži sljedeće karakteristike[42]:

- proizvodi se općenito isporučuju na dostavnu adresu kupca direktno s mjesta proizvodnje ili glavnog distribucijskog centra. Svaka narudžba sadrži mali broj artikala tj. najčešće jedan artikl. Slaganje narudžbe centralizirano je na nacionalnoj ili regionalnoj razini u regionalnom distribucijskom centru. Velik broj narudžbi kanalizira se kroz distribucijsku mrežu velikih pružatelja logističkih ili poštanskih usluga.
- Unutar distribucijske mreže svaka narudžba mora biti pojedinačno pakirana u središnjoj distribucijskoj točki odnosno distribucijskom centru. Navedeno povećava volumen i količinu ambalaže u opskrbnom lancu te zauzima više prostora u dostavnim vozilima u oba smjera, dostavnom i povratnom smjeru.
- Prilikom naručivanja neprehrambenih proizvoda putem e-trgovina, nastaje velik broj proizvoda vraćenih prodavatelju. Oko 30% neprehrambenih proizvoda naručenih putem e-trgovina vrati se prodavatelju. Navedeno zahtjeva dobru organizaciju povratne logistike koja obuhvaća prijevoz, provjeru, repakiranje te ponovnu redistribuciju vraćene robe.
- Uslijed velike količine vraćenih proizvoda potrebno je mnogo truda kako bi se navedeni proizvodi doveli u stanje koje omogućuje ponovnu prodaju te bili dostupni za prodaju putem e-trgovine.

Velike fluktuacije potražnje putem e-trgovina za određenim proizvodima, osobito određenim novim i popularnim artiklima mogu uzrokovati kolaps u distribucijskoj mreži. Primjer ovakvog stanja je distribucija novih knjiga o Harry Potteru kupljenih putem Amazon internet trgovine gdje se očekivala dostava deset tisuća knjiga na dostavne adrese kupaca prvog dana objavljivanja knjige poznatog serijala.[42]

4.2 Distribucija prehrambenih proizvoda iz e-trgovina

Za razliku od prosječne narudžbe neprehrambene robe koja sadrži jedan do tri artikla, prosječna narudžba prehrambene robe sadrži 60 do 80 artikala od kojih su mnogi pokvarljivi te zahtijevaju brzo izuzimanje i dostavu. Navedeno zahtjeva lokalizirano slaganje narudžbe na postojećem prodajnom mjestu ili namjenskom distributivnom centru.[42]

Glavna prednost korištenja postojećeg prodajnog mjesta u svrhu slaganja i otpremanja narudžbi je minimiziranje količina spekulativnih investicija u nove logističke objekte za koje je buduća potražnja neizvjesna. Bazirajući se na kućne dostave, organizacija svih operacija u postojećem prodajnom mjestu, omogućava trgovcima unaprijediti korištenje postojećeg prodajnog mjesta i resursa. Maloprodajno mjesto na ovakav se način može intenzivnije koristiti dodjeljivanjem zadataka prodajnom osoblju između radnji vezanih direktno za prodajno mjesto te radnji vezanih za internet trgovinu. Na ovakav se način mogu povezati zalihe robe namijenjene prodajnom mjestu i internet trgovini te unaprijediti upravljanje istima. Omogućava kupcima koji naručuju putem internet trgovine cijeli niz proizvoda koji su dostupni na prodajnom mjestu a koje su oni navikli kupovati. Još jedna velika prednost ovakvog načina poslovanja je što omogućava trgovcu veliku stopu zemljopisnog širenja, osigurava udio na tržištu te osvaja lojalnost kupaca puno brže od konkurenata koji koriste distributivni centar u svrhu distribucije proizvoda naručenih u internet trgovini.[42]

Primjer uspješnog poslovanja u Velikoj Britaniji primjenjuje Tesco koji svoje narudžbe distribuira direktno iz prodajnih mjesta. Američki Webvan planirao je izgraditi 26 novih automatiziranih distribucijskih centara vrijednih 35 milijuna dolara namijenjenih isključivo za distribuciju roba naručenih putem internet trgovine. Manje od pola centara je stavljeno u namjenu prije nego je kompanija 2001. godine doživjela bankrot.

Negativna strana integrirajući operacije konvencionalne i internet trgovine je to što mogu umanjiti razinu usluge za obje skupine kupaca. Kupac koji naručuje putem internet trgovine u nepovoljnom je položaju jer nema direktan pristup određenoj robi. Iako određeni proizvod može biti dostupan na polici prilikom kreiranja internet narudžbe, do trenutka kada djelatnik koji izvršava slaganje narudžbe treba s police

izuzeti isti, postoji mogućnost da već kompletna količina istog bude rasprodana. Tada se kupci u trgovini mogu odlučiti za alternativni proizvod dok kupci u internet trgovini nemaju tu mogućnost. U ovom se slučaju kupci u internet trgovini oslanjaju na trgovca koji treba isporučiti adekvatnu alternativu za željeni proizvod. Isporuka alternativne robe zbog nedostataka željene češća je kod ispunjavanja narudžbi s prodajnog mjesta u odnosu na distribucijski centar. Britanska tvrtka Ocado koja posluje putem distribucijskog centra tvrdi da je stopa isporuka alternativne robe manja od 5% dok je kod trgovaca koji posluju putem prodajnog mjesta stopa dvostruko veća.[43]

S druge strane sumnja se na dugoročnu održivost korištenja prodajnog mjesta za ispunjenje internet narudžbi. Kako se obujam internet trgovine s godinama povećava, sukob između klasične i internet trgovine će se intenzivirati. Police trgovina mogle bi postati okupirane osobljem koje obrađuje internet narudžbe te bi se izuzimanje proizvoda sa stopom visokog obrta trebalo locirati u skladištima prodajnih mjesta. U skladištima prodajnih mjesta može se pojaviti problem nedostatka prostora uslijed velike koncentracije robe i osoblja. Trgovine su do sada imale praksu ograničavati kapacitet skladišta te bazirati se na česte nadopune. U ovom bi se slučaju trgovine morale izgraditi sukladno integriranju klasične i internet trgovine. Prostorije locirane u prodajnom mjestu a namijenjene isključivo izvršavanju internet narudžbi u mnogim se europskim zemljama u slobodnom prijevodu nazivaju skladišne sobe (eng. *wareroom*).[44]

Većina izgrađenih distribucijskih centara za izvršavanje internet narudžbi izgrađeno je zasebno od prodajnih mjesta. Oni nude niz logističkih prednosti u odnosu na izvršavanje narudžbi u prodajnom mjestu. Budući da su njihove zalihe isključivo namijenjene internet uslugama, kupci mogu provjeriti dostupnost proizvoda u trenutku naručivanja i ako je potrebno izmijeniti njihovu listu za kupovinu. Funkcija izuzimanja artikala u distribucijskim centrima trebala bi biti brža i učinkovitija jer su posebno dizajnirani za tu namjenu. Kako bi bili troškovno učinkoviti, potrebno je da omogućavaju velik protok roba. Razina protoka roba također ovisi širini asortimana proizvoda. Vrlo je skupo ponuditi širok asortiman u ranoj fazi internet poslovanja za vrijeme niskih prodajnih količina. Ponuda koja ograničava širinu asortimana može smanjiti operativne troškove ali i odbiti kupce zbog nedovoljno atraktivne ponude.[42]

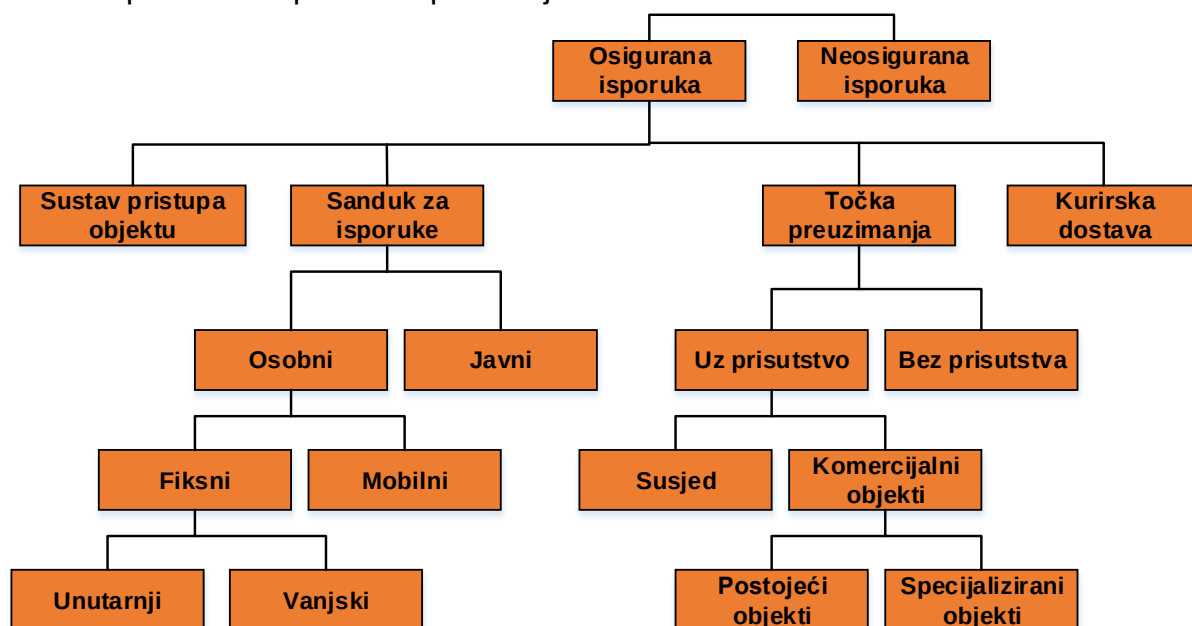
Nekoliko je studija pokazalo da je izvršavanje internet narudžbi putem prodajnog mjesta pogodnije u ranim fazama internet poslovanja.[45] Predstavlja strategiju niskog rizika te omogućava novo poslovanje uz relativno nizak trošak. S povećanjem volumena internet prodaje, trošak i opseg usluga distribucijskih centara postaje konkurentna opcija. Nekoliko je analiza za određivanje praga isplativost korištenja distribucijskog centra pokazalo da volumen internet prodaje mora biti izrazito visok. Tesco je spomenuti prag premašio u jugoistočnoj Engleskoj i 2006. godine otvorio prvi distribucijski centar namijenjen za distribuciju prehrambenih i neprehrambenih artikala iz njihovog asortimana. Naredno su otvorena još dva centra s planom otvaranja ukupno deset centara u područjima visoke gustoće naseljenosti.[46] Prag održivosti takvog poslovanja ovisi o veličini i prostornom planu trgovine, distribucijskom sustavu, veličini asortimana te vrsti korisnika. Faktor koji može dovesti do komplikacije je geografija maloprodajnog tržišta. Relativna učinkovitost prije je spomenuta za dva tipa izvršavanja narudžbi te ovisi o učestalosti i količini narudžbi. Na razvijenim internet tržištima distribucijski centri mogu služiti kao konurbacije dok se ruralna područja mogu posluživati iz postojećih prodajnih mjesta. Tesco je model trenutno najisplativiji na svjetskom tržištu maloprodajne internet trgovine. Opskrbljujući većinu svojih korisnika iz postojećih prodajnih mjesta Tesco dominira u Velikoj Britaniji u segmentu maloprodajne internet trgovine te razvija međunarodni portfelj usluga. Trenutno slovi kao najveći i najprofitabilniji svjetski maloprodajni internet trgovac. [45]

4.3 Određivanje optimalnog distribucijskog modela za kućne dostave

Pri donošenju konačne odluke o načinu isporuke krajnjem kupcu, tvrtka mora težiti prihvatljivoj i profitabilnoj ravnoteži između zadovoljstva kupaca, troškova distribucije i sigurnosti. Većina kupaca želi brzu i 100% pouzdanu isporuku. Navedeno bi smanjilo vrijeme čekanja te potrebu za čekanjem kod kuće kako bi zaprimili naručenu robu. Neki kupci spremni su platiti i veću cijenu dostave za unaprijed dogovorenu terminsku isporuku.

Odnos između raspona vremena dostave i transportnih troškova modeliran je za londonsko područje. Povećanjem dostavnog vremenskog okvira sa 180 minuta na 225 minuta i 360 minuta transportni troškovi smanjenu su za 6-12% i 17-24%.

Eliminacijom vremenskog okvira, ušteda troškova je trostruka.[47] Slično istraživanje provedeno za grad Helsinki pokazalo je uštedu troškova od 40% do 60% za slučaj dostava bez vremenskog okvira unutar 24 sata od trenutka izvršene internet narudžbe.[48] Takva se fleksibilnost može postići isključivo ako je dostupan sustav nadzirane isporuke. Procjenjuje se da u približno 50% do 60% britanskih kućanstava nitko nije kod kuće tijekom radnog dana. Prosječno 12% kućnih isporuka u Velikoj Britaniji ne uspije jer nema nikoga tko bi mogao zaprimiti robu stvarajući time trošak od približno 682 milijuna funti u 2006. godini i stvarajući neugodnost internet kupcima. Glavna dva čimbenika sustava su osigurana i neosigurana isporuka. Neosigurana isporuka podrazumijeva isporuku naručene robe izvan objekta korisnika, obično na skrivenom mjestu.[42] Ono smanjuje potrebu za povratom roba i ponovnom dostavom no povećava rizik od oštećenja ili krađe roba. Slika 8 prikazuje klasifikaciju sustava kućnih isporuka bez prisustva primatelja.



Slika 8. Klasifikacija sustava kućnih isporuka bez prisustva primatelja

Izvor:[42]

U slučaju odsustva primatelja na adresi isporuke što je najčešće kućna adresa, isporuka se može izvršiti na četiri sigurna načina[42]:

- korištenjem sustava pristupa objektu gdje dostavljač ovlašteno ulazi u objekt prema unaprijed određenim uvjetima te ostavlja narudžbu na dogovorenom mjestu;

- isporukom u dostavni sanduk koji može biti osobni i javni ovisno o mjestu isporuke;
- isporukom u lokalnu točku preuzimanja poput obližnje benzinske crpke ili drugog objekta posebno predviđenog za zaprimanje i izdavanje naručene robe;
- dostavom lokalnoj kurirskoj službi koja će izvršiti dostavu kada primatelj bude kod kuće.

Obzirom da su i dalje količine roba izrazito male za gradnju posebnih objekata za podizanje narudžbi ili ugradnju dostavnih sanduka, iste se najčešće vraćaju nazad trgovcu te se dostava izvršava u sljedećem dogovorenom terminu.

4.3.1 Ključni elementi u organizaciji kućnih dostava

Prilikom izvršavanja kućnih dostava, konsolidacijom velikog broja malih pošiljaka u dostavno vozilo, omogućuje se postizanje troškovne učinkovitosti. Trošak isporuke je opravdan samo ako postoji velika koncentracija narudžbi od klijenata koji se nalaze u neposrednoj blizini ili je vrijednost narudžbe dovoljno velika.[49] Međutim, konsolidacija većeg broja pošiljaka također stvara problem ostvarivanja troškovne učinkovitosti dostava. Prilikom odabira strategije potrebno je promotriti sljedeće elemente koji utječu na troškovnu učinkovitost kućnih dostava [50]:

- veličina područja posluživanja,
- frekvencija narudžbi,
- broj tvrtki koje pružaju usluge kućne dostave,
- prodor internet trgovine na tržištu,
- prosječnu veličinu narudžbe,
- trošak dostave,
- gustoću naseljenosti,
- prosječnu udaljenost od skladišta ili prodajnog mjesta do kupca,
- prosječnu udaljenost između kupaca,
- usmjeravanje vozila sukladno dogovorenim vremenima isporuka,
- vrijeme zadržavanja na lokaciji isporuke,
- vrijeme ukrcaja i iskrcaja,

- trošak po satu,
- stopu popunjenosti teretnog prostora vozila,
- kapitalne investicije.

Unatoč tome što svaki od navedenih elemenata može zasebno utjecati pozitivno ili negativno na željeni rezultat, isti mogu djelovati međusobno te time dodatno otežavati planiranje i izvođenje operacija dostava. Zbog navedenog problema trgovci se često okreću korištenju 3PL usluga te sklapanju partnerskih ugovora s logističkim tvrtkama koje u njihovo ime organiziraju i izvršavaju cijeli proces dostava roba.

4.3.2 Problem usmjeravanja vozila

Postizanje ekonomične organizacije maloprodajnih i prehrambenih roba naručenih putem internet trgovina vrlo je izazovan zadatak. Neke od prepreka su konstantne promjene lokacije isporuka, neuspjele isporuke zbog odsustva primatelja s adrese dostave, prometne gužve, velik broj dostavnih vozila, zabrane parkiranja te vrlo kratki vremenski okvir isporuke obećani kupcima.[51] Problem usmjeravanja vozila osim kod dostava prehrambenih proizvoda javlja se prilikom situacija kada vozilo mora obići velik broj lokacija kako bi prikupilo i dostavilo robu. Cilj usmjeravanja vozila je postići minimalne operativne troškove bazirajući se na visoku stopu dostava po satu te visoku stopu punjenja teretnog prostora vozila a u skladu s ponuđenom uslugom krajnjem korisniku. Rješenja za usmjeravanje vozila mogu se odrediti primjenom sljedećih osam načela [52]:

1. koristiti vozila s približno istim teretnim volumenom,
2. organizirati zaustavljanje vozila tako da čini usko područje posluživanja,
3. kreirati rute počevši od najudaljenije točke zaustavljanja od mjesta polaska,
4. točke zaustavljanja vozila trebaju činiti uzorak kapi, bez međusobnog presijecanja ruta prilikom dostava,
5. koristiti vozilo najveće nosivost tereta ili volumena za kreiranje najučinkovitije rute,
6. prikupi pošiljaka moraju biti dio dostavne rute a ne organizirana zasebno nakon završenih dostava,
7. zaustavljanje koje je uklonjeno iz rute vozila ima velik potencijal za alternativni način dostave,

8. potrebno je izbjegavati kratka vremenska razdoblja zaustavljanja.

Optimalno rješenje za problem usmjeravanja vozila intenzivno je istraživano te je jedan od najpoznatijih problema usmjeravanja vozila problem trgovačkog putnika (eng. *Travelling Salesman Problem* - TSP). Problem sadrži određen broj mjesta koje moraju biti posjećena od strane trgovačkog putnika koji se mora vratiti u početku točku. Svako mjesto mora biti posjećeno samo jednom te je cilj minimizirati ukupan prijedeni put.[53] Problem usmjeravanja vozila (eng. *Vehicle Routing Problem* - VRP³) proširenje je TSP-a. Cilj VRP-a je stvoriti set ruta za flotu vozila koja kreću iz centralnog skladišta te poslužuju set korisnika (gradova, trgovina, kupaca) s poznatom potražnjom uz postizanje minimalnog troška.[54] Rute moraju biti osmišljene tako da se svaki kupac bude poslužen jedanput od isključivo jednog vozila uzimajući u obzir činjenicu da ukupna potražnja svih točaka na ruti ne prelazi kapacitet vozila. Usmjeravanje i raspoređivanje vozila su tipično NP-teški problemi koji se prema općem uvjerenju ne mogu rješavati u polinomskom vremenu $t=Nk$, gdje je N dimenzija problema, a k konstanta. NP-teški problemi su teški iz razloga jer ne postoji algoritam koji bi ih riješio brzo i jednostavno te je potrebno isprobati sve moguće solucije kako bi otkrili koja daje najbolji rezultat.

Problem dostava na kućne adrese ima karakteristiku problema usmjeravanja vozila s vremenskim prozorima (eng. *Vehicle Routing Problem with Time Windows* - VRPTW⁴). Za razliku od VRP-a, kod VRPTW-a uključena je mogućnost odabira vremenskog prozora u kojem kupac želi da roba bude dostavljena što stvara dodatnu kompleksnost.[55] Vremenski prozor označava period najranijeg vremena dostave i najkasnijeg vremena dostave u kojem narudžba mora biti isporučena. Cilj je smanjiti prijedene udaljenosti vozila te ukupne duljine ruta sukladno smanjenju broja ruta što je često primarni kriterij. Kompleksnost VRPTW-a očituje se duljini ruta potrebnih za posluživanje svih korisnika u zadanim vremenskim okvirima te generiranom trošku uslijed čekanja na posluživanje u slučaju preranog dolaska na lokaciju. Dosadašnja istraživanja pokazala su kako je VRPTW problem optimalan za usmjeravanja vozila u gradovima kod kojih postoji komponenta vremena dostave.[55]

³ U daljnjem tekstu VRP

⁴ U daljnjem tekstu VRPTW

5. ELEKTRIČNA DOSTAVNA VOZILA

Električno vozilo tj. električno pogonjeno vozilo je vozilo koje koristi jedan ili više elektromotora za pogon. Električno dostavno vozilo je vozilo koje koristi alternativne izvore energije za pogon električnih motora i upravljačke motore za pogon, umjesto uobičajenih metoda pogona poput motora s unutrašnjim izgaranjem. Električna struja se koristi kao pogonsko gorivo za napajanje električnih vozila na akumulatore (EV). Električna vozila pohranjuju električnu energiju u uređaj za pohranu energije, kao što je baterija. Električna struja pokreće kotače vozila putem električnog motora. Električna vozila imaju ograničen kapacitet skladištenja energije, koji se moraju nadopunjavati priključivanjem na električni izvor. U daljnjem dijelu rada detaljnije su prikazani i objašnjeni tipovi električnih dostavnih vozila te njihova primjena.

5.1 Tipovi električnih vozila

Električna vozila mogu se klasificirati kao hibridna električna vozila (eng. *Hybrid Electric Vehicle* - HEV), baterijska električna vozila (eng. *Battery Electric Vehicle* - BEV) i električna vozila s gorivim ćelijama (eng. *Fuel Cell Electric Vehicle* - FCEV). Prednosti BEV i HEV vozila su njihova sposobnost korištenja elektromotora kao generatora energija kroz regenerativno kočenje odnosno povrat kinetičke energije te kroz formu kočenja bez trenja. FCEV također omogućavaju regenerativno kočenje u slučaju korištenja baterije uz gorive ćelije.[56]

Uzimajući u obzir samo punjiva električna vozila čija se baterija može puniti spajanjem na električnu mrežu (eng. *Plug-In Electric Vehicle* - PEV), vozila se dijele na baterijska električna vozila (BEV) i punjiva hibridna električna vozila (eng. *Plug-in Hybrid Electric Vehicle* - PHEV).[57]

5.1.1 Baterijska električna vozila

Baterijska električna vozila (BEV) pokreće jedan ili više električnih motora te koriste snagu koju pruža isključivo ugrađena baterija za pogon. Baterija se napaja iz električne mreže. Prednosti uključuju visoku energentsku učinkovitost i manju operativnu buku dok su tehnički nedostaci uglavnom relativno mala autonomija, odnosno mogućnost prelaska udaljenosti uz dugo vrijeme potrebno za punjenje baterije zbog njihove niske energetske gustoće.[58] Motori ovih vozila mogu proizvesti

veliki okretni moment pri niskim brzinama te su uglavnom približno tri puta učinkovitiji od motora s unutarnjim izgaranjem. BEV imaju mnogo manje pokretnih dijelova od vozila s unutarnjim izgaranjem te nisu potrebne redovite promjene ulja.[59]

Regenerativno kočenje omogućuje manje trošenje kočnica smanjujući time troškove održavanja. Tipični rasponi za teretni BEV variraju od 100 do 150 kilometara u jednom punjenju no s vremenom se smanjuju zbog starenja baterije. Čimbenici koji mogu smanjiti domet vozila su ekstremne temperature, velike brzine vožnje, velika ubrzanja te prijevoz teških tereta.[60]

5.1.2 Hibridna električna vozila

Hibridna električna vozila (HEV) mogu se klasificirati u skladu s njihovim pogonskim sklopom (serijski, paralelni, serijsko-paralelni, kompleksni), stupnju snage elektromotora te funkciji elektromotora (mikro hibridni, djelomično hibridni, potpuno hibridni).[61] U serijskoj konfiguraciji, motor s unutarnjim izgaranjem koristi se isključivo za pogon generatora dok je električni motor jedina pogonska komponentna spojena na osovinu pogonskog vratila. U paralelnoj konfiguraciji omogućeno je zajedničko spajanje motora s unutarnjim izgaranjem te električnog motora na osovinu pogonskog vratila te se mogu koristiti odvojeno ili istovremeno. PHEV je u osnovi PEV s većom baterijom koja se može puniti priključivanjem na električnu mrežu. Serijski PHEV se često referira kao električno vozilo s produljenim dometom (eng. *Extended Range Electric Vehicle* - EREV). EREV obično funkcionira na način da se energija baterije za pogon potpuno iskoristi prije pokretanja motora s unutarnjim izgaranjem koji služi za pokretanje generatora.[61] Paralelni PHEV omogućava kratki domet u rasponu od 30 do 60 kilometara s litij-ionskim baterijama no značajka je visoka hibridna pogonska iskoristivost.[62] PHEV se može predstaviti kao održiva prijelazna tehnologija jer omogućuje kratka putovanja u električnom načinu rada te alternativnim pogonskim gorivima za dulja putovanja.

5.1.3 Električna vozila s gorivim ćelijama

Kod električnih vozila s gorivi ćelijama (FCEV), gorive ćelije generiraju električnu energiju iz kemijske energije vodika čime se napaja električni motor ili puni baterija te nastaje nusprodukt u obliku vode.[61] Gorive ćelije su električni generatori dok su baterije uređaji za pohranu energije. Baterije se mogu koristiti za pohranu energije nastale uslijed regenerativnog kočenja te kao pomoć gorivoj ćeliji tijekom iznenadnih varijacija u opterećenju koju ćelija ne može podnijeti.[63] Vodik je potrebno pohraniti u plinovitom ili tekućem stanju te kroz fizičku ili kemijsku adsorpciju. FCEV također postiže vrlo tihi rad zahvaljujući samo nekoliko pokretnih dijelova no manje su učinkoviti od BEV jer vodik moraju pretvoriti u električnu energiju napajanja električnog motora.[64] Bez obzira na navedeno, FCEV vozila su učinkovitija od vozila pokretanih motorom s unutarnjim izgaranjem. Iskoristivost je približno 50% u odnosu na udio energije vodika tijekom pretvorbe u električnu energiju. FCEV se mogu dopuniti gorivom u nekoliko minuta te postići domet od nekoliko stotina kilometara s jednim spremnikom ukapljenog vodika. Gorive ćelije također mogu biti opcija za pomoćne jedinice kod konvencionalnih teretnih vozila. Trošak FCEV je još uvijek glavna tržišna prepreka za spomenutu tehnologiju. Još jedna značajna barijera je trajnost gorivih ćelija kojima je trenutni maksimum u najboljem slučaju oko 10000 operativnih sati.[64]

Usporedba svih tipova električnih vozila prikazana je u Tablici 2.

Tablica 2. Tehnička specifikacija tipova električnih vozila

	Mikro HEV	Djelomični HEV	Potpuni HEV	PHEV	EREV	BEV
Start-stop	da	da				
Pogonska pomoć		djelomično	da	da	da	
Regenerativno kočenje		djelomično	da	da	da	da
BEV vožnja			djelomično	da	da	da
Punjenje				da	da	da
Napon (V)	12	48+	200-300	300+	300+	300+
Snaga (kW)	2,5	10-20	50	60+	60+	60+
Poboljšanje efikasnosti (%)	2-4	8-11	20-35	50-60	>60	>60

Izvor:[65]

5.2 Komparativna analiza modela električnih dostavnih vozila

U mnogim se europskim zemljama koriste različita baterijska električna dostavna vozila te će u ovom dijelu rada biti prikazane karakteristike značajnijih i češće korištenih vozila u svrhu distribucije roba u urbanim sredinama. Karakteristike prikazane u tablicama poput nosivosti, dometa te drugih vrijednosti mogu varirati od podmodela vozila, uvjetima vožnje, konfiguraciji tereta te teretu koje vozilo nosi. Sve baterije su na bazi litija ukoliko nije drugačije specificirano. Svi podaci preuzeti su sa službenih stranica proizvođača.

Analiza se sastoji od 29 električnih vozila koja su pogodna za dostave u urbanim sredinama i gradskim središtima. Pojedina su vozila još uvijek u testnim fazama dok su pojedina već dostupna na tržištu.[66]

- MegaVan – vozilo proizvedeno od britanske tvrtke Mega već dulje vrijeme dostupno na tržištu, potpuno napunjena baterija omogućava domet od 150 km uz maksimalnu brzinu od 60 km/h. Nosivost od 600kg omogućava korištenje u svrhu dostava posljednje milje odnosno do kupaca, opskrbu HoReCa. Ekološki prihvatljivo vozilo, jeftino za održavanje, većinom se koristi u Velikoj Britaniji ali i u Francuskoj, Belgiji, Nizozemskoj i Njemačkoj
- e-Wolf Omega 0.7 – vozilo proizvedeno od njemačkog proizvođača e-Wolf koji je specijaliziran za proizvodnju električnih vozila. Omega 0.7 ima maksimalnu nosivost od 620kg, motor je pokretan jedinstvenom keramičko litijском baterijom koja omogućava bolji standard sigurnosti te može biti punjiva putem standardne električne utičnice. Domet vozila je 150 km s maksimalnom brzinom od 110km/h u ekonomičnom načinu vožnje do 90 km/h.
- Renault Kangoo Express Z.E. – električno dostavno vozilo proizvedeno od Renaulta; dostupno na tržištu od 2011. godine. Izrazito tih rad vozila, bez potrebe za ručnim mijenjanjem brzina, nudi male operative troškove te nula emisija štetnih plinova. Nosivost od 650 kg, stražnja dvostruka vrata te bočna klizna vrata omogućuju izrazito brz i jednostavan ukrcaj i iskrcaj robe. Maksimalni domet je 160 km te maksimalna brzina 130 km/h.
- Peugeot Partner Electric Van – dostupno vozilo na tržištu od 2013. godine. Gotovo jednakih gabarite kao i konvencionalni model omogućuje

maksimalnu nosivost tereta od 690 kg. Maksimalni domet je 170 km a maksimalna brzina 130 km/h.

- Ford Transit Connect Electric – vozilo proizvedeno od kompanije Ford Motor Company; izrazito pogodno za česta zaustavljanja što je specifično za isporuke u gradskim središtima. Najveća nosivost je 700 kg te se vozilo može napuniti putem standardne električne utičnice. Maksimalni domet je 129 km a maksimalna brzina 121 km/h.
- Streetscooter Work – električno dostavno vozilo proizvedeno od nizozemske tvrtke Spijkstaal Elektro B.V.; opremljeno litij ionskom baterijom; omogućava prelazak malih udaljenosti do 80 km ovisno o verziji vozila; maksimalna brzina vozila je 85 km/h te se trenutno koristi u tvrtkama Deutsche Post i DHL. Maksimalna nosivost je 700 kg.
- Piaggio Porter electric-power – izrazito tiho električno pokretano vozilo vrlo popularno u Europi. Pogodno za dostave pošte te paketnih pošiljaka. Nosivost vozila je 750 kg, brzina 57 km/h te domet do 110 km. Baterije omogućuju brzo punjenje koje traje samo 2 sata.
- Volkswagen e-Co-Motion – urbano vozilo razvijeno od Volkswagen grupe opremljeno s jednom od tri vrste baterija. Ovisno o potrebama korisnika osnovni modul od 20 kWh omogućava prelazak 100 km, 30 kWh omogućuje 150 km dok najveći domet pruža modul s 40 kWh koji omogućava prelazak 200 km. Nosivost vozila je 800 kg a maksimalna brzina 120 km/h.
- Mercedes Vito E-CELL – električno vozilo prvenstveno namijenjeno za korištenje u gradovima za pokrivanje manjih udaljenosti. Maksimalna brzina vozila je 80 km/h, nosivost 850 kg te maksimalni domet 130 km.
- Toyota EV Truck – električni kamion koji je rezultat suradnje između Toyota Motor Compny i Hino Motors; ima nosivost do 1000kg. Mali pogonski sklop nalazi se sprijeda dok je litij ionska baterija postavljena ispod teretnog prostora. Teretni prostor postavljen je 40 cm niže u odnosu na konvencionalni model što značajno olakšava ukrcaj i iskrcaj robe. Maksimalna brzina vožnje je 60 km/h.
- Boulder DV-500 – električni kamion koji dolazi u više varijanti. Kamion s pomičnom ceradom, kamion s tvrdim stranicama te frigo kamion.

Maksimalna nosivost je 1400kg, domet 160 km a maksimalna brzina od 120 km/h zbog čega privlači puno pozornosti na tržištu.

- Renault Maxity – teretno vozilo pogonjeno energijom iz litij ionske baterije elektronski limitirane brzine na 70 km/h, maksimalne nosivosti 1900kg te dometa do 100 km
- Boulder Delivery Truck 1000 – vozilo proizvedeno od američke tvrtke Boulder Electric Vehicle; opremljeno litij ionskim baterijama koje omogućavaju domet od 160km te trajnost od 500 000 km; maksimalna brzina je 120km/h a maksimalna nosivost 2700kg
- Renault Midlum EV – prototip električnog kamiona razvijen od Renaulta u suradnji s tvrtkama PVI i IFP Energies; testiran u dvije verzije: nosivost do 3000kg omogućava domet do 140 km te nosivost od 5500 kg omogućava domet do 1000 km uz maksimalnu brzinu do 100 km/h.

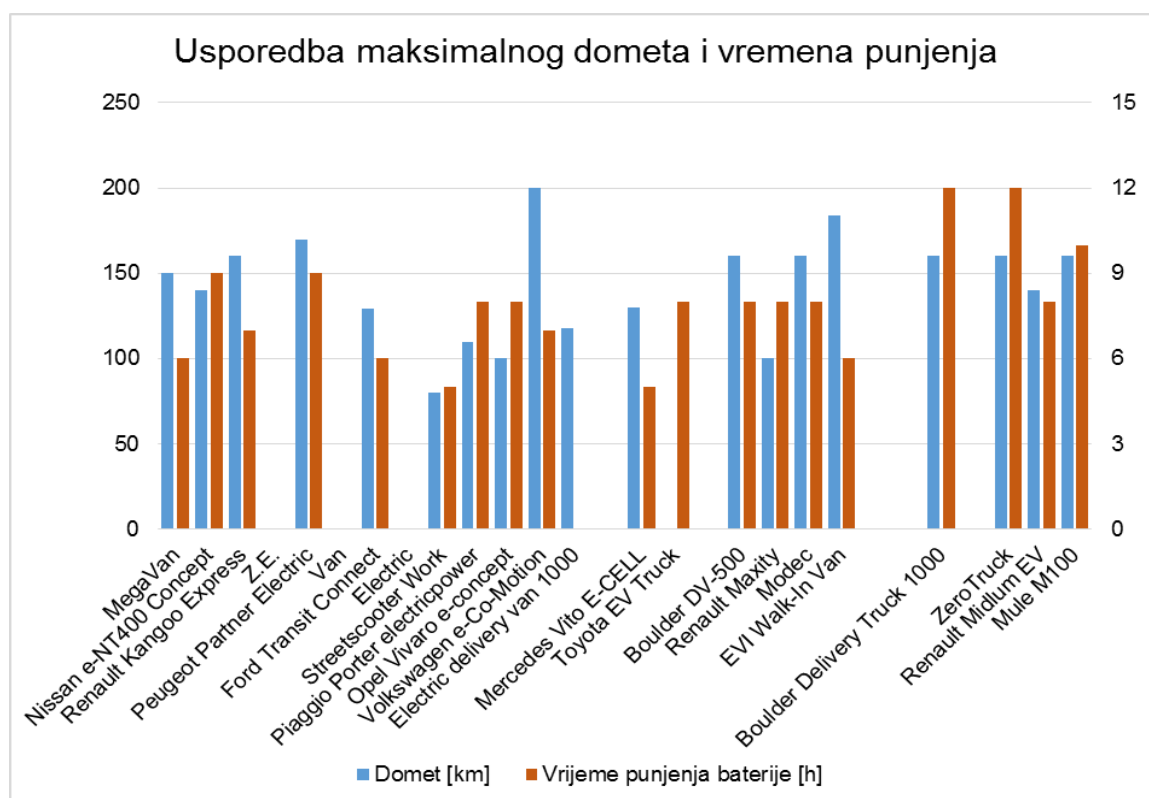
Osim gore navedenih vozila u Tablici 3. su prikazana i ostala električna vozila pogodna za gradske dostave.

Tablica 3. Tehničke karakteristike električnih dostavnih vozila

Model	Proizvođač	Maksimalna nosivost [kg]	Maksimalna brzina [km/h]	Domet [km]	Vrijeme punjenja baterije [h]	Cijena [EUR]
MegaVan	Mega	600	60	150	6	12800
Nissan e-NT400 Concept	ATLAS Concept	600	90	140	9	-
Renault Kangoo Express Z.E.	Renault	650	130	160	7	22800
Peugeot Partner Electric Van	Peugeot	690	130	170	9	17700
Ford Transit Connect Electric	Ford	700	121	129	6	14600
Streetscooter Work	Spijkstaal Elektro B.V.	700	85	80	5	16300
Piaggio Porter electricpower	Piaggio Porter	750	57	110	8	22300
Opel Vivaro e-concept	Opel	750	110	100	8	-
Volkswagen e-Co-Motion	Volkswagen	800	120	200	7	-
Electric delivery van 1000	Spijkstaal Elektro B.V.	830/965*	40	118	-	-

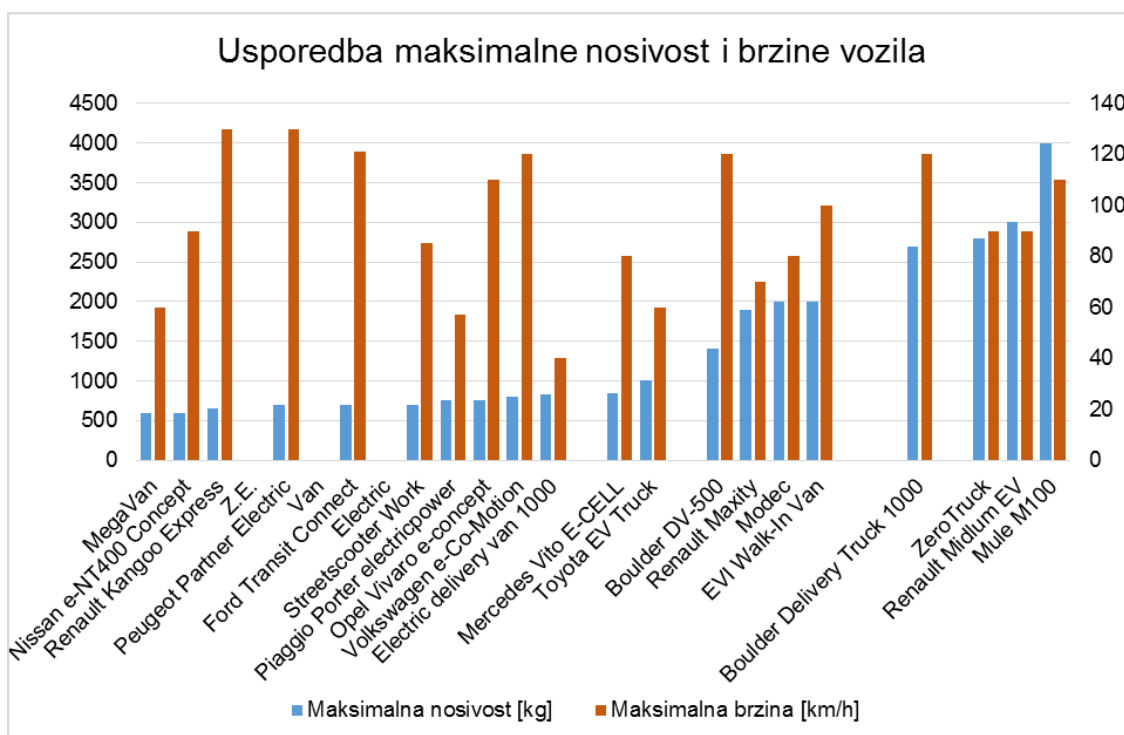
Mercedes Vito E-CELL	Mercedes	850	800	130	5	-
Toyota EV Truck	Toyota Motor Corporation/ Hino Motors	1000	60	-	8	-
Boulder DV-500	Boulder Electric Vehicle	1400	120	160	8	-
Renault Maxity	Renault/ PVI	1895	70	100	8	-
Modec	Modec	2000	80	160	8	30000
EVI Walk-In Van	Freightliner Custom Chassis Corporation/ Electric Vehicles International	2000	100	184	6	-
Boulder Delivery Truck 1000	Boulder Electric Vehicle	2700	120	160	12	70000
ZeroTruck	Electrionides	2800	90	160	12	-
Renault Midlum EV	Renault/ PVI/ IFP Energies	3000/5500*	90	140/100*	8	-
Mule M100	Balqon	4000	110	160	10	-

Izvor:[66]



Grafikon 1. Usporedba maksimalnog dometa i vremena punjenja

Izvor: Izradio i prilagodio autor



Grafikon 2. Usporedba maksimalne nosivosti i brzine vozila

Izvor: Izradio i prilagodio autor

Osim uspoređenih vozila te dobivenih omjera maksimalnog dometa i vremena punjenja baterije putem standardne strujne utičnice (Grafikon 1) te maksimalne nosivosti i brzine (Grafikon 2) neka od spomenutih vozila posjeduju mogućnost punjenja putem brzih punjača namijenjenih specijalno za punjenje električnih vozila. Kako bi isto moglo biti ostvareno, električna infrastruktura treba biti prilagođena posebno za tu namjenu. Na taj se način postiže izrazito kraće punjenje vozila te stavlja u mogućnost ponovno korištenje vozila u vrlo kratkom vremenu.

Korištenjem brzih punjača baterije određenih vozila mogu biti napunjene u roku od 30 minuta te ista spremna za vožnju sljedećih 150 kilometara. U slučaju gradskih dostava navedeno znači kako se u trenutku dok vozila čekaju ukrcaj pošiljaka ili se pošiljke ukrcavaju u vozila, ista mogla istovremeno puniti baterije. Time bi se skratilo vrijeme punjenja baterija, skratilo vrijeme čekanja potrebno da vozilo bude u operabilnom stanju, povećala iskoristivost vozila te smanjila potreba za većim brojem vozila u voznom parku. Ovakvim načinom povećava bi i financijska isplativost voznog parka jer bi vozila u jednom radnom danu mogao poslužiti puno veći broj korisnika u odnosu na vozila punjena putem standardne strujne utičnice. Tablica 4 prikazuje

električna vozila za gradske dostave s mogućnošću brzog punjenja baterije i njihove specifikacije.

Tablica 4. Tehničke karakteristike električnih dostavnih vozila s mogućnošću brzog punjenja

Model	Proizvođač	Maksimalna nosivost [kg]	Maksimalna brzina [km/h]	Domet [km]	Vrijeme punjenja baterije [min]	Cijena [EUR]
Mitsubishi Motors	Minicab i-MiEV	350	115	150	15-35	22354
Partner Panel Van	Peugeot	635	110	170	35	23000
Berlingo Electric	Citroen	695	110	170	30	24000
e-NV200	Nissan	705	120	170	30	20000
T-truck	Comarth	635	60	130	60	-

Izvor:[66]

5.3 Ekološki i ekonomski aspekti korištenja električnih vozila u gradskom teretnom transportu

Primjena električnih dostavnih vozila u gradskom transportu direktno je povezana s osnovnim prednostima korištenja vozila na električni pogon što uključuje [66]:

- mogućnost proizvodnje i korištenja energije iz bilo kojeg izvora;
- smanjenje emisija krutih i plinovitih čestica u atmosferu;
- smanjenje buke;
- veću energetska učinkovitost u odnosu na tradicionalna vozila;
- jeftinija proizvodnja pogonskih dijelova;
- jeftinije održavanje i korištenje;
- pružanje energetske neovisnosti;
- niski operativni troškovi ovisno o brzini vozila i cijeni od 1 kWh (troškovi vožnje udaljenosti 100 km oko 8,50 HRK);
- postojeća električna infrastruktura najbolje je razvijen dio prometne infrastrukture.

Važno je napomenuti određena ograničenja i prepreke koje treba prevladati kako bi se povećao interes za korištenjem električnih vozila. Oni se mogu podijeliti u tri osnovne skupine [66]:

- ekonomski čimbenici:

- troškovi kupnje vozila;
- troškovi proizvodnje energije za punjenje baterija;
- troškovi korištenja baterija;
- zabrinutost zbog sigurnosti koja proizlazi iz:
 - činjenice da mnogi sudionici u prometu ne čuju približavanje električnih vozila što dovodi do sudara i nesreća;
 - rizika od samozapaljenja baterije;
- operativne prepreke:
 - dugo vrijeme potrebno za punjenje baterije;
 - činjenica da puni potencijal električnih pogona još nije u potpunosti dosegnut.

Tablica 5 prikazuje ocjenu utjecaja električnih vozila u smislu održive mobilnosti.

Osim spomenutog, prepreke koje ograničavaju mogućnosti primjene svih vrsta električnih vozila su [67]:

- veći operativni troškovi uvođenja električnih vozila;
- mali kapacitet baterija;
- nerazvijena infrastruktura (odgovarajuće punionice za električna vozila);
- još uvijek nizak stupanj pouzdanosti i veći broj nedostataka u radu vozila.

Važno je napomenuti da se nabave električnih vozila trenutno najčešće financiraju javnim sredstvima. Privatni će pružatelji logističkih usluga biti skloni zamijeniti svoju postojeću flotu za flotu električnih vozila u slučaju da primijete pogodnosti za svoje tvrtke, odgovarajući broj punionica za vozila, marketinške pogodnosti za tvrtku te u slučaju da je tvrtka na određeni način direktno povezana sa zaštitom okoliša.[67] Mnogi su pružatelji logističkih usluga prisiljeni primijeniti spomenuta rješenja zbog administrativnih odluka kojima se zabranjuje ulazak u središta gradova svim dostavnim i teretnim vozilima koja nisu ekološki prihvatljiva ili pokretana na alternativne pogone. Ključne prepreke za učinkovito korištenje električnih dostavnih vozila u gradskom teretnom prometu proizlaze iz četiri temeljna problema [66]:

- visoke cijene vozila i baterija;
- dug vremenski period punjenja baterija;

- smanjen raspon putovanja uslijed trošenja baterije;
- slabo razvijena infrastruktura za punjenje baterija.

Masovnom proizvodnjom cijena vozila kroz određeni vremenski period od nekoliko godina trebala bi se smanjiti. Daljnjim razvitkom infrastrukture brzih punionica vremena potrebna za punjenje vozila trebala bi biti kraća. Proizvodnjom baterija većih kapaciteta koje bi omogućavale veću autonomiju vozila te prelazak većih udaljenosti, vozila bi trebala biti sve atraktivnija budućim korisnicima. Uklanjanjem svih trenutnih prepreka električna dostavna vozila trebala bi postati sve više korištena vozila prilikom gradskih dostava te distribucije roba u gradskim središtima.

Tablica 5. Ocjena utjecaja električnih vozila u smislu održive mobilnosti

Prijedlog		Utjecaj
Ekološki aspekti		
1.	Očuvanje klime	Vrlo veliki doprinos ukoliko se električna energija dobiva iz obnovljivih izvora
2.	Granice očuvanje prirode	Umjeren doprinos, korištenjem manjih vozila
3.	Korištenje obnovljivih izvora energije	Protivljenje korištenju biomase sve dok se ne koristi kao pogonsko gorivo
4.	Korištenje neobnovljivih izvora energije	Znatan doprinos zbog manje potrošnje sirovina u proizvodnji vozila
5.	Zdravstveni rizici	Vrlo velik doprinos zbog zanemarivih količina emisija i smanjenja buke
Ekonomski aspekti		
1.	Ekonomski efekti	U silaznom trendu, budući da su električna vozila nešto manjih gabarita
2.	Ostvarivanje potreba	Male promjene u odnosu na trenutnu situaciju
3.	Isplativost	Prikladne cijene, još uvijek skupe baterije
4.	Ovisnost o opskrbi sirovinama	Znatan doprinos iz razloga korištenja sirovina samo za proizvodnju
5.	Tehnička učinkovitost	Vrlo velik doprinos budući da je energija i produktivnost resursa (po tkm ili pkm) mnogo veća nego kod konvencionalnih vozila
Sociološki i kulturološki aspekti		
1.	Socijalna tolerancija	Neizvjesna prihvatljivost u ovom trenutku, vjerojatnost povećanja zbog rastućih cijena goriva i klimatskih problema
2.	Dugotrajna pouzdanost zaliha	Bolja perspektiva za budućnost zbog stjecanja neovisnosti o iscrpnim resursima
3.	Integracija u postojeće strukture	Potreba za velikim investicijama
4.	Sprječavanje sukoba	Vrlo velik doprinos zbog manje potrebe za uvozom energenata
5.	Sigurnost	Neizvjestan utjecaj

Izvor:[68]

6. ISTRAŽIVANJE TRŽIŠTA O KUPOVNIM NAVIKAMA I UTJECAJU NA OKOLIŠ

Sve većim razvitkom gradova te ubrzanim naseljavanjem velikog broja novih stanovnika dolazi do povećanja broja osobnih vozila na prometnicama. Velik broj vozila dovodi do nepovoljnog utjecaja na očuvanje okoliša, stvaranja prometnih gužvi te smanjenja sigurnosti u prometu. Širenje granica grada uzrokuje potrebu za putovanjem osobnim automobilom a osobito u dijelovima grada gdje javni prijevoz nije dobro organiziran ili su linije javnog prijevoza neučestale ili neredovite.

Odlasci u kupovinu osobnim automobilom jedan su od čimbenika koji bi mogao biti zamijenjen ekološki učinkovitijim načinom kupovine iz udobnosti svoga doma. Osim što bi se na taj način smanjila potreba za korištenjem osobnog automobila u svrhu odlaska u trgovinu, povećava bi se i svijest o ekološkim čimbenicima korištenja alternativnih načina transporta te električnim vozilima. Električna vozila u Hrvatskoj čine još uvijek zanemariv dio od ukupnog broja osobnih vozila te bi stoga tvrtke mogle promovirati pozitivne utjecaje korištenjem istih.

Prema posljednjim statističkim podacima za Republiku Hrvatsku, u 2017. godini ukupan broj registriranih hibridnih i električnih vozila iznosio je ukupno 3378 vozila. Navedena vozila podijeljena su u dvije skupine: L kategoriju koju čine laka vozila odnosno četverocikli, motori i mopedi te M1 kategoriju koju čine osobna i kombi vozila. Najveći broj električnih vozila svrstava se u L kategoriju, ukupno 469 registriranih vozila dok su u istoj kategoriji nalaze dva hibridna vozila. Najveći broj hibridnih vozila svrstava se u M1 kategoriju te je ukupno broji 2500 hibridnih vozila u spomenutoj kategoriji. U M1 skupini svrstava se još 277 električnih vozila te 132 hibridna vozila s vanjskih punjenjem. Električna vozila po brojnosti čine samo 1/9 u odnosu na hibridna vozila.[69]

Prijedlog modela uvođenja električnih dostavnih vozila na području grada Zagreba temelji se na vlastitom istraživanju navika kupaca s područja grada Zagreba te općenito korištenju osobnih vozila u svrhu kupovine. Cilj rada je istražiti mogućnosti implementacije električnih dostavnih vozila u svrhu dostava prehrambenih proizvoda na području grada Zagreba. Temeljem prikupljenih podataka potrebno je predložiti primjenjivi model za navedeno područje te prikazati pozitivne i negativne utjecaje primjene modela.

Istraživanjem i obradom podataka biti će prikazani utjecaji korisnika osobnih vozila uključuju ekološke, sociološke i ekonomske čimbenike. Predloženi načini organizacije distribucije roba unutar gradskog područja biti će izrađeni primjenjujući matematičke metode i modele za određivanje lokacija gradskih distribucijskih centara te usmjeravanja dostavnih vozila.

6.1 Metodologija istraživanja i prikupljeni podaci

Cilj istraživanja bio je prikupiti podatke o kupovnim navikama stanovnika grada Zagreba. Na temelju prikupljenih podataka bilo je potrebno napraviti analizu te obraditi iste u svrhu osmišljanja koncepta za uvođenje električnih dostavnih vozila u maloprodajnim lancima. U istraživanju su korišteni isključivo podaci stanovnika grada Zagreba. Anketni upitnik kreiran je putem internet stranice Google obrasci. Ispitivanje je provedeno u periodu od 20.1.2018. do 1.5.2018. Ciljana skupina za istraživanje bila je populacija starija od 25 godina, koja ima naviku kupovanja u maloprodajnim trgovačkim lancima te iste posjećuje osobnim vozilom.

Za određivanje isplativosti ulaganja i organizacije dostave prehrambenih proizvoda električnim vozilima bilo je potrebno istražiti kupovne navike stanovnika promatranog područja te volju za korištenjem internet trgovine u svrhu naručivanja proizvoda iz maloprodajnih lanaca. Ispitati svijest korisnika o ekološkim utjecajima korištenja dostavnih vozila te odrediti stopu prihvaćanja naplate dostava izuzetno je bitno jer može direktno utjecati na zainteresiranost i učestalost korištenja ovakvih usluga.

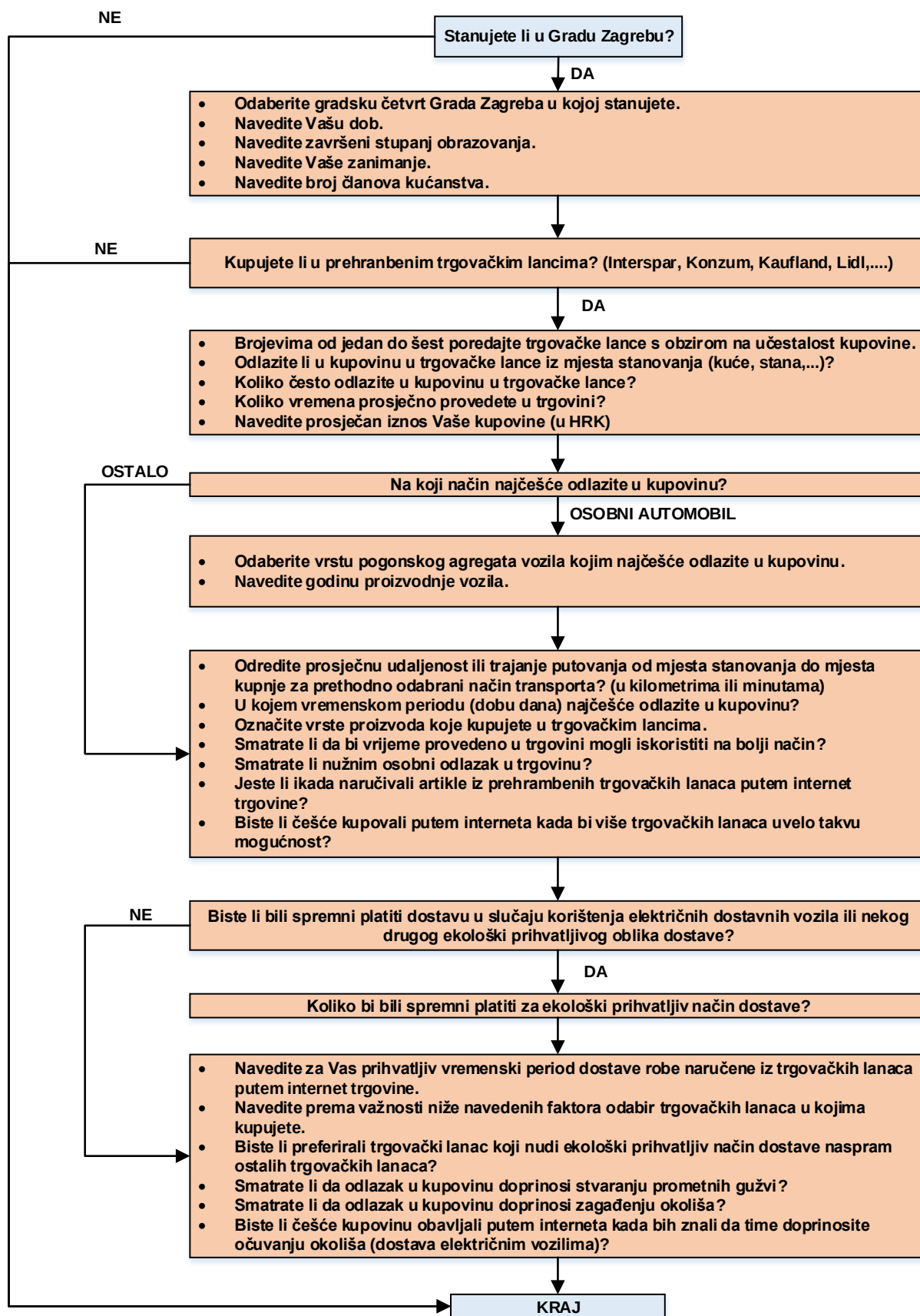
Tijekom provođenja istraživanja ukupno su anketirana 562 ispitanika. Od ukupnog broja ispitanika 475 ispitanika navelo je korištenje osobnog automobila u svrhu posjećivanja maloprodajnih trgovačkih centara. Prosječan tjedni broj posjećivanja u trgovina je 2,7 puta. Prosječna udaljenost u jednom smjeru od mjesta stanovanja do trgovine je približno tri kilometra.

Više od 90% ispitanika smatra kako korištenje automobila u svrhu posjećivanja trgovačkih centara doprinosi zagađenju okoliša i stvaranju prometnih gužvi no od toga bi samo 55% ispitanika bilo spremno koristiti internet trgovinu i dostave električnim

vozilima na kućnu adresu. Manje od 15% ispitanika spremno je platiti dostavu na kućnu adresu bez obzira na iznos narudžbe putem internet trgovine.

Osim podataka prikupljenih putem anketnog upitnika u istraživanju su korišteni podaci Državnog zavoda za statistiku. Demografski, ekonomski i sociološki podaci stanovništva u velikoj mjeri utječu na isplativost ulaganja i održivost modela te su stoga uvršteni kao bitan faktor pri postavljanju osnova modela i u krajnjem odlučivanju na pojedina pitanja.

Osim do sada iznesenih podataka, tijekom provođenja istraživanja prikupljeno je više od 18 tisuća odgovora na pitanja koja se nalaze u anketnom upitniku. Obzirom na količinu podataka u daljnjem dijelu rada biti će prikazani rezultati pojedinih saznanja važnih za postavljanje pretpostavki o načinu određivanja i primjeni modela. Slika 9 prikazuje dijagram toka kao slijedni prikaz anketnog upitnika.



Slika 9. Slijedni prikaz anketnog upitnika

Izvor: Izradio i prilagodio autor

6.2 Izračun emisija ispušnih plinova za područje grada Zagreba

Na temelju prikupljenih podataka iz anketnog upitnika izrađena je analiza emisije ispušnih plinova motornih vozila posjećivanjem maloprodajnih trgovačkih lanaca. Izračun emisija ispušnih plinova izrađen je korištenjem računalnog programa COPERT v5.1. COPERT je računalni alat namijenjen izračunu emisije ispušnih plinova cestovnih motornih vozila. COPERT je takozvani kalkulator za izračun emisija vozila odobren od strane Europske Unije. Koristi podatke stanovništva, vozila, prijeđene kilometraže, brzine i druge podatke kao što je temperatura okoline i izračunava emisije i potrošnju energije za određenu zemlju ili regiju. Međunarodno je priznat od mnogih europskih zemalja za istraživanje i objavu službenih podataka o emisijama vozila. Istraživački je alat koji izračunava emisije na nacionalnoj, regionalnoj ili lokalnoj razini od godišnjih do dnevnih procjena. Tehnološki napredna i transparentna metodologija COPERT-a objavljena je i recenzirana od stručnjaka Ekonomske komisije Ujedinjenih naroda za Europu (eng. *United Nations Economic Commission for Europe* - UNECE) i Konvencije o dalekosežnom prekograničnom onečišćenju zrak (eng. *Long-Range Transboundary Air Pollution* - LRTAP). Razvoj COPERT-a koordinira Europska agencija za okoliš (eng. *European Environment Agency* - EEA) na temu onečišćenja zraka i ublažavanje klimatskih promjena. Zajednički istraživački centar Europske komisije upravlja znanstvenim razvojem modela. COPERT je razvijen za službenu primjenu prikazivanja podataka emisija u cestovnom prometu u zemljama članicama Europskog gospodarskog prostora. Danas se primjenjuje za sva relevantna istraživanja, znanstvene i akademske svrhe.[70]

Na temelju unesenih podataka COPERT omogućuje detaljnu analizu emisija prema različitim kriterijima te ujedno nudi velik broj mogućnosti te prilagodbe unutar okruženja. Niže su navedeni i objašnjeni ulazni podaci za COPERT na temelju kojih je izrađen izračun i analiza.

Izračun i analiza izrađena u COPERTU sastojala se od seta podataka 475 ispitanika. Kako bi podaci za izračun u COPERTU bili ispravni, ispitanici su morali odgovoriti potvrdno na pitanje o korištenju osobnog vozila u svrhu posjećivanja maloprodajnih trgovačkih lanaca. Na taj su način u obzir uzeti isključivo podaci ispitanika koji koriste osobna vozila u svrhu odlaska u kupovinu.

Podaci iz ankete potrebni za izračun u COPERT-u prikazani su u tablicama. Tablica 6 prikazuje broj automobila prema vrsti pogonskog goriva i EURO standardu korištenih u svrhu posjećivanja maloprodajnih trgovačkih centara od strane ispitanika. U tablici je vidljivo da je od ukupnog broja automobila najviše automobila standarda motora EURO4 te da je u brojčanoj prednosti broj dizelskih goriva naspram benzinskih.

Tablica 6. Broj vozila prema vrsti pogonskog goriva i EURO standardu korištenih u svrhu posjećivanja maloprodajnih centara

	Ukupno	Benzin	Diesel
EURO2	67	26	41
EURO3	103	51	52
EURO4	135	63	72
EURO5	90	37	53
EURO6	80	23	57
Ukupno	475	200	275

Izvor: Izradio i prilagodio autor

Tablica 7 prikazuje broj prijeđenih kilometara u jednom tjednu prema vrsti pogonskog goriva i EURO standardu nastalih korištenjem osobnih vozila u svrhu posjećivanja maloprodajnih trgovačkih centara. Prema prikupljenim podacima, ispitanici tjedno osobnim vozilima u svrhu posjećivanja maloprodajnih centara prijeđu automobilima ukupno 8238 kilometara. Korisnici dizelskih vozila prijeđu 4930 kilometara dok korisnici benzinskih vozila prijeđu 3344 kilometara. Udaljenost koju u jednom tjednu prijeđe 475 ispitanika u Zagrebu kako bih obavili kupnju u trgovinama jednaka je udaljenosti pri letu zrakoplova od Londona do Los Angelesa.

Tablica 7. Broj prijeđenih kilometara u jednom tjednu prema vrsti pogonskog goriva i EURO standardu u svrhu posjećivanja maloprodajnih centara

	Ukupno	Benzin	Diesel
EURO2	1122	392	730
EURO3	1802	890	936
EURO4	2268	1116	1164
EURO5	1652	632	1020
EURO6	1394	314	1080
Ukupno	8238	3344	4930

Izvor: Izradio i prilagodio autor

Tablica 8 prikazuje broj prijeđenih kilometara u jednoj godini prema vrsti pogonskog goriva i EURO standardu nastalih korištenjem osobnih vozila u svrhu posjećivanja maloprodajnih trgovačkih centara. Ukupna godišnja udaljenost koju prijeđu ispitanici iznosi 428,376 kilometara.

Tablica 8. Broj prijeđenih kilometara u jednoj godini prema vrsti pogonskog goriva i EURO standardu u svrhu posjećivanja maloprodajnih centara

	Ukupno	Benzin	Diesel
EURO2	58344	20384	37960
EURO3	93704	46280	48672
EURO4	117936	58032	60528
EURO5	85904	32864	53040
EURO6	72488	16328	56160
Ukupno	428376	173888	256360

Izvor: Izradio i prilagodio autor

Tablica 9 prikazuje srednju prijeđenu udaljenost (u kilometrima) u jednoj godini po jednom vozilu prema vrsti pogonskog goriva i EURO standardu nastalu korištenjem osobnih vozila u svrhu posjećivanja maloprodajnih trgovačkih centara. Najveću godišnju prijeđenu udaljenost učine korisnici benzinskim vozilima EURO4 standarda te korisnici dizelskih vozila EURO5 standarda koja iznosi tisuću kilometara.

Tablica 9. Srednja prijeđena udaljenost (u kilometrima) u jednoj godini po jednom vozilu prema vrsti pogonskog goriva i EURO standardu u svrhu posjećivanja maloprodajnih centara

	Benzin	Diesel
EURO2	784,00	925,85
EURO3	907,45	936,00
EURO4	921,14	840,67
EURO5	888,22	1000,75
EURO6	709,91	985,26

Izvor: Izradio i prilagodio autor

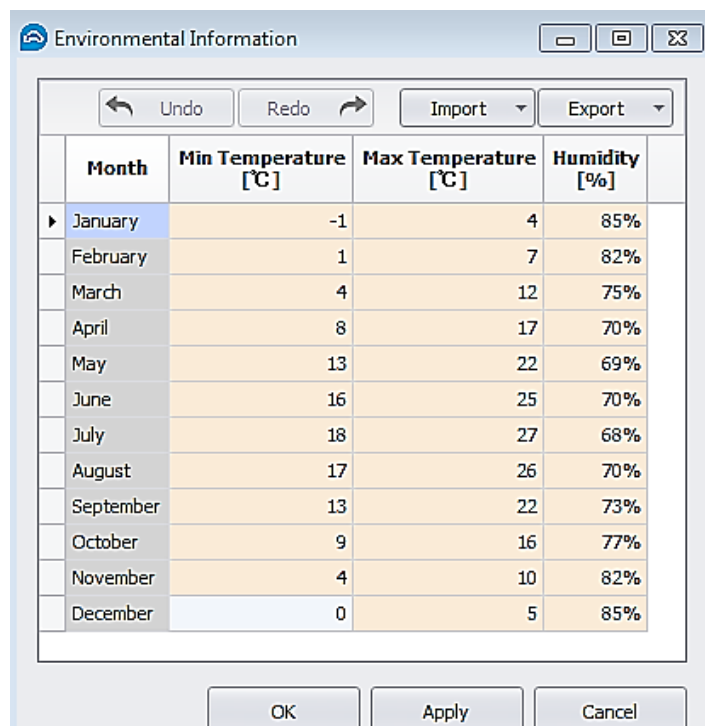
Tablica 10 prikazuje broj i udio ispitanika prema tjednom broju posjećivanja maloprodajnih trgovačkih centara. Udio od gotovo 50% ispitanika posjećuje trgovine osobnim automobilom dva do tri puta tjedna dok ostatak od 50% čine ispitanici koji posjećuju trgovine jednom, četiri ili pet puta tjedno. Cilj je smanjiti učestalost korištenja osobnih vozila za navedenu svrhu.

Tablica 10. Broj i udio ispitanika prema tjednom broju posjećivanja maloprodajnih centara

Broj odlazaka tjedno	Broj ispitanika	Udio
1	88	18,53%
2	111	23,37%
3	132	27,79%
4	87	18,32%
5	57	12,00%
Ukupno	475	100,00%

Izvor: Izradio i prilagodio autor

Potrebni ulazni podaci za izračun emisija su meteorološki podaci te su sukladno tome u COPERT uneseni podaci za 2017. godinu za Grad Zagreb dostupni na internet stranicama Državnog hidrometeorološkog zavoda ⁵. Slika 10 prikazuje sučelje



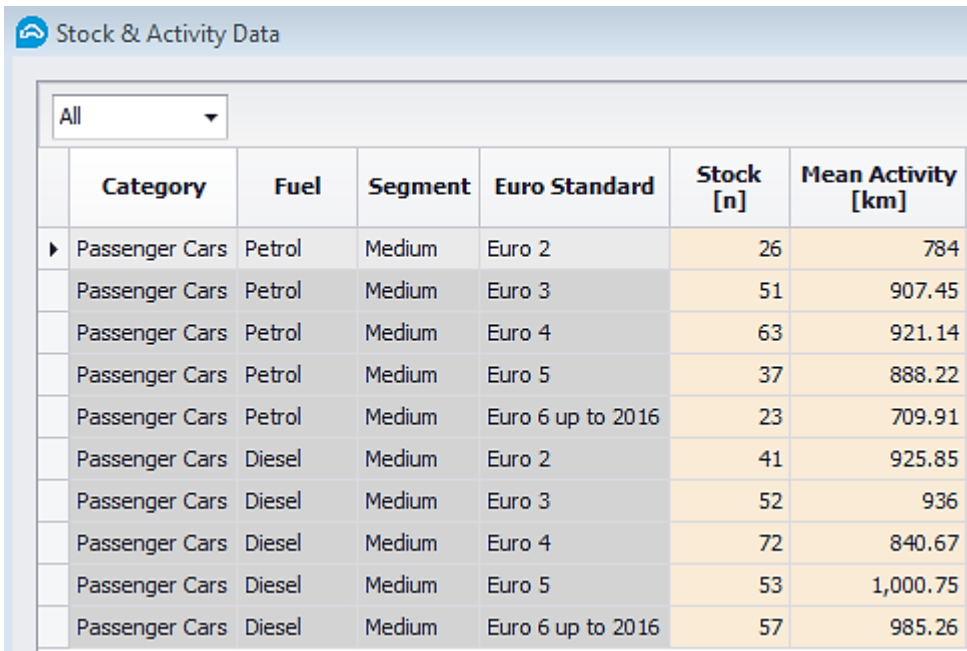
Slika 10. Sučelje COPERT-a za unos meteoroloških podataka

Izvor: Izradio i prilagodio autor

⁵ DHMZ, <http://meteo.hr/>

programa COPERT za unos meteoroloških podataka. Za sve izračune korišten je tip srednjeg osobnog vozila kako bi podaci bili što usklađeniji stvarnima.

Slika 11 prikazuje sučelje programa COPRET za unos broja vozila prema EURO standardu te srednju godišnju prijeđenu udaljenost po vozilu u svrhu posjećivanja maloprodajnih trgovačkih centara. Isti podaci prikazani su u Tablici 6.



	Category	Fuel	Segment	Euro Standard	Stock [n]	Mean Activity [km]
►	Passenger Cars	Petrol	Medium	Euro 2	26	784
	Passenger Cars	Petrol	Medium	Euro 3	51	907.45
	Passenger Cars	Petrol	Medium	Euro 4	63	921.14
	Passenger Cars	Petrol	Medium	Euro 5	37	888.22
	Passenger Cars	Petrol	Medium	Euro 6 up to 2016	23	709.91
	Passenger Cars	Diesel	Medium	Euro 2	41	925.85
	Passenger Cars	Diesel	Medium	Euro 3	52	936
	Passenger Cars	Diesel	Medium	Euro 4	72	840.67
	Passenger Cars	Diesel	Medium	Euro 5	53	1,000.75
	Passenger Cars	Diesel	Medium	Euro 6 up to 2016	57	985.26

Slika 11. Sučelje COPERT-a za unos podataka o aktivnostima vozila prema EURO standardu

Izvor: Izradio i prilagodio autor

Prema dobivenim podacima iz anketnog upitnika o vremenima posjećivanja maloprodajnih trgovačkih centara, od 475 ispitanika koji koriste osobna vozila u navedenu svrhu približno pola ispitanika maloprodajne centre posjećuje unutar perioda najvećeg prometnog zagušenja te pola izvan navedenog perioda u gradu. Period najvećeg prometnog zagušenja određen je vremenskim periodima 8:00-12:00 i 15:00-18:00. Period bez povećanog prometnog zagušenja određen je vremenskim periodima 12:00-15:00 i 18:00-21:00. U anketnom upitniku korisnici su mogli odabrati jedan od četiri ponuđena vremenska perioda:

- 8:00-12:00
- 12:00-15:00

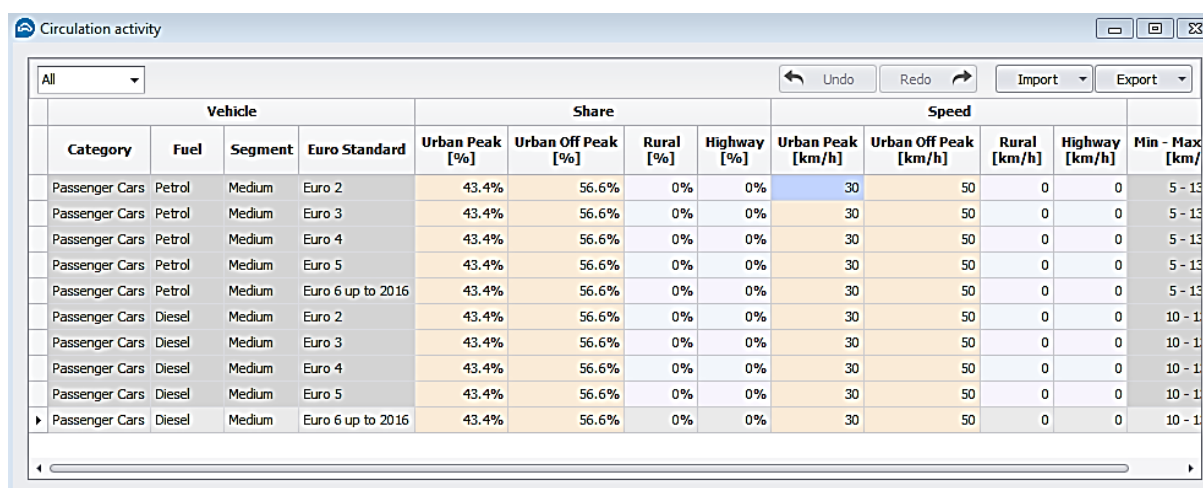
- 15:00-18:00
- 18:00-21:00

Tablica 11 prikazuje udio ispitanika prema vremenskom periodu posjećivanja maloprodajnih centara.

Tablica 11. Udio ispitanika prema vremenskom periodu posjećivanja maloprodajnih centara

Vremenski period	Udio
8:00-12:00	1,8%
12:00-15:00	7,3%
15:00-18:00	41,6%
18:00-21:00	49,3%

Izvor: Izradio i prilagodio autor



The screenshot shows the 'Circulation activity' window of the COPERT software. It contains a table with the following columns: Category, Fuel, Segment, Euro Standard, Urban Peak [%], Urban Off Peak [%], Rural [%], Highway [%], Urban Peak [km/h], Urban Off Peak [km/h], Rural [km/h], Highway [km/h], and Min - Max [km/h]. The table lists data for various vehicle categories, including Passenger Cars with Petrol and Diesel engines, categorized by Euro standards (Euro 2, Euro 3, Euro 4, Euro 5, Euro 6 up to 2016). The Urban Peak speed is consistently 30 km/h, and the Urban Off Peak speed is 50 km/h. The Rural and Highway speeds are 0 km/h. The Min - Max speed range is 5 - 13 km/h for most categories and 10 - 13 km/h for Diesel engines.

Category	Fuel	Segment	Euro Standard	Urban Peak [%]	Urban Off Peak [%]	Rural [%]	Highway [%]	Urban Peak [km/h]	Urban Off Peak [km/h]	Rural [km/h]	Highway [km/h]	Min - Max [km/h]
Passenger Cars	Petrol	Medium	Euro 2	43.4%	56.6%	0%	0%	30	50	0	0	5 - 13
Passenger Cars	Petrol	Medium	Euro 3	43.4%	56.6%	0%	0%	30	50	0	0	5 - 13
Passenger Cars	Petrol	Medium	Euro 4	43.4%	56.6%	0%	0%	30	50	0	0	5 - 13
Passenger Cars	Petrol	Medium	Euro 5	43.4%	56.6%	0%	0%	30	50	0	0	5 - 13
Passenger Cars	Petrol	Medium	Euro 6 up to 2016	43.4%	56.6%	0%	0%	30	50	0	0	5 - 13
Passenger Cars	Diesel	Medium	Euro 2	43.4%	56.6%	0%	0%	30	50	0	0	10 - 13
Passenger Cars	Diesel	Medium	Euro 3	43.4%	56.6%	0%	0%	30	50	0	0	10 - 13
Passenger Cars	Diesel	Medium	Euro 4	43.4%	56.6%	0%	0%	30	50	0	0	10 - 13
Passenger Cars	Diesel	Medium	Euro 5	43.4%	56.6%	0%	0%	30	50	0	0	10 - 13
Passenger Cars	Diesel	Medium	Euro 6 up to 2016	43.4%	56.6%	0%	0%	30	50	0	0	10 - 13

Slika 12. Sučelje COPERT-a za unos aktivnosti vozila i srednjim brzinama vožnje

Izvor: Izradio i prilagodio autor

Zbrojem udjela ispitanika po vremenskim periodima 43,4% posjećuje maloprodajne centre unutar perioda najvećeg prometnog zagušenja dok 56,6% posjećuje izvan perioda najvećeg prometnog opterećenja u gradu. Prosječna brzina kretanja vozila unutar perioda prometnog opterećenja je 30 km/h a izvan perioda prometnog opterećenja je 50 km/h. Slika 12 prikazuje sučelje COPERT-a za unos podataka o aktivnosti vozila te srednjim brzinama vožnje.

Prema ulaznim podacima za COPERT, izračunati su sljedeći podaci o emisijama ispušnih plinova za 2017. godinu za 475 vozila iz anketnog upitnika.

Prikazani podaci odnose se na emisije ugljikovog dioksida (CO₂), ugljikovog monoksida (CO) te dušikovih oksida (NO_x)⁶.

Tablica 12. Prikaz emisija ugljikovog dioksida (CO₂)

CO ₂	Emisija u periodu prometnog zagušenja [t]	Emisija izvan perioda prometnog zagušenja [t]	Ukupna emisija [t]
Osobni automobili	36,9723	41,3676	78,3399
Benzin	16,8182	18,9785	35,7968
Euro 2	1,866	2,1317	3,9977
Euro 3	4,3704	4,9829	9,3533
Euro 4	5,7271	6,421	12,1481
Euro 5	3,2433	3,6363	6,8796
Euro 6	1,6114	1,8066	3,418
Diesel	20,1541	22,3891	42,5432
Euro 2	3,024	3,4432	6,4672
Euro 3	3,8176	4,2222	8,0398
Euro 4	4,7475	5,2508	9,9983
Euro 5	4,1601	4,6011	8,7613
Euro 6	4,4049	4,8718	9,2767

Izvor: Izradio i prilagodio autor

Tablica 12 prikazuje emisiju CO₂ prema vrsti pogonskog goriva i periodu prometnog zagušenja za 475 vozila unutar jedne godine koristeći automobil u svrhu posjećivanje maloprodajnih trgovačkih centara. Emisija CO₂ za benzinska vozila unutar perioda prometnog zagušenja iznosi 16,81 tonu dok izvan perioda prometnog zagušenja iznosi 18,97 tona. Ukupna emisija CO₂ za benzinska vozila iznosi 35,79 tona. Emisija CO₂ za dizelska goriva u periodu prometnog zagušenja iznosi 20,15 tona dok u periodu izvan prometnog zagušenja iznosi 22,38 tona. Ukupna emisija CO₂ za dizelska goriva iznosi 42,54 tone. Ukupna emisija CO₂ u jednog godini za svih 475 vozila iz anketnog upitnika iznosi 78,33 tone nastalog u svrhu posjećivanja maloprodajnih trgovačkih centara na području grada Zagreba.

Tablica 13 prikazuje emisiju CO prema vrsti pogonskog goriva i periodu prometnog zagušenja za 475 vozila unutar jedne godine koristeći automobil u svrhu posjećivanje maloprodajnih trgovačkih centara. Emisija CO za benzinska vozila unutar perioda prometnog zagušenja iznosi 0,147 tona dok izvan perioda prometnog zagušenja iznosi 0,146 tona. Ukupna emisija CO za benzinska vozila iznosi 0,2938

⁶ U daljnjem tekstu CO₂, CO i NO_x

tona. Emisija CO za dizelska goriva u periodu prometnog zagušenja iznosi 0,0134 tona dok u periodu izvan prometnog zagušenja iznosi 0,019 tona. Ukupna emisija CO za dizelska goriva iznosi 0,0324 tone. Ukupna emisija CO u jednoj godini za svih 475 vozila iz anketnog upitnika iznosi 0,3262 tona nastalog u svrhu posjećivanja maloprodajnih trgovačkih centara na području grada Zagreba.

Tablica 13. Prikaz emisija ugljikovog monoksida (CO)

CO	Emisija u periodu prometnog zagušenja [t]	Emisija izvan perioda prometnog zagušenja [t]	Ukupna emisija [t]
Osobni automobili	0,1609	0,1653	0,3262
Benzin	0,1475	0,1463	0,2938
Euro 2	0,0333	0,0344	0,0678
Euro 3	0,0661	0,0649	0,131
Euro 4	0,0257	0,0247	0,0504
Euro 5	0,015	0,015	0,03
Euro 6	0,0073	0,0073	0,0146
Diesel	0,0134	0,019	0,0324
Euro 2	0,0059	0,0087	0,0146
Euro 3	0,0023	0,0032	0,0055
Euro 4	0,0023	0,0035	0,0058
Euro 5	0,0013	0,0017	0,0029
Euro 6	0,0016	0,0019	0,0035

Izvor: Izradio i prilagodio autor

Tablica 14 prikazuje emisiju NO_x prema vrsti pogonskog goriva i periodu prometnog zagušenja za 475 vozila unutar jedne godine koristeći automobil u svrhu posjećivanje maloprodajnih trgovačkih centara. Emisija NO_x za benzinska vozila unutar perioda prometnog zagušenja iznosi 0,009 tona dok izvan perioda prometnog zagušenja iznosi 0,01 tona. Ukupna emisija NO_x za benzinska vozila iznosi 0,0189 tona. Emisija NO_x za dizelska goriva u periodu prometnog zagušenja iznosi 0,0721 tona dok u periodu izvan prometnog zagušenja iznosi 22,38 tona. Ukupna emisija CO₂ za dizelska goriva iznosi 0,0837 tona. Ukupna emisija NO_x u jednoj godini za svih 475 vozila iz anketnog upitnika iznosi 0,1747 tona nastalog u svrhu posjećivanja maloprodajnih trgovačkih centara na području grada Zagreba.

Prema prikazanom vidljivo je kako je najveći polutant CO₂ koji se emitira u daleko najvećoj količini u odnosu na ostale prikazane polutante. Obzirom da su prikazani podaci za samo 475 ispitanika, količina emitirana u atmosferu tijekom jedne

godine u svrhu posjećivanja maloprodajnih trgovačkih centara je puno veća. Prema podacima Državnog zavoda za statistiku [81], u gradu Zagrebu postoji približno 303 000 kućanstava te je prosječan broj automobila po kućanstvu 1,3. Prema podacima iz istraživanja provedenog anketnim upitnikom i umnoškom broja kućanstava, godišnja emisija CO₂ iznosi približno 12 milijuna tona. Prema istim podacima godišnja emisija CO iznosi približno 175 000 tona a NO_x približno 31760 tona.

Tablica 14. Prikaz emisija dušikovih oksida (NO_x)

NO _x	Emisija u periodu prometnog zagušenja [t]	Emisija izvan perioda prometnog zagušenja [t]	Ukupna emisija [t]
Osobni automobili	0,0811	0,0936	0,1747
Benzin	0,009	0,01	0,0189
Euro 2	0,0026	0,0029	0,0055
Euro 3	0,0028	0,003	0,0059
Euro 4	0,0022	0,0026	0,0047
Euro 5	0,0009	0,001	0,0019
Euro 6	0,0005	0,0005	0,001
Diesel	0,0721	0,0837	0,1558
Euro 2	0,0118	0,0138	0,0256
Euro 3	0,0174	0,0188	0,0362
Euro 4	0,015	0,0184	0,0334
Euro 5	0,0149	0,0174	0,0324
Euro 6	0,013	0,0152	0,0282

Izvor: Izradio i prilagodio autor

7. ODREĐIVANJE LOKACIJE URBANOG DISTRIBUCIJSKOG CENTRA ZA PODRUČJE GRADA ZAGREBA

Lokacija ili područje urbanog distribucijskog centra ⁷ predstavlja temeljni čimbenik za mogućnost kvalitetne i učinkovite organizacije distribucije roba. Velika količina teretnog prometa unutar urbanih kretanja dovodi do zagušenja prometa i neučinkovitog transporta čime se smanjuje razina usluge i povećavaju troškovi distribucije. Intenzivan teret prijevoza u urbanim sredinama doprinosi onečišćenju i stvaranju nezdrave životne okoline. Prema podacima Europske unije, gradski teretni promet čini 18% od ukupnog prometa te doprinosi do 40% onečišćenju okoliša i stvaranju buke.[71] S ciljem poboljšanja učinkovitosti dostava te ublažavanja negativnih utjecaja teretnog prometa, osnivanje UDC-a predstavlja pogodno rješenje. UDC odvaja logističke aktivnosti unutar i izvan grada. Obzirom da će u ovom slučaju UDC predstavljati postojeća dva maloprodajna centra, bitno je napomenuti da se kriteriji za određivanje lokacije novog distribucijskog centra razlikuju od postojećeg primjera.

UDC je objekt smješten u urbanoj sredini sa svrhom distribucije robe u urbana područja. UDC se koristi za konsolidaciju procesa distribucije namijenjenu isključivo za urbana područja. Povećavajući iskoristivost teretnog vozila, dolazi do smanjenja potrebnih broja vozila te smanjenja troškova distribucije.[72] Upravo zato je potrebno odrediti ispravnu lokaciju UDC-a.

Određivanje lokacije distribucijskog centra predstavlja lokacijski problem. Lokacijski problem je problem određivanja broja i lokacija izvorišnih čvorova te rasporeda transporta određenog supstrata poput homogenih jedinica tereta, paleta, kartona, itd. iz N izvora, u kojima se supstrat nalazi u M odredišta, čiju potražnju za supstratom treba zadovoljiti koristeći raspoložive transportne putove po kriteriju najmanjih troškova.[73]

Određivanje lokacije distribucijskog centra najčešće se izvršava korištenjem metoda višekriterijskog odlučivanja. U ovom slučaju primijeniti će se AHP metoda. Više o AHP metodi prikazano je u daljnjem dijelu rada.

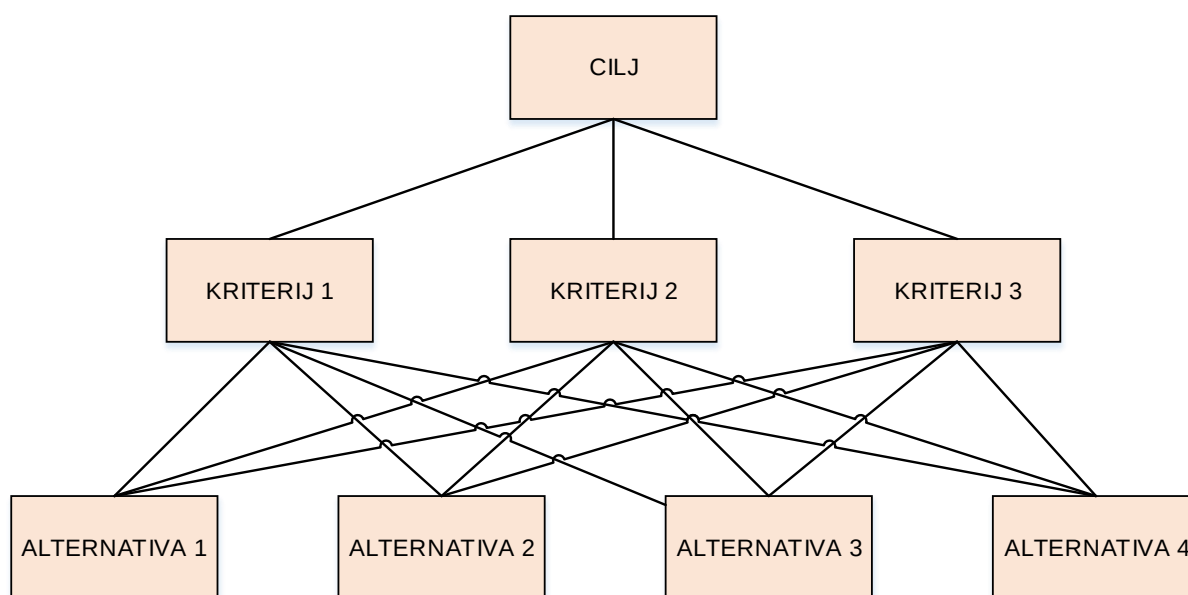
⁷ U daljnjem tekstu UDC

7.1 Teorijske osnove AHP metode

AHP metoda je metoda višekriterijskog odlučivanja namijenjena za rangiranje alternativa prema snazi lokalnih težinskih koeficijenata odnosno pondera u odnosu na pripadajući skup ili višu razinu utvrđenu hijerarhijskom strukturom. AHP metodu karakterizira dekompozicija strukture problema na elemente tj. kriterije koji se u AHP metodi međusobno uspoređuju u parovima pomoću unificirane Saatyve skale relativnih važnosti. Usporedba kriterija u parovima izvodi se radi određivanja lokalnih težina (prioriteta) elemenata na istoj razini pomoću odgovarajućeg modela.

Model odnosno hijerarhijsku strukturu AHP metode čine elementi pri čemu je na vrhu cilj, a na prvoj nižoj razini glavni kriteriji koji obuhvaćaju nekoliko podkriterija. Na najnižoj razini nalaze se alternative koji su unakrsno povezani sa glavnim kriterijima, odnosno podkriterijima. Rješavanje složenih problema odlučivanja pomoću ove metode temelji se na njihovoj dekompoziciji u hijerarhijsku strukturu, čiji elementi su cilj, kriteriji (podkriteriji) i alternative, nakon čega slijedi međusobna usporedba elemenata hijerarhije u parovima.[74] Kao druga važna komponenta AHP metode slijedi postupak određivanja težinskog faktora (prioriteta) svih elemenata koji su na istoj razini hijerarhijske strukture pomoću matematičkog modela.

AHP pruža interaktivnu analizu osjetljivosti postupka vrednovanja na konačne rangove elemenata hijerarhije. Pored toga, tokom vrednovanja elemenata hijerarhije, do završetka postupka i sinteze rezultata, provjerava se konzistentnost donositelja odluka i utvrđuje ispravnost dobivenih redova alternativa i kriterija, kao i njihovih težinskih vrijednosti.[74] AHP je višekriterijska tehnika koja se temelji na tumačenju složenog problema u hijerarhiji. Cilj je na vrhu hijerarhije, a kriteriji, podkriteriji i alternative su niže razine. Slika 13 prikazuje hijerarhiju cilja, tri kriterija i četiri alternative. Hijerarhija ne mora biti potpuna, npr. element na nekoj razini ne mora biti kriterij za sve elemente u tako da se hijerarhija može podijeliti u podhijerarhije kojima je zajednički jedino element na vrhu hijerarhije.[74]



Slika 13. Prikaz hijerarhije AHP metode

Izvor:[74]

Primjena AHP metode objašnjena je u četiri koraka [75]:

1. Razvije se hijerarhijski model problema odlučivanja s ciljem na vrhu, kriterijima i podkriterijima na nižim razinama, te alternativama na dnu modela kao što je prikazano na slici.
2. Na svakoj razini hijerarhijske strukture u parovima se međusobno uspoređuju elementi te strukture, pri čemu se preferencije donositelja odluke izražavaju uz pomoć odgovarajuće ljestvice koja ima 5 stupnjeva i 4 međustupnja verbalno opisanih intenziteta i odgovarajuće numeričke vrijednosti za njih u rasponu 1-9. Tablica 15 prikazuje Saatyjevu ljestvicu za usporedbe relativnih važnosti elemenata AHP modela.
3. Iz procjena relativnih važnosti elemenata odgovarajuće razine hijerarhijske strukture problema pomoću odgovarajućeg matematičkog modela izračunaju se lokalni prioriteti (težine) kriterija, podkriterija i alternativa koji se zatim sintetiziraju u ukupne prioritete alternativa.
4. Provodi se analiza osjetljivosti.

Tablica 15.Saatyjeva ljestvica

Intenzitet važnosti	Definicija	Objašnjenje
1	Jednako važno	Dvije aktivnosti jednako doprinose cilju
3	Umjereno važnije	Na temelju iskustva i procjena daje se umjerena prednost jednoj aktivnosti u odnosu na drugu
5	Strogo važnije	Na temelju iskustva i procjena strogo se favorizira jedna aktivnost u odnosu na drugu
7	Vrlo stroga, dokazana važnost	Jedna aktivnost izrazito se favorizira u odnosu na drugu; njezina dominacija dokazuje se u praksi
9	Ekstremna važnost	Dokazi na temelju kojih se favorizira jedna aktivnost u odnosu na drugu potvrđeni su s najvećom uvjerljivošću
2,4,6,8	Međuvrijednosti	

Izvor: izradio i prilagodio autor prema [75]

7.2 Matematički model AHP metode

Rezultati usporedbe elemenata na danoj razini hijerarhije smještaju se u odgovarajuću matricu usporedbe. Na primjer, ako se međusobno usporedi n elemenata u odnosu na odgovarajući element na neposredno višoj razini hijerarhije, tada se pri usporedbi elementa i u odnosu na element j putem Saatyjeve ljestvice određuje numerički koeficijent a_{ij} i smješta na odgovarajuću poziciju u matrici A :

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdot & \cdot & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdot & \cdot & a_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdot & \cdot & a_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \dots & \frac{w_2}{w_n} \\ \frac{w_3}{w_1} & \frac{w_3}{w_2} & \dots & \frac{w_3}{w_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Recipročna vrijednost rezultata usporedbe sa pozicionira na poziciji a_{ij} da bi se održala konzistentnost procjenjivanja, kao što prikazuje matematički izraz (1). Ako je element 1 apsolutno favoriziran u odnosu na element 2, na poziciji a_{12} matrice A dodjeljuje se znamenka 9, a na poziciji a_{21} dodjeljuje se recipročna vrijednost 1/9.

U matrici A element i može označavati kriterij, podkriterij ili alternativu dok n označava njihovu brojnost. Težinske koeficijente relativne važnosti w_i potrebno je odrediti na osnovu procjene vrijednosti njihovih omjera koji se označavaju matematičkom notacijom $a_{ij} = w_i/w_j$ gdje vrijedi za $i, j = 1, \dots, n$. Od omjera relativnih važnosti a_{ij} formira se matrica relativnih važnosti A . Prema Saatyju, da se iz matrice odredi vrijednost težinskih koeficijenata $w_i = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ predloženo je da se iz matrice odredi njena najveća svojstvena vrijednost λ_{max} . Odgovarajući vektor svojstvenih vrijednosti matrice može se zatim uzeti kao vektor približnih vrijednosti težinskih koeficijenata. Matrica za slučaj konzistentnih procjena $a_{ij} = a_{ij} \cdot a_{kj}$ zadovoljava jednadžbu:

$$\begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \dots & \frac{w_2}{w_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = n \times \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} \quad (2)$$

gdje je w vektor težina.[74]

Vektor w može se dobiti rješavanjem sustava homogenih linearnih jednadžbi

$$Aw = nw \quad (3)$$

Kada bih postojala mogućnost da se precizno odrede vrijednosti težinskih koeficijenata svih elementa koji se međusobno uspoređuju na određenoj razini hijerarhije, vrijednosti matrice (1) bile bi potpuno konzistentne. To znači da ako je ako je kriterij A velikog značaja od kriterija B, B velikog značaja od kriterija C, tada bi A trebao biti ekstremno velikog značaja u odnosu na C. Obzirom da čovjek nije uvijek konzistentan, AHP metoda koristi postupaj određivanja konzistentnosti.

Da bi se izračunao vektor konzistentnosti (CR) prethodno je potrebno izračunati indeks konzistentnosti prema notaciji:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1} \quad (4)$$

gdje je λ_{max} maksimalna vrijednost matrice usporedbe. Što je λ_{max} bliže broju n , manja će biti nekonzistentnost.[75]

Da bi se odredio λ_{max} , potrebno je pomnožiti matricu usporedbe s vektorom težinskih koeficijenata kako bi se odredio vektor b

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdot & \cdot & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdot & \cdot & a_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdot & \cdot & a_{mn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ b_n \end{bmatrix} \quad (5)$$

Dijeljenje elemenata vektora b i w dobiva se:

$$\begin{bmatrix} \frac{b_1}{w_1} \\ \frac{b_2}{w_2} \\ \cdot \\ \cdot \\ \frac{b_n}{w_n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \lambda_n \end{bmatrix} \quad (6)$$

a nakon čega se konačno dobiva izraz za maksimalnu svojstvenu vrijednost matrice:

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (7)$$

Uvrštavanjem izraza (7) u (4) moguće je izračunati indeks konzistentnosti CI a zatim i stupanj konzistentnosti i CR , koji predstavlja omjer indeks konzistentnosti i slučajnog indeksa RI [74]:

$$CR = \frac{CI}{RI} < 0,1 \quad (8).$$

7.3 Primjena AHP metode u određivanju lokacije urbanog distribucijskog centra na području grada Zagreba

Prikupljenim podacima tijekom istraživanja pokušat će se, primjenom AHP metode odrediti optimalna lokacija urbanog distribucijskog centra na području grada Zagreba. Svrha UDC-a bila bi omogućiti kvalitetno i efikasno posluživanje kupaca koji proizvode iz maloprodajnih trgovačkih centara kupuju putem internet trgovina. Lociranje UDC-a u ovom istraživanju nije direktno vezano niti uz jedan maloprodajni trgovački lanac koji je dostupan na području grada Zagreba. Ovaj model pokušava odrediti optimalnu lokaciju UDC-a u svrhu smanjenja prometnih gužvi, očuvanja urbanog okoliša te razvijanja svijesti o pozitivnim učincima korištenja električnih dostavnih vozila u urbanim sredinama.

Na temelju istraživanja te prethodno spomenutih činjenica odabrana su četiri kriterija za određivanje lokacije UDC-a primjenjujući AHP metodu:

1. Broj stanovnika – broj populacije nastanjene u pojedinima dijelovima odnosno zonama grada
2. Broj potencijalnih korisnika – broj populacije u određenoj zoni grada koja je starija od 18 godina te se izjašnjava kao informatički pismena
3. Infrastruktura – postojeći broj maloprodajnih trgovačkih centara (hipermarketa, supermarketa) u kojima bi se mogle obavljati logističke aktivnosti za distribuciju roba
4. Veličina područja posluživanja – površina određene zone grada u kojoj bi se obavljala distribucija.

Grad Zagreb podijeljen je u pet zona koje predstavljaju pet alternativa za odabir lokacije UDC-a kao što je prikazano na Slici 14. Zone podijele grada Zagreb su:

- Sjever;
- Istok;
- Zapad;
- Jug;
- Centar.

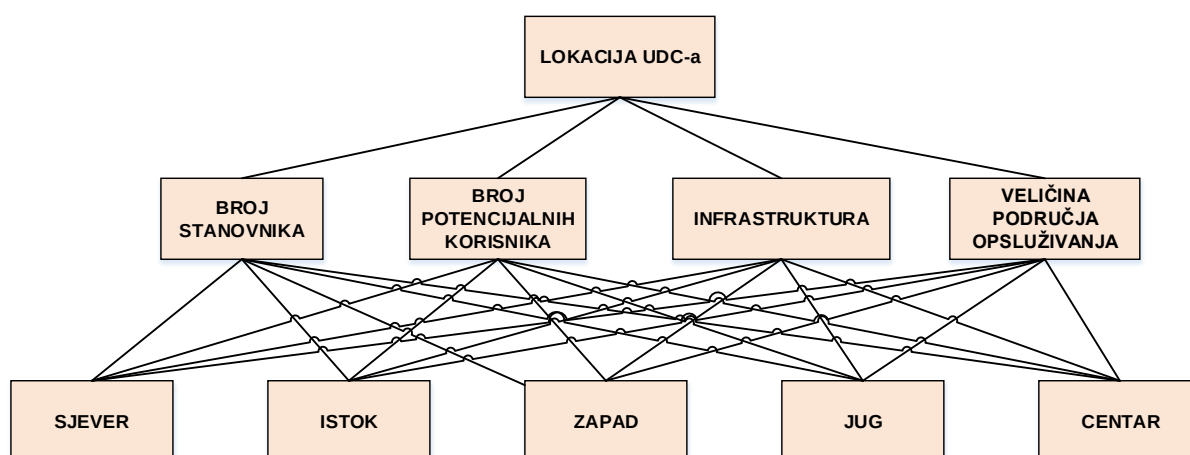


Slika 14. Zemljopisni prikaz područja grada Zagreba
Izvor: [76]

Sukladno zemljopisnom položaju gradskih četvrti, obuhvat gradskih četvrti po zonama je sljedeći:

- Sjever – Podsljeme
- Istok – Maksimir, Peščenica - Žitnjak, Gornja Dubrava, Donja Dubrava, Sesvete
- Zapad – Trešnjevka Sjever, Trešnjevka Jug, Črnomerec, Stenjevec, Podused-Vrapče
- Jug – Novi Zagreb – Zapad, Novi Zagreb – Istok, Brezovica
- Centar – Gornji Grad – Medveščak, Donji Grad, Trnje

Prema prikazanim kriterijima i alternativama, na Slici 15 je prikazan osnovni model problematike.



Slika 15. Model određivanja lokacije UDC-a primjenom AHP metode
Izradio i prilagodio autor

Kao početak AHP metode potrebno je postaviti matricu usporedbe kriterija za određivanje lokacije UDC-a. Tablica 16 prikazuje matricu usporedbe kriterija u parovima prema prikazanom problemu.

Tablica 16. Usporedba kriterija za određivanje lokacije UDC-a

	Broj stanovnika	Broj potencijalnih korisnika	Infrastruktura	Veličina područja posluživanja
Broj stanovnika	1,000	3,000	4,000	7,000
Broj potencijalnih korisnika	0,333	1,000	5,000	6,000
Infrastruktura	0,250	0,200	1,000	3,000
Veličina područja posluživanja	0,143	0,167	0,333	1,000
Suma	1,726	4,367	10,333	17,000

Izvor: Izradio i prilagodio autor

U tablici je vidljivo kako broj stanovnika ima slabu dominaciju nad brojem potencijalnih korisnika te slabu dominaciju u odnosu na infrastrukturu dok ima veliku dominaciju nad veličinom područja posluživanja. Broj potencijalnih korisnika ima umjerenu dominaciju nad infrastrukturom te jaču umjerenu dominaciju nad veličinom područja posluživanja. Infrastruktura ima slabu dominaciju nad veličinom područja posluživanja. Odnos dominacija u suprotnom pogledu je recipročan prikazanim vrijednostima. Navedeno je prikazano u matrici A.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 4 & 7 \\ 1/3 & 1 & 5 & 6 \\ 1/4 & 1/5 & 1 & 7 \\ 1/7 & 1/6 & 1/7 & 1 \end{bmatrix}$$

S ciljem normaliziranja matrice A potrebno je sumirati sve elemente stupaca matrice te podijeliti sve elemente stupca sa sumom stupca. Svrha normaliziranja matrice je određivanje vektora težine W za svaki n kriterij koji se dobiva uzimanjem prosječne vrijednosti težinskih koeficijenata relativnih važnosti. Maksimalna vrijednost vektora težine W za svaki n kriterij predstavlja najvažniji kriterij. Tablica 17 prikazuje normaliziranu matricu A' .

Tablica 17. Normalizirana matrica A'

	Broj stanovnika	Broj potencijalnih korisnika	Infrastruktura	Veličina područja posluživanja	Suma	Vektor težina (W)
Broj stanovnika	0,579	0,687	0,387	0,412	2,065	0,516
Broj potencijalnih korisnika	0,193	0,229	0,484	0,353	1,259	0,315
Infrastruktura	0,145	0,046	0,097	0,176	0,464	0,116
Veličina područja posluživanja	0,083	0,038	0,032	0,059	0,212	0,053
Suma	1,000	1,000	1,000	1,000	-	-

Izvor: Izradio i prilagodio autor

$$A' = \begin{bmatrix} 0,579 & 0,687 & 0,387 & 0,412 \\ 0,193 & 0,229 & 0,484 & 0,353 \\ 0,145 & 0,046 & 0,097 & 0,176 \\ 0,083 & 0,038 & 0,032 & 0,059 \end{bmatrix}$$

Nakon normaliziranja matrice A i kreiranja matrice A' potrebno je odrediti vektor težine svakog kriterija odnosno retka matrice A' . Određivanje vektora težine W određuje se tako da se suma svakog retka pojedinog kriterija podijeli s brojem stupaca pojedinog kriterija. Prema opisanome vektor sume W je prikazan matematičkom formulacijom niže.

$$\frac{1}{4} \times \begin{bmatrix} 2,065 \\ 1,259 \\ 0,464 \\ 0,212 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,516 \\ 0,315 \\ 0,116 \\ 0,053 \end{bmatrix} = W$$

Sljedeći korak je ispitivanje konzistentnosti dobivenih rezultata. Kako bih se izračunao λ_{max} prema odgovarajućem matematičkom izrazu potrebno je matricu usporedbe kriterija A pomnožiti matricom vektora težine W . Množenjem matrice usporedbe kriterija A i matrice vektora težine W dobiva se vektor suma W_s .

$$\begin{bmatrix} 1 & 3 & 4 & 7 \\ 1/3 & 1 & 5 & 6 \\ 1/4 & 1/5 & 1 & 7 \\ 1/7 & 1/6 & 1/7 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0,516 \\ 0,315 \\ 0,116 \\ 0,053 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2,295 \\ 1,385 \\ 0,467 \\ 0,218 \end{bmatrix} = W_s$$

Sljedeći korak je izračun vektora konzistentnosti. Vektor konzistentnosti dobiva se na način da se vektor suma W_s podijeli s vektorom težina W . Vektor konzistentnosti W_c prikazan je formulacijom niže.

$$\begin{bmatrix} 2,295 \\ 0,516 \\ 1,385 \\ 0,315 \\ 0,467 \\ 0,116 \\ 0,218 \\ 0,053 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4,446 \\ 4,400 \\ 4,027 \\ 4,111 \end{bmatrix} = W_c$$

Nakon dobivenih rezultata moguće je odrediti maksimalnu svojstvenu vrijednost matrice λ_{max} . Ona se određuje prema matematičkoj relaciji:

$$\lambda_{max} = \frac{4,446+4,400+4,027+4,111}{4} = 4,246$$

Sljedeći korak je izračunavanje indeksa konzistentnosti CI prema sljedećoj relaciji:

$$CI = \frac{\lambda_{max}-n}{n-1} = \frac{4,246-4}{4-1} = 0,081912$$

Sljedeći korak je izračunavanje stupnja konzistentnosti CR . Stupanj konzistentnosti izračunava se dijeljenjem indeksa konzistentnosti CI i slučajnog indeksa RI . Slučajni indeksi unaprijed su određeni te su uvijek su jednake vrijednosti a prikazani u Tablici

18. Obzirom da se u prikazanom slučaju radi o matrici dimenzija 4x4 odabire se vrijednost RI prema na $N=4$.

Tablica 18. Slučajni indeksi

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0,00	0,00	0,58	0,9	1,12	1,32	1,41	1,45	1,49

Izvor: [77]

Na kraju je potrebno izračunati stupanj konzistentnosti CR . Prema sljedećoj relaciji stupanj konzistentnosti iznosi:

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0,081912}{0,9} = 0,091013$$

Budući da je vrijednost stupnja konzistentnosti manja od 0,1, možemo utvrditi da su relacije među kriterijima konzistentne.

Nakon normalizacije matrice usporedbe u parovima i određivanja stupnja konzistentnosti, pristupa se usporedbi alternativa, odnosno lokacija za svaki pojedini kriterij. Postupak je identičan kao i kod usporedbe kriterija u parovima. Nadalje biti će prikazane usporedbe lokacija s aspekta četiri prethodno odabrana kriterija.

Usporedba lokacija s aspekta broja stanovnika temelji se na podacima Državnog zavoda za statistiku. Ukupan broj stanovnika Grada Zagreba prema posljednjem popisu stanovništva iz 2011. godine iznosi 790 017 stanovnika.[78] Obzirom na prethodno prikazanu podjelu gradskih četvrti unutar pojedinih zona, broj stanovnika po zonama prikazan je u Tablici 19.

Tablica 19. Broj stanovnika prema zonama

Zona	Broj stanovnika
Sjever	19 165
Istok	273 602
Zapad	129 188
Jug	257 794
Centar	110 268
UKUPNO	790 017

Izvor: Izradio i prilagodio autor prema [78]

Tablica 20 prikazuje usporedbu alternativa odnosno lokacija s aspekta broja stanovnika. Veći broj stanovnika predstavlja veću dominaciju u odnosu na manji broj stanovnika. Razlog tome je veličina tržište te blizina stanovnika u određenoj zoni. Veći broj stanovnika u određenoj zoni donosi veću mogućnost iskorištenja organizacije distribucije naručenih roba uz manje troškove zbog blizine UDC-a. Vidljivo je da zona Istok i Zapad imaju ekstremnu dominaciju nad zonom Sjever te veliku dominaciju nad zonom Jug. Obzirom da Istok nad Zapadom broji neznatno veći broj stanovnika, posjeduje neznatnu dominaciju. Centar nad Sjeverom ima veliku dominaciju dok Zapad i Istok nad Centrom imaju umjerenu dominaciju. Stupanj konzistentnosti u ovoj usporedbi iznosi 0,09881, što znači da su relacije konzistentne. Sukladno vrijednostima matrica usporedba lokacija s aspekta stanovnika prikazana je formulacijom.

$$A_{BS} = \begin{bmatrix} 1 & 1/9 & 1/9 & 1/7 & 1/7 \\ 9 & 1 & 2 & 5 & 5 \\ 9 & 1/2 & 1 & 5 & 5 \\ 7 & 1/5 & 1/5 & 1 & 2 \\ 7 & 1/5 & 1/5 & 1/2 & 1 \end{bmatrix}$$

Tablica 20. Usporedba lokacija s aspekta broja stanovnika

	Sjever	Istok	Zapad	Jug	Centar	Težina (W)
Sjever	1,00	0,11	0,11	0,14	0,14	0,028
Istok	9,00	1,00	2,00	5,00	5,00	0,430
Zapad	9,00	0,50	1,00	5,00	5,00	0,323
Jug	7,00	0,20	0,20	1,00	2,00	0,121
Centar	7,00	0,20	0,20	0,50	1,00	0,098
Suma	33,00	2,01	3,51	11,64	13,14	1,000

Izvor: Izradio i prilagodio autor

Usporedba alternativa s aspekta broja potencijalnih korisnika temeljila se na podacima iz Tablica 21 i 22. Tablica 21 prikazuje odnos broja stanovnika koji se koriste internetom razvrstanih prema gradskoj četvrti stanovanja. Tablica 22 prikazuje odnos broja stanovnika i stanovnika koji se koristi internetom razvrstanih prema zonama grada. Vidljivo je kako je najveći potencijalni broj korisnika, više 120 000 korisnika po zoni, lociran u zonama Istok i Zapad te dvostruko manji broj, oko 60 000 korisnika po zoni, u zonama Jug i Centar. Zona Sjever broji najmanje potencijalnih korisnika, nešto manje od 10 000 potencijalnih korisnika.

Tablica 21. Odnos broja stanovnika i stanovnika koji se koriste internetom prema gradskim četvrtima

	Broj stanovnika - korištenje internetom - ni	Broj stanovnika 18-65 godina starosti - n	ni/n	Broj ispitanika - interes - NI	Broj ispitanika - N	I/P
Brezovica	5938	7.983	0,744	7	9	0,778
Črnomerec	24113	25.880	0,932	30	39	0,769
Donja Dubrava	20290	24.752	0,820	27	36	0,750
Donji Grad	24805	24.614	1,008	24	32	0,750
Gornja Dubrava	35478	41.850	0,848	33	40	0,825
Gornji Grad- Medveščak	20751	19.960	1,040	19	22	0,864
Maksimir	31280	31.855	0,982	26	34	0,765
Novi Zagreb-istok	36274	38.820	0,934	34	42	0,810
Novi Zagreb- zapad	35791	40.244	0,889	24	30	0,800
Peščenica- Žitnjak	32645	38.889	0,839	19	25	0,760
Podsljeme	11586	12.799	0,905	20	24	0,833
Podsused- Vrapče	27091	31.015	0,873	24	31	0,774
Sesvete	38727	47.201	0,820	26	34	0,765
Stenjevec	34536	37.370	0,924	29	34	0,853
Trešnjevka- jug	43823	46.120	0,950	35	42	0,833
Trešnjevka- sjever	36047	38.632	0,933	30	38	0,789
Trnje	27722	29.204	0,949	19	22	0,864
SUMA	486897	537188	0,905	426	534	0,797

Izvor: Izradio i prilagodio autor prema [79]

Tablica 22 prikazuje podatke prema gradskoj četvrti za broj stanovnika koji imaju sposobnost korištenja internetom ni te broj stanovnika u rasponu dobi od 18 do 65 godina n. Također prikazuje omjer između navedenih vrijednosti. Na temelju provedene ankete prikazuje broj ispitanika prema koji imaju interes za korištenjem internet trgovine u kupovini prehrambenih proizvoda Ni te ukupan broj ispitanika N. Na temelju prikazanih podataka formirana je Tablica 22 koja prikazuje navedene podatke

prema zonama. Produktom broja stanovnika ni te omjera broja ispitanika NI i ukupnog broja ispitanika N prikazan je potencijalan broj korisnika

Tablica 22. Broj stanovnika i potencijalnih korisnika po zoni

Zona	Broj stanovnika - korištenje internetom - ni	Broj stanovnika 18-65 godina starosti - n	ni/n	Broj ispitanika - interes - I	I/P	Potencijalan broj korisnika
SJEVER	11.586	12.799	0,905	20	0,833	9.655
ISTOK	158.420	184.547	0,858	131	0,773	122.440
JUG	78.003	87.047	0,896	65	0,796	62.072
ZAPAD	165.610	179.017	0,925	148	0,804	133.123
CENTAR	73.278	73.778	0,993	62	0,826	60.510
SUMA	486.897	537.188	0,916	426	0,806	387.800

Izvor: Izradio i prilagodio autor prema [79]

Tablica 23 prikazuje usporedbu alternativa odnosno lokacija s aspekta broja potencijalni korisnika. Vrijednosti prikazane u tablici određene su temeljem analize podataka popisa stanovništva o informatičkoj pismenosti i zainteresiranosti za korištenjem internet trgovine u svrhu kupnje prehrambenih proizvoda. Zainteresiranost za kupnju putem interneta istražena je putem anketnog upitnika. Sukladno vrijednostima u Tablici 22, matrica usporedba lokacija s aspekta stanovnika prikazana je formulacijom.

$$A_{pk} = \begin{bmatrix} 1 & 1/8 & 1/9 & 1/5 & 1/5 \\ 8 & 1 & 1/2 & 4 & 5 \\ 9 & 2 & 1 & 5 & 6 \\ 5 & 1/4 & 1/5 & 1 & 1 \\ 5 & 1/5 & 1/6 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Tablica 23. Usporedba lokacija s aspekta broja potencijalnih korisnika

	Sjever	Istok	Zapad	Jug	Centar	Težina (W)
Sjever	1,00	0,13	0,11	0,20	0,20	0,032
Istok	8,00	1,00	0,50	4,00	5,00	0,311
Zapad	9,00	2,00	1,00	5,00	6,00	0,457
Jug	5,00	0,25	0,20	1,00	1,00	0,103
Centar	5,00	0,20	0,17	1,00	1,00	0,097
Suma	28,00	3,57	1,97	11,20	13,20	1,000

Izvor: Izradio i prilagodio autor

Prema Tablici 23 vidljivo je kako zone Istok i Zapad imaju umjerenu dominaciju nad zonama Jug i Centar te vrlo veliku dominaciju nad zonom Sjever. Zone Jug i Sjever su jednako dominantne obzirom na broj potencijalnih korisnika dok najslabiju dominaciju ima zona Sjever zbog najmanjeg broja potencijalnih korisnika. Stupanj konzistencije u ovoj usporedbi iznosi 0,05175, što znači da su relacije konzistentne.

Usporedba lokacija s aspekta infrastrukture temeljila se na istraživanju broja postojećih objekata supermarketa i hipermarketa na području grada Zagreba koji bi bili u funkciji UDC-a. Veći broj postojećih objekata predstavlja značajniji utjecaj na odabir lokacije zbog smanjenja potrebe za gradnjom novih logističkih objekata te lakšeg odabira između postojećih objekata. Podaci o broju postojećih objekata po zonama grada Zagreba prikazuje Tablica 24.

Tablica 24. Broj postojećih maloprodajnih objekata prema zonama grada Zagreba

Zona	Broj objekata
Sjever	1
Istok	17
Zapad	16
Jug	13
Centar	1

Izvor: Izradio i prilagodio autor

Tablica 25 prikazuje usporedbu lokacija s aspekta infrastrukture. U tablici je vidljivo kako zone Istok i Sjever imaju vrlo veliku dominaciju prema zonama Centar i Sjever zbog razlike od gotovo 16 objekata. Zone Istok i Zapad imaju blagu dominaciju nad zonom Jug. Zone Centar i Sjever nemaju razliku u međusobnoj dominaciji zbog jednakog broja objekata. Stupanj konzistencije u ovoj usporedbi iznosi 0,02739, što znači da su relacije konzistentne. Sukladno vrijednostima u Tablici 25 matrica usporedba lokacija s aspekta infrastrukture prikazana je formulacijom.

$$A_i = \begin{bmatrix} 1 & 1/9 & 1/9 & 1/8 & 1 \\ 9 & 1 & 1 & 3 & 9 \\ 9 & 1 & 1 & 3 & 9 \\ 6 & 1/3 & 1/3 & 1 & 8 \\ 1 & 1/9 & 1/9 & 1/8 & 1 \end{bmatrix}$$

Tablica 25. Usporedba lokacija s aspekta infrastrukture

	Sjever	Istok	Zapad	Jug	Centar	Težina (W)
Sjever	1,00	0,11	0,11	0,17	1,00	0,037
Istok	9,00	1,00	1,00	3,00	9,00	0,372
Zapad	9,00	1,00	1,00	3,00	9,00	0,372
Jug	6,00	0,33	0,33	1,00	8,00	0,183
Centar	1,00	0,11	0,11	0,13	1,00	0,036
Suma	26,00	2,55	2,55	7,29	28,00	1,000

Izvor: Izradio i prilagodio autor

Usporedba lokacija s aspekta veličine područja posluživanja temelji se na zemljopisnim podacima grada. Manje zemljopisno područje posluživanja predstavlja značajniji utjecaj na odabir određene zone grada za lociranje UDC-a. Manje područje omogućava jednostavniju organizaciju i troškovno efikasniju distribuciju te smanjenje za potrebnom većeg broja dostavnih vozila. Tablica 26 prikazuje prostornu površinu po zonama grada.

Tablica 26. Prostorna površina grada po zonama

Zona	Površina (km ²)
Sjever	60
Istok	265
Zapad	88
Jug	207
Centar	20

Izvor: Izradio i prilagodio autor

Tablica 27 prikazuje usporedbu lokacija s aspekta veličine područja posluživanja. Zona Centar ima vrlo veliku dominaciju nad zonama Istok i Jug te umjerenu dominaciju nad zonom Zapad. Zona Zapad ima umjerenu dominaciju nad zonama Istok i Jug te zona Sjever ima veliku dominaciju nad zonama Istok i Jug. Stupanj konzistencije u ovoj usporedbi iznosi 0,04238, što znači da su relacije konzistentne. Sukladno vrijednostima u Tablici 27 matrica usporedba lokacija s aspekta infrastrukture prikazana je formulacijom.

$$A_i = \begin{bmatrix} 1 & 7 & 2 & 6 & 1/2 \\ 1/7 & 1 & 1/5 & 1/2 & 1/9 \\ 1/2 & 5 & 1 & 5 & 1/5 \\ 1/6 & 2 & 1/5 & 1 & 1/7 \\ 2 & 9 & 5 & 7 & 1 \end{bmatrix}$$

Tablica 27. Usporedba lokacija s aspekta veličine područja posluživanja.

	Sjever	Istok	Zapad	Jug	Centar	Težina (W)
Sjever	1,00	7,00	2,00	6,00	0,50	0,271
Istok	0,14	1,00	0,20	0,50	0,11	0,037
Zapad	0,50	5,00	1,00	5,00	0,20	0,163
Jug	0,17	2,00	0,20	1,00	0,14	0,055
Centar	2,00	9,00	5,00	7,00	1,00	0,473
Suma	3,810	24,000	8,400	19,500	1,954	1,000

Izvor: Izradio i prilagodio autor

Nakon usporedbe alternativa mogućih lokacija UDC-a s aspekta pojedinih kriterija izrađuje se agregirana matrica koja objedinjuje dobivene težinske koeficijente. Agregirana matrica množi se matricom težina W te se dobiva konačna matrica težina W_F prema koja iskazuje finalne težinske koeficijente alternativa te se između njih izabire najbolja alternativa. Tablica 28 prikazuje agregiranu matricu rangiranja. Izračun krajnje težine W_F prikazan je formulacijom.

$$\begin{bmatrix} 0,028 & 0,032 & 0,037 & 0,271 \\ 0,430 & 0,311 & 0,372 & 0,037 \\ 0,323 & 0,457 & 0,372 & 0,163 \\ 0,121 & 0,103 & 0,183 & 0,055 \\ 0,098 & 0,098 & 0,036 & 0,473 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0,516 \\ 0,315 \\ 0,116 \\ 0,053 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,0432 \\ 0,3649 \\ 0,3627 \\ 0,1192 \\ 0,1100 \end{bmatrix} = W_F$$

Tablica 28. Agregirana matrica rangiranja

	Broj stanovnika	Broj potencijalnih korisnika	Infrastruktura	Veličina područja posluživanja	Krajnja težina (W_F)	Rang
Sjever	0,028	0,032	0,037	0,271	0,0432	5.
Istok	0,430	0,311	0,372	0,037	0,3649	1.
Zapad	0,323	0,457	0,372	0,163	0,3627	2.
Jug	0,121	0,103	0,183	0,055	0,1192	3.
Centar	0,098	0,097	0,036	0,473	0,1100	4.
Vektor težine	0,516	0,315	0,116	0,053		

Izvor: Izradio i prilagodio autor

Sukladno prikazanim vrijednostima u Tablici 28 vidljivo je da je zona Istok rangirana kao prva, zona Zapad kao druga, zona Jug kao treća, zona Centar kao četvrta te zona Sjever kao peta. Prema tome, lokacija UDC-a trebala bi biti u zoni Istok ili Zapad. UDC se može locirati u obje zone ukoliko se na temelju drugih činjenica ključnih za distribuciju, poput udaljenosti kupaca od UDC-a, veličine područja posluživanja i drugih pokaže potreba.

7.4 Određivanje lokacije urbanog distribucijskog centra primjenom metode težišta

Prema dobivenim podacima nakon izračuna vrijednosti alternativa AHP metode, vidljivo je kako bi UDC trebao biti lociran u zonama Istok ili Zapad. Budući da bi jedan UDC trebao posluživati cijelo područje grada, zbog broja stanovnika i veličine područja posluživanja, lokacije UDC-a biti će postavljene u zoni Istok i zoni Zapad. . Zbog povećanja troškova distribucije, povećanja flote vozila te potencijalnih kompleksnosti i presijecanja ruta vozila, ne preporuča se osnivanje više od dva UDC-a. [80] UDC-i će ovisno o količini robe za dostavu, udaljenosti od UDC-a te uklapanju u rute dostava, posluživati i zone Sjever, Jug i Centar.

Istraživanje nije vršeno samo za određenog maloprodajnog trgovca već za sve koji posjeduju objekte supermarketa i hipermarketa na području grada Zagreba. Budući da svaki ispitanik posjećuje jedan ili više maloprodajnih centara unutar zone, nije moguće točno odrediti odnos udaljenosti ispitanika do trgovine i ispitanika do UDC-a. Obzirom na navedeno, lokacija UDC-a za svaku zonu biti će određena metodom težišta u odnosu na lokacije postojećih objekata unutar zone.

Metoda težišta u ovom će slučaju biti modificirana na način prema pretpostavki da svaki objekt unutar zone sadrži isti asortiman i istu količinu robe. Na temelju geografskih podataka, zemljopisne širine i dužine, isključivši količinu roba jer je ista u svakom od objekata, biti će određena lokacija UDC za zonu Istok i Zapad.

Formula za određivanje lokacije prema osi x i y prikazana je sljedećom relacijom.

$$x = \frac{\sum x_i}{n_x}, y = \frac{\sum y_i}{n_y}, \quad (9)$$

Podaci o geografskim koordinatama postojećih objekata za utvrđivanje lokacije UDC-a prema metodi težišta prikazani su za zonu Istok i zonu Zapad u Tablici 29. Na temelju prikazanih podataka izračunata je optimalna lokacija za UDC u svakoj prikazanoj zoni.

Tablica 29. Koordinate objekata za određivanje optimalne lokacije urbanog distribucijskog centra u zoni Istok i Zapad

Objekt	Zona Istok		Zona Zapad	
	X	Y	X	Y
1	16,107430	45,833178	15,918673	45,796763
2	16,057321	45,834438	15,921344	45,804727
3	16,036936	45,817015	15,874953	45,803680
4	16,048708	45,802093	15,882782	45,798690
5	16,077314	45,824824	15,858348	45,796658
6	16,045390	45,836536	15,933939	45,814852
7	16,078915	45,828291	15,913786	45,791636
8	16,055278	45,841902	15,892587	45,797225
9	16,013929	45,803003	15,883316	45,811725
10	16,001942	45,802990	15,868056	45,814572
11	16,015173	45,801466	15,953965	45,807646
12	16,043988	45,826097	15,946276	45,793351
13	16,051909	45,840711	15,909397	45,809072
14	16,068074	45,827430	15,899810	45,796008
15	15,858499	45,796814	15,858499	45,796814
16	16,043889	45,819573	15,924584	45,803654
17	16,101006	45,804062		
Optimalna lokacija	16,041512	45,820025	15,902520	45,802317

Izvor: Izradio i prilagodio autor

Uvrštavanjem vrijednosti x i y, te zbroja svih lokacija u pojedinoj zoni prema relaciji (9) moguće je izračunati optimalnu lokaciju primjenom metode težišta. Zbrojem koordinata svih lokacija x i y u pojedinoj zoni te dijeljenjem dobivene vrijednosti s ukupnim brojem lokacija, dobiva se aritmetička sredina koja koordinatama opisuje optimalnu lokaciju. Primjer određivanja x koordinate lokacije istok prikazan je niže:

$$x_{ISTOK} = \frac{\sum x_i}{n_x} = \frac{16,107430 + 16,057321 + \dots + 16,101006}{17} = \frac{288,747212}{17} = 16,041512$$

Primjenom iste formulacije izračunate su i ostale koordinate lokacija. Optimalna lokacija UDC-a za zonu Istok je x=16,041512; y= 45,820025 te zonu Zapad x=15,902520; y=45,802317. Sukladno prikazanim podacima model za usmjeravanje dostavnih vozila unutar grada Zagreba koristiti će navedene koordinate kao početne točku rute ruta dostavnih vozila.

8. PROBLEM USMJERAVANJA ELEKTRIČNIH DOSTAVNIH VOZILA NA PODRUČJU GRADA ZAGREBA

Problem usmjeravanja vozila kod distribucije roba predstavlja glavni problem koji je potrebno efikasno i kvalitetno riješiti. Kvalitetan odabir modela za usmjeravanje vozila od ključne je važnosti za uspjeh efikasno i kvalitetne distribucije. Ovisno o tipovima zahtjeva distribucije, postoji više modela za usmjeravanja dostavnih vozila. Jedni od najpoznatijih modela su:

- Problem trgovačkog putnika;
- Problem usmjeravanja vozila s ograničenim kapacitetom komunikacija;
- Problem usmjeravanja vozila s vremenskim prozorima;
- Problem periodičkog usmjeravanja vozila;
- Problem otvorenog usmjeravanja vozila.

Obzirom da se u prikazanom slučaju radi o usmjeravanju vozila koja obavljaju dostavu robe široke potrošnje do krajnjih kupaca odnosno naručitelja, prema dosadašnjim istraživanjima model problema usmjeravanja vozila s vremenskim prozorima pokazao se kao optimalan u slučaju gradskih dostava s komponentnom vremenskog ograničenja.[81] U daljnjem dijelu rada navedeni će model biti primijenjen za određivanje optimalnog načina usmjeravanja električnih dostavnih vozila na području grada Zagreba.

8.1 Problem usmjeravanja vozila s vremenskim prozorima

Problem usmjeravanja vozila s vremenskim prozorima⁸ (VRPTW – engl. *Vehicle Routing Problem with Time Windows*) najvažnija je generalizacija problema usmjeravanja vozila (VRP – engl. *Vehicle Routing Problem*) te osnovni problem upravljanja distribucijom. VRPTW može biti model korišten kod mnogih problema usmjeravanja u stvarnom svijetu. Sastoji se od izrade skupa minimalnih troškovnih puteva koji potječu i završavaju u centralnom skladištu za flotu vozila koja služi skupu kupaca s poznatim zahtjevima. Kupci se moraju dodijeliti vozilima tako da se kapaciteti vozila ne prekorače. Usluga dostave kod kupca mora započeti unutar vremenskog

⁸ U daljnjem tekstu VRPTW

okvira definiranog najranijim i najkasnijim vremenom kada korisnik odredi početak usluge.[82]

VRTPW problem je NP-težak problem budući da generalizira problem usmjeravanja vozila s ograničenim kapacitetom komunikacija⁹ (eng. *Capacitated Vehicle Routing Problem* - CVRP) ako je vrijeme otvaranja svih vremenskih prozora postavljeno na 0, a zatvaranja na $+\infty$. pronalazak izvedivog rješenja u kojem su sva ograničenja zadovoljena, ako je broj vozila fiksno zadan, predstavlja NP-potpun problem. Za razliku od CVRP problema kod kojeg je cilj minimizirati ukupnu prijeđenu udaljenost, kod VRPTW problema primarni cilj je minimizirati broj vozila, a sekundarni minimizirati ukupnu udaljenost ili vrijeme.[83]

Matematički model VRPTW problema objašnjen je niže. VRPTW je dan flotom homogenih vozila označenih s V , skupom kupaca C te usmjerenih grafom $G=(V,C)$. Graf se sastoji od $C+2$ vrhova, gdje su kupci označeni $1,2,\dots,n$. a skladište predstavlja vrh 0 (odlazno skladište) i $n+1$ (povratno skladište). VRPTW ima višestruke ciljeve u cilju minimiziranja ne samo broja potrebnih vozila, već i ukupnog vremena putovanja, vremena čekanja i ukupne prijeđene udaljenosti vozila. Skup lukova označenih s A označava poveznice između skladišta i korisnika te korisnika i korisnika. Ni jedan luk ne završava u vrhu 0 te niti jedan luk ne izlazi od vrha $n+1$. S svakim lukom (i,j) , gdje je $i \neq j$, povezujemo trošak c_{ij} te vrijeme t_{ij} , koje može uključivati vrijeme posluživanja kod korisnika i . [82]

Svako vozilo ima kapacitet q te svaki korisnik i ima potražnju d_i . Svaki korisnik i ima vremenski prozor unutar kojeg vozilo mora stići $[a_i, b_i]$. Svako vozilo mora stići prije trenutka b_i , te može stići prije trenutka a_i no korisnik neće prihvatiti posluživanje prije trenutka a_i . Skladište također ima vremenski prozor $[a_0, b_0]$. Vozilo ne smije napustiti skladište prije trenutka a_0 te se mora vratiti u skladište u ili prije trenutka b_{n+1} . Pretpostavka je da su q, a_i, b_i, d_i, c_{ij} nenegativne vrijednosti, te t_{ij} pozitivna vrijednost. Pretpostavlja se da je nejednakost trokuta zadovoljena i za c_{ij} i t_{ij} . Model sadrži dva seta varijabli odlučivanja x_{ijk} i s_{ijk} . Za svaki luk (i,j) , gdje je $i \neq j, i \neq n+1, j \neq 0$, te svako vozilo k definirano je $x_{ijk} = 1$. [82]

⁹ U daljnjem tekstu CVRP

Varijabla odlučivanja s_{ik} definirana je za svaki vrh i i svako vozilo k te označava vrijeme vozila k za početak posluživanja korisnika i . U slučaju da vozilo k ne posluži korisnika i , s_{ik} nema utjecaj. Pretpostavka je da iznosi $a_0 = 0$ te $s_{0k} = 0$ za svako vozilo k . Cilj je odrediti set ruta s minimalnim troškom, jednu za svako vozilo, na način da je svaki korisnik posjećen samo jednom te da svaka ruta počine u vrhu 0 te završava u vrhu $n + 1$, uz promatrane vremenske prozore i ograničenja kapaciteta vozila. VRTPW iskazan je sljedećim matematičkim izrazima [82]:

$$\min \sum_{k \in V} \sum_{i \in n} \sum_{j \in V} c_{ij} k_{ijk} \quad (10)$$

gdje je,

$$\sum_{k \in V} \sum_{j \in N} k_{ijk} = 1 \quad \forall i \in C \quad (11)$$

$$\sum_{i \in C} d_i \sum_{j \in N} x_{ijk} \leq q \quad \forall k \in V \quad (12)$$

$$\sum_{j \in N} x_{ojk} = 1, \quad \forall k \in V \quad (13)$$

$$\sum_{j \in N} x_{ihk} - \sum_{j \in N} x_{hjk} = 0, \quad \forall h \in C, \quad \forall k \in V \quad (14)$$

$$\sum_{i \in N} x_{i,n+1,k} = 1, \quad \forall k \in V \quad (15)$$

$$s_{ik} + t_{ij} - K(1 - x_{ijk}) \leq s_{jk}, \quad \forall i, j \in N, \quad \forall k \in V \quad (16)$$

$$a_i \leq s_{ik} \leq b_i, \quad \forall k \in V \quad (17)$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\}, \quad \forall k \in V \quad (18)$$

Ograničenje (11) iskazuje da se svaki korisnik posjeti samo jednom, (12) označava da nema ukrcanih vozila iznad dozvoljenog maksimalnog kapaciteta. Formule (13),(14),(14) osiguravaju da svako vozilo napušta skladište 0, te nakon posluživanja korisnika nastavlja prema sljedećem korisniku te na kraju završava u skladištu $n + 1$. Nejednakost (16) označava da vozilo k ne može stići u j prije $s_{ik} + t_{ij}$ ukoliko putuje od i prema j . Ograničenje (17) osigurava uključivanje vremenskih prozora dostava te (18) osiguravanja cjelovitosti modela. [82]

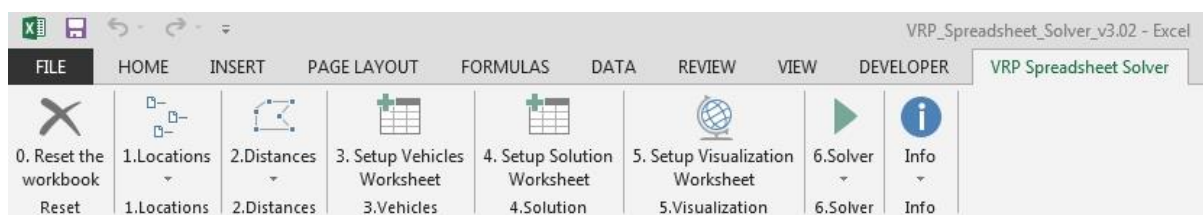
8.2 Rješavanje problema usmjeravanja vozila s vremenskim prozorima na području grada Zagreba primjenom računalnog programa "VRP Spreadsheet Solver"

Za rješavanje problema usmjeravanja vozila s vremenskim prozorima na području grada Zagreba primjenjivati će se računalni program VRP Spreadsheet Solver¹⁰. VRPSS programsko je rješenje izrađeno i integrirano unutar alata Microsoft Excel, razvijeno od strane Dr. Güneş Erdoğan sa Škole za menadžment, Sveučilišta u Bathu, Velika Britanija. VRPSS programiran je unutar programskog jezika VBA integriranog unutar MS Excela. VRPSS omogućava jednostavno i brzo rješavanje problema usmjeravanja vozila uz razne mogućnosti prilagodbe ovisno o željenom modelu. Izračun udaljenosti između lokacija preuzima s Bing karti te na temelju stvarnih udaljenosti izvršava optimizaciju.

Prikaz sučelja VRPSS-a unutar MS Excela prikazan je na Slici 16.

VRPSS unutar sučelja sadrži sedam cjelina koji se koriste za izračun i analizu dobivenih podataka. Cjeline koje uključuje su:

0. *Reset the workbook* – upravljačka konzola VRP Spreadsheet Solvera unutar koje se unose podaci o broju skladišta i korisnika, izračunu prostornih i vremenskih udaljenosti, broju dostavnih vozila, upravljanju postavkama rješenja i grafičkom prikazu rješenja što je prikazano na Slici 17.



Slika 16. Sučelje VRP Spreadsheet Solvera unutar MS Excela

Izvor: Izradio i prilagodio autor

¹⁰ U daljnjem tekstu VRPSS

	A	B	C	D
1	Sequence	Parameter	Value	Remarks
2	0.Optional - GIS License	Bing Maps Key		You can get a free trial key at https://www.bingmapsportal.com/
3				
4	1.Locations	Number of depots	1	[1,20]
5		Number of customers	10	[5,200]
6				
7	2.Distances	Distance / duration computation	Bing Maps driving distances (km)	Recommendation: Use 'postcode, country' format for addresses
8		Bing Maps route type	Fastest	Recommendation: Use 'Fastest'
9		Average vehicle speed	70	Not used for the 'Bing Maps driving distances' options
10				
11	3.Vehicles	Number of vehicle types	1	Heterogeneous VRP if greater than 1
12				
13	4.Solution	Vehicles must return to the depot	Yes	Open VRP if no return
14		Time window type	Hard	
15		Backhauls?	No	If activated, delivery locations must be visited before pickup locations
16				
17	5.Optional - Visualization	Visualization background	Bing Maps	
18		Location labels	Location IDs	
19				
20	6.Solver	Warm start?	Yes	
21		Show progress on the status bar?	No	May slow down the optimization algorithm
22		CPU time limit (seconds)	60	Recommendation: At least 60 seconds

Slika 17. Upravljačka konzola VRP Spreadsheet Solvera

Izvor: Izradio i prilagodio autor

1. *Locations* – sučelje u koje se unose podaci o geografskoj lokaciji korisnika i skladišta, vremenu početka i kraja posluživanja korisnika, trajanja posluživanja, količini roba za dostavu i preuzimanje te zaradi po svakoj pojedinoj dostavi. Sučelje *Locations* prikazano je na Slici 18.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Location ID	Name	Address	Latitude (y)	Longitude (x)	Time window start	Time window end	Must be visited	Service time	Pickup amount	Delivery amount	Profit
2	0	Depot		45,8200249	16,0415118	00:00	23:59	Starting location	0:00	0	0	0
3	1	Customer 1		45,8282220	16,0130040	00:00	23:59	Must be visited	0:03	0	5	15
4	2	Customer 2		45,8218220	16,0683650	00:00	23:59	Must be visited	0:03	0	6	20
5	3	Customer 3		45,8393580	16,0890380	00:00	23:59	Must be visited	0:03	0	7	25
6	4	Customer 4		45,8100880	16,0617640	00:00	23:59	Must be visited	0:03	0	8	30
7	5	Customer 5		45,7896550	16,0459000	00:00	23:59	Must be visited	0:03	0	9	35

Slika 18. Sučelje VRP Spreadsheet Solvera za unos podataka o lokacijama

Izvor: Izradio i prilagodio autor

2. *Distances* – sučelje koje prikazuje međusobne prostorne i vremenske udaljenosti između svih lokacija unesenih u prethodnom koraku. Udaljenosti se automatski preuzimaju iz sučelja Bing Maps (<https://www.bing.com/maps>). Na temelju prikazanih podataka vrši se daljnji izračun unutar VRPSS-a. Sučelje *Distances* prikazano je na Slici 19.

	A	B	C	D	E	F	G
1	From	To	Distance	Duration	Method: Bing Maps driving distances (km)		
8	Customer 1	Depot	4,21	0:10			
9	Customer 1	Customer 1	0,00	0:00			
10	Customer 1	Customer 2	5,94	0:12			
11	Customer 1	Customer 3	9,28	0:21			
12	Customer 1	Customer 4	6,18	0:14			
13	Customer 1	Customer 5	6,41	0:18			
14	Customer 2	Depot	2,24	0:04			
15	Customer 2	Customer 1	5,90	0:12			
16	Customer 2	Customer 2	0,00	0:00			
17	Customer 2	Customer 3	3,77	0:09			
18	Customer 2	Customer 4	2,67	0:06			
19	Customer 2	Customer 5	5,74	0:17			
20	Customer 3	Depot	6,01	0:13			
21	Customer 3	Customer 1	9,22	0:19			
22	Customer 3	Customer 2	3,77	0:09			

Slika 19. Sučelje VRP Spreadsheet Solvera međusobnih udaljenosti lokacija

Izvor: Izradio i prilagodio autor

3. *Vehicles* – sučelje koje omogućuje unos podataka o vozilima. Vrstu vozila, kapacitet, fiksni trošak po putovanju, trošak po jedinici putovanja, ograničenje udaljenosti, početak radnog vremena, ograničenje vremena vožnje i povratka u skladište. Sučelje *Vehicles* prikazano je na Slici 20.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	L
1	Starting depot	Vehicle type	Capacity	Fixed cost per trip	Cost per unit distance	Distance limit	Work start time	Driving time limit	Working time limit	Return depot	Number of vehicles
2	Depot	T1	35	5,00	1,00	150,00	08:00	9:00	10:00	Depot	1

Slika 20. Sučelje VRP Spreadsheet Solvera za unos podataka o vozilima

Izvor: Izradio i prilagodio autor

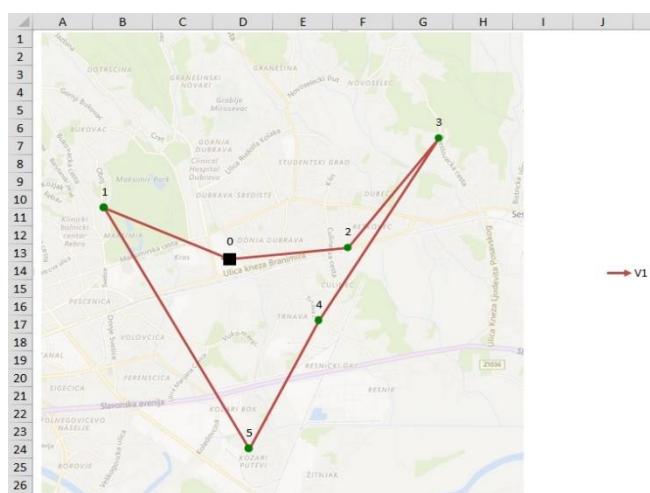
4. *Solution* – sučelje VRP Spreadsheet Solvera koje prikazuje rješenja zadanog problema. Prikazan je redoslijed obilaska korisnika, prijedena udaljenost, vrijeme vožnje, vrijeme početka posluživanja korisnika, vrijeme završetka posluživanja korisnika, radno vrijeme, ostvarenu zaradu te količinu u vozilu. Sučelje *Solution* prikazano je na Slici 21.

	A	B	F	G	H	I	J	K	N
1	Total net profit:	93,12							
2									
3	Vehicle:	V1	Stops:	6	Net profit:	93,12			
4	Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
5	0	Depot	0,00	0:00		08:00	0:00	0	35
6	1	Customer 2	2,31	0:06	08:06	08:09	0:09	20	29
7	2	Customer 3	6,08	0:15	08:18	08:21	0:21	45	22
8	3	Customer 4	12,28	0:29	08:35	08:38	0:38	75	14
9	4	Customer 5	16,39	0:42	08:51	08:54	0:54	110	5
10	5	Customer 1	22,67	1:00	09:12	09:15	1:15	125	0
11	6	Depot	26,88	1:10	09:25		1:25	125	0
12									
13	Detected reasons of infeasibility								

Slika 21. Sučelje prikaza rješenja VRP Spreadsheet Solvera

Izvor: Izradio i prilagodio autor

5. *Visualization* – sučelje koje omogućuje grafički prikaz rješenja. Na geografskoj karti prikazan je usmjeren graf koji prikazuje redoslijed obilaska korisnika te povratak u skladište. Sučelje *Visualization* prikazano je na Slici 22.



Slika 22. Grafičko sučelje prikaza rješenja unutar VRP Spreadsheet Solvera

Izvor: Izradio i prilagodio autor

6. *Solver* – sučelje čijim pokretanjem započinje rješavanje VRTPW problema unutar VRP Spreadsheet Solvera.

Za rješavanje problema usmjeravanja vozila s vremenskim prozorima na području grada Zagreba primjenom VRPSS koristi će se sljedeći ulazni podaci:

- Broj skladišta po obilasku: 1
- Broj korisnika po obilasku: ovisno o obilasku
- Vrijeme posluživanja korisnika: 3 minute
- Prosječna brzina vozila: 40 km/h
- Broj vozila po obilasku: 1
- Vrsta izračunavanja rute: najkraća
- Povratak vozila u skladište: da
- Kapacitet vozila: jednak ili veći od potražnje
- Vremenski prozori: ovisno o obilasku

8.2.1 Obilazak Istok

Obilazak Istok sastoji se od 27 slučajno odabranih lokacija koje se nalaze u zoni Istok. Tablica 30 prikazuje geografske podatke o lokacijama

Tablica 30. Geografski podaci lokacija obilaska Istok

Naziv	Širina (y)	Dužina (x)	Početak posluge	Završetak posluge	Naziv	Širina (y)	Dužina (x)	Početak posluge	Završetak posluge
Depot	45,820025	16,041512	08:00	17:00	14	45,846759	16,056207	12:00	15:59
1	45,844561	16,107054	08:00	11:59	15	45,816020	16,022218	08:00	11:59
2	45,819170	16,118905	12:00	15:59	16	45,785535	16,015376	12:00	15:59
3	45,787338	16,056318	08:00	11:59	17	45,849884	16,047461	12:00	15:59
4	45,797871	16,020269	08:00	11:59	18	45,801757	16,020339	08:00	11:59
5	45,806059	16,006797	12:00	15:59	19	45,817072	16,119559	12:00	15:59
6	45,821598	16,003374	12:00	15:59	20	45,825447	16,070464	08:00	11:59
7	45,836425	16,000601	08:00	11:59	21	45,808874	16,048590	12:00	15:59
8	45,836425	16,000601	12:00	15:59	22	45,834235	16,064726	08:00	11:59
9	45,847612	16,030485	08:00	11:59	23	45,848347	16,065756	12:00	15:59
10	45,861839	16,054743	08:00	11:59	24	45,820147	16,008261	08:00	11:59
11	45,827400	16,042383	12:00	15:59	25	45,788201	16,036070	08:00	11:59
12	45,831945	16,080664	12:00	15:59	26	45,833669	15,996244	12:00	15:59
13	45,815078	16,063841	08:00	11:59	27	45,798734	16,114691	08:00	11:59

Izvor: Izradio i prilagodio autor

U zoni Istok cilj je poslužiti zadani broj korisnika prema kriteriju najkraćeg prijeđenog puta. Vremenski prozori posluživanja postavljeni su u dva termina: 8:00-11:59 sati i 12:00-15:59 sati. Četrnaest korisnika prikazanih u Tablici 30 ima definiran vremenski prozor posluživanja u terminu 8:00-11:59 sati te trinaest korisnika u terminu 12:00-15:59 sati. Nakon izračuna upotrebom VRPSS-a dobiveni su rezultati prikazani u Tablici 31. Objašnjenje oznaka u Tablici 31 niže je navedeno:

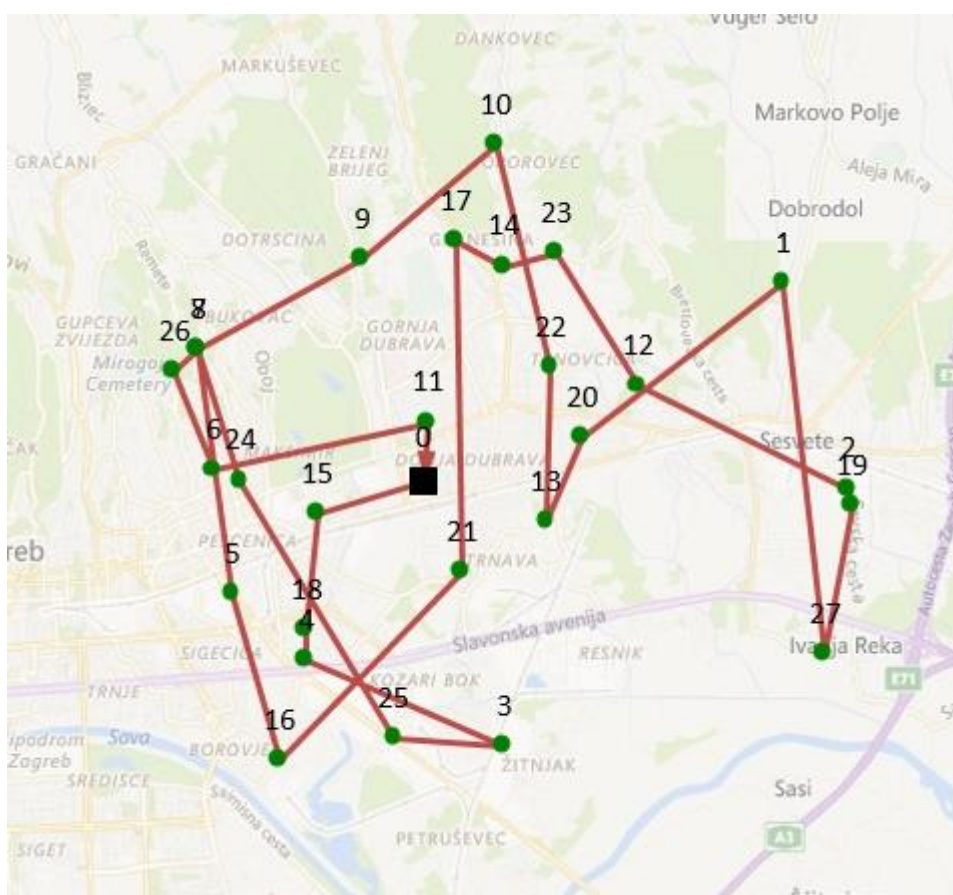
- Stop – redni broj zaustavljanja (posjeta korisnika) – redoslijed obilaska
- ID – oznaka korisnika
- Lu – ukupan prijeđeni put do posjeta korisnika X iskazan u kilometrima
- Vv – ukupno vrijeme vožnje do posjeta korisnika X iskazano u satima
- Vd – vrijeme dolaska kod korisnika X (početak posluživanja) prikazano u satima
- Vo – vrijeme odlaska od korisnika X (kraj posluživanja) prikazano u satima
- Rv – potrošeno radno vrijeme do posjeta korisnika X prikazano u satima

Tablica 31. Vremenski i prostorni rezultati obilaska Istok

Stop	ID	Lu (km)	Vv (h)	Vd (h)	Vo (h)	Rv (h)
0	0	0,00	0:00		08:00	0:00
1	15	2,19	0:05	08:05	08:08	0:08
2	18	4,99	0:15	08:18	08:21	0:21
3	4	6,18	0:19	08:25	08:28	0:28
4	3	11,66	0:30	08:39	08:42	0:42
5	25	14,45	0:36	08:48	08:51	0:51
6	24	19,31	0:47	09:02	09:05	1:05
7	7	21,82	0:52	09:10	09:13	1:13
8	9	27,25	1:06	09:27	09:30	1:30
9	10	31,49	1:20	09:44	09:47	1:47
10	22	35,25	1:30	09:57	10:00	2:00
11	13	37,52	1:37	10:07	10:10	2:10
12	20	39,20	1:42	10:15	10:18	2:18
13	1	44,35	1:54	10:30	10:33	2:33
14	27	50,90	2:09	10:48	10:51	2:51
15	19	53,61	2:16	10:58	12:03	4:03
16	2	53,83	2:16	12:03	12:06	4:06
17	12	58,27	2:27	12:17	12:20	4:20
18	23	61,57	2:35	12:28	12:31	4:31
19	14	62,38	2:37	12:33	12:36	4:36
20	17	63,81	2:42	12:41	12:44	4:44

21	21	69,54	2:57	12:59	13:02	5:02
22	16	74,12	3:09	13:14	13:17	5:17
23	5	78,10	3:18	13:26	13:29	5:29
24	8	82,22	3:28	13:39	13:42	5:42
25	26	83,07	3:30	13:44	13:47	5:47
26	6	85,02	3:36	13:53	13:56	5:56
27	11	88,92	3:46	14:06	14:09	6:09
28	0	90,24	3:51	14:14		6:14

Izvor: Izradio i prilagodio autor



Slika 23. Prikaz rute obilaska Istok

Izvor: Izradio i prilagodio autor

Prema podacima iz Tablice 31 vidljivo je kako je 27 korisnika poslužno unutar 6:14 sati rada. Ukupno vrijeme vožnje vozila je 3:51 sati te ukupna prijeđena udaljenost vozila je 90,24 kilometara. Rutu kretanja vozila prikazuje Slika 23.

Uzevši u obzir autonomiju električnog vozila približno 150 kilometara za gradske dostave, može se zaključiti kako je vozilo u jednom obilasku poslužio 27 korisnika te se uspješno vratilo u skladište. Vozilo nakon izvršenih posluga može bez punjenja baterije poslužiti dodatni broj korisnika čija ukupna ruta obilaska ne prelazi 60 kilometara.

Primjena prikazanog načina usmjeravanja omogućava maksimalni angažman vozila tijekom cijelog radnog dana. Nakon završenih prikazanih dostava vozilo može biti ukrcano narudžbama korisnika koji su naručili vrijeme dostave kasnije od 16:00 sati ili ukrcati nove pristigle narudžbe za dostavu istog dana. Srednja prijeđena udaljenost korisnika za posjećivanje maloprodajnog trgovačkog centra u jednom smjeru iznosi 3,07 kilometra, što je ukupno 165,78 kilometara za 27 korisnika. Smanjenje broja prijeđenih kilometara primjenom ovog modela iznosi 75,54 kilometara. Smanjenje broja vozila na prometnicama iznosi 26 vozila. Ukupna emisija ispušnih plinova korištenjem električnih dostavnih vozila jednaka je 0, a postignuto je smanjenje emisije ugljikovog dioksida u atmosferu je približno 30 kilograma. Uz prosječnu cijenu benzinskog i dizelskog goriva na tržištu od 10,00 kuna, te prosječnu gradsku potrošnju automobila od 6,5 l/100km, ukupni trošak za posjećivanje maloprodajnih trgovačkih centara iznosi približno 107 kuna za 27 korisnika u jednom danu. Ukupan varijabilni trošak električnog vozila uz prosječnu potrošnju 15 kWh/100km, uz cijenu 0,72kn/kWh, tarifnog modela „Poduzetništvo“ koristeći naponsku razinu „Visoki napon“ pogodnu za brze punionice, iznosi 9,72 kune.[84]

8.2.2 Obilazak Zapad – Centar – Sjever

Obilazak Zapad – Centar – Sjever sastoji se od 40 slučajno odabranih lokacija koje se nalaze u zonama Zapad, Centar i Sjever. Tablica 32 prikazuje geografske podatke o lokacijama korisnika.

Tablica 32. Geografski podaci lokacija obilaska Zapad – Centar - Sjever

ID	Širina (y)	Dužina (x)	Početak usluge	Završetak usluge	ID	Širina (y)	Dužina (x)	Početak usluge	Završetak usluge
Depot	45,802317	15,902520	08:00	23:59	21	45,815650	15,942777	12:00	15:59
1	45,808402	15,868553	08:00	11:59	22	45,818880	15,938142	12:00	15:59
2	45,816840	15,877904	12:00	15:59	23	45,813496	15,928358	08:00	11:59
3	45,831315	15,903825	08:00	11:59	24	45,811582	15,960287	12:00	15:59
4	45,839567	15,912408	08:00	11:59	25	45,807633	15,973333	12:00	15:59
5	45,844231	15,925626	12:00	15:59	26	45,806795	15,982946	08:00	11:59
6	45,851167	15,943135	08:00	11:59	27	45,804996	15,973244	08:00	11:59
7	45,858642	15,957555	12:00	15:59	28	45,800688	15,965176	12:00	15:59
8	45,857925	15,958817	08:00	11:59	29	45,793811	15,955563	08:00	11:59
9	45,853625	15,974788	12:00	15:59	30	45,804039	15,951786	12:00	15:59
10	45,847226	15,977191	08:00	11:59	31	45,799555	15,929127	12:00	15:59
11	45,836105	15,977725	08:00	11:59	32	45,807693	15,923806	08:00	11:59
12	45,841606	15,957984	12:00	15:59	33	45,809607	15,916424	12:00	15:59
13	45,838616	15,944251	08:00	11:59	34	45,800513	15,912819	08:00	11:59
14	45,831440	15,930862	12:00	15:59	35	45,807693	15,905327	12:00	15:59
15	45,826536	15,922622	12:00	15:59	36	45,813089	15,928175	08:00	11:59
16	45,819717	15,960458	08:00	11:59	37	45,817636	15,925943	12:00	15:59
17	45,813616	15,980886	08:00	11:59	38	45,821703	15,906889	12:00	15:59
18	45,811462	15,974191	12:00	15:59	39	45,815243	15,963537	08:00	11:59
19	45,812539	15,967668	08:00	11:59	40	45,796934	15,965597	12:00	15:59
20	45,812898	15,957025	12:00	15:59					

Izvor: Izradio u prilagodio autor

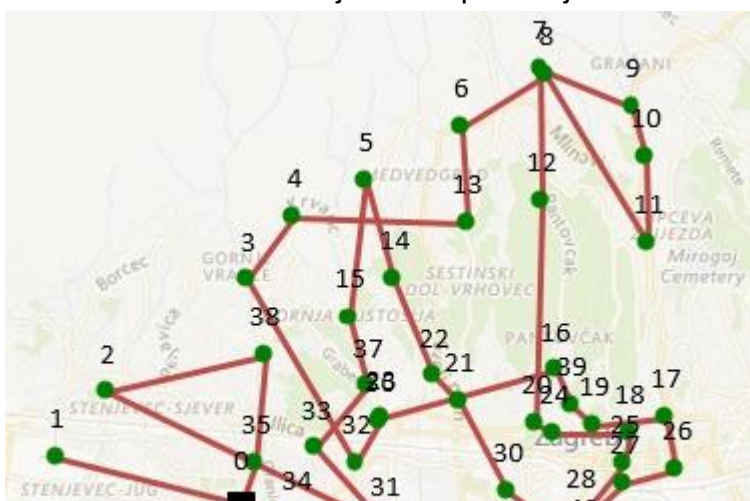
U obilasku Zapad – Centar – Sjever cilj je poslužiti zadani broj korisnika prema kriteriju najkraćeg prijedrenog puta unutar tri zone. Vremenski prozori posluživanja postavljene su u dva termina: 8:00-11:59 sati i 12:00-15:59 sati. Ukupno 19 korisnika prikazanih u Tablici 32 ima definiran vremenski prozor posluživanja u terminu 8:00-11:59 sati te 21 korisnik u terminu 12:00-15:59 sati. Nakon izračuna upotrebom VRPSS-a dobiveni su rezultati prikazani u Tablici 33.

Tablica 33. Vremenski i prostorni rezultati obilaska Istok

Stop	ID	Lu (km)	Vv (h)	Vd (h)	Vo (h)	Rv (h)	Stop	ID	Lu (km)	Vv (h)	Vd (h)	Vo (h)	Rv (h)
0	0	0,00	0:00		08:00	0:00	21	7	50,02	2:19	12:09	12:12	4:12
1	1	3,54	0:08	08:08	08:11	0:11	22	12	52,69	2:25	12:18	12:21	4:21
2	34	7,60	0:17	08:20	08:23	0:23	23	20	56,56	2:33	12:29	12:32	4:32
3	29	11,71	0:26	08:32	08:35	0:35	24	24	58,18	2:38	12:37	12:40	4:40
4	27	15,00	0:36	08:45	08:48	0:48	25	18	59,65	2:41	12:43	12:46	4:46
5	26	16,44	0:42	08:54	08:57	0:57	26	25	60,54	2:43	12:48	12:51	4:51
6	17	17,86	0:48	09:03	09:06	1:06	27	28	61,88	2:47	12:55	12:58	4:58
7	19	19,86	0:53	09:11	09:14	1:14	28	40	62,69	2:51	13:02	13:05	5:05
8	39	20,40	0:54	09:15	09:18	1:18	29	30	64,93	2:59	13:13	13:16	5:16
9	16	21,65	0:57	09:21	09:24	1:24	30	21	67,21	3:05	13:22	13:25	5:25
10	23	25,44	1:06	09:33	09:36	1:36	31	22	67,84	3:07	13:27	13:30	5:30
11	36	26,03	1:07	09:37	09:40	1:40	32	14	70,04	3:13	13:36	13:39	5:39
12	32	27,36	1:13	09:46	09:49	1:49	33	5	71,81	3:17	13:43	13:46	5:46
13	3	31,48	1:27	10:03	10:06	2:06	34	15	74,19	3:23	13:52	13:55	5:55
14	4	33,19	1:32	10:11	10:14	2:14	35	37	75,45	3:26	13:58	14:01	6:01
15	13	37,08	1:44	10:26	10:29	2:29	36	33	77,13	3:32	14:07	14:10	6:10
16	6	38,76	1:51	10:36	10:39	2:39	37	31	79,93	3:41	14:19	14:22	6:22
17	8	40,50	1:56	10:44	10:47	2:47	38	2	85,42	3:59	14:40	14:43	6:43
18	11	45,76	2:08	10:59	11:02	3:02	39	38	88,70	4:07	14:51	14:54	6:54
19	10	47,06	2:11	11:05	11:08	3:08	40	35	90,85	4:12	14:59	15:02	7:02
20	9	47,82	2:13	11:10	12:03	4:03	41	0	91,84	4:15	15:05		7:05

Izvor: Izradio u prilagodio autor

Prema podacima iz Tablice 33 vidljivo je kako je 40 korisnika poslužno unutar 7:05 sati rada. Ukupno vrijeme vožnje vozila je 4:15 sati te ukupna prijeđena udaljenost vozila je 91,84 kilometara. Rutu kretanja vozila prikazuje Slika 24.



Slika 24. Prikaz rute obilaska Zapad – Centar – Sjever

Izvor: Izradio i prilagodio autor

Prema prikazanoj slici ruta obuhvaća tri zone grada. Uzevši u obzir autonomiju električnog vozila približno 150 kilometara za gradske dostave, uz smanjenje autonomije zbog dostave u brdska predjela za 30%, postavljena autonomija vozila je 105 kilometara.[87] Može se zaključiti kako je vozilo u jednom obilasku poslužilo 40 korisnika te se uspješno vratilo u skladište. Vozilo nakon izvršenih dostava zahtijeva punjenje pogonskih baterija. Prema prosječnoj udaljenosti korisnika od trgovačkog centra u jednom smjeru koja iznosi 3,07 kilometara, a ukupan prijeđeni broj kilometara u korisnika u jednom danu iznosio bi 245,60 kilometara te emisija približno 70 kilograma ugljikovog dioksida. Uz spomenutu cijenu energenata u prethodnom poglavlju, trošak korisnika u svrhu posjećivanja trgovačkih centara iznosio bi približno 160 kuna. Primjenom ovog modela dovelo bi do smanjenja potrošnje energetana te bi ukupni varijabilni trošak električnog vozila iznosi približno deset kuna.

8.2.3 Obilazak Zapad – Jug

Obilazak Zapad – Jug sastoji se od 28 slučajno odabranih lokacija koje se nalaze u zonama Zapad i Jug. Tablica 34 prikazuje geografske podatke o lokacijama korisnika.

Tablica 34. Geografski podaci lokacija obilaska Zapad - Jug

ID	Širina (y)	Dužina (x)	Početak usluge	Završetak usluge	ID	Širina (y)	Dužina (x)	Početak usluge	Završetak usluge
Depot	45,802317	15,902520	12:00	21:00	15	45,783354	15,961251	18:00	20:59
1	45,797453	15,873923	12:00	17:59	16	45,774375	15,949234	18:00	20:59
2	45,808463	15,844560	18:00	20:59	17	45,785440	15,969293	12:00	17:59
3	45,808463	15,844560	18:00	20:59	18	45,773803	15,974722	18:00	20:59
4	45,804155	15,878206	12:00	17:59	19	45,764702	15,966482	18:00	20:59
5	45,799248	15,903097	12:00	17:59	20	45,769013	15,937299	18:00	20:59
6	45,811693	15,897775	12:00	17:59	21	45,760271	15,922880	12:00	17:59
7	45,809275	15,897706	18:00	20:59	22	45,756199	15,961736	18:00	20:59
8	45,783237	15,925687	18:00	20:59	23	45,735116	15,930322	18:00	20:59
9	45,802388	15,884145	12:00	17:59	24	45,726009	15,925000	12:00	17:59
10	45,816388	15,874188	12:00	17:59	25	45,734782	15,973409	12:00	17:59
11	45,829786	15,914872	18:00	20:59	26	45,758670	15,975340	12:00	17:59
12	45,826447	15,851848	18:00	20:59	27	45,782210	15,971256	18:00	20:59
13	45,816638	15,839317	18:00	20:59	28	45,759464	15,966915	18:00	20:59
14	45,794255	15,892405	12:00	17:59					

Izvor: Izradio u prilagodio autor

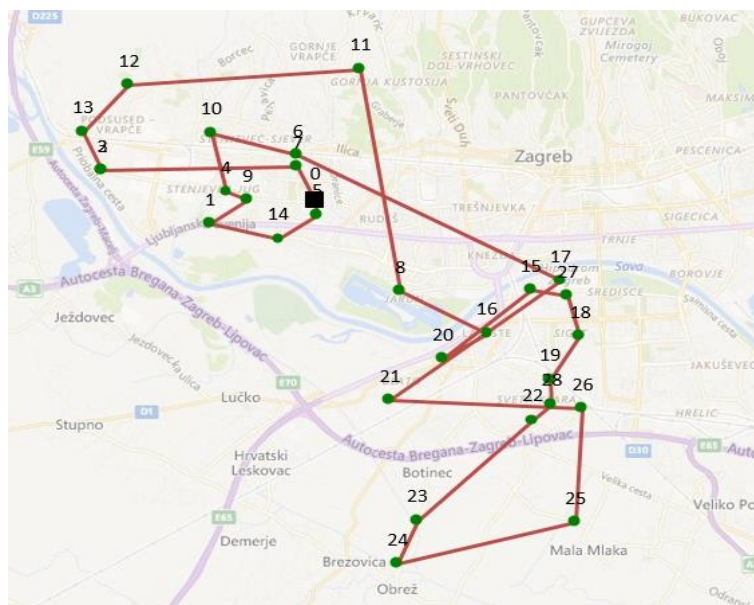
U obilasku Zapad – Jug cilj je poslužiti zadani broj korisnika prema kriteriju najkraćeg prijednog puta unutar dvije zone. Vremenski prozori posluživanja postavljeni su u dva termina: 12:00-17:59 sati i 18:00-20:59 sati. 12 korisnika prikazanih u Tablici 34 ima definiran vremenski prozor posluživanja u terminu 12:00-17:59 sati te 16 korisnika u terminu 18:00-20:59 sati. Nakon izračuna upotrebom VRPSS-a dobiveni su rezultati prikazani u Tablici 35.

Prema Tablici 35 vidljivo je kako je vozilo unutar radnog vremena od 8:48 sati uspjelo poslužiti sve korisnike te se vratiti u skladište. Ukupno vrijeme vožnje vozila je 3:45 sati, a ukupna prijedena udaljenost vozila je 89,95 kilometara. U ovom se slučaju očituje velika razlika između ukupnog radnog vremena te vremena vožnje. U Tablici 35 je vidljivo da se nakon 13. posjeta kod korisnika ID 23, čije posluživanje počinje u 14:21 sati, čeka na početak posluživanja sljedećeg korisnika do 18:10 sati. Razlog tome su vremenski prozori korisnika kojima je određeno dopušteno vrijeme posluživanja. Ovakav primjer ne prikazuje dobru optimizacije usmjeravanja vozila na ruti zbog prevelikog vremena čekanja. U ovom slučaju veća iskoristivost vozila postigla bi se usmjeravanjem vozila nakon 13. posjeta natrag u skladište te angažmanom vozila za posluživanje korisnika u drugim zonama. Rutu kretanja vozila prikazuje Slika 25.

Tablica 35. Vremenski i prostorni rezultati obilaska Zapad- Jug

Stop	ID	Lu (km)	Vv (h)	Vd (h)	Vo (h)	Rv (h)	Stop	ID	Lu (km)	Vv (h)	Vd (h)	Vo (h)	Rv (h)
0	0	0,00	0:00		12:00	0:00	15	28	49,97	1:58	18:19	18:22	6:22
1	5	0,87	0:03	12:03	12:06	0:06	16	19	51,39	2:02	18:26	18:29	6:29
2	14	2,53	0:09	12:12	12:15	0:15	17	18	52,77	2:05	18:32	18:35	6:35
3	1	4,29	0:12	12:18	12:21	0:21	18	27	55,10	2:11	18:41	18:44	6:44
4	9	5,99	0:15	12:24	12:27	0:27	19	15	55,98	2:13	18:46	18:49	6:49
5	4	6,75	0:18	12:30	12:33	0:33	20	20	59,16	2:21	18:57	19:00	7:00
6	10	9,28	0:24	12:39	12:42	0:42	21	16	60,53	2:27	19:06	19:09	7:09
7	6	12,44	0:32	12:50	12:53	0:53	22	8	64,91	2:37	19:19	19:22	7:22
8	17	21,42	0:54	13:15	13:18	1:18	23	11	71,52	2:56	19:41	19:44	7:44
9	21	26,72	1:06	13:30	13:33	1:33	24	12	78,61	3:16	20:04	20:07	8:07
10	26	31,97	1:20	13:47	13:50	1:50	25	13	81,08	3:22	20:13	20:16	8:16
11	25	36,70	1:32	14:02	14:05	2:05	26	3	83,66	3:30	20:24	20:27	8:27
12	24	42,52	1:44	14:17	14:20	2:20	27	2	83,66	3:30	20:27	20:30	8:30
13	23	43,63	1:45	14:21	18:03	6:03	28	7	88,65	3:41	20:41	20:44	8:44
14	22	48,21	1:52	18:10	18:13	6:13	29	0	89,85	3:45	20:48		8:48

Izvor: Izradio i prilagodio autor



Slika 25. Prikaz rute obilaska Zapad – Jug

Izvor: Izradio i prilagodio autor

8.2.4 Obilazak Istok - Centar – Jug

Obilazak Istok - Centar – Jug sastoji se od 30 slučajno odabranih lokacija koje se nalaze u zonama Istok, Centar i Jug. Tablica 36 prikazuje geografske podatke o lokacijama korisnika.

Tablica 36. Geografski podaci lokacija obilaska Istok – Centar - Jug

ID	Širina (y)	Dužina (x)	Početak usluge	Završetak usluge	ID	Širina (y)	Dužina (x)	Početak usluge	Završetak usluge
Depot	45,820025	16,041512	08:00	17:00	16	45,738362	16,017669	08:00	11:59
1	45,825885	16,058359	08:00	11:59	17	45,751153	16,061442	12:00	15:59
2	45,817152	16,040677	12:00	15:59	18	45,751153	16,061442	12:00	15:59
3	45,810212	16,007375	08:00	11:59	19	45,768500	16,055215	08:00	11:59
4	45,816194	16,002851	12:00	15:59	20	45,781071	16,051438	08:00	11:59
5	45,816194	16,002851	08:00	11:59	21	45,786339	16,046460	12:00	15:59
6	45,808298	15,986200	12:00	15:59	22	45,790169	16,043885	08:00	11:59
7	45,802434	15,980192	08:00	11:59	23	45,795597	16,053155	08:00	11:59
8	45,798126	15,991350	08:00	11:59	24	45,802341	16,059334	12:00	15:59
9	45,797288	15,982595	12:00	15:59	25	45,803633	16,083710	08:00	11:59
10	45,787114	15,981394	08:00	11:59	26	45,809496	16,065343	12:00	15:59
11	45,781488	15,984020	12:00	15:59	27	45,812248	16,045258	12:00	15:59
12	45,770952	15,983162	08:00	11:59	28	45,799501	16,019762	08:00	11:59
13	45,762767	15,986767	08:00	11:59	29	45,815810	16,051863	12:00	15:59
14	45,760731	16,001701	12:00	15:59	30	45,824868	16,073624	12:00	15:59
15	45,747875	15,998039	08:00	11:59					

Izvor: Izradio u prilagodio autor

U obilasku Istok - Centar – Jug cilj je poslužiti zadani broj korisnika prema kriteriju najkraćeg prijeđenog puta unutar dvije zone. Vremenski prozori posluživanja postavljeni su u dva termina: 08:00-11:59 sati i 12:00 - 15:59 sati. Ukupno 16 korisnika prikazanih u Tablici 36 ima definiran vremenski prozor posluživanja u terminu 08:00-11:59 sati, a 14 korisnika u terminu 12:00-15:59 sati. Nakon izračuna upotrebom VRPSS-a dobiveni su rezultati prikazani u Tablici 37.

Prema Tablici 37 vidljivo je kako je vozilo unutar trajanja radnog vremena od 6:20 sati uspješno obišlo svih 30 korisnika te se vratilo u skladište. Ukupan prijeđeni put vozila iznosi 83,62 kilometra, a ukupno vrijeme vožnje iznosi 3:55 sati. Prema prosječnoj udaljenosti korisnika od trgovačkog centra koje prema istraživanju iznosi 3,07 kilometara, korisnici bi za obavljanje kupovine u jednom danu trebali automobilima prijeći 184,20 kilometara. Prema srednjoj cijeni pogonskog goriva korisnici bi dnevno utrošili približno 120 kuna. S obzirom na ukupnu prijeđenu udaljenost dostavnog vozila, trošak obilaska za električno dostavno vozilo iznosio bi 9,57 kuna. Osim što bi se smanjio ukupan trošak, emisija ugljikovog dioksida u atmosferu smanjila bi se za 54 kilograma te bi se broj vozila na prometnicama smanjio za 30. Rutu kretanja vozila prikazuje Slika 37.

Tablica 37. Vremenski i prostorni rezultati obilaska Istok – Centar - Jug

Stop	ID	Lu (km)	Vv (h)	Vd (h)	Vo (h)	Rv (h)	Stop	ID	Lu (km)	Vv (h)	Vd (h)	Vo (h)	Rv (h)
0	0	0,00	0:00		08:00	0:00	16	16	41,00	2:07	10:52	10:55	2:55
1	1	1,84	0:06	08:06	08:09	0:09	17	17	45,46	2:17	11:05	12:03	4:03
2	25	6,28	0:19	08:22	08:25	0:25	18	18	45,46	2:17	12:03	12:06	4:06
3	19	11,88	0:35	08:41	08:44	0:44	19	14	50,76	2:27	12:16	12:19	4:19
4	20	13,96	0:40	08:49	08:52	0:52	20	11	54,26	2:35	12:27	12:30	4:30
5	23	16,00	0:48	09:00	09:03	1:03	21	9	56,52	2:41	12:36	12:39	4:39
6	22	17,03	0:54	09:09	09:12	1:12	22	6	59,44	2:49	12:47	12:50	4:50
7	28	19,92	1:06	09:24	09:27	1:27	23	4	61,47	2:57	12:58	13:01	5:01
8	5	22,93	1:15	09:36	09:39	1:39	24	2	64,76	3:04	13:08	13:11	5:11
9	3	23,99	1:18	09:42	09:45	1:45	25	26	67,51	3:09	13:16	13:19	5:19
10	8	27,04	1:27	09:54	09:57	1:57	26	24	69,92	3:14	13:24	13:27	5:27
11	7	28,71	1:33	10:03	10:06	2:06	27	21	72,72	3:24	13:37	13:40	5:40
12	10	32,01	1:41	10:14	10:17	2:17	28	27	76,16	3:37	13:53	13:56	5:56
13	12	34,21	1:49	10:25	10:28	2:28	29	29	77,27	3:41	14:00	14:03	6:03
14	13	35,72	1:54	10:33	10:36	2:36	30	30	80,34	3:48	14:10	14:13	6:13
15	15	38,23	2:00	10:42	10:45	2:45	31	0	83,62	3:55	14:20		6:20

Izvor: Izradio i prilagodio autor

8.3 Primjenjivost prikazanog modela za usmjeravanje vozila na području grada Zagreba

Prema prikazanim rezultatima modela, upotrebom VRP Spreadsheet Solvera baziranog na rješavanju problema usmjeravanja vozila s vremenskim prozorima¹¹ doneseni su sljedeći zaključci. Primjena VRPTW problema za usmjeravanje električnih dostavnih vozila primjenjiva je i učinkovita u slučaju ispunjenja sljedećih uvjeta:

- postojanje velikog broja korisnika na međusobno maloj zemljopisnoj udaljenosti;
- postojanje velikog broja korisnika na maloj zemljopisnoj površini;
- vremenski prozori dovoljno su dugački za mogućnost posluživanja svih korisnika;
- broj korisnika približno je jednoliko raspoređen unutar svih vremenskih prozora;
- nema dugih vremena čekanja na posluživanje korisnika;
- relativno kratko vrijeme posluživanja korisnika.

S gledišta očuvanje okoliša i održivog urbanog razvoja primjena električnih dostavnih vozila u svrhu dostave roba široke potrošnje u gradu Zagrebu je izuzetno primjenjiva. Električna vozila ne emitiraju štetne ispušne plinove te doprinose očuvanju okoliša i životne urbane sredine. Varijabilni troškovi dostave električnim dostavnim vozilima koji uključuju trošak električne energije u odnosu na korištenje automobila u svrhu posjećivanja maloprodajnih trgovačkih centara manji su za 85-90%. Električno dostavno vozilo u prosjeku jednim punjenjem baterije približnog kapaciteta 15 kWh stvara trošak od približno deset kuna i može prijeći 120 kilometara. Za razliku od spomenutog, osobni automobil pokretan benzinskim ili dizelskim motorom za prijelaz iste udaljenosti stvara trošak goriva u iznosu 78 kuna te potrošnju energije od 70 kWh.

Energetska i financijska učinkovitost električnih vozila iskazana primjenom modela trebala bi biti prepoznata i češće korištena od svih sudionika logističkog lanca a osobito u urbanim gradskim sredinama.

¹¹ U daljnjem tekstu VRPTW

9. ZAKLJUČAK

Gradska logistika neupitno je važna prilikom planiranja prometnog sustava grada ili urbane sredine. Dobrim planiranjem sustava postiže se sociološka, ekonomska, ekološka i energentska dobit stvaranjem sustava koji služi ne samo u prometnom smislu, već objedinjuje sve dijelove života urbane sredine. Budući da urbane sredine broje velik broj stanovnika, povećanje broja vozila na prometnicama, prometna zagušenja te emisije ispušnih plinova negativno utječu na cjelokupni sustav. Iz navedenog razloga, gradskom logistikom potrebno je omogućiti efikasnije i kvalitetnije upravljanje prometnim sustavom grada stvarajući time pogodniju i kvalitetniju sredinu življenja.

Sve većim razvojem maloprodaje dolazi do povećanja broja trgovina, sve većeg izbora proizvoda te gotovo neograničene mogućnosti kupovine istih. Marketing uvelike utječe na svijest stanovnika te utječe na odluke o kupovini nekog proizvoda. Budući da je danas internet trgovina razvijena većinom za kupovinu malog obujma, odnosno određenog artikla ili nekoliko artikala, većina stanovnika svakodnevno i dalje kupuje u trgovačkim centrima. Razvoj tehnologije omogućuje vrlo jednostavnu mogućnost internet kupovine svih vrsta roba no kupovina prehrambenih proizvoda te roba široke potrošnje i dalje je rezervirana za kupovinu u prodajnim objektima odnosno trgovinama. Razlog tome može biti iskazan u problematici organizacije distribucije maloprodajnih prehrambenih proizvoda koje kupci najčešće kupuje u trgovinama. Problematika se očituje u širini asortimana te mogućnosti dovoljno brzog ispunjenja zahtjeva kupaca prilikom ovakve kupovine. Kupci takve proizvode žele odmah ili u vrlo kratkom roku što nije uvijek jednostavno omogućiti a osobito u gradskim sredinama. Kako bi se navedeno omogućilo, potrebno je koristiti suvremene načine organizacije distribucije roba kojima se postiže učinkovito upravljanje resursima.

Osim problema organizacije distribucije nameće se i pitanje ekologije. Veliki broj automobila, dostavnih vozila te kamiona na gradskim prometnicama dovodi do stvaranja prometnih gužvi te onečišćenja zraka. Upotrebom električnih dostavnih vozila u gradovima emisija štetnih ispušnih plinova smanjuje se u velikom udjelu. Učinkovitim usmjeravanjem vozila moguće je obaviti nekoliko desetaka dostava jednim vozilom u jednom što utječe na smanjenje broja automobila na prometnicama te smanjenju emisije ispušnih plinova.

Prema rezultatima istraživanja tržišta vidljivo je kako je svijest ispitanika djelomično razvijena po pitanju upotrebe automobila te onečišćenju okoliša. Približno 90% ispitanika smatra kako korištenje automobila u svrhu posjećivanja trgovačkih centara doprinosi onečišćenju okoliša. Zabrinjavajuća je činjenica što bi približno 55% ispitanika koristilo mogućnost dostave na kućnu adresu električnim dostavnim vozilima iako je ekološki i energetski prihvatljiva više od trenutnog načina obavljanja kupovine. Manje od 15% ispitanika bilo bi spremno platiti za dostavu električnim vozilima roba naručenu iz internet trgovine preferiranog trgovačkog lanca.

Kako bi distribucija električnim vozilima u gradovima funkcionirala, istraživanje je pokazalo kako je odabir lokacije urbanog distribucijskog centra od ključne važnosti. Pravilno lociranje urbanog distribucijskog centra povećava učinkovitost cjelokupnog sustava distribucije roba kroz smanjenje troškova voznog parka, veće stope angažiranosti vozila te smanjenja broja urbanih kretanja. Pravilan način usmjeravanja dostavnih vozila najvažniji je čimbenik u ostvarenju željenih ciljeva smanjenja broja osobnih vozila na prometnicama te očuvanja okoliša. Istraživanjem je potvrđena pretpostavka da se primjenom električnih dostavnih vozila u svrhu dostava roba široke potrošnje postižu višestruke koristi u odnosu na individualni način posjećivanja trgovačkih centara. Primjenom električnih dostavnih vozila postiže se primarni cilj očuvanja okoliša te smanjenje emisije ispušnih plinova. Osim očuvanja okoliša, doprinosi smanjenju broja vozila na prometnicama, smanjenju prometnih gužvi, povećanju učinkovitosti upotrebe energenata te povećanju sigurnosti na prometnicama. Dobivenim rezultatima istraživanja o primjeni modela važno je reći da je ovakav koncept primjenjiv uz neprestano ulaganje u povećanje svijesti korisnika o ekološkim i održivim načinima upravljanja urbanom sredinom te razvijanjem svijesti da i oni mogu biti sudionici u stvaranju kvalitetnog, učinkovitog i modernog gradskog prometnog sustava.

Popis literature

- [1] Distribucijska logistika 1 - Autorizirana predavanja, dr.sc. Tomislav Rožić - Gradska (city) logistika; Fakultet prometnih znanosti, 2015.
- [2] Ehmke, J. F: Integration of Information and Optimization Models for Routing in City Logistics, International Series in Operations Research & Management Science 177
- [3] Europlatforms: Logistics centers; Directions for use, 2004.
- [4] Ballou, R.H.: Business Logistics Management. (4th ed.). Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall; 1999.
- [5] Tadić, S., Zečević, S., Krstić, M.: City Logistics – Status And Trends. International Journal For Traffic And Transport Engineering. 5.; 2015. p.319-343.
- [6] Zečević, S.; Tadić, S.: City logistics (in Serbian: City logistika). Faculty of Transport and Traffic Engineering, University of Belgrade, Belgrade, 2006.
- [7] Whiteing, A.E. Edwards, S.J.: Goods Deliveries in City Centres: Have we got the policy balance right? In Freight, proceedings of seminar B held at PTRC European Transport Forum, Brunel University, Vol.P412, 2001. p.67-77.
- [8] Lozano, A.: Estudio integral metropolitano de transporte de carga y medio ambiente para el Valle de México (EIMTC-M AV M). Final Report. Universidad Autonoma de México, Comision Ambiental Metropolitana, 2006.
- [9] 3PL vs 4PL: What are these PLS, Anyway? Layers of Logistics Explained. <http://cerasis.com/2013/08/08/3pl-vs-4pl/> (pristupljeno 26.6.2018.)
- [10] Kato, H., Sato, J.: Urban Freight Transportation analysis in Developing Countries: Case Study in Medan, Indonesia. Non published, 2006.
- [11] Joubert, J.W., Axhausen, K.W.: Inferring commercial vehicle activities in Gauteng, South Africa, Journal of Transport Geographym, 2009.; p.115-124
- [12] Quak, H., de Koster, M.B.: How to Deal with Urban Policy Restrictions and the Environment, Transportation Science, 43(2); 2009., p.211-227.
- [13] CE Delft (Committed to the Environment), Handbook on Estimation of External Cost in the Transport Sector. Produced within the Study Internalisation Measures and Policies for All external Cost of Transport (I M PACT);2008.
- [14] Buis, J.: A new Paradigm for Urban Transport Planning: Cyclig Inclusive Planning at the Pre-event Training Workshop on Non-Motorized Transport in Urban Areas, 4th Regional EST Forum in Asia, Seoul, Republic of Korea; 2009.
- [15] Behrends, S., Lindholm, M., Woxenius, J.:The Impact of Urban Freight Transport: A Definition of Sustainability from an Actor's Perspective, JournalTransportation Planning and Technology Volume 31, 2008., p.693-713
- [16] Duranda, B., Gonzalez-Feliub, J.: Urban Logistics and E-Grocery: Have Proximity Delivery Services a Positive Impact on Shopping Trips?, Procedia - Social and Behavioral Sciences, Volume 39, 2012., p.510-520
- [17] McKinnon, A.C.: The development of retail logistics in the UK: a position paper, Technology Foresight: Retail and Distribution Panel, Heriot-Watt University, Edinburgh, 1996.
- [18] Planiranje logističkih procesa - Autorizirana predavanja, Prof. dr. sc. Mario Šafran - Planiranje Robnih Tokova U Strukturi Opskrbnog Lanca, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb
- [19] The Retail Marketing Mix, Distribution channel and Supply Chain, <https://www.slideshare.net/suyashthephotographer/the-retail-marketing-mix-distribution-channel-and-supply-chain> (pristupljeno 17.6.2018.)
- [20] Langley, C.J.: The evolution of the logistics concept, Journal of Business Logistics, Vol. 7 No. 2, 1986., p.1-13.

- [21] Christopher, M., Peck, H.: Marketing Logistics, 2nd ed., Butterworth-Heinemann, Oxford, 2003.
- [22] Walters, D., Rainbird, M.: The demand chain as an integral component of the value chain, *Journal of Consumer Marketing*, Vol. 21, 2004. pp. 465-475.
- [23] Canever, M.D., van Trijp, H.C.M., Beers, G.: The emergent demand chain management: key features and illustration from the beef business, *Supply Chain Management*, Vol. 13 No. 2, 2008. p.104-115.
- [24] Langabeer, J., Rose, J.: Creating Demand Driven Supply Chains, Chandos, Oxford, 2002.
- [25] Fernie, J., Pfab, F. and Marchant, C.: Retail grocery logistics in the UK, *International Journal of Logistics Management*, Vol. 11 No. 2, 2000., p.83-90.
- [26] Sparks, L.: The Retail Logistics Transformation, *Logistics and Retail Management*, Ch. 1, Kogan Page, London, 1998., p.1-22.
- [27] Fernie, J., Grant, D.B.: On shelf availability: the case of a UK grocery retailer, *The International Journal of Logistics Management*, Vol. 19 No. 3, 2008., p.293-308.
- [28] Smith, D.L.G.: The role of retailers as channel captains in retail supply chain change: the example of Tesco, unpublished PhD Thesis, Department of Marketing, University of Stirling, Stirling, 2006.
- [29] Meng, Q., Grant, D.B., Fernie, J., Improving On-Shelf Availability and Out-of-Stocks in Non-food Retail, 2012 RIRL Conference-Best Papers, p. 4-12.
- [30] Christopher, M., Lawson, R., Peck, H.: Creating agile supply chains in the fashion industry, *International Journal of Retail & Distribution Management*, Vol. 32 No. 8, 2004., p. 367-376.
- [31] Bruce, M., Daly, L., Towers, N.: Lean or agile: a solution for supply chain management in the textiles and clothing industry, *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 23 No. 2, 2004., p. 151-170.
- [32] Barnes, L., Lea-Greenwood, G.: Fast fashioning the supply chain: shaping the research agenda, *Journal of Fashion Marketing and Management*, Vol. 10 No. 3, 2006., p. 259-271.
- [33] Fernie, J., Azuma, N.: The changing nature of Japanese fashion; can quick response improve supply chain efficiency?, *European Journal of Marketing*, Vol. 38 No. 7, 2004. p. 749-769.
- [34] Birtwistle, G., Siddiqui, N., Fiorito, S.: Quick response: perceptions of UK fashion retailers, *International Journal of Retail & Distribution Management*, Vol. 31 No. 2, 2003., p. 118-128.
- [35] McMichael, H., Mackay, D., Altman, G.: Quick response in the Australian TCF industry: a case study of supplier response, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 30, 2000.
- [36] Forza, C., Vinelli, A.: Quick response in the textile-apparel industry and the support of information technologies, *Integrated Manufacturing Systems*, Vol. 8 No. 3, 1997., p. 125-136.
- [37] Birtwistle, G., Siddiqui, N., Fiorito, S.: Quick response: perceptions of UK fashion retailers, *International Journal of Retail & Distribution Management*, Vol. 31 No. 2, 2003., p. 118-128.
- [38] Langley, J., John, C., Bardi, J.: Management of Business Logistics: A Supply Chain Perspective, 7th Edition
- [39] Christopher, M., Towill, D.: An integrated model for the design of agile supply chains, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 31 No. 4, 2001., p. 235-246.
- [40] Verdict Research Consultancy. No sign of an e-tail slowdown, Press Release, April 2016.

- [41] Xing, Y., Grant, D.: Developing a Framework for Measuring Physical Distribution Service Quality of Multi-channel and 'Pure Player' Internet Retailers, *International Journal of Retail & Distribution Management*, 34, 2006., p. 278-289.
- [42] Fernie, J., Sparks, L., McKinnon, A.C.: Retail logistics in the UK: past, present and future, *International Journal of Retail & Distribution Management*, Vol. 38, 2010.
- [43] McClellan, J.: Sweet Smell of Success, *The Guardian*, 2003.
- [44] Mees, M.D.: The Place of the Food Industry in the Global E-commerce Universe: Ahold's Experience, paper presented to the CIES conference on Supply Chain for E-commerce and Home Delivery in the Food Industry, Berlin, 2000.
- [45] Fraunhofer Institute. Consumer Direct Logistics, ECR- Europe, Brussels, 2002.
- [46] Morrell, L.: Flexible Zara holds lessons for slowcoach competitors, *Retail Week*, 2001. p.10
- [47] Nockold, C.: Identifying the real costs of home delivery, *Logistics & Transport Focus*, 2001., p. 70-71.
- [48] Punakivi, M., Tanskanen, K.: Increasing the cost efficiency of e-fulfilment using shared reception boxes, *International Journal of Retail & Distribution Management*, 2002., p. 498-507.
- [49] Lee, Hau L., Whang S.: Winning the Last Mile of E-commerce, *MIT Sloan Management Review*, Vol. 42, Iss. 4, 2001. p. 54-62.
- [50] Van der Laan, J.W.: The future of online food retailing, *Retail Economics*, 2000.
- [51] Reda, S.: Internet Food Retailers Face Tough Picking, Delivery Issues, *Stores*, 1998, p. 50-51.
- [52] Ballou, R.H., Agarwahl, Y. K.: A Performance comparison of Several Popular Algorithms for Vehicle Routing and Scheduling, *Journal of Business Logistics*, Vol. 9, No. 1, 1988., p. 51-65.
- [53] Perttunen, J.: Computational experiments on edge exchange heuristics for the euclidean travelling salesman problem, *Acta Wasaensia*, No. 33, Mathematics 5. Operational Research, University of Vaasa, Vaasa, Finland, 1995.
- [54] Solomon, M.: Algorithms for the Vehicle Routing and Scheduling Problems with Time Window Constraints, *Operations Research*, , Vol. 35 No. 2, 1987., p. 254-262.
- [55] Desrochers, M., Desrosiers, J., Solomon, M.: A New Optimization Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Time Windows, *Operations Research*, Vol. 40, No. 2, 1992, p. 342-353.
- [56] Larminie J., Lowry J.: Electric vehicle technology explained, West, West Sussex, England, 2003., p. 63-64.
- [57] Emadi, A., Rajashekara, K., Williamson, S.S., Lukic, S.M.: Topological overview of hybrid electric and fuel cell vehicular power system architectures and cogurations. *IEEE Transactions on Vehicular Technology* 54, 2005.
- [58] Pollet, B.G., Stell, I., Shang, J.L.: Current status of hybrid, battery and fuel cell electric vehicles: From electrochemistry to market prospects. *Electrochimica Acta* 84, 2012., p. 235-249.
- [59] Feng, W., Figliozzi, M.: An economic and technological analysis of the key factors affecting the competitiveness of electric commercial vehicles: A case study from the USA market. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 26, 2013., p. 135-145.
- [60] Tae, T., J. Kreutzfeldt, T. Held, R. Konings, R. Kotter, S. Lilley, H. Baster, N. Green, M. Stie Laugesen, S. Jacobsson, M. Borgqvist, C. Nyquist: Comparative analysis of european examples of freight electric vehicles schemes. A systematic case study approach with examples from Denmark, Germany, the Netherlands, Sweden and the UK. 4th International Conference on Dynamics in Logistics (LDIC 2014). Bremen, Germany, 2014.

- [61] Chan, C.C.: The state of the art of electric, hybrid, and fuel cell vehicles. Proceedings of the IEEE 95(4), 2007., p. 704-718.
- [62] Tuttle, D.P., Kockelman, K.M.: Electric vehicle technology trends, infrastructure implications, and cost comparisons. Journal of the Transportation Research Forum 51, 2012.
- [63] Emadi, A., Rajashekara, K., Williamson, S.S., Lukic, S.M.: Topological overview of hybrid electric and fuel cell vehicular power system architectures and configurations. IEEE Transactions on Vehicular Technology 54, 2005.
- [64] den Boer, E., Aarnink, S., Kleiner, F., Pagenkopf, J.: Zero emission trucks: An overview of state-of-the-art technologies and their potential. CE Delft and DLR, commissioned by the International Council on Clean Transportation (ICCT). 2013.
- [65] EVT; Electric Vehicle Architectures, Nan Qin., http://evsummit.org/speakers/presentations/2016/Workshop_Powertrain_Qin.pdf (pristupljeno 20.7.2018)
- [66] Iwan, S., Kijewska, K., Kijewski, D.: Possibilities of Applying Electrically Powered Vehicles in Urban Freight Transport, 1st International Conference Green Cities 2014 – Green Logistics for Greener Cities, Maritime University of Szczecin, Faculty of Economics and Transport Engineering, ul. Pobożnego 11, Szczecin, Poland
- [67] Allen J., Thorne G., Browne M. BESTUFS. Good Practice Guide on Urban Freight Transport, 2007.
- [68] Rogall H.: Ekonomia zrównoważonego rozwoju. Teoria i praktyka, Wydawnictwo Zysk i s-ka, Poznań, 2010.
- [69] Centar za vozila Hrvatske, Broj vozila s električnim i hibridnim pogonom (2007-2017), <https://www.cvh.hr/tehnicki-pregled/statistika/> (pristupljeno 25.6.2018.)
- [70] COPERT, <http://www.emisia.com/utilities/copert/> (pristupljeno 28.6.2018.)
- [71] European Union: Urban freight transport and logistics – an overview of the European research and policy. Report of the European Commission Brussels: European Union
- [72] Sopha, B.M., Sri Asih, A.M., Pradana, F., Gunawan, H., Karuniawati, Y.: Urban distribution center location: Combination of spatial analysis and multi-objective mixed-integer linear programming, International Journal of Engineering Business Management, 2016.
- [73] Logistika i transportni modeli - Autorizirana predavanja, prof. dr. sc. Stanković, R., prof. dr. sc. Pašagić Škrinjar, J., Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zavod za transportnu logistiku
- [74] Srdjević, B., Jandrić, Z.: Analitički hijerarhijski procesi u strateškom gazdovanju sumama, Novi Sad, 2000.
- [75] Hunjak, T., Jakovčević, D.: Višekriterijski modeli za rangiranje i uspoređivanje banaka, Izvorni znanstveni rad, Zbornik Ekonomskog fakulteta u Zagrebu, godina 1, broj 1, 2003.
- [76] Geoportal grada Zagreba, <https://geoportal.zagreb.hr/Karta> (pristupljeno 27.7.2018.)
- [77] The Scientific Electronic Library Online, www.scielo.org.za (pristupljeno 29.7.2018.)
- [78] Državni zavod za statistiku, https://www.dzs.hr/hrv/censuses/census2011/results/htm/H01_01_03/h01_01_03_zup21.html (pristupljeno 5.7.2018.)
- [79] http://www1.zagreb.hr/zgstat/documents/POPIS%202011/GZ_stanovnistvo_kucanstva_stanovi/Popis2011_GZ_Kucanstva.pdf (pristupljeno 5.7.2018.)
- [80] Agrebi, M., Abed, M.: Urban Distribution Centers' Location Selection's Problem: A survey, The 4th IEEE International Conference on Advanced Logistics and Transport, 2015.

- [81] Desrosiers, J., Dumas, Y., Solomon, M. and Soumis, F.: Time constrained routing and scheduling, In: Handbooks in Operations Research and Management Science , Vol. 8, Network Routing, 1995., p. 135-139.
- [82] Nasser A.El-Sherbeny: Vehicle routing with time windows: An overview of exact, heuristic and metaheuristic methods, Journal of King Saud University – Science, Volume 22, Issue 3, 2010., p. 123-131.
- [83] Galić, A: Rješavanje problema usmjeravanja vozila hibridnim staničnim evolucijskim algoritmom, Doktorski rad, Fakultet prometnih znanosti, Sveučilište u Zagrebu, 2018.
- [84] Wu,X., Alfredo, William, K.: Electric vehicles' energy consumption measurement and estimation. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2015.

Popis kratica

2PL	(Second Party Logistics) logistika drugih strana
3PL	(Third Party Logistics) logistika trećih strana
BEV	(Battery Electric Vehicle) baterijska električna vozila
CPFR	(Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment) zajedničko planiranje, prognoziranje i popunjavanje zaliha
DC	distribucijski centar
ECR	(Efficient Consumer Response) učinkoviti odgovorom potrošača
EEA	(European Environment Agency) Europska agencija za okoliš
EREV	(Extended Range Electric Vehicle) kratica električno vozilo s produljenim dometom
FCEV	(Fuel Cell Electric Vehicle) električna vozila s gorivim ćelijama
FMCG	(Fast-moving Consumer Goods) robe široke potrošnje
HEV	(Hybrid Electric Vehicle) hibridna električna vozila
IT	informacijska tehnologija
LRTAP	(Long-Range Transboundary Air Pollution) Konvencija o dalekosežnom prekograničnom onečišćenju zraka
OOS	(Out of Stocks) stanje bez zaliha
OSA	(On Shelf Availability) dostupnost robe na policama
PEV	(Plug-In Electric Vehicle) punjiva električna vozila
PHEV	(Plug-in Hybrid Electric Vehicle) punjiva hibridna električna vozila
QR	(Quick Response System) sustava brze reakcije
SCM	(Supply Chain Management) upravljanje opskrbnim lancem
TSP	(Travelling Salesman Problem) problem trgovačkog putnika
UNECE	(United Nations Economic Commission for Europe) Ekonomske komisija Ujedinjenih naroda za Europu
VRP	(Vehicle Routing Problem) problem usmjeravanja vozila

VRPTW (Vehicle Routing Problem with Time Windows) problema usmjeravanja vozila s vremenskim prozorima

Popis slika

Slika 1. Izazovi logističkih pružatelja usluga u budućnosti	3
Slika 2. Prikaz modela logističkog outsourcinga	8
Slika 3. Začarani krug utjecaja razvoja transporta	10
Slika 4. Načela održivog urbanog transportnog sustava	11
Slika 5. Tradicionalni lanac opskrbe u maloprodaji	14
Slika 6. Prikaz CFPR procesnog modela	18
Slika 7. Osnovni elementi QR sustava	21
Slika 8. Klasifikacija sustava kućnih isporuka bez prisustva primatelja	27
Slika 9. Slijedni prikaz anketnog upitnika	45
Slika 10. Sučelje COPERT-a za unos meteoroloških podataka	49
Slika 11. Sučelje COPERT-a za unos podataka o aktivnostima vozila prema EURO standardu	50
Slika 12. Sučelje COPERT-a za unos aktivnosti vozila i srednjim brzinama vožnje .	51
Slika 13. Prikaz hijerarhije AHP metode	57
Slika 14. Zemljopisni prikaz područja grada Zagreba	62
Slika 15. Model određivanja lokacije UDC-a primjenom AHP metode	63
Slika 16. Sučelje VRP Spreadsheet Solvera unutar MS Excela	78
Slika 17. Upravljačka konzola VRP Spreadsheet Solvera	79
Slika 18. Sučelje VRP Spreadsheet Solvera za unos podataka o lokacijama	79
Slika 19. Sučelje VRP Spreadsheet Solvera međusobnih udaljenosti lokacija	80
Slika 20. Sučelje VRP Spreadsheet Solvera za unos podataka o vozilima	80
Slika 21. Sučelje prikaza rješenja VRP Spreadsheet Solvera	81
Slika 22. Grafičko sučelje prikaza rješenja unutar VRP Spreadsheet Solvera	81
Slika 23. Prikaz rute obilaska Istok	84
Slika 24. Prikaz rute obilaska Zapad – Centar – Sjever	87
Slika 25. Prikaz rute obilaska Zapad – Jug	90

Popis tablica

Tablica 1. Usporedba lanca opskrbe i potražnje	16
Tablica 2. Tehnička specifikacija tipova električnih vozila	33
Tablica 3. Tehničke karakteristike električnih dostavnih vozila	36
Tablica 4. Tehničke karakteristike električnih dostavnih vozila s mogućnošću brzog punjenja	39
Tablica 5. Ocjena utjecaja električnih vozila u smislu održive mobilnosti	41
Tablica 6. Broj vozila prema vrsti pogonskog goriva i EURO standardu korištenih u svrhu posjećivanja maloprodajnih centara.....	47
Tablica 7. Broj prijeđenih kilometara u jednom tjednu prema vrsti pogonskog goriva i EURO standardu u svrhu posjećivanja maloprodajnih centara.....	47
Tablica 8. Broj prijeđenih kilometara u jednoj godini prema vrsti pogonskog goriva i EURO standardu u svrhu posjećivanja maloprodajnih centara.....	48
Tablica 9. Srednja prijeđena udaljenost (u kilometrima) u jednog godini po jednom vozilu prema vrsti pogonskog goriva i EURO standardu u svrhu posjećivanja maloprodajnih centara.....	48
Tablica 10. Broj i udio ispitanika prema tjednom broju posjećivanja maloprodajnih centara	49
Tablica 11. Udio ispitanika prema vremenskom periodu posjećivanja maloprodajnih centara	51
Tablica 12. Prikaz emisija ugljikovog dioksida (CO ₂)	52
Tablica 13. Prikaz emisija ugljikovog monoksida (CO)	53
Tablica 14. Prikaz emisija dušikovih oksida (NO _x)	54
Tablica 15. Saatyjeva ljestvica.....	58
Tablica 16. Usporedba kriterija za određivanje lokacije UDC-a.....	63
Tablica 17. Normalizirana matrica A'	64
Tablica 18. Slučajni indeksi	66
Tablica 19. Broj stanovnika prema zonama.....	66
Tablica 20. Usporedba lokacija s aspekta broja stanovnika	67
Tablica 21. Odnos broja stanovnika i stanovnika koji se koriste internetom prema gradskim četvrtima	68
Tablica 22. Broj stanovnika i potencijalnih korisnika po zoni	69
Tablica 23. Usporedba lokacija s aspekta broja potencijalnih korisnika	69

Tablica 24. Broj postojećih maloprodajnih objekata prema zonama grada Zagreba	70
Tablica 25. Usporedba lokacija s aspekta infrastrukture	71
Tablica 26. Prostorna površina grada po zonama	71
Tablica 27. Usporedba lokacija s aspekta veličine područja posluživanja.	72
Tablica 28. Agregirana matrica rangiranja.....	72
Tablica 29. Koordinate objekata za određivanje optimalne lokacije urbanog distribucijskog centra u zoni Istok i Zapad	74
Tablica 30. Geografski podaci lokacija obilaska Istok.....	82
Tablica 31. Vremenski i prostorni rezultati obilaska Istok	83
Tablica 32. Geografski podaci lokacija obilaska Zapad – Centar - Sjever	86
Tablica 33. Vremenski i prostorni rezultati obilaska Istok	87
Tablica 34. Geografski podaci lokacija obilaska Zapad - Jug	88
Tablica 35. Vremenski i prostorni rezultati obilaska Zapad- Jug.....	89
Tablica 36. Geografski podaci lokacija obilaska Istok – Centar - Jug	90
Tablica 37. Vremenski i prostorni rezultati obilaska Istok – Centar - Jug.....	91

Popis grafikona

Grafikon 1. Usporedba maksimalnog dometa i vremena punjenja	37
Grafikon 2. Usporedba maksimalne nosivosti i brzine vozila.....	38



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj diplomski rad

isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

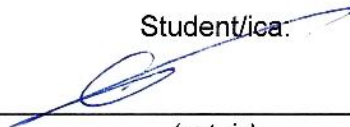
Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu diplomskog rada
pod naslovom Koncept uvođenja električnih dostavnih vozila u maloprodajnim lancima

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

U Zagrebu, 10.09.2018

Student/ica:



(potpis)