Analiza problema usmjeravanja vozila na realnom primjeru

Perković, Eugen

Master's thesis / Diplomski rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:766838

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Eugen Perković

Zagreb, 2018.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

prof. dr. sc. Goran Đukić, dipl. ing.

Student:

Eugen Perković

Zagreb, 2018.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentoru prof. dr. sc. Goranu Đukiću na njegovoj pomoći i razumijevanju tijekom izrade ovog rada te na njegovom trudu i savjetima koji su pridonijeli izradi rada. Također se zahvaljujem specijalistu za upravljanje transportnom logistikom u poduzeću Konzum d.o.o., Igoru Marčiću, na ustupljenim podacima i pomoći koja mi je omogućila izradu ovoga rada.

Eugen Perković

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE
Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za diplomske radove studija strojarstva za smjerove:
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment,
inženjerstvo materijala te mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum:	Prilog:
Klasa:	
Ur. broj:	

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **EUGEN PERKOVIĆ** Mat. br.: 0035196900

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Analiza problem usmjeravanja vozila na realnom primjeru**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Analysis of vehicle routing problem in real case application**

Opis zadatka:

U procesu opskrbe maloprodajnih mjesta koristi se flota vozila, pri čemu je optimizacija tog logističkog procesa poznati problem usmjeravanja vozila, eng. Vehicle Routing Problem, VRP. Za rješavanje tog problema koji se u praksi pojavljuje u raznim varijantama razvijene su brojne metode, kao i komercijalni softveri. U radu se na odabranom skupu podataka iz realnog primjera ilustrira i rješava problem.

U radu je potrebno:
- dati teorijski prikaz problema usmjeravanja vozila,
- opisati realni primjer iz prakse,
- ilustrirati primjenu raznih metoda (algoritama) i dostupnih softverskih rješenja na podacima iz primjera,
- analizirati dobivena rješenja i usporediti sa stvarnim provedenim rezultatima iz prakse.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan: 27. rujna 2018.

Rok predaje rada: 29. studenog 2018.

Predviđeni datum obrane: 05. prosinca 2018. 06. prosinca 2018. 07. prosinca 2018.

Zadatak zadao:

prof. dr. sc. Goran Đukić

Predsjednica Povjerenstva:

prof. dr. sc. Biserka Runje

SADRŽAJ

SADRŽAJ I
POPIS SLIKA III
POPIS TABLICA V
POPIS OZNAKA VII
SAŽETAK VIII
SUMMARY IX
1. UVOD 1
2. OPTIMIZACIJA ORGANIZACIJE TRANSPORTA 2
2.1. Problem usmjeravanja vozila 2
2.1.1. Analiza problema 4
2.1.2. Tipovi problema usmjeravanja vozila i njihova definicija 5
2.2. Pristupi rješavanju problema usmjeravanja vozila 9
2.2.1. Heuristički postupci rješavanja 10
3. O PODUZEĆU KONZUM D.D. 19
3.1. Opći podaci 19
3.2. Logistika poduzeća 19
4. ANALIZA POSTOJEĆIH RUTA DOSTAVE PODUZEĆA KONZUM D.D. 21
4.1. Analiza dobivenih transportnih podataka 21
4.2. Prikaz postojećih ruta na karti 23
4.2.1. Ruta 1, putovanje 1, vozilo A1 26
4.2.2. Ruta 2, putovanje 1, vozilo B1 28
4.2.3. Ruta 3, putovanje 1, vozilo A2 29
4.2.4. Ruta 3, putovanje 2, vozilo A2 30
4.2.5. Ruta 4, putovanje 1, vozilo C1 31
4.2.6. Ruta 5, putovanje 1, vozilo B2 32
4.2.7. Ruta 6, putovanje 1, vozilo B3 33
4.2.8. Ruta 7, putovanje 1, vozilo B4 34
4.2.9. Ruta 8, putovanje 1, vozilo A1 35
4.2.10. Ruta 9, putovanje 1, vozilo A2 36
5. ANALIZA TROŠKOVA U CESTOVNOM PRIJEVOZU 38
5.1. Direktni troškovi 38
5.2. Varijabilni troškovi 39

5.3. Fiksni troškovi 40
6. IZRAČUN TROŠKOVA PRIJEVOZA NA PRIMJERU 41
6.1. Polazne osnove za izračunavanje vrijednosti usluge prijevoza na primjeru petotonskog (12-14 paletni) klasičnog kamiona 41
6.2. Polazne osnove za izračunavanje vrijednosti usluge prijevoza na primjeru desetotonskog (18 paletnog) klasičnog kamiona 44
6.3. Izračun troškova transporta po rutama 46
7. OPTIMIZACIJA POSTOJEĆIH RUTA 50
7.1. Rješavanje CVRP problema na preklapajućim rutama uz pomoć *Sweep* algoritma 50
7.1.1. Ruta 1 i 3a 51
7.1.2. Ruta 6 i Ruta 7 53
7.1.3. Ruta 4, Ruta 8 i Ruta 9 55
7.2. Rješavanje TSP problema *Clarke and Wright* algoritmom 57
7.2.1. Ruta 1 57
7.2.2. Ruta 2 65
7.2.3. Ruta 3a 70
7.2.4. Ruta 3b 74
7.2.5. Ruta 4 77
7.2.6. Ruta 5 81
7.2.8. Ruta 7 88
7.2.9. Ruta 8 93
7.2.10. Ruta 9 97
7.3. Rješavanje CVRP problema na rutama 6 i 7 uz pomoć Clarke i Wright algoritma ... 102
8. ANALIZA REZULTATA 110
9. ZAKLJUČAK 112
LITERATURA 114
PRILOZI 115

POPIS SLIKA

Slika 1. Primjer grafičkog prikaza VRP-a [4] 4
Slika 2. Pristupi rješavanja problema usmjeravanja vozila [3] 9
Slika 3. Algoritam najbližeg susjeda [4] 12
Slika 4. Clarke i Wright algoritam ušteda [4] 16
Slika 5. Grupiranje korisnika kod Sweep algoritma [2] 17
Slika 6. Zadana skupina lokacija sa pripadajućim potražnjama [4] 17
Slika 7. Korak 1: Grupiranje lokacija [4] 18
Slika 8. Korak 2: Rješavanje TSP problema za svaku dobivenu grupu lokacija [4] 18
Slika 9. Logo poduzeća Konzum d.d. [7] 20
Slika 10. Prikaz dijela podataka o transportnim rutama iz Excel tablice 1: Plan utovara_matični podaci 21
Slika 11. Prikaz podataka iz Tablice 2: Sažetak putovanja 22
Slika 12. Upisivanje koordinata lokacija u tekstualni prozor u Mapquest Routeplanner aplikaciji 23
Slika 13. Popis adresa lokacija dobivenih iz upisanih koordinata 24
Slika 14. Biranje postavki za kalkulaciju i prikaz rute 25
Slika 15. Prikaz sažetka rute 25
Slika 16. Ruta 1, putovanje 1, Vozilo A1 26
Slika 17. Ruta 2, putovanje 1, vozilo B1 28
Slika 18. Ruta 3, putovanje 1, Vozilo A2 29
Slika 19. Ruta 3, putovanje 2, vozilo A2 30
Slika 20. Ruta 4, putovanje 1, vozilo C1 31
Slika 21. Ruta 5, putovanje 1, vozilo B2 32
Slika 22. Ruta 6, putovanje 1, vozilo B3 33
Slika 23. Ruta 7, putovanje 1, vozilo B4 34
Slika 24. Ruta 8, putovanje 1, vozilo A1 35
Slika 25. Ruta 9, putovanje 1, vozilo A2 36
Slika 26. Lokacije ruta 1 i 3a sa pripadajućim kapacitetima 51
Slika 27. Grupiranje lokacija iz ruta 1 i 3a uz pomoć Sweep algoritma 52
Slika 28. Lokacije ruta 6 i 7 sa pripadajućim kapacitetima 53
Slika 29. Grupiranje lokacija iz ruta 6 i 7 uz pomoć Sweep algoritma 54

Slika 30. Lokacije ruta 4, 8 i 9 sa pripadajućim kapacitetima 55
Slika 31. Grupiranje lokacija iz ruta 4, 8 i 9 uz pomoć Sweep algoritma 56
Slika 32. Formiranje (0, i, 0) bridova 60
Slika 33. Dodavanje brida I(a)–I(b) 61
Slika 34. Dodavanje brida SC–I(a) 61
Slika 35. Dodavanje brida UGN-SC 62
Slika 36. Dodavanje brida VU-P 62
Slika 37. Dodavanje brida P-UGN 63
Slika 38. Dodavanje brida UKZ -VU 63
Slika 39. Ruta 1 – Nova 64
Slika 40. Ruta 2 - Nova 69
Slika 41. Ruta 3a - Nova 73
Slika 42. Ruta 4 - Nova 80
Slika 43. Ruta 6 - Nova 87
Slika 44. Ruta 7 - Nova 91
Slika 45. Ruta 8 - Nova 96
Slika 46. Ruta 9 - Nova 100
Slika 47. Ruta 6 - Nova (C&W) 107
Slika 48. Ruta 7 - Nova (C&W) 108

POPIS TABLICA

Tablica 1. Matrica udaljenosti 1 [4] 11
Tablica 2. Matrica udaljenosti 2 [4] 14
Tablica 3. Matrica ušteda [4] 15
Tablica 4. Prosječne plaće i dnevnice vozača vozila do 10 tona nosivosti [12] 43
Tablica 5. Izračun vrijednosti godišnjih troškova prijevoza za petotonsko vozilo [12] 44
Tablica 6. Izračun vrijednosti godišnjih troškova prijevoza za desetotonsko vozilo 46
Tablica 7. Matrica udaljenosti 1 - Ruta 1 58
Tablica 8. Matrica vremena 1 - Ruta 1 58
Tablica 9. Vremenska ograničenja - Ruta 1 59
Tablica 10. Matrica ušteda 1 - Ruta 1 60
Tablica 11. Matrica udaljenosti - Ruta 2 65
Tablica 12. Matrica vremena - Ruta 2 66
Tablica 13. Vremenska ograničenja - Ruta 2 66
Tablica 14. Matrica ušteda - Ruta 2 67
Tablica 15. Matrica udaljenosti - Ruta 3a 70
Tablica 16. Matrica vremena - Ruta 3a 71
Tablica 17. Vremenska ograničenja - Ruta 3a 71
Tablica 18. Matrica ušteda - Ruta 3a 72
Tablica 19. Matrica udaljenosti 1 - Ruta 3b 74
Tablica 20. Matrica vremena 1 - Ruta 3b 75
Tablica 21. Vremenska ograničenja - Ruta 3b 75
Tablica 22. Matrica ušteda 1 - Ruta 3b 76
Tablica 23. Matrica udaljenosti - Ruta 4 77
Tablica 24. Matrica vremena - Ruta 4 77
Tablica 25. Vremenska ograničenja - Ruta 4 78
Tablica 26. Matrica ušteda - Ruta 4 78
Tablica 27. Matrica udaljenosti - Ruta 5 81
Tablica 28. Matrica vremena - Ruta 5 82
Tablica 29. Matrica ušteda - Ruta 5 82
Tablica 30. Matrica udaljenosti - Ruta 6 84
Tablica 31. Matrica vremena - Ruta 6 85

Tablica 32. Matrica udaljenosti - Ruta 7 88
Tablica 33. Matrica vremena Ruta 7 88
Tablica 34. Vremenska ograničenja - Ruta 7 89
Tablica 35. Matrica ušteda - Ruta 7 89
Tablica 36. Matrica udaljenosti - Ruta 8 93
Tablica 37. Matrica vremena - Ruta 8 94
Tablica 38. Vremenska ograničenja - Ruta 8 94
Tablica 39. Matrica ušteda - Ruta 8 95
Tablica 40. Matrica udaljenosti - Ruta 9 98
Tablica 41. Matrica vremena - Ruta 9 98
Tablica 42. Vremenska ograničenja - Ruta 9 99
Tablica 43. Matrica ušteda - Ruta 9 99
Tablica 44. Matrica udaljenosti - Ruta 6 i 7 103
Tablica 45. Matrica vremena - Ruta 6 i 7 103
Tablica 47. Vremenska ograničenja - Ruta 6 i 7 104
Tablica 48. Potraživanja lokacija - Ruta 6 i 7 104
Tablica 46. Matrica ušteda - Ruta 6 i 7 105
Tablica 49. Analiza rezultata 110
Tablica 50. Analiza troškova 111

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
CVRP		Kapacitivni problem usmjeravanja vozila
DCVRP		Problem usmjeravanja vozila ograničen udaljenošću i kapacitetom
DVRP		Problem usmjeravanja vozila ograničen udaljenošću
FSM		Problem veličine i kombiniranja flote
HFVRP		Problem usmjeravanja heterogene flote vozila
NP		Nedeterminističko polinomijalno
TSP		Problem putujućeg trgovca
VRP		Problem usmjeravanja vozila
VRPB		Problem usmjeravanja vozila s dostavom i povratnim prikupljanjem
VRPPD		Problem usmjeravanja vozila s dostavom i prikupljanjem
VRPTW		Problem usmjeravanja vozila s vremenskim ograničenjima

SAŽETAK

U radu je opisan problem usmjeravanja vozila te njegovi tipovi. Opisana su tri glavna pristupa rješavanju takvih problema te detaljno opisani najpoznatiji te najčešće korišteni postupci rješavanja. Napravljena je analiza i grafički prikaz dobivenih podataka o transportnim rutama poduzeća Konzum d.o.o. na području Grada Zagreba i okolice. Također je napravljen postupak analize troškova u cestovnom transportu s obzirom na raspoloživi tip vozila u poduzeću. Proveden je postupak optimizacije dobivenih ruta prethodno opisanim metodama za rješavanje problema usmjeravanja vozila te problema trgovačkog putnika. Na kraju je dana usporedna analiza dobivenih rezultata s obzirom na troškove.

Ključne riječi: problem usmjeravanja vozila, troškovi cestovnog transporta, optimizacija ruta, problem trgovačkog putnika

SUMMARY

This paper describes vehicle routing problem and its types. The three main approaches to solving such problems are described and the most commonly used solving methods are shown. Analysis and graphical presentation of the obtained data on the transport routes of Konzum d.o.o. in the area of the City of Zagreb and its surroundings is made. In addition, a cost analysis procedure for road transport was carried out with regard to the available types of vehicles in the company. The optimization process of the routes obtained was done with the methods previously described for solving vehicle routing problem and the travelling salesman problem. Finally, a comparative analysis of the results is given with regard to the costs.

Key words: travelling salesman problem, road transport cost, route optimization, travelling salesman problem

1. UVOD

Cestovni transport najčešće je korištena vrsta transporta u svijetu. Budući da je to najfleksibilniji tip transporta, danas je, u doba globalizacije i pojavom Internet trgovine, njegova važnost veća no ikad. Naime, pojavom Internet trgovine, pošiljke su postale manje, roba raznovrsnija, a kupac je počeo zahtijevati dostavu direktno do svojih vrata i to u što kraćem roku. Cestovni transport, zbog svojih karakteristika te zbog činjenice da cestovna infrastruktura ima najbolju geografsku pokrivenost, upravo to i omogućuje. No, s druge strane, cestovni transport je, iza zračnog, drugi najskuplji tip transporta i stoga je za dobavljače, poglavito za one koji dnevno imaju velik broj dostava flotom vozila, od iznimne važnosti proces optimizacije transportnih ruta kako bi smanjili svoje troškove, ali i istovremeno zadržali kvalitetu i brzinu usluge prema svojim korisnicima.

Problem usmjeravanja vozila ima važnu ulogu u transportu, distribuciji i logistici. U pojedinim poduzećima transport značajno utječe na ukupne logističke troškove i dodanu vrijednost. U tom slučaju primjena kompjuteriziranih metoda u upravljanju transportom često rezultira značajnim uštedama koje se kreću od 5 do 20%. [1]

U ovome radu će se na primjeru stvarnih podataka o transportnim rutama poduzeća Konzum d.o.o. napraviti vizualni prikaz tih ruta uz pomoć besplatne *online* aplikacije *Mapquest*, te će se na temelju ukupnih prevezenih udaljenosti i vremena vožnje, analizirati troškovi poduzeća s obzirom na troškove goriva vozila i troškove radnih sati vozača. U glavnom dijelu rada napravit će se ručno generiranje ruta pomoću raspoloživih algoritama, s ciljem pokušaja optimizacije procesa rutiranja, za što se vrlo često kolokvijalno isto kaže optimizacija. Najprije će se odabrati rute koje se preklapaju te će na njima biti riješen kapacitivni problem usmjeravanja vozila (*eng. Capacitated vehicle routing problem*) korištenjem *Sweep* algoritma. Zatim će se te novo dobivene rute te ostale rute koje se nisu preklapale pokušati optimizirati uz pomoć *Clarke and Wright* algoritma. Na kraju će se napraviti analiza i usporedba dobivenih rezultata optimiziranja ruta sa već postojećim stvarnim rutama poduzeća Konzum d.o.o. koje su optimizirane uz pomoć profesionalnog industrijskog softvera *Paragon*. U zaključku će na temelju dobivenih rezultata i analize biti dan komentar na temu važnosti optimizacije ruta u pogledu smanjenja troškova te isplativosti korištenja profesionalnih softvera u usporedbi sa ručnom optimizacijom.

2. OPTIMIZACIJA ORGANIZACIJE TRANSPORTA

Izrada optimalnog plana dostave ili prikupljanja tereta skupinom vozila ograničenih kapaciteta predstavlja optimizacijski problem koji se u literaturi naziva problem usmjeravanja vozila (eng. *Vehicle routing problem - VRP*). Pripada kategoriji NP-teških problema (eng. *Non – polynomial hard problems)* iz područja kombinatorne optimizacije, što znači da ne postoji polinomna jednadžba za rješavanja te stoga vrijeme potrebno za pronalazak rješenja eksponencijalno raste sa povećanjem kompleksnosti problema.

Rješavanje problema podrazumijeva pronalazak skupa ruta koje predstavljaju redoslijede obilazaka lokacija istovara (utovara) pri čemu svaku lokaciju obilazi samo jedno vozilo i gdje sva vozila kreću iz skladišta i vraćaju se u skladište nakon obavljenog posla.

Uobičajena proširenja osnovnog modela problema uključuju više raspoloživih skladišta, vremenska ograničenja te zahtjeve za prikupljanjem tereta. U praksi se javljaju i dodatna ograničenja koja otežavaju rješavanje problema poput zadanih prioriteta kod posluživanja lokacija, različitih radnih vremena vozača, različitih karakteristika i kapaciteta vozila, različitih tipova tereta, različitih lokacija za povratak i dr. Zbog velikog broja mogućih ograničenja koja otežavaju modeliranje problema, u posljednje vrijeme se ovakvi problemi nazivaju obogaćenim problemima usmjeravanja vozila (eng. *Rich Vehicle Routing Problem*). [2]

2.1. Problem usmjeravanja vozila

Problem usmjeravanja vozila je općenito ime za cijeli skup problema u kojima je potrebno skupinom vozila koja su locirana u skladištu potrebno obići sve korisnike uz uvjet da svakog korisnika posjeti samo jedno vozilo i da se sva vozila vrate u skladište. Pri tome je cilj odrediti rute uz koje će ukupni troškovi biti minimalni. Na troškove u prvom redu utječe broj angažiranih vozila pa je stoga minimizacija broja vozila primarni cilj, dok je minimizacija ukupnog prijeđenog puta ili utrošenog vremena najčešće sekundarni cilj optimizacije. [2]

Da bi definirali VRP za distribuciju ili prikupljanje dobara, potrebno je dati osnovna ograničenja problema. Standardna ograničenja po kojima se varijante VRP problema razlikuju su:

- broj skladišta (jedno ili više njih),

- maksimalno dozvoljeno trajanje ili duljina rute vozila,

- količina dobara koje je potrebno prikupiti ili dostaviti,

- vremenski period odnosno vremenski prozor u kojem je potrebno poslužiti korisnika (npr. određeni period kada je korisnik prometno dostupan ili pak korisnik želi dostavu baš u određenom vremenskom periodu),

- vrijeme potrebno da se obavi dostava ili prikupljanje kod korisnika (vrijeme iskrcaja ili ukrcaja koje ovisi o tipu vozila i primijenjenoj tehnologiji),

- podskup dostupnih vozila koja se mogu koristiti kod pojedinog korisnika obzirom na mogući pristup za iskrcaj i ukrcaj.

Rute također moraju zadovoljavati i operativne zahtjeve koje nameće priroda transporta, kvaliteta usluge, te karakteristike vozila i korisnika.

Tipični operativni zahtjevi su:

- pri vožnji na svakoj ruti vozilo ne smije imati više tereta u odnosu na nazivni kapacitet koji je dopušten,

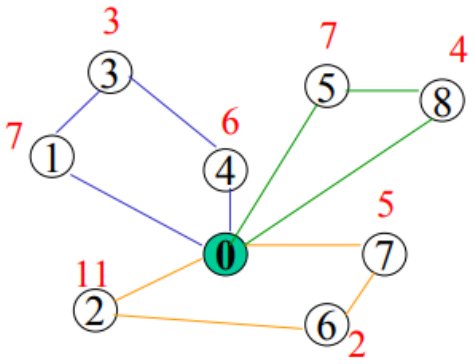
- korisnik se poslužuje unutar vremenskog perioda koji zahtijeva korisnik a nije u suprotnosti s radnim vremenom vozača. [3]

U slučaju da raspolažemo samo jednim vozilom i ako ne postoje dodatna ograničenja tada VRP prelazi u dobro poznati problem trgovačkog putnika TSP (eng. *Traveling Salesman Problem*) kada je potrebno jednim vozilom obići sve točke grafa uz minimalni trošak (udaljenost, vrijeme). Dakle, TSP problem kao primarni zadatak ima određivanje rute, a VRP problem istovremeno sadržava i problem asignacije (dodijeljivanja pojedinog korisnika određenom vozilu/ruti i problem određivanja rute svakog pojedinog vozila).

2.1.1. Analiza problema

Metode rješavanja optimizacijskih problema na mrežama, uključujući VRP, temelje se na tzv. teoriji grafova, koje je područje matematike koje izučava grafove. Grafovi su crteži koji se sastoje od točaka (vrhova), od kojih su neke spojene linijama (bridovima). U teoriji grafova nevažno je kolika je veličina točaka grafa, koja je duljina linije koja povezuje točke grafa, pa čak i da li je linija ravna ili zakrivljena. Graf se sastoji od točaka (vrhova, čvorova) i linija (bridova) koje ih međusobno povezuju.

VRP je kombinatorni problem na mreži (grafu). Prilikom analize problema, mreža prometnica transformira se u potpuni graf (graf je potpun kada je svaki par vrhova povezan jednim bridom). Točke grafa odgovaraju korisnicima i skladištu. Za svaki par točaka *i* i *j* potpunog grafa definira se brid (*i*,*j*) s cijenom c_{ij} koja može predstavljati najkraću duljinu tog brida (ceste) ili najkraće vrijeme vožnje između točke *i* i *j*. Svakoj točki dodijeljena je pak količina robe koju treba dostaviti. Graf može biti usmjeren ili neusmjeren, a to ovisi o tome u kojem se smjeru vozila smiju kretati (jednosmjerne ili dvosmjerne ulice). (Slika 1)



Slika 1. Primjer grafičkog prikaza VRP-a [4]

2.1.2. Tipovi problema usmjeravanja vozila i njihova definicija

U realnim problemima postoje brojna ograničenja, čime se zapravo definiraju i brojne varijacije ovog problema. U nastavku će biti opisane one najznačajnije i u literaturi najzastupljenije.

2.1.2.1. Problem usmjeravanja vozila s ograničenjima kapaciteta

Problem usmjeravanja vozila s ograničenjima kapaciteta (eng. *Capacitated Vehicle Routing Problem, CVRP)* osnovni je tip problema usmjeravanja vozila. U ovom problemu svi su korisnici i njihovi zahtjevi unaprijed poznati, sva vozila su identična, a zajednička polazna točka im je u centralnom skladištu. Jedino ograničenje koje postoji je kapacitet pojedinog vozila. Funkcija cilja izražava zahtjev za minimiziranje ukupnog troška (npr. težinska funkcija broja ruta i njihove ukupne duljine ili vremena) pri posluživanju svih korisnika.

Rješavanje CVRP-a predstavlja određivanje K ruta (svaka ruta je povezana samo s jednim vozilom) gdje ukupan trošak rute treba biti minimalna. Ukupan trošak dobiva se kao suma cijena na svakom luku koji pripada ruti.

Rješenje treba zadovoljavati ove uvjete:

- svaka ruta treba započeti i završiti u skladištu,

- svaki korisnik učestvuje u samo jednoj ruti,

- suma zahtijeva korisnika koji su posluženi u jednoj ruti ne smije biti veća od kapaciteta vozila.

[3]

2.1.2.2. Problem usmjeravanja vozila s vremenskim ograničenjima

Problem usmjeravanja vozila s vremenskim ograničenjima VRPTW (eng. *VRP with Time Windows*) je proširenje CVRP gdje osim kapacitivnih ograničenja svakog vozila postoje i vremenska ograničenja vezana za svakog korisnika. Posluživanje svakog korisnika mora započeti u vremenskom okviru [a*i*, b*i*], a vozilo mora mirovati za vrijeme posluživanja. U slučaju da vozilo dođe do korisnika prije vremena, vozilu je u pravilu dozvoljeno da čeka do

trenutka a*i*, kada može započeti posluživanje. Osim tih vremena zadano je i vrijeme kada vozilo izlazi iz skladišta, te vrijeme koje vozilo provede na svakom od lukova.

Rješenje VRPTW problema sastoji se u pronalaženju K ruta sa minimalnim troškom i s zadovoljavanjem slijedećih uvjeta:

- svaka ruta započinje i završava u skladištu,

- svaki korisnik se posjećuje jednom,

- suma zahtijeva korisnika u ruti ne prelazi kapacitet vozila C koje poslužuje korisnike na ruti,

- posluživanje svakog korisnika započinje u vremenskom prozoru [a*i* ,b*i*] i vozilo je zaustavljeno za vrijeme posluživanja. [3]

2.1.2.3. Problem usmjeravanja vozila s ograničenjem duljine rute

Kada se ograničenje kapaciteta zamjenjuje ograničenjem maksimalnog puta ili vremenskog trajanja VRP dobiva varijantu koju zovemo problem usmjeravanja vozila ograničen udaljenošću DVRP (eng. *Distance Constrained VRP*). Udaljenost, odnosno vrijeme ne smije biti veće od maksimalnog dozvoljenog prevaljenog puta na ruti odnosno vremena provedenog na ruti. Kada se duljina lukova izražava vremenom putovanja, tada se tom vremenu dodaje i vrijeme posluživanja koje je vezano za svakog korisnika, a predstavlja vrijeme zadržavanja vozila kod korisnika (npr. vrijeme utovara i/ili istovara).
Takva varijanta problema, gdje su prisutna dva ograničenja: ograničenje kapaciteta i ograničenje maksimalne dužine rute, zovemo problem usmjeravanja vozila ograničen udaljenošću i kapacitetom DCVRP (eng. *Distance Constrained CVRP*). [3]

2.1.2.4. Problem usmjeravanja vozila s dostavom i prikupljanjem

U osnovnoj verziji ovog problema svaki korisnik *i* povezan je s dvije vrijednosti d*i* i p*i* . One predstavljaju vrijednosti zahtijeva za dostavom i za prikupljanjem istovrsne robe. Ponekad se koristi samo jedna vrijednost d*i* =d*i* - p*i* za svakog korisnika *i* te predstavlja razliku zahtijeva dostave i prikupljanja, koja može biti i negativne vrijednosti. Svaki zahtjev definiran je s mjestom prikupljanja, mjestom dostave te količinom robe koja će se transportirati. Da bi se takvi zahtjevi definirali potrebno je za svakog korisnika i poznavati mjesto dostave O*i* i mjesto prikupljanja D*i*, ako O*i* i D*i* nisu skladište.. Pretpostavlja se da je dostava izvršena prije posjete mjestu gdje treba biti izvršeno prikupljanje.

Rješenje VRPPD-a *(*eng. *Vehicle Routing Problem with Pickup and Delivery)* predstavlja pronalaženje ruta s minimalnim troškovima koje zadovoljavaju i ove uvjete:

- svaka ruta započinje i završava u skladištu,

- svaki korisnik se posjećuje samo jednom,

- količina tereta u vozilu uvijek mora biti broj između 0 i maksimalnog kapaciteta tog vozila,

- za svakog korisnika i postoji u istoj ruti korisnik O*i*, kada se on razlikuje od skladišta kojeg treba poslužiti prije korisnika *i*,

- za svakog korisnika i postoji u istoj ruti korisnik D*i* , kada se on razlikuje od skladišta, kojeg treba poslužiti poslije korisnika *i* [3]

2.1.2.5. *Problem usmjeravanja vozila s dostavom i povratnim prikupljanjem*

Problem usmjeravanja vozila s dostavom i povratnim prikupljanjem (eng. *Vehicle Routing Problem with Backhauls, VRPB)* je proširenje CVRP problema, gdje je skup korisnika podijeljen na dva podskupa. Prvi podskup predstavljaju korisnici u podskupu L koji sadrži *n* korisnika koji zahtijevaju određene količine robe za isporuku. Drugi podskup B sadrži *m* korisnika kod kojih se zahtijeva prikupljanje određene količine srodne robe. U VRPB problemu postoji ograničenje prednosti posluživanja gdje se svi korisnici iz skupa L moraju poslužiti prije korisnika u skupu B.

Rješenja VRPB i AVRPB problema sastoji se od pronalaženja K ruta s minimalnim troškovima, koje zadovoljavaju ove uvjete:

- svaka ruta započinje i završava u skladištu,

- svaki korisnik se posjećuje točno jedanput,

- zbroj pojedinačnih zahtijeva korisnika iz podskupa L i podskupa B ne prelazi kapacitet vozila C koje poslužuje korisnike na ruti,

- u svakoj ruti svi korisnici iz podskupa L su posluženi prije korisnika u podskupu B ako B nije prazan skup. [3]

2.1.2.6. Problem usmjeravanja heterogene flote vozila

Klasični VRP problem podrazumijeva homogenu flotu vozila, odnosno jednak kapacitet kod svih vozila. Kod problema usmjeravanja mješovite flote vozila, vozila mogu imati različite kapacitete. Pod ovaj zajednički naziv ubrajaju se problem veličine i kombiniranja flote (*eng. Fleet Size and Mix, FSM*), te problem usmjeravanja heterogene flote vozila (eng. *Heterogeneous or Mixed Fleet Vehicle Routing Problem, HFVRP*). FSM problem podrazumijeva neograničen broj vozila i koristi se za strateško planiranje flote. Kod HFVRP problema pak, potrebno je između konačnog broja raspoloživih vozila iz flote odabrati ona uz koja će ukupan trošak biti minimalan. U gospodarstvu, posebice u poslovima distribucije robe široke potrošnje flota dostavnih vozila se sastoji najčešće od vozila različitih karakteristika. [2]

2.2. Pristupi rješavanju problema usmjeravanja vozila

Suvremeni pristupi rješavanju VRP problema mogu se podijeliti prema različitim motivacijama rješavanja problema kao na slici (Slika 2).



Slika 2. Pristupi rješavanja problema usmjeravanja vozila [3]

1) Egzaktni pristup

Praktična primjena ovog pristupa vrlo je ograničena jer je optimalna rješenja moguće pronaći tek za manji broj korisnika. Broj mogućih ruta za opći slučaj usmjeravanja vozila raste iznimno brzo, pa nije moguće očekivati da ovaj pristup u općem slučaju generira rješenja uporabljiva u realnom vremenu koja se zahtijevaju u praksi. [3]

2) Heuristički pristup

Heuristički pristup predstavlja korištenje iskustva, intuicije i vlastite procjene prilikom rješavanja nekog problema. Za razliku od egzaktnih metoda, heurističke metode ne predstavljaju znanje o strukturi ili odnosima unutar modela problema koji rješavamo. Heurističke metode predstavljaju pravila izbora, filtriranja i odbacivanja rješenja, a služe za smanjivanje broja mogućih puteva u postupku rješavanja problema. Heuristički algoritmi često se zasnivaju na konstrukciji ruta gdje se konstruiranje i poboljšavanje ruta s obzirom na ciljnu funkciju vrši iterativno. Predstavnici ovakvog pristupa konstruktivnim heurističkim metodama koji daju aproksimativne rezultate su *Clark and Wright, Sweep* ili *Christofides Mignozi Toth* algoritmi. [3]

Metode *Clarke and Wright* te *Sweep* u nastavku će biti detaljnije opisane budući da su najtočnije i najčešće korištene te će također biti korištene na realnom primjeru u ovome radu.

3) Metaheuristički pristup

Najnoviji pristup rješavanja NP-teških problema kombinatorne optimizacije je metaheuristički, koji kao pojam u optimizaciji predstavlja skup koncepata koji definiraju heurističke metode upotrebljive pri rješavanju velikog broja različitih problema. Metaheuristika u praksi je skup algoritama koji se koriste pri rješavanju više različitih optimizacijskih problema gdje se sam algoritam vrlo malo mijenja u ovisnosti o problemu koji se rješava. Metaheuristički pristup rješavanja problema usmjeravanja vozila često se zasniva na lokalnoj pretrazi vođenoj procesima koji se preuzeti iz prirode poput simuliranog kaljenja, genetičkih algoritama i kolonije mravi. [3]

2.2.1. Heuristički postupci rješavanja

Heurističke metode za rješavanje VRP problema mogu se u većem broju slučajeva adaptirati iz metoda koje rješavaju TSP problem. TSP metode, umetanja najbližeg susjeda, dodavanje ukupno najudaljenijeg susjeda i najbližeg dodavanja, mogu se uz preinake iskoristiti i za rješavanje CVRP i DVRP problema. Prilikom primjene spomenutih metoda važno je imati na umu da se kreiraju samo one rute koje su izvedive obzirom na razliku između VRP i TSP problema. [3]

2.2.1.1. Algoritam najbližeg susjeda

Algoritam najbližeg susjeda (eng. *Nearest neighbour algorithm*) heuristički je algoritam za generiranje TSP rješenja koji se temelji na pohlepnom dodavanju najbližeg vrha već dodanim vrhovima u ruti.

Algoritam se može opisati na slijedeći način:

- Korak 1: Odaberi vrh *i* za početni vrh

- Korak 2: Odredi iz nedodanih vrhova onaj koji je najbliži posljednjem dodanom vrhu i uključi ga u rutu.
- Korak 3: Ponavljaj korak 2 sve dok svi vrhovi nisu u ruti. Tada spoji prvi i zadnji vrh [1]

Za prilagodbu algoritma VRP problemu potrebno je dodati kapacitivno ograničenje kako bi svaki novo umetnuti korisnik mogao biti poslužen vozilom čiju rutu konstruiramo (Tablica 1). U tom slučaju se ujedno i mijenja postupak rješavanja, gdje dodajemo prethodnom vrhu najbliži vrh sve dok se više ne može dodati niti jedan vrh zbog kapacitivnih ograničenja. Tada stvaramo novu rutu za preostale vrhove koji nisu dodijeljeni te time dobivamo više ruta, umjesto samo jedne, kao u slučaju TSP-a.

Zbog svoje pohlepnosti algoritam najbližeg susjeda ne daje dobre rezultate u usporedbi s ostalim heurističkim algoritmima te se zbog toga uglavnom ne koristi u praksi, a naročito ne za rješavanje VRP problema.

Primjer:

Kapacitet vozila: $Q = 10$
Broj vozila na raspolaganju: $m = 4$
Potražnje po lokacijama: označene plavim brojevima (Slika 3)

Tablica 1. Matrica udaljenosti 1 [4]

	0	1	2	3	4	5
0	-	10	6	8	7	15
1		-	5	20	15	16
2			-	14	7	8
3				-	4	12
4					-	6

Za početni vrh (skladište) uzima se vrh 0. Njemu najbliži vrh je 2, koji ima potražnju 9. Na vozilu je preostalo još 11 kapacitivnih jedinica koje možemo iskoristiti. Vrhu 2 najbliži je vrh 1 sa potražnjom 5 te se uključuje u rutu. S obzirom da je nakon uključivanja vrha 1 preostalo 6 kapacitivnih jedinica, a sve preostale lokacija imaju potražnju veću od 6, ovime ujedno i kompletiramo prvu rutu za prvo vozilo.
Za drugo vozilo, odnosno drugu rutu ponovno se kreće iz vrha 0. Njemu najbliži vrh je 4 sa potražnjom 7. Na vozilu je preostalo još 13 kapacitivnih jedinica. Vrhu 4 najbliži vrh je 3 sa potražnjom 10. Ovime kompletiramo drugu rutu, za drugo vozilo budući da vrh 5 ima veću potražnju od preostalog kapaciteta kamiona, koji iznosi 3.
Vrh 5 stoga samog dodajemo u treću rutu, za treće vozilo.

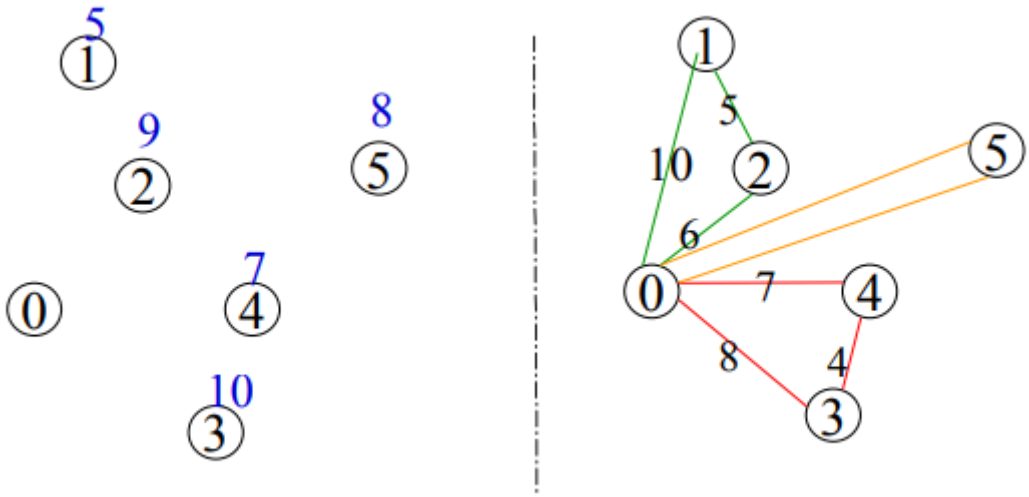
Dobiju se dakle tri rute (Slika 3):

1. Ruta (0,2,1,0) s ukupnom duljinom 6+5+10 = 21
2. Ruta (0,4,3,0) s ukupnom duljinom 7+4+8 = 19
3. Ruta (0,5,0) s ukupnom duljinom 15+15 = 30

Iskorištenost kapaciteta prvog vozila = 14/20 = 70 %

Iskorištenost kapaciteta drugog vozila = 17/20 = 85%

Iskorištenost kapaciteta trećeg vozila = 8/20 = 40 %



Slika 3. Algoritam najbližeg susjeda [4]

2.2.1.2. Clarke i Wright algoritam ušteda

Jedan od najstarijih i najpoznatijih algoritama za rješavanje CVRP problema je Clarke i Wright algoritam ušteda. U prvom koraku, kreira se ruta za svakog korisnika u problemu dodavanjem bridova između skladišta i korisnika u oba smjera. U nastavku se iterativnim postupkom po kriteriju maksimalne uštede dvije rute spajaju u jednu dok god to kapacitet vozila dozvoljava. Spajanje ruta obavlja se brisanjem završnog brida prve rute i početnog brida druge rute, te kreiranjem novog brida između zadnjeg korisnika prve rute i prvog korisnika druge rute. [2]

Postupak rješavanja:

Korak 1: Generiraj rute (0,i,0) za i=1,…,n.

Korak 2: Izračunaj uštede $s_{ij} = c_{0i} + c_{0j} – c_{ij}$ za i,j=1,…, n, za svaki i,j.

Korak 3: Poredaj uštede od najveće do najmanje.

Korak 4: Počevši od najveće uštede, formiraj veće rute dodavanjem brida (i,j) i brisanjem bridova (i,0) i (0,j), ukoliko vrijedi:

1) *i* i *j* su na različitim rutama

2) *i* i *j* su ili početne ili krajnje lokacije na svojoj ruti

3) suma potražnje *i* i *j* ne smije biti veća od kapaciteta vozila *Q*

Korak 5: Ponavljaj korak 4 sve dok više niti jedan brid (i,j) ne zadovoljava 3 uvjeta [4]

Primjer:

Kapacitet vozila: *Q*= 10

Broj vozila: *m*= neograničen

Tablica 2. Matrica udaljenosti 2 [4]

	0	1	2	3	4	5	demand
0	-	20	16	18	17	25	
1		-	5	20	15	16	3
2			-	14	7	8	4
3				-	4	12	2
4					-	6	5
5						-	6

Računanje ušteda ($s_{ij} = c_{0i} + c_{0j} – c_{ij}$):

1. 20 + 16 – 5 = 31
2. 20 + 18 – 20 = 18
3. 20 + 17 – 15 = 22
4. 20 + 25 – 16 = 29
5. 16 + 18 – 14 = 20
6. 16 + 17 – 7 = 26
7. 16 + 25 – 8 = 23
8. 18 + 17 – 4 = 31
9. 18 + 25 – 12 = 31
10. 17 + 25 – 6 = 36



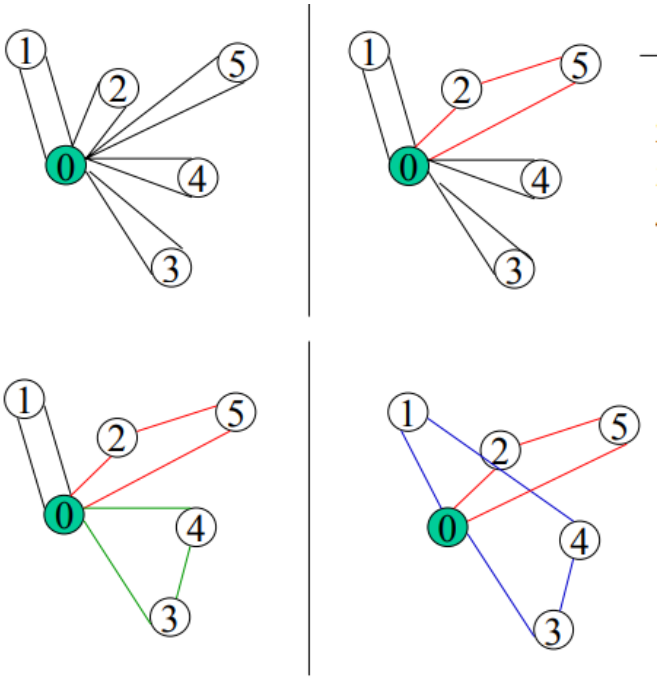
Tablica 3. Matrica ušteda [4]

	1	2	3	4	5
1	-	31	18	22	29
2		-	20	26	33
3			-	33	31
4				-	36

Poredak ušteda:

1. 4-5 = 36 ------- Ne može se dodati brid jer je suma potražnje vrha 4 i 5 veća od 10
2. 2-5 = 33 ------- Dodaje se brid 2-5, a briše 2-0, 0-5 (Preostali kapacitet vozila 1 = 0)
3. 3-4 = 33 ------- Dodaje se brid 3-4, a briše 3-0, 0-4 (Preostali kapacitet vozila 2 = 3)
4. 1-2 = 31 ------- Ne može se dodati jer je lokacija 2 već iskorištena
5. 3-5 = 31 ------- Ne može se dodati jer je lokacija 5 već iskorištena
6. 1-5 = 29 ------- Ne može se dodati jer je lokacija 5 već iskorištena
7. 2-4 = 26 ------- Ne može se dodati jer je lokacija 2 već iskorištena
8. 1-4 = 22 ------- Dodaje se brid 1-4, a briše 1-0, 0-4 (Preostali kapacitet vozila 2 = 0)

Ovime su svi vrhovi su dodani u rute, tj. rute su kompletirane.



Slika 4. Clarke i Wright algoritam ušteda [4]

Dobivene su dvije rute sljedećih duljina:

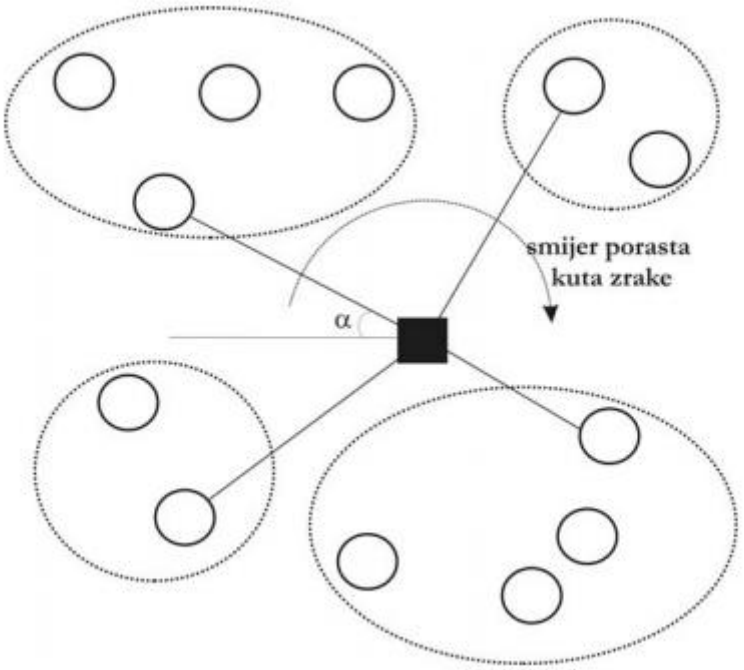
Ruta 1: 0 – 2 – 5 – 0 = 16 + 8 + 25 = 49

Ruta 2: 0 – 3 – 4 – 1 – 0 = 18 + 4 + 15 + 20 = 57

2.2.1.3. Sweep algoritam

Među klasične konstruktivne algoritme za rješavanje CVRP problema spada i *Sweep* (hrv. zamah, metenje) algoritam u kojem se neposluženi korisnici dodaju u rute prema kriteriju najmanjeg polarnog kuta u odnosu na zamišljeni pravac koji prolazi kroz skladište i rotira se u smjeru porasta kuta (Slika 5). Rute se konstruiraju serijski, dodajući korisnike s najmanjim polarnim kutom u trenutnu rutu dok god vozilo ima raspoloživog kapaciteta. Kada raspoloživi kapacitet ne bude dovoljan za prihvat ni jednog od preostalih neposluženih korisnika, ruta se zatvara povratkom u skladište te se angažira novo vozilo. Postupak se ponavlja dok god ima neposluženih korisnika. [2]

Za svaki dobiveni klaster korisnika, rješava se TSP problem jednom od metoda (npr. metoda najbližeg susjeda ili *Clarke and Wright* algoritam).



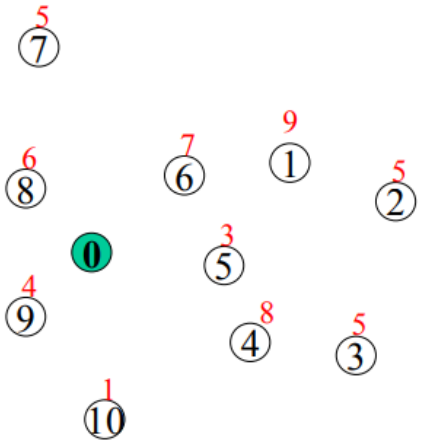
Slika 5. Grupiranje korisnika kod *Sweep* algoritma [2]

Primjer:

Kapacitet vozila: Q = 20

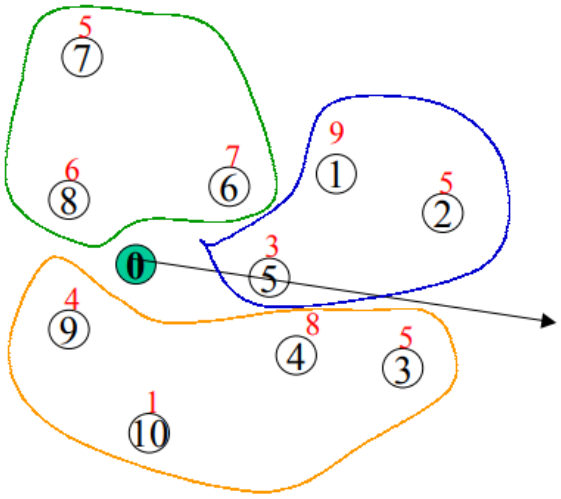
Broj vozila: m = neograničen

Grupa lokacija je zadana, a potražnje lokacija označene su crvenim brojevima (Slika 6)



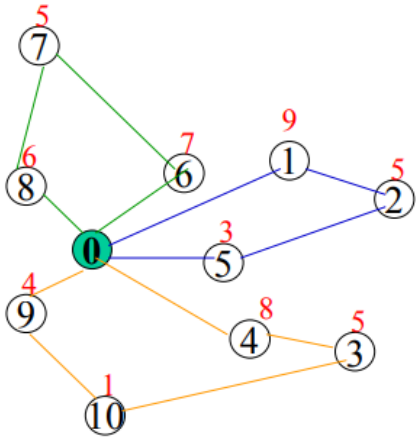
Slika 6. Zadana skupina lokacija sa pripadajućim potražnjama [4]

Sweep metodom napravljena je grupacija lokacija, počevši od lokacije koja zatvara najmanji polarni kut sa zamišljenim pravcem kroz središnju, početnu lokaciju (Slika 7).



Slika 7. Korak 1: Grupiranje lokacija [4]

S obzirom da je ovo opći primjer koji prvenstveno pokazuje način rješavanja *Sweep* algoritmom, ovdje nisu zadane udaljenosti među lokacijama, a koje su inače potrebne kako bi se riješio TSP problem, već je prikazan samo opći grafički prikaz rješenja (Slika 8). Na realnom primjeru u nastavku rada biti će prikazan puni postupak rješavanja.



Slika 8. Korak 2: Rješavanje TSP problema za svaku dobivenu grupu lokacija [4]

3. O PODUZEĆU KONZUM D.D.

3.1. Opći podaci

Konzum je vodeći trgovački lanac u Hrvatskoj. S oko 11.000 zaposlenika ubraja se u najveće poslodavce u državi, a svakog dana u preko 600 Konzumovih prodavaonica kupuje čak 650.000 kupaca. Prisutan je u 114 gradova i 211 mjesta, što uključuje i većinu hrvatskih otoka. Svojom razgranatom prodajnom mrežom, kvalitetnom uslugom i širokim asortimanom Konzum je postao sinonim za trgovinu, a na tržištu je prisutan u tri prodajna formata robe široke potrošnje: Konzum prodavaonice u susjedstvu, Konzum maxi format namijenjen većim tjednim kupnjama i Super Konzum, prodavaonice koje svojom bogatom ponudom omogućuju kupnju svega potrebnog za kućanstvo na jednom mjestu. [5]

Prva Konzum samoposluga otvorena je u Zagrebu 1957. godine, a od 1994. Konzum postaje dio Agrokor grupe. Svoj uspjeh Konzum gradi na stalnoj komunikaciji s kupcima, prepoznavanju njihovih želja i potreba te neprestanom prilagođavanju svog poslovanja najnovijim svjetskim trendovima. U svojim prodavaonicama, za koje odabire najbolje lokacije, Konzum kupcima nudi vrhunsku uslugu, ugodnu kupovinu u iznimno atraktivnom ambijentu te najkvalitetnije proizvode po najpovoljnijim cijenama. Konzum svojim kupcima garantira: svježinu proizvoda, ispravnu cijenu na policama, pravo na zamjenu te kvalitetu K plus proizvoda. [6]

3.2. Logistika poduzeća

Prema informacijama dobivenih iz poduzeća, za područje sekundarne distribucije robe na području grada Zagreba i okolice do 250 kilometara poduzeće dnevno na raspolaganju ima 60 vozila u glavnom distribucijskom skladištu za područje sjeverne Hrvatske koje se nalazi na u Zagrebu na Žitnjaku (Skorušićka ulica). Od tih vozila, u prvoj smjeni iskorištava se 100% vozila, u drugoj smjeni 80%, a u noćnoj smjeni 30%. Stoga, ako se uzme u obzir da jedno vozilo odvozi jednu rutu, ukupan broj ruta dnevno za sekundarnu distribuciju robe na područje grada Zagreba i okolice dobiva se umnoškom ukupnog broja raspoloživih vozila sa koeficijentom 2,1. Time se dobiva broj od 126 ruta na dan.



Slika 9. Logo poduzeća Konzum d.d. [7]

4. ANALIZA POSTOJEĆIH RUTA DOSTAVE PODUZEĆA KONZUM D.D.

4.1. Analiza dobivenih transportnih podataka

Podaci o optimiziranim transportnim rutama poduzeća bili su dani u brojčanom obliku u dvjema excel tablicama.

U prvoj tablici pod imenom *Plan utovara_matični podaci*, prikazani su sljedeći podaci: ID lokacije, broj naloga, datum utovara, vrijeme utovara i istovara, veličina isporučenog tereta po lokaciji (prikazana preko tlocrtnog prostora koji zauzima), težina tereta, postotak ukupnog kapaciteta vozila kojeg teret zauzima, broj rute, broj putovanja unutar rute, položaj unutar putovanja, vrijeme dolaska i odlaska sa lokacije, trajanje istovara na lokaciji, raspoloživi i korišteni vremenski okvir dostave, mogući pristup vozila prema kapacitetu, kapacitet korištenog vozila, položaji lokacija i glavnog skladišta prikazani u obliku geografskih duljina i širina. Dio ovih podataka prikazan je na slici 10.

Ruta	Putovanje	Polozaj unutar putovanja	Load ID	Vrijeme dolaska na lokaciju	Vrijeme odlaska sa lokacije	Trajanje istovara na lokaciji	Koristeni vremenski okvir dostave	Vremenski okvir dostave	Geografska sirina lokacije	Geografska duljina lokacije	Moguci pristup vozila	Koristeni tip vozila
1	1	1	100000	5:01:00	5:14:00	0:13	05:00-07:00	05:00-07:00	45,810298	15,989730	12 Pallet	12 Pallet
1	1	2	100000	5:18:00	5:27:00	0:09	05:00-07:00	05:00-07:00	45,804859	15,977829	12 Pallet	12 Pallet
1	1	3	100000	5:30:00	5:44:00	0:14	05:00-07:00	05:00-07:00	45,804988	15,966269	12 Pallet	12 Pallet
1	1	4	100000	5:48:00	6:07:00	0:19	05:00-07:00	05:00-07:00	45,812015	15,977350	12 Pallet	12 Pallet
1	1	5	100000	6:09:00	6:17:00	0:08	05:00-07:00	05:00-07:00	45,813258	15,980712	12 Pallet	12 Pallet
1	1	6	100000	6:19:00	6:29:00	0:10	05:00-07:00	05:00-07:00	45,814682	15,978292	12 Pallet	12 Pallet
1	1	7	100000	6:31:00	6:51:00	0:20	05:00-07:00	05:00-07:00	45,818748	15,980029	12 Pallet	12 Pallet
1	1	8	100000	7:00:00	7:13:00	0:13	06:00-09:00	06:00-09:00	45,853378	15,957760	12 Pallet	12 Pallet
1	1	9	100000	7:18:00	7:32:00	0:14	07:00-20:00	07:00-20:00	45,837757	15,975788	12 Pallet	12 Pallet
2	1	1	100001	6:08:00	6:21:00	0:13	06:00-10:00	06:00-10:00	45,568458	16,624328	18 Pallet	14 Pallet
2	1	2	100001	7:40:00	7:49:00	0:09	07:00-12:00	07:00-12:00	45,228939	17,520700	18 Pallet	14 Pallet
2	1	3	100001	8:09:00	8:19:00	0:10	07:00-12:00	07:00-12:00	45,193920	17,650768	18 Pallet	14 Pallet
2	1	4	100001	8:27:00	8:36:00	0:09	07:00-12:00	07:00-12:00	45,167511	17,704233	18 Pallet	14 Pallet
2	1	5	100001	8:43:00	9:25:00	0:42	07:00-12:00	07:00-12:00	45,166339	17,755075	18 Pallet	14 Pallet
2	1	6	100001	10:37:00	10:45:00	0:08	07:00-21:00	07:00-21:00	45,478878	16,774513	18 Pallet	14 Pallet
3	1	1	100002	6:01:00	6:14:00	0:13	05:00-07:00	05:00-07:00	45,820495	15,995105	12 Pallet	12 Pallet
3	1	2	100002	6:25:00	6:59:00	0:34	05:00-07:00	05:00-07:00	45,813186	15,943980	12 Pallet	12 Pallet
3	1	3	100002	7:06:00	7:22:00	0:16	07:00-21:00	07:00-21:00	45,813076	15,903052	12 Pallet	12 Pallet
3	1	4	100002	7:29:00	7:53:00	0:24	07:00-20:00	07:00-20:00	45,830852	15,905771	14 Pallet	12 Pallet
3	1	5	100002	8:05:00	8:16:00	0:11	07:00-21:00	07:00-21:00	45,798873	15,906561	12 Pallet	12 Pallet
4	1	1	100003	7:32:00	7:42:00	0:10	07:00-21:00	07:00-21:00	45,895992	16,841447	18 Pallet	18 Pallet
4	1	2	100003	7:42:00	7:45:00	0:03	07:00-21:00	07:00-21:00	45,895992	16,841447	18 Pallet	18 Pallet
4	1	3	100003	8:31:00	8:47:00	0:16	07:00-21:00	07:00-21:00	46,039868	17,066147	18 Pallet	18 Pallet
4	1	4	100003	10:02:00	10:15:00	0:13	07:00-21:00	07:00-21:00	46,162021	16,826204	18 Pallet	18 Pallet
4	1	5	100003	10:55:00	11:06:00	0:11	07:00-20:00	07:00-20:00	46,354404	16,811617	18 Pallet	18 Pallet
5	1	1	100004	7:18:00	7:33:00	0:15	07:00-21:00	07:00-21:00	46,165068	15,866605	18 Pallet	14 Pallet
5	1	2	100004	7:35:00	7:42:00	0:07	06:00-13:00	06:00-13:00	46,167007	15,865918	14 Pallet	14 Pallet
5	1	3	100004	8:06:00	8:13:00	0:07	06:30-20:00	06:30-20:00	46,164772	15,750941	14 Pallet	14 Pallet
5	1	4	100004	8:26:00	8:34:00	0:08	06:30-20:00	06:30-20:00	46,140941	15,666578	18 Pallet	14 Pallet
5	1	5	100004	8:57:00	9:10:00	0:13	06:30-20:00	06:30-20:00	46,048900	15,738255	18 Pallet	14 Pallet
5	1	6	100004	9:32:00	9:41:00	0:09	07:00-20:00	07:00-20:00	45,995651	15,845699	18 Pallet	14 Pallet
5	1	7	100004	10:30:00	10:44:00	0:14	07:00-12:00	07:00-12:00	45,901093	15,866107	18 Pallet	14 Pallet
5	1	8	100004	11:03:00	11:17:00	0:14	07:00-21:00	07:00-21:00	45,861892	15,799881	18 Pallet	14 Pallet
6	1	1	100005	6:55:00	7:09:00	0:14	Zatvoreno	07:00-21:00	45.738803	15.796805	18 Pallet	14 Pallet

Slika 10. Prikaz dijela podataka o transportnim rutama iz Excel tablice 1: Plan utovara_matični podaci

U tablici su dani primjeri devet ruta sa ukupno 10 putovanja, budući da je ruta 3 odvožena u 2 putovanja. Rute su odvožene na dan 02.02.2018. Korišteno je ukupno 7 vozila: četiri 12-paletnih kamiona (jutarnje rute 1 i 3, popodnevne rute 8 i 9), četiri 14-paletnih kamiona (jutarnje rute 2, 5, 6 i 7) te jedan 18-paletni kamion (ruta 4).

U drugoj tablici prikazan je sažetak svih putovanja, ukupna prijeđena udaljenost po ruti, ukupno vrijeme vožnje, ukupno radno vrijeme vozača te popunjenost vozila s obzirom na težinu i površinu (Slika 11).

A	B	C	D	E	F	G	K	L	O
Broj rute	Broj putovanja	Broj naloga	Udaljenost km	Radno vrijeme	Vrijeme vožnje	Isporuka Floorspaces	Isporuka Tezina	Popunjenost vozila Floorspaces	Popunjenost vozila Tezina
1	1	9	29	3:49:00	0:58:00	36	5045	100	98,2
2	1	6	346,8	7:12:00	4:52:00	36	6141	85,7	85,3
3	1	5	34,2	3:35:00	1:09:00	34	4947	94,4	96,4
3	2	8	36,2	4:21:00	1:34:00	36	5128	100	100
4	1	5	280,7	7:48:00	5:28:00	46	7402	85,2	85,2
5	1	8	172,4	6:25:00	3:38:00	37	5853	88,1	80,1
6	1	5	80,8	4:06:00	2:02:00	38	5598	90,5	77,8
7	1	6	301	7:05:00	4:44:00	38	6111	90,5	82,5
8	1	9	223,1	7:02:00	4:24:00	31	3854	86,1	75,1
9	1	11	269,5	7:55:00	5:00:00	36	4814	100	93,8
9	10	72	1773,7	59:18:00	33:49:00	368	54893	92,05	87,44

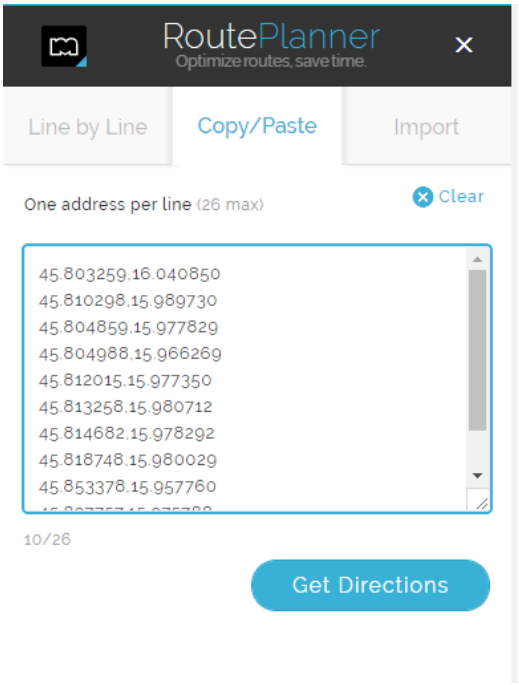
Slika 11. Prikaz podataka iz Tablice 2: Sažetak putovanja

Prijeđene udaljenosti i vremena vožnje vozila po rutama, poduzeće dobiva procjenom njihovog softvera za optimizaciju transportnih ruta *Paragon*. Softver prilikom računanja tih podataka obzir uzima mnogo raznih prometnih faktora, poput tipa i vrste vozila, pristupnost vozila određenim cestama, stanje u prometu i sl. te tako onda daje vrlo točnu procjenu.

4.2. Prikaz postojećih ruta na karti

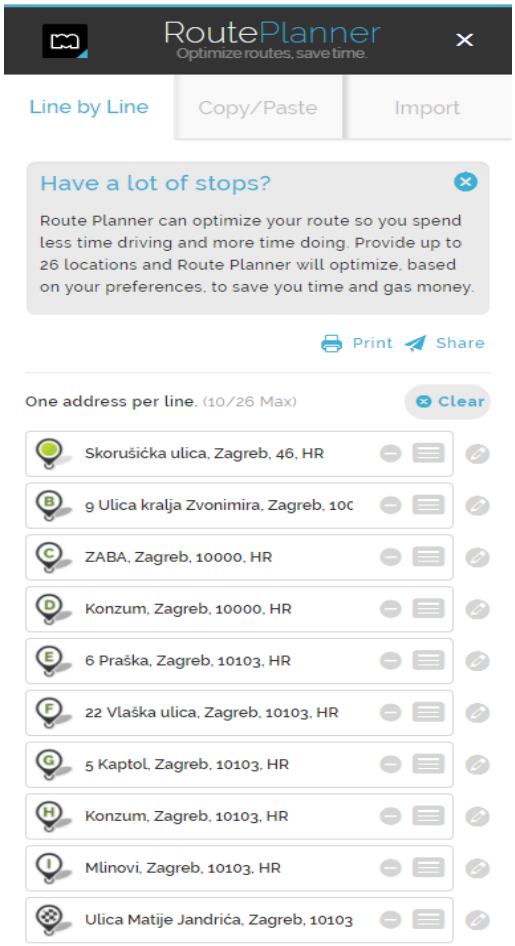
Za vizualni prikaz ruta na temelju geografskih širina i dužina lokacija prikazanih u tablici te sa uvjetom povratka na početnu lokaciju, korištena je besplatna *online* aplikacija *Mapquest routeplanner* [8]. Za sažetke pojedinih putovanja, zbog točnosti će biti korišteni podaci iz Excel tablice, a ne podaci dobiveni aplikacijom *Mapquest*.

Aplikacija *Mapquest routeplanner* nudi tri različita načina unosa lokacija: izravno upisom točnih adresa lokacija, upisom koordinata te upload-om podataka iz tablične datoteke. U ovom slučaju, zbog jednostavnosti i brzine korišten je drugi način-upisivanje koordinata lokacija (Slika 12).



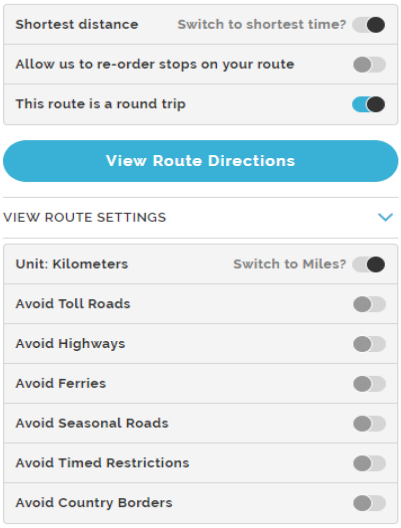
Slika 12. Upisivanje koordinata lokacija u tekstualni prozor u *Mapquest Routeplanner* aplikaciji

Nakon upisa koordinata te klika na tipku ``*Get Directions*``, aplikacija prikazuje adrese lokacija sa točnim imenima te njihov prikaz na mapi (Slika 13).



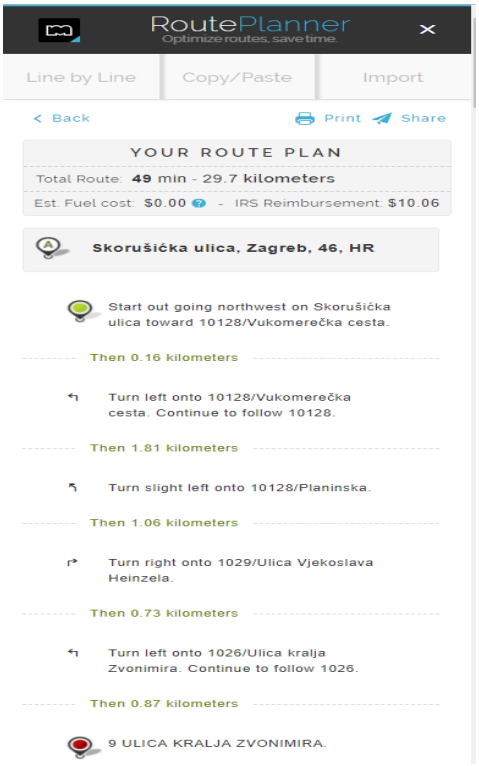
Slika 13. Popis adresa lokacija dobivenih iz upisanih koordinata

Uz to, aplikacija nudi mogućnost prilagodbe postavki za kalkulaciju i prikaz rute. Primjerice: udaljenost u kilometrima ili miljama, poredak lokacija (izmiješano ili po redu kako smo ih upisivali), da li se želimo na kraju vratiti na početnu lokaciju te ograničenja poput izbjegavanja autocesta, naplatnih kućica i slično. (Slika 14)



Slika 14. Biranje postavki za kalkulaciju i prikaz rute

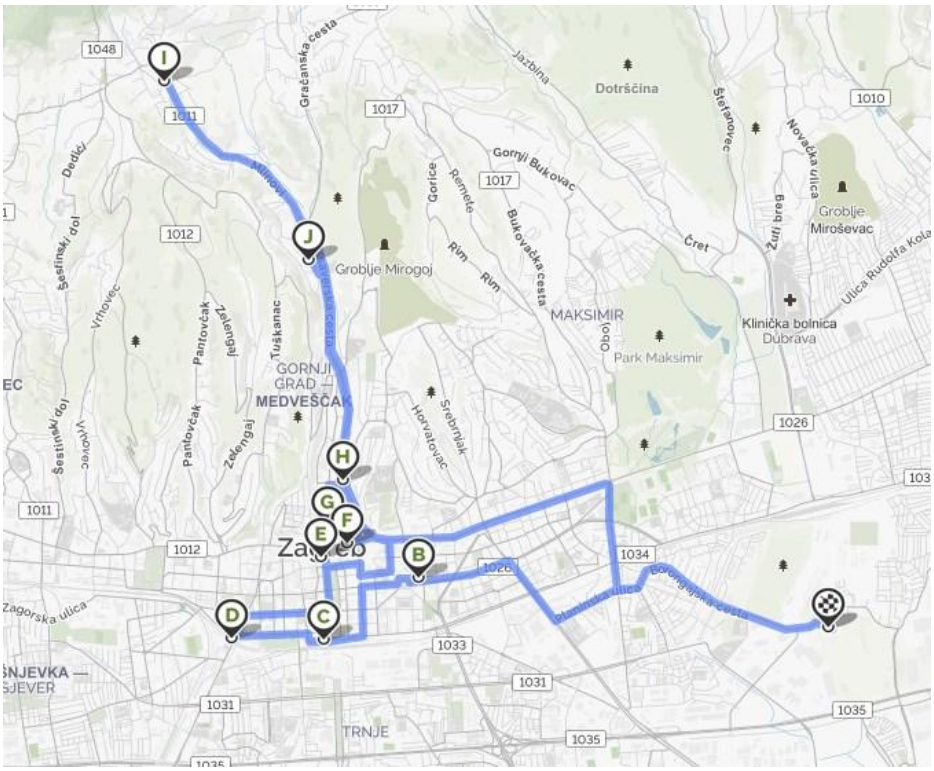
Konačno, pritiskom na tipku ``*View Route Directions*``, aplikacija prikazuje detaljne upute od lokacije do lokacije, sa udaljenostima između njih te vremenima potrebnim da se te udaljenosti prijeđu, odnosno da se dođe od lokacije do lokacije. Također je prikazan sažetak rute, ukupna udaljenost (sa povratkom na početno mjesto) te vrijeme potrebno da se odvozi ta ruta. (Slika 15)



Slika 15. Prikaz sažetka rute

4.2.1. Ruta 1, putovanje 1, vozilo A1

Na slici 16 prikazana je ruta 1, putovanje 1, koje je odvozilo prvo od ukupno dva 12-paletna vozila (oznaka vozila A1).



Slika 16. Ruta 1, putovanje 1, Vozilo A1

Udaljenosti između lokacija i vrijeme potrebno vozilu da prijeđe te udaljenosti prikazati ćemo kao korake i na kraju ćemo zbrojiti udaljenosti i vrijeme kako bi dobili ukupnu duljinu same rute i vrijeme potrebno za prelazak rute. Vrijednosti udaljenosti i vremena uzet ćemo iz aplikacije *Mapquest* iako se one malo razlikuju od vrijednosti koje poduzeće dobiva svojim *Paragon* softverom budući da *Mapquest* aplikacija ne uzima u obzir promet na cestama. Što se tiče vremena istovara robe po lokacijama, njih ćemo uzeti direktno iz tablice podataka dobivenih od poduzeća.

Skorušićka ulica – Ulica kralja Zvonimira: 4,64 km; Vožnja: 8 min; Istovar: 13 min

Ulica kralja Zvonimira – Ulica Grgura Ninskog: 1,5 km; Vožnja: 2 min; Istovar: 9 min

Ulica Grgura Ninskog – Savska cesta: 1 km; Vožnja: 2 min; Istovar: 14 min

Savska cesta – Praška: 1,56 km; Vožnja: 3 min; Istovar: 19 min

Praška – Vlaška ulica: 1,62 km; Vožnja: 3 min; Istovar: 8 min

Vlaška ulica – Kaptol: 1,39 km; Vožnja: 2 min; Istovar: 10 min

Kaptol – Ulica Benedikta Vinkovića: 1,9 km, Vožnja: 3 min; Istovar: 20 min

Ulica Benedikta Vinkovića – Mlinovi: 4,63 km, Vožnja: 5 min; Istovar: 13 min

Mlinovi – Ulica Matije Jandrića: 2,71 km, Vožnja: 3 min; Istovar: 14 min

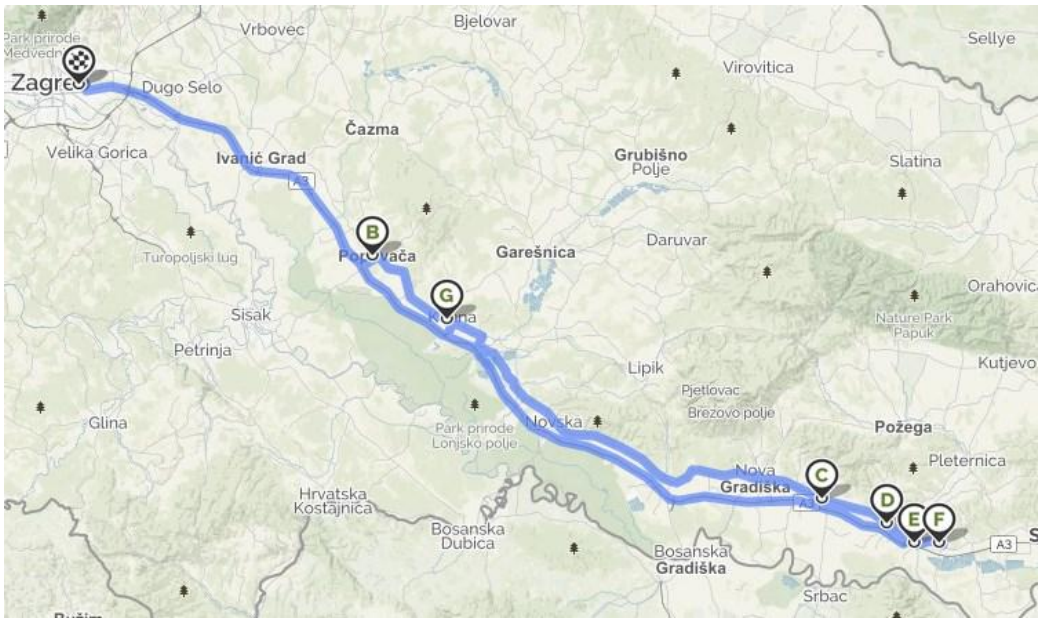
Ulica Matije Jandrića – Skorušićka ulica: 8,76 km, Vožnja: 13 min

---

Ukupno: 29,70 km; Vožnja: 49 min; Istovar: 133 min

4.2.2. Ruta 2, putovanje 1, vozilo B1

Na slici 17 prikazana je ruta 2, putovanje 1, koje je odvozilo prvo od ukupno četiri 14-paletnih vozila (oznaka vozila B1).



Slika 17. Ruta 2, putovanje 1, vozilo B1

Zagreb (Skorušićka ulica) – Popovača: 59,05 km; Vožnja: 38 min; Istovar: 13 min

Popovača – Staro Petrovo Selo: 89,92 km (oba smjera); Vožnja: 95 min; Istovar: 9 min

Staro Petrovo Selo – Nova Kapela: 11,09 km (oba smjera); Vožnja: 10 min; Istovar: 10 min

Nova Kapela – Lužani: 5,36 km (oba smjera); Vožnja: 5 min; Istovar: 9 min

Lužani – Radovanje: 4,18 km (oba smjera); Vožnja: 4 min; Istovar: 42 min

Radovanje – Kutina: 94,37 km (oba smjera); Vožnja: 50 min; Istovar: 8 min

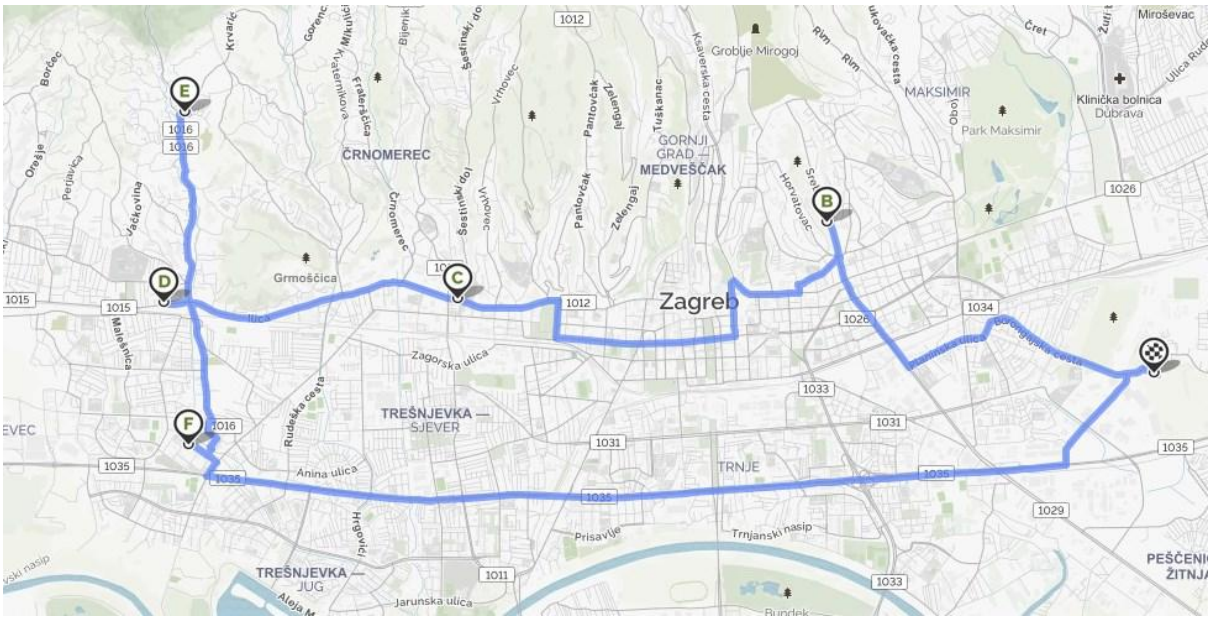
Kutina – Skorušićka ulica: 77,05 km (oba smjera); Vožnja: 46 min

---

Ukupno: 341,00 km; Vožnja: 248 min (4h 8min); Istovar: 91 min

4.2.3. Ruta 3, putovanje 1, vozilo A2

Na slici 18 prikazana je ruta 3, putovanje 1, koje je odvozilo prvo od ukupno dva 12-paletna vozila (oznaka vozila A2).



Slika 18. Ruta 3, putovanje 1, Vozilo A2

Skorušićka ulica – Dugi dol: 4,86 km (oba smjera); Vožnja: 8 min; Istovar: 13 min

Dugi dol – Ilica 6: 5,78 km (oba smjera); Vožnja: 9 min; Istovar: 34 min

Ilica 6 – Ilica 10145: 3,55 km; Vožnja: 5 min; Istovar: 16 min

Ilica 427 – Trdice: 2,40 km (oba smjera); Vožnja: 3 min; Istovar: 24 min

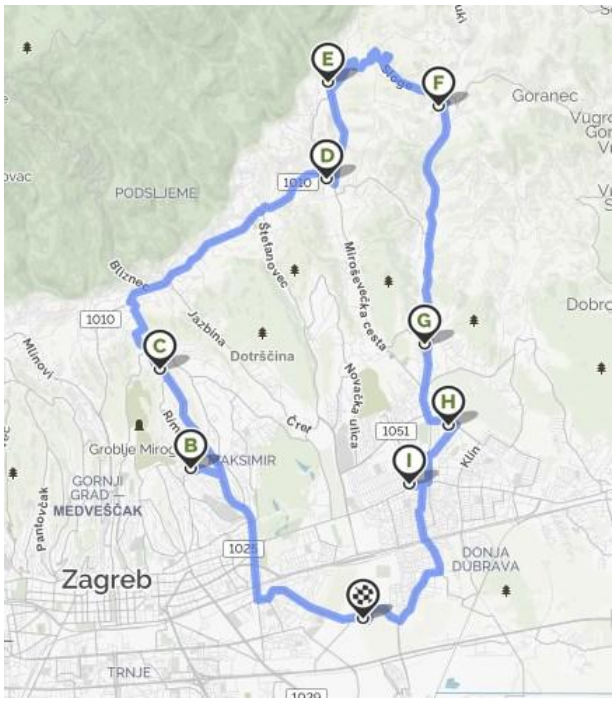
Trdice – Ulica Ante Mike Tripala: 4,16 km (oba smjera); Vožnja: 6 min; Istovar: 11 min

Ulica Ante Mike Tripala – Skorušićka ulica: 11,35 km (oba smjera); Vožnja: 14 min

Ukupno: 31,84 km; Vožnja: 44 min; Istovar: 112 min

4.2.4. Ruta 3, putovanje 2, vozilo A2

Na slici 19 prikazana je ruta 3, putovanje 2, koje je nakon ponovnog utovara odvozilo do kraja prvo od ukupno dva 12-paletna vozila (oznaka vozila A2).



Slika 19. Ruta 3, putovanje 2, vozilo A2

Skorušićka ulica – Kozjak: 5,79 km; Vožnja: 10 min; Istovar: 22 min

Kozjak – Remete: 2,76 km; Vožnja: 4 min; Istovar: 9 min

Remete – Miroševečka cesta: 6,74 km (7,05 km; 10min); Vožnja: 9 min; Istovar: 14 min

Miroševečka cesta – Površnica: 2,08 km; Vožnja: 3 min; Istovar: 8 min

Površnica – Trg sv. Marije Čučerske:3,96 km(4,71km;9 min); Vožnja: 8 min; Istovar: 13 min

Trg sv. Marije Čučerske – Šunekova ulica: 4,84 km; Vožnja: 7 min; Istovar: 8 min

Šunekova ulica – Ulica Vile Velebita: 2,11 km; Vožnja: 3 min; Istovar: 10 min

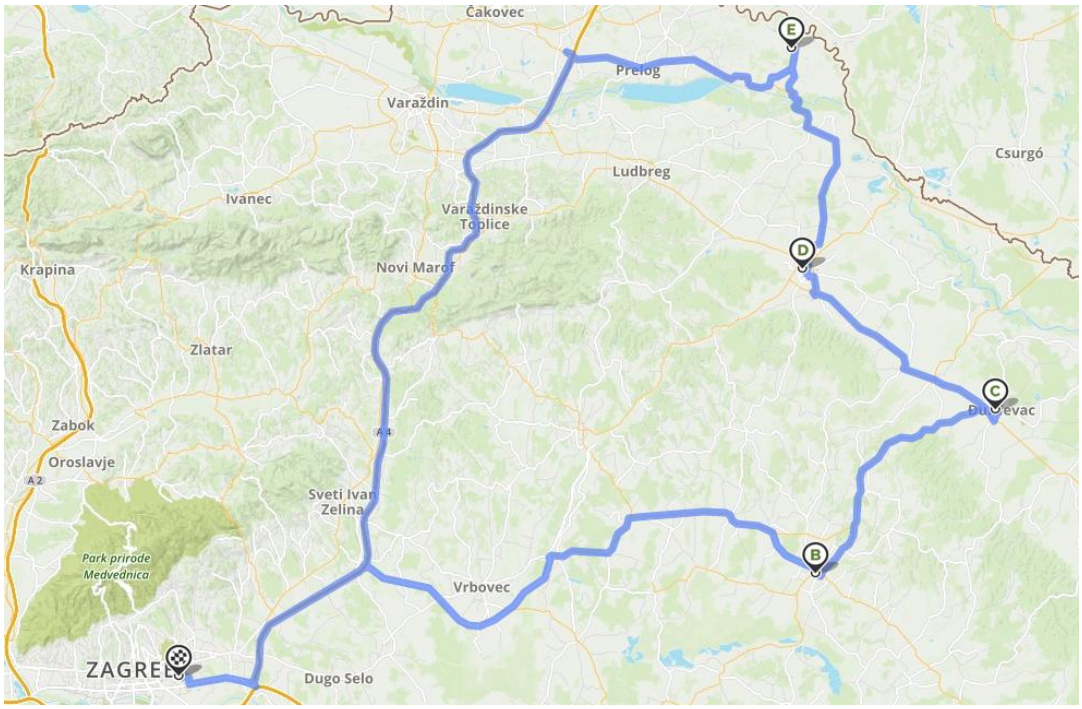
Ulica Vile Velebita – Avenija Dubrava: 1,67 km; Vožnja: 3 min; Istovar: 13 min

Avenija Dubrava – Skorušićka ulica: 4,33 km; Vožnja: 9 min

Ukupno: 34,28km; Vožnja: 56 min; Istovar: 97 min

4.2.5. Ruta 4, putovanje 1, vozilo C1

Na slici 20 prikazana je ruta 4, putovanje 1, koje je odvozilo 18-paletno vozilo (oznaka vozila C1).



Slika 20. Ruta 4, putovanje 1, vozilo C1

Zagreb (Skorušićka ulica) – Bjelovar: 80,83 km; Vožnja: 62 min; Istovar: 13 min

Bjelovar – Đurđevac: 29,95 km; Vožnja: 25 min; Istovar: 16 min

Đurđevac – Koprivnica: 27,64 km; Vožnja: 24 min; Istovar: 13 min

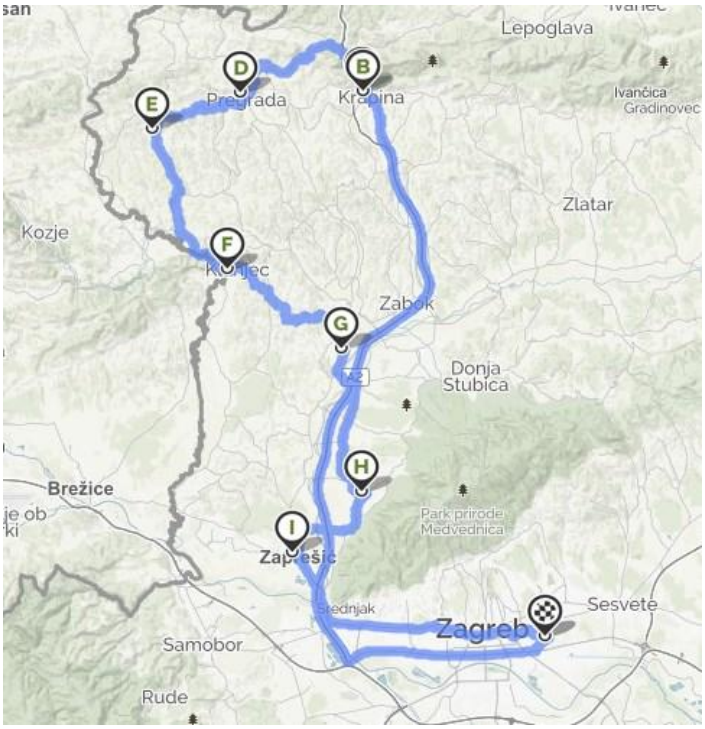
Koprivnica - Kotoriba: 27,35 km; Vožnja: 25 min; Istovar: 11 min

Kotoriba – Skorušička ulica (Zagreb): 115,65 km; Vožnja: 75 min;

Ukupno: 281,42 km; Vožnja: 211 min (3h 31min); Istovar: 53 min

4.2.6. Ruta 5, putovanje 1, vozilo B2

Na slici 21 prikazana je ruta 5, putovanje 1, koje je odvozilo drugo od ukupno četiri 14-paletnih vozila (oznaka vozila B2).



Slika 21. Ruta 5, putovanje 1, vozilo B2

Zagreb (Skorušićka ulica) – Doliće (a): 63,20 km; Vožnja: 45 min; Istovar: 15 min

Doliće (a) – Doliće (b): 0,41 km; Vožnja: 1 min; Istovar: 7 min

Doliće (b) – Pregrada: 15,22km; Vožnja: 21 min; Istovar: 7 min

Pregrada – Turnišće: 9,17 km; Vožnja: 11 min; Istovar: 8 min

Turnišće – Klanjec: 14,24 km; Vožnja: 16 min; Istovar: 13 min

Klanjec – Veliko Trgovišće: 18,21 km; Vožnja: 17 min; Istovar: 9 min

Veliko Trgovišće – Donja Bistra: 13,16 km; Vožnja: 14 min; Istovar: 14 min

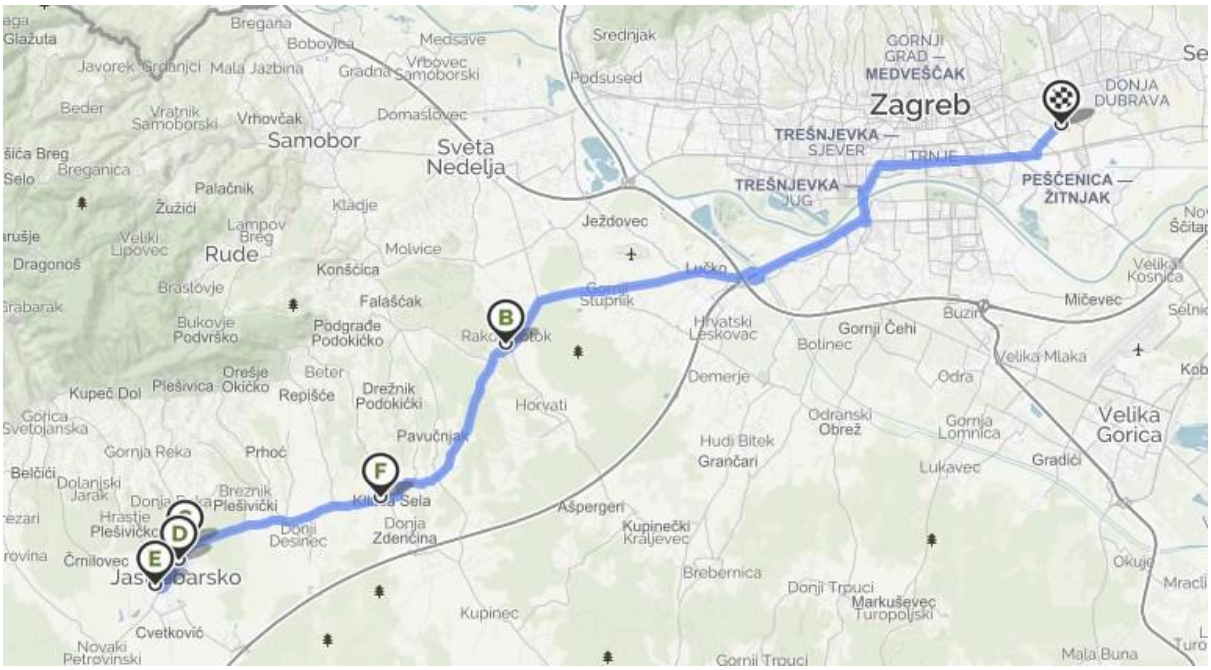
Donja Bistra – Zaprešić: 11,51 km; Vožnja: 13 min; Istovar: 14 min

Zaprešić – Zagreb (Skorušićka ulica): 24 km; Vožnja: 31 min;

Ukupno: 169,12 km; Vožnja: 169 min (2h 49min); Istovar: 87 min

4.2.7. Ruta 6, putovanje 1, vozilo B3

Na slici 22 prikazana je ruta 6, putovanje 1, koje je odvozilo treće od ukupno četiri 14-paletnih vozila (oznaka vozila B3).



Slika 22. Ruta 6, putovanje 1, vozilo B3

Zagreb (Skorušićka ulica) – Rakov Potok: 22,67 km, 23 min; Istovar: 14 min

Rakov Potok – Zdihovo: 14,45 km, 16 min; Istovar: 16 min

Zdihovo – Jastrebarsko (Trg Ljube Babića): 0,79 km, 2 min; Istovar: 20 min

Jastrebarsko (Trg Ljube Babića) – Jastrebarsko (Cvjetno naselje): 1,59 km, 3 min; Istovar: 11 min

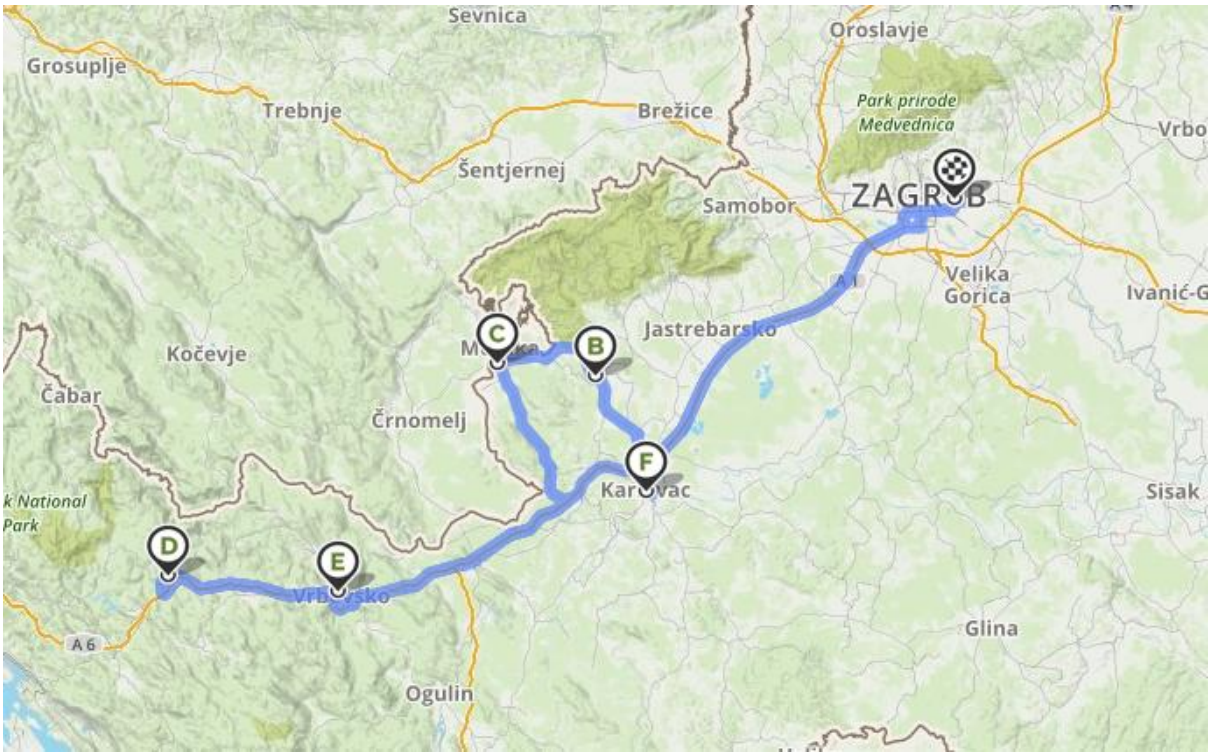
Jastrebarsko (Cvjetno naselje) – Klinča Sela: 8,84 km, 11 min; Istovar: 13 min

Klinča Sela – Zagreb (Skorušićka ulica): 31,07 km, 33 min

Ukupno: 79,90 km; Vožnja: 89 min (1h 29min); Istovar: 87 min

4.2.8. Ruta 7, putovanje 1, vozilo B4

Na slici 23 prikazana je ruta 7, putovanje 1, koje je odvozilo četvrto od ukupno četiri 14-paletnih vozila (oznaka vozila B4).



Slika 23. Ruta 7, putovanje 1, vozilo B4

Zagreb (Skorušićka ulica) – Ozalj: 69,55 km; Vožnja: 49 min; Istovar: 16 min

Ozalj – Jurovski Brod: 17,66 km; Vožnja: 17 min; Istovar: 9 min

Jurovski Brod – Delnice: 81,71 km; Vožnja: 56 min; Istovar: 24 min

Delnice – Vrbovsko: 32,40 km; Vožnja: 23 min; Istovar: 9 min

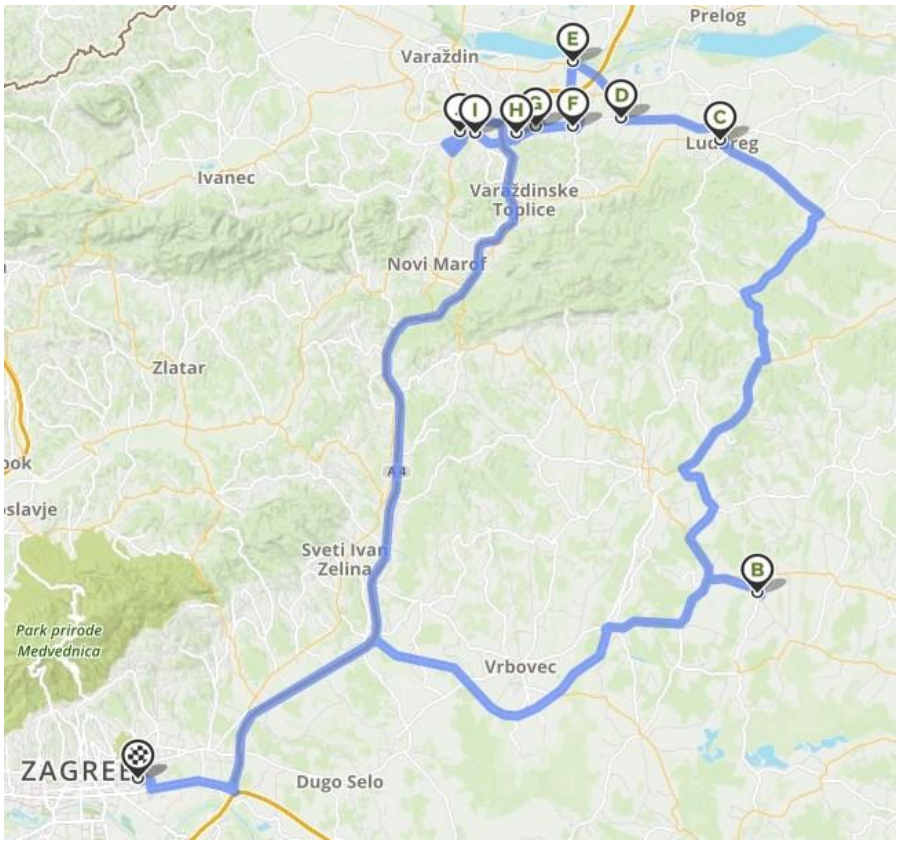
Vrbovsko – Karlovac: 48,72 km; Vožnja: 32 min; Istovar: 10 min

Karlovac – Zagreb (Skorušićka ulica): 58 km; Vožnja: 42 min

Ukupno: 308,04 km; Vožnja: 219 min (3h 39 min); Istovar: 68 min

4.2.9. Ruta 8, putovanje 1, vozilo A1

Na slici 24 prikazana je ruta 8, putovanje 1, koje je odvozilo prvo od ukupno dva 12-paletnih vozila (oznaka vozila A1).



Slika 24. Ruta 8, putovanje 1, vozilo A1

Zagreb (Skorušićka ulica) – Cirkvena: 63,97 km, 47 min; Istovar: 10 min

Cirkvena – Ludbreg: 52,25 km, 49 min; Istovar: 18 min

Ludbreg – Vrbanovec: 8,85 km, 8 min; Istovar: 7 min

Vrbanovec – Šemovec: 5,93 km, 6 min; Istovar: 6 min

Šemovec – Jalžabet: 6,28 km, 6 min: Istovar: 7 min

Jalžabet – Kelemen: 3,27 km, 3 min; Istovar: 7 min

Kelemen – Kaštelanec: 1,64 km, 1 min; Istovar: 8 min

Kaštelanec – Gornji Kneginec: 3,71 km, 4 min; Istovar 13 min

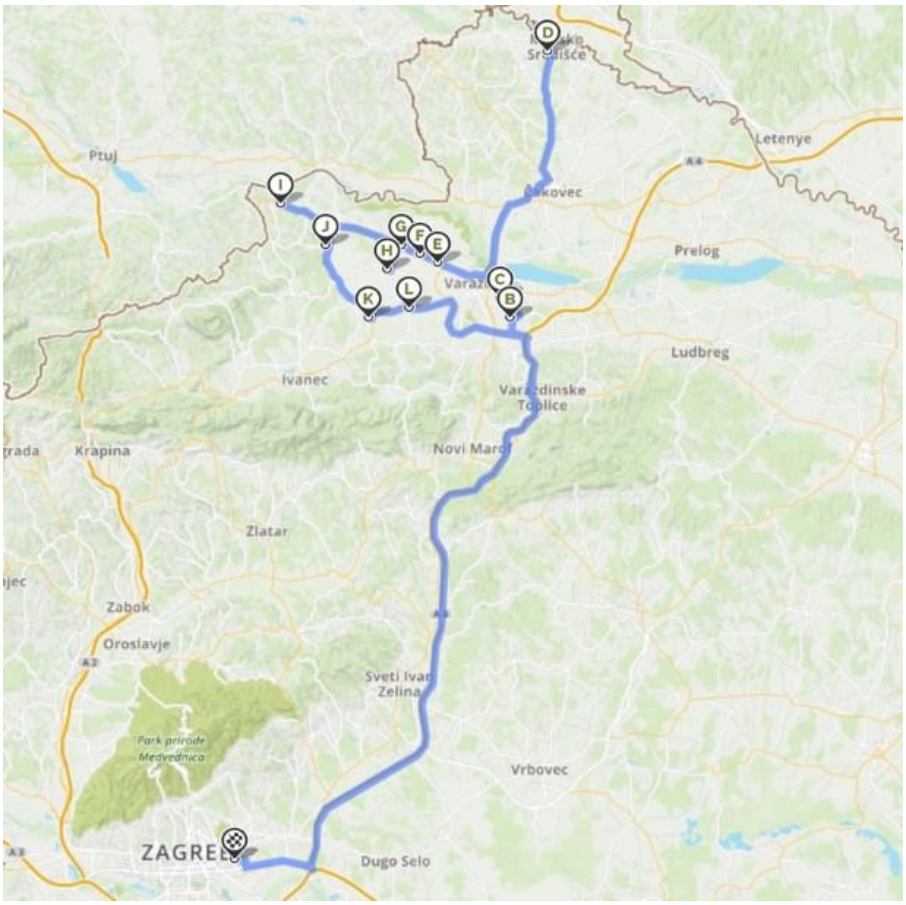
Gornji Kneginec – Turčin: 5,27 km, 6 min; Istovar: 8 min

Turčin – Zagreb (Skorušićka ulica): 76,24 km, 46 min

Ukupno: 227,41 km, 174 min (2h 54 min); Istovar: 84 min (1h 24 min)

4.2.10. Ruta 9, putovanje 1, vozilo A2

Na slici 25 prikazana je ruta 9, putovanje 1, koje je odvozilo drugo od ukupno dva 12-paletnih vozila (oznaka vozila A2).



Slika 25. Ruta 9, putovanje 1, vozilo A2

Zagreb (Skorušićka ulica) – Gornji Kućan: 76,11 km, 48 min; Istovar: 7 min

Gornji Kućan – Kućan Marof: 2,96 km, 3 min; Istovar: 8 min

Kućan Marof – Mursko Središće: 29,06 km, 28 min; Istovar:12 min

Mursko Središće – Hrašćica: 30,48 km, 30 min; Istovar: 7 min

Hrašćica – Sračinec: 1,95 km, 1 min; Istovar: 10 min

Sračinec – Petrijanec: 1,98 km, 1 min; Istovar: 36 min

Petrijanec – Nova Ves Petrijanečka: 3,47 km, 3 min; Istovar: 9 min

Nova Ves Petrijanečka – Brezje Dravsko: 15,23 km, 14 min; Istovar: 6 min

Brezje Dravsko – Vinica: 6,92 km, 6 min; Istovar: 10 min

Vinica – Greda: 9,05 km, 9 min; Istovar: 9 min

Greda – Vidovec: 4,64 km, 4 min; Istovar: 15 min

Vidovec – Zagreb (Skorušićka ulica): 86,92 km, 54 min

Ukupno: 268,77 km, Vožnja: 200 min (3h 20 min); Istovar: 129 min (2h 9min)

5. ANALIZA TROŠKOVA U CESTOVNOM PRIJEVOZU

Sumiranje prisutnih troškova osnova je za određivanje troškova prijevoza. Poznavanje strukture troškova nužno je za izradu cijene prijevozne usluge i omogućuje efikasnu kontrolu te način promjene u visini troškova izravno utječu na profitabilnost u poslovanju poduzeća. Troškovi se dijele na fiksne, varijabilne i direktne. U nastavku rada dana je detaljna razrada i opis svake vrste troška koji nastaju u cestovnom prometu.

5.1. Direktni troškovi

Direktni troškovi ovisni su o kretanju vozila i to u ovisnosti o prijevoznom putu i vrsti robe koja se prevozi, pa su više naglašeni u međunarodnom nego u domaćem prijevozu. Direktne troškove prijevoznih sredstava čine troškovi:

- cestarina
- vožnje tunelima, mostovima, trajektima, uprtnim vlakovima i sl.
- parkiranja vozila
- upravnih pristojbi i taksi
- otpremništva
- veterinarskih, fitopatoloških i sanitarnih pregleda.

Prema tome, oni su posljedica korištenog itinerara i primijenjene tehnologije, postoje tržišta koja izazivaju osjetno veće direktne troškove zbog svojih specifičnosti. Tako je cestarina u Austriji najskuplja, za Veliku Britaniju se mora koristiti trajekt, kroz Austriju se u nedostatku tranzitnih dozvola koristi teretni vlak i sl. Na neke od ovih troškova prijevoznik ne može utjecati već ih mora ukalkulirati u vozarinu. Ovdje je važno napomenuti da se u nekim državama Europske unije cestarine određuju i prema ekološkoj klasifikaciji prijevoznih sredstava. Time se stimulira prijevoz tereta novijim, tehnološki i ekološki suvremenijim vozilima. Tako stimulirani prijevoznici postaju konkurentniji od prijevoznika sa zastarjelim voznim parkom. Kod nas bi se umjesto starosnog kriterija za ograničenje zadržavanja vozila u prijevoznoj funkciji trebao uvesti sve aktualniji kriterij ekološke prihvatljivosti. [9]

5.2. Varijabilni troškovi

Varijabilni su troškovi uvjetovani kretanjem vozila, te ovise o prijeđenim kilometrima. Najznačajniji varijabilni troškovi se odnose na: pogonsko gorivo, autogume, maziva i motorna ulja te održavanje vozila. Trošak pogonskog goriva je jedan od najvećih troškova poslovanja prijevozne tvrtke. Međutim, ovaj trošak u znatnoj mjeri ovisi i o državi u kojoj prijevoznik ima domicil, jer država kroz trošarinu određuje cijenu pogonskog goriva, čime direktno utječe na konkurentsku sposobnost svojih prijevoznika. Naše tržište pogonskih goriva još nije razvijeno, te naše prijevozničke tvrtke ne dobivaju uobičajeni rabat na godišnje količine kupljenog goriva, na što bi trebalo u budućnosti računati. Treba imati u vidu da prijevoznici nisu krajnji potrošači goriva jer njima je gorivo potrošni materijal za uslugu koju pružaju pri obavljanju djelatnosti prijevoza. Tako gledajući, zaključuje se da cijena pogonskog goriva za prijevoznike može biti manja nego za krajnje potrošače. U tom slučaju našim prijevoznicima omogućava se također veća konkurentnost na transportnom tržištu. Cijena auto guma neposredno utječe na cijenu prijevoza, a njihova kvaliteta utječe na eksploatacijski vijek (u međunarodnom prijevozu eksploatacijski vijek auto gume odgovara 150 000 – 250 000 prijeđenih kilometara) i sigurnost prijevoznog procesa. Po cijeni i kvaliteti se ponuda auto guma na hrvatskom tržištu bitno ne razlikuje od ponude okruženja.

Za cijenu maziva i ulja vrijedi isto što i za cijenu auto guma. Interval izmjene ulja kod novijih vozila kreće se između 50 000 i 80 000 km, a ovisan je o kvaliteti korištenog goriva, uvjetima eksploatacije vozila i dr.

Troškovi održavanja prijevoznih sredstava znatna su stavka u prijevoznim troškovima i u bitnoj su zavisnosti od: starosti vozila, homogenosti voznog parka, kvaliteti vozačkog kadra, kvaliteti kadra u održavanju vozila te broju, lokaciji i osposobljenosti servisa.

Vozila do dvije godine starosti (u garantnom roku) imaju male troškove održavanja (oko 3% od bruto prometa tog vozila), dok se kod vozila starosti od 6 do 8 godina taj postotak penje do 18%. Homogenost voznog parka prijevoznicima omogućuje provođenje kvalitetnijeg održavanja uz manji trošak i kvalitetniju usporedbu troškova održavanja pojedinih vozila.

Jedno od važnijih pitanja rada prijevozničke djelatnosti je vozački kadar. Zapaža se raskorak između tehnološki sve naprednijih vozila i vozača koji se školuju na tehnološki zastarjelim prijevoznim sredstvima. Nekad su vozači započinjali svoj radni vijek na manjim vozilima i tek nakon određene prakse bi prelazili na novija i suvremenija vozila. Danas, zbog

manjka navedenog kadra, mladi vozači odmah prelaze na teška, tehnološki vrhunski opremljena motorna vozila.

Lokacija tj. udaljenost servisa od sjedišta prijevoznika utječe ne samo na trošak održavanja vozila već i gubitak vremena i praznog hoda te se širenje servisne mreže postavlja kao važno pitanje. Isto tako, opremljenost servisa i osposobljenost operativnog osoblja u servisu traži usavršavanje i nova znanja za održavanje novih vozila. [9]

5.3. Fiksni troškovi

Fiksni troškovi (troškovi registracije) imaju veliki utjecaj na cijenu prijevozne usluge. Na ovu razinu troškova utječu zakonom propisane pristojbe, stoga se može reći da i „država“ bitno utječe na cijenu prijevoza i konkurentnost svojih prijevoznika, ne samo na domaćem nego i na međunarodnom tržištu. Ova činjenica je od velikog značaja za otvaranje tržišta transportnih usluga. U današnjim uvjetima za naše prijevoznike u međunarodnom prijevozu postoje ograničenja uvjetovana kvotama međunarodnih dozvola, ali ta ograničenja će nestati na prostoru zemalja Europske unije.

Problem fiksnih troškova u Republici Hrvatskoj još je kompliciraniji jer se razlikuju po županijama, pa nose predznak diskriminacije (osobito kod osiguranja i poreznih olakšica). Ova diskriminacija po županijama je neodrživa jer sjedište prijevoznika (pogotovo za međunarodni prijevoz) ne utječe na rizike u prijevoznom procesu. Naime, kod osiguravatelja postoje zone rizika što u prijevozničkoj djelatnosti nema logiku, jer prijevoz nije djelatnost koja se obavlja samo unutar županije, već između regija i država te se stvara diskriminacija među prijevoznicima. Fiksne troškove u cestovnom prijevozu roba čine troškovi koji ne ovise o kretanju prijevoznog sredstva, a to su:

- amortizacija vozila
- registracija i tehnički pregled vozila
- sve vrste osiguranja (osnovno, kasko, odgovornost vozara i dr.)
- trošak međunarodnih dozvola
- knjigovodstvene usluge
- režijski troškovi (voda, struja, telefon, grijanje, komunalne usluge i dr.) [9]

6. IZRAČUN TROŠKOVA PRIJEVOZA NA PRIMJERU

6.1. Polazne osnove za izračunavanje vrijednosti usluge prijevoza na primjeru petotonskog (12-14 paletni) klasičnog kamiona

Izračunavanje će se izvršiti za jedno vozilo s posadom od jednog vozača, na osnovi izvornih i izvedenih tehničkih normativa, pokazatelja iz analize, i normi koje određuju stavke Kolektivnog ugovora.

Izračun se vrši na sljedeći način:

1. Koeficijent tehničke ispravnosti 0,9 (broj auto dana ispravnog vozila/broj dana u godini = 330/365 = 0,9)

2. Koeficijent iskorištenja tehnički ispravnih vozila 0,68 (broj dana vozila u radu/ broj auto dana ispravnih vozila = 225/330 = 0,68)

3. Koeficijent iskorištenja voznog parka 0,62 (broj dana u radu/365 = 225/365 = 0,62)

4. Iskorištenje prevaljenog puta 80%

5. Raspoloživi broj radnih sati:

   a) godišnji broj radnih sati je 52 tjedna x 40 sati = 2 080 sati

   b) 2 tjedna x 40 sati predstavlja blagdane, državne praznike i odsutnost s posla korištenjem prava iz Kolektivnog ugovora = 80 sati

   c) 4 tjedna godišnjeg odmora x 40 sati = 160 sati

   d) 1 tjedan bolovanja x 40 sati = 40 sati

Broj radnih sati vozača u jednoj godini = 2 080 – 80 – 160 – 40 = 1 800 sati

6. Prosječni utrošak goriva: 20 litara na 100 km (pun-prazan)

7. Cijena goriva Eurodiesel: 9,25 kune za 1 litru [10]

8. Cijena kamiona = 220 000 kuna, amortizacija 5 godina

9. Auto gume, 6 kom. X 1 200 kuna, trajnost 60 000 km, odnosno 0,12 kn/km

10. Troškovi održavanja povećavaju se s brojem prijeđenih km

11. Ulje i potrošni materijal 10% cijene utrošenog goriva

12. Osiguranje ukupno 14 960 kn (kasko 4 900, auto odg. 4 780, prij. odgovornosti 5 280)

13. Registracija i tehnički pregled vozila 3 658,77 kn [11]

14. Plaća vozača, bruto, prema tablici 1. (u kunama mjesečno) [12]

Mjesečne su plaće vozača u cestovnom prometu određene Kolektivnim ugovorom za djelatnosti cestovnog prijevoza i pomoćne djelatnosti u prometu, a sastoje se od:

1. osnovice, u koju ulazi osnovna plaća i dodatak na radni staž
2. naknade, dodataka i materijalnih prava zaposlenika, u koju ulazi prekovremeni rad, rad blagdanima, noćni rad, regres (800 kn/godišnje), prigodni poklon za Uskrs i Božić (1200 kn/godišnje)
3. stimulativnog dijela (5% na osnovicu za svakih 25000 prijeđenih kilometara).

Vozači su svrstani u četvrtu i petu grupu složenosti poslova. To je primjereno vozaču u unutrašnjem i međunarodnom prometu, odnosno vozaču lakih i vozaču teških teretnih vozila.

15. Dnevnice

Dnevnice u unutrašnjem prometu iznose 170 kuna, a u međunarodnom 51,13 eura što je približno 387,66 kuna. Ove se dnevnice mogu umanjiti za najviše 20%.

Prikaz plaća i dnevnica vozača vozila do 10 tona nosivosti dani su u tablici 2.

16. Poštanski troškovi razmjerni ostvarenoj kilometraži

17. Troškovi vođenja knjigovodstva 8 640 godišnje

18. Cestarina, mostarina, tunel 4 000 kuna svakih 25 000 km [12]

Na osnovi ovih veličina cijene će se izračunati za svakih 50 prijeđenih kilometara do 1500-tog kilometra

Tablica 4. Prosječne plaće i dnevnice vozača vozila do 10 tona nosivosti [12]

	Plaća vozača			Stimulativni dodatak		Neto plaća	Bruto plaća		Broj dnevnica mj.		Dnevnice u kunama.	
Km	Osnovica	Dodaci	Ukupno	%	Iznos	Mjesečno	Mjesečno	Godišnje	Domaće	Inozemne	Mjesečno	Godišnje
50	1790	816	2606	5	130	2736	4871	58447	3,5	1,5	1135	12485
100	1790	816	2606	10	261	2867	5103	61231	4,5	2	1485	16335
150	1790	816	2606	15	391	2997	5334	64014	5,5	2,5	1835	20185
200	1790	816	2606	20	521	3127	5566	66797	6,5	3	2185	24035
250	1790	816	2606	25	652	3258	5798	69580	7,5	3,5	2535	27885
300	1790	816	2606	30	782	3388	6030	72363	8,5	4	2885	31735
350	1790	816	2606	35	912	3518	6262	75147	9,5	4,5	3235	35585
400	1790	816	2606	40	1042	3648	6494	77930	10,5	5	3585	39435
450	1790	816	2606	45	1173	3779	6726	80713	11,5	5,5	3935	43285
500	1790	816	2606	50	1303	3909	6958	83496	12,5	6	4285	47135
550	1790	816	2606	55	1433	4039	7190	86279	13,5	6,5	4635	50985
600	1790	816	2606	60	1564	4170	7422	89063	14,5	7	4985	54835
650	1790	816	2606	65	1694	4300	7654	91846	15,5	7,5	5335	58685
700	1790	816	2606	70	1824	4430	7886	94629	16,5	8	5685	62535
750	1790	816	2606	75	1955	4561	8118	97412	17,5	8,5	6035	66385
800	1790	816	2606	80	2085	4691	8350	100195	18,5	9	6385	70235
850	1790	816	2606	85	2215	4821	8582	102979	19,5	9,5	6735	74085
900	1790	816	2606	90	2345	4951	8813	105762	20,5	10	7085	77935
950	1790	816	2606	95	2476	5082	9045	108545	21,5	10,5	7435	81785
1000	1790	816	2606	100	2606	5212	9277	111328	22,5	11	7785	85635
1050	1790	816	2606	105	2736	5342	9509	114112	23,5	11,5	8135	89485
1100	1790	816	2606	110	2867	5473	9741	116895	24,5	12	8485	93335
1150	1790	816	2606	115	2997	5603	9973	119678	25,5	12,5	8835	97185
1200	1790	816	2606	120	3127	5733	10205	122461	26,5	13	9185	101035
1250	1790	816	2606	125	3258	5864	10437	125244	27,5	13,5	9535	104885
1300	1790	816	2606	130	3388	5994	10669	128028	28,5	14	9885	108735
1350	1790	816	2606	135	3518	6124	10901	130811	29,5	14,5	10235	112585
1400	1790	816	2606	140	3648	6254	11133	133594	30,5	15	10585	116435
1450	1790	816	2606	145	3779	6385	11365	136377	31,5	15,5	10935	120285
1500	1790	816	2606	150	3909	6515	11597	139160	32,5	16	11285	124135

Dnevnice u unutrašnjem prometu su obračunate po 170, a u međunarodnom po 360 kn.

Konačno izračunavanje vrijednosti godišnjih troškova prijevoza za petotonsko vozilo dano je u tablici 5.

Tablica 5. Izračun vrijednosti godišnjih troškova prijevoza za petotonsko vozilo [12]

Redni broj	Km dnevno	100	200	300	400	600
	Km godišnje	25000	50000	75 000	100 000	150 000
	Stavke proračuna					
1.	Gorivo (20 l/100 km=1.85 kn/km)	46 250	92 500	138 750	185 000	277500
2.	Amortizacija, 5 godina	44 000	44 000	44 000	44 000	44 000
3.	Autogume, 0.12 kn/km	3000	6000	9000	12 000	18 000
4.	Održavanje vozila	2050	4310	6802	10 734	15 917
5.	Ulje i potrošni materijal	4625	9250	13 875	18 500	27 750
6.	Registracija i teh. pregled	3658	3658	3658	3658	3658
7.	Osiguranje, sve vrste	14 960	14 960	14 960	14 960	14 960
8.	Plaće, bruto	61 231	66 797	72 363	77 930	89 063
9.	Dnevnice	8415	12 155	15 895	19 635	27 115
10.	Knjigovodstvene usluge	8640	8640	8640	8640	8640
11.	Poštanski troškovi	3000	5000	7000	9000	13 000
12.	Cestarina, mostarina, tunel	3000	6000	9000	12 000	18 000
	Ukupno kuna	**202 829**	**273 270**	**343 943**	**416 057**	**557 603**
	Iskorištenost km 80%	20000	40000	60000	80000	12000
	Kuna/km	**10,14**	**6,83**	**5,73**	**5,20**	**4,65**

6.2. Polazne osnove za izračunavanje vrijednosti usluge prijevoza na primjeru desetotonskog (18 paletnog) klasičnog kamiona

Izračunavanje će se izvršiti za jedno vozilo posadom od jednog vozača, na osnovi izvornih i izvedenih tehničkih normativa, pokazatelja iz analize, i normi koje određuju stavke Kolektivnog ugovora.

Izračun se vrši na sljedeći način:

1. Koeficijent tehničke ispravnosti 0,9 (broj auto dana ispravnog vozila/broj dana u godini = 330/365 = 0,9)

2. Koeficijent iskorištenja tehnički ispravnih vozila 0,68 (broj dana vozila u radu/ broj auto dana ispravnih vozila = 225/330 = 0,68)

3. Koeficijent iskorištenja voznog parka 0,62 (broj dana u radu/365 = 225/365 = 0,62)

4. Iskorištenje prevaljenog puta 80%

5. Raspoloživi broj radnih sati:

   a) godišnji broj radnih sati je 52 tjedna x 40 sati = 2 080 sati

   b) 2 tjedna x 40 sati predstavlja blagdane, državne praznike i odsutnost s posla korištenjem prava iz Kolektivnog ugovora = 80 sati

   c) 4 tjedna godišnjeg odmora x 40 sati = 160 sati

   d) 1 tjedan bolovanja x 40 sati = 40 sati

Broj radnih sati vozača u jednoj godini = 2 080 – 80 – 160 – 40 = 1 800 sati

6. Prosječni utrošak goriva: 25 litara na 100 km (pun-prazan)

7. Cijena goriva Eurodiesel: 9,25 kune za 1 litru

8. Cijena kamiona = 280 000 kuna, amortizacija 5 godina = 56000 kn/god

9. Auto gume, 6 kom. X 1 400 kuna, trajnost 60 000 km, odnosno 0,14 kn/km

10. Troškovi održavanja povećavaju se s brojem prijeđenih km

11. Ulje i potrošni materijal 10% cijene utrošenog goriva

12. Osiguranje ukupno 14 960 kn (kasko 4 900, auto odg. 4 780, prij. odgovornosti 5 280)

13. Registracija i tehnički pregled vozila 4 475,77 kn [12]

14. Plaća vozača, bruto, prema tablici 1. (u kunama mjesečno) [12]

Tablica 6. Izračun vrijednosti godišnjih troškova prijevoza za desetotonsko vozilo

Redni broj	Km dnevno	100	200	300	400	600
	Km godišnje	25 000	50 000	75 000	100 000	150 000
	Stavke proračuna, godišnje					
1.	*Gorivo (25 l/100 km=2,31 kn/km)	57 750	115 500	173 250	231 000	346 500
2.	Amortizacija, 5 godina	56 000	56 000	56 000	56 000	56 000
3.	*Auto gume, 0.14 kn/km	3500	7000	10 500	14 000	21 000
4.	*Održavanje vozila	2050	4310	6802	10 734	15 917
5.	*Ulje i potrošni materijal	4625	9250	13 875	18 500	27 750
6.	Registracija i teh. pregled	4476	4476	4476	4476	4476
7.	Osiguranje, sve vrste	14 960	14 960	14 960	14 960	14 960
8.	*Plaće, bruto	61 231	66 797	72 363	77 930	89 063
9.	Dnevnice	8415	12 155	15 895	19 635	27 115
10.	Knjigovodstvene usluge	8640	8640	8640	8640	8640
11.	Poštanski troškovi	3000	5000	7000	9000	13 000
12.	Cestarina, mostarina, tunel	3000	6000	9000	12 000	18 000
	Ukupno kuna	**227 647**	**310 088**	**392 761**	**476 875**	**642 421**
	Iskorištenost km 80%	20 000	40 000	60 000	80 000	120 000
	Kuna/km	**11,38**	**7,75**	**6,55**	**5,96**	**5,35**

6.3. Izračun troškova transporta po rutama

Uzeto je da svako vozilo poduzeća Konzum dnevno na području Zagreba i okolice u prosjeku odvozi 600 km (svako vozilo se vozi u dvije smjene). I po toj vrijednosti će se uzimati vrijednosti troška transporta iz tablice 2. i tablice 3.

1) Ruta 1, putovanje 1, vozilo A1

U ovom slučaju radi se o 12-paletnom vozilu, za kojeg prema tablici 2. za dnevnu prijeđenu udaljenost od 600 km cijena troška vozila iznosi 4,65 kn/km.

UKUPNA PRIJEĐENA UDALJENOST: 29,70 km

UKUPNI TROŠKOVI: 29,70*4,65 = 138,11 kn

2) Ruta 2, putovanje 1, vozilo B1

U ovom slučaju radi se o 14-paletnom vozilu, za kojeg prema tablici 2. za dnevnu prijeđenu udaljenost od 600 km cijena troška vozila također iznosi 4,65 kn/km.

UKUPNA PRIJEĐENA UDALJENOST: 341,00 km

UKUPNI TROŠKOVI: 341,00*4,65 = 1585,65 kn

3) Ruta 3, putovanje 1 i 2, vozilo A2

U ovom slučaju radi se o 12-paletnom vozilu, za kojeg prema tablici 2. za dnevnu prijeđenu udaljenost od 600 km cijena troška vozila iznosi 4,65 kn/km.

UKUPNA PRIJEĐENA UDALJENOST: 70,4km

UKUPNI TROŠKOVI: 66,12*4,65 = 307,46 kn

4) Ruta 4, putovanje 1, vozilo C1

U ovom slučaju radi se o 18-paletnom vozilu, za kojeg prema tablici 3. za dnevnu prijeđenu udaljenost od 600 km cijena troška vozila iznosi 5,35 kn/km.

UKUPNA PRIJEĐENA UDALJENOST: 281,42 km

UKUPNI TROŠKOVI: 281,42*5,35 = 1505,60 kn

5) Ruta 5, putovanje 1, vozilo B2

U ovom slučaju radi se o 14-paletnom vozilu, za kojeg prema tablici 2. za dnevnu prijeđenu udaljenost od 600 km cijena troška vozila također iznosi 4,65 kn/km.

UKUPNA PRIJEĐENA UDALJENOST: 169,12 km

UKUPNI TROŠKOVI: 169,12*4,65 = 786,41 kn

6) Ruta 6, putovanje 1, vozilo B3

U ovom slučaju radi se o 14-paletnom vozilu, za kojeg prema tablici 2. za dnevnu prijeđenu udaljenost od 600 km cijena troška vozila također iznosi 4,65 kn/km.

UKUPNA PRIJEĐENA UDALJENOST: 79,90 km

UKUPNI TROŠKOVI: 79,90*4,65= 371,54 kn

7) Ruta 7, putovanje 1, vozilo B4

U ovom slučaju radi se o 14-paletnom vozilu, za kojeg prema tablici 2. za dnevnu prijeđenu udaljenost od 600 km cijena troška vozila također iznosi 4,65 kn/km.

UKUPNA PRIJEĐENA UDALJENOST: 308,04 km

UKUPNI TROŠKOVI: 308,04*4,65 = 1432,39 kn

8) Ruta 8, putovanje 1, vozilo A1

U ovom slučaju radi se o 12-paletnom vozilu, za kojeg prema tablici 2. za dnevnu prijeđenu udaljenost od 600 km cijena troška vozila također iznosi 4,65 kn/km.

UKUPNA PRIJEĐENA UDALJENOST: 227,41 km

UKUPNI TROŠKOVI: 227,41*4,65 = 1057,46 kn

9) Ruta 9, putovanje 1, vozilo A2

U ovom slučaju radi se o 12-paletnom vozilu, za kojeg prema tablici 2. za dnevnu prijeđenu udaljenost od 600 km cijena troška vozila također iznosi 4,65 kn/km.

UKUPNA PRIJEĐENA UDALJENOST: 268,77 km

UKUPNI TROŠKOVI: 268,77*4,65 = 1249,78 kn

Ukupni troškovi transporta 9 prikazanih ruta na dan 02.02.2018
= Suma ukupnih troškova po rutama = **8434,40 kn**

Prosječni troškovi transporta po ruti

= Suma ukupnih troškova po rutama / broj ruta = 8434,40 / 10 = **843,44 kn**

Prikazane rute su rute sekundarne distribucije robe na području grada Zagreba i okolice do 250 kilometara. Prema informacijama dobivenih iz poduzeća, za to područje poduzeće dnevno na raspolaganju ima 60 vozila od kojih se u prvoj smjeni iskorištava 100% vozila, u drugoj smjeni 80%, a u noćnoj smjeni 30%. Stoga, ako se uzme u obzir da jedno vozilo odvozi jednu rutu, ukupan broj ruta dnevno za sekundarnu distribuciju robe na područje grada Zagreba i okolice dobiva se umnoškom ukupnog broja raspoloživih vozila sa koeficijentom 2,1. Time se dobiva broj od 126 ruta na dan.

Iz toga se mogu izračunati prosječni ukupni dnevni i godišnji troškovi sekundarne distribucije na području Grada Zagreba i okolice:

Ukupni dnevni troškovi transporta na području Zagreba i okolice:

= Umnožak ukupnog broja ruta dnevno i prosječnih troškova po ruti = 126*843,44 kn =

= 106 273,44 kn

Ukupni godišnji troškovi transporta na području Zagreba i okolice:

= Umnožak ukupnih dnevnih troškova i broj radnih dana u godini = 106 273,44 kn*250 =

= **26 568 360 kn**

7. OPTIMIZACIJA POSTOJEĆIH RUTA

Rute kod kojih postoji preklapanje najprije će se pokušati riješiti kao CVRP problem uz pomoć *Sweep* algoritma, a zatim će se novo dobivene rute rješavati kao TSP problem uz pomoć *Clarke and Wright* algoritma. To su rute: 1 i 3a, 6 i 7 te 4,8 i 9. Sve ostale rute kod kojih ne postoji preklapanje će se gledati samostalno kao TSP problem te izravno rješavati također uz pomoć *Clarke and Wright* algoritma. Razlog zbog kojeg će se kao CVRP problem rješavati samo one rute koje se preklapaju, a ne sve rute zajedno, jest prvenstveno zato što bi korištenjem *Sweep* algoritma, zbog načina na koji se provodi, za rute koje se ne preklapaju dobili jednake rezultate odnosno jednaki skup lokacija. Drugi razlog je što se toliki broj lokacija od svih ruta zajedno ne bi mogao prikazati odjednom na karti u korištenoj aplikaciji *Mapquest* budući da ima ograničenje prikaza do 26 lokacija odjednom.

Što se tiče postupka rješavanja TSP problema *Clarke and Wright* algoritmom, za svaku rutu potrebno je pronaći minimalne duljine puteva i minimalno vrijeme potrebno za obilazak svih lokacija. U rutama nema ograničenja što se tiče kapaciteta (vozila su u tom trenutku već raspoređena po rutama s obzirom na ukupni kapacitet), ali postoje ograničenja vremenskog okvira dostave po lokacijama. Na samom početku potrebno je izraditi matrice udaljenosti i matrice ušteda. Matrica udaljenosti je prikaz svih međusobnih udaljenosti lokacija koje se nalaze unutar određene linije. Na temelju tih udaljenosti računa se matrica ušteda koja je potrebna kako bi mogli provesti *Clark and Wright* algoritam.

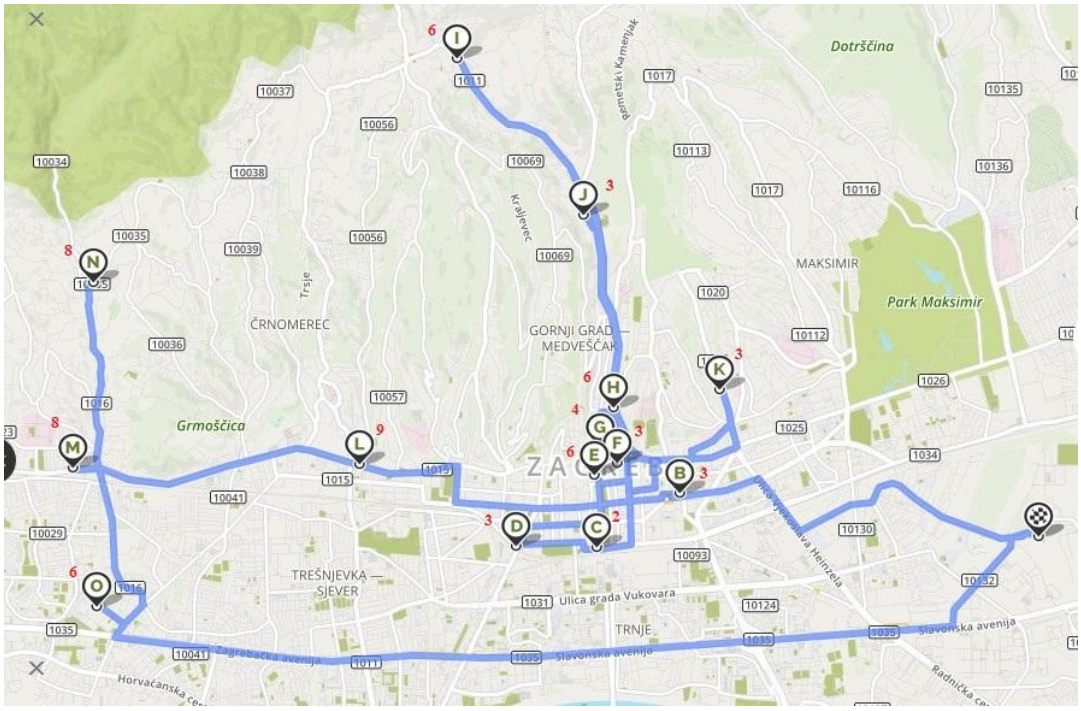
7.1. Rješavanje CVRP problema na preklapajućim rutama uz pomoć *Sweep* algoritma

Budući da postoji preklapanje između ruta 1 i 3a, umjesto izravnog rješavanja TSP problema na već postojećim rutama će se uz pomoć *Sweep* algoritma pokušati dobiti eventualno drugačije rute koje će se tek onda rješavati kao TSP problem uz pomoć *Clarke and Wright* algoritma. Razlog zbog kojeg se izabrao ovaj pristup rješavanju sa kombinacijom dvaju algoritama za odvojeno rješavanje CVRP te TSP problema, a ne pristup izravnog rješavanja oba problema samo *Clarke and Wright* algoritmom (koji daje i bolje rezultate), jest prvenstveno brzina optimizacije. Naime, *Sweep* algoritmom se može se vrlo brzo i jednostavno napraviti grupacija lokacija s obzirom na potraživanja, koje se onda mogu lakše

te brže riješiti *Clarke and Wright* metodom kao TSP problem. Iako bi izravno rješavanje CVRP i TSP problema *Clarke and Wright* metodom najvjerojatnije dalo točnije rezultate, problem tog algoritma jest što se sa porastom broja lokacija i ograničenja znatno povećava vrijeme rješavanja algoritma, a i postaje kompleksnije prikazivati postupak rješavanja.

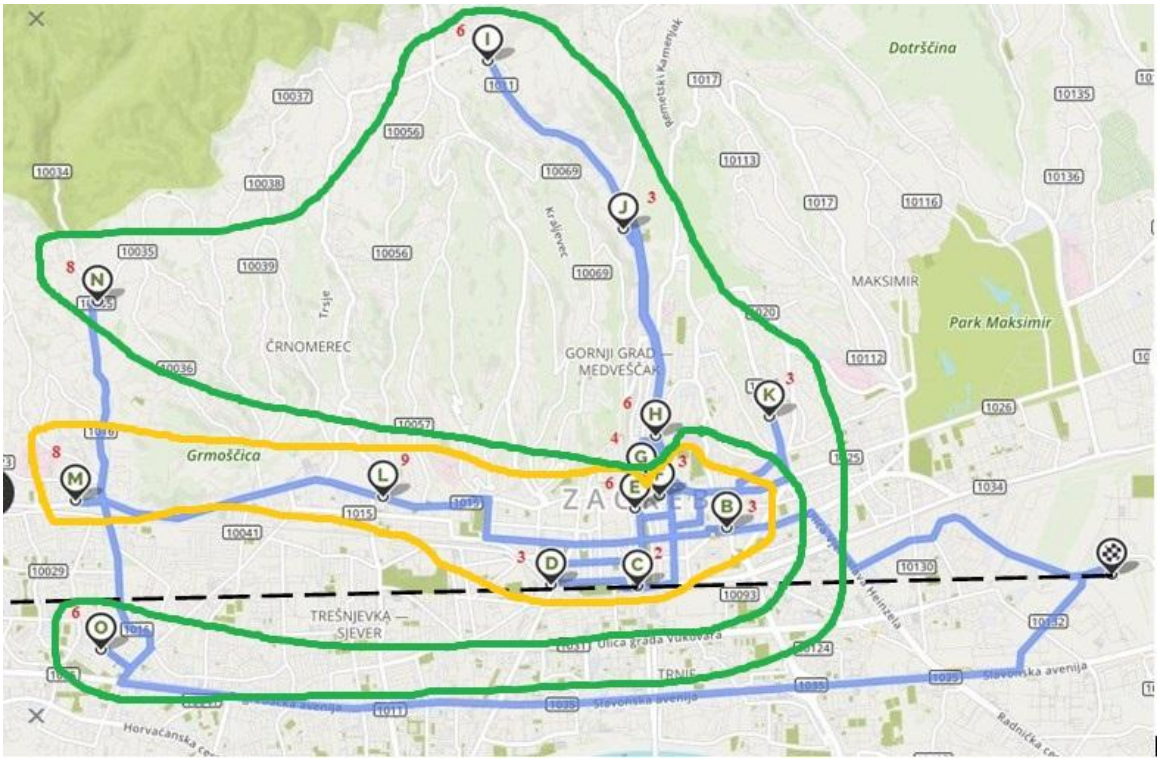
7.1.1. Ruta 1 i 3a

Kako bi se već postojeće rute 1 i 3a pretvorile u CVRP problem, potrebno je uzeti njihove lokacije i prikazati ih sve zajedno na karti, zajedno sa količinom robe koja treba biti isporučena na svakoj od njih (Slika 26).



Slika 26. Lokacije ruta 1 i 3a sa pripadajućim kapacitetima

Zbog ograničenosti pristupa, na raspolaganju su dva 12-paletna vozila (**Q = 36**), koja treba rasporediti po lokacijama. Na slici 27 prikazano je rješenje ovog problema dobiveno *Sweep* algoritmom.



Slika 27. Grupiranje lokacija iz ruta 1 i 3a uz pomoć *Sweep* algoritma

Dobivene su nove rute sa novim lokacijama:

Ruta 1:

Skorušićka ulica; Ulica kralja Zvonimira; Ulica Grgura Ninskog; Savska cesta; Praška; Vlaška ulica; Ilica 6; Ilica 427; Skorušićka ulica

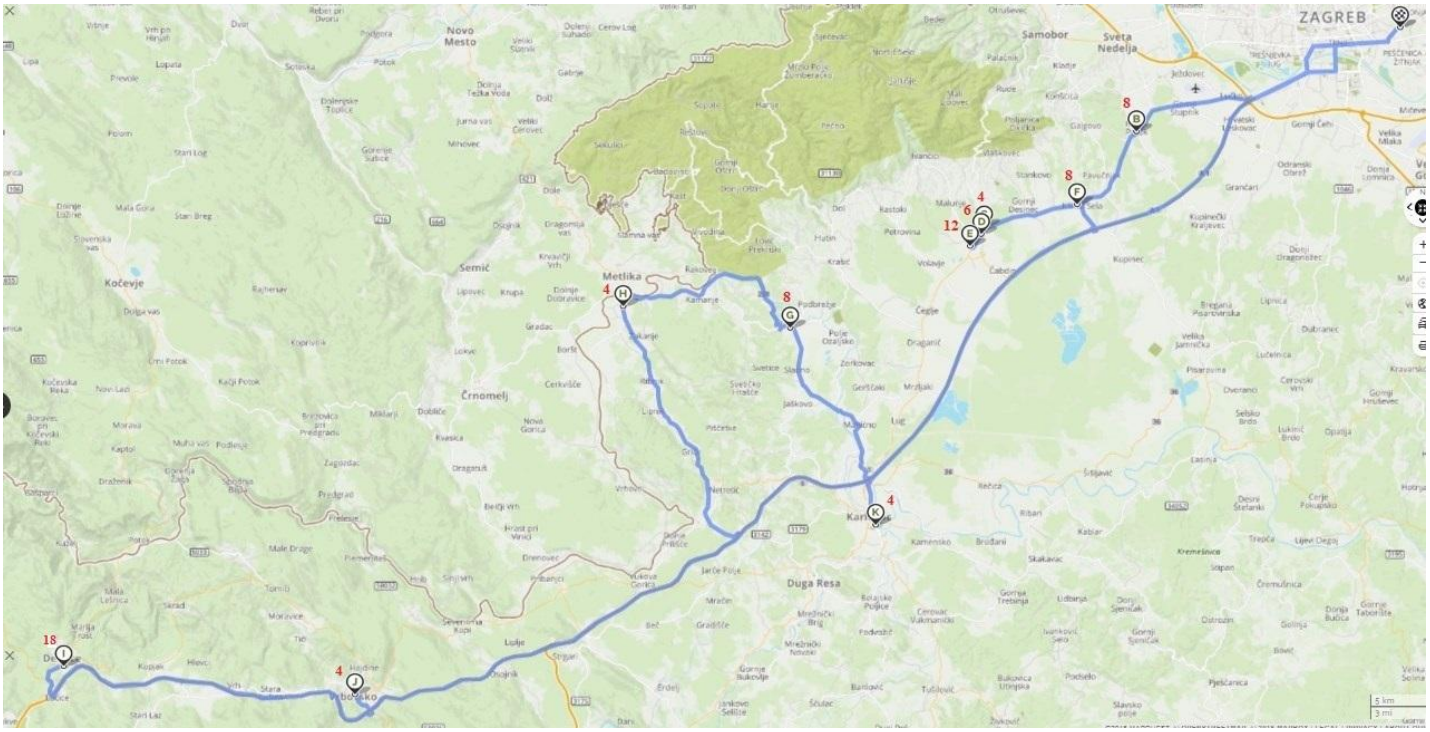
Ruta 3a:

Zagreb (Skorušićka ulica); Kaptol; Ulica Benedikta Vinkovića; Mlinovi; Ulica Matije jandrića; Dugi Dol; Trdice; Ulica Ante Mike Tripala

7.1.2. Ruta 6 i Ruta 7

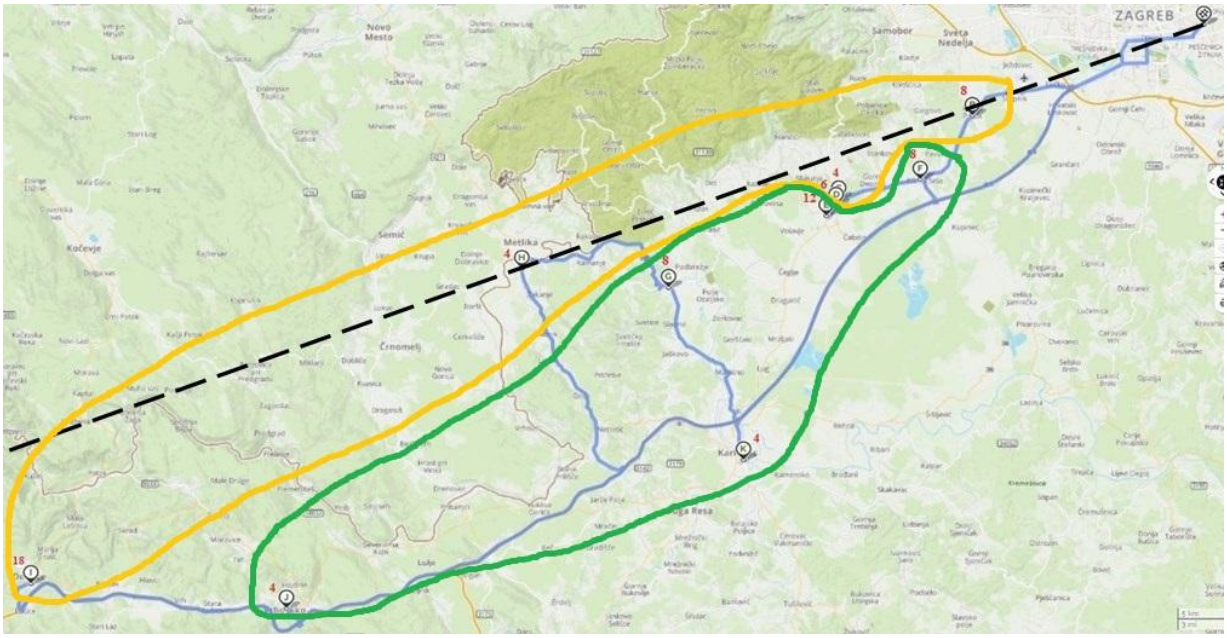
S obzirom da postoji preklapanje i između ruta 6 i 7, umjesto izravnog rješavanja TSP problema na već postojećim rutama, također će se uz pomoć *Sweep* algoritma pokušati dobiti eventualno drugačije rute, koje će se tek onda rješavati kao TSP problem uz pomoć *Clarke and Wright* algoritma.

Kako bi se već postojeće rute 6 i 7 pretvorile u CVRP problem, potrebno je uzeti njihove lokacije i prikazati ih sve zajedno na karti, zajedno sa količinom robe koja treba biti isporučena na svakoj od njih (Slika 38).



Slika 28. Lokacije ruta 6 i 7 sa pripadajućim kapacitetima

Na raspolaganju su dva 14-paletna vozila (**Q = 42**), koja treba rasporediti po lokacijama. Na slici 39 prikazano je rješenje ovog problema dobiveno *Sweep* algoritmom.



Slika 29. Grupiranje lokacija iz ruta 6 i 7 uz pomoć *Sweep* algoritma

Dobivene su nove rute sa novim lokacijama:

Ruta 6:

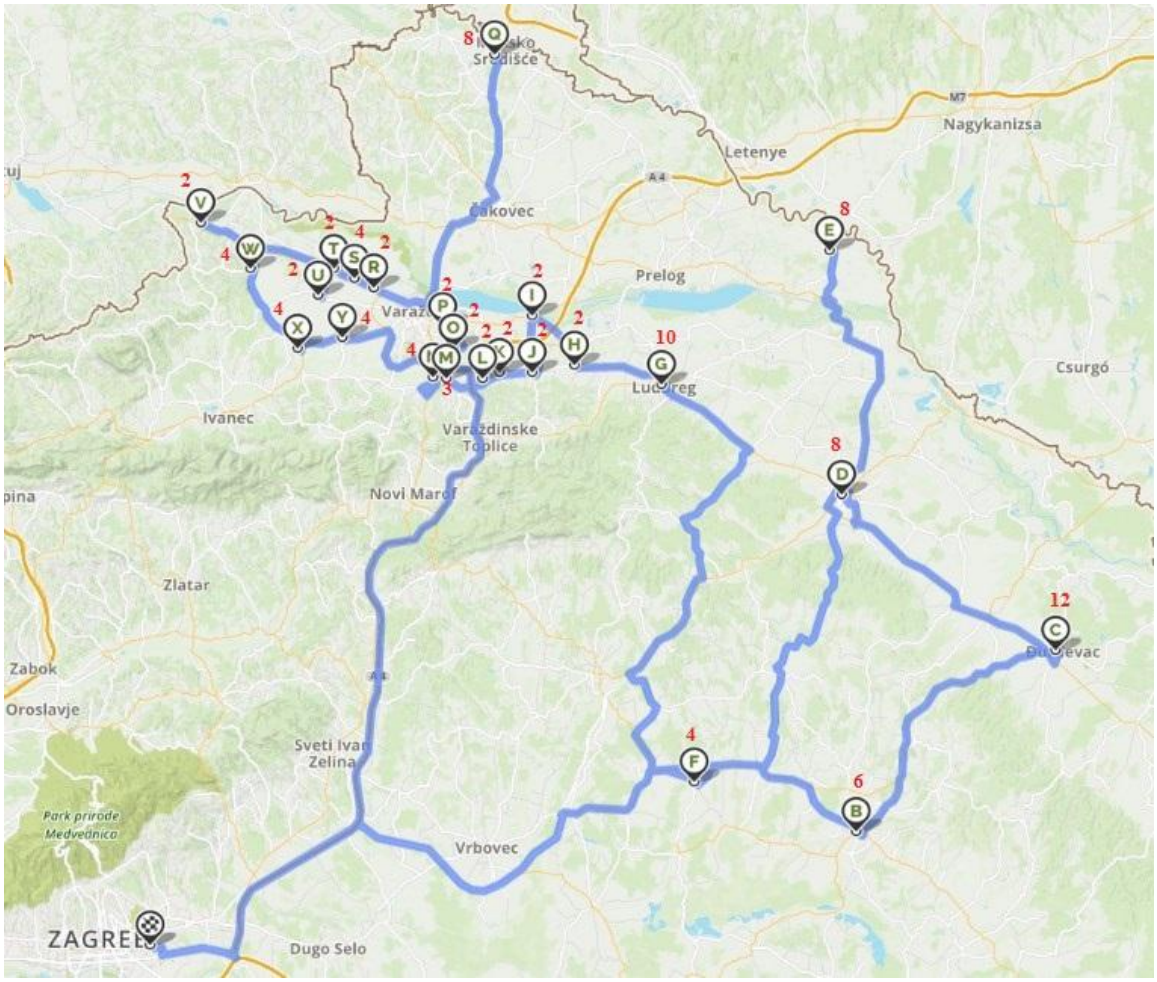
Zagreb (Skorušićka ulica); Rakov Potok; Zdihovo; Jastrebarsko (Trg Ljube Babića); Jurovski brod; Delnice

Ruta 7: Zagreb (Skorušićka ulica); Jastrebarsko (Cvjetno naselje); Klinča Sela; Ozalj; Vrbovsko; Karlovac

7.1.3. Ruta 4, Ruta 8 i Ruta 9

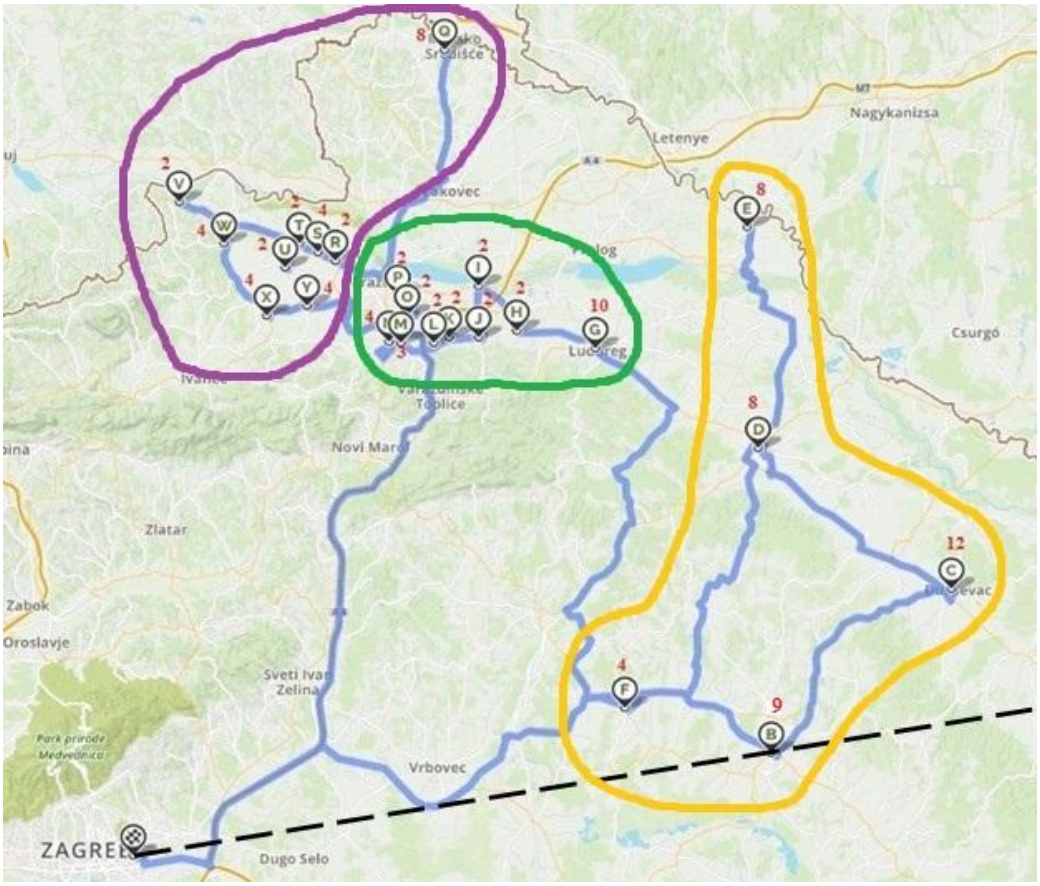
S obzirom na to da postoji preklapanje ruta 4, 8 i 9, umjesto izravnog rješavanja TSP problema na već postojećim rutama, uz pomoć *Sweep* algoritma će se pokušati dobiti eventualno drugačije rute, koje će se tek onda rješavati kao TSP problem uz pomoć *Clarke and Wright* algoritma.

Kako bi se već postojeće rute 4, 8 i 9 pretvorile u CVRP problem, potrebno je uzeti njihove lokacije i prikazati ih sve zajedno na karti, zajedno sa količinom robe koja treba biti isporučena na svakoj od njih (Slika 42).



Slika 30. Lokacije ruta 4, 8 i 9 sa pripadajućim kapacitetima

Na raspolaganju su jedno 18-paletno vozilo (**Q = 54**) te dva 12-paletna vozila (**Q = 36**), koja treba rasporediti po lokacijama. Na slici 43 prikazano je rješenje ovog problema dobiveno *Sweep* algoritmom.



Slika 31. Grupiranje lokacija iz ruta 4, 8 i 9 uz pomoć *Sweep* algoritma

Dobivene su nove rute sa novim lokacijama:

Ruta 4:

Zagreb (Skorušićka ulica); Bjelovar; Đurđevac; Koprivnica; Kotoriba; Cirkvena

Ruta 8:

Zagreb (Skorušićka ulica); Ludbreg; Vrbanovec; Šemovec; Jalžabet; Kelemen; Kaštelanec; Gornji Kneginec; Turčin; Gornji Kućan; Kućan Marof

Ruta 9:

Zagreb (Skorušićka ulica); Mursko Središće; Hrašćica; Sračinec; Petrijanec; Nova Ves Petrijanečka; Brezje Dravsko; Vinica; Greda; Vidovec

Treba napomenuti kako lokacija Ludbreg sa kapacitetom 10 nije dodana u rutu 4 (iako je preostalo mjesta u vozilu) zbog toga što bi u tom slučaju vozilo na zadnjoj ruti imalo postotak popunjenosti od samo 65 posto, dok u ovom slučaju najmanji postotak popunjenost vozila iznosi 76 posto (18-paletno vozilo).

7.2. Rješavanje TSP problema *Clarke and Wright* algoritmom

Nove rute 1, 3a, 4, 6, 7, 8 i 9 dobivene *Sweep* algoritmom će se zajedno sa ostalim postojećim rutama, koje se nisu preklapale, pokušati optimizirati uz pomoć *Clarke and Wright* algoritma.

7.2.1. Ruta 1

U tablicama će se radi lakšeg prikazivanja za lokacije koristiti samo oznake umjesto punog imena:

SU – Skorušićka ulica (Centralno Skladište)

UKZ – Ulica kralja Zvonimira

UGN – Ulica Grgura Ninskog

SC – Savska cesta

P – Praška

VU – Vlaška ulica

I(a) – Ilica 6

I(b) – Ilica 427

Budući da na ovoj ruti ima puno jednosmjernih ulica, udaljenosti između nekih lokacija unutar matrice nisu jednake u oba smjera (npr. Skorušićka ulica – Ulica kralja Zvonimira = 4,64 km, a u obrnutom smjeru ta je udaljenost 5,28 km). Te udaljenosti će biti prikazane na lijevoj strani tablice udaljenosti. Posljedično će isto tako biti napravljene i tablica vremena te tablica ušteda.

Tablica 7. Matrica udaljenosti 1 - Ruta 1

[km]	SU	UKZ	UGN	SC	P	VU	I(a)	I(b)
SU	-	4,64	5,82	6,91	5,92	5,86	8,72	13,30
UKZ	5,28	-	1,50	2,17	1,28	1,17	4,10	7,37
UGN	5,47	1,36	-	1,00	1,15	2,07	3,57	6,86
SC	6,73	2,17	1,32	-	1,56	2,85	3,00	6,29
P	6,25	1,56	1,02	1,46	-	1,62	3,37	6,70
VU	5,92	1,42	1,28	1,95	1,05	-	3,85	7,15
I(a)	8,72	4,10	3,30	3,00	3,53	4,82	-	3,29
I(b)	13,30	7,37	6,52	5,75	6,70	8,04	3,80	-

Tablica 8. Matrica vremena 1 - Ruta 1

[min]	SU	UKZ	UGN	SC	P	VU	I(a)	(Ib)
SU	-	8	8	10	10	10	15	16
UKZ	9	-	2	3	2	2	6	10
UGN	9	2	-	2	2	4	5	9
SC	11	3	2	-	3	5	4	8
P	11	2	2	2	-	3	5	10
VU	9	2	2	3	2	-	5	9
I(a)	15	6	6	4	6	8	-	4
I(b)	16	10	9	8	10	12	5	-

Tablica 9. Vremenska ograničenja - Ruta 1

	Vremenski okvir dostave, [h]	Trajanje istovara na lokaciji, [min]
SU	-	-
UKZ	05:00-07:00	13
UGN	05:00-07:00	9
SC	05:00-07:00	14
P	05:00-07:00	19
VU	05:00-07:00	8
I(a)	05:00-07:00	34
I(b)	07:00-21:00	16

Računanje ušteda ($s_{ij} = c_{0i} + c_{0j} – c_{ij}$) (Tablica 7):

1. 4,64 + 5,82 – 1,50 = 8,96
2. 4,64 + 6,91 – 2,17 = 9,38
3. 4,64 + 5,92 – 1,28 = 9,28
4. 4,64 + 5,86 – 1,17 = 9,33

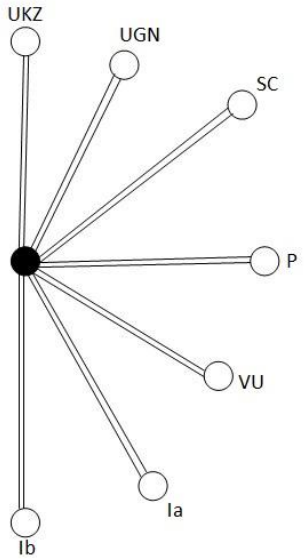
…

Tablica 10. Matrica ušteda 1 - Ruta 1

[km]	SU	UKZ	UGN	SC	P	VU	I(a)	I(b)
SU	-	-	-	-	-	-	-	-
UKZ	-	-	8,96	9,38	9,28	9,33	9,26	10,57
UGN	-	9,39	-	11,73	10,59	9,61	10,97	12,26
SC	-	9,84	10,88	-	11,27	9,92	12,63	13,92
P	-	9,97	10,70	11,52	-	10,16	11,27	12,52
VU	-	9,78	10,11	10,70	11,12	-	10,73	12,01
I(a)	-	9,90	10,89	12,45	11,44	9,82	-	18,73
I(b)	-	11,21	12,25	14,28	13,80	11,18	18,22	-

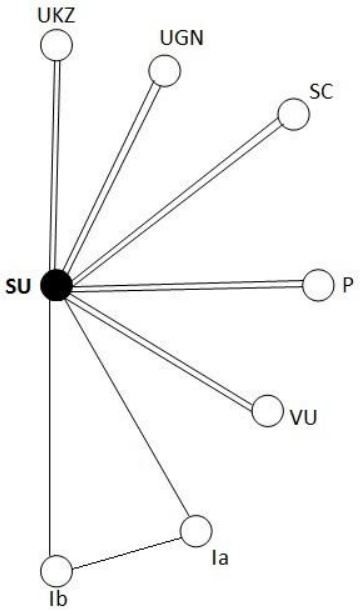
Prije odabira ušteda, uzima se u obzir vremensko ograničenje (Tablica 9). Budući da ruta I(b) ima najduži vremenski okvir, ona mora biti zadnja lokacija koja će se posjetiti. Time nam je ujedno određena i orijentacija rute.

Prvi korak je formiranje (0, i, 0) bridova (slika 28). Nakon toga slijedi pronalazak najvećih ušteda i njihovo dodavanje u rutu (ako je moguće).



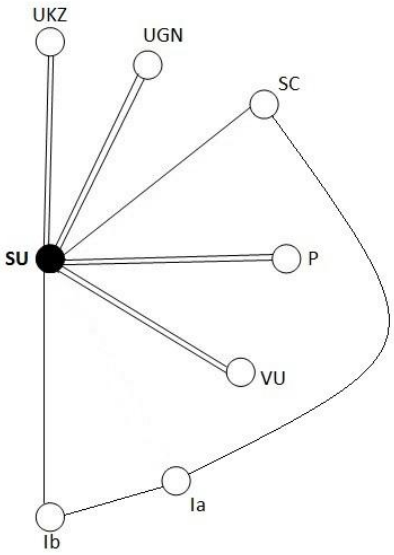
Slika 32. Formiranje (0, i, 0) bridova

Najveća ušteda je I(a)-I(b) = 18,73 km te se ona dodaje u rutu jer se odabirom tog brida također dobiva i odgovarajući smjer rute (Slika 29). Istovremeno se brišu bridovi I(a)-SU i I(b)-SU.



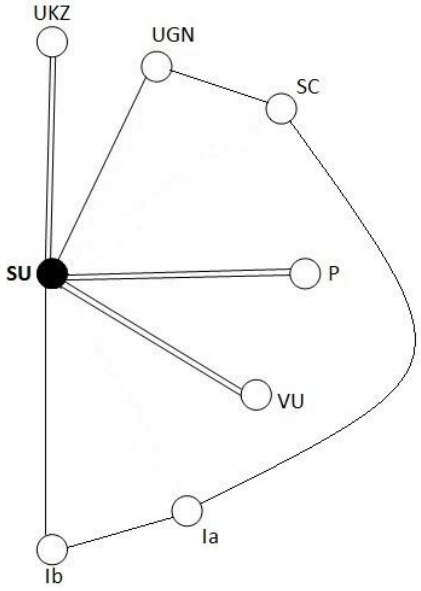
Slika 33. Dodavanje brida I(a)–I(b)

Sljedeća najveća ušteda, a koja se može dodati je SC-Ia = 12,63 km (Slika 30).

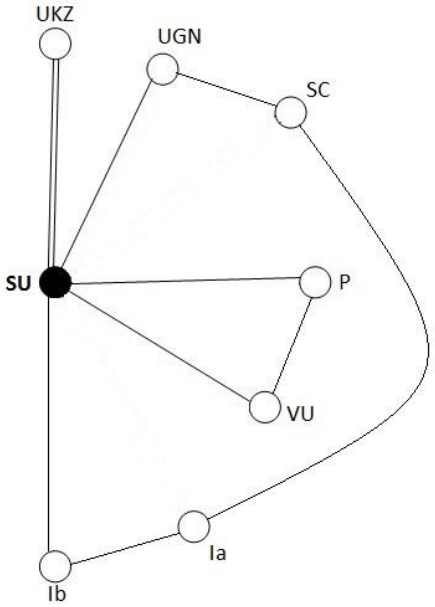


Slika 34. Dodavanje brida SC–I(a)

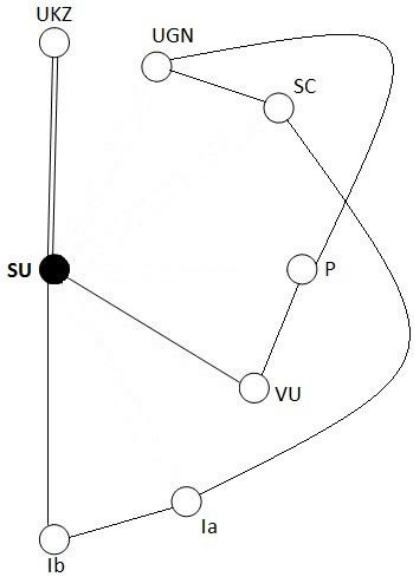
Sljedeće uštede po veličini, a koje se mogu dodati (budući da odgovaraju smjeru rute i za koje postoje slobodne veze) su: UGN-SC = 11,73 km (Slika 31), VU-P = 11,12 km (Slika 32), P-UGN = 10,70 km (Slika 33), te UKZ-VU = 9,33 km kojom se kompletira ruta (Slika 34).



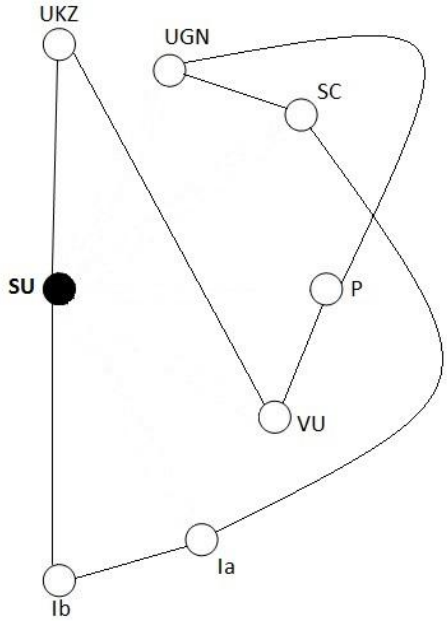
Slika 35. Dodavanje brida UGN-SC



Slika 36. Dodavanje brida VU-P



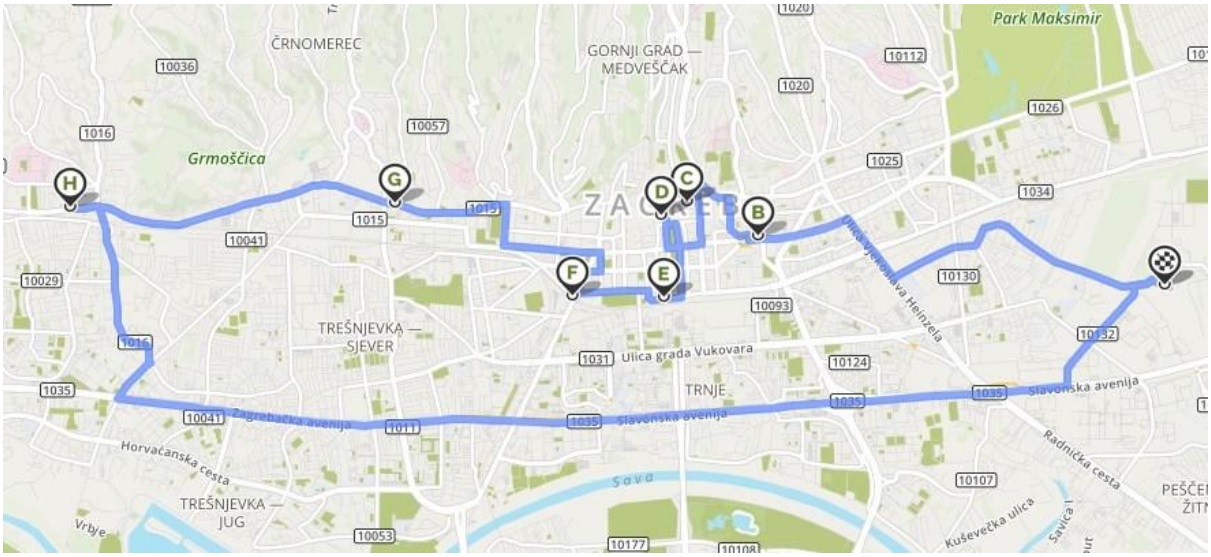
Slika 37. Dodavanje brida P-UGN



Slika 38. Dodavanje brida UKZ -VU

Nova ruta:

Skorušićka ulica – Ulica kralja Zvonimira – Vlaška ulica – Praška – Ulica Grgura Ninskog – Savska cesta – Ilica 6 – Ilica 427 – Skorušićka ulica (Slika 35)



Slika 39. Ruta 1 – Nova

Ukupna duljina:

4,64 + 1,17 + 1,05 + 1,02 + 1,00 + 3,00 + 3,29 + 13,30 = **28,47 km**

Ukupno vrijeme vožnje: 8 + 2 + 2 + 2 + 2 + 3 + 4 + 16 = **39 min**

Stara ruta (Paragon):

Skorušićka ulica – Ulica kralja Zvonimira – Ulica Grgura Ninskog – Savska cesta – Praška – Vlaška ulica – Kaptol – Ulica Benedikta Vinkovića – Mlinovi – Ulica Matije Jandrića – Skorušićka ulica

Ukupna duljina: **29,70 km**

Ukupno vrijeme vožnje: **49 min**

UŠTEDA: 1,39km; 10 min

7.2.2. Ruta 2

U tablicama će se radi lakšeg prikazivanja za lokacije koristiti samo oznake umjesto punog imena:

Z (SU) – Zagreb (Skorušićka ulica)

P – Popovača

SPS – Staro Petrovo selo

NK – Nova Kapela

L – Lužani

R – Radovanje

K – Kutina

Tablica 11. Matrica udaljenosti - Ruta 2

[km]	Z (SU)	P	SPS	NK	L	R	K
Z (SU)	-	59,05	147,76	161,74	160,25	164,43	77,05
P		-	89,92	109,10	107,61	111,90	17,27
SPS			-	11,09	16,45	20,63	77,70
NK				-	5,36	9,54	91,67
L					-	4,18	90,18
R						-	94,37
K							-

Tablica 12. Matrica vremena - Ruta 2

[min]	Z (SU)	P	SPS	NK	L	R	K
Z (SU)	-	38	83	85	84	88	46
P		-	95	55	53	58	21
SPS			-	10	15	20	45
NK				-	5	9	47
L					-	4	46
R						-	50
K							-

Tablica 13. Vremenska ograničenja - Ruta 2

	Vremenski okvir dostave, [h]	Trajanje istovara na lokaciji, [min]
Z (SU)	-	-
P	06:00-10:00	13
SPS	07:00-12:00	9
NK	07:00-12:00	10
L	07:00-12:00	9
R	07:00-12:00	42
K	07:00-21:00	8

Računanje ušteda ($s_{ij} = c_{0i} + c_{0j} – c_{ij}$) (Tablica 13):

1. 59,05 + 147,76 – 89,92 = 116,89
2. 59,05 + 161,74 – 109,10 = 111,69
3. 59,05 + 160,25 – 107,61 = 111,69
4. 59,05 + 164,43 – 111,90 = 111,58
5. 59,05 + 77,05 – 17,27 = 118,83
6. 147,76 + 161,74 – 11,09 = 298,41
7. 147,76 + 160,25 – 16,45 = 291,56
8. 147,76 + 164,43 – 20,63 = 291,56
9. 147,76 + 77,05 – 77,70 = 147,11
10. 161,74 + 160,25 – 5,36 = 316,63
11. 161,74 + 164,43 – 9,54 = 316,63
12. 161,74 + 77,05 – 91,67 = 147,12
13. 160,25 + 164,43 – 4,18 = 320,50
14. 160,25 + 77,05 – 90,18 = 147,12
15. 164,43 + 77,05 – 94,37 = 147,11

Tablica 14. Matrica ušteda - Ruta 2

[km]	Z (SU)	P	SPS	NK	L	R	K
Z (SU)	-	-	-	-	-	-	-
P		-	116,89	111,69	111,69	111,58	118,83
SPS			-	298,41	291,56	291,56	147,11
NK				-	316,63	316,63	147,12
L					-	320,50	147,12
R						-	147,11
K							-

Poredak ušteda (Tablica 15):

1. L-R = 320,50 km
2. NK-L = 316,63 km
3. NK-R = 316,63 km
4. SPS-NK = 298,41 km
5. SPS-L = 291,56 km
6. SPS-R = 291,56 km
7. L-K = 147,12 km
8. NK-K = 147,12 km
9. R-K = 147,11 km
10. SPS-K = 147,11 km
11. P-K = 118,83 km
12. P-SPS = 116,89 km
13. P-NK = 111,69 km
14. P-L = 111,69 km
15. P-R = 111,58 km

Prije odabira ušteda i ovdje se mora uzeti u obzir vremensko ograničenje. Prema njemu, ne smije se mijenjati smjer rute od poduzeća, odnosno prva lokacija koja se mora posjetiti je Popovača (P). Za ostale lokacije nije bitno kada će se koja posjetiti s obzirom na to da ukupno trajanje putovanja, zajedno sa vremenima istovara iznosi oko 3 sata, a najkraći vremenski okvir iznosi 5 sati.

Najveća ušteda je L-R = 320,50 km te se dodaje u rutu, a pritom se brišu bridovi L-SU i SU-R. Iduća ušteda po veličini je NK-L = 316,63 km te se i ona dodaje u rutu. Zatim slijedi NK-R = 316,63 km, ali ona se ne dodaje jer bi se time dobio zatvoreni ciklus. Iduća ušteda jest SPS-NK = 298,41 km te se dodaje u rutu. Iduće uštede po veličini, a koje se mogu dodati su: R-K = 147,11 km te P-K = 118,83 km, čijim se dodavanjem kompletira ruta.

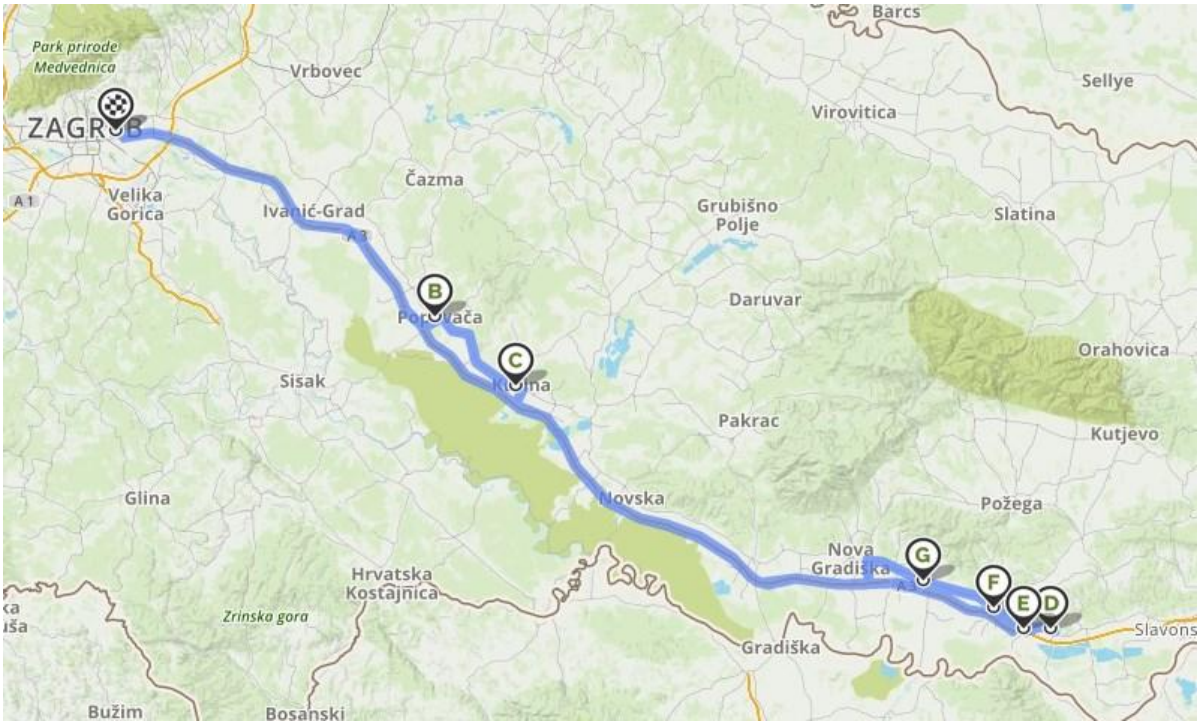
Nova ruta:

Zagreb (Skorušićka ulica) – Popovača – Kutina – Radovanje – Lužani – Nova Kapela – Staro Petrovo Selo – Zagreb (Skorušićka ulica) (Slika 37).

Ukupna duljina:

59,05 + 17,27 + 94,37 + 4,18 + 5,36 + 11,09 + 147,76 = **339 km**

Ukupno vrijeme vožnje: 38 + 21 + 50 + 4 + 5 + 10 + 83 = **211 min (3h 31min)**



Slika 40. Ruta 2 - Nova

Stara ruta (Paragon):

Zagreb (Skorušićka ulica) – Popovača – Staro Petrovo Selo – Nova Kapela – Lužani – Radovanje – Kutina – Zagreb (Skorušićka ulica)

Ukupna duljina: **341 km**

Ukupno vrijeme vožnje: **248 min (4h 8min)**

UŠTEDA: 2 km; 37 min

7.2.3. Ruta 3a

U tablicama će se radi lakšeg prikazivanja za lokacije koristiti samo oznake umjesto punog imena:

SU – Skorušićka ulica (Centralno Skladište)

K – Kaptol

UBV – Ulica Benedikta Vinkovića

M – Mlinovi

UMJ – Ulica Matije Jandrića

DD – Dugi dol

T - Trdice

UAMT – Ulica Ante Mike Tripala

Budući da i na ovoj ruti ima puno jednosmjernih ulica, udaljenosti između nekih lokacija unutar matrice nisu jednake u oba smjera. Te udaljenosti također će biti prikazane na lijevoj strani tablice udaljenosti. Posljedično će isto tako biti napravljene i tablica vremena te tablica ušteda.

Tablica 15. Matrica udaljenosti - Ruta 3a

[km]	SU	K	UBV	M	UMJ	DD	T	UAMT
SU	-	6,76	6,12	10,71	8,37	4,84	14,75	11,39
K	7,07	-	1,90	5,07	2,73	2,89	10,22	8,77
UBV	6,76	0,68	-	4,63	2,29	2,67	9,89	8,43
M	11,11	5,21	5,47	-	2,71	6,49	6,56	9,29
UMJ	8,76	2,86	3,13	2,75	-	4,14	9,31	10,46
DD	4,89	2,84	2,20	6,80	4,45	-	11,02	9,56
T	13,86	10,87	10,23	6,75	9,46	10,90	-	4,16
UAMT	11,31	9,13	8,50	9,39	10,74	9,16	4,16	-

Tablica 16. Matrica vremena - Ruta 3a

[min]	SU	K	UBV	M	UMJ	DD	T	UAMT
SU	-	12	10	16	13	8	18	14
K	12	-	3	6	4	4	14	13
UBV	12	1	-	5	3	4	14	13
M	16	7	9	-	3	10	13	14
UMJ	13	4	6	4	-	7	17	15
DD	8	4	3	8	7	-	15	14
T	21	16	15	13	16	16	-	6
UAMT	14	16	15	16	18	15	6	-

Tablica 17. Vremenska ograničenja - Ruta 3a

	Vremenski okvir dostave, [h]	Trajanje istovara na lokaciji, [min]
SU	-	-
K	05:00-07:00	10
UBV	05:00-07:00	20
M	06:00-09:00	13
UMJ	07:00-20:00	14
DD	05:00-07:00	13
T	07:00-20:00	24
UAMT	07:00-21:00	11

Tablica 18. Matrica ušteda - Ruta 3a

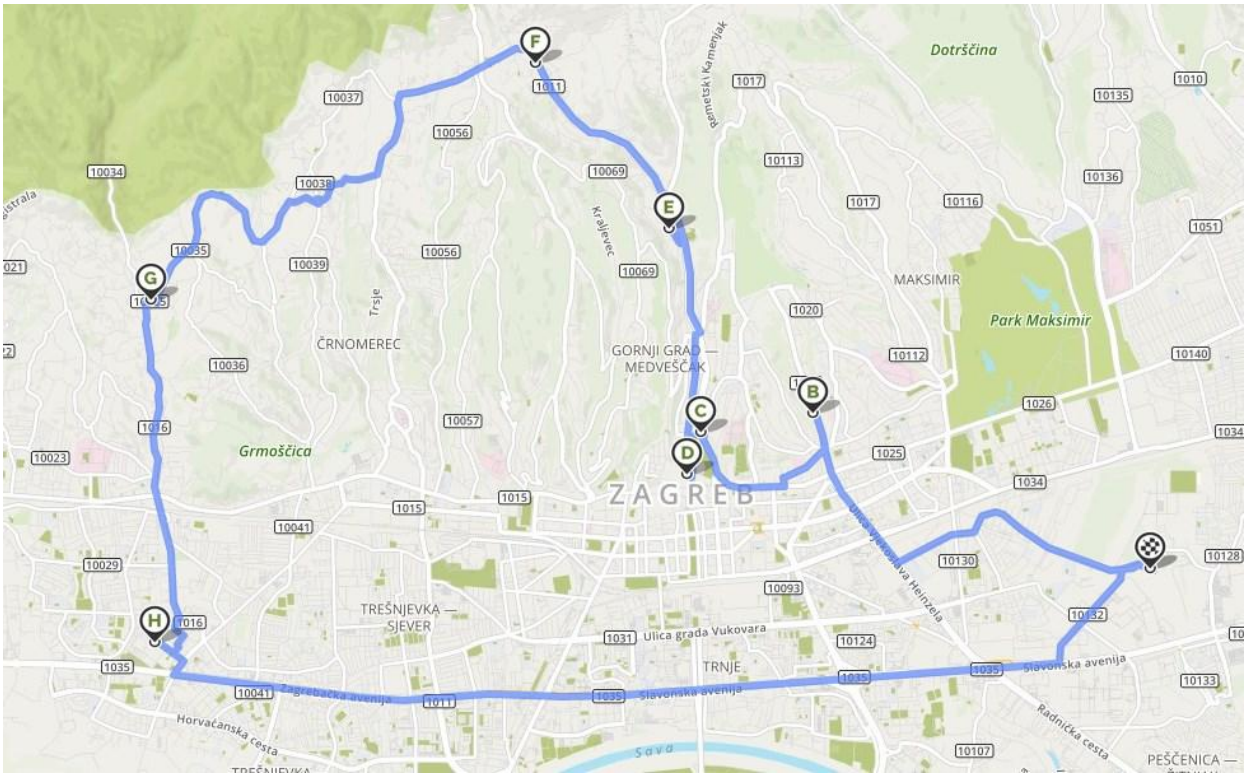
[km]	SU	K	UBV	M	UMJ	DD	T	UAMT
SU	-	-	-	-	-	-	-	-
K	-	-	10,98	11,79	12,40	8,71	11,29	9,38
UBV	-	13,15	-	12,20	12,20	8,29	10,98	9,08
M	-	12,97	12,40	-	16,37	9,06	18,90	12,81
UMJ	-	12,97	12,39	17,12	-	9,07	13,81	9,30
DD	-	9,12	9,45	9,20	9,20	-	8,57	6,67
T	-	10,06	10,39	18,22	13,16	7,85	-	21,98
UAMT	-	9,25	9,57	13,03	9,33	7,04	21,01	-

Prije odabira ušteda, uzima se u obzir vremensko ograničenje (Tablica 13). S obzirom na to, lokacije K,UBV i DD moraju biti među prvim lokacijama koje se posjećuju. To stoga određuje orijentaciju rute.

Najveća ušteda je T-UAMT = 21,98 km te se ona dodaje u rutu jer se odabirom tog brida također dobiva i odgovarajući smjer rute. Iduća ušteda po veličini je M-T = 18,90 km te se također dodaje u rutu. Zatim slijedi ušteda UMJ-M = 17,12 km koja se isto tako dodaje jer odgovara smjeru rute. Iduće uštede redom po veličini, a koje se mogu dodati u rutu su: UBV-K = 13,15 km, K-UMJ = 12,40 km te DD-UBV = 9,45 km, čime se kompletira ruta.

Nova ruta:

Skorušićka ulica – Dugi Dol – Ulica Benedikta Vinkovića – Kaptol – Ulica Matije Jandrića – Mlinovi – Trdica – Ulica Ante Mike Tripala – Skorušićka ulica (Slika 36)



Slika 41. Ruta 3a - Nova

Ukupna duljina: 4,84 + 2,20 + 0,68 + 2,73 + 2,75 + 6,56 + 4,16 + 11,39 = **35,31 km**

Ukupno vrijeme vožnje: 8 + 3 + 1 + 4 + 4 + 13 + 6 + 14 = **53 min**

Stara ruta (Paragon):

Skorušićka ulica – Dugi dol – Ilica 6 – Ilica 427 – Trdice – Ulica Ante Mike Tripala – Skorušićka ulica

Ukupna duljina: **31,84 km**

Ukupno vrijeme vožnje: **44 min**

UŠTEDA: - 3,47 km; - 9 min

7.2.4. Ruta 3b

U tablicama će se radi lakšeg prikazivanja za lokacije koristiti samo oznake umjesto punog imena:

SU – Skorušićka ulica (Centralno Skladište)

K – Kozjak

R - Remete

MC – Miroševečka cesta

P - Površnica

TSMČ – Trg svete Marije Čučerske

ŠU – Šunekova ulica

UVV – Ulica Vile Velebita

AD – Avenija Dubrava

Tablica 19. Matrica udaljenosti 1 - Ruta 3b

[km]	SU	K	R	MC	P	TSMČ	ŠU	UVV	AD
SU	-	5,79	7,33	10,72	12,59	11,80	6,96	6,08	4,33
K	5,79	-	2,76	9,50	11,22	13,34	8,44	7,26	5,59
R	7,33	2,76	-	6,74	8,45	12,25	9,09	8,48	7,16
MC	10,72	9,82	7,05	-	2,08	5,47	5,00	5,85	6,74
P	12,59	11,53	8,76	2,08	-	3,96	6,57	7,73	8,62
TSMČ	11,80	13,24	12,48	5,47	4,71	-	4,84	6,95	7,83
ŠU	6,96	8,44	9,09	5,48	6,93	4,84	-	2,11	3,00
UVV	6,08	7,26	8,48	5,85	7,73	6,95	2,11	-	1,67
AD	4,33	5,59	7,16	6,74	8,62	7,83	3,00	1,67	-

Tablica 20. Matrica vremena 1 - Ruta 3b

[min]	SU	K	R	MC	P	TSMČ	ŠU	UVV	AD
SU	-	10	12	16	19	20	13	11	9
K	10	-	4	14	17	19	12	11	8
R	12	4	-	9	12	18	12	12	9
MC	16	15	10	-	3	9	6	7	7
P	19	18	13	3	-	8	9	10	10
TSMČ	20	18	19	9	9	-	7	11	11
ŠU	13	12	12	7	10	7	-	3	4
UVV	11	11	12	7	10	11	3	-	3
AD	9	8	9	7	10	11	4	3	-

Tablica 21. Vremenska ograničenja - Ruta 3b

	Vremenski okvir dostave, [h]	Trajanje istovara na lokaciji, [min]
SU	-	-
K	06:00-10:00	22
R	07:00-20:00	9
MC	07:00-20:00	14
P	07:00-20:00	8
TSMČ	07:00-20:00	13
ŠU	07:00-20:00	8
UVV	07:00-20:00	10
AD	07:00-21:00	13

Tablica 22. Matrica ušteda 1 - Ruta 3b

[km]	SU	K	R	MC	P	TSMČ	ŠU	UVV	AD
SU	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K	-	-	10,36	7,01	7,16	4,25	4,31	4,61	4,53
R	-	10,36	-	11,31	11,47	6,88	5,20	4,93	4,50
MC	-	6,69	11,00	-	21,23	17,05	12,68	10,95	8,31
P	-	6,85	11,16	21,23	-	20,43	12,98	10,94	8,30
TSMČ	-	4,35	6,65	17,05	19,68	-	13,92	10,93	8,30
ŠU	-	4,31	5,20	12,68	12,62	13,92	-	10,93	8,29
UVV	-	4,61	4,93	10,95	10,94	10,93	10,93	-	8,74
AD	-	4,53	4,50	8,31	8,30	8,30	8,29	8,74	-

Prije odabira ušteda, uzima se u obzir vremensko ograničenje. Prema njemu se ne smije mijenjati smjer rute od poduzeća, odnosno prva lokacija koja se mora posjetiti je Kozjak (K).

Najveća ušteda jest MC-P i ona se odabire jer odgovara potrebnom smjeru rute. Sljedeća najveća ušteda je P-TSMČ i također se dodaje jer odgovara smjeru rute. Iduća najveća ušteda je MC-TSMČ, no ona se ne dodaje jer bi time se stvorio zatvoreni ciklus. Sljedeća najveća ušteda je TSMČ-ŠU i također se dodaje. Iduće rute redom po veličini,a koje se mogu dodati u rutu su: R-MC, ŠU-UVV, K-R te UVV-AD, kojom se kompletira ruta

Dobivena ruta jednaka je staroj ruti, što znači da je ona bila već optimizirana te se stoga ne mogu postići nikakve veće uštede.

Nova ruta = Stara ruta:

Skorušička ulica – Kozjak – Remete – Miroševečka cesta – Površnica – Trg svete Marije Čučerske – Šunekova ulica – Ulica Vile Velebita – Avenija Dubrava – Skorušička ulica

Ukupna duljina: **34,28 km**

Ukupno vrijeme vožnje: **56 min**

7.2.5. Ruta 4

U tablicama će se radi lakšeg prikazivanja za lokacije koristiti samo oznake umjesto punog imena:

Z (SU) – Zagreb (Skorušićka ulica)

B – Bjelovar

Đ – Đurđevac

KC – Koprivnica

KO – Kotoriba

C – Cirkvena

Tablica 23. Matrica udaljenosti - Ruta 4

[km]	Z (SU)	B	Đ	KC	KO	C
Z (SU)	-	80,83	105,94	91,11	115,65	63,48
B		-	29,95	45,73	71,32	18,27
Đ			-	27,64	53,24	43,26
KC				-	27,35	38,80
KO					-	63,90
C						-

Tablica 24. Matrica vremena - Ruta 4

[min]	Z (SU)	B	Đ	KC	KO	C
Z (SU)	-	62	80	73	75	45
B		-	25	41	63	17
Đ			-	24	47	36
KC				-	25	40
KO					-	61
C						-

Tablica 25. Vremenska ograničenja - Ruta 4

	Vremenski okvir dostave, [h]	Trajanje istovara na lokaciji, [min]
Z (SU)	-	-
B	07:00-21:00	7
Đ	07:00-21:00	16
KC	07:00-21:00	13
KO	07:00-20:00	11
C	07:00-20:00	10

Tablica 26. Matrica ušteda - Ruta 4

[km]	Z (SU)	B	Đ	KC	KO	C
Z (SU)	-	-	-	-	-	-
B		-	156,82	126,21	125,16	126,04
Đ			-	169,41	168,35	126,16
KC				-	179,41	115,79
KO					-	115,23
C						-

Poredak ušteda (Tablica 39):

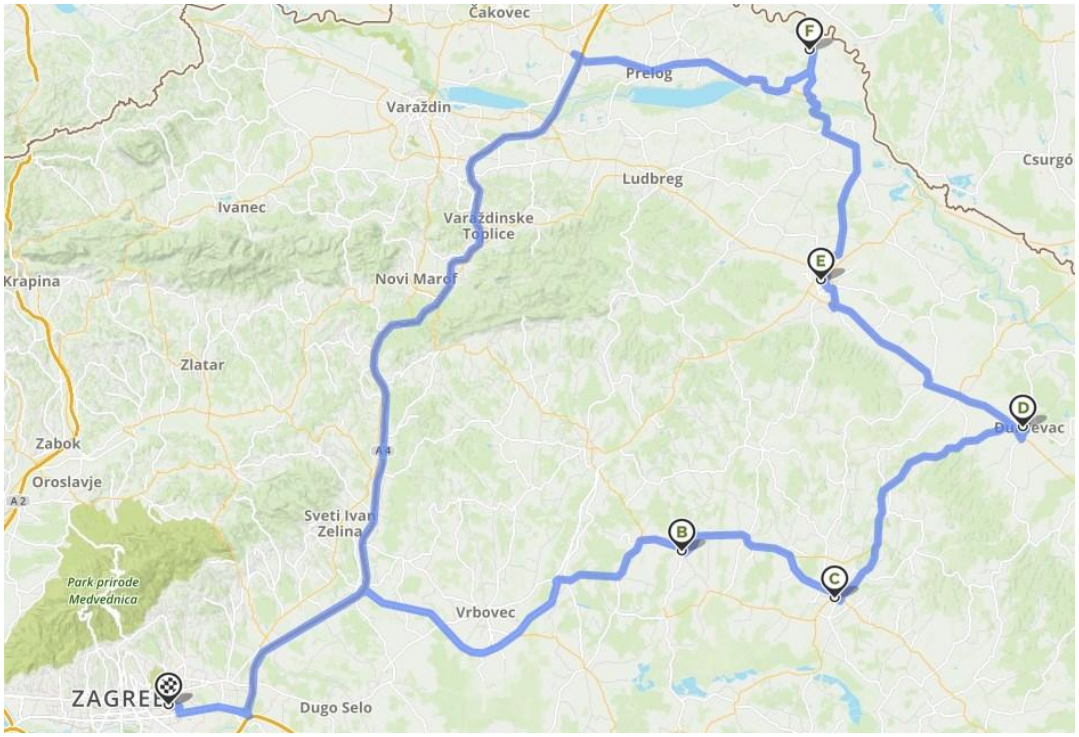
1. KC-KO = 179,41 km
2. Đ-KC = 169,41 km
3. Đ-KO = 168,35 km
4. B-Đ = 156,82 km
5. B-KC = 126,21 km
6. Đ-C = 126,16 km
7. B-C = 126,04 km
8. B-KO = 125,16 km
9. KC-C = 115,79 km
10. KO-C = 115,23 km

Budući da zbroj svih vremena putovanja u jednom smjeru zajedno sa svim vremenima istovara iznosi manje od 13 sati (koliko iznosi najkraći vremenski okvir), pod uvjetom da vozilo dođe na prvu lokaciju u 7:00 sati, moći će se obići sve lokacije bez obzira na orijentaciju rute. Stoga nije potrebno paziti na orijentaciju rute.

Najveća ušteda je KC-KO i ona se prva dodaje u rutu. Iduća ušteda po veličini je Đ-KC te se i ona dodaje u rutu. Zatim slijedi ušteda Đ-KO, no ona se ne dodaje u rutu jer bi se time stvorio zatvoreni ciklus. Zatim slijedi ušteda B-Đ koja se može dodati u rutu budući da ima slobodnih bridova na obje lokacije. Iduće uštede po veličini su B-KC te Đ-C koje se ne mogu dodati u rutu jer nema više slobodnih bridova na lokaciji KC i Đ. Umjesto toga dodaje se iduća ušteda po veličini, a to je B-C, kojom se ujedno i kompletira ruta.

Nova ruta (Slika 44)**:**

Zagreb (Skorušićka ulica) – Cirkvena – Bjelovar – Đurđevac – Koprivnica – Kotoriba – Zagreb (Skorušićka ulica)



Slika 42. Ruta 4 - Nova

Ukupna duljina:

63,48 + 18,27 + 29,95 + 27,64 + 27,35 + 115,65 = **282,34 km**

Ukupno vrijeme vožnje (bez istovara): 45 + 17 + 25 + 24 + 25 + 75 = **211 min (3h 31min)**

Stara ruta:

Zagreb (Skorušićka ulica) – Bjelovar – Đurđevac – Koprivnica – Kotoriba – Zagreb (Skorušićka ulica)

Ukupna duljina: **281,42 km**

Ukupno vrijeme vožnje (bez istovara): **211 min (3h 31min)**

UŠTEDA: -0,92 km

7.2.6. Ruta 5

U tablicama će se radi lakšeg prikazivanja za lokacije koristiti samo oznake umjesto punog imena:

Z (SU) – Zagreb (Skorušićka ulica)

D(a) – Doliće (a)

D(b) – Doliće (b)

P – Pregrada

T - Turnišće

K – Klanjec

VT – Veliko Trgovišće

DB – Donja Bistra

ZP - Zaprešić

Tablica 27. Matrica udaljenosti - Ruta 5

[km]	Z (SU)	D(a)	D(b)	P	T	K	VT	DB	ZP
SU	-	63,20	63,61	65,39	68,89	60,00	46,18	35,90	24,00
D(a)		-	0,41	15,75	24,02	24,36	22,62	42,09	45,47
D(b)			-	15,22	24,43	24,77	22,90	42,48	45,88
P				-	9,17	19,05	23,47	36,63	40,32
T					-	14,24	25,55	38,69	39,17
K						-	18,21	25,40	27,75
VT							-	13,16	18,67
DB								-	11,51
ZP									-

Tablica 28. Matrica vremena - Ruta 5

[min]	Z (SU)	D(a)	D(b)	P	T	K	VT	DB	ZP
SU	-	45	46	53	58	49	36	33	31
D(a)		-	1	16	26	38	26	31	30
D(b)			-	21	27	40	27	32	31
P				-	11	26	21	35	40
T					-	16	27	41	46
K						-	17	35	31
VT							-	14	17
DB								-	13
ZP									-

Tablica 29. Matrica ušteda - Ruta 5

[km]	Z (SU)	D(a)	D(b)	P	T	K	VT	DB	ZP
SU	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D(a)		-	126,40	112,84	108,07	98,84	86,76	57,01	41,73
D(b)			-	113,78	108,07	98,84	86,89	57,03	41,73
P				-	125,11	106,34	88,10	64,66	49,07
T					-	114,65	89,52	66,10	53,72
K						-	87,97	70,50	56,25
VT							-	68,92	51,51
DB								-	48,39
ZP									-

Poredak ušteda (Tablica 33):

1. D(a)-D(b) = 126,40 km
2. P-T = 125,11 km
3. T-K = 114,65 km
4. D(b)-P = 113,78 km
5. D(a)-P = 112,84 km
6. D(a)-T = D(b)-T = 108,07 km
7. P-K = 106,34 km
8. D(a)-K = D(b)-K = 98,84 km
9. T-VT = 89,52 km
10. P-VT = 88,10 km

…

Ovdje nema vremenskih ograničenja, tako da nije potrebno paziti na smjer rute.

Najveća ušteda je D(a)-D(b) i ona se prva dodaje u rutu. Iduće uštede po veličini su P-T, T-K i D(b)-P te se one također dodaju u rutu. Zatim slijede uštede D(a)-P, D(a)-T, D(b)-T, P-K, D(a)-K, D(b)-K, T-VT te P-VT no one se ne dodaju u rutu, jer bi se njihovim dodavanjem dobio zatvoreni ciklus. Umjesto toga dodaje se iduća najveća ušteda po veličini, a to je K-VT. Sljedeća ušteda po veličini, a koja se može dodati u rutu jest VT-DB. Na kraju ostaje još samo jedna ušteda koju treba dodati kako bi se kompletirala ruta, a to je DB-ZP.

Dobivena ruta jednaka je staroj ruti, što znači da je ona bila već optimizirana te se stoga ne mogu postići nikakve veće uštede.

Nova ruta = Stara ruta:

Zagreb (Skorušićka ulica) – Doliće (a) – Doliće (b) – Pregrada – Turnišće – Klanjec – Veliko Trgovišće – Donja Bistra – Zaprešić - Zagreb (Skorušićka ulica)

Ukupna duljina rute: **169,12 km**

Ukupno vrijeme vožnje: **169 min (2h 49min);**

7.2.7. Ruta 6

U tablicama će se za lokacije koristiti samo oznake umjesto punog imena radi lakšeg prikazivanja:

Z (SU) – Zagreb (Skorušićka ulica)

RP – Rakov potok

ZD – Zdihovo

J – Jastrebarsko (Trg Ljube Babića)

JB – Jurovski Brod

D - Delnice

Tablica 30. Matrica udaljenosti - Ruta 6

[km]	Z (SU)	RP	ZD	J	JB	D
Z (SU)	-	23,16	37,54	38,33	86,55	123,43
RP		-	14,45	15,24	52,43	104,42
ZD			-	0,79	37,98	97,31
J				-	37,78	97,12
JB					-	79,27
D						-

Tablica 31. Matrica vremena - Ruta 6

[min]	Z (SU)	RP	ZD	J	JB	D
Z (SU)	-	24	41	43	62	80
RP		-	16	18	64	68
ZD			-	2	47	58
J				-	48	59
JB					-	58
D						-

Tablica 36. Vremenska ograničenja - Ruta 6

	Vremenski okvir dostave, [h]	Trajanje istovara na lokaciji, [min]
Z (SU)	-	-
RP	07:00-21:00	14
ZD	06:30-21:00	16
J	07:00-21:00	20
JB	07:00-11:00	9
D	07:00-13:00	24

Tablica 37. Matrica ušteda - Ruta 6

[km]	Z (SU)	RP	ZD	J	JB	D
Z (SU)	-	-	-	-	-	-
RP		-	46,25	46,25	57,28	42,17
ZD			-	75,08	86,11	63,66
J				-	87,10	64,64
JB					-	130,71
D						-

Poredak ušteda (Tablica 37):

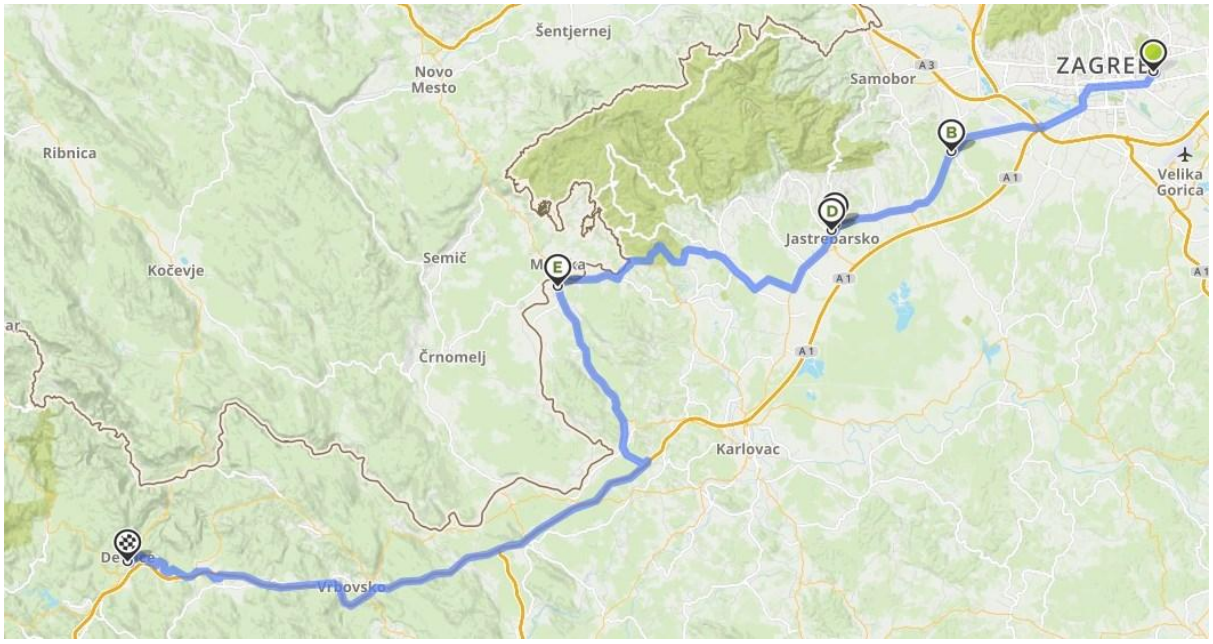
1. JB-D = 130,71 km
2. J-JB = 87,10 km
3. ZD-JB = 86,11 km
4. ZD-J = 75,08 km
5. J-D = 64,64 km
6. ZD-D = 63,66 km
7. RP-JB = 57,28 km
8. RP-ZD = RP-J = 46,25 km
9. RP-D = 42,17 km

Budući da zbroj svih vremena putovanja u jednom smjeru zajedno sa svim vremenima istovara iznosi 4 sata (koliko iznosi najkraći vremenski okvir), pod uvjetom da vozilo dođe na prvu lokaciju u 7:00 sati, moći će se obići sve lokacije, bez obzira na orijentaciju rute. Stoga nije potrebno paziti na orijentaciju rute.

Najveća ušteda je JB-D i ona se prva dodaje u rutu. Iduća ušteda po veličini je J-JB te se i ona dodaje u rutu. Zatim slijedi ušteda ZD-JB, no ona se ne dodaje u rutu jer nema više slobodnih bridova za brisanje za lokaciju JB. Umjesto nje odabire se iduća najveća ušteda po veličini, a to je ZD-J. S obzirom da je ostao još samo jedan brid kojeg treba dodati kako bi se kompletirala ruta, a to je RP-ZD, on se na kraju i dodaje.

Nova ruta (Slika 40)**:**

Zagreb (Skorušićka ulica) – Rakov Potok – Zdihovo – Jastrebarsko (Trg Ljube Babića) – Jurovski Brod – Delnice - Zagreb (Skorušićka ulica)



Slika 43. Ruta 6 - Nova

Ukupna duljina:

23,16 + 14,45 + 0,79 + 37,78 + 79,27 + 123,43 = **278,88 km**

Ukupno vrijeme vožnje (bez istovara): 24 + 16 + 2 + 48 + 58 + 80 = **228 min (3h 48min)**

Stara ruta:

Zagreb (Skorušićka ulica) – Rakov Potok – Zdihovo – Jastrebarsko (Trg Ljube Babića) – Jastrebarsko (Ulica kralja Tomislava) – Klinča Sela – Zagreb (Skorušićka ulica)

Ukupna duljina: **79,90 km**

Ukupno vrijeme vožnje (bez istovara): **89 min (1h 29min)**

UŠTEDA: -198,98 km; -139 min

7.2.8. Ruta 7

U tablicama će se radi lakšeg prikazivanja za lokacije koristiti samo oznake umjesto punog imena:

Z (SU) – Zagreb (Skorušićka ulica)

J – Jastrebarsko (Cvjetno naselje)

KS – Klinča Sela

O – Ozalj

V – Vrbovsko

K - Karlovac

Tablica 32. Matrica udaljenosti - Ruta 7

[km]	Z (SU)	J	KS	O	V	K
Z (SU)	-	38,83	30,48	69,32	99,20	57,87
J		-	8,84	20,78	65,65	23,43
KS			-	29,49	72,90	31,63
O				-	55,75	18,10
V					-	48,04
K						-

Tablica 33. Matrica vremena Ruta 7

[min]	Z (SU)	J	KS	O	V	K
Z (SU)	-	43	33	50	63	42
J		-	11	25	47	24
KS			-	35	43	21
O				-	53	18
V					-	41
K						-

Tablica 34. Vremenska ograničenja - Ruta 7

	Vremenski okvir dostave, [h]	Trajanje istovara na lokaciji, [min]
Z (SU)	-	-
J	07:00-21:00	11
KS	07:00-20:00	13
O	07:00-21:00	16
V	07:00-13:00	9
K	07:00-21:00	10

Tablica 35. Matrica ušteda - Ruta 7

[km]	Z (SU)	J	KS	O	V	K
Z (SU)	-	-	-	-	-	-
J		-	60,47	87,37	72,38	73,27
KS			-	70,31	56,78	56,72
O				-	112,77	109,09
V					-	109,03
K						-

Poredak ušteda (Tablica 34):

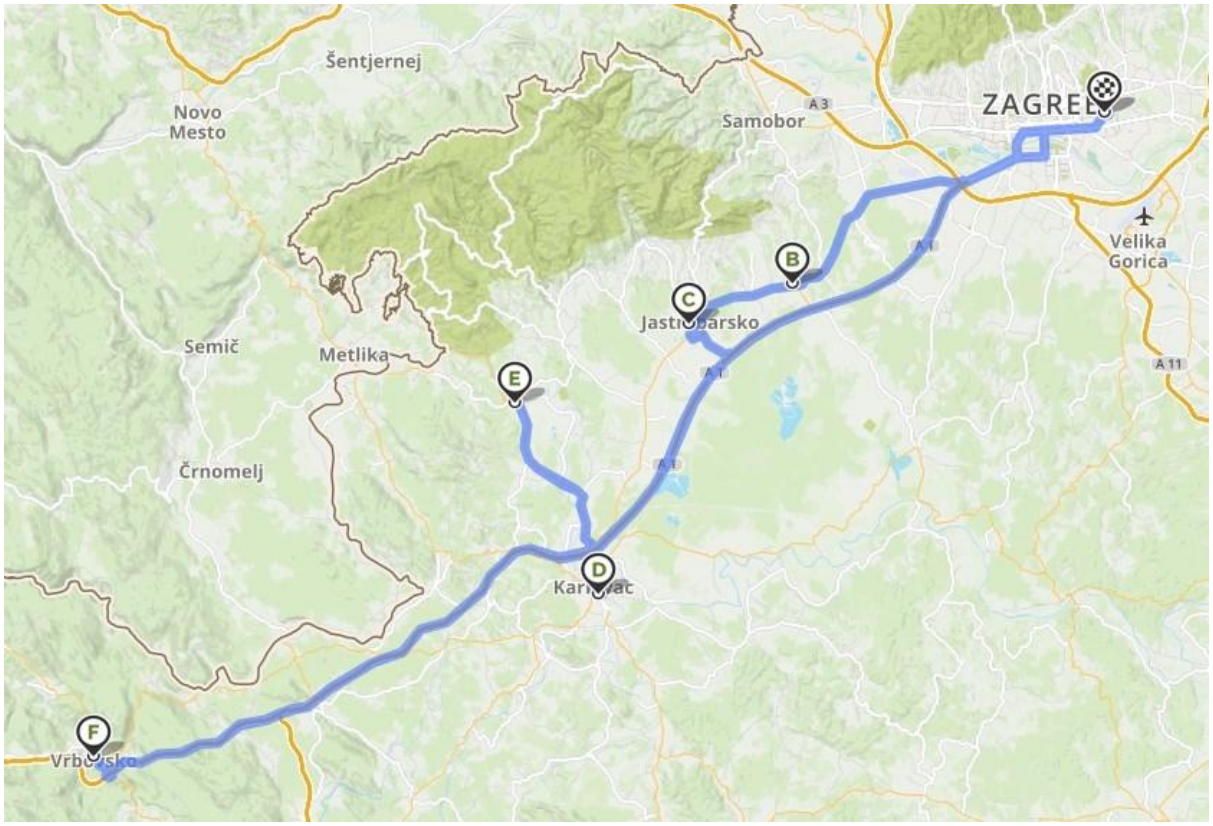
1. O-V = 112,77 km
2. O-K = 109,09 km
3. V-K = 109,03 km
4. J-O = 87,37 km
5. J-K = 73,27 km
6. J-V = 72,38 km
7. KS-O = 70,31 km
8. J-KS = 60,47 km
9. KS-V = 56,78 km
10. KS-K = 56,72 km

Budući da zbroj svih vremena putovanja u jednom smjeru zajedno sa svim vremenima istovara iznosi manje od 6 sati (koliko iznosi najkraći vremenski okvir), pod uvjetom da vozilo dođe na prvu lokaciju u 7:00 sati, moći će se obići sve lokacije, bez obzira na orijentaciju rute. Stoga nije potrebno paziti na orijentaciju rute.

Najveća ušteda je O-V i ona se prva dodaje u rutu. Iduća ušteda po veličini je O-K te se i ona dodaje u rutu. Zatim slijedi ušteda V-K, no ona se ne dodaje u rutu jer bi se time dobio zatvoreni četverokut i završio ciklus. Nakon toga, slijedi ušteda J-O no ona se također ne može dodati jer nema više slobodnih bridova koji se mogu brisati za lokaciju O. Zatim slijedi ušteda J-K koja se može dodati u rutu budući da ima slobodnih bridova za brisanje na obje lokacije. Iduće uštede po veličini su J-V koja se ne može dodati u rutu jer bi se time zatvorio ciklus, te KS-O koja se ne može dodati jer nema više slobodnih bridova na lokaciji O. Umjesto toga odabire se iduća ušteda po veličini, a to je J-KS, kojom se ujedno i kompletira ruta.

Nova ruta (Slika 41)**:**

Zagreb (Skorušićka ulica) – Klinča Sela – Jastrebarsko (Cvjetno naselje) – Karlovac – Ozalj – Vrbovsko – Zagreb (Skorušićka ulica)



Slika 44. Ruta 7 - Nova

Ukupna duljina:

30,48 + 8,84 + 23,43 + 18,10 + 55,75 + 99,20 = **235,80 km**

Ukupno vrijeme vožnje (bez istovara): 33 + 11 + 24 + 18 + 53 + 63 = **202 min (3h 22min)**

Stara ruta:

Zagreb (Skorušićka ulica) – Ozalj – Jurovski Brod – Delnice – Vrbovsko – Karlovac – Zagreb (Skorušićka ulica)

Ukupna duljina: **308,04 km**

Ukupno vrijeme vožnje (bez istovara): **219 min (3h 39min)**

UŠTEDA: 72,24 km; 17 min

S obzirom na to da su se rješavanjem CVRP problema *Sweep* algoritmom lokacije iz originalnih ruta poduzeća 6 i 7 pomiješale međusobno, kako bi prikazali točnu uštedu dobivenu *Sweep* te *Clarke and Wright* optimizacijskim algoritmom potrebno je promatrati zbroj ušteda obiju ruta:

UKUPNA UŠTEDA (Ruta 6; Ruta 7) [km] = Suma (stara ruta 6; stara ruta 7) – Suma (nova ruta 6; nova ruta 7) = (79,90 + 308,04) – (278,88 + 235,80) = 387,94 – 514,68 =
= **– 126,74 km**

UKUPNA UŠTEDA (Ruta 6; Ruta 7) [kn] = Ukupna ušteda [km]*Trošak 14-paletnog vozila po km za (Tablica 5) = – 126,74 * 4,65 kn = **– 589,34 kn**

UKUPNA UŠTEDA (Ruta 6; Ruta 7) [min] = Suma (stara ruta 6; stara ruta 7) – Suma (nova ruta 6; nova ruta 7) = (89 + 219) – (228 + 202) = 308 – 430 = **– 122 min**

Prema dobivenim rezultatima optimizacije za rutu 6 i 7, može se vidjeti da su dobiveni znatno lošiji rezultati u odnosu na ostale rute. Pretpostavka je da je za to zaslužan *Sweep* algoritam koji unatoč brzini, zbog samog načina na koji se provodi, nije dovoljno dobro riješio CVRP problem ovog slučaja. Naime, algoritam nije dobro napravio grupaciju lokacija ruta 6 i 7 jer je najudaljeniju rutu iz rute 7 prebacio u rutu 6, koja je stoga produljila njenu duljinu za više od 2,5 puta. To će posljedično uzrokovati i isto takvo povećanje troškova pa će se stoga u idućem poglavlju napraviti novo rješavanje CVRP problema za rute 6 i 7, ali ovog puta izravno i to točnijom metodom *Clarke and Wright*, te usporediti rezultati dviju metoda. Zbog malog broja lokacija u rutama 6 i 7 te zbog znatno lošijih rezultata optimizacije dobivenih *Sweep* algoritmom, ovaj pokušaj ponovne optimizacije napravit će se samo ovaj put, jer izravno rješavanje CVRP problema *Clarke and Wright* metodom, zbog povećanja broja lokacija te ograničenja, zahtjeva jako puno vremena za rješavanje.

7.2.9. Ruta 8

U tablicama će se radi lakšeg prikazivanja za lokacije koristiti samo oznake umjesto punog imena:

Z (SU) – Zagreb (Skorušićka ulica)

L – Ludbreg

V – Vrbanovec

Š – Šemovec

J – Jalžabet

KE – Kelemen

KA – Kaštelanec

GKN – Gornji Kneginec

T – Turčin

GKU – Gornji Kućan

KM – Kućan Marof

Tablica 36. Matrica udaljenosti - Ruta 8

[km]	Z (SU)	L	V	Š	J	KE	KA	GKN	T	GKU	KM
Z (SU)	-	86,98	84,52	85,63	77,59	80,50	78,81	76,19	74,74	76,11	78,33
L		-	8,85	14,44	12,60	15,22	16,87	20,58	22,19	21,28	24,61
V			-	5,93	4,08	6,71	8,35	12,06	13,68	12,76	15,76
Š				-	6,28	8,91	10,55	13,71	14,66	9,87	9,84
J					-	3,27	4,85	8,56	10,04	9,27	11,19
KE						-	1,64	5,35	6,96	6,05	7,97
KA							-	3,71	5,33	6,45	9,00
GKN								-	5,27	3,84	6,26
T									-	4,57	6,98
GKU										-	2,96
KM											-

Tablica 37. Matrica vremena - Ruta 8

[min]	Z (SU)	L	V	Š	J	KE	KA	GKN	T	GKU	KM
Z (SU)	-	59	53	53	51	52	52	50	48	49	50
L		-	8	13	12	15	16	21	23	23	21
V			-	4	4	6	8	13	15	15	13
Š				-	6	9	10	14	14	9	8
J					-	3	5	9	11	11	11
KE						-	1	5	8	8	8
KA							-	4	6	8	9
GKN								-	6	5	8
T									-	4	7
GKU										-	3
KM											-

Tablica 38. Vremenska ograničenja - Ruta 8

	Vremenski okvir dostave, [h]	Trajanje istovara na lokaciji, [min]
Z (SU)	-	-
L	07:00-20:00	18
V	13:00-20:00	7
Š	13:00-20:00	6
J	13:00-20:00	7
KE	13:00-20:00	7
KA	13:00-20:00	8
GKN	13:00-20:00	13
T	13:00-20:00	8

GKU	13:00-20:00	7
KM	13:00-20:00	8

Tablica 39. Matrica ušteda - Ruta 8

[km]	Z (SU)	L	V	Š	J	KE	KA	GKN	T	GKU	KM
Z (SU)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
L		-	162,65	158,17	151,97	152,26	148,92	142,59	139,53	141,81	140,70
V			-	164,22	158,03	158,31	154,98	148,65	145,58	147,87	147,09
Š				-	156,94	157,22	153,89	148,11	145,71	151,87	154,12
J					-	154,82	151,55	145,22	142,29	144,43	144,73
KE						-	157,67	151,34	148,28	150,56	150,86
KA							-	151,29	148,22	148,47	148,14
GKN								-	145,66	148,46	148,26
T									-	146,28	146,09
GKU										-	151,48
KM											-

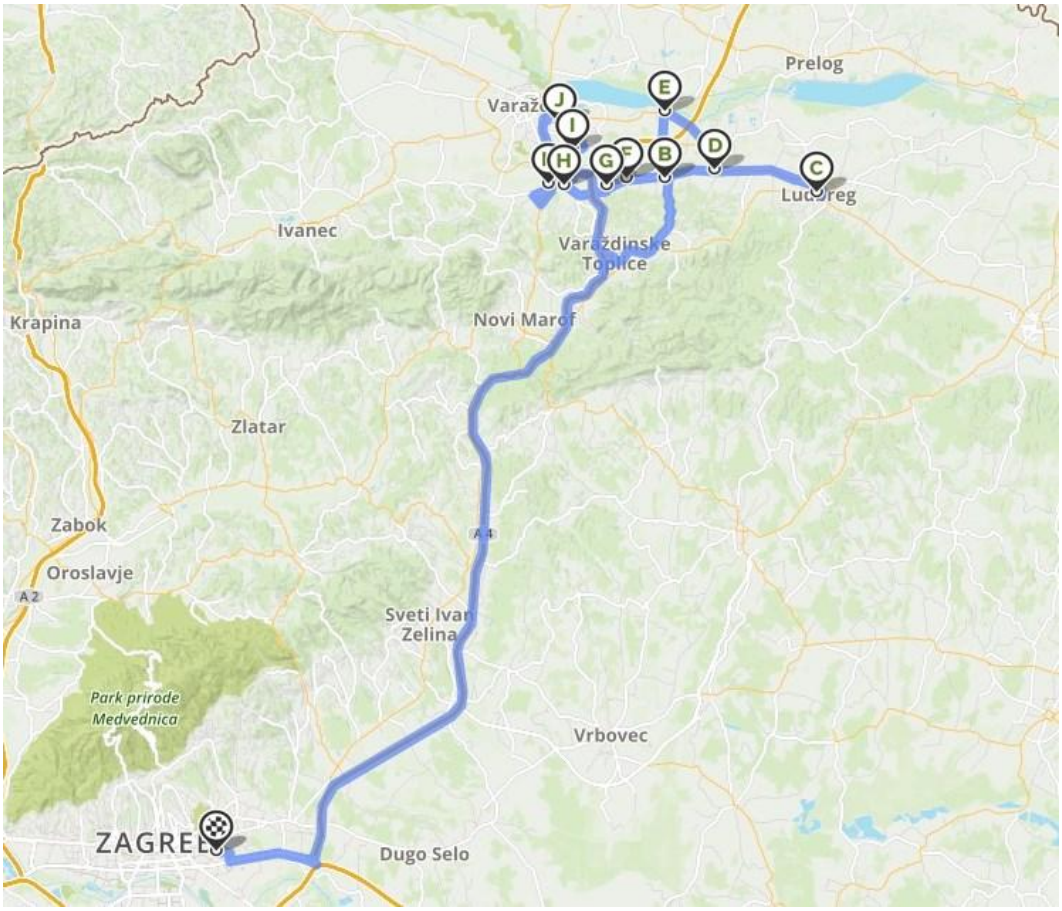
S obzirom na to da na ovoj ruti ima puno lokacija, zbog uštede prostora i vremena neće se izravno prikazati poredak ušteda, već će se lokacije dodavati u rutu odmah, izravno.

Budući da zbroj svih vremena putovanja u jednom smjeru zajedno sa svim vremenima istovara iznosi manje od 7 sati (koliko iznosi najkraći vremenski okvir), pod uvjetom da vozilo dođe na prvu lokaciju u 13:00 sati, moći će se obići sve lokacije, bez obzira na orijentaciju rute. Stoga nije potrebno paziti na orijentaciju rute.

Najveća ušteda je V-Š i ona se prva dodaje u rutu. Iduća ušteda po veličini je L-V te se i ona dodaje u rutu. Zatim slijedi ušteda V-KE koja se ne može dodati u rutu jer nema više slobodnih bridova na lokaciji V. Iduće lokacije, redom po veličini, a koje se mogu dodati u rutu su: KE-KA, Š-KE, L-J, GKU-KM, KA-GKN, GKN-GKU te T-KM kojom se kompletira ruta.

Nova ruta (Slika 45)**:**

Zagreb (Skorušićka ulica) – Jalžabet – Ludbreg – Vrbanovec – Šemovec – Kelemen – Kaštelanec – Gornji Kneginec – Gornji Kućan – Kućan Marof – Turčin – Zagreb (Skorušićka ulica)



Slika 45. Ruta 8 - Nova

Ukupna duljina:

77,59 + 12,59 + 8,85+ 5,93 + 8,91 + 1,64 + 3,71 + 3,84 + 2,96 + 11,03 + 76,24 = **213,29 km**

Ukupno vrijeme vožnje (bez istovara):

52 + 12 + 8 + 4 + 9 + 1 + 4 + 4 + 3 + 11 + 46 = **154 min (2h 34min)**

Stara ruta:

Zagreb (Skorušićka ulica) – Cirkvena – Ludbreg – Vrbanovec – Šemovec – Jalžabet - Kelemen – Kaštelanec – Gornji Kneginec – Turčin – Zagreb (Skorušićka ulica)

Ukupna duljina: **227,41 km**

Ukupno vrijeme vožnje (bez istovara): **174 min (2h 54min)**

UŠTEDA: 14,12 km; 20 min

7.2.10. Ruta 9

U tablicama će se radi lakšeg prikazivanja za lokacije koristiti samo oznake umjesto punog imena:

Z (SU) – Zagreb (Skorušićka ulica)

MS – Mursko Središće

H – Hrašćica

S – Sračinec

P – Petrijanec

NVP – Nova Ves Petrijanečka

BD– Brezje Dravsko

VN – Vinica

G – Greda

VD – Vidovec

Tablica 40. Matrica udaljenosti - Ruta 9

[km]	Z (SU)	MS	H	S	P	NVP	BD	VN	G	VD
Z (SU)	-	116,85	89,00	90,96	92,94	92,77	105,82	102,32	92,73	86,92
MS		-	30,48	32,43	34,41	35,57	47,29	42,46	39,23	34,59
H			-	1,95	3,93	7,40	16,81	12,07	13,33	8,68
S				-	1,98	5,45	14,86	10,13	15,27	10,63
P					-	3,47	13,92	8,15	13,92	11,38
NVP						-	15,23	9,39	10,82	7,90
BD							-	6,92	15,90	19,69
VN								-	9,05	12,83
G									-	4,64
VD										-

Tablica 41. Matrica vremena - Ruta 9

[min]	Z (SU)	MS	H	S	P	NVP	BD	VN	G	VD
Z (SU)	-	79	58	60	63	63	72	69	62	54
MS		-	30	32	34	35	45	42	38	35
H			-	2	3	7	14	12	11	6
S				-	2	5	13	10	13	8
P					-	3	13	8	13	11
NVP						-	14	9	10	8
BD							-	6	15	18
VN								-	9	12
G									-	4
VD										-

Tablica 42. Vremenska ograničenja - Ruta 9

	Vremenski okvir dostave, [h]	Trajanje istovara na lokaciji, [min]
Z (SU)	-	-
MS	07:00-21:00	12
H	13:00-20:00	7
S	13:00-20:00	10
P	13:00-20:00	36
NVP	13:00-20:00	9
BD	13:00-20:00	6
VN	13:00-20:00	10
G	13:00-20:00	9
VD	13:00-20:00	15

Tablica 43. Matrica ušteda - Ruta 9

[km]	Z (SU)	MS	H	S	P	NVP	BD	VN	G	VD
Z (SU)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MS		-	175,37	175,38	175,38	174,05	175,38	176,71	170,35	169,18
H			-	178,01	178,01	174,37	178,01	179,25	168,40	167,24
S				-	181,92	178,28	181,92	183,15	168,42	167,25
P					-	182,24	184,84	187,11	171,75	168,48
NVP						-	183,36	185,7	174,68	171,79
BD							-	201,22	182,65	173,05
VN								-	186,00	176,41
G									-	175,01
VD										-

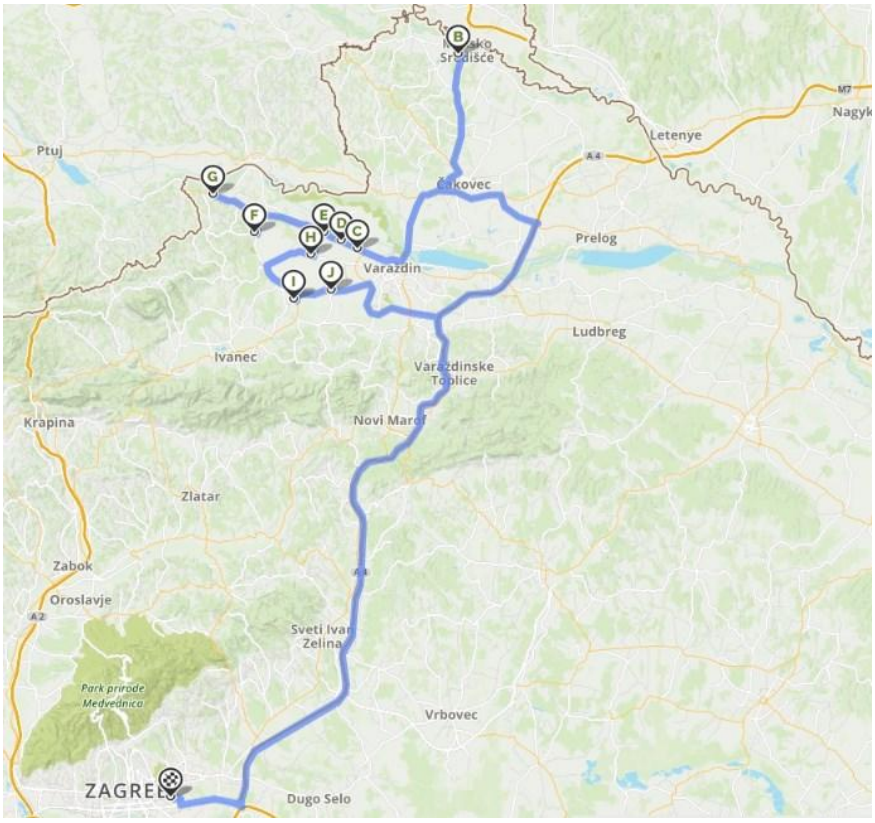
S obzirom na to da i na ovoj ruti ima puno lokacija, zbog uštede prostora i vremena također se neće izravno prikazati poredak ušteda, već će se lokacije dodavati u rutu odmah, izravno.

Budući da zbroj svih vremena putovanja u jednom smjeru zajedno sa svim vremenima istovara iznosi manje od 7 sati (koliko iznosi najkraći vremenski okvir), pod uvjetom da vozilo dođe na prvu lokaciju u 13:00 sati, moći će se obići sve lokacije, bez obzira na orijentaciju rute. Stoga nije potrebno paziti na orijentaciju rute.

Najveća ušteda je BD-VN i ona se prva dodaje u rutu. Iduća ušteda po veličini je P-VN te se i ona dodaje u rutu. Zatim slijede uštede VN-G te NVP-VN koje se ne mogu dodati u rutu jer nema više slobodnih bridova na lokaciji VN. Nakon toga slijedi ušteda P-BD no ni ona se ne može dodati jer bi se time zatvorio ciklus. Iduće uštede, redom po veličini, a koje se mogu dodati u rutu su: BD-NVP, S-P, H-S, MS-H, NVP-G te G-VD kojom se kompletira ruta.

Nova ruta (Slika 46)**:**

Zagreb (Skorušićka ulica) – Mursko Središće – Hrašćica – Sračinec – Petrijanec – Vinica – Brezje Dravsko – Nova Ves Petrijanečka – Greda – Vidovec – Zagreb (Skorušićka ulica)



Slika 46. Ruta 9 - Nova

Ukupna duljina:

116,85 + 30,48 + 1,95 + 1,98 + 8,15 + 6,92 + 15,23 + 10,82 + 4,64 + 86,92 = **283,94 km**

Ukupno vrijeme vožnje (bez istovara):

79 + 30 + 1 + 1 + 8 + 6 + 14 + 10 + 4 + 54 = **207 min (3h 27min)**

Stara ruta:

Zagreb (Skorušićka ulica) – Gornji Kućan – Kućan Marof – Mursko Središće – Hrašćica – Sračinec – Petrijanec – Nova Ves Petrijanečka – Brezje Dravsko – Vinica – Greda – Vidovec – Zagreb (Skorušićka ulica)

Ukupna duljina: **268,77 km**

Ukupno vrijeme vožnje (bez istovara): **200 min (3h 20 min)**

UŠTEDA: 15,17 km; 7 min

S obzirom da su se rješavanjem CVRP problema *Sweep* algoritmom lokacije iz originalnih ruta poduzeća 4,8 i 9 pomiješale međusobno, kako bi prikazali točnu uštedu dobivenu *Sweep* i *Clarke and Wright* algoritmom optimizacije, potrebno je promatrati zbroj ušteda svih triju ruta:

UKUPNA UŠTEDA (Ruta 4; Ruta 8; Ruta 9) [km]

= Suma (stara ruta 4; stara ruta 8; stara ruta 9) – Suma (nova ruta 4; nova ruta 8; nova ruta 9)
= (281,42 + 227,41 + 268,77) – (282,34 + 213,29 + 283,94) = 777,60 – 779,57 = **-1,97 km**

UKUPNA UŠTEDA (Ruta 4; Ruta 8; Ruta 9) [kn]

= Ukupna ušteda (Ruta 8; Ruta 9) [km]*Trošak 12-paletnog vozila po km (Tablica 5) + Ukupna ušteda (Ruta 4) [km]*Trošak 18-paletnog vozila po km (Tablica 6) =
= -1,05 km * 4,65 kn/km + -0,92*4,78 kn = **-9,28 kn**

UKUPNA UŠTEDA (Ruta 4; Ruta 8; Ruta 9) [min]

= Suma (stara ruta 4; stara ruta 8; stara ruta 9) – Suma (nova ruta 4; nova ruta 8; nova ruta 9)
= (211 + 174 + 200) – (211 + 154 + 207) = 585 – 572 = **13 min**

7.3. Rješavanje CVRP problema na rutama 6 i 7 uz pomoć Clarke i Wright algoritma

Razlika između rješavanja TSP problema i CVRP problema ovom metodom jest ta što će se ovdje u matricu udaljenosti, vremena i ušteda uzeti u obzir zajedno lokacije iz rute 6 i 7 koje će se s obzirom na kapacitet vozila, ograničenja potraživanja lokacija te vremenskih ograničenja istovremeno grupirati te optimizirati. Drugim riječima, oba problema će se riješiti odjednom.

U tablicama će se za lokacije ruta 6 i 7 također koristiti oznake kao i u prethodnom poglavlju:

Z (SU) – Zagreb (Skorušićka ulica)

RP – Rakov Potok

ZD – Zdihovo

J(a) – Jastrebarsko (Trg Ljube Babića)

JB – Jurovski Brod

D – Delnice

J(b) – Jastrebarsko (Cvjetno naselje)

KS – Klinča Sela

O – Ozalj

V – Vrbovsko

K – Karlovac

Tablica 44. Matrica udaljenosti - Ruta 6 i 7

[km]	Z (SU)	RP	ZD	J(a)	JB	D	J(b)	KS	O	V	K
Z (SU)	-	23,16	37,54	38,33	86,55	123,43	38,83	30,48	69,32	99,20	57,87
RP		-	14,45	15,24	52,43	104,42	16,23	7,50	36,88	80,35	38,98
ZD			-	0,79	37,98	97,31	1,78	7,06	22,43	70,18	25,03
J(a)				-	37,78	97,12	1,59	7,85	22,23	69,98	24,83
JB					-	79,27	36,33	45,04	16,49	52,19	31,61
D						-	89,53	96,94	79,63	28,64	72,42
J(b)							-	8,84	20,78	65,65	23,43
KS								-	29,49	72,90	31,63
O									-	55,75	18,10
V										-	48,04
K											-

Tablica 45. Matrica vremena - Ruta 6 i 7

[min]	Z (SU)	RP	ZD	J(a)	JB	D	J(b)	KS	O	V	K
Z (SU)	-	24	41	43	62	80	43	33	50	63	42
RP		-	16	18	64	68	19	9	44	51	30
ZD			-	2	47	58	3	8	27	43	25
J(a)				-	48	58	3	10	28	44	26
JB					-	92	45	55	18	46	30
D						-	63	60	61	32	58
J(b)							-	11	25	47	24
KS								-	35	43	21
O									-	53	18
V										-	41
K											-

Tablica 46. Vremenska ograničenja - Ruta 6 i 7

	Vremenski okvir dostave, [h]	Trajanje istovara na lokaciji, [min]
RP	07:00-21:00	14
ZD	06:30-21:00	16
J(a)	07:00-21:00	20
JB	07:00-11:00	9
D	07:00-13:00	24
J(b)	07:00-21:00	11
KS	07:00-20:00	13
O	07:00-21:00	16
V	07:00-13:00	9
K	07:00-21:00	10

Tablica 47. Potraživanja lokacija - Ruta 6 i 7

	Potraživanje
RP	8
ZD	4
J(a)	6
JB	4
D	18
J(b)	12
KS	8
O	8
V	4
K	4

Tablica 48. Matrica ušteda - Ruta 6 i 7

[km]	Z (SU)	RP	ZD	J(a)	JB	D	J(b)	KS	O	V	K
Z (SU)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RP		-	46,25	46,25	57,28	42,17	45,76	46,14	55,60	42,01	42,05
ZD			-	75,08	86,11	63,66	74,59	60,96	84,43	66,56	70,38
J(a)				-	87,10	64,64	75,57	60,96	85,42	67,55	71,37
JB					-	130,71	89,05	71,99	139,38	133,56	112,81
D						-	72,73	56,97	113,12	193,99	108,88
J(b)							-	60,47	87,37	72,38	73,27
KS								-	70,31	56,78	56,72
O									-	112,77	109,09
V										-	109,03
K											-

Poredak ušteda (Tablica 34):

1. D-V = 193,99 km
2. JB-O = 139,38 km
3. JB-V = 133,56 km
4. JB-D = 130,71 km
5. D-O = 113,12 km

•••

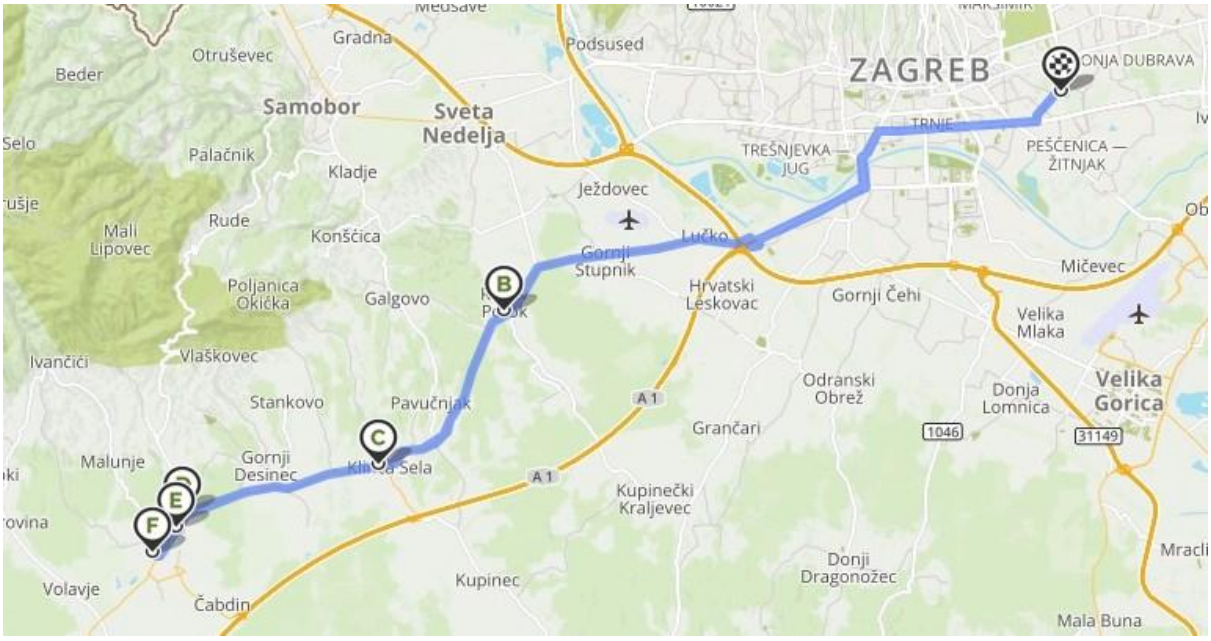
Prije odabira ušteda, uzima se u obzir vremensko ograničenje budući da zbroj trajanja utovara i vremena putovanja iznosi više od najkraćeg vremenskog prozora. Prema njemu među prvim rutama koje se moraju posjetiti su JB, D i V jer one imaju najkraće vremenske prozore. Također se uzima u obzir potraživanje lokacija, čiji zbroj ne smije premašiti kapacitet vozila na ruti (na raspolaganju imamo dva 14-paletna kamiona kapaciteta 42).

Najveća ušteda je D-V i ona se prva dodaje u rutu. Iduća ušteda po veličini je JB-O te se i ona dodaje u rutu. Zatim slijedi ušteda JB-V, no ona se ne dodaje u rutu jer bi se time dobio zatvoreni ciklus. Nakon toga, slijedi ušteda JB-D te se i ona može dodati u rutu. Zatim slijedi ušteda D-O koja se ne može dodati u rutu budući da nema više slobodnih bridova za brisanje na tim lokacijama. Iduća najveća ušteda O-V također se ne može dodati jer bi se time dobio zatvoreni ciklus. U ovome trenutku na vozilu je preostalo još 8 kapacitivnih mjesta, tako da iduća lokacija koju možemo dodati jest prva po redu s najvećom uštedom te kapacitetom manjim ili većim od 8. Prva takva ruta jest odmah iduća najveća, a to je O-K nakon čijeg dodavanja na vozilu preostaje još 4 kapacitivnih mjesta. Iako bi se tehnički u ovu rutu mogla dodati još i lokacija ZD sa potraživanjem 4 kako bi se dobila 100 postotna ispunjenost prvog vozila, ipak se odlučuje završiti rutu sa ispunjenošću kapaciteta 38/42 (90,48%) jer će time druga ruta nakon dodavanje preostalih lokacija u nju također imati ispunjenost vozila 38/42, koja je vrlo visoka i više nego zadovoljavajuća.
Preostale lokacije koje se mogu dodati u drugu rutu su dakle: RP, ZD, J(a), J(b), KS. Ovdje nije potrebno paziti na orijentaciju rute budući da sve rute imaju cjelodnevni vremenski okvir. Prva najveća ušteda je J(a)-J(b) te se dodaje u rutu. Nakon toga slijedi ušteda ZD-J(a) koja se također dodaje. Zatim slijedi ušteda ZD-J(b) no ona se ne može dodati jer bi se time stvorio zatvoreni ciklus. Umjesto toga se dodaje ušteda ZD-KS. U ovome trenutku za dodati je preostala još samo lokacija RP za koju je najveća od preostalih ušteda RP-KS, čijim se dodavanjem kompletira druga ruta.

Dobiveni rezultati rješavanja CVRP problema *Clarke and Wright* metodom su dakle sljedeći:

Nova ruta 6:

Zagreb (Skorušićka ulica) – Rakov Potok – Klinča Sela – Zdihovo – Jastrebarsko (Trg Ljube Babića) – Jastrebarsko (Cvjetno naselje) – Zagreb (Skorušićka ulica) (Slika 47)



Slika 47. Ruta 6 - Nova (C&W)

Ukupna duljina: 23,16 + 7,50 + 7,06 + 0,79 + 1,59 + 38,83 = **78,93 km**

Ukupno vrijeme vožnje (bez istovara): 24 + 9 + 8 + 2 + 3 + 43 = **89 min (1h 29 min)**

Stara ruta 6:

Zagreb (Skorušićka ulica) – Rakov Potok – Zdihovo – Jastrebarsko (Trg Ljube Babića) – Jastrebarsko (Ulica kralja Tomislava) – Klinča Sela – Zagreb (Skorušićka ulica)

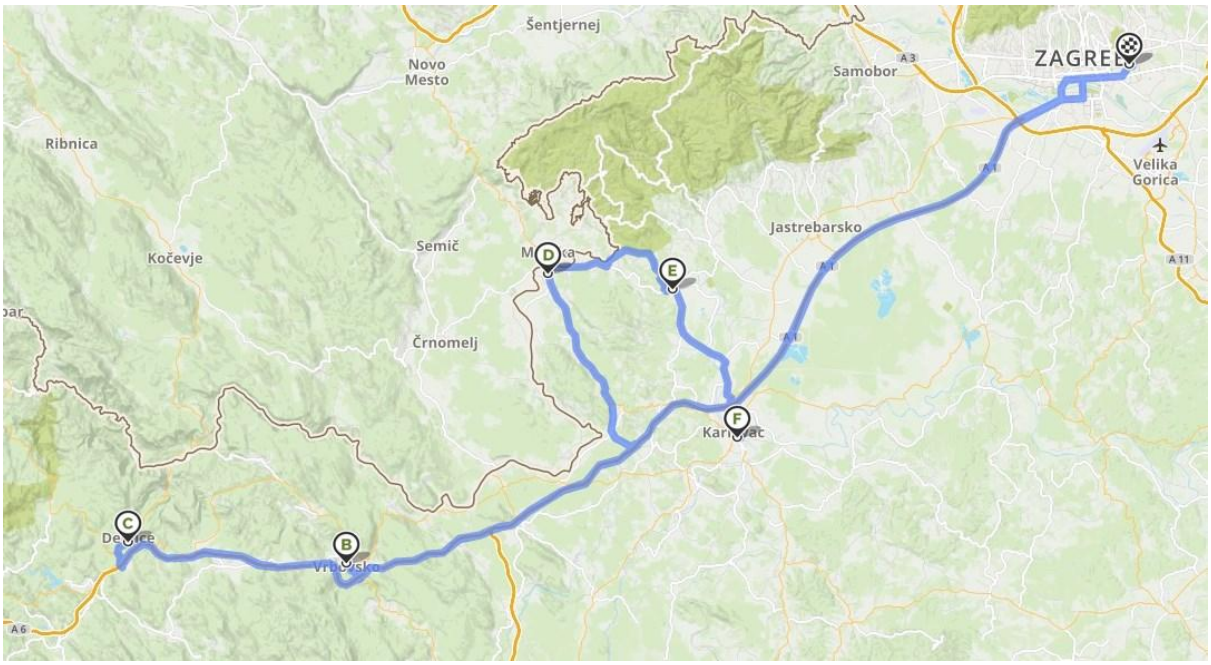
Ukupna duljina: **79,90 km**

Ukupno vrijeme vožnje (bez istovara): **89 min (1h 29min)**

UŠTEDA: 0,97 km; 0 min

Nova ruta 7:

Zagreb (Skorušićka ulica) – Vrbovsko – Delnice – Jurovski Brod – Ozalj – Karlovac – Zagreb (Skorušićka ulica) (Slika 48)



Slika 48. Ruta 7 - Nova (C&W)

Ukupna duljina: 99,20 + 28,64 + 79,27 + 16,49 + 18,10 + 57,87 = **299,57 km**

Ukupno vrijeme vožnje (bez istovara): 63 + 32 + 58 + 18 + 18 + 42 = **231 min (3h 51 min)**

Stara ruta 7:

Zagreb (Skorušićka ulica) – Ozalj – Jurovski Brod – Delnice – Vrbovsko – Karlovac – Zagreb (Skorušićka ulica)

Ukupna duljina: **308,04 km**

Ukupno vrijeme vožnje (bez istovara): **219 min (3h 39 min)**

UŠTEDA: 8,47 km; - 12 min

Kako bi mogli napraviti ispravnu usporedbu dobivenih rezultata optimizacije ruta 6 i 7 *Clarke and Wright* algoritmom sa rezultatima prvotne optimizacije *Sweep* te *Clarke and Wright* algoritmom i ovdje će se morati napraviti zbroj ušteda obiju ruta u odnosu na originalne rute dobivene od poduzeća.

UKUPNA UŠTEDA (Ruta 6; Ruta 7 – C&W) [km] = Suma (stara ruta 6; stara ruta 7) – Suma (nova ruta 6 - C&W; nova ruta 7 – C&W) = (79,90 + 308,04) – (78,93 + 299,57) = 387,94 – 378,50 = **9,44 km**

UKUPNA UŠTEDA (Ruta 6; Ruta 7 – C&W) [kn] = Ukupna ušteda [km]*Trošak 14-paletnog vozila po km za (Tablica 5) = 9,44 * 4,65 kn = **43,90 kn**

UKUPNA UŠTEDA (Ruta 6; Ruta 7 – C&W) [min] = Suma (stara ruta 6; stara ruta 7) – Suma (nova ruta 6 – C&W; nova ruta 7 – C&W) = (89 + 219) – (89 + 231) = 308 – 320 = = **– 12 min**

UKUPNA UŠTEDA (Ruta 6; Ruta 7 – Sweep /C&W) [km] = – 126,74 km

UKUPNA UŠTEDA (Ruta 6; Ruta 7 – Sweep/C&W) [kn] = – 589,34 kn

UKUPNA UŠTEDA (Ruta 6; Ruta 7 – Sweep/C&W) [min] = – 122 min

Iz dobivenih rezultata može se vidjeti da su uštede dobivene optimizacijom ruta 6 i 7 izravno *Clarke and Wright* algoritmom mnogo veće od onih dobivenih optimizacijom Sweep algoritmom u kombinaciji sa *Clarke and Wright* algoritmom. Ne samo da su uštede veće u odnosu na njih već su i veće u odnosu na postojeće rute od poduzeća. To nam govori da je metoda rješavanja CVRP problema *Clarke and Wright* algoritmom, iako sporija i kompleksnija, mnogo točnija od metode rješavanja *Sweep* algoritmom.
Upravo zbog toga će se novo dobiveni rezultati optimizacije ruta 6 i 7 uzeti kao relevantni te koristiti u konačnoj analizi rezultata u idućem poglavlju.

8. ANALIZA REZULTATA

U tablici 49 prikazana je usporedba rezultata optimizacije novo dobivenih ruta sa starim postojećim rutama od poduzeća s obzirom na duljinu rute, vrijeme putovanja, troškove te uštede po rutama u kunama.

Tablica 49. Analiza rezultata

	Duljina rute [km]	Vrijeme putovanja [min]	Trošak po ruti [kn]	Ušteda [%]
Ruta 1 stara	29,70	49	138,11	**4,14**
Ruta 1 nova	28,47	39	132,39	
Ruta 2 stara	341,00	248	1 585,65	**0,59**
Ruta 2 nova	339,00	211	1 576,35	
Ruta 3a stara	31,84	44	148,06	**-10,89**
Ruta 3a nova	35,31	53	164,19	
Ruta 3b stara	34,28	56	159,40	**0**
Ruta 3b nova	34,28	56	159,40	
Ruta 4 stara	281,42	211	1 505,60	**-0,32**
Ruta 4 nova	282,34	211	1 510,36	
Ruta 5 stara	169,12	169	786,41	**0**
Ruta 5 nova	169,12	169	786,41	
Ruta 6 stara	79,90	89	371,54	**1,21**
Ruta 6 nova (C&W)	78,93	89	367,03	
Ruta 7 stara	308,04	219	1 432,39	**2,75**
Ruta 7 nova (C&W)	299,57	231	1 393,00	
Ruta 8 stara	227,41	174	1 057,46	**6,21**
Ruta 8 nova	213,29	154	991,80	
Ruta 9 stara	268,77	200	1 249,78	**-5,65**
Ruta 9 nova	283,94	207	1 320,32	

Iz tablice 49 može se vidjeti da ručno optimiziranje ruta može dovesti čak i do dodatnih smanjenja troškova u odnosu na automatsko optimiziranje skupim softverom, kao što je to

slučaj za rute 1, 2, 6, 7 i 8.

Za slučajeve ruta 3a, 4 i 9, razlog zbog kojeg je došlo do povećanja troškova je najvjerojatnije nedovoljna točnost *Sweep* algoritma. S obzirom na to da je to povećanje troškova vrlo malo, nije se išlo u ponovni pokušaj optimizacije kao za slučaj ruta 6 i 7. Naime, iako bi se ponovnim pokušajem optimizacije *Clarke and Wright* algoritmom, najvjerojatnije dobili bolji rezultati (kao i u slučaju ruta 6 i 7), s druge strane bi se pak znatno povećala kompleksnost te vrijeme trajanja rješavanje tog postupka optimizacije budući da te rute imaju mnogo više lokacija nego što to imaju rute 6 i 7. Stoga, zbog nedostatka vremena, taj postupak nije proveden i za sve ostale rute.

U tablici 50. napravljena je detaljna analiza troškova transporta dnevno i godišnje na području Grada Zagreba i okolice s obzirom na prosječne troškove po rutama.

Tablica 50. Analiza troškova

	Stare rute	Nove rute
Suma troškova, kn	8 434,40	8 401,25
Prosjek troška po ruti, kn	843,44	840,13
Trošak u ZG-u dnevno, kn	106 273,44	105 856,38
Trošak u ZG-u godišnje, kn	26 568 360,00	26 464 095,00
Prosječna godišnja ušteda	**0,39 %**	

Iz tablice se može vidjeti kako je prosječni trošak po rutama dobivenih ručnom optimizacijom čak i manji i to za 3,31 kune po ruti u odnosu na trošak po rutama dobivenih od poduzeća koje su optimizirane softverom *Paragon*. To je razlika od 0,39 %, što za poduzeće Konzum d.o.o. samo na području Grada Zagreba i okolice znači smanjenje troškova od 104 265,00 kuna godišnje. No, mora se napomenuti da ova brojka ne uzima u obzir stvarno vrijeme, odnosno, čak i da ručna optimizacija pojedinačno statistički daje bolje rezultate od softvera, ručnom optimizacijom u realnosti se vremenski ne bi mogla obraditi optimizacija tolikog broja ruta sa tolikom flotom vozila i ograničenja; jer upravo to i je obilježje, odnosno prednost takvih softvera – neznatno pogoršanje rezultata optimizacije, ali u korist neizmjernog skraćenja vremena potrebnog za optimizaciju.

9. ZAKLJUČAK

Pojavom globalizacije i interneta iz dana u dan sve više dolazi do porasta potrebe za cestovnim transportom upravo zbog njegove fleksibilnosti. Budući da stoga poduzeća uzimaju sve veći broj vozila kako bi uspjeli obuhvatiti sve veći broj dostavnih lokacija, praćenje, kontrola i upravljanje transportnim rutama te usmjeravanje vozila postaje sve teže, što naravno onda uzrokuje i porast vremenskih te financijskih troškova poduzeća. Za uspješno nošenje s time, presudnu ulogu ima proces optimizacije transporta. Osim što brzo i efektivno omogućuje usmjeravanje i praćenje velikog broja dostavnih vozila, glavna zadaća tog procesa je pronalaženje optimalnih ruta kako bi se skratilo vrijeme putovanja, a time i smanjili transportni troškovi.

Analizom prosječnih troškova na konkretnom primjeru deset transportnih ruta vidljivo je da su troškovi novih, ručno optimiziranih ruta manji i to za prosječno 3,31 kuna po ruti u odnosu na troškove postojećih ruta koje su vozila poduzeća Konzum d.o.o. odvozila na dan 02.02.2018.. S obzirom na to da su postojeće rute poduzeća optimizirane skupim te jednim od najpoznatijih industrijskih softvera za optimizaciju i praćenje cestovnog transporta, činjenica da se ručnom optimizacijom čak postiglo i dodatno smanjenje troškova jest sjajna vijest, pogotovo za manja poduzeća koja ne raspolažu toliko velikim brojem vozila i ruta (već primjerice sa desetak) te koja nemaju sredstva za ulaganje u skupi softver. Manja poduzeća mogu dakle ručno provesti postupak optimizacije svojih ruta algoritmima prikazanim u ovome radu jer će dobiti rezultate jednake ili čak i bolje od onih koje bi dobili skupim softverom, a ta optimizacija neće uzeti toliko puno vremena budući da nemaju na raspolaganju velik broj vozila i ruta.

No, kod velikih poduzeća kao što je Konzum d.o.o. ipak se javlja problem. Naime, budući da takva poduzeća svakodnevno raspolažu sa jako velikim brojem heterogenih flota vozila koja dnevno moraju odvoziti na stotine ruta, ručnom optimizacijom, unatoč boljim rezultatima, nikako nije moguće analizirati i optimizirati toliki broj ruta za toliku flotu vozila i sve to onda i pratiti u stvarnom vremenu. Tako je primjerice u ovome radu za pokušaj ručne optimizacije i to samo 10 ruta bilo potrebno gotovo mjesec dana. Jasno je stoga koliko bi tek bilo potrebno za optimizaciju svih 126 ruta samo na području Grada Zagreba i okolice. U takvim slučajevima, kao što je slučaj poduzeća Konzum d.o.o., je dakle nužno uložiti u softvere poput *Paragona*, jer to upravo i je njihova prednost – neznatno lošiji rezultati, ali u korist neizmjernog smanjena vremena potrebnog za optimizaciju.

Ipak, ono što se u konačnici sa sigurnošću može zaključiti jest: bilo da se provodi ručno za slučajeve manjih flota vozila ili uz pomoć softvera za velike flote vozila, proces optimizacije transportnih ruta neophodan je za sva poduzeća koja obavljaju transport, kako bi uz minimalne troškove mogli zadržati kvalitetu svojih usluga te uspješno ispunjavati obveze prema svojim korisnicima.

LITERATURA

[1] Đukić G.: Optimizacijski problemi na mrežama: Problem putujućeg trgovca i problem usmjeravanja vozila, Predavanja iz kolegija Operacijska istraživanja I, 2018.

[2] Galić A.: Rješavanje problema usmjeravanja vozila hibridnim staničnim evolucijskim algoritmom, Doktorska disertacija, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2018.

[3] Carić T.: Unapređenje organizacije transporta primjenom heurističkih metoda, Doktorska disertacija, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2004.

[4] Zhi-Long C.: *Advanced logistics, Lecture 3: Basic Vehicle Routing Problems*, 2000.

[5] https://www.konzum.hr/O-Konzumu/O-nama (05.10.2018.)

[6] http://www.agrokor.hr/hr/kompanije/konzum-d-d/ (05.10.2018.)

[7] http://lumini.hr/konzum/ (05.10.2018.)

[8] https://www.mapquest.com/routeplanner (04.02.2018.)

[9] Bošnjak, I., Županović, I.: Analiza tržišta cestovnog prijevoza u Republici Hrvatskoj, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2006.

[10] http://cijenegoriva.info/CijeneGoriva.aspx (10.02.2018.)

[11] http://www.tehnicki-pregledi.hr/kalkulator.php (10.02.2018.)

[12] Stilinović L.: Postupak određivanja cijene cestovnog prijevoza robe, Diplomski rad, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2016.

PRILOZI

I. CD-R disc