

Optimiranje prijevoza preko prekrcajnih skladišta

Kukovaček, Leon

Master's thesis / Diplomski rad

2024

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:119:569421>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-22**



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD
OPTIMIRANJE PRIJEVOZA PREKO PREKRCAJNIH SKLADIŠTA
OPTIMIZING TRANSPORT VIA CROSS DOCK TERMINALS

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

Student: Leon Kukovačec

JMBAG: 0135251698

Zagreb, Rujan, 2024.

Zagreb, 23. rujna 2024.

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

DIPLOMSKI ZADATAK br. 7743

Pristupnik: **Leon Kukovačec (0135251698)**
Studij: **Inteligentni transportni sustavi i logistika**
Smjer: **Logistika**

Zadatak: **Optimiranje prijevoza preko prekrcajnih skladišta**

Opis zadatka:

Objasniti ulogu prekrcajnih skladišta u transportnoj mreži. Prikazati izvedbene pokazatelje rada voznog parka. U okviru studije slučaja analizirati transportnu mrežu u kapilarnoj distribuciji tvrtke RALU logistika. Predložiti elemente optimiranja postojeće transportne mreže i prikazati očekivane učinke primjene istih.

Zadatak uručen pristupniku: 9. srpnja 2024.

Rok za predaju rada: 23. rujna 2024.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
diplomski ispit:

izv. prof. dr. sc. Ratko Stanković

Tomislav Pereglin (komentor)

SAŽETAK

Kod optimiranja transporta uvođenjem prekrcajnih skladišta, potrebno je utvrditi opravdanost i optimalni broj prekrcajnih skladišta u transportnoj mreže, prema odabranim kriterijima. Izvedena je studija slučaja transportne mreže prijevozničke tvrtke, u kojoj su prikupljeni povijesni podaci, temeljem kojih je određen optimalni broj i lokacije prekrcajnih skladišta, s ciljem smanjenja transportnih troškova i unaprjeđenja kvalitete usluge. Pritom je primijenjena modificirana metoda centroida. Očekivano poboljšanje kvantificirano je usporedbom s postojećim rješenjem prijevozničke tvrtke, a dobiveni rezultati potvrđuju opravdanost predloženog optimiranog rješenja.

Ključne riječi: Optimiranje, transportna mreža, prekrcajna skladišta.

Summary

In the optimization of transport through the introduction of transshipment warehouses, it is necessary to determine the justification and optimal number of transshipment warehouses in the transport network, based on selected criteria. A case study of the transport network of a transport company was conducted, in which historical data were collected to determine the optimal number and locations of cross dock terminals, with the aim of reducing transport costs and improving service quality. A modified centroid method was applied in the process. The expected improvement was quantified by comparison with the existing solution of the transport company, and the results obtained confirm the justification of the proposed optimized solution.

Keywords: Optimization, transport network, cross dock terminals.

Sadržaj

1. Uvod	1
2. Uloga prekrcajnih skladišta u transportnoj mreži	2
2.1. Oblici prekrcajnih skladišta	4
2.2. Raspored prijamnih i otpremnih rampa u prekrcajnom skladištu	6
2.3. Organizacija procesa u cross-dock skladištu	7
2.3.1. Unakrsna distribucija zbirnih narudžba	7
2.3.2. Unaprijed komisionirana unakrsna distribucija	7
3. Izvedbeni pokazatelji rada voznog parka	9
3.1. Pokazatelji vremenske učinkovitosti prijevoznih sredstava	9
3.2. Pokazatelji prijeđenog puta	9
3.3. Pokazatelji brzine kretanja	11
3.4. Pokazatelji nazivne nosivosti prijevoznih sredstava	13
4. Specijalizirani softveri za optimizaciju ruta vozila	14
4.1. Skytrack softver	14
4.2. Paragon softver	15
4.3. Omniopt softver	15
5. Studija slučaja: Analiza transportne mreže u kapilarnoj distribuciji tvrtke RALU logistika	16
6. Prijedlog optimiranja postojeće transportne mreže i očekivani učinci	20
6.1. Određivanje lokacije prekrcajnih skladišta	20
6.1.1. Zagreb i središnja Hrvatska	22
6.1.2. Istra i Kvarner	23
6.1.3. Slavonija	23
6.1.4. Dalmacija	24
6.2. Analiza dobivenih rezultata u lociranju prekrcajnih skladišta	24
6.3. Usporedba transportnih troškova za Istru i Kvarner	27
6.3.1. Transportni troškovi postojeće transportne mreže za Istru i Kvarner	27
6.3.2. Transportni troškovi sa novom lokacijom prekrcajnog skladišta	33
6.4. Usporedba dobivenih rezultata	39
7. Zaključak	41
Literatura	42

Popis slika	43
Popis tablica	45

1. Uvod

Tema ovog rad obuhvaća analizu postojeće transportne mreže tvrtke Ralu logistika d.d., koja se koristi u kapilarnoj distribuciji (dostava robe krajnjim primateljima) i formuliranje prijedloga optimiranja postojeće transportne mreže. Pri tomu je od primarne važnosti određivanje optimalnog broja i lokacija prekrcajnih skladišta (eng. *cross dock terminals*). Potrebno je stoga provesti studiju slučaja postojeće transportne mreže, radi prikupljanja potrebnih informacija i podataka, te izvršiti evaluaciju postojećih lokacija prekrcajnih skladišta po zadanim kriterijima, odnosno parametrima. Temeljem rezultata evaluacije dobivenih primjenom modificirane metode centroida, treba potvrditi postojeće lokacije prekrcajnih skladišta, odnosno predložiti promjenu lokacija u pojedinim gravitacijskim zonama transportne mreže u cilju optimiranja po kriteriju smanjenja transportnih troškova. Očekivane učinke optimiranja transportne mreže treba kvantificirati usporedbom postojećih transportnih troškova sa simuliranim transportnim troškovima optimirane transportne mreže. Rad je podijeljen u sedam cjelina:

1. Uvod
2. Uloga prekrcajnih skladišta u transportnoj mreži
3. Izvedbeni pokazatelji rada voznog parka
4. Specijalizirani softveri za optimizaciju ruta vozila
5. Studija slučaja: analiza transportne mreže kapilarne distribucije tvrtke Ralu logistika
6. Prijedlog optimiranja postojeće transportne mreže i očekivani učinci
7. Zaključak

Drugo poglavlje opisuje ulogu prekrcajnog skladišta unutar transportne mreže, u kojim oblicima se grade, te sustave unutar prekrcajnog skladišta pomoću kojeg funkcioniraju.

Treće poglavlje prikazuje izvedbene pokazatelje kojim se gleda uspješnost voznog parka, te prikazuje formule kojim se računaju ti izvedbeni pokazatelji.

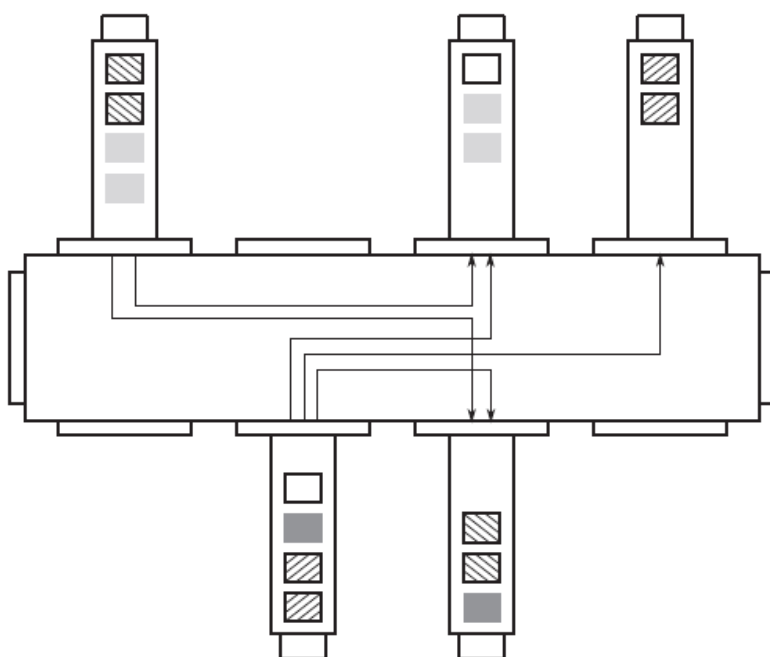
Četvrto poglavlje kratko opisuje tri softvera za optimiziranje ruta koje razne tvrtke koriste kako bi optimizirali svakodnevne dostave, tj. kako ne bi stvarali dodatne troškove transporta.

Peto poglavlje opisuje postojeću transportnu mrežu i vozni park tvrtke Ralu logistika, kao i frekvenciju dostava.

Šesto poglavlje prikazuje izračune transportnih troškova i metodu za određivanje nove potencijalne lokacije prekrcajnog skladišta, kojim bi postojeća transportna mreža potencijalno smanjila troškove.

2. Uloga prekrcajnih skladišta u transportnoj mreži

Cross-docking je logistička strategija u kojoj se teret prebacuje iz dolaznih vozila gotovo izravno u odlazna, uz minimalno zadržavanje u skladištu ili ako je moguće bez prekidanja robnog toka. U ovom radu pruža se pregled koncepta cross-dockinga, uz raspravu o smjernicama za njegovu uspješnu primjenu te opis različitih karakteristika koje omogućuju razlikovanje različitih vrsta cross-dockova. Danas je cross-docking postao uobičajena logistička praksa koju koriste brojne tvrtke u različitim industrijama. Suština cross-dockinga je direktan prijenos pošiljki iz dolaznih u odlazna vozila, bez potrebe za skladištenjem. Ova metoda može ispuniti različite ciljeve, poput konsolidacije pošiljki, skraćanja vremena isporuke i smanjenja troškova. Uloga cross-dockinga u industriji i dalje raste. U tradicionalnim distribucijskim centrima, roba se prvo prima, a zatim skladišti, često na paletnim regalima. Kada kupac naruči proizvod, radnici ga preuzimaju iz skladišta i šalju na odredište. Od četiri osnovne funkcije skladištenja (prijem, skladištenje, komisioniranje i otprema), skladištenje i komisioniranje obično predstavljaju najveće troškove. Skladištenje je skupo zbog troškova držanja zaliha, dok komisioniranje zahtijeva puno radne snage, što ga čini skupim. [1]



Slika 1: Shema izgleda i putanja prekrcajnog skladišta

Izvor: [1]

Osnovne operativne značajke prekrcajnih skladišta mogu se opisati na sljedeći način:

1. Brza obrada: Ključna svrha prekrcajnih skladišta je minimizirati vrijeme koje roba provodi unutar skladišta. Po dolasku, roba se odmah istovaruje, razvrstava i

ponovno utovaruje na drugo prijevozno sredstvo kako bi se što prije dostavila na svoje konačno odredište.

2. **Kratkotrajno skladištenje:** Za razliku od klasičnih skladišta gdje roba može biti pohranjena na dulji period, prekrcajna skladišta služe za transfer robe koja ne zahtijeva dugotrajno skladištenje.
3. **Optimizacija transporta:** Prekrcajna skladišta omogućuju optimizaciju transporta konsolidiranjem robe prema odredištima. Time se smanjuju troškovi dostave i skraćuje vrijeme potrebno za isporuku.
4. **Optimalno pozicioniranje:** Prekrcajna skladišta su obično smještena na strateškim lokacijama, blizu glavnih prometnica, luka ili drugih ključnih logističkih čvorišta, što omogućuje brži prijelaz robe između različitih prijevoznih sredstava.
5. **Automatizacija:** Kako bi se postigla visoka razina učinkovitosti, prekrcajna skladišta često koriste automatizirane sustave i suvremenu tehnologiju. To uključuje sustave za upravljanje skladištem (WMS), automatske sustave za sortiranje te tehnologiju za identifikaciju i praćenje tereta. [2]

Neke prednosti u usporedbi s tradicionalnim distribucijskim centrima su:

- smanjenje troškova (troškovi skladištenja, troškovi držanja zaliha, troškovi rukovanja, troškovi rada);
- kraće vrijeme isporuke (od dobavljača do kupca);
- poboljšana usluga prema kupcima;
- smanjenje potrebnog skladišnog prostora;
- brži obrt zaliha;
- manje razine zaliha;
- smanjen rizik od gubitka i oštećenja. [1]

Neke prednosti cross dockinga u usporedbi s direktnim dostavama do krajnjeg primatelja:

- smanjenje troškova (troškovi prijevoza, troškovi rada);
- konsolidacija pošiljki;
- poboljšana iskorištenost resursa (prijevoznih kapaciteta);
- usklađenost dinamike isporuka sa stvarnom potražnjom. [1]

Ove prednosti čine cross docking učinkovitom logističkom strategijom koja može pružiti tvrtkama znatne konkurentske prednosti. [1]

2.1. Oblici prekrcajnih skladišta

Cross-dock skladišta su najčešće pravokutnog oblika sa prekrcajnim rampama za prikolice koji su raspoređene uz rubne dijelove zgrade. Kapacitet skladišta povećava se prema broju rampa. Većina cross-dock terminala konstruirani su kao dugačka, uska skladišta s rampama duž cijele strane skladišnoga objekta. Terminali variraju po veličini od manjih, s desetak rampa, do velikih cross-dock terminala, s više od 500 rampa [3].

Na slikama 2. i 3. možemo vidjeti primjer manjeg prekrcajnog skladišta, te većeg prekrcajnog skladišta u vlasništvu kompanije DB Schenker.



Slika 2: Cross-dock skladište Dawsongrupe

Izvor: <https://dawsongroup.co.uk/optimise-your-supply-chain-with-cross-docking-solutions/>



Slika 3: DB Schenker cross-dock skladište u gradu Herbrechtingen

Izvor: <https://www.logisticsbusiness.com/uncategorised/new-cross-dock-terminal-in-heart-of-europe/>

Oblik cross-dock skladišta sa slike 3. je jedan od najpopularnijih i najjednostavnijih oblika poznat kao „I oblik“. Protočnost skladišta se povećava ako se poveća broj prijamnih i predajnih rampa, ali se mora voditi računa o dovoljnom prostoru za transportna sredstva (s vanjske strane) i za teret (unutar skladišta) kako se ne bi međusobno miješali. Širina objekta mora uključivati dovoljno prostora za svaku rampu kako bi sav teret iz vozila mogao stati na rampu i na prostor za transport između rampa [3].

Skladište ne mora biti u obliku slova I. Poostoje drugi tipovi cross-dock skladišta koji su u obliku slova L, H, U i T, iako svaki dodatni kut takvoga skladišta smanjuje njegovu učinkovitost. Na vanjskom dijelu takvoga kuta se gubi podni prostor na rampi gdje se nalazi teret, što povećava zagušenost i tako utječe na tok tereta. Na unutrašnjem dijelu kuta gubi se mjesto za rampu jer će prikolice biti previše blizu jedna drugoj. Zbog gubitka prostora za smještaj rampa u tim zonama, skladište se mora produžiti, kako bi se taj nedostatak nadoknadio (Npr. Duljina transportnog puta u H skladištu, koje ima 4 unutrašnja kuta, veća je od duljine puta kojom će teret proći u I skladištu. Najnepovoljnija konfiguracija cross-dock skladišta je u obliku slova L. Terminal L oblika ima jedan vanjski i jedan unutrašnji kut, ali nema mogućnosti iskorištenja prostora u tom dijelu terminala pa na vanjskom kutu dolazi do zagušenja, a na unutrašnjem nema prostora za smještaj ulazno-izlazne rampe [3].

Broj rampa u cross-dock skladištu je moguće odrediti prema različitim kriterijima:

- Otpremne rampe – njihov se broj određuje na temelju volumena robe koji se usmjerava prema svakom kupcu, kao i prema rasporedu otpreme.
- Broj prijamnih rampa – kako je iskrcaj tereta iz vozila brža radnja od ukrcaja tereta, pravilo je da se planira dvostruko veći broj otpremnih rampa nego prijamnih rampa kako bi se postigla ravnoteža ulaznoga i izlaznoga toka robe.
- Općenito gledano, veći broj prijemnih i otpremnih rampa dovodi do većega transportnoga puta koji operateri moraju proći pri unutrašnjem transportu robe.
- Prostor za parkiranje prikolica treba biti takav da omogućuje parkiranje dviju prikolica po jednoj rampi [3].

2.2. Raspored prijamnih i otpremnih rampa u prekrcajnom skladištu

Odlučivanje o rasporedu prijamnih i otpremnih rampa u skladištu izravno utječe na vrijeme koje je zaposlenicima potrebno pri transportu robe između rampa. Također raspored prijamnih i otpremnih rampa utječe i na prostorna zagušenja pri manipuliranju robom. Najčešći rasporedi prijamnih i otpremnih rampa u cross-dock skladištima su:

- LALS (Left arrival and left shipping)
- LARS (Left arrival and right shipping)
- CACS (Centre arrival and Centre shipping)
- SASS (Spread arrival and spread shipping) [3]

LALS (Left arrival and left shipping) rasporedom za prijam dodijeljene su rampe koje se nalaze na lijevoj strani skladišta, kao i za otpremu, ali nasuprot prijamnih. Također, s lijeva na desno dodjeljuju se rampe destinacijama s najvećim količinama tereta. Ovakav raspored omogućava zaposlenicima da pri manipulaciji robom prelaze što manje udaljenosti između rampa, ali može dovesti do zagušenja u lijevoj strani objekta zbog velike koncentracije zaposlenika. [3]

LARS (Left arrival and right shipping) rasporedom dodjeljuju se rampe za prijam s lijeva na desno, dok se za otpremu dodjeljuju rampe s desna na lijevo. Ovakav raspored povećava udaljenost između prijamnih i otpremnih rampi, ali pomaže u smanjenju zagušenja. [3]

CACS (Centre arrival and centre shipping) prijamne rampe dodjeljuju se u središnjem dijelu cross-dock skladišta. Destinaciji koja ima najveću količinu tereta dodjeljuje se rampa što bliže sredini. Ovakav raspored omogućava zaposlenicima da pri manipulaciji robom prelaze minimalne udaljenosti između prijemnih i otpremnih rampa, ali znatno povećava koncentraciju zaposlenika u središnjem dijelu objekta. [3]

SASS (Spread arrival and spread shipping) rasporedom želi se raširiti transportna zona kroz cijelo cross-dock skladište kako bi se umanjila mogućnost nastanka zagušenja. Udaljenost koju će zaposlenici prelaziti pri manipulaciji može se povećati, ali smanjenim

zagušenjem u transportnoj zoni mogu se ostvariti vremenske uštede u organizaciji unutrašnjega transporta. [3]

2.3. Organizacija procesa u cross-dock skladištu

Razlikuju se dva tehnološka pristupa cross dock procesu: preusmjeravanje unaprijed komisioniranih pošiljaka (pre packed cross dock) i formiranje novih pošiljaka od zaprimljene robe. Osim ovoga pojma, za drugu navedenu varijantu cross docka koristi se naziv unakrsna distribucija zbirnih narudžba (break bulk cross dock) [3].

2.3.1. Unakrsna distribucija zbirnih narudžba

Unakrsna distribucija zbirnih narudžba bez pohrane robe u skladištu (BBxD), način je distribucije kod kojega se zbirne isporuke (količine za više prodavaonica, zbrojene i naručene od dobavljača) dobavljača komisioniraju i konsolidiraju u distributivnom skladištu trgovačkih lanaca, po prodajnim mjestima (prodavaonicama). Na taj se način kreiraju pojedinačne isporuke za prodavaonice. Kod ovoga tipa Cross Dockinga koristi se tehnologija komisioniranja zvana pick-by-line ili pick-to-zero. Break-Bulk modelom distribucije ne stvaraju se zalihe robe na skladištu, nego se roba odmah nakon komisioniranja otprema. Vrijeme od zaprimanja robe na skladištu trgovačke tvrtke pa do otpreme prema prodavaonici traje manje od 48 sati. Zbog kratkoga vremenskoga ciklusa od narudžbe dobavljaču do otpreme prema prodavaonici cijeli proces zahtjeva visoku razinu koordinacije s dobavljačima. [3]

2.3.2. Unaprijed komisionirana unakrsna distribucija

Unaprijed komisionirana unakrsna distribucija (PPxD), model je distribucije kod kojega se pošiljke komisioniraju kod dobavljača u skladu s narudžbama prodajnih mjesta (prodavaonica), i kao takve isporučuju u distribucijski centar trgovačkog lanca. [3]

Za PPxD vrijede sva obilježja za Cross Docking model distribucije uz nekoliko specifičnosti, a to su da ovaj način distribucije izrazito ovisi o:

- Strukturi maloprodajne mreže
- Dubini i širini distribucije
- Vrsti, volumenu i količini proizvoda
- Broju i pouzdanosti dobavljača
- Točnosti komisioniranja od strane dobavljača
- Elektronskoj razmjeni dokumenata koja je obvezna
- Označavanju pošiljaka za prodavaonice koje moraju biti kompaktne i jednoznačno obilježene [3]

PPxD model skladištenja (slika), najčešće se koristi za svježe proizvode, kao što je perad, s ciljem produljenja trajnosti proizvoda na polici, ali se isto tako može koristiti i za sporo obrtajne artikle za dostavu u manje formate prodavaonica, a posebno je pogodan za distribuciju većega broja proizvoda manjih dimenzija kao što su dekorativna kozmetika, higijenski proizvodi, različiti alati i uređaji, odjeća ili sezonski proizvodi s jednokratnom isporukom. [3]

Iskustveni pokazatelji u određenim maloprodajnim lancima pokazuju kako PPxD model također učinkovito funkcionira na dekorativnoj kozmetici (velik broj skupih artikala, mali broj dobavljača, mali volumen pošiljke, komadno komisioniranje, distribucija u mali broj prodavaonica) te na sezonskim artiklima s malim brojem isporuka (veliki broj artikala, mali broj dobavljača, sezonalne isporuke).

3. Izvedbeni pokazatelji rada voznog parka

Ključni pokazatelji uspješnosti (KPI) su temeljni alat menadžmenta koji pomaže u poboljšanju poslovanja. Oni pružaju analitički uvid u prikupljene podatke, odnosno usporedbu ostvarenih rezultata s ciljevima tvrtke. Iako KPI-ovi ne služe za predviđanje budućih stanja, njihova analiza omogućuje donošenje odluka o budućem smjeru razvoja tvrtke. [4]

Tehničko-eksploatacijski pokazatelji mogu se podijeliti na:

- pokazatelje vremenske učinkovitosti prijevoznih sredstava
- pokazatelje iskorištenja prijeđenog puta
- pokazatelje brzine kretanja prijevoznih sredstava
- pokazatelji nazivne nosivosti prijevoznih sredstava [5]

3.1. Pokazatelji vremenske učinkovitosti prijevoznih sredstava

Tehničko stanje prijevoznog sredstva može biti u zastoju (nije spremno za rad), u pričuvi ili na radu, kako je prikazano izrazom (1).

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

Gdje je:

PS_r – prijevozna sredstva koja se u promatranom danu nalaze na radu

PS_p – prijevozna sredstva koja se u promatranom danu nalaze u pričuvi

PS_n – prijevozna sredstva koja su neispravna i nisu sposobna za obavljanje radnih zadataka u promatranom vremenu [5]

PS_s – tehnički ispravna odnosno sposobna prijevozna sredstva [5]

3.2. Pokazatelji prijeđenog puta

Tijekom korištenja prijevoznog sredstva, ostvaruje se određeni prijevozni učinak koji ovisi o različitim čimbenicima. Prva skupina čimbenika su objektivni, koji su povezani s tehničkim karakteristikama vozila i stanjem infrastrukture. Druga skupina su subjektivni čimbenici, koji se odnose na organizaciju rada. S gledišta iskorištenja nosivosti vozila, idealan prijevozni proces je onaj u kojem je nosivost potpuno iskorištena. Međutim, to je rijetko slučaj u praksi. Češće se događa da je vozilo nedovoljno iskorišteno, preopterećeno ili čak potpuno neiskorišteno. Kada vozilo nije opterećeno, postiže samo djelomične rezultate. U praksi se često pojavljuje preopterećenje s pretpostavkom da to povećava ukupni učinak, ali to obično nije točno jer prekapacitirano vozilo može trpjeti teško uočljive, dugoročne negativne posljedice. [5]

U procesu kretanja, prijevozno sredstvo, sa stajališta iskorištavanja prijeđenog puta ostvaruje:

- prijevozni put od smještajnog do operativnog prostora
- prijevozni put na relaciji prijevoza
- prijevozni put od operativnog prostora ili prijevozne relacije do smještajnog prostora. [5]

Matematički se može formulirati kako je dano izrazima (2) do (4).

$$L = L_{01} + L_p + L_t + L_{02} \text{ (km)} \quad (2)$$

$$L_0 = L_{01} + L_{02} \text{ (km)} \quad (3)$$

$$L = L_0 + L_t + L_p \text{ (km)} \quad (4)$$

gdje je:

L – ukupno prijeđeni put prijevoznog sredstva (km)

L_{01} – udaljenost od smještajnog prostora do mjesta ukrcaja (km)

L_t – put koji je prijevozno sredstvo prešlo pod opterećenjem (km)

L_p – put koji je prijevozno sredstvo prešlo bez tereta na relaciji prijevoza (km)

L_{02} – udaljenost (put) koju prijevozno sredstvo prijeđe od završetka procesa

L_0 – udaljenost koju je prijevozno sredstvo prešlo od smještajnog prostora do prvog mjesta ukrcaja i od zadnjeg mjesta iskrcanja natrag do smještajnog prostora (nulti prijeđeni put) [5]

Za vozni park koji je sastavljen od prijevoznih sredstava iste marke i tipa prethodni model se dobiva izrazom (5) [5]:

$$PSL_i = PSL_t + PSL_p + PSL_0 \quad (5)$$

Dok vozni park sa nehomogenim ustrojem koristi izraz (6):

$$\sum_{i=1}^n PSL_i = \sum_{i=1}^n PSL_{ti} + \sum_{i=1}^n PSL_{pi} + \sum_{i=1}^n PSL_{0i} \quad (6)$$

S gledišta funkcioniranja prijevoznog sredstva, važno je analizirati sve faze njegovog kretanja. U ponavljajućem procesu prijevoza, elementi (L_t) i (L_p) se s vremenom apsolutno povećavaju gotovo proporcionalno. Istovremeno, udio prvog (L_{01}) i zadnjeg (L_{02}) elementa smanjuje se. Iskorištavanje prijeđenog puta dosad se u teoriji i praksi analiziralo pomoću dva ključna koeficijenta: (β) i (β_0). Koeficijent β ukazuje na učinkovitost prijeđenog puta u smislu prisutnosti tereta na vozilu, neovisno o tome koliko je nazivna nosivost

iskorištena. Koeficijent β_0 , s druge strane, predstavlja tzv. "koeficijent nultog prijeđenog puta". [5]

Koeficijent iskorištenja prijeđenog puta je udio prijeđenog puta pod opterećenjem u odnosu na ukupni prijeđeni put, pa će biti [5]:

Za jedno prijevozno sredstvo vrijedi izraz (7):

$$\beta = \frac{L_t}{L} \quad (7)$$

Za homogenu skupinu prijevoznih sredstava vrijedi izraz (8):

$$\beta = \frac{PSL_t}{PSL} \quad (8)$$

Za nehomogeni vozni park vrijedi izraz (9):

$$\beta = \frac{\sum_{i=1}^n PSL_{ti}}{\sum_{i=1}^n PSL_i} \quad (9)$$

Koeficijent nultog prijeđenog puta određuje udio nultoga prijeđenog puta u ukupnom prijeđenom putu, tj. može se iskazati s pomoću modela [5]:

Za jedno prijevozno sredstvo vrijedi izraz (10):

$$\beta_0 = \frac{L_0}{L} \quad (10)$$

Za homogeni vozni park vrijedi izraz (11):

$$\beta_0 = \frac{PSL_0}{PSL} \quad (11)$$

Za nehomogeni vozni park vrijedi izraz (12):

$$\beta_0 = \frac{\sum_{i=1}^n PSL_{0i}}{\sum_{i=1}^n PSL_i} \quad (12)$$

3.3. Pokazatelji brzine kretanja

Brzina kretanja prijevoznih sredstava ključan je faktor koji utječe na učinkovitost prijevoza. Možemo razlikovati četiri osnovne vrste brzine:

- Prometna brzina
- Prijevozna brzina
- Brzina obrta
- Eksploatacijska brzina [5]

Prometna brzina je brzina koju vozilo postiže dok obavlja radni zadatak, pri čemu se u obzir uzima samo vrijeme provedeno u vožnji (vrijeme rada motora), dok se ne uračunavaju zaustavljanja zbog usputnih zadržavanja koja nisu povezana s prometnim uvjetima. Srednja prometna brzina će prema tome biti [5]:

Za jedno prijevozno sredstvo vrijedi izraz (13):

$$V_p = \frac{L}{H_v} \text{ (km/h}_v\text{)} \quad (13)$$

Za homogeni vozni park vrijedi izraz (14):

$$V_p = \frac{PSL}{HPS_v} \text{ (km/h}_v\text{)} \quad (14)$$

Za nehomogeni vozni park vrijedi izraz (15):

$$V_p = \frac{\sum_{i=1}^n PSL_i}{\sum_{i=1}^n HPS_{vi}} \text{ (km/h}_v\text{)} \quad (15)$$

Prijevozna se brzina razlikuje od prometne jer se uzima u obzir i vrijeme potencijalnih zadržavanja kroz cijelu rutu bez obzira koji su ti razlozi zadržavanja. Međutim, u vremenu provedenom u prijevozu se ne ubrajaju vremena ukrcaja i iskrcaja u točkama relacije na kojoj je prijevoz obavljen. Prijevozna brzina je manja od prometne brzine ili jednaka njoj. [5]

Srednja prijevozna brzina će biti [5]:

Za jedno prijevozno sredstvo vrijedi izraz (16):

$$V_{pr} = \frac{L}{H_{pr}} \text{ (km/h)} \quad (16)$$

Gdje je:

L – udaljenost (km) između polaznih i završnih točaka između kojih je obavljen prijevoz

H_{pr} – sati trajanja prijevoza

Za homogeni vozni park vrijedi izraz (17):

$$V_{pr} = \frac{PSL}{HPS_{pr}} \text{ (km/h)} \quad (17)$$

Za nehomogeni vozni park vrijedi izraz (18):

$$V_{pr} = \frac{\sum_{i=1}^n PSL_i}{\sum_{i=1}^n HPS_{pri}} \text{ (km/h)} \quad (18)$$

Brzina obrta odnosi se na brzinu koju vozilo postiže tijekom obavljanja radnog zadatka, uzimajući u obzir vrijeme utovara i istovara, kao i eventualna zadržavanja i samu vožnju tijekom cijelog obrta. To je brzina koju prijevozno sredstvo postiže u linijskom prijevozu putnika ili tereta, obavljajući cikluse između dvaju terminala na liniji. [5]

Za jedno prijevozno sredstvo model vrijedi izraz (19):

$$V_o = \frac{L_o}{H_o} \text{ (km/h)} \quad (19)$$

Za homogeni vozni park to će biti vrijedi izraz (20):

$$V_0 = \frac{PSL_0}{PSH_0} \text{ (km/h)} \quad (20)$$

A za nehomogeni vozni park vrijedi izraz (21):

$$V_0 = \frac{\sum_{i=1}^n PSL_{0i}}{\sum_{i=1}^n PSH_{0i}} \text{ (km/h)} \quad (21)$$

Eksploatacijska brzina prijevoznog sredstva je prosječna brzina koju vozilo ostvari radeći na radnom zadatku tijekom ukupnoga radnog vremena. Prema tome [5]:

Za jedinicu voznog parka može se koristiti izraz (22):

$$V_e = \frac{L}{H_r} \text{ (km/h}_r\text{)} \quad (22)$$

Za homogeni vozni park može se koristiti izraz (23):

$$V_e = \frac{PSL}{PSH_r} \text{ (km/h}_r\text{)} \quad (23)$$

Za nehomogeni vozni park može se koristiti izraz (24):

$$V_e = \frac{\sum_{i=1}^n PSL_i}{\sum_{i=1}^n PSH_{ri}} \text{ (km/h}_r\text{)} \quad (24)$$

3.4. Pokazatelji nazivne nosivosti prijevoznih sredstava

Ključno pitanje koje se postavlja u vezi s učinkom prijevoznih sredstava je: postiže li se rezultat koji je moguć i očekivan? Optimalnim uvjetima smatraju se oni u kojima je ostvareno maksimalno iskorištenje, definirano izrazom (25) [5]:

$$U_{\max} = L_t * q_n \text{ (tkm)} \quad (25)$$

Gdje je:

q_n – nazivna nosivost prijevoznog sredstva

Ovi modeli bit će ispunjeni ako je prijevozno sredstvo optimalno opterećeno. U suprotnom, ostvarit će se manji učinak od mogućeg. Odstupanja u opterećenju, odnosno iskorištenju nazivne nosivosti u odnosu na nazivno opterećenje, mogu se mjeriti analizom koeficijenata (γ_s i γ_d) poznatih kao koeficijenti statičkog i dinamičkog iskorištenja. [5]

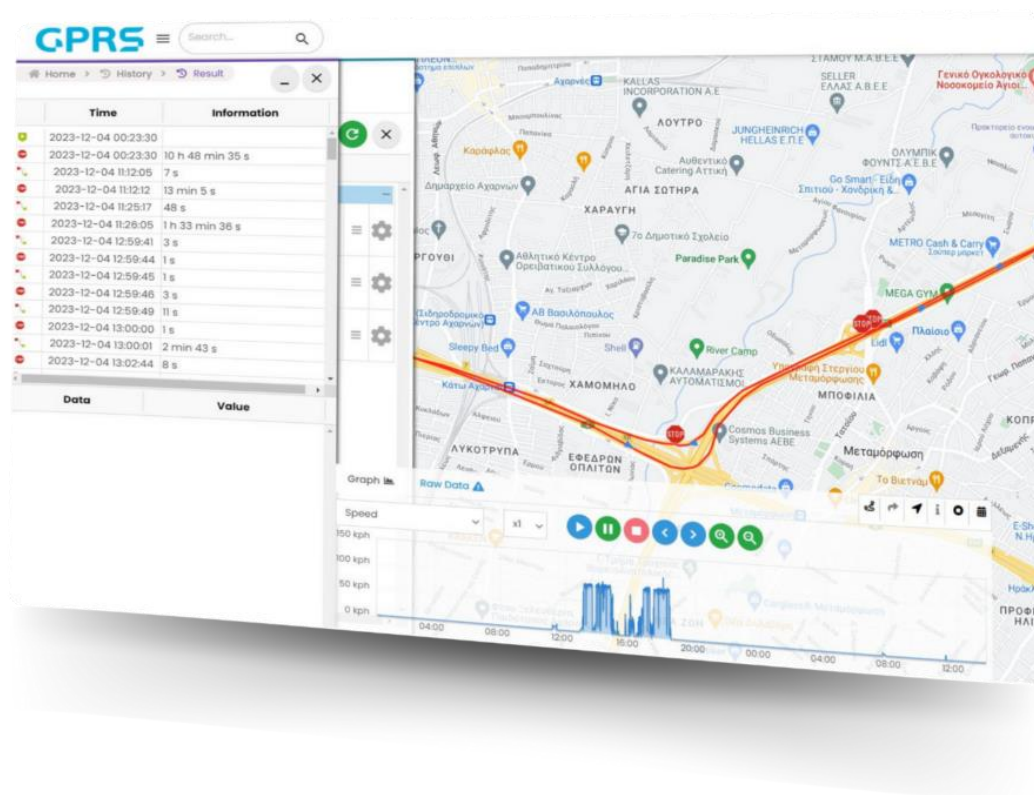
4. Specijalizirani softveri za optimizaciju ruta vozila

Postoje različiti softveri za optimizaciju rute vozila koje firme koriste kako bi se na rutama dostava smanjili troškovi maksimalno, te se maksimalno iskoristio kapacitet prijevoznih sredstava. Neki od takvih softvera su: Skytrack, Paragon, Omniopt [2].

4.1. Skytrack softver

Tvrtke za upravljanje voznim parkovima često koriste voznu telematiku i softver za upravljanje voznim parkovima, poput Skytrackove GPRS platforme, kako bi povećale učinkovitost flote i smanjile operativne troškove. [6]

Skytrack su osnovali iskusni stručnjaci iz industrije s višegodišnjim iskustvom u razvoju softverskih sustava, telemetrije, integriranih računalnih sustava, komunikacijama te projektiranju i implementaciji baza podataka. Ključna prednost Skytracka leži u činjenici da njihov specijalizirani tim samostalno razvija softver za sve usluge koje pruža, što nam omogućava da se lako prilagodimo potrebama svakog klijenta i pružimo optimalna rješenja. Skytrack se primarno bavi GPS sustavima za praćenje i upravljanje voznim parkovima, a tvrtka je ubrzo postala vodeća u Grčkoj u ovom području. Skytrack sustavi idealni su kako za pojedince koji žele pratiti svoja vozila, tako i za tvrtke svih veličina koje nastoje unaprijediti korisničku uslugu i svoje operacije u stvarnom vremenu, osiguravajući maksimalnu učinkovitost uz minimalne troškove. [6]



Slika 4: Primjer izgleda korisničkog sučelja

Izvor: [6]

4.2. Paragon softver

Paragon je napredan softver koji omogućuje tvrtkama da optimiziraju rute za svoje vozne parkove. Optimizacija ruta pomaže u smanjenju troškova, poboljšanju efikasnosti, i povećanju zadovoljstva korisnika. Kroz sofisticirane algoritme, Paragon može izračunati najkraće i najbrže rute, uzimajući u obzir faktore poput prometa, vremenskih uvjeta, ograničenja na cesti, i specifičnih zahtjeva klijenata. [7]

Ovaj alat ne samo da omogućuje brže i preciznije planiranje ruta, već i pomaže u smanjenju emisije CO₂, što ga čini ekološki prihvatljivim rješenjem. Paragon Route Optimisation također omogućuje dinamičku optimizaciju, prilagođavajući rute u stvarnom vremenu ako dođe do promjena na cesti ili u narudžbama. [7]

Korištenjem Paragona, tvrtke mogu postići bolju iskorištenost vozila, smanjiti broj kilometara po isporuci, i poboljšati cjelokupno poslovanje. [7]

Paragon koristi stvarne podatke o performansama flote za optimizaciju upravljanja dostavnim operacijama. S ovim alatom možete u svakom trenutku kreirati izvješća – bilo da se radi o HTML-u, e-mailu ili Crystal Reports formatu – i brzo prepoznati i riješiti probleme koji mogu utjecati na plan isporuka. Ovakav pristup temeljen na trenutnim podacima omogućuje donošenje informiranih odluka u stvarnom vremenu, poboljšavajući učinkovitost vašeg transportnog sustava. [7]

4.3. OmniOpt softver

OmniOpt Route Optimisation softver je napredna platforma dizajnirana za optimizaciju ruta u logistici i transportu, koja pomaže tvrtkama u smanjenju operativnih troškova i povećanju učinkovitosti. Korištenjem sofisticiranih algoritama, OmniOpt analizira različite faktore poput prometa, vremenskih uvjeta, vremenskih prozora isporuke, i ograničenja na cesti kako bi izračunao najbrže i najekonomičnije rute. [8]

Ovaj softver omogućuje dinamičko prilagođavanje ruta u stvarnom vremenu, osiguravajući da vaši vozači uvijek koriste optimalne putanje, čak i kada dođe do neočekivanih promjena. To ne samo da poboljšava točnost isporuka, već i smanjuje potrošnju goriva, emisije štetnih plinova, te ukupni trošak održavanja voznog parka. [8]

OmniOpt Route Optimisation nudi jednostavno sučelje koje omogućuje korisnicima brzo i lako planiranje, praćenje i prilagođavanje ruta. Integracija s postojećim sustavima unutar tvrtke je besprijekorna, što ga čini idealnim rješenjem za tvrtke svih veličina koje traže način da unaprijede svoje logističke operacije i poboljšaju korisničko iskustvo. [8]

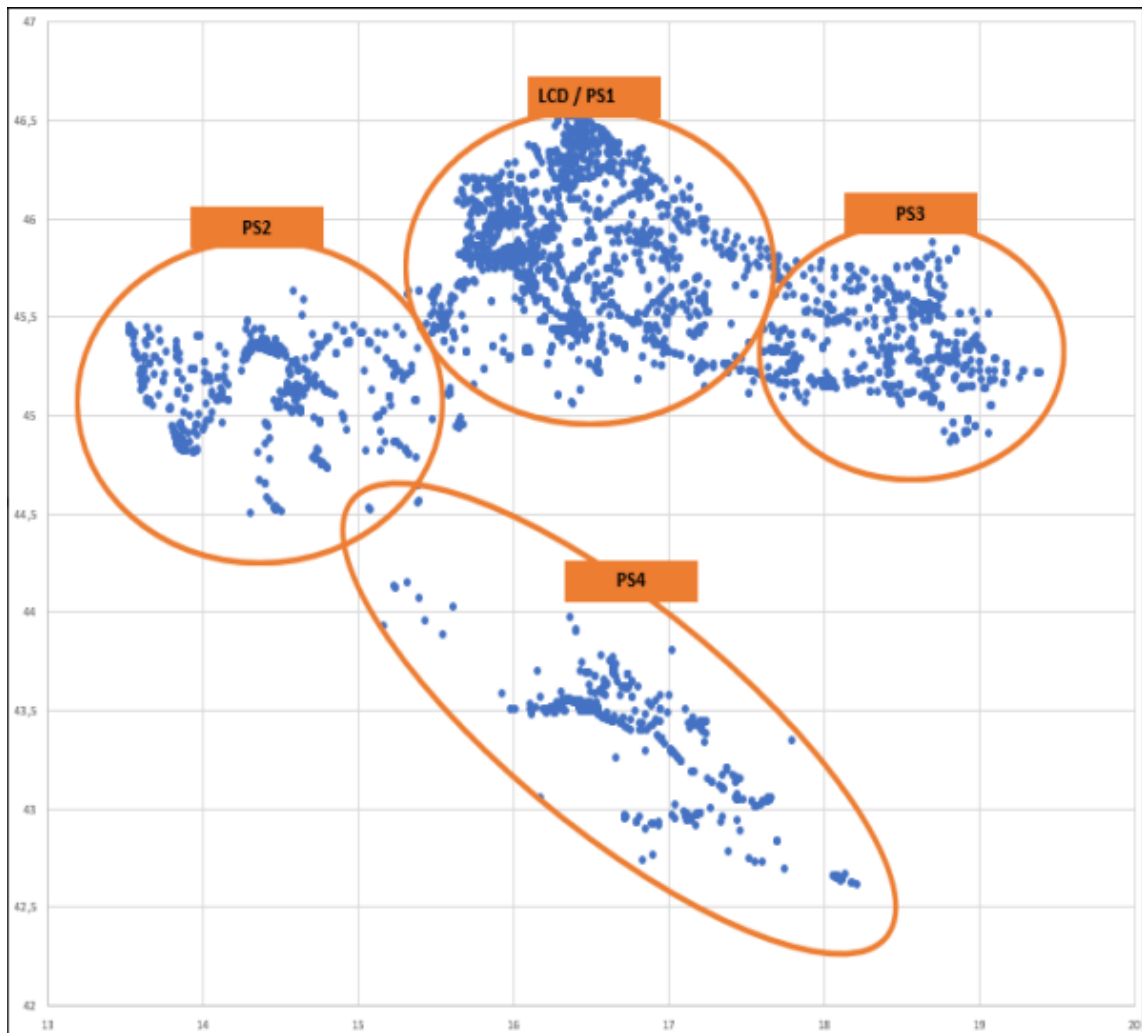
5. Studija slučaja: Analiza transportne mreže u kapilarnoj distribuciji tvrtke RALU logistika

Ralu logistika koristi logističko distributivni centar (LDC) u Dugom Selu kao glavnu infrastrukturu za skladištenje robe. Iz tog LDC-a roba se transportira po svim regijama Hrvatske i također izvan Hrvatske. Za ostale regije Hrvatske koje dijele na četiri dijela: Zagreb, Slavonija, Istra i Kvarner, Dalmacija. Ralu logistika koristi prekrcajna skladišta kako bi smanjili troškove transporta i olakšali prijevoz kroz cijelu Hrvatsku. Posluje sa četiri prekrcajna skladišta:

- Prekrcajno skladište u Dugom Selu (U sklopu LDC-a)
- Prekrcajno skladište u Osijeku
- Prekrcajno skladište u Rijeci
- Prekrcajno skladište u Splitu

U makrodistribuciji, roba se teškim teretnim vozilima (40t) prevozi iz LDC-a u Rugvici do prekrcajnih skladišta u Osijeku, Rijeci i Splitu, te nakon što se roba doveze, prekrcava se i raspoređuje za kapilarnu distribuciju koja se odvija sa manjim teretnim vozilima, koji su više pogodni za gradske vožnje, te je također zbog prekrcajnog skladišta roba raspoređena u manjim kamionima koji su navođeni sa unaprijed određenim rutama kako bi učinkovitost voznog parka bila optimalna, te također troškovi manji.

Svako prekrcajno skladište (Uključujući i LDC u Dugom Selu) ima vlastitu flotu vozila koji služe kako bi osigurali sigurno dostavljanje robe na sve lokacije na koje Ralu logistika dostavlja robu svojim poslovnim partnerima. Na slici 5. je karta koja točkama označava sve lokacije dostave robe u hrvatskoj, za sve četiri regije. Za ovu studiju slučaja koriste se podaci iz razdoblja Listopad-Prosinac 2023. godine.

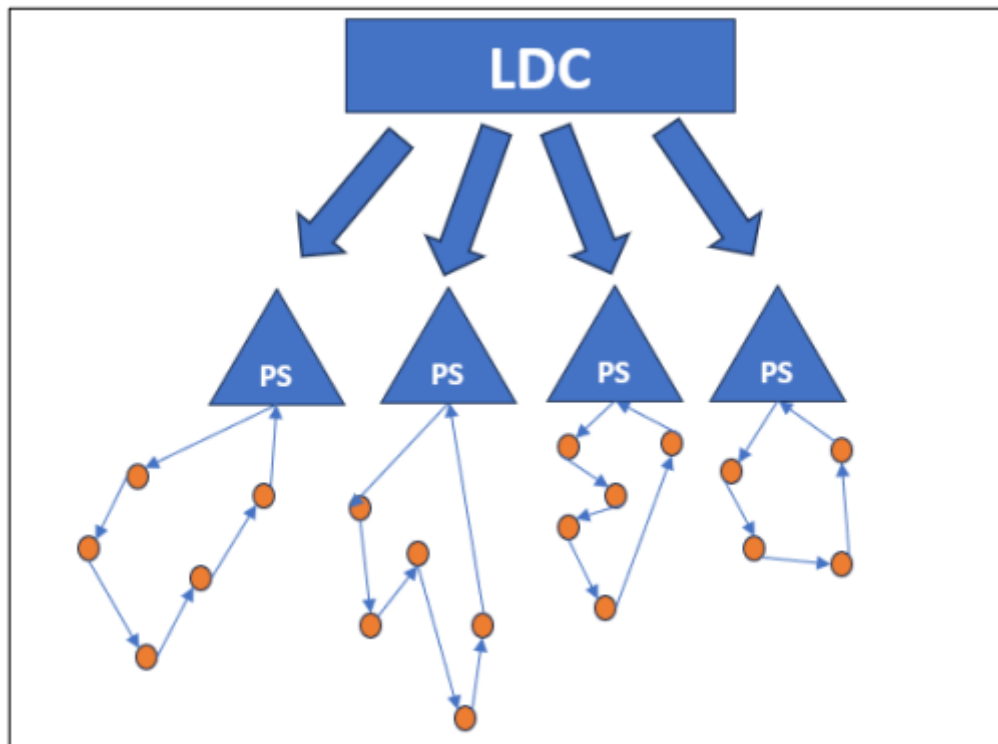


Slika 5: Sve lokacije dostave u Republici Hrvatskoj podijeljene po regijama

Izvor: [2]

Distribucijski centar treba isporučiti robu kupcima kroz prekrajna skladišta unutar određenog vremenskog okvira. U sustavu, distribucijski centar, prekrajna skladišta i rute između njih čine prvu fazu logističke mreže grada. Prekrajna skladišta, kupci i rute između njih čine drugu fazu logističke mreže grada.

Kao što je prikazano na slici 6, određuju se lokacije prekrajnih skladišta, te se korigiraju rute sukladno izmjenama lokacija unutar transportne mreže u dvostupanjskoj distribucijskoj mreži pod uvjetom minimalnih ukupnih troškova. [9]



Slika 6: Shema lokacijskog rutiranja u dvoešalonskoj distribuciji

Izvor: [2]

Vozni park Ralu logistike sastoji se od 140 teških teretnih vozila (40t) za međunarodni transport, od kojih se dio vozila svakodnevno koristi za makrodistribuciju robe između LCD Rugvice i prekrcajnih skladišta u ostalim hrvatskim regijama.

Za domaći transport se koristi 50 vozila za kapilarnu distribuciju raspoređenih na prekrcajna skladišta na sljedeći način:

- Zagreb: 20 vozila
- Rijeka: 10 vozila
- Split: 10 vozila
- Osijek: 10 vozila

U domaćem transportu se koriste IVECO Eurocargo ML 100 E18 i IVECO Daily 70 C 15, dok se u međunarodnom transportu koriste kamioni MAN TGX 18.480. Na slici 7. je prikazan kamion za međunarodne Transporte.



Slika 7: Kamioni MAN TGX 18.480

Izvor: <https://www.man.eu/hr/hr/o-nama/tvrtka/vijesti-i-priopcenja/news/ralu-logistika-obnovila-vozni-park-kamionom-godine-2021.-33930.html>

Koristeći programski alat Excel, računa se mjesečni trošak za taj tromjesečni period kojeg pokrivaju podaci.

U Tablici 1. su prikazani broj dostava i broj narudžbi po regijama iz tromjesečnog razdoblja od listopada 2023. do prosinca 2023. [2]

Tablica 1: Broj lokacija i broj dostava

Regija	Broj lokacija dostave	Ukupan broj dostava
Zagreb i središnja Hrvatska	2329	25657
Istra i Kvarner	673	7998
Slavonija	949	12687
Dalmacija	623	6738
Ukupno	4574	53080

Izvor: Izradio autor

6. Prijedlog optimiranja postojeće transportne mreže i očekivani učinci

Prijedlog optimiranja postojeće transportne mreže formuliran je temeljem rezultata studije slučaja, evaluacije postojećih lokacija prekrcajnih skladišta primjenom modificirane metode centroida, te kvantifikacijom očekivanog unaprijeđenja po kriteriju smanjenja transportnih troškova, što uključuje dva osnovna koraka:

- Određivanje optimalne lokacije prekrcajnih skladišta,
- Uspoređivanje transportnih troškova postojeće transportne mreže sa simuliranim troškovima optimirane transportne mreže.

6.1. Određivanje lokacije prekrcajnih skladišta

Za određivanje optimalne lokacije prekrcajnog skladišta primjenjuje se modificirana metoda centroida koja koristi dva pondera: frekvenciju dolaska na lokaciju (učestalost obilaska odnosno posjeta) i količinu isporučene robe:

1. Frekvencija dolaska na lokaciju (Ponder 1): Ovaj ponder uzima u obzir koliko često je potrebno dostaviti robu na određeno mjesto. Na primjer, ako je neka lokacija česta destinacija za distribuciju, bez obzira na količinu isporučene robe, postavljanje skladišta u blizini te lokacije može učiniti logistički proces učinkovitijim. To smanjuje ukupno vrijeme dostave jer vozila provode manje vremena na putu do učestalih destinacija. [2]
2. Količina isporučene robe (Ponder 2): Ovaj ponder uzima u obzir masu ili volumen robe koja se dostavlja na određenu lokaciju. Iako vozila moraju dostaviti robu bez obzira na njezinu masu, količina može utjecati na kapacitet vozila i potrebne resurse za rukovanje i dostavu. Lokacije s većim količinama isporučene robe mogu imati veći utjecaj na ukupne logističke troškove, pa bi skladišta mogla biti smještena bliže tim lokacijama radi učinkovitije distribucije. [2]

U ovom slučaju, ponder 1, koji se odnosi na frekvenciju dolaska na lokaciju, smatra se važnijim u odnosu na ponder 2, koji se odnosi na količinu isporučene robe. Standardna metoda centroida je modificirana uvođenjem parametra alfa (α), koji regulira omjer važnosti pojedinog pondera, kako je prikazano u izrazu (26).

$$Pqfi = \alpha \cdot Pqi + (1 - \alpha) \cdot Pfi \quad \forall i = 1, \dots, n; 0 \leq \alpha \leq 1 \quad (26)$$

Gdje je:

$Pqfi$ = kumulativni ponder

Pqi = ponder ostvarenog prometa (kg)

Pfi = ponder frekvencije obilaska

α = parametar omjera

n = ukupni broj dostavnih lokacija

Za izraz (26) frekvencija dolazaka ima znatno dominantniju ulogu od popunjenosti kamiona koji se voze. Frekvencija dolazaka vozila je već određena, stoga skladišta primaju robu bez obzira na popunjenost kamiona. Koeficijent alfa se koristi u izrazu kako bih se odredila važnost frekvencije dolaska na lokaciju. U slučaju ovog zadatka postavljen je na 0.3 (Iz razloga što se daje veći značaj frekvenciji dolaska nego popunjenosti kamiona). [2]

Ovaj pristup naglašava važnost učestalih potreba za dostavom na određene lokacije pri odabiru optimalnog mjesta za skladište. Što je češća potreba za dostavom, to će ta lokacija imati veći utjecaj na donošenje odluka. [2]

Postupak određivanja optimalne lokacije prekrcajnog skladišta (PS) uključuje sljedeće korake:

- Učitavanje GPS koordinata postojećih objekata (prodajnih mjesta, kupaca...) koje treba opskrbiti iz određenog prekrcajnog skladišta;
- Definiranje prometa za svaku lokaciju (količina robe u kilogramima);
- Definiranje frekvencije posjeta svakoj lokaciji;
- Izračun pondera GPS koordinata postojećih objekata (dostavnih mjesta) na temelju ostvarenog prometa (Pqi) i frekvencije posjeta (Pfi), koristeći izraze (27) i (28). [2]

$$Pqi = \frac{qi}{\sum_1^n qi} \quad (27)$$

$$Pfi = \frac{fi}{\sum_1^n fi} \quad (28)$$

Gdje je:

qi = ostvareni promet (kg)

fi = frekvencija obilaska

n = ukupni broj dostavnih lokacija

- Izračun kumulativnog pondera ($Pqfi$) prema izrazu (26) te dobivanje GPS koordinata optimalne lokacije prekrcajnog skladišta prema formulama (29) i (30), uz promjenu parametra α unutar raspona [0,1]. [2]

$$PSx = \sum_1^n xi * Pqfi \quad (29)$$

$$PSy = \sum_1^n yi * Pqfi \quad (30)$$

Gdje je:

PSx - optimalna x koordinata prekrcajnog skladišta (zemljopisna dužina)

PSy - optimalna y koordinata prekrcajnog skladišta (zemljopisna širina)

Pqfi - kumulativni ponder

n - ukupni broj dostavnih lokacija. [2]

Vrijednost parametra α ne mora biti jednaka za sve zone. Različite zone mogu imati različite karakteristike koje utječu na troškove transporta, poput udaljenosti, prometnih gužvi ili zahtjeva kupaca. Stoga, procjena vrijednosti parametra α trebala bi biti prilagođena svakoj zoni kako bi se što preciznije odredili optimalni položaji prekrcajnih skladišta. [2]

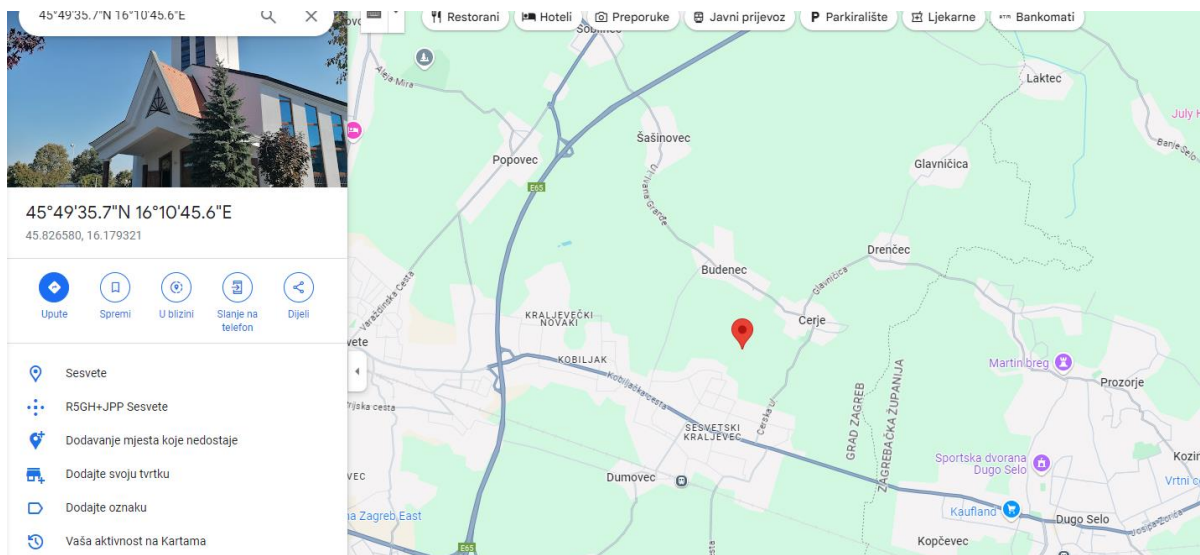
Korištenje iskustvenih podataka za određivanje parametra α omogućuje prilagodbu transportne strategije specifičnim zahtjevima i uvjetima svake zone, što može rezultirati učinkovitijim i ekonomičnijim transportnim operacijama. [2]

Analizom podataka za listopad, studeni i prosinac 2023. godine, možemo upotrijebiti izraz (25.) kako bi izračunali optimalne lokacije za svako prekrcajno skladište. U kombinaciji sa programskim alatom Excel, koriste se i Google karte, preko kojih se prikazuju lokacije i udaljenosti postojećih prekrcajnih skladišta od optimalnih lokacija koje se dobiju izračunom.

6.1.1. Zagreb i središnja Hrvatska

Za Zagreb i središnju Hrvatsku je zaduženo prekrcajno skladište unutar LDC-a koji se nalazi u Dugom Selu.

Ubacivanjem podataka za broj dostava i količine robe prevezene prema središnjoj Hrvatskoj dobiju se zemljopisna dužina (45.82658044) i zemljopisna širina (16.17932133). Ta dva podatka se pretvore u koordinate te se time dobije optimalna lokacija. U ovom slučaju lokacija se nalazi u Sesvetama (Slika 8.).

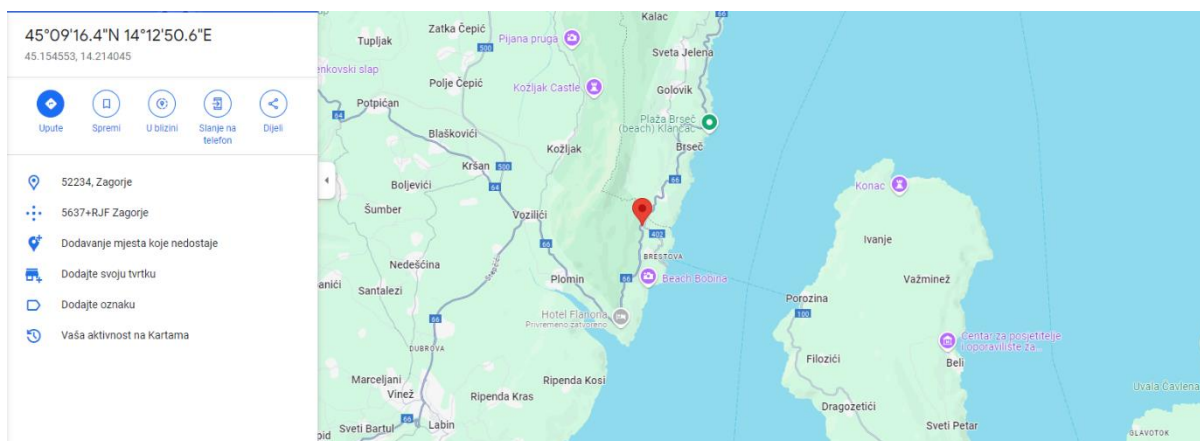


Slika 8: Predložena optimalna lokacija za prekrajno skladište za središnju Hrvatsku

6.1.2. Istra i Kvarner

Za Istru i Kvarner je zaduženo prekrajno skladište koje se nalazi u Rijeci unutar gospodarske zone. Analizom podataka za broj dostava i količine robe prevezene prema Istri i Kvarneru dobijemo zemljopisnu dužinu (45.15455342), te zemljopisnu širinu (14.21404505). Kada se ta dva podatka pretvore u koordinate, dobije se optimalna lokacija, u ovom slučaju u blizini mjesta Brestova (Slika 9.).

Optimalna lokacija u ovoj gravitacijskoj zoni bitno odstupa od postojeće lokacije u Rijeci, te će stoga u prijedlogu optimiranja biti predložena **promjena lokacije prekrajnog skladišta**.

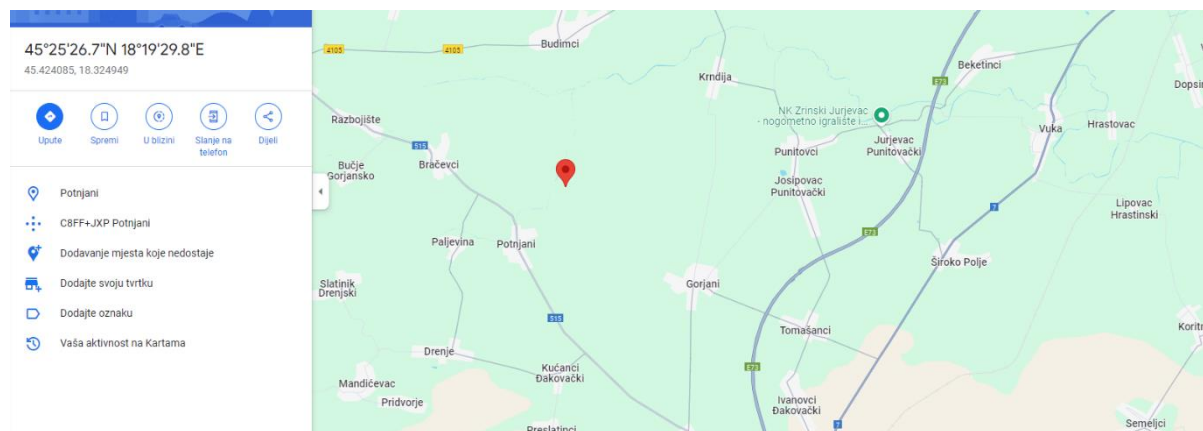


Slika 9: Predložena optimalna lokacija za prekrajno skladište za Istru i Kvarner

6.1.3. Slavonija

Za Slavoniju je zaduženo prekrajno skladište koje se nalazi u Osijeku u ulici Ariša.

Analizom dobivenih podataka frekvencije dostava te količinom robe, dobije se zemljopisna dužina (45.42408491), te zemljopisna širina (18.3249487). Od te dvije brojke dobijemo optimalnu lokaciju kod mjesta Potrnjani u slavonsiji.

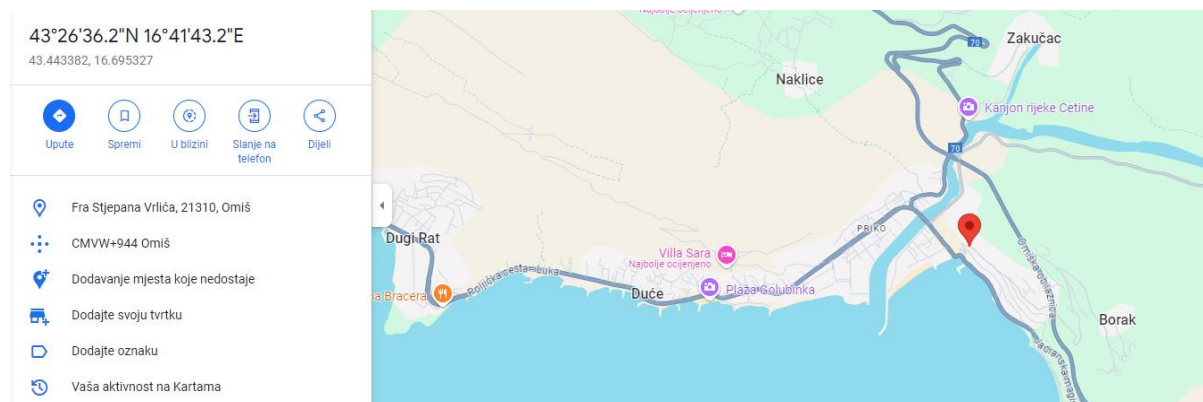


Slika 10: Predložena optimalna lokacija za prekrajno skladište za Slavoniju

6.1.4. Dalmacija

Za dalmaciju je zaduženo prekrajno skladište koje se nalazi u Vranjicu (Split), na adresi Vranjički put 8.

Analizom dobivenih podataka frekvencije dostava te količinom robe, dobije se zemljopisna dužina (43.45079911), te zemljopisna širina (16.64306749). Na temelju dobivenih brojeva odredi se optimalna lokacija koja se nalazi u Omišu (Slika 11.)



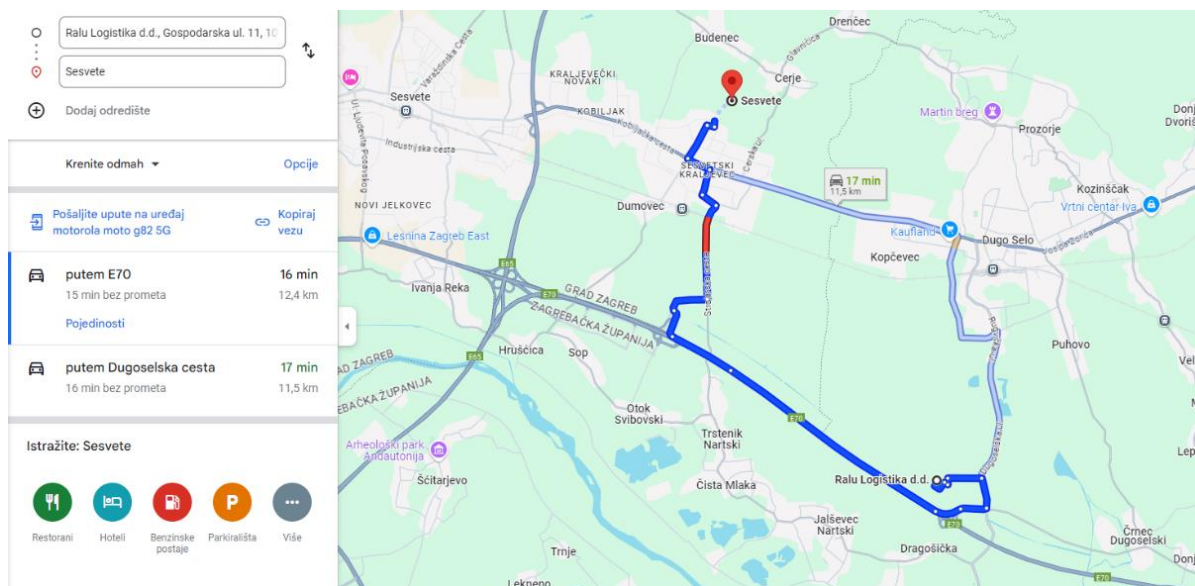
Slika 11: Predložena optimalna lokacija za prekrajno skladište za Dalmaciju

6.2. Analiza dobivenih rezultata u lociranju prekrajnih skladišta

Dobiveni rezultati prikazuju lokacije koje se prema primijenjenoj metodi smatra optimalnim. S obzirom da se sa ovom metodom uzima u obzir lokacije svih dostavnih mjesta, te se prema tome odabire optimalna lokacija, ona može odstupati određen broj kilometara od optimalne točke. Razlog tome jest infrastruktura na lokacijama koje se dobiju izračunom. Prekrajno skladište mora biti dobro prometno povezano kako bi se

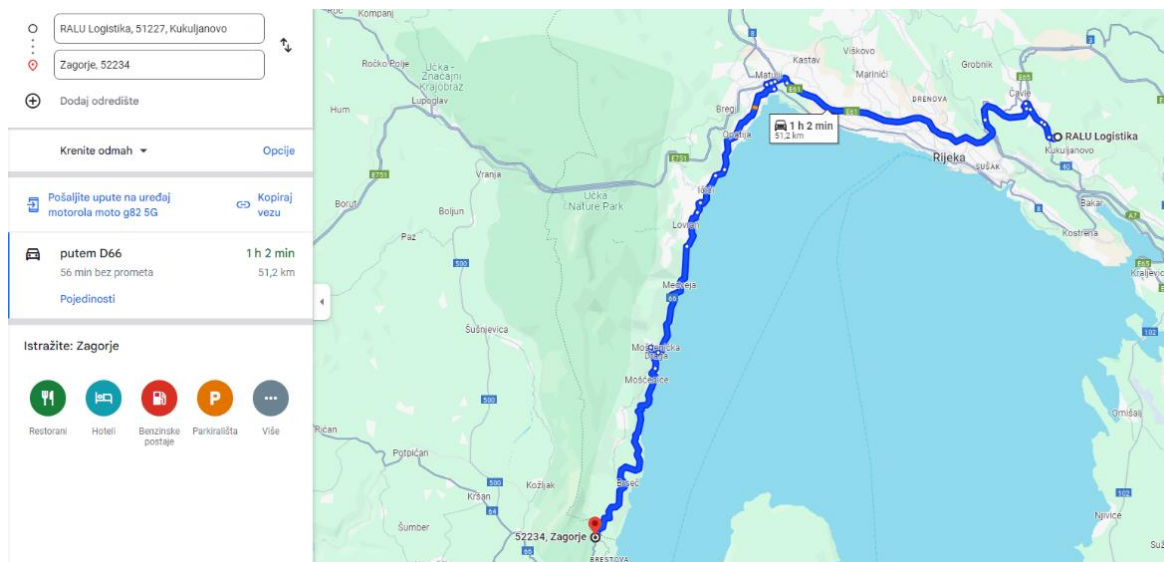
smanjili troškovi transporta, te kako bi kamioni imali više opcija za odabir ruta kojima trebaju voziti tokom dana.

Na slici 12. je udaljenost dvaju lokacija, koja iznosi 12.4 km. Trenutna lokacija se prema tome nalazi u optimalnom položaju s obzirom na analiziranu lokaciju.



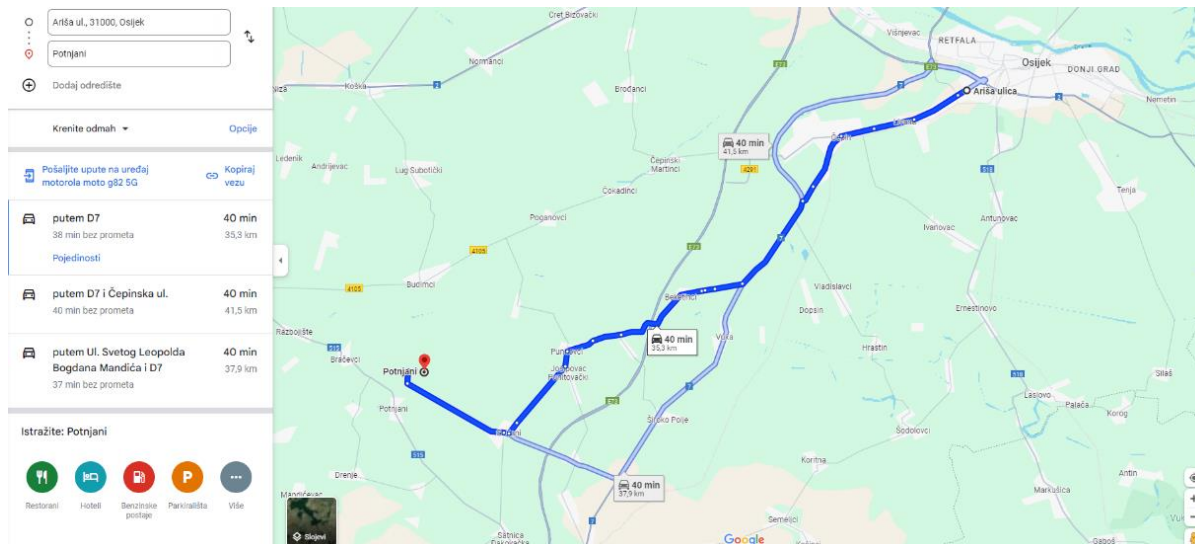
Slika 12: Udaljenost između predložene optimalne lokacije i trenutnog prekrcajnog skladišta za središnju Hrvatsku

Slika 13. prikazuje udaljenost optimalne predložene lokacije od trenutne lokacije prekrcajnog skladišta za istru i kvarner. S obzirom da je ta udaljenost oko 51 kilometar, ovdje bi se dalo istraživati dalje, te provoditi dodatne analize za utvrđivanje isplativije lokacije prekrcajnog skladišta za ovu regiju. To obuhvaća istraživanje potencijalnih troškova vezanih za selidbu, računanje troškova za dostave na postojeće lokacije, te također za troškove osoblja, jer selidba prekrcajnog skladišta u drugo mjesto, može zahtjevati zapošljavanje potpuno novog osoblja. U budućem analiziranju u ovom radu fokus će biti na transportnim troškovima sa obje lokacije, te usporedbom tih troškova kako bi se utvrdilo koja lokacija je pogodnija, tj. u kojoj lokaciji bi bila veća ušteda na transportu robe do krajnjih korisnika.



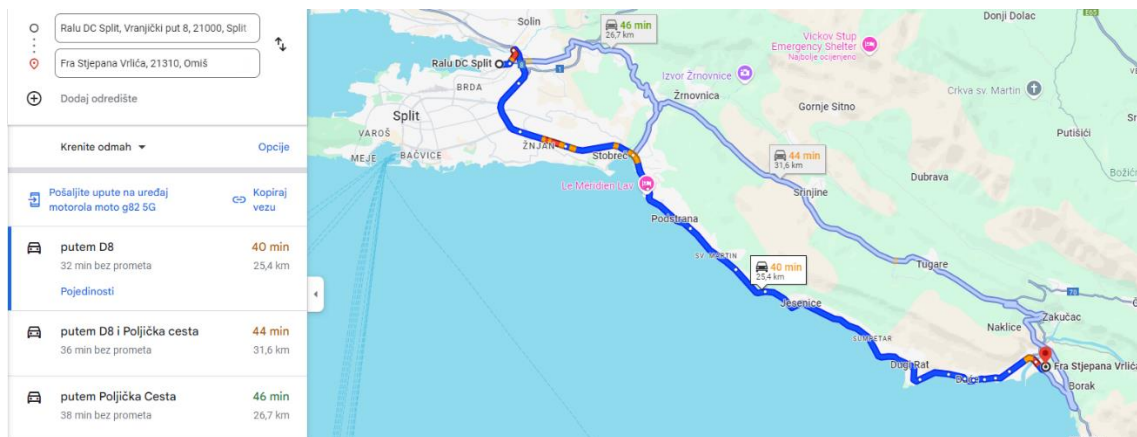
Slika 13: Udaljenost između predložene optimalne lokacije i trenutnog prekrajnog skladišta za Istru i Kvarner

Slika 14. prikazuje udaljenost prekrajnog skladišta u Osijeku od predložene optimalne lokacije za slavoniju, koja iznosi 35 kilometara. To nije velika udaljenost da bi previše utjecala na veličinu troškova. Osijek je također grad sa puno dostavnih lokacija, koje također imaju visoku frekvenciju dostava. Trenutna lokacija prekrajnog skladišta se prema tome nalazi u optimalnom položaju u odnosu na položaj analizirane lokacije.



Slika 14: Udaljenost između predložene optimalne lokacije i trenutnog prekrajnog skladišta za Slavoniju

Slika 15. prikazuje udaljenost predložene optimalne lokacije od trenutne lokacije prekrajnog skladišta za dalmaciju, koje se nalazi u Splitu. Udaljenost iznosi 21 kilometar, te je unutar dozvoljenog odstupanja od izračunate lokacije. Prema tome prekrajno skladište u Splitu u optimalnom položaju u odnosu na analiziranu lokaciju u Omišu.



Slika 15: Udaljenost između predložene optimalne lokacije i trenutnog prekrajnog skladišta za Dalmaciju

Evaluacijom postojećih lokacija prekrajnih skladišta primjenom modificirane metode centroida, zaključuje se kako jedino lokacija prekrajnog skladišta za Istru i Kvarner bitno odstupa od optimalne lokacije, dok su lokacije prekrajnih skladišta u ostalim gravitacijskim zonama zadovoljavajuće.

6.3. Usporedba transportnih troškova za Istru i Kvarner

Budući da se u regiji Istre i Kvarnera prekrajno skladište ne nalazi u optimalnoj poziciji prema modificiranoj metodi centroida, trebali bi se izračunati troškovi trenutne transportne mreže za te regije, te također mogući transportni troškovi sa novom lokacijom prekrajnog skladišta. Ovakvi izračuni pomažu u donošenju odluke za lociranje prekrajnog skladišta, s obzirom da su troškovi transportnih mreža jedan od bitnijih kriterija kod odlučivanja odakle će kapilarna distribucija započeti. Kad se troškovi izračunaju, uspoređuju se međusobno kako bi se vidjelo koji su jeftiniji.

6.3.1. Transportni troškovi postojeće transportne mreže za Istru i Kvarner

Transportni troškovi trenutne mreže, koji se smatraju varijabilnim, uključuju:

- cijenu cestarina
- cijenu goriva
- cijenu prijevoza trajektom na otoke

Ralu logistika raspolaže sa deset kamiona za kapilarnu distribuciju u Istri i Kvarneru. Tih deset kamiona je raspoređeno da pokrije sve dostavne lokacije u ovoj regiji. Naravno dostavne lokacije nisu svaki dan iste, nekad se dostavlja roba na pojedine dok nekad na neke druge. Zato će u ovom primjeru biti uzete lokacije sa najviše dolazaka prema povijesnim podacima. Za prikazane rute vrijedi da kamion također pokriva i lokacije unutar zadane rute. Kada dostavlja robu u Pulu, njemu se pridodaju i lokacije na putu do Pule. Te lokacije nisu iste svaki dan, te se neke posjećuje rijetko, a na nekima su dostave

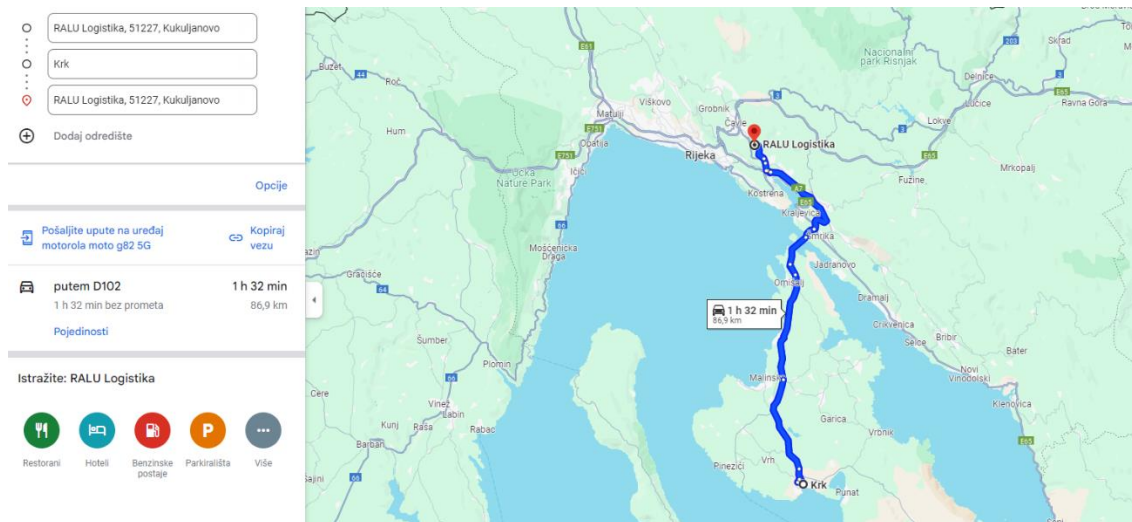
učestalije. Stoga je dodano odstupanje na udaljenosti koje kamion prijeđe od 15 %. To odstupanje služi da pokrije moguće transportne troškove od lokacija koje su usputne, te manje frekventne od glavnih lokacija, ali koje se i dalje obilaze po potrebi. U Tablici 2. se nalazi raspored svih 10 kamiona te u kojem smjeru voze dostave. Prosječna potrošnja goriva ovih kamiona je 24 l/100 km, te se na toj potrošnji goriva bazira izračun troškova vezanih za gorivo. Cijene trajekta se gledaju kao izvansezonske, jer su uzeti povijesni podaci iz listopada, studenog i prosinca.

Tablica 2: Smjer kretanja kamiona u kapilarnoj distribuciji

1 kamion	Rijeka	Krk
2 kamion	Rijeka	Cres
3 kamion	Rijeka	Labin
4 kamion	Rijeka	Umag
5 kamion	Rijeka	Pula
6 kamion	Rijeka	Rovinj
7 kamion	Rijeka	Poreč
8 kamion	Rijeka	Pazin
9 kamion	Rijeka	Ogulin
10 kamion	Rijeka	Senj

Izvor: Izradio autor

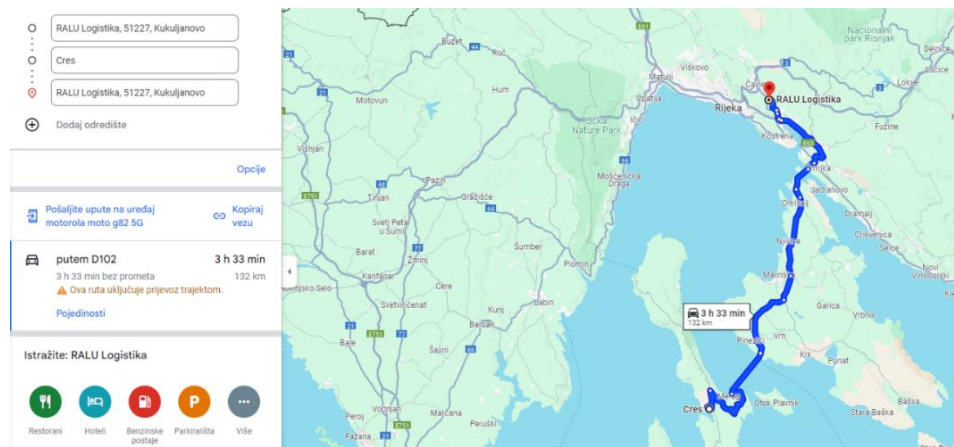
Na Slici 16. je prikazana ruta prvog kamiona koji obilazi otok Krk. Ukupni troškovi ove rute sastoje se od cijene goriva. Kamion koji ima više od 5 tona nosivosti izvansezonsku kartu plaća 33,58 eura po jednoj plovidbi.



Slika 16: Ruta prvog kamiona

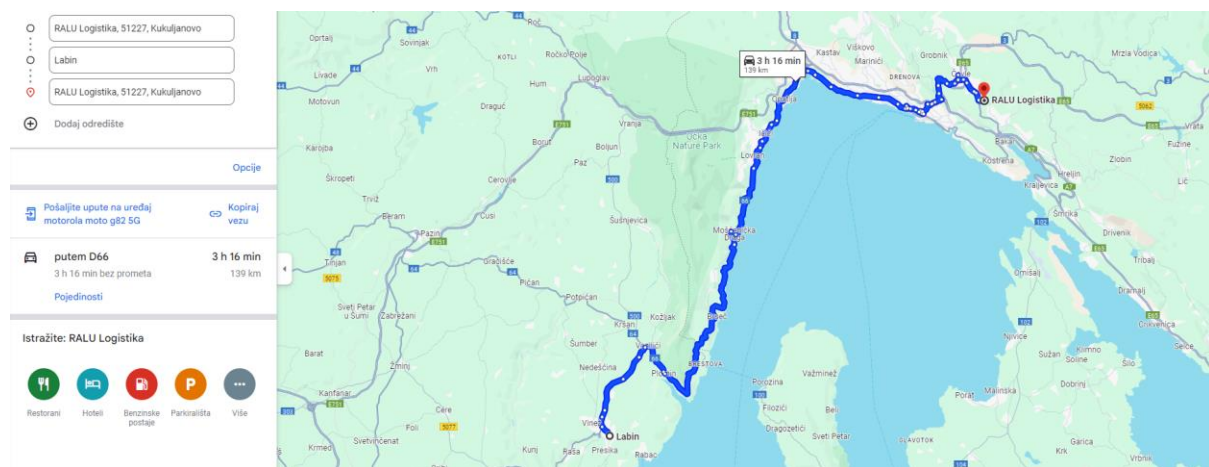
Kamion prijeđe 86,9 km , te nakon dodavanja 15 % odstupanja na tu rutu zbog manje frekventnih lokacija, doda se na rutu još 15 kilometara, što rutu čini dugačkom 102 kilometra.

Na Slici 17. je prikazana ruta koja obilazi otok Cres te istočni dio Istre. Ukupni troškovi ove rute sastoje se od potrošnje goriva i troškova trajekta. Nakon što se na rutu koja je dugačka 132 km 15 % odstupanja, dobije se 155 km ukupnog putovanja.



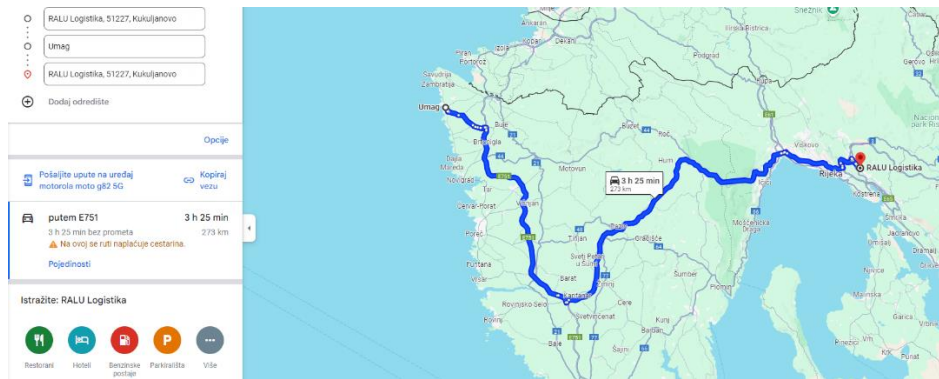
Slika 17: Ruta drugog kamiona

Na Slici 18. je prikazana ruta trećeg kamiona koji je zadužen za Labin. Taj kamion nema troškove autoceste.. Na dužinu rute od 139 km mu je nadodano 25 km, te stoga njegova ruta ukupno iznosi 164 km.



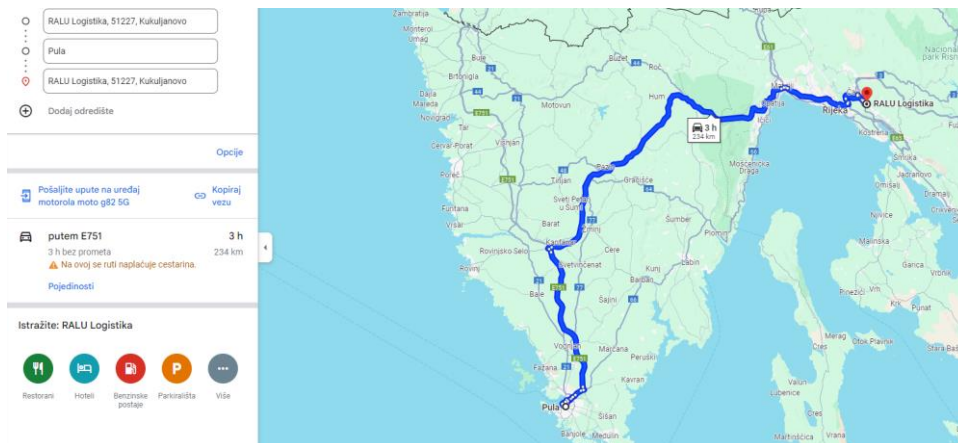
Slika 18: Ruta trećeg kamiona

Na Slici 19. je prikazana ruta četvrtog kamiona koji je zadužen za prijevoz do Umaga i svih okolnih mjesta usput. Od troškova su uključene cestarine i potrošnja goriva. Na rutu od 273 km, nadodanih 15 % odstupanja iznosi 321 km ukupno.



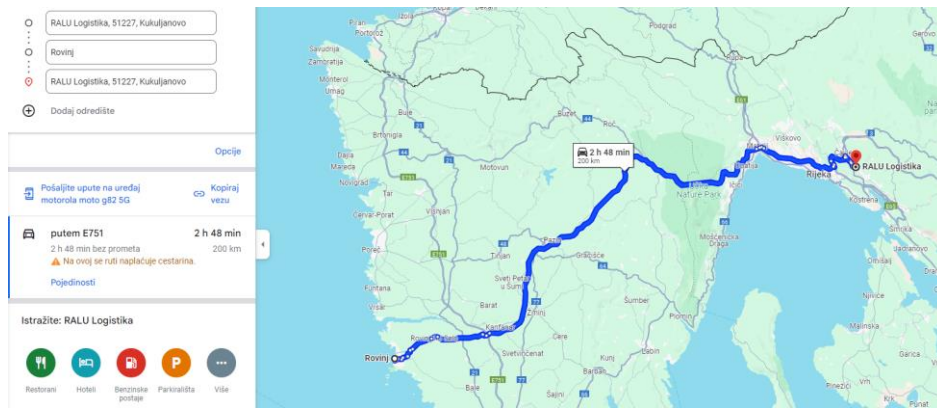
Slika 19: Ruta četvrtog kamiona

Na Slici 20. je prikazana ruta petog kamiona. koji prevozi robu u smjeru Pule te usputno na sve lokacije zadane u ruti. Od troškova su uključene cestarine i potrošnja goriva. Na rutu od 234 km je dodano 41 km, nakon dodanih 15 % odstupanja, te stoga ruta iznosi 275 km.



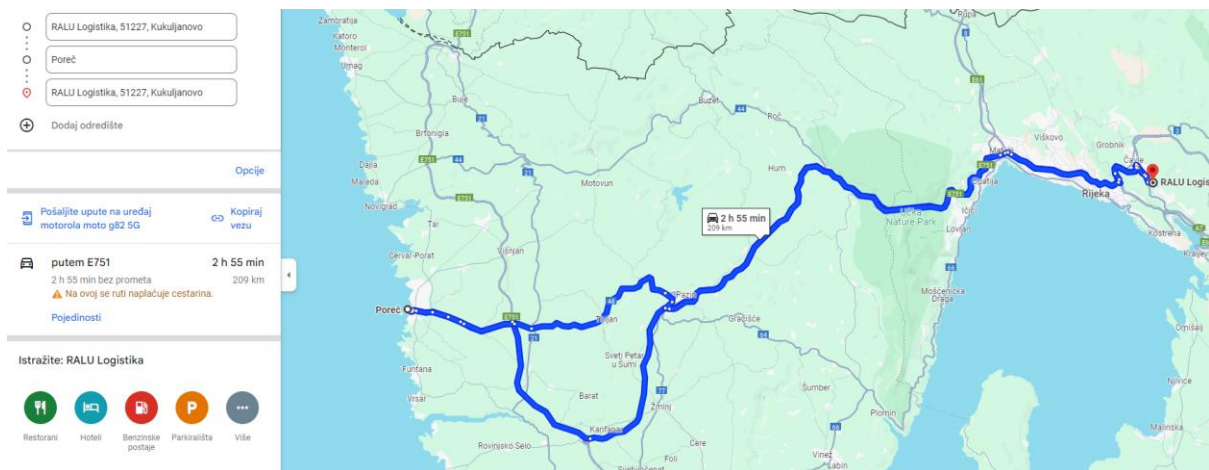
Slika 20: Ruta petog kamiona

Na Slici 21. je prikazana ruta šestog kamiona. koji prevozi robu u smjeru Rovinja. Od troškova su uključene cestarine i troškovi goriva. Na rutu od 200 km se doda 15 % odstupanja, te se dobije ukupna dužina rute 235 km.



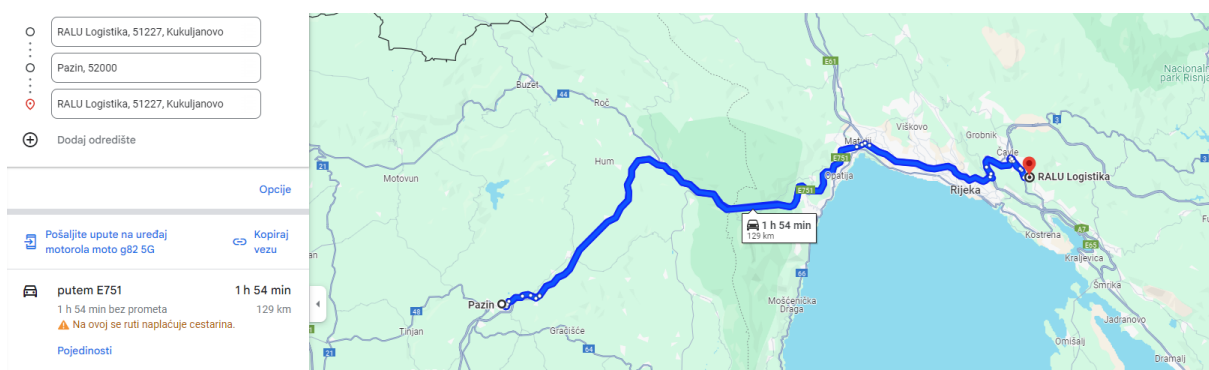
Slika 21: Ruta šestog kamiona

Na Slici 22. je prikazana ruta sedmog kamiona. koji prevozi robu u smjeru Poreča. Od troškova su uključene cestarine i troškovi goriva. Na rutu od 209 km se doda 15 % odstupanja, te se dobije ukupna dužina rute 246 km.



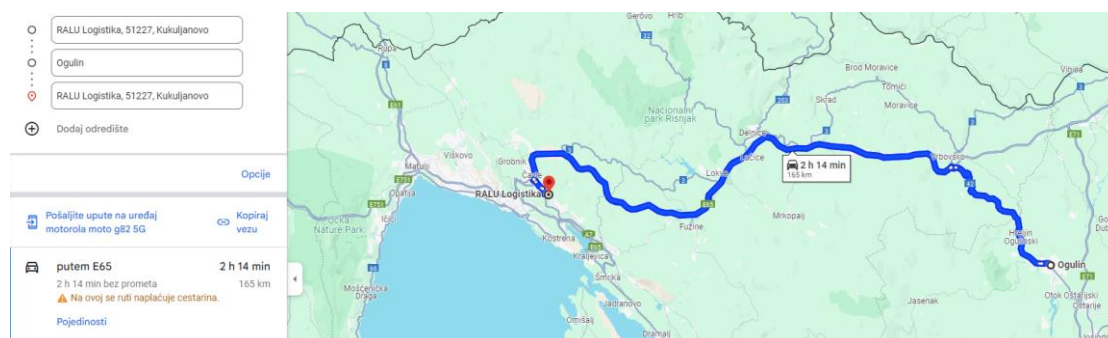
Slika 22: Ruta sedmog kamiona

Na Slici 23. je prikazana ruta osmog kamiona. koji prevozi robu u smjeru Pazina. Ovdje su prisutni troškovi goriva i troškovi autoceste. Na udaljenost rute od 129 km se doda odstupanje od 15 %, te se dobije 152 km kao ukupna dužina rute.



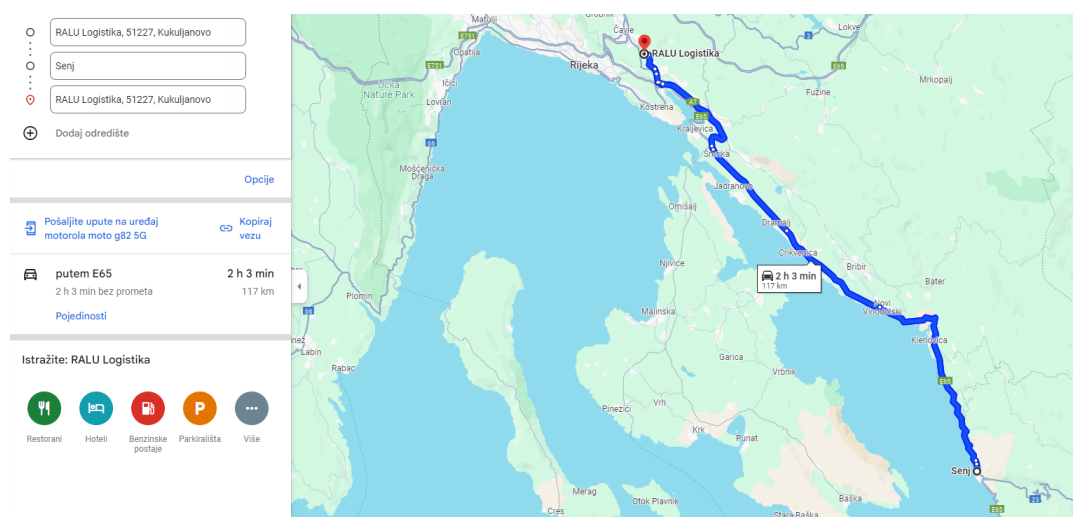
Slika 23: Ruta osmog kamiona

Na Slici 24. je prikazana ruta devetog kamiona. koji prevozi robu u smjeru Ogulina. U troškove rute su uključene cestarine i troškovi goriva. Na duljinu rute od 165 km se dodaje 15 % odstupanja, što iznosi 194 km.



Slika 24: Ruta devetog kamiona

Na Slici 25. je prikazana ruta desetog kamiona. koji prevozi robu u smjeru Senja. U troškove rute su uključeni samo troškovi goriva. Na duljinu rute od 117 km se dodaje 15 % odstupanja, što povećava rutu na 138 km.



Slika 25: Ruta desetog kamiona

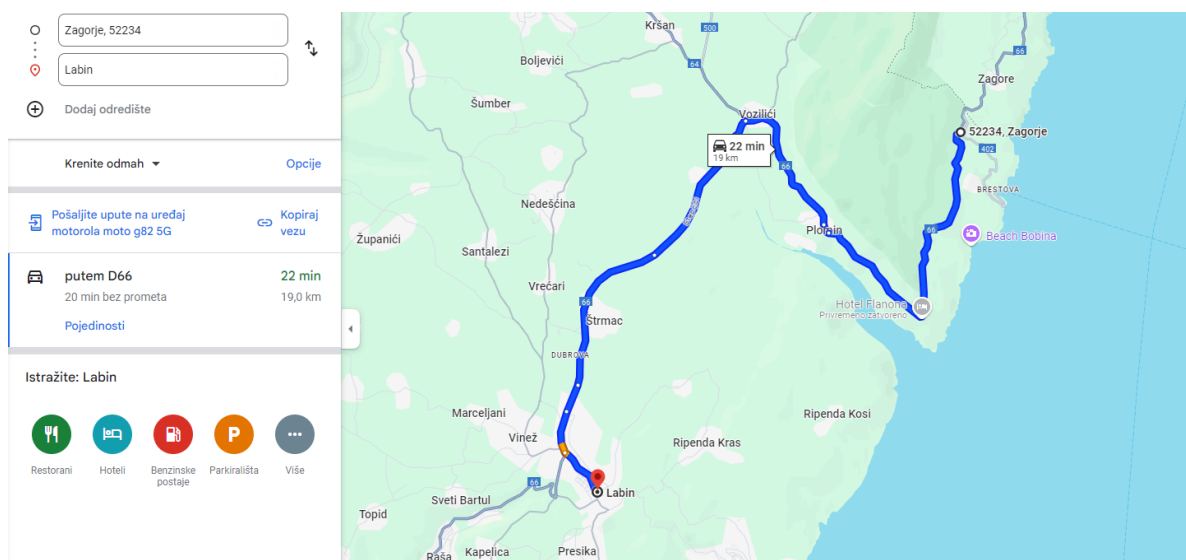
Računajući troškove za trajekte, autoceste i potrošnju goriva, Tablica 3. prikazuje prosječne dnevne transportne troškove za rutu svakog kamiona pojedinačno za jedan dostavni dan na toj ruti. Tablica također sadrži ukupne udaljenosti prijeđene od strane svih deset kamiona, te zbrojene prosječne troškove za sve kamione u transportnoj mreži.

Tablica 3: Dnevni troškovi i udaljenost prijeđena po rutama kamiona

	Cijena goriva	Udaljenost	Udaljenost sa odstupanjem	Trošak goriva	Cestarine	Trajekt	Ukupni troškovi
1 kamion	1,37	86,9	102	33,61 €	- €	- €	33,61 €
2 kamion	1,37	132	155	51,06 €	- €	53,88 €	104,94 €
3 kamion	1,37	139	164	53,77 €		- €	53,77 €
4 kamion	1,37	273	321	105,60 €	45,14 €	- €	150,74 €
5 kamion	1,37	234	275	90,52 €	38,28 €	- €	128,80 €
6 kamion	1,37	200	235	77,36 €	30,16 €	- €	107,52 €
7 kamion	1,37	209	246	80,85 €	30,30 €	- €	111,15 €
8 kamion	1,37	129	152	49,90 €	16,72 €	- €	66,62 €
9 kamion	1,37	165	194	63,83 €	19,80 €	- €	83,63 €
10 kamion	1,37	117	138	45,26 €	- €	- €	45,26 €
Ukupno:		1684,9	1982	651,76 €	180,40 €	53,88 €	886,04 €

6.3.2. Transportni troškovi sa novom lokacijom prekrcajnog skladišta

Sa modificiranom metodom centroida izabrana je nova potencijalna lokacija prekrcajnog skladišta za Istru i Kvarner. Nalazi se kod mjesta Brestova u Istri. S obzirom da ta lokacija nema dovoljno dobru infrastrukturu, te nije baš najbolje prometno povezana za prekrcajno skladište, novoizabrana lokacija premještenog prekrcajnog skladišta je u Labinu. Labin ima bolju infrastrukturu, veći izbor objekata za prekrcajno skladište, te bolju cestovnu povezanost sa drugim dijelovima Istre i Kvarnera. Također je lakše naći zaposlenike ako je potrebno, jer je veće mjesto i više ljudi stanuje u Labinu. Na Slici 26. je prikazana udaljenost optimalno izračunate točke i novoizabrane lokacije, koja iznosi 19 km. Kao i za prijašnje prikaze, kamioni koji transportiraju robu ovim rutama raspoređeno dostavljaju robu i na lokacijama koje se nalaze u smjeru krajnje lokacije do koje putuju. Zbog toga je dodano odstupanje u udaljenosti od 15 % kako bi se pokrile dodatne kilometraže ili vožnje po gradu koji ima puno dostavnih lokacija.



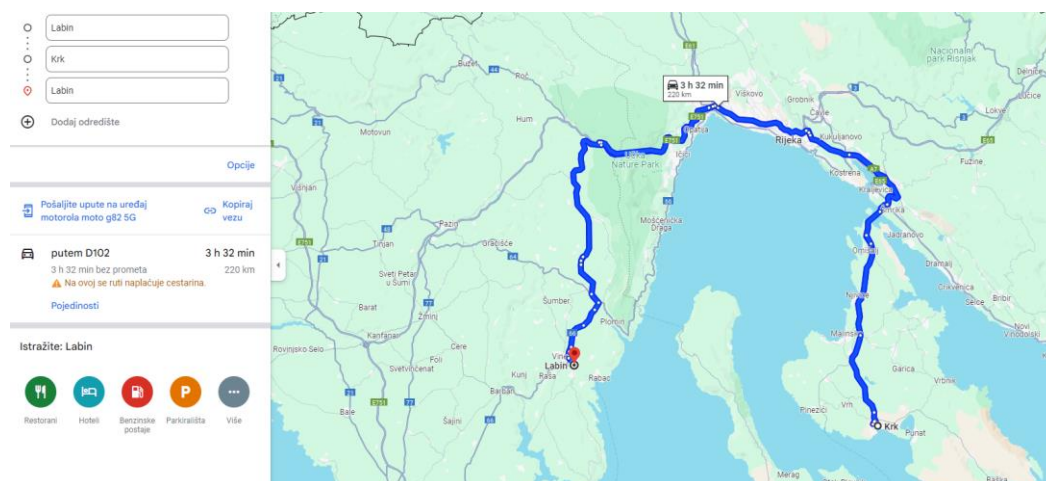
Slika 26: Udaljenost optimalno izračunate točke i nove lokacije za prekrcajno skladište

U tablici 4. je prikazan smjer kretanja za svih deset kamiona kada bi prekrcajno skladište bilo u Labinu. Identičan je kao u prijašnjoj tablici, samo je Labin početna destinacija umjesto Rijeke.

Tablica 4: Smjer kretanja svih deset kamiona

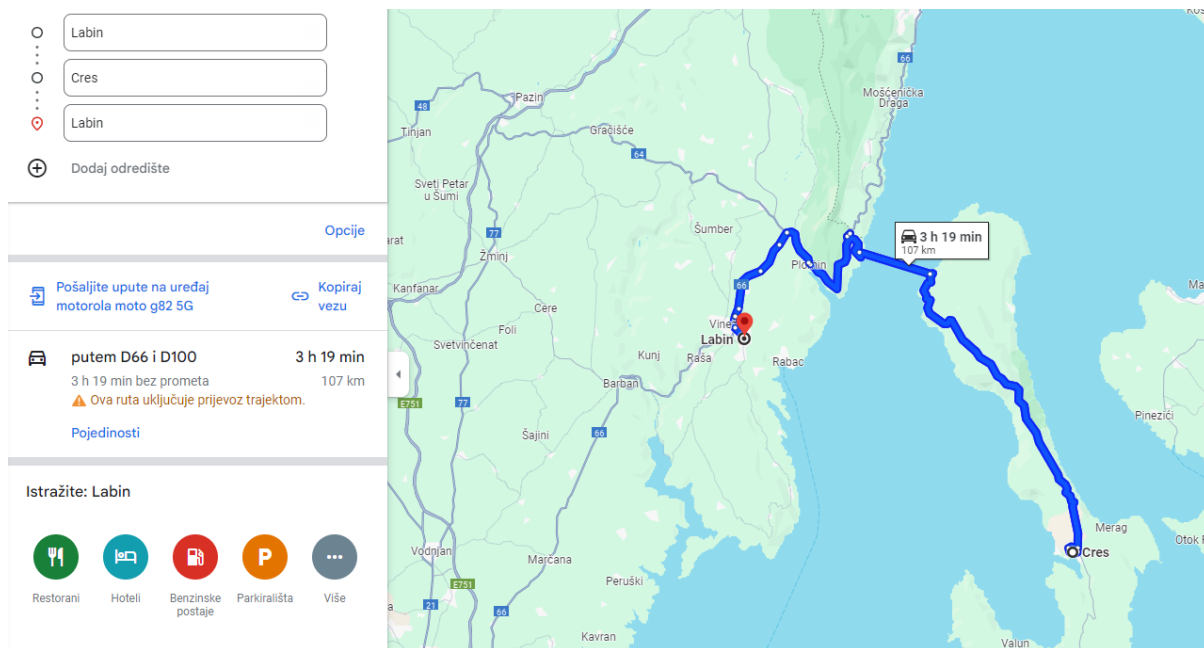
1 kamion	Labin	Krk
2 kamion	Labin	Cres
3 kamion	Labin	Rijeka
4 kamion	Labin	Umag
5 kamion	Labin	Pula
6 kamion	Labin	Rovinj
7 kamion	Labin	Poreč
8 kamion	Labin	Pazin
9 kamion	Labin	Ogulin
10 kamion	Labin	Senj

Na Slici 27. je prikazana ruta prvog kamiona koji vozi za Krk. Prisutni su troškovi trajekta, autoceste i goriva. Ukupna dužina rute sa odstupanjem je 259 km.



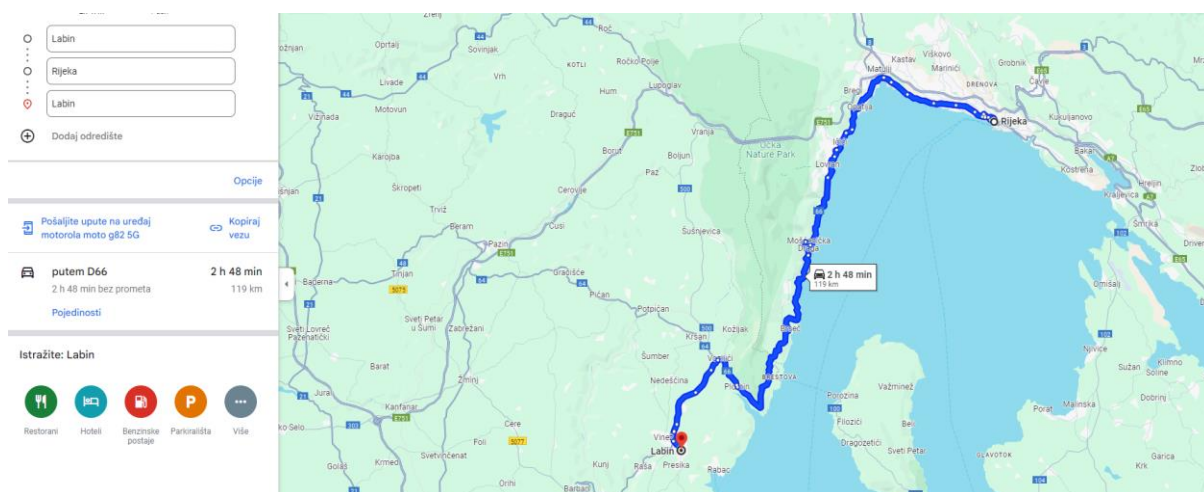
Slika 27: Ruta prvog kamiona

Na slici 28. je prikazana ruta drugog kamiona koji vozi po Istri i Cresu. Prisutni su troškovi trajekta i goriva. Ukupna dužina rute sa odstupanjem je 126 km.



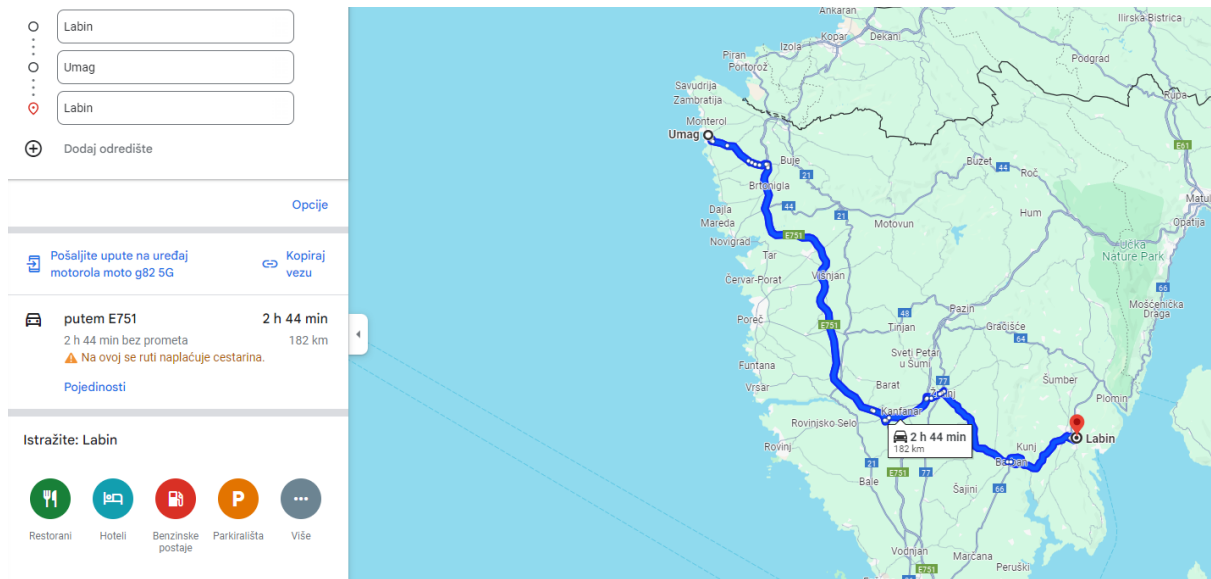
Slika 28: Ruta drugog kamiona

Na slici 29. se prikazuje ruta trećeg kamiona koji vozi po Rijeci i okolici. Na ovoj ruti nema troškova autoceste. Ruta sa odstupanjem ukupno iznosi 149 km.



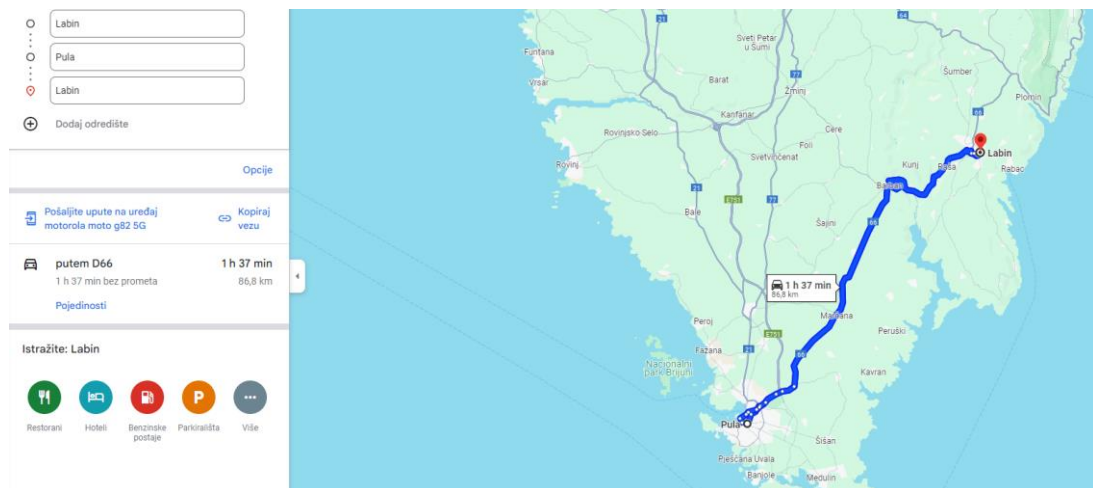
Slika 29: Ruta trećeg kamiona

Na Slici 30. je prikazana ruta četvrtog kamiona koji prevozi robu u smjeru Umaga, te po svim usputnim mjestima. Troškovi autoceste su prisutni. Dulžina rute sa odstupanjem iznosi 214 km.



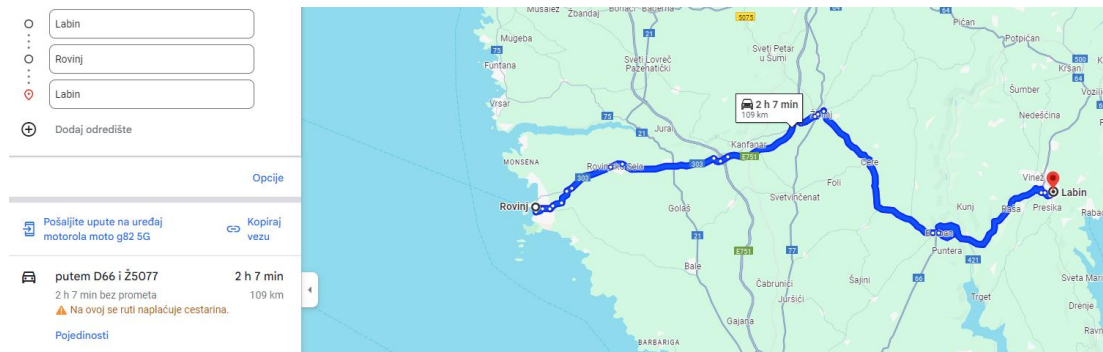
Slika 30: Ruta četvrtog kamiona

Na Slici 31. je prikazana ruta petog kamiona koji prevozi robu u smjeru Pule. Troškova autoceste nema, te duljina rute sa odstupanjem iznosi 102 km.



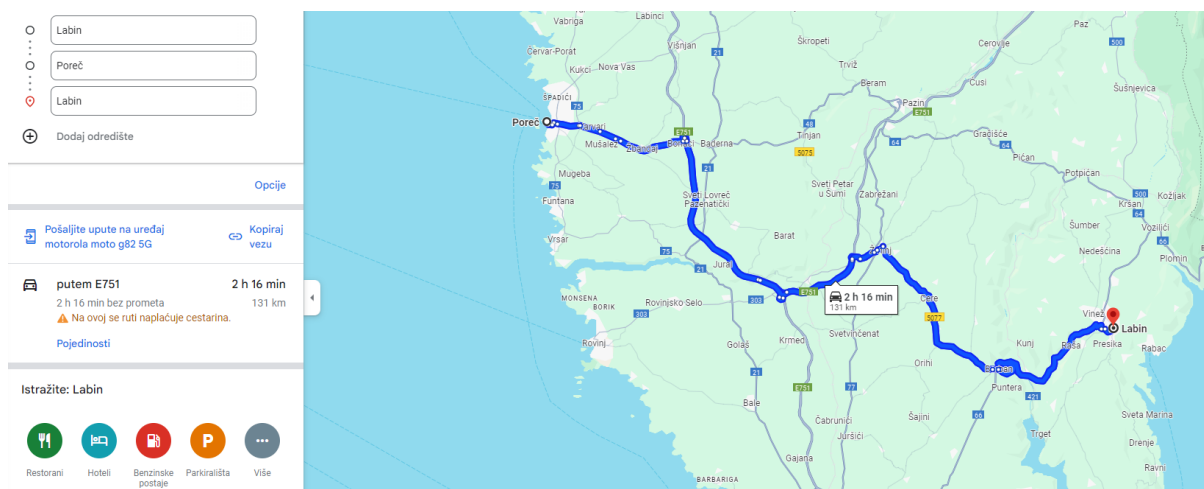
Slika 31: Ruta petog kamiona

Na Slici 32. je prikazana ruta šestog kamiona koji prevozi robu u smjeru Rovinja. Troškova autoceste nema, te duljina rute sa odstupanjem iznosi 128 km.



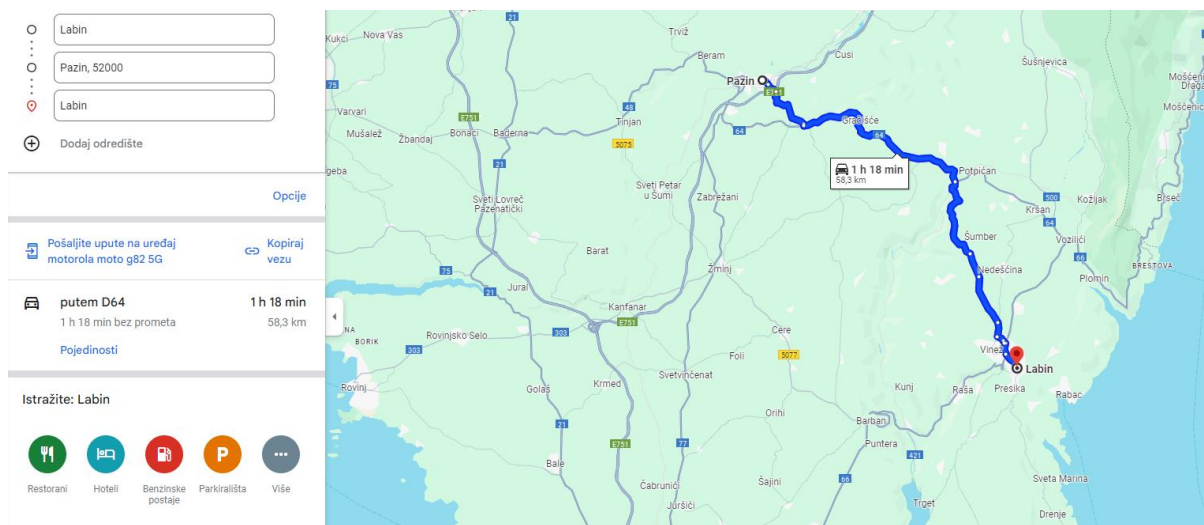
Slika 32: Ruta šestog kamiona

Na Slici 33. se prikazuje ruta sedmog kamiona koji prevozi robu u smjeru Poreča. Na ruti su prisutni troškovi autoceste, te duljina rute sa odstupanjem iznosi 154 km.



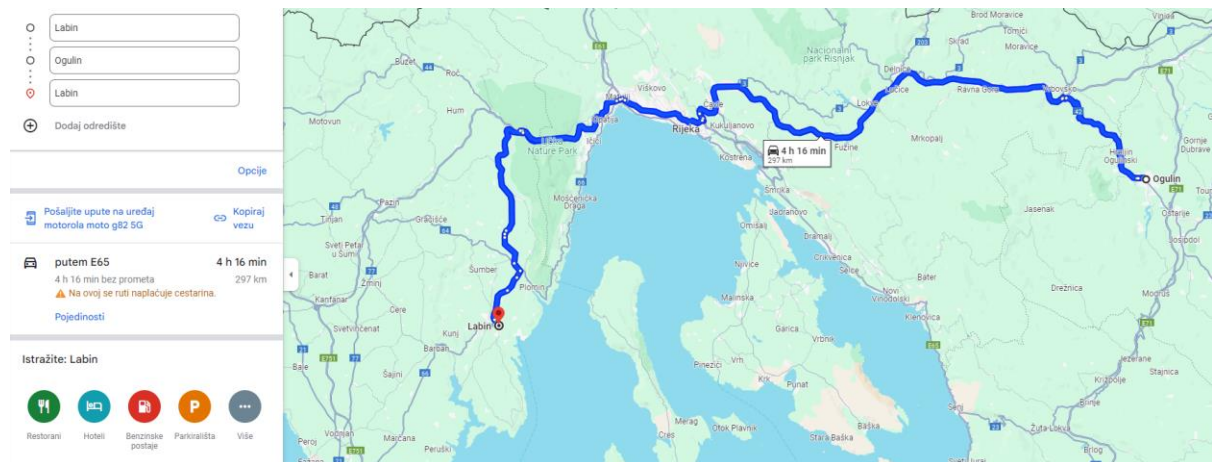
Slika 33: Ruta sedmog kamiona

Na Slici 34. se prikazuje ruta osmog kamiona koji vozi u smjeru Pazina. Prisutni su troškovi autoceste, te duljina rute sa odstupanjem iznosi 69 km.



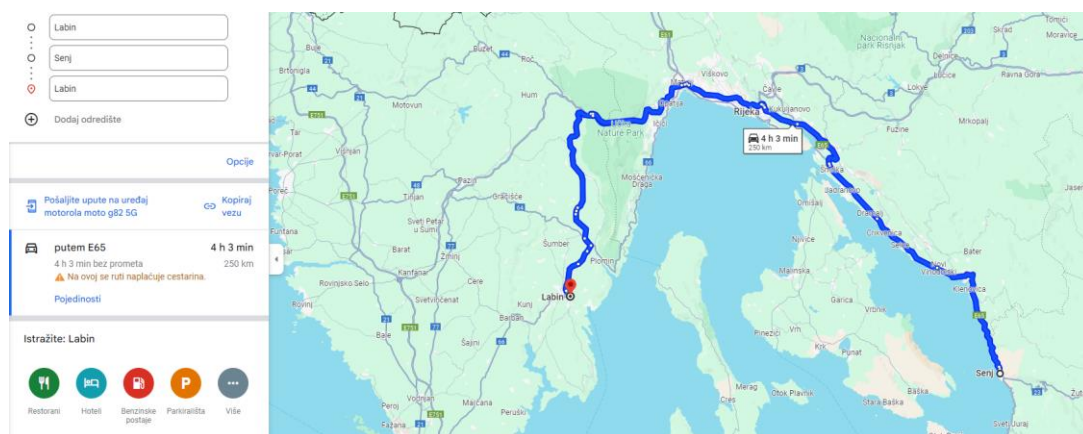
Slika 34: Ruta osmog kamiona

Na Slici 35. se prikazuje ruta devetog kamiona koji vozi u smjeru Ogulina. Prisutni su troškovi autoceste i potrošnje goriva. Duljina ove rute sa odstupanjem iznosi 349 km.



Slika 35: Ruta devetog kamiona

Na Slici 36. se prikazuje ruta desetog kamiona koji vozi u smjeru Senja. Ova ruta ima troškove cestarina, te troškove potrošnje goriva. Duljina ove rute sa odstupanjem iznosi 294 km.



Slika 36: Ruta desetog kamiona

U Tablici 5. su prikazani dnevni prosječni transportni troškovi za svaki kamion za dnevnu rutu, koji se dijele na troškove trajekta, troškove cestarina i troškove goriva. Tablica se sastoji od prijedene udaljenosti kojom se dobije trošak goriva, te su prikazani troškovi cestarina i troškovi trajekta po potrebi. Prosječan dnevni transportni trošak ove predložene transportne mreže za sve kamione je zbroj troškova svakog kamiona u transportnoj mreži.

Tablica 5: Udaljenosti i troškovi predložene transportne mreže po rutama

	Cijena goriva	Udaljenost (km)	Broj sa odstupanjima	Trošak goriva	Cestarine	Trajekt	Ukupni troškovi
1 kamion	1,37	220	259	85,10 €	14,76 €	- €	99,86 €
2 kamion	1,37	107	126	41,39 €	- €	53,88 €	95,27 €
3 kamion	1,37	119	140	46,03 €	- €	- €	46,03 €
4 kamion	1,37	182	214	70,40 €	16,80 €	- €	87,20 €
5 kamion	1,37	86,8	102	33,58 €	- €	- €	33,58 €
6 kamion	1,37	109	128	42,16 €	3,08 €	- €	45,24 €
7 kamion	1,37	131	154	50,67 €	7,70 €	- €	58,37 €
8 kamion	1,37	58,3	69	22,55 €	- €	- €	22,55 €
9 kamion	1,37	297	349	114,89 €	34,56 €	- €	149,45 €
10 kamion	1,37	250	294	96,71 €	14,76 €	- €	111,47 €
Ukupno:		1560,1	1835	603,48 €	91,66 €	53,88 €	749,02 €

6.4. Usporedba dobivenih rezultata

U Tablicama 3. i 5. su prikazani troškovi po rutama za svaki kamion pojedinačno. Za jednostavnu usporedbu napravljena je Tablica 6. u kojoj su prikazani samo dnevni prosječni transportni troškovi jedan pored drugog, da se utvrdi razlika, te da se vidi koji troškovi su manji.

Tablica 6: Usporedba troškova transporta za sve rute

	Labin		Rijeka	
	Troškovi		Troškovi	
Kamion 1	99,86 €	>	33,61 €	Kamion 1
Kamion 2	95,27 €	<	104,94 €	Kamion 2
Kamion 3	46,03 €	<	53,77 €	Kamion 3
Kamion 4	87,20 €	<	150,74 €	Kamion 4
Kamion 5	33,58 €	<	128,80 €	Kamion 5
Kamion 6	45,24 €	<	107,52 €	Kamion 6
Kamion 7	58,37 €	<	111,15 €	Kamion 7
Kamion 8	22,55 €	<	66,62 €	Kamion 8
Kamion 9	149,45 €	>	83,63 €	Kamion 9
Kamion 10	111,47 €	>	45,26 €	Kamion 10
	749,02 €		886,04 €	

Prema Tablici 6. Može se zaključiti da su prosječni dnevni troškovi transporta sveukupno manji dok je prekrajno skladište u Labinu. Modificiranom metodom centroida **dobivena je bolja lokacija** za prekrajno skladište u gravitacijskoj zoni Istra i Kvarner, **po kriteriju transportnih troškova** u kapilarnoj distribuciji.

Nove prijevozne rute koje počinju na predloženoj optimalnoj lokaciji prekrajnog skladišta (Labin) dobivene su pomoću alata Google Maps, pri čemu su kao parametri uzete lokacije primatelja koje vozilo treba obići na putu do krajnjih odredišta nakon kojih se vozilo vraća natrag na lokaciju prekrajnog skladišta. Krajnja odredišta nisu promijenjena, tj. ostala su ista su kao u postojećem rješenju tvrtke (prekrajno skladište u Rijeci).

Ovo rješenje, iako se pokazalo boljim od postojećeg, moglo bi se dodatno unaprijediti daljnjim optimiranjem ruta, pri čemu bi se razmotrila mogućnost promjene krajnjih

odredišta, no za to bi trebalo primijeniti program za rutiranje (Skytrack), što prijevoznička tvrtka nije bila voljna omogućiti.

7. Zaključak

U okviru studije slučaja analizirana je transportna mreža tvrtke Ralu logistika d.d. radi prikupljanja potrebnih informacija i podataka za evaluaciju postojećih lokacija prekrcajnih skladišta po zadanim kriterijima, odnosno parametrima. Temeljem rezultata evaluacije dobivenih primjenom modificirane metode centroida, zaključeno je kako jedino lokacija prekrcajnog skladišta za Istru i Kvarner bitno odstupa od optimalne lokacije, dok su lokacije prekrcajnih skladišta u ostalim gravitacijskim zonama zadovoljavajuće.

S tim u svezi, predložena je promjena lokacije prekrcajnog skladišta u dotičnoj gravitacijskoj zoni, u cilju optimiranja transportne mreže po kriteriju smanjenja transportnih troškova. Očekivani učinci optimiranja transportne mreže kvantificirani su usporedbom postojećih transportnih troškova sa simuliranim transportnim troškovima optimirane transportne mreže, te je zaključeno kako je predložena lokacija prekrcajnog skladišta povoljnija od postojeće.

Predloženo rješenje, iako se pokazalo boljim od postojećeg, moglo bi se dodatno unaprijediti daljnjim optimiranjem ruta, pri čemu bi se razmotrila mogućnost promjene postojećih krajnjih odredišta nakon kojih se vozilo vraća natrag na lokaciju prekrcajnog skladišta, što bi se moglo izvesti primjenom nekog od profesionalnih programskih alata za rutiranje, koji su dostupni na tržištu.

Literatura

- 1: Jan Van Belle, Paul Valckenaers, Dirk Cattrysse, Cross-docking: State of the art, Omega, Volume 40, Issue 6, 2012, Pages 827-846, ISSN 0305-0483, <https://doi.org/10.1016/j.omega.2012.01.005>. (Pristupljeno Kolovoz 2024.)
- 2: Pereglin T., Pozicioniranje prekrajnih skladišta u distribucijskoj mreži, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2024 (Seminarski rad)
- 3: Rogić, Kristijan, Upravljanje skladišnim sustavima. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, 2018
- 4: Benja, Bože. "Analiza eksploatacije voznog parka u paketnoj distribuciji." Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, 2023. <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:723501> (Pristupljeno Kolovoz 2024)
- 5: Županović, Ivan, Tehnologija cestovnog prijevoza. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, 2002. 407..
- 6: <https://skytrack.org/> (Pristupljeno Kolovoz 2024)
- 7: <https://www.paragonrouting.com/en-us/> (Pristupljeno Kolovoz 2024)
- 8: <https://omnioptius.com/us/route-optimization/> (Pristupljeno Kolovoz 2024)
- 9: Yan, Liying & Grifoll, Manel & Zheng, Pengjun. (2020). Model and Algorithm of Two-Stage Distribution Location Routing with Hard Time Window for City Cold-Chain Logistics. Applied Sciences. 10. 2564. 10.3390/app10072564. (Pristupljeno Rujan 2024)

Popis slika

Slika 1: Shema izgleda i putanja prekrcajnog skladišta	2
Slika 2: Cross-dock skladište Dawsongrupe	4
Slika 3: DB Schenker cross-dock skladište u gradu Herbrechtingen	5
Slika 4: Primjer izgleda korisničkog sučelja.....	14
Slika 5: Sve lokacije dostave u Republici Hrvatskoj podijeljene po regijama	17
Slika 6: Shema lokacijskog rutiranja u dvoešalonskoj distribuciji.....	18
Slika 7: Kamioni MAN TGX 18.480	19
Slika 8: Predložena optimalna lokacija za prekrcajno skladište za središnju Hrvatsku..	23
Slika 9: Predložena optimalna lokacija za prekrcajno skladište za Istru i Kvarner	23
Slika 10: Predložena optimalna lokacija za prekrcajno skladište za Slavoniju	24
Slika 11: Predložena optimalna lokacija za prekrcajno skladište za Dalmaciju	24
Slika 12: Udaljenost između predložene optimalne lokacije i trenutnog prekrcajnog skladišta za središnju Hrvatsku	25
Slika 13: Udaljenost između predložene optimalne lokacije i trenutnog prekrcajnog skladišta za Istru i Kvarner	26
Slika 14: Udaljenost između predložene optimalne lokacije i trenutnog prekrcajnog skladišta za Slavoniju	26
Slika 15: Udaljenost između predložene optimalne lokacije i trenutnog prekrcajnog skladišta za Dalmaciju	27
Slika 16: Ruta prvog kamiona	28
Slika 17: Ruta drugog kamiona	29
Slika 18: Ruta trećeg kamiona	29
Slika 19: Ruta četvrtog kamiona	30
Slika 20: Ruta petog kamiona	30
Slika 21: Ruta šestog kamiona.....	31
Slika 22: Ruta sedmog kamiona	31
Slika 23: Ruta osmog kamiona	31
Slika 24: Ruta devetog kamiona.....	32
Slika 25: Ruta desetog kamiona.....	32
Slika 26: Udaljenost optimalno izračunate točke i nove lokacije za prekrcajno skladište	33
Slika 27: Ruta prvog kamiona	34
Slika 28: Ruta drugog kamiona	35
Slika 29: Ruta trećeg kamiona	35
Slika 30: Ruta četvrtog kamiona	36
Slika 31: Ruta petog kamiona	36
Slika 32: Ruta šestog kamiona.....	37
Slika 33: Ruta sedmog kamiona	37
Slika 34: Ruta osmog kamiona	37

Slika 35: Ruta devetog kamiona.....	38
Slika 36: Ruta desetog kamiona.....	38

Popis tablica

Tablica 1: Broj lokacija i broj dostava	19
Tablica 2: Smjer kretanja kamiona u kapilarnoj distribuciji.....	28
Tablica 3: Dnevni troškovi i udaljenost prijeđena po rutama kamiona	33
Tablica 4: Smjer kretanja svih deset kamiona	34
Tablica 5: Udaljenosti i troškovi predložene transportne mreže po rutama	39
Tablica 6: Usporedba troškova transporta za sve rute.....	39

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je _____ DIPLOMSKI RAD _____
(vrsta rada)

isključivo rezultat mojega vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju upotrijebljene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedopušten način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu završnog/diplomskog rada pod naslovom ___Optimiranje prijevoza preko prekrcajnih skladišta___ , u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

Student/ica:

U Zagrebu, ___23. Rujna. 2024___

Len Vuković
(ime i prezime, potpis)