

Optimizacija plana prijevoza robe željeznicom

Rod, Stjepan

Master's thesis / Diplomski rad

2023

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:119:697570>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-10-02**



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

OPTIMIZACIJA PLANA PRIJEVOZA ROBE ŽELJEZNICOM

RAILWAY FREIGHT TRANSPORT OPTIMIZATION PLAN

Mentor: dr. sc. Denis Šipuš

Student: Stjepan Rod

JMBAG: 0135211375

Zagreb, Rujan 2023.

Zagreb, 31. ožujka 2023.

Zavod: **Zavod za željeznički promet**
Predmet: **Prijevoz robe željeznicom**

DIPLOMSKI ZADATAK br. 7149

Pristupnik: **Stjepan Rod (0135211375)**
Studij: Promet
Smjer: Željeznički promet

Zadatak: **Optimizacija plana prijevoza robe željeznicom**

Opis zadatka:

U radu će biti analiziran rad tvrtke Petrokemija d.d. koja se bavi proizvodnjom i prodajom mineralnog gnojiva te ima potrebu organizacije prijevoza svojih sirovina i krajnjih proizvoda željeznicom. Osim analize biti će napravljena optimizacija plana prijevoza željeznicom za konkretnu studiju slučaja tvrtke Petrokemija d.d.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
diplomski ispit:

dr. sc. Denis Šipuš

OPTIMIZACIJA PLANA PRIJEVOZA ROBE ŽELJEZNICOM

SAŽETAK

Promet predstavlja neizostavnu komponentu gospodarskog i ekonomskog razvoja društva. Napretkom društva u svim sferama pojavljuje se zahtjev za funkcionalno učinkovitijim, tehnološki naprednijim i efikasnijim prometnim sustavom. Željeznički promet se tu posebno ističe kao prometna grana koja primjenom odgovarajućih mjera može zadovoljiti ove zahtjeve na održiv način.

Optimizacija plana prijevoza robe tako predstavlja ključan problem za povećanje konkurentnosti željeznice u odnosu na ostale prometne grane. Najbolji rezultati se ostvaruju kroz kvalitetnu suradnju svih relevantnih sudionika u prometnom procesu, uključujući prijevoznike, korisnike i državu.

Petrokemija d.d. Kutina je veliki korisnik željezničkih usluga koji značajne količine sirovina potrebnih za proizvodnju i svojih gotovih proizvoda prevozi koristeći usluge željezničkog prijevoza.

U ovom istraživanju prikazano je kako se međusobnom suradnjom između željezničkih prijevoznika i velikih industrijskih subjekata mogu optimizirati elementi prijevoznog procesa. Petrokemija zahvaljujući svojim infrastrukturnim i kadrovskim kapacitetima može snažno utjecati na formiranje optimalnog plana prijevoza. Cilj ovog rada je detaljno analizirati načine i metode koji pozitivno utječu na prijevoz robe željeznicom u svrhu Petrokemijinih potreba.

KLJUČNE RIJEČI: željeznički prijevoz; plan prijevoza; vagonске pošiljke; Petrokemija; mineralno gnojivo

SUMMARY

Transportation is an indispensable component of societal and economic development. As society progresses in all spheres, there arises a demand for a functionally more efficient, technologically advanced, and effective transportation system. Railway transportation stands out as a sector that can meet these requirements sustainably through the implementation of appropriate measures.

Optimizing the cargo transportation plan represents a pivotal challenge in enhancing the competitiveness of railways compared to other modes of transportation. The best results are achieved through high-quality collaboration among all relevant stakeholders in the transportation process, including carriers, users, and the government.

Petrokemija d.d. Kutina is a major user of railway services, transporting significant quantities of raw materials necessary for production and finished products utilizing railway transportation services.

This research demonstrates how mutual cooperation between railway carriers and large industrial entities can optimize various elements of the transportation process. Thanks to its infrastructure and human resource capabilities, Petrokemija can strongly influence the development of an optimal transportation plan. The goal of this study is to thoroughly analyze the methods and techniques that positively impact railway transportation for the needs of Petrokemija.

KEYWORDS: Railway transportation; transportation plan; railcar shipments; Petrokemija; mineral fertilizer

SADRŽAJ

| | |
|--|----|
| 1. UVOD | 1 |
| 2. ORGANIZACIJA PRIJEVOZA ROBE VAGONSKIH POŠILJAKA | 3 |
| 2.1. Pojam organizacije prijevoza robe | 3 |
| 2.2. Transportno tržište EU i RH | 4 |
| 2.3. Modalna raspodjela udjela u prijevozu robe | 5 |
| 2.4. Vagonske pošiljke | 7 |
| 3. TROŠKOVI PLANA PRIJEVOZA | 9 |
| 3.1. Troškovi u željezničkom prometu | 9 |
| 3.2. Troškovi plana prijevoza | 9 |
| 3.3. Cijena usluge | 12 |
| 3.4. Tarife | 13 |
| 4. OPTIMIZACIJA PLANA PRIJEVOZA | 15 |
| 4.1. Međuovisnost organizacije i plana prijevoza | 15 |
| 4.2. Transportni problem | 16 |
| 4.3. Problem odabira željezničkih vagona | 18 |
| 5. STUDIJA SLUČAJA OPTIMIZACIJE PLANA PRIJEVOZA U PETROKEMIJI D.D. | 20 |
| 5.1. Radna jedinica Logistika | 20 |
| 5.2. Željezničke tehnologije | 22 |
| 5.3. Industrijski kolosijeci Petrokemije | 23 |
| 5.3.1. Stabilna željeznička infrastruktura | 24 |
| 5.3.1.1. Kolosiječni kapaciteti | 24 |
| 5.3.1.2. Objekti i oprema na industrijskim kolosijecima | 25 |
| 5.3.2. Pokretna željeznička infrastruktura | 28 |
| 5.3.2.1. Lokomotive | 28 |
| 5.3.2.2. Teretni vagoni | 29 |
| 5.3.3. Organizacija rada | 30 |
| 5.4. Optimizacija plana prijevoza u Petrokemiji | 33 |
| 5.4.1. Optimizacija problema odabira vagona korištenjem excel solver alata | 34 |
| 5.4.2. Optimizacija cijene usluge | 41 |
| 6. ZAKLJUČAK | 44 |
| LITERATURA | 46 |
| POPIS KRATICA | 48 |
| POPIS SLIKA | 49 |
| POPIS TABLICA | 50 |
| PRILOZI | 51 |

1. UVOD

Značaj prometa na svakodnevni život i suvremeno društvo odavno je prepoznat. On nije samo opcija premještanja ljudi i robe sa jednog mjesta na drugo, već predstavlja kompleksan organizam koji obuhvaća društvene, socijalne i ekonomske aspekte života. Razvojem prometa omogućuje se povezivanje svih područja planete, potiče se društvena interakcija te osigurava pristup obrazovanju i zdravstvenim uslugama sprječavajući tako društvenu fragmentaciju i izoliranost.

Sa ekonomskog aspekta promet je snažan pokretač gospodarskog razvoja i generator radnih mjesta. Industrije povezane s prometom kao što su proizvodnja vozila, logistika, izgradnja i održavanje prometne infrastrukture te pružanje usluge prijevoza čine značajan dio svjetskog gospodarstva. Investicije u prometnu infrastrukturu i tehnologiju obično imaju pozitivan utjecaj na rast bruto domaćeg proizvoda i ostalih ekonomskih elemenata.

Prometna ekspanzija ima i svoje negativne učinke. Ekološki utjecaj, zagađenje zraka i prometna zagušenja u urbanim sredinama, posebno u cestovnom prometu, predstavljaju ozbiljne izazove za prometne stručnjake. Posljednjih godina, čak i desetljeća poseban naglasak se stavlja na učinkovitije, ekonomičnije i ekološki prihvatljivije načine prijevoza. Europska unija prednjači u ovakvoj strategiji te već od kraja 20. stoljeća pokazuje želju i inicijativu za promoviranjem željezničkog prometa i prometa na unutarnjim plovnim putovima kao održivim alternativama.

Atraktivnost željeznice raste podjednako kao i svijest o ekološkim problemima. Njena sposobnost da smanji emisije stakleničkih plinova u usporedbi s drugim prijevoznim modovima stavlja je u dobru poziciju u strategijama razvoja prometnih sustava. Željeznica je i dobar primjer ekonomičnog i energetski učinkovitog prijevoza koji omogućuje relativno jeftin a masivan prijevoz robe na srednje i velike udaljenosti.

Unatoč nabrojanim prednostima željeznica teško osvaja udjele u modalnoj raspodjeli teretnog prijevoza. Konkurencija s drugim prijevoznim modovima, posebno cestovnim, ograničava njenu ekspanziju. Infrastruktura željeznice zahtjeva značajna ulaganja kako bi se modernizirala i proširila, a upravljanje teretnim prijevozom zahtjeva napredne tehnološke inovacije. Željeznički prijevoznici stoga moraju uložiti velike napore kako bi istaknuli prednosti željeznice u obliku ekonomičnog i učinkovitog prijevoza a pozitivni rezultati leže u njihovoj sposobnosti da visoke troškove prijevoza i neefikasno iskorištavanje resursa svedu na najmanju moguću mjeru.

Zadatak ovog rada, pod nazivom „Optimizacija plana prijevoza robe željeznicom“ je analizirati, na primjeru Petrokemije d.d. Kutina, optimizacijske mjere koje se primjenjuju sa ciljem ostvarivanja učinkovitog i održivog prijevoza robe željeznicom. U radu je prikazano kako aktivnosti korisnika industrijskih kolosijeka mogu značajno utjecati na plan prijevoza i koliko suradnja između korisnika i pružatelja

prijevozne usluge može utjecati na optimizaciju prometnih procesa. Rad je podijeljen u 6 poglavlja:

1. Uvod
2. Organizacija prijevoza robe vagnskih pošiljaka
3. Troškovi plana prijevoza
4. Optimizacija plana prijevoza
5. Studija slučaja optimizacije plana prijevoza u Petrokemiji d.d.
6. Zaključak.

U uvodnom poglavlju dani su osnovni kontekst i motivacija istraživanja koje će biti razmatrano u radu, te kratak pregled glavnih tema i ciljeva rada.

U drugom poglavlju definirani su pojmovi organizacije, transportnog tržišta i vagnske pošiljke te je analizirano transportno tržište Europske unije i uloga željezničkog prometa u modalnoj raspodjeli teretnog prijevoza u Europskoj uniji.

Treće poglavlje obrađuje troškove plana prijevoza kao jedan od ključnih ekonomskih elemenata koji utječu na održivost i konkurentnost željezničkog prijevoza na slobodnom tržištu usluga prijevoza robe.

Četvrto poglavlje na općenitoj razini opisuje problem optimizacije plana prijevoza te detaljnije opisuje dva vrlo značajna optimizacijska problema u procesu prijevoza željeznicom – transportni problem i problem odabira željezničkih vagona.

Peto poglavlje rada analizira optimizacijske mjere koje industrijska željeznica Petrokemije primjenjuje kako bi utjecala na ukupne troškove plana prijevoza kojima sebi otvara poziciju za smanjenje cijene usluge i bolje raspolaganje raspoloživim vagnskim kapacitetima. Kroz ovo poglavlje najprije se kratko upoznaju infrastrukturni kapaciteti i organizacija rada operativne službe organizacijske cjeline Željezničke tehnologije u Petrokemiji. U nastavku se analizira problem izbora željezničkih vagona optimizacijskim alatom excel solver te naposljetku optimizacija cijene usluge kroz tehnološka unaprijeđena u prijevoznom procesu koji su produkt zajedničkog planiranja dinamike između tvrtke HŽ Cargo i Petrokemije.

U zaključnom poglavlju sumiraju se ključni nalazi istraživanja i iznose se glavne zaključne misli koje proizlaze iz provedenog rada.

2. ORGANIZACIJA PRIJEVOZA ROBE VAGONSKIH POŠILJAKA

2.1. Pojam organizacije prijevoza robe

U logističkom lancu transporta robnih dobara od mjesta njihove proizvodnja do mjesta njihove potrošnje organizacija prijevoza robe zauzima mjesto temeljnog značaja za cjelokupni proces. Prostorno vremenski pomak robe predstavlja značajan čimbenik u krajnjoj cijeni proizvoda pa je potrebno posebnu pažnju posvetiti planiranju, koordinaciji i nadzoru kretanja robe sa ciljem optimizacije transportnog procesa, odnosno smanjenja udjela prijevoznih troškova u ukupnoj cijeni proizvoda. Težnja svake tvrtke je sigurno isporučiti svoj proizvod u što kraćem vremenu i za to utrošiti što manje financijskih resursa. Promet je istovremeno veliki pokretač ekonomskog razvoja i generator novih radnih mjesta. To je razlog zašto se u novije vrijeme područje logistike prepoznaje kao vitalan segment tržišnog poslovanja, te upravo to područje odlikuje snažan zamah u razvoju modernijih, učinkovitijih tehnologija i tehnološki naprednijih transportnih sustava.

Teži se pronaći najoptimalniju varijantu prijevoza robe, a primjena teorije sustava najučinkovitiji je pristup za postizanje tog cilja. Unutar teorije, sustav možemo definirati kao relativno izoliranu svrhovitu cjelinu koju čine komponente i relacije između njih, tj. vrijedi, [1]

$$S = (K, R)$$

Gdje je:

S – sustav

K – skup komponenata (podsustava i elemenata) razlučivih u sustavu

R - relacije

Analizom prometa vrlo brzo postaju vidljive njegove sustavne odlike. Ostvarenje glavnog cilja, a to je učinkovit, udoban, ekonomičan, siguran, i ekološki prihvatljiv prijevoz ljudi i dobara postiže se uporabom njegovih komponenti (vozila, prometnice, infrastruktura i dr.) i to njihovim korištenjem na određeni način, odnosno primjenom određene tehnologije rada. Upravo to svrsishodno spajanje i obuhvaćanje komponenti da bi se dobila cjelovitost sustava koji ima jedan zajednički cilj nazivamo *organiziranje*, [2] .

Dakle, organiziranje prijevoza robe je svrhovito spajanje tehničkih i tehnoloških elemenata prometnog sustava sa ciljem prijevoza robe na određenoj relaciji na najoptimalniji mogući način prema željenim izlaznim kriterijima, bila to cijena, ekologija, brzina, masovnost prijevoza ili dr.

U prošlosti, na kraćim relacijama, prijevozne potrebe podrazumijevale su veći stupanj korištenja samo jedne grane prometa (unimodalni prijevoz). Globalizacijom se javlja potreba za prijevozom na mnogo većim udaljenostima čime se javlja prijevoz robe korištenjem više prijevoznih grana na svom prijevoznom putu (multimodalni i intermodalni prijevoz).

Organizacija željezničkog prijevoza robe u Republici Hrvatskoj regulirana je Zakonom o ugovorima o prijevozu u željezničkom prometu na osnovu kojega je omogućeno željeznici pobliže utvrđivanje uvjeta i načina obavljanja usluge prijevoza. Isto je u međunarodnom prometu definirano Istoznačnim pravilima o ugovorima u međunarodnom prijevozu stvari (Convention Internationale concernant le transport des Marchandises par chemins de fer – CIM).

Spomenutim regulativama konstruiran je sustav prijevoza željeznicom kojim se roba može prevoziti u dva osnovna oblika, kao, [3]:

- komadne pošiljke
- vagonске pošiljke

Kada govorimo o komadnim pošiljkama govorimo o jednom ili više komada predanih na prijevoz sa jednim prijevoznim dokumentom od polazišnog do odredišnog kolodvora i koji ne podrazumijeva isključivu uporabu vagona.

Vagonске pošiljke definira zahtjev za uporabom jednog ili više vagona za prijevoz robe od polazišnog do odredišnog kolodvora sa jednim prijevoznim dokumentom.

Obzirom na navedene definicije komadne i vagonске pošiljke te poznate karakteristike željezničkog prijevoza zaključak je kako vagonске pošiljke imaju poseban značaj kod ove grane prijevoza a to potkrepljuje i činjenica da vagonске pošiljke čine više od 99% ukupno prevezene robe željeznicom, [3].

Kako vagonске pošiljke čine gotovo isključivi dio, u ovom radu će se detaljno obraditi kao segment prijevoza robe željeznicom.

2.2. Transportno tržište EU i RH

Europska unija je politička tvorevina 27 država članica koje kroz međunarodnu suradnju teže ostvarivanju zajedničkih ciljeva. Od 1. srpnja 2013. Republika Hrvatska je punopravna članica. Sinergijskim djelovanjem, članice Europske unije nastoje poboljšati svoje gospodarske, društvene i kulturne uvjete. Obzirom na funkciju prometa u postizanju navedenih ciljeva jasna je ključna uloga formiranja učinkovitog i održivog zajedničkog prometnog tržišta koje će omogućiti integraciju svih dijelova europskog kontinenta, odnosno osigurati njihovo uključivanje u tržišno natjecanje unutar svjetske ekonomije.

Zajedničkim prometnim tržištem postiže se slobodno kretanje roba i usluga bez carinskih barijera i drugih ograničenja čime se potiče međunarodna trgovina te olakšava i osigurava dostupnost proizvoda i usluga unutar cijelog kontinenta. Istovremeno slobodno prometno tržište potiče zdravu konkurenciju što dovodi do povećanja kvalitete i pronalaska inovacija uz smanjenje cijene. Takav prometni sustav mora udovoljiti zahtjevima ljudi za putovanjem i zahtjevima ekonomije za prijevozom robe istovremeno vodeći računa o ograničenjima u pogledu dostupnih resursa i ekologije, [4].

Negativni učinci prijevoza na okoliš i kvalitetu života građana Europske unije su mjerljivi i dokumentirani te čine trećinu ukupne potrošnje energije i emisije CO₂. Promocija održivih i učinkovitih modova prijevoza poput željezničkog i prometa na unutarnjim plovnim putevima mogu utjecati na smanjenje ovisnosti o fosilnim gorivima i reducirati ukupna zagađenja. Prema Europskoj agenciji za okoliš, emisije CO₂ plina u željezničkom prometu su 3,5 puta manje prema tonskom kilometru u odnosu na cestovni promet, [5].

Zbog svojih pozitivnih karakteristika Europska unija posljednjih 25 godina stavlja posebni naglasak na prometne grane koje na održiv način mogu pružiti zadovoljavajuću prometnu uslugu. Ograničavanje mobilnosti nije opcija pa je 2001. godine Europska komisija istaknula važnost revitalizacije željezničkog sektora postavivši ciljani udio željeznice od 35 % u ukupnom prijevozu robe do 2010. godine, dok se Bijelom knjigom iz 2011. godine 30% udjela cestovnog teretnog prometa na udaljenostima većim od 300 km želi prebaciti na željeznicu ili promet na unutarnjim plovnim putevima. Istim dokumentom se do 2050. na te modove želi prebaciti 50% cestovnog teretnog prometa, [5].

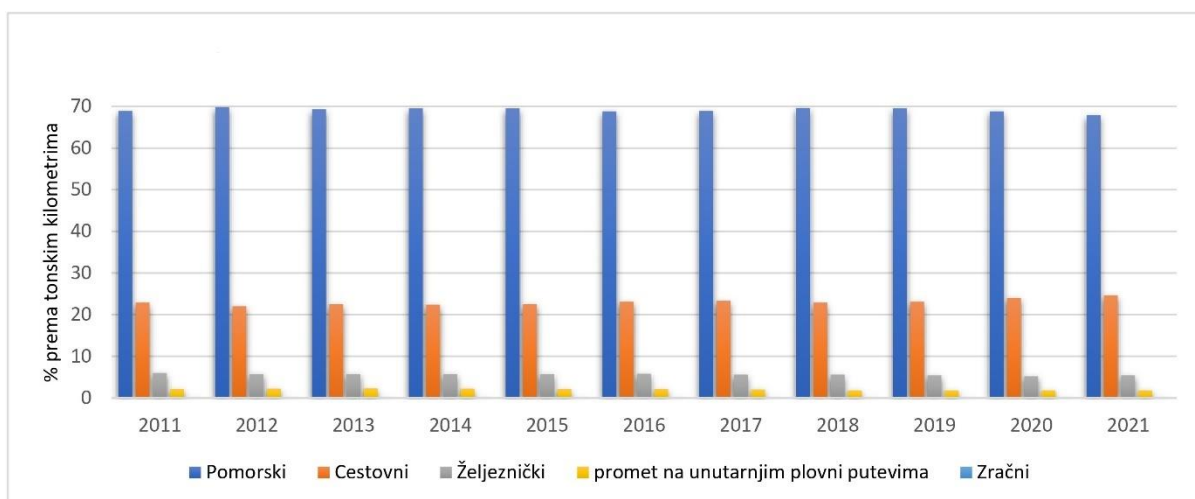
2.3. Modalna raspodjela udjela u prijevozu robe

Pojam modalne raspodjele odnosi se na udio različitih prometnih grana u ukupnom prijevozu robe u Europskoj uniji. Trendovi udjela pojedinih modova ovise o njihovim brojnim varijabilnim pozitivnim i negativnim karakteristikama. Tako je cestovni promet povijesno gledano dominantno zastupljen zbog svoje fleksibilnosti, dostupnosti i usluge od vrata do vrata, što ga čini dobrim izborom za kraće udaljenosti. Negativne posljedice cestovnog prijevoza su velika prometna zagušenja i snažan utjecaj na okoliš. Željeznički prijevoz se nudi kao dobra alternativa na srednje i veće udaljenosti upravo u pogledu smanjenog utjecaja na okoliš i troškova prijevoza, ali zahtjeva visoka početna ulaganja u infrastrukturu te uspostavljanje jedinstvene željezničke mreže Europske unije kroz postizanje interoperabilnosti. Promet na unutarnjim plovnim putevima također predstavlja odličnu alternativu cestovnom prijevozu, posebno u prijevozu rasutih tereta, ali je ograničen prirodnom razgranatošću mreže i utjecajem vremenskih uvjeta na prohodnost plovnih puteva. Pomorski prijevoz predstavlja najzastupljeniji mod u teretnom prijevozu Europske unije. Odlike poput masivnosti

prijevoza, utjecaja na okoliš, mogućnost prijevoza robe na velike udaljenosti bez ulaganja u infrastrukturu čine ga najprihvatljivijom prijevoznom varijantom. Zračni promet nije značajno zastupljen u prijevozu robe prvenstveno zbog visoke cijene prijevoza i velikog utjecaja na okoliš, ali se koristi za prijevoz robe visoke vrijednosti i robe koja zahtjeva kratak rok isporuke.

Navedene karakteristike kao i brojni drugi čimbenici utječu na odabir prometne grane ili kombinaciju više grana koje će se koristiti za prijevoz robe. Međutim svi čimbenici nemaju jednaku težinu pri odabiru grane prometa pa se obično cijena, brzina i pouzdanost isporuke uzimaju kao faktori sa najvećim utjecajem, dok su primjerice ekologija i aspekt potrošnje energije tek sekundarni čimbenici odluke. Europska unija stoga regulativama, inicijativama i mjerama pokušava potaknuti *modal shift* na ekonomičnije i efikasnije načine prijevoza.

Slika 1 pokazuje modalnu raspodjelu pet glavnih prijevoznih opcija u ukupnom teretnom prijevozu Europske unije za period 2011.- 2021. godine. Analiza se odnosi na postotni udio pojedine grane prometa bazirano na realiziranim tonskim kilometrima. Na grafu je vidljivo kako se 2021. godine pomorskim prijevozom prevezlo više o dvije trećine robe (67,9%), cestom blizu četvrtine (24,6%), željeznicom 5,4%, unutarnjim plovnim putevima 1,8% i zrakom 0,2%. Također je vidljivo kako su udjeli po pojedinim granama relativno konstantni od 2011. uz manja odstupanja. To upućuje na činjenicu da svi napori Europske unije da potakne prelazak na štedljivije, ekološki prihvatljivije i učinkovitije načine prijevoza nisu polučili željene rezultate, odnosno podaci pokazuju da su preferirani načini prijevoza (željeznički i promet na unutarnjim plovnim putevima) izgubili dio udjela dok cestovni i dalje bilježi konstantan rast.

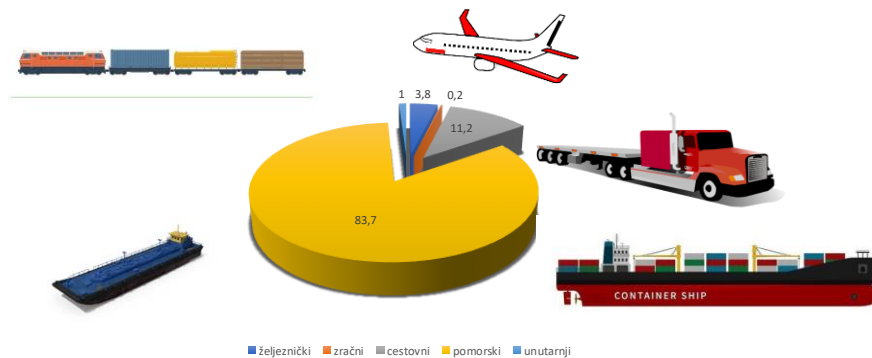


Slika 1. Modalna raspodjela teretnog prijevoza u EU 2011.- 2021.

Izvor: [6]

Postotni udio željezničkog prometa u prijevozu robe u Europskoj uniji za 2021. godinu iznosi 5,4%, dok je prema podacima Eurostata njegov udio u Republici

Hrvatskoj još manji i iznosi 3,8%. Modalna raspodjela u Republici Hrvatskoj prema prometnim granama u 2021. godini prikazana je na slici 2. U ukupnom prijevozu pomorski promet sudjeluje sa 83,7 %, cestovni sa 11,2%, željeznički sa 3,8%, promet na unutarnjim plovnim putevima sa 1% i zračni promet sa 0,2%. Zaključak je kako teretni prijevoz u Europskoj uniji ostaje nezadovoljavajući dok je udio cestovnog prometa u stalnom porastu. Unatoč političkim potezima koje je Europska unija poduzela, nije zabilježen pozitivan trend modalne raspodjele i volumena prevezene robe, štoviše, željeznički promet bilježi lagani pad tržišnog udjela nakon 2011. i „Bijele knjige“, [5]. Problemi poput male komercijalne brzine, heterogenosti i loše kooperativnosti između različitih željezničkih uprava, različiti zakonski okviri i nacionalni propisi u pogledu dodjela trasa, upravljanja prometom, određivanja cijena i naknada i dalje su prisutni i onemogućavaju željezničkom prometu odgovarajuću tržišnu fleksibilnost kako bi istaknuo svoje komparativne prednosti u odnosu na cestovni promet.



Slika 2. Modalna raspodjela teretnog prijevoza u RH za 2021. godinu
Izvor: [6]

2.4. Vagonske pošiljke

Pojam vagonske pošiljke definiran je zahtjevom za isključivu uporabu jednog ili više vagona za prijevoz robe od jedne otpravne do druge uputne postaje s jednim prijevoznim dokumentom (teretni list), [3].

Ovakav oblik prijevoza ima ključnu ulogu u željezničkom prometu jer korisniku omogućuje prijevoz tereta na veće udaljenosti po povoljnijim uvjetima a prijevozniku omogućava optimalno iskorištenje kapaciteta i racionalno slaganje tereta, lakše planiranje prijevoza pošiljaka te pojednostavljenje početno-završnih radnji u kolodvoru.

Tehnologija prijevoza robe može se raščlaniti u više faza i poslova, a na najopćenitijem nivou sistematizaciju je moguće izvesti podjelom u tri osnovne faze:

- **Početak radnje** - (osiguravanje vagona za utovar, postavljanje vagona za utovar, vaganje, izvlačenje vagona s manipulacijskih kolosijeka, uvrštavanje u vlakove)
- **Čisti prijevoz** - prijevoz, odnosno proizvodnja netotonskih kilometara
- **Završne radnje** – izvlačenje vagona iz vlakova, postavljanje vagona za istovar na istovarno mjesto

Brojne su vrste robe koje se mogu prevoziti kao vagonске pošiljke i svaka od njih ima specifične zahtjeve u pogledu izvedbe vagona. Tako svaki prijevoznik prema zahtjevima klijenta, za namjeravani prijevoz mora osigurati i dostaviti dovoljan broj vagona odgovarajuće serije. Utovar obavlja klijent ili željeznica na zahtjev klijenta a pošiljka se na propisan način predaje na prijevoz. Nakon prijevoza i istovara prijevoznik vagonе raspoređuje prema potrebi, a klijent za obavlјenu uslugu plaća troškove.

Tema ovog rada obrađuje optimizacijske postupke kod otpreme mineralnog gnojiva željeznicom iz Petrokemije koje se kupcima dostavlja isključivo kao vagonске pošiljke u obliku dogovorenog prijevoza. To znači da Petrokemija glavninu otpreme organizira u maršrutnim vlakovima koji prometuju na unaprijed definiranim relacijama po predviđenim trasama iz voznog reda ili po dogovorenim i posebno utvrđenim trasama. Za ovakvu vrstu usluge Petrokemija i prijevoznici (najvećim djelom HŽ Cargo) imaju definiran poslovni odnos reguliran ugovorima i tarifama u kojima su pobliže ugovorene količine, vrste i tip vagona, utovarno-istovarni rokovi, cijene prijevoza, način plaćanja, i drugi bitni uvjeti.

Pojam *maršrutizacije* podrazumijeva izravan vlak na većoj udaljenosti koji na svom putu prođe najmanje jedan rasporedni kolodvor bez prerade. Obzirom da Petrokemija otprema značajne količine robe željeznicom, na srednje i veće udaljenosti, prema logističkim točkama pretovara (luke Šibenik i Vukovar) i izravno prema velikim domaćim i inozemnim kupcima, ovakav oblik prijevoza predstavlja najbolji izbor. Njime se smanjuju troškovi prerade i zadržavanja vagona, ubrzava obrt vagona i lokomotiva a sve to rezultira boljim korištenjem sredstava, odnosno boljom ekonomičnosti prijevoza čime se otvara mogućnost za kreiranjem bolje i povlaštene cijene usluge prijevoza.

3. TROŠKOVI PLANA PRIJEVOZA

3.1. Troškovi u željezničkom prometu

Ciljevi željezničkog prometa se ostvaruju kroz pružanje prijevozne usluge, odnosno u postupku prijevoza putnika i robe. U svakoj djelatnosti, uslužnoj, proizvodnoj, društvenoj ili privatnoj to podrazumijeva ostvarivanje dodatne vrijednosti za ostvareni proizvod ili uslugu ali i generira određene troškove u procesu proizvodnje. Ti troškovi predstavljaju količinski izraz fizičkog trošenja pojedinih elemenata u procesu proizvodnje i mogu se podijeliti na, [7]:

- utroške sredstava za rad
- utroške materijala
- utroške radne snage

Utrošci sredstava za rad u željezničkom prometu nastaju korištenjem željezničke infrastrukture i suprastrukture koja se u procesu prijevoza troši u prostoru i vremenu. Stabilna infrastruktura koju čine gornji i donji ustroj pruge, zgrade u eksploataciji, elektrovučne postavnice, signalno-sigurnosni uređaji i ostali objekti te oprema na željeznici svojom funkcijom omogućuju odvijanje prometa i ne ovise o veličini funkcioniranja rada. Vučna i vučena prijevozna sredstva pri tome svojim kretanjem po infrastrukturi ostvaruju koristan učinak premještanjem putnika i tereta. Pri prijevozu putnika to su putnički kilometri (pkm), a u prijevozu tereta netotonski kilometri (ntkm), [3].

Utrošci materijala za rad u prijevozu se, za razliku od proizvodne djelatnosti, ne pojavljuju u obliku utrošene sirovine na koje djeluju sredstva rada, nego su to:

- energija i pogonsko gorivo
- materijal za održavanje sredstava
- materijal za obavljanje operativne funkcije
- režijski materijal

Utrošci radne snage nastaju trošenjem ljudskih kapaciteta u procesu proizvodnje usluge.

3.2. Troškovi plana prijevoza

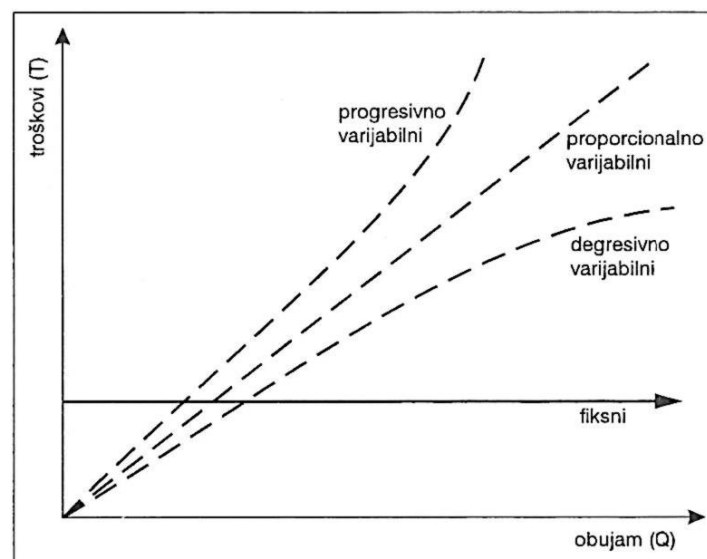
Troškovi prijevoza pojavljuju se kao izravna posljedica ostvarenog prijevoza robe. Pomnim planiranjem svih segmenata prijevoznog procesa moguće je utjecati na smanjenje troškova prijevoza te na koncu na ukupnu cijenu usluge, a ispravna strategija formiranja cijene usluge doprinosi izgradnji brenda, boljem pozicioniranju poduzeća na prijevoznom tržištu i izgradnji dugotrajnog odnosa sa korisnicima, [8].

Prijevozni troškovi se mogu promatrati sa različitih motrišta i kriterija. Kriteriji razdiobe koji se mogu primijeniti su, [7]:

- promjena obujma prometa
- elementi procesa proizvodnje prijevozne usluge
- nositelji prijevoznih troškova

Prema obujmu prometa troškovi se dijele na fiksne i varijabilne. Fiksni troškovi ne ovise o obujmu prijevoznog rada i ostaju isti bez obzira o količini prevezene robe. Ovi troškovi se kao prosječni troškovi po jedinici proizvoda smanjuju. To znači da će njihova stvarna vrijednost biti konstantna ali će oni prosječno opadati sa porastom obujma proizvodnje prijevozne usluge. Ovo vrijedi sve dok se zadržava ista zona zaposlenosti i kapacitet proizvodnje. Pojačanjem jedne od ove dvije varijable dolazi do rasta fiksnih troškova, ali nakon usklađenja sa promjenom opet slijede konstantnu vrijednost u novim okolnostima.

Varijabilni troškovi, s druge strane, izravno ovise o promjenama u obimu proizvodnje prijevozne usluge. To su troškovi energije, goriva, maziva, plaća djelatnika i dr. koji rastu kada se obujam prijevoza povećava a padaju kada se obujam prijevoza smanjuje, [7]. Na slici 3 prikazane su karakteristike fiksnih i varijabilnih troškova.



Slika 3. Prikaz ukupnih fiksnih i varijabilnih troškova, [7]

Fiksni troškovi dakle zadržavaju konstantnu vrijednost za cijelo vrijeme porasta varijable obujma dok ponašanje varijabilnog troška po jedinici obujma može biti, [2]:

- proporcijalno
- degresivno

- regresivno

Troškovi sredstava za rad odnose se na troškove željezničke pokretne i stabilne infrastrukture. Stabilna infrastruktura omogućuje odvijanje prijevoznog procesa, dok pokretna infrastruktura, vučna i vučena prijevozna sredstva, svojim radom ostvaruju koristan učinak.

Obavljajući i podržavajući prijevoz stabilna i pokretna infrastruktura se troši u vremenu i prostoru, a taj trošak se iskazuje knjigovodstveno kroz amortizaciju. Amortizacija je prenošenje vrijednosti s jednog objekta na drugi, odnosno s osnovnog sredstva na proizvode i usluge te se periodički obračunava prema zakonski određenim stopama, [7], [9].

Osim amortizacije sredstva rada su podložna i troškovima investicijskog i tekućeg održavanja.

Prema nositelju prijevoznog se troškovi mogu promatrati sa stajališta, [7]:

- sa stajališta prijevoznog poduzeća
- sa stajališta korisnika prijevozne usluge
- sa stajališta države

Sa stajališta prijevoznog poduzeća kvalitetno određivanje prijevoznih troškova je od iznimnog značaja. Utvrđivanje optimalne razine i strukture cijene prijevoza određuju profit poduzeća te posljedično sposobnost budućeg razvoja i položaja na tržištu, a da bi se pronašao traženi optimum cijene potrebno je precizno odrediti stvarne troškove poduzeća.

Sa stajališta korisnika usluge troškovi su cijena usluge koju trebaju platiti za obavljenu rad a koju je na osnovi stvarnih troškova uvećano za određenu maržu utvrdio pružatelj prijevozne usluge.

Sa stajališta države troškovi se odnose na troškove građenja, održavanja i upravljanja javnom željezničkom infrastrukturom. Troškovi države i upravitelja infrastrukture su uglavnom značajni a sukladno Zakonu o željeznici mogu biti financirani, [10]:

- sredstvima ostvarenim naknadom po litri naplaćene trošarine na energente
- sredstvima državnog proračuna za održavanje željezničke infrastrukture
- sredstvima državnog proračuna za financiranje i sufinanciranje građenja, modernizacije i obnove željezničke infrastrukture i ostalih investicijskih projekata željezničke infrastrukture
- sredstvima iz fondova Europske unije za sufinanciranje investicijskih projekata željezničke infrastrukture
- sredstvima iz proračuna jedinica lokalne i područne (regionalne) samouprave
- sredstvima ulaganja domaćih i stranih pravnih osoba

- sredstvima iz drugih izvora, uključujući vlastite prihode upravitelja željezničke infrastrukture

3.3. Cijena usluge

Cijene općenito znače novčane izraze vrijednosti robe[2]. Cijena usluge prijevoza dakle predstavlja novčanu vrijednost koju je korisnik spreman platiti prijevozniku za prijevoz određene količine robe na određenoj udaljenosti pod određenim uvjetima a koja bi trebala pokriti sve poznate troškove i prijevozniku donijeti određenu zaradu.

Prije 2013. godine i liberalizacije željezničkog teretnog prijevoza, Hrvatske željeznice, u vlasništvu države, bile su zadužene za sve segmente željezničkog prometa, uključujući gradnju i održavanje infrastrukture, upravljanje i provedbu prometa i sve dodatne usluge na željeznici. Ovakvo megalomansko državno poduzeće sa monopolom na tržištu željezničkih usluga za posljedicu je imalo neučinkovit aparat otporan na promjene i uskraćen za inovacije i benefite konkurentnog okruženja. Liberalizacijom se otvara nezavisno tržišno natjecanje između prijevoznih poduzeća što može proizvesti pozitivan učinak na kvalitetu usluge kao i tehničke i tehnološke inovacije. Oni korisniku pružaju mogućnost izbora, što u konačnici osigurava pozitivni omjer kvalitete i cijene. Upravljanje infrastrukturom kao djelatnošću od javnog interesa u liberaliziranom željezničkom prometu ostaje u državnom vlasništvu u obliku upravitelja infrastrukture (u Republici Hrvatskoj je to HŽ infrastruktura d.o.o.) koji je zadužen za organiziranje i reguliranje prometa te obnovu, građenje, i održavanje infrastrukture, ali pravno mora biti neovisan od željezničkih prijevoznika te željezničke usluge mora pružati na transparentan i nediskriminirajući način, [11][12]. Prema [13] u Republici Hrvatskoj je trenutno registrirano 17 željezničkih operatera koji imaju mogućnost obavljanja prijevoza, odnosno samostalnog kreiranja cijene usluge prijevoza sa kojom će konkurirati na tržištu željezničkog teretnog prijevoza.

U razmatranju prometa brojni su čimbenici koji izravno ili posredno utječu na proizvodnost rada, veličinu troškova, ekonomičnost, i, u svezi s time, na cijenu prijevozne usluge. Najvažniji čimbenici koji utječu na oblikovanje vrijednosti prijevozne usluge jesu[3]:

- udaljenost prijevoza
- težina (masa) i obujam tereta
- vrsta tereta
- odnos bruto transportnog i neto transportnog rada
- stupanj iskorištenosti transportnih kapaciteta
- stupanj neravnomjernosti prijevoza
- uvjeti prijevoza
- kvaliteta prijevozne usluge
- gustoća i razvijenost mreže prometnica

- obujam prijevoza

3.4. Tarife

Prema Zakonu o ugovorima u željezničkom prometu tarifa je skup podzakonskih propisa, odredaba, pokazatelja uvjeta i cjenika koji zajedno sa zakonom čine jedinstveni materijalni propis u području željezničkog prijevoza, [14]. Tarifni sustavi podrazumijevaju načela i elemente oblikovanja cijene prijevoznih usluga. Prema tome tarife i tarifni sustavi zajedno važni su za reguliranje poslovnih odnosa između proizvođača i korisnika prijevoznih usluga, [3].

Tarife osiguravaju potencijalnim korisnicima jasan uvid u naknade i tarifne uvjete za određenu vrstu prijevoza te omogućuju i olakšavaju izbor prijevoznog poduzeća koje će u konačnici biti pružatelj usluge. Također mogu biti i dodatak ugovoru između prijevoznika i korisnika kada se radi o klijentima sa zahtjevom za kontinuiranom uslugom većeg opsega, odnosno kada se sklopljenim ugovorom definira prijevoz većih količina određene robe na određenim relacijama, kao što je to slučaj sa Petrokemijom, [15].

Petrokemija usluge željeznice koristi za dopremu sirovine i trgovačke robe te otpremu gotovog proizvoda, mineralnog gnojiva, u rasutom stanju, ili upakirano u velike vreće ili palete različitih dimenzija. Relacije koje pri tome konzumira su uglavnom prema lukama prekrcaja (Šibenik i Vukovar) ili prema velikim kupcima na inozemnom tržištu sa kojima ima ugovorene značajne količine. Ovakvi zahtjevi u pogledu količina, relacija i vrste robe omogućuju sklapanje jednogodišnjih ili višegodišnjih ugovora sa prijevoznikom kojima se mogu definirati osnovni uvjeti prijevoza pošiljaka željeznicom kao što su obujam prijevoza, način, rokovi i osiguranje plaćanja, fakturiranje, reklamacije i sl. Istim ugovorom predviđa se formiranje korisničkih tarifa koje pobliže definiraju uvjete za pojedine prijevoze prema relacijama.

Tarifama, odnosno tarifnim tablicama su dakle predočene vrijednosti i uvjeti određene prijevozne usluge koja u sebi sadrži cijene prijevoznih usluga, prijevozne troškove sa više stajališta te dinamiku prijevoznih troškova.

U ekonomskoj literaturi se osim tarifne teorije pronalaze i brojna tarifna načela od kojih je važno istaknuti dva najvažnija:

1. načelo vrijednosti robe koja se prevozi
2. načelo vrijednosti prijevozne usluge

U prvom slučaju vrijednost prijevozne usluge se temelji na konkretnoj vrijednosti robe tzv. *ad valore*. Prema ovome načelu za robu veće vrijednosti cijena prijevozne usluge će biti veća. Radi se o zastarjelom tarifnom načelu koji se postepeno napušta u ekonomici željezničkog prometa.

Drugo tarifno načelo, načelo vrijednosti prijevozne usluge ignorira u potpunosti vrijednost robe i isključivo se bazira na stvarnim troškovima prijevozne usluge. Ovo načelo ima najširu primjenu danas, [7].

Zaključno, analiza troškova u prometnom sustavu igra važnu ulogu za sve dionike u procesu prijevoza.

Za prijevoznika to znači kalkulaciju troškova koja će poslužiti kao baza za kreiranje cijene usluge. Dobrom procjenom troškova formirat će se cijena koja će osigurati profitabilnost i održivost poslovanja i koja će najbolje istaknuti komparativne prednosti poduzeća na slobodnom tržištu prijevoznih usluga te konačno osigurati dodatna sredstva za inovacije i poboljšanje usluge.

Iz perspektive korisnika usluge analiza troškova pomaže pri donošenju informiranih odluka kojeg prijevoznika, ili koju prijevoznu granu koristiti za prijevoz vlastite robe, odnosno omogućuje formiranje konačne cijene vlastitih proizvoda u koju su ugrađeni i prijevozni troškovi koji obično čine njen nezanemariv dio.

Analiza troškova države u željezničkom prometu omogućava precizni izračun naknada za pristup infrastrukturi i dodatne usluge koje prijevoznici moraju plaćati upravitelju infrastrukture kako bi ostvarili pravo na korištenje javne željezničke infrastrukture. Upravitelj kroz naplaćene naknade osigurava podmirenje vlastitih troškova osoblja, te vodi računa o pravilnoj alokaciji preostalih resursa kojima će osigurati građenje, održavanje i modernizaciju željezničke infrastrukture sa ciljem poboljšanja efikasnosti i sigurnosti željezničkog prometa. Ovisno o rezultatima analize, država može donijeti političke i regulatorne odluke kako bi podržala održivost željezničkog prometa, koje mogu uključivati subvencije ili poticaje za prijevozna poduzeća sa ciljem povećanja konkurentnosti željeznice u odnosu na druge grane prometa.

4. OPTIMIZACIJA PLANA PRIJEVOZA

4.1. Međuovisnost organizacije i plana prijevoza

Mnogo je prihvaćenih pojmova organizacije, ali svima je zajedničko spajanje, obuhvaćanje dijelova i komponenata u funkciji dobivanja cjelovitosti sustava.

Pod organizacijom kao općim pojmom, razumijevaju se vrste i načini spajanja raznih dijelova cjeline, da bi se postigao zajednički cilj što ga pojedinac uopće ne može postići ili pak može ali uz nesrazmjerno velik napor, [2].

Prethodno je u radu promet definiran kao sustav. Tako se željeznica u općenitom prometnom sustavu može opisati kao složen i dinamičan podsustav sa velikim brojem elemenata (infrastruktura, suprastruktura, kadrovi i dr.) gdje se njihovim organiziranjem postiže konačni cilj, odnosno ostvarenje prijevozne usluge. Pri tome se teži prometnu uslugu pružati na najoptimalniji mogući način kako bi se osigurala dostatna privlačnost željeznice u obliku ekonomičnosti, komfora, brzine, učinkovitosti kojom bi privukla što veći broj korisnika. Cilj organizacije i eksploatacije u željezničkom prometu je maksimizacija rezultata uz minimizaciju troška.

Plan prijevoza je jedan oblik organizacije željezničkog teretnog prijevoza. On predstavlja mehanizam kojim prijevoznik želi pružiti traženu uslugu korisniku racionalnim korištenjem materijala i sredstava za rad i radne snage. To je operativni plan tehnološkog procesa željezničkog prometa i radi se s ciljem usklađivanju ponude s potražnjom, [2].

To usklađivanje koje je predstavljeno sredstvima i njihovim kapacitetima znači:

- raspored radnog parka vagona
- raspored radnog parka lokomotiva
- formiranje vlakova po prugama i smjerovima
- struktura vlakova po vrstama prometa: unutarnji, međunarodni (uvoz, izvoz i tranzit)
- pokazatelje eksploatacije

Promatrajući prethodnu podjelu jasno je kako su osnovni elementi plana prijevoza na željeznici tehnička sredstva i način njihova korištenja. Željeznička tehnička sredstva, teretni vagoni i lokomotive, stvaraju koristan učinak kada su u pogonu, s druge strane, kada stoje predstavljaju neproizvodni trošak. Kako se radi o znatnim sredstvima po kapacitetu i vrijednosti njihova ekonomičnost se očitava u njihovom duljem jednokratnom korištenju obzirom na obujam, vrijeme i nosivost, odnosno maksimalna učinkovitost se postiže kada vlak prometuje na većoj udaljenosti u što cjelovitijem sastavu, [3].

Ovako postavljeni odnosi unutar organizacije željezničkog teretnog prijevoza ukazuju kako je organiziranje prijevoza, odnosno kreiranje plana njegovog izvođenja

potrebno kreirati na opširnijoj tehničko-tehnološkoj razini. To znači da se moraju uključiti prostorno i administrativno šira područja djelovanja kako bi se postigao maksimalan učinak kroz efikasno korištenje i eksploataciju vagonskog i lokomotivskog parka na što duljima relacijama.

4.2. Transportni problem

Transportni problem je koncept istraživanja koji se često koristi za rješavanja problema plana transporta istovrsne robe na način da se odredi optimalna varijanta prijevoza tereta između različitih lokacija uz minimalne troškove. Osnovni elementi transportnog problema su:

- Ishodišta (izvori) – to su mjesta (kolodvori, postaje) s kojih potječe teret koji treba prevesti
- Odredišta – to su mjesta prijema tereta, odnosno kolodvori koji poslužuju distribucijske centre, skladišta, mjesta potrošnje prevezene robe.
- Količine tereta – to su količine robe koje treba prevesti od ishodišta do odredišta
- Troškovi prijevoza – su troškovi ili vrijednosti povezane sa prijevozom jedinice tereta između svakog para izvora i odredišta. Ovi troškovi mogu predstavljati cijene prijevoza, udaljenosti, vremena itd.

Postavke matematičke formulacije transportnog problema su sljedeće, [16]:

Problem sadrži m ishodišta i n odredišta. Ishodišta se označe sa I_1, I_2, \dots, I_m , a odredišta sa O_1, O_2, \dots, O_n . Količina istovrsnog tereta u ishodištima, ponuda obilježi se sa a_1, a_2, \dots, a_m , a potražnja u odredištima sa b_1, b_2, \dots, b_n . Te veličine mogu biti izražene u tonama, komadima, vagonima, satima i dr.

Ako zadovoljavaju jednakost

$$a_1 + a_2 + \dots + a_m = b_1 + b_2 + \dots + b_n \quad (1)$$

tada se transportni problem naziva ZATVORENIM.

Ako je ispunjeno

$$\sum_{i=1}^m a_i > \sum_{j=1}^n b_j \text{ ili } \sum_{i=1}^m a_i < \sum_{j=1}^n b_j \quad (2)$$

tada se transportni problem naziva OTVORENIM

Dalje se označi s $c_{ij}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$ cijena transporta jedinice tereta od i -tog ishodišta do j -tog odredišta, a s x_{ij} – količina tereta koji treba prevesti iz i -tog ishodišta u j -to odredište. Svi se ti podaci mogu pregledno dati u tablici (slika 4.).

| | | ODREDIŠTA | | | | PONUĐA a_i |
|--------------------|-------|----------------------|----------------------|-----|----------------------|-----------------|
| | | O_1 | O_2 | ... | O_n | |
| ISHODIŠTA | I_1 | c_{11} x_{11} | c_{12} x_{12} | ... | c_{1n} x_{1n} | a_1 |
| | I_2 | c_{21} x_{21} | c_{22} x_{22} | ... | c_{2n} x_{2n} | a_2 |
| | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| | I_m | c_{m1} x_{m1} | c_{m2} x_{m2} | ... | c_{mn} x_{mn} | a_m |
| POTRAŽNJA b_j | | b_1 | b_2 | | b_n | |

Slika 4. Tablica transportnog problema, [16]

Za zatvoreni model transportnog problema veličine $x_{ij}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$ čine dopustivi ili mogući plan transporta ako zadovoljavaju slijedeća ograničenja:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

$$x_{ij} \geq 0; \quad i = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

Uvjet $\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j$ je nužan i dovoljan uvjet da bi sustav jednačbi bio suglasan.

Obzirom da transportni problem predstavlja problem linearnog programiranja on se rješava u potrebnom broju etapa. U prvoj etapi postavlja se početno (bazično rješenje).

U drugoj etapi pristupa se pronalaženju optimalnog rješenja.

Ako u drugoj etapi nije pronađeno optimalno rješenje, prelazi se na treću etapu, to jest na etapu gdje se nizom iteracija prelazi s početnog bazičnog rješenja na bazična rješenja koja su sve bliže optimalnom.

Najčešće metode određivanja optimalnog rješenja transportnog problema koje ovise o kontekstu problema, veličini problema i dostupnim alatima za rješavanje su, [16]:

- dijagonalna metoda (metoda sjeverozapadnog kuta)
- metoda najmanje jedinične cijene
- slučaj degeneracije
- VAM metoda (Vogelova metoda)

4.3. Problem odabira željezničkih vagona

Problem odabira željezničkih vagona ključan je problem iz perspektive korisnika prijevozne usluge. Svaka vrsta robe ili određeni proizvod ima specifična kemijska i fizikalna svojstva koja im omogućava prijevoz u jednom tipu vagona odnosno isključuje uporabu drugog a sve u cilju zaštite izvornih karakteristika i održavanja količine prevezene robe. Vrsta robe također utječe na izbor prekrcajne mehanizacije i njihove značajke te karakteristike postrojenja i opreme na utovarno/istovarnim mjestima.

Obzirom na fizička, kemijska i druga svojstva roba koja se prevozi željeznicom može biti u, [3]:

- komadnom
- sipkom ili rasutom (rinfuza)
- tekućem
- i plinovitom stanju

Komadnim proizvodima se smatraju pakirani i nepakirani (prirodni i oblikovani) proizvodi uglavnom viših preradnih faza poput prirodnih komada, strojeva, paletizirane robe, velikih vreća (big bags), razni blokovi, opekarski proizvodi, rezervni dijelovi i elementi i sl.

Sipki ili rasuti (rinfuza) tereti su materijali koji mogu biti u praškastom i zrnčanom obliku i imaju određenu granulaciju. Ovisno o granulaciji razlikujemo krupnokomadni, srednjekomadni, sitnokomadni, zrnati i praškasti teret. Ovdje pripadaju ugljen, rudača, žitarice, mineralna gnojiva, cement, građevinski materijal (pijesak, šljunak, kamen).

Tekući teret obuhvaća velike količine tereta u prijevozu. Obilježuje ga podrijetlo i kemijski sastav poput zapaljivosti, agresivnosti, nagrizajućeg djelovanja i dr. U ovu kategoriju spadaju nafta i naftne prerađevine, kiseline, alkohol, voda, boje i sl.

Plinove obilježuje agresivnost, zapaljivost, eksplozivnost i mala specifična masa te mogućnost velikog tlačenja[17].

Obzirom na navedene karakteristike robe, u željezničkom prometu pronalazimo teretne vagonne različitih tehničko-eksploatacijskih značajki prema kojima se odabire namjena vagona. Teretni vagoni su svrstani u 13 kategorija označeni velikim slovima od E do Z. Tako postoje teretni vagoni sljedećih serija, [18]:

- G – obični zatvoreni vagoni
- H – specijalni zatvoreni vagoni
- K,O,R – mješoviti otvoreni (ili sa ceradom) plato-vagoni, obični
- L,S – specijalni plato-vagoni i plitki vagoni
- E,T – obični otvoreni vagoni (E) i specijalni s pokretnim krovom (T)
- F – specijalni otvoreni vagoni
- Z – specijalni zatvoreni vagoni s posudama za tekućine – cisterne
- I – zatvoreni vagoni – hladnjače
- U – specijalni zatvoreni vagoni s iskrcajem pomoću stlačenog zraka

Svaku seriju karakteriziraju podserije označene malim slovima koje pobliže opisuju namjenu vagona i ostale tehničko-eksploatacijske značajke. Tako na primjer vagon serije Tads označava specijalni vagon sa pokretnim krovom koji ima dodatne karakteristike:

a – vagon s okretnim postoljima

d – vagon s gravitacijskim iskrcajem rasutog tereta

s – vagon sposoban za režim „S“ najveće dopuštene brzine vožnje do 100 km/h

Odabir željezničkih vagona predstavlja zajednički napor između prijevoznika i korisnika usluge. Oba subjekta su uključena u izbor kako bi se osigurao prijevoz robe na način koji zadovoljava njihove potrebe, troškove i zahtjeve. Ova suradnja je ključna u postizanju ravnoteže između sigurnosti, učinkovitosti i ekonomske isplativosti i predstavlja neizbježan segment kreiranja optimalnog i učinkovitog plana prijevoza.

5. STUDIJA SLUČAJA OPTIMIZACIJE PLANA PRIJEVOZA U PETROKEMIJI D.D.

5.1. Radna jedinica Logistika

Petrokemija d.d. Kutina bavi se proizvodnjom mineralnog gnojiva uporabom mineralnih sirovina, prirodnog plina, atmosferskog dušika i kisika te njihovom prodajom na domaćem i inozemnom tržištu. Sa godišnjim kapacitetom od 1,35 milijuna tona predstavlja značajan čimbenik razvoja hrvatskog gospodarstva i podizanja standarda i kulture življenja u Kutini i Kutinskoj regiji, [19].

Radna jedinica Logistika dio je lanca opskrbe i predstavlja ključan faktor sposobnosti tvrtke da učinkovito upravlja protokom sirovina, materijala i gotovih proizvoda. Svojim djelovanjem brine o dopremi i skladištenju sirovine i trgovačke robe te pakiranju, utovaru i otpremi pakiranog i rasutog gotovog proizvoda. Raspoložbe sa skladišnim kapacitetima koji omogućavaju istovremeni prihvat, [20]:

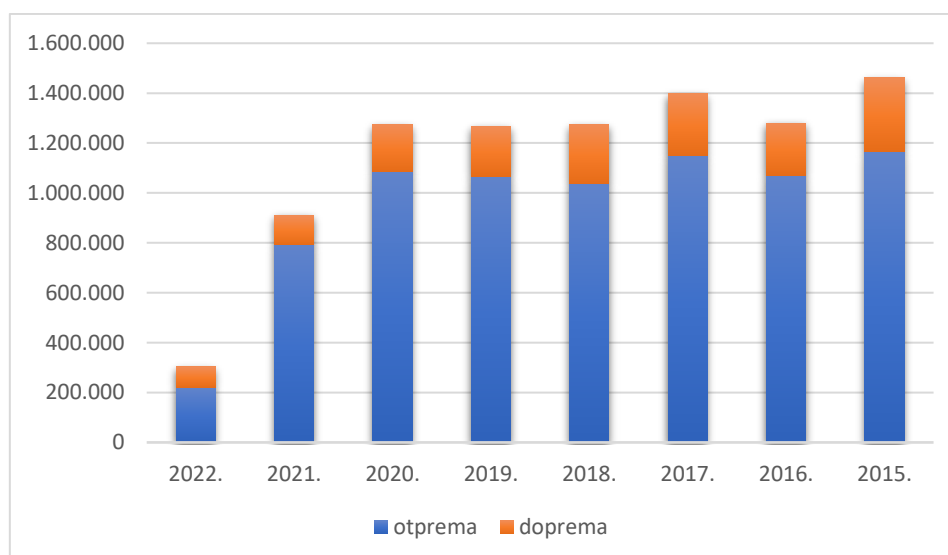
- 184 000 t – gotovih proizvoda u rasutom stanju
- 83 000 t – sirovina u rasutom stanju
- 30 400 t (17 600 t) – ukupno na paletama (ukupno u velikim vrećama)

Prijem i skladištenje te pakiranje i otprema robe se obavlja korištenjem cestovnog ili željezničkog prijevoza na pozicijama pakirnice 1, 2 i 3 koje su opremljene postrojenjima i opremom prilagođenim istovaru i utovaru rasute i pakirane robe, paletizirane ili u velikim vrećama. Utovar i istovar rasute robe obavlja se gravitacijski na istovarnim/utovarnim rampama a veza sa skladištima je ostvarena preko brojnih transportnih puteva opremljenih trakastim transporterima. Pakiranom robom se manipulira radnim strojevima (viličarima i telehandlerima), a prijevoz iz i u skladišta se obavlja traktorom i plato prikolicom. Postrojenja pakirnice 1, 2 i 3 ovisno o vrsti robe kojom se manipulira čine slijedeća transportna mjesta[21]:

- TM 01 (Istovar sirovina 1) – obuhvaća istovar fosfata, kalijevog klorida, mono amonijevog fosfata (MAP-a), di amonijevog fosfata (DAP-a) i drugih sirovina
- TM 02 (Pakirnica 1) – obuhvaća pakiranje, utovar i otpremu paletizirane, rasute i robe u velikim vrećama
- TM 03 (Istovar dolomita) – obuhvaća istovar dolomita te se povremeno koristi za manipulaciju drugom robom
- TM 04 (Pakirnica 2) - obuhvaća pakiranje, utovar i otpremu paletizirane, rasute i robe u velikim vrećama
- TM 05 (Pakirnica 3) - obuhvaća pakiranje, utovar i otpremu paletizirane, rasute i robe u velikim vrećama
- TM 06 (Istakalište) – obuhvaća istakanje i utakanje sirovina i gotovih proizvoda u tekućem stanju

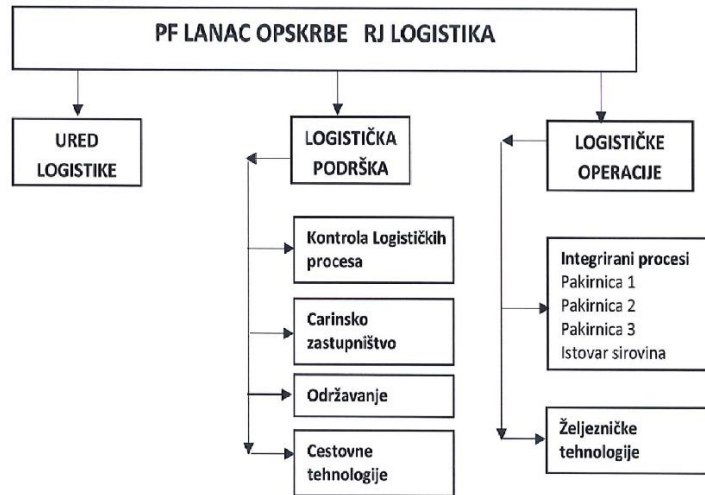
- TM 07 (Istovar sirovina 2) – obuhvaća istovar fosfata, sumpora, kalijevog klorida, kvarcnog pijeska i drugih sirovina te gotovih proizvoda u rasutom stanju

Na slici 5 prikazan je odnos dopreme i otpreme sirovine i gotovih proizvoda u Logistici za period 2015.-2020. Podaci su prikupljeni analizom godišnjih izvještaja za navedeno razdoblje. Uočljiv je kontinuitet u prerađenim količinama između 2015. i 2020. godine kada se realizacija otpreme i dopreme kretala između 1,2 i 1,4 milijuna tona godišnje. 2021. dolazi do pada na 909.000 t, te daljnjeg pada u 2022. na 303 000 t. Padovi zabilježeni u posljednje dvije godine posljedica su nestabilnosti na tržištu uslijed pandemije COVID-19 virusa a potom i energetske krize uzrokovane ratom u Ukrajini. Kontinuitet prikazan u podacima za period od 2015. do 2022. godine upućuje na stabilno poslovanje u količinama koje predstavljaju približni maksimum preradne sposobnosti logističkih kapaciteta Petrokemije.



Slika 5. Logistika – pregled otpreme i dopreme za period 2015.-2022. godine

Postizanje maksimalnog učinka i ostvarivanje logističkih ciljeva ostvarivo je kroz uspostavljanje odgovarajuće organizacijske strukture koju odlikuju stručni i kompetentni kadrovi i odgovarajuća infrastruktura koji djeluju unutar precizno definiranih poslovnih okvira. Logistika Petrokemije podijeljena je u tri glavne organizacijske cjeline u sklopu kojih djeluje 6 manjih organizacijskih jedinica. Organizacijska shema Logistike prikazana je na slici 6.



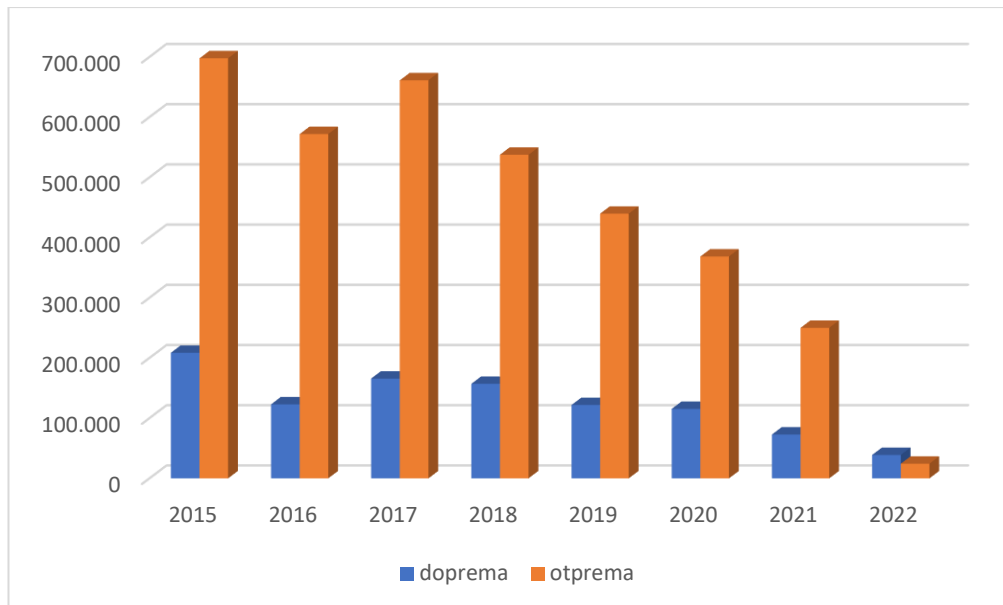
Slika 6. Organizacijska shema Logistike, [22]

Svaka od navedenih radnih jedinica zadužena je za određeni raspon zadataka u domeni svoga područja djelovanja te aktivirajući odnose sa ostalim jedinicama pridonosi uspostavljanju učinkovitog procesa otpreme i dopreme. Tema ovog rada je analiza optimizacijskih mjera plana prijevoza na željeznici tako da nije potrebno detaljno upoznavanje svih logističkih procesa pa će se u nastavku opširnije opisati samo Željezničke tehnologije i njeni infrastrukturni kapaciteti kao glavni čimbenici ostvarenja planova otpreme i dopreme željeznicom u Petrokemiji.

5.2. Željezničke tehnologije

Željezničke tehnologije funkcionalan su podsustav unutar radne jedinice Logističkih operacija. Zajedno sa organizacijskom cjelinom Cestovne tehnologije čine cjelovit prijevozni mehanizam zadužen za realizaciju svih zahtjeva Petrokemije u pogledu dopreme i otpreme robe unutar sjedišta tvrtke u Kutini. Osim cestovnog i željezničkog prometa Petrokemija se koristi i pomorskim prometom i prometom na unutarnjim plovnim putevima preko luka u Šibeniku i Vukovaru. Gledajući dalje u prošlost željeznički prijevoz je bio dominantno zastupljen i činio je gotovo isključivi dio u ukupnoj cirkulaciji robe za potrebe Petrokemije. To iz razloga drukčije tehnologije proizvodnje koja je zahtijevala puno više sirovina ranije faze prerade, koja se isključivo dopremala željeznicom te drukčije prodajne strategije tvrtke koja je mnogo više robu izvozila na udaljenija tržišta regije (Italija, Srbija, Austrija, Slovenija itd.) i pomorskim putem preko Luke Šibenik, gdje su se isticale komparativne prednosti željeznice na srednje i veće udaljenosti u odnosu na cestovni promet. Omjer prijevoza u pred pandemijskom razdoblju je iznosio oko 40% željeznica, 60% cesta, sa tendencijom pada željezničkog udjela. Navedeno vrlo dobro ilustrira podatak o prevezenim količinama željeznicom u posljednjih osam godina (slika 7.) gdje se jasno vidi pad

prevezenih količina, čak i u pred pandemijskom periodu kada su rezultati robnog prometa na razini Petrokemije bile razmjerno konstantni (slika 5.).



Slika 7. Doprema i otprema u Željezničkim tehnologijama (2015.-2022.)

5.3. Industrijski kolosijeci Petrokemije

Od svojih najranijih početaka Petrokemija je odabrala poslovnu strategiju kojom se snažno oslanja na željeznički prijevoz. Tako je u nekoliko etapa izgrađen i proširivan sustav industrijskih kolosijeka kojima se vagonima snabdijevaju logistička transportna mjesta na kojima se obavljaju radnje utovara ili istovara. Obzirom na volumene koje prevozi, Petrokemija se može svrstati u velike korisnike pa postojanje industrijskih kolosijeka otvara brojne prednosti kako za nju tako i za željeznicu. Petrokemija time osigurava uslugu „od vrata do vrata“, brz, masovan i stabilan način prijevoza te zahvaljujući opsluživanju rada vlastitom lokomotivom i osobljem, pojednostavljen proces utovara i istovara. Željeznica je, s druge strane, „vezala“ velikog korisnika za ovaj mod prijevoza, omogućena je maršutizacija, te je ubrzan obrt vagona i lokomotiva.

Industrijski kolosijeci Petrokemije smješteni su uz magistralnu prugu Zagreb – Tovarnik od kilometra 23+000 do kilometra 27+500. Preko primopredajne skupine kolosijeka povezani su sa kolodvorom Kutina koji je u svojstvu nadzornog kolodvora. Izgrađeni su za opterećenje od 20 t po osovini, a ukupna duljina kolosijeka iznosi 21 000 m. Ukupno je ugrađeno 80 skretnica (74 jednostruke i 6 križnih). Kako bi se lakše savladala teorija procesa i organizacija rada potrebno je detaljnije opisati njihovu stabilnu i pokretnu infrastrukturu, [23].

5.3.1. Stabilna željeznička infrastruktura

5.3.1.1. Kolosiječni kapaciteti

Obzirom na ulogu u tehnološkom procesu rada industrijski kolosijeci Petrokemije podijeljeni su u 9 skupina:

1. primopredajna skupina kolosijeka
2. utovarni kolosijeci
3. istovarni kolosijeci
4. prolazni kolosijeci
5. kolosijeci ranžirne skupine
6. kolosijeci istovara i utovara tekućina
7. kolosijeci vagonskih vaga
8. izvlačnjaci
9. kolosijek za pranje vagona

Primopredajnu skupinu čini pet kolosijeka i koriste se za tehničko-komercijalnu razmjenu vagona između Petrokemije i ugovorenih željezničkih prijevoznika. Na njima se obavlja dostava praznih i tovarnih vagona za potrebe Petrokemije, odnosno njihovo izvlačenje kada se pošiljke predaju na prijevoz ili se vagoni prazni vraćaju na raspolaganje prijevozniku.

Utovarni kolosijeci namijenjeni su za utovar mineralnog gnojiva u vagone. Obzirom na postrojenja koja opslužuju podijeljeni su na:

- utovarne kolosijeke pakirnice 1
- utovarni kolosijek pakirnice 2
- utovarne kolosijeke pakirnice 3

Na pogonima NPK 1 i KAN 1 se odgovarajućim tehnološkim postupcima proizvode jednostavno kruto anorgansko gnojivo kalcijev amonijev nitrat (KAN) i složena kruta anorganska gnojiva sa kombinacijama dušično-fosforno-kalijevim (N-P-K) makrohranjivima koji se preko postrojenja pakirnice 1 na utovarnim kolosijecima u rasutom ili pakiranom obliku utovaruju u vagone.

Na utovarnom kolosijeku pakirnice 2 se utovaruje kalcijev amonijev nitrat (KAN) ili amonijev nitrat (AN) proizvedeni na postrojenju KAN 2 i po potrebi pakirani na pakirnici 2.

Utovarni kolosijeci pakirnice 3 opslužuju postrojenje pakirnice 3 preko koje se utovaruju mineralna gnojiva UREA, amonijev sulfonitrat (ASN) i amonijev sulfat (petrokemijas) proizvedeni na pogonima UREA i NPK 2.

Na istovarnim kolosijecima istovara se sirovina potrebna za proizvodne procese te trgovačka roba namijenjena pakiranju i daljnjoj prodaji. Obzirom na proizvodna postrojenja koja opslužuju podijeljeni su na:

- kolosijeke istovara sirovina 1. faze
- kolosijeke istovara sirovina 2. faze

Prolazni kolosijeci omogućuju manevarske vožnje od istočne do zapadne strane industrijskog kompleksa Petrokemije povezujući pojedine kolosiječne skupine i transportna mjesta omogućavajući kontinuirano odvijanje manevarskih aktivnosti bez prekida rada na utovarno-istovarnim mjestima.

Sedam kolosijeka ranžirne skupine koriste se za rastavljanje manevarskih sastava u dopremi te slaganja vlakova u otpremi, odnosno deponiranje praznih vagona za koje trenutno ne postoji potreba.

Na kolosijecima istovara i utovara tekućina izgrađena su postrojenja koja omogućuju istakanje i utakanje lakih i teških ulja, sumporne kiseline, amonijaka i tekućih gnojiva. Skupinu čini 6 kolosijeka.

Zbog velikog obujma rada sa željezničkim pošiljkama u rasutom stanju na dva kolosijeka su ugrađene kolosiječne vage na kojima se obavlja vaganje rasute robe u dopremi i otpremi.

Izvlačnjaci su kolosijeci koji u kolodvorima sa većim obujmom manevarskog rada, kao što je Petrokemija, omogućuju manevriranje primjenom tehnologije manevriranja na izvlačnjacima. Na industrijskim kolosijecima Petrokemije izgrađena su dva takva kolosijeka na krajnjoj istočnoj i zapadnoj točki kompleksa.

Cirkulacijom velikog broja Tadds vagona za prijevoz rasute robe pojavljuje se potreba za njihovim pranjem, čišćenjem i oblaganjem. U tu svrhu jedan kolosijek je opremljen postrojenjem za pranje i oblaganje vagona. Postrojenje je prilagođeno za pranje vagona serije T ali može se po potrebi koristiti za pranje drugih vagona ako njihove tehničke karakteristike omogućuju primjenu tehnologije i opreme na kolosijeku.

Popis kolosijeka sa korisnim dužinama i namjeni u tehnološkom procesu nalaze se u tablici u prilogu 1.

5.3.1.2. *Objekti i oprema na industrijskim kolosijecima*

Na industrijskim kolosijecima Petrokemije izgrađeni su objekti i oprema koji svojom funkcijom omogućavaju i podržavaju obavljanje manevarskog rada.

Loko-postavnica je objekt koji se koristi za boravak manevarskog izvršnog osoblja u periodima čekanja na rad. Opremljen je telefonskom linijom prvenstveno za komunikaciju sa dispečerom u pogledu organizacije manevarskog rada. Sa ovoga mjesta rukovatelj manevrom i manevristi planiraju slijed manevarskih zadataka.

Zgrada vagonске vage zaposjednuta je disponentima koji obavljaju vaganje vagona i druge komercijalne aktivnosti glede dopreme i otpreme željeznicom

(evidentiranje utovara, zaprimanje i obrada transportne dokumentacije, ispisivanje teretnog lista, otpremnica, deklaracija i sl.). Objekt je smješten između dva kolosijeka točno na mjestu gdje su u kolosijek ugrađene dvije željezničke vage, vaga-sjever i vaga-jug. Elektronskim vagama se upravlja sa terminala u zgradi koji su pozicionirani tako da se sa mjesta vaganja može vidjeti položaj vagona i osnovni podaci o vagonu (serijski broj vagona, podaci o tari vagona, nosivosti i dr.). Same vage su izvedene u dvosegmentnoj mosnoj konstrukciji i svaka ima sposobnost vaganja do 100 t (slika 8.).

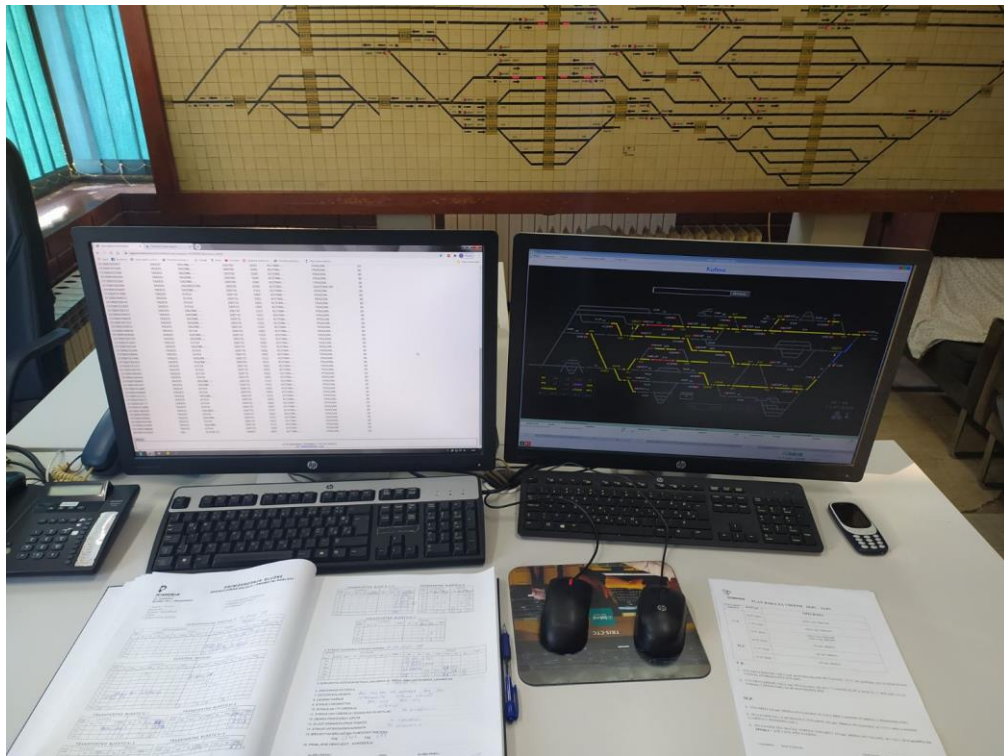


Slika 8. Mosna željeznička vaga

U zgradi dizel-depoa smještene su dvije dizel-hidrauličke manevarske lokomotive serije DHL 734 kojima se obavlja manevarski rad u krugu tvornice. Ovdje su također smješteni strojovođe i mehaničari za lokomotive, a obavljaju se poslovi pregleda, snabdijevanja lokomotiva gorivom, pijeskom za poboljšanje koeficijenta trenja između kotača i tračnice, tekućinama za podmazivanje i hlađenje motora, te manji servisi i zahvati na lokomotivama.

U neposrednoj blizini dizel depoa nalazi se zgrada centralne postavnice. Ona je centar organiziranja i upravljanja operativnim aktivnostima na kolosijecima Petrokemije. U zgradi se nalazi upravljački dio signalno-sigurnosnog uređaja tipa ISKRA-LORENZ kojim je izvršeno osiguranje najopterećenijeg dijela kolodvora i koji omogućuje postavljanje vozni putova i kontrolu prometa za najfrekventnije kolosijeke. Na uređaju je 2018. godine napravljen značajan investicijski zahvat kada je stari komandni pult i procesna jedinica zamijenjena novim računalnim terminalom i procesnom jedinicom modernije izvedbe čime je osigurana stabilnost i kontinuitet rada uređaja. Upravljački terminal uređaja prikazan je na slici 9. Zgrada je zaposjednuta

dispečerima zaduženim za organizaciju i provođenje manevarskog rada u smjeni, te nadzornikom za lokomotive i tehničarom za održavanje na željeznici.



Slika 9. Upravljački terminal signalno-sigurnosnog uređaja

Ne ulazeći u detaljno opisivanje i analiziranje pojedinih transportnih mjesta i pripadajuće opreme kojih je mnogo u logističkom kompleksu, a temelje se na sličnim tehnologijama istovara odnosno utovara dovoljno je spomenuti kako su sva istovarna mjesta opremljena tehnologijom bočnog iskrcaja pokraj kolosijeka na način da su uz kolosijek u razini sa podlogom izgrađeni ispusti koji propuštaju robu u podzemne bunkere iz kojih se dalje, nizom trakastih transporterata, roba isporučuje na poziciju skladištenja.

Utovarna mjesta za rasutu robu opremljena su usipnim lijevcima koji se nalaze iznad kolosijeka. Roba se u tom slučaju trakastim transporterima dovodi do usipnog lijevka te se slobodnim padom kroz krovni otvor ispušta u vagon. Utovar pakirane robe obavlja se sa asfaltiranih površina uz kolosijek pri čemu one mogu biti u razini sa tlom ili izgrađene kao povišene rampe do razine poda vagona. Na slici 10 prikazana je utovarna pozicija pakirnice 1 gdje se na desnom kolosijeku obavlja utovar rasute robe dok je uz lijevi kolosijek izgrađena povišena rampa za utovar velikih vreća.

Transportna mjesta na kojima se obavlja utovar ili istovar željezničkih vozila opremljena su ranžirnim uređajima koji omogućuju povlačenje i mikro pomicanje vagona bez angažmana manevarske lokomotive.



Slika 10. Utovarna pozicija pakirnice 1

5.3.2. Pokretna željeznička infrastruktura

5.3.2.1. Lokomotive

Petrokemija manevarski rad na svojim kolosijecima obavlja dvjema dizel-hidrauličnim lokomotivama serije DHL 734 (slika 11.). Izvorno proizvedene u tvornici MIN Niš lokomotive su remotorizirane u Tvornici željezničkih vozila Gredelj. Svojim tehničko-eksploatacijskim karakteristikama prilagođene su upravo manevarskom radu na industrijskim kolosijecima sa brojnim skretnicama i krivinama gdje njihov mali međuosovinski razmak omogućuje lakše kretanje i manipulaciju teretnim vagonima.



Slika 11. Dizel-hidraulična lokomotiva DHL 734-002

5.3.2.2. Teretni vagoni

Petrokemija ne posjeduje vlastiti teretni vagoni park i sve potrebe za vagonima podmiruje prijevoznik sa kojim tvrtka ima sklopljen ugovor. Tri su osnovna načina na koje Petrokemija prevozi svoju robu željeznicom, to su:

1. prijevoz rasutih tereta
2. prijevoz tereta zapakiranih na paletnim jedinicama
3. prijevoz tereta u velikim vrećama (tzv. big bags)

Trgovačku robu namijenjenu za daljnju prodaju, sirovine potrebne za proizvodnju mineralnog gnojiva i jedan dio gotovih proizvoda prema lukama Vukovar i Šibenik Petrokemija prevozi u rasutom stanju. Radi se o praškastoj ili zrnatoj robi male granulacije za prijevoz kojih, po svojim tehničko-eksploatacijskim karakteristikama, najbolje odgovaraju vagoni serije Tadds-z (slika 12.). Radi se o specijalnom vagonu s pokretnim krovom. Otvaranjem krova omogućuje se mehanizirani ukrcaj odozgo, dok se iskrcaj obavlja pokraj kolosijeka slobodnim padom kroz bočne otvore koji se nalaze sa obje strane vagona. Mehanizam na bočnim otvorima omogućuje regulaciju protoka robe pri iskrcaju. Vagon nema otvore za zrak pa je prikladan za prijevoz robe koju je potrebno zaštititi od atmosferskih utjecaja a ne zahtjeva provjetranje, [18].



Slika 12. Tadds-z vagon

Za prijevoz paletizirane robe i velikih vreća koriste se vagoni serija H (slika 13.) i R (slika 14.). R vagoni su obični četveroosovinski plato vagoni dodatno opremljeni

pokretnom ceradom koji omogućavaju racionalno slaganje komadne robe. H vagoni su specijalni zatvoreni vagoni sa mogućnošću otvaranja vrata preko dvije trećine svake bočne stranice njihovim uzdužnim pomicanjem. Time je olakšan ukrcaj i iskrcaj robe na paletama i velikim vrećama, uz pomoć prekrcajne mehanizacije, po cijelom korisnom prostoru. I ovi vagoni su zatvoreni što osigurava zaštitu robe od atmosferskih utjecaja i oštećenja.



Slika 13. Hbis-z vagon



Slika 14. Rils-z vagon

Rjeđe se otprema i doprema roba u tekućem stanju za što se koriste specijalni zatvoreni vagoni s posudama za tekućine serije Z. Mogu biti četveroosovinski i dvoosovinski a značajke ovih vagona omogućuju prijevoz tekućina bez ambalaže te robe koja pri povišenim temperaturama prelazi u tekuće stanje (mazut). Zbog kompleksne tehnologije pranja obično su ovi vagoni predviđeni za prijevoz određene tekućine što je i označeno na vagonu. Postrojenje za istovar i utovar tekućina opremljeno je priključnom opremom i cjevovodima za istakanje ovog tipa vagona te uređajima za zagrijavanje robe koja ima takve zahtjeve pri iskrcaju.

Sve serije vagona imaju mogućnost plombiranja čime se osigurava nepovredivost robe na cijelom prijevoznom putu.

5.3.3. Organizacija rada

Željezničke tehnologije u Petrokemiji funkcionalna su cjelina dio Logističkih operacija. Njihov osnovni zadatak je učinkovita organizacija i provedba manevarskih poslova u cilju posluživanja istovarnih i utovarnih mjesta vagonima i formiranja kompozicija za otpremu vagonskih pošiljaka. Cjelina broji 37 zaposlenika raspoređenih prema poslovima a rad je organiziran u 24h radnom vremenu. Ljudske kapacitete u Željezničkim tehnologijama čine radna mjesta:

- voditelj Željezničkih tehnologija
- inženjer za Željezničke tehnologije
- dispečeri

- strojovođa 1 (nadzornik za lokomotive i strojovođa)
- strojovođe 2
- rukovatelji manevrom
- manevristi
- disponenti
- samostalni referenti za tarife i teretne listove

Na osnovu mjesečnog operativnog plana kojeg donosi uprava društva i temeljem dnevnih planova usuglašanih na dnevnom kolegiju Logistike, voditelj Željezničkih tehnologija sa prijevoznicima dogovara operativne aktivnosti dopreme i otpreme željeznicom. Ove aktivnosti obuhvaćaju najave prijevoza iz luka prema Kutini odnosno Kutine prema lukama i krajnjim kupcima, definiranje zahtjeva u pogledu potrebnog broja i serije vagona, definiranje dinamike prijevoza željeznicom i dr.

Ovako definirani planovi kreiraju potrebu za praznim vagonima za utovar. Obzirom da je Petrokemija veliki korisnik željezničkog prijevoza obično je slučaj da u tvornici već ima na raspolaganju potrebne vagone. Ukoliko to nije slučaj vagoni se putem vagonске narudžbenice naručuju od prijevoznika.

Operativna služba na čelu sa dispečerom svakodnevno provodi manevarske zadatke sa ciljem ostvarenja planova otpreme i dopreme željeznicom. Učinkovito manevriranje ključno je u ostvarivanju maksimalne preradne sposobnosti industrijskih kolosijeka ali i postizanja potrebne razine sigurnosti stoga su pojedinačne manevarske aktivnosti, način njihovog provođenja i sigurnosne mjere detaljno razrađene Uputstvom o vršenju prometnih poslova na industrijskom kolodvoru – Petrokemije d.d. Kutina. Dispečer organizira i rukovodi radom manevre i postavlja puteve vožnje za područja koja su uključena u signalno-sigurnosni uređaj. Preostale skretnice i puteve vožnje postavljaju manevristi i rukovatelji manevrom na licu mjesta. Manevarski zadaci koji se dnevno izvršavaju na kolosijecima Petrokemije obuhvaćaju:

- (1) Rastavljanje vlakova u dolasku i postavljanje praznih vagona na kolosijek pranja ili utovarna mjesta, odnosno ulazno vaganje i postavljanje na istovarna mjesta ako se radi o pristiglim tovarnim vagonima.
- (2) Izvlačenje praznih vagona sa istovarnih mjesta i njihovo postavljanje na kolosijek pranja ili primopredajnu skupinu kolosijeka ako se vagoni vraćaju prijevozniku.
- (3) Izvlačenje tovarnih vagona sa utovarnih mjesta, izlazno vaganje, i slaganje kompozicija za otpremu na ranžirnoj skupini.
- (4) Izmjene vagona na kolosijeku pranja za vrijeme dnevnog pranja i oblaganja vagona.
- (5) Izguravanje tovarnih ili praznih kompozicija na primopredajnu skupinu kolosijeka sa ciljem predaje pošiljaka na prijevoz ili vraćanja praznih garnitura prijevozniku ako se vagoni nakon istovara ne koriste ponovno u Petrokemiji.

(6) Po potrebi mikro pomicanja vagona na transportnim mjestima radi oslobađanja putnih prijelaza, požarnih puteva ili kada su ranžirni uređaji pored kolosijeka u kvaru.

Za vrijeme manevarskog rada izvršni radnici su u stalnoj radio vezi a samo manevriranje se obavlja uz obaveznu primjenu odredbi Pravilnika o signalima, signalnim znakovima i signalnim oznakama u željezničkom prometu (NN 94/15), Pravilnika o načinu i uvjetima za obavljanje sigurnog tijeka željezničkog prometa (NN 133/09) i drugih željezničkih propisa koji uređuju predmetno područje.

Dnevni nadzor operativnih aktivnosti, psihofizičko stanje izvršnih radnika, pravilnu uporabu osobnih zaštitnih sredstava i opreme te općenito pridržavanje željezničkih propisa i pravila zaštite na radu provodi inženjer za Željezničke tehnologije.

Za obavljanje komercijalnih poslova u Željezničkim tehnologijama zaduženi su disponenti na željezničkoj vagi i samostalni referenti za tarife i teretne listove. Poslovi disponenta obuhvaćaju:

- tehničko-komercijalnu primopredaju vagona između Petrokemije i željezničkih prijevoznika
- izračun vagonskih kapaciteta i određivanje rasporeda slaganja robe u vagonu sukladno gabaritima i nosivosti vagona
- ispostavljanja rasporeda manevre dispečeru na osnovu kojih se obavlja postava vagona na transportna mjesta i njihovo izvlačenje nakon istovara/utovara
- popis i pregled vagona u dolasku, odlasku te na istovarnim mjestima.
- vođenje evidencija o istovaru i utovaru te ispis transportne dokumentacije
- komunikacija sa djelatnicima na utovarno/istovarnim mjestima u pogledu količina koje je potrebno utovariti ili istovariti

Samostalni referent za plan i tarife odgovoran je za:

- kontrolu transportne dokumentacije, izračun prevoznine i pravilnu primjenu tarifa i ugovora
- vođenje evidencija o otpremljenim i dopremljenim količinama robe prema tržištima, vrsti robe, pakiranju i sl.
- izračun plaća radnicima Željezničkih tehnologija
- izrađivanje dnevnih planova i otvaranje naloga za utovar i istovar
- nabavku uredskog i potrošnog materijala, zaštitnih sredstava i opreme i sl.

Iz svega navedenog je vidljivo kako Željezničke tehnologije unutar Petrokemije funkcioniraju kao cjelovit organizam koji obavlja širok raspon poslova od operativnih do komercijalnih koji zahtijevaju visok stupanj kompetentnosti, poznavanja željezničke tehnologije, tehničkih sredstava i propisa. Određena radna mjesta poput poslova izvršnog osoblja dodatno imaju zahtjeve u pogledu stručne osposobljenosti.

Horizontalnim i vertikalnim spregama između navedenih radnih mjesta i poslova koji se obavljaju na tim radnim mjestima ostvaruje se učinkovita i temeljna priprema završnog čina prijevoza nakon preuzimanja pošiljke od strane željezničkog prijevoznika. Dugogodišnjim iskustvom u upravljanju i izvedbi dopreme i otpreme željeznicom u Petrokemiji te praćenjem i primjenom novih propisa i primjera dobre poslovne prakse na željeznici stvoren je sustav i definiran tehnološki proces rada koji posjeduje visok stupanj učinkovitosti izvedbe. Unatoč tome optimizacija teško dostiže svoj maksimum i uvijek se teži za dodatnim usavršavanjem procesa koji može donijeti poboljšanja u pogledu troškova, sigurnosti i iskorištenja raspoloživih kapaciteta.

5.4. Optimizacija plana prijevoza u Petrokemiji

Petrokemija kao veliki korisnik željezničkih usluga ima prednost u pregovaranju s prijevoznicima kada se radi o ostvarivanju povoljnijih uvjeta prijevoza. Zbog obujma željezničkog prijevoza, kao važan klijent, Petrokemija ima mogućnost ostvarivanja određenih povlastica kao što su niže cijene prijevoza, prioritet u dodjeli vagonskih kapaciteta i bolje rokove isporuke. Osim toga, svoju ekonomsku moć može iskoristiti kako bi sklopila dugoročne ugovore koji jamče pouzdanost i stabilnost željezničkog prijevoza za vlastite potrebe.

Kako Petrokemija posjeduje vlastitu infrastrukturu, resurse i sposobnosti da obavlja značajan broj željezničkih operacija samostalno u krugu tvornice, svojim radom snažno utječe na kreiranje optimalnog plana prijevoza koji prijevoznik želi postići sa ciljem povećanja učinkovitosti vlastitih procesa. Odabirom vagona, planiranjem rasporeda tovarjenja, manevarskim radom, usklađivanjem dinamike dopreme i otpreme, asistiranjem u planiranju trasa, Petrokemija sudjeluje u oblikovanju ukupnog plana prijevoza koji pružatelj usluge kreira. To znači da tvrtka kontinuirano surađuje s prijevoznicima kako bi identificirala najefikasnije načine prijevoza, optimizirala broj vagona i vremenske rasporede, te smanjila nepotrebne troškove. Osim toga Petrokemija sama može primijeniti optimizacijske mjere za poboljšanje efikasnosti na svojim kolosijecima, što može rezultirati bržim i ekonomičnijim prijevozom.

Ovim dvosmjernim odnosom i Petrokemija kao korisnik i prijevoznik kao pružatelj usluge ostvaruju određene koristi. Petrokemiji se otvara mogućnost ostvarivanja bolje cijene usluge i učinkovitijeg prijevoza, dok prijevoznik profitira od stabilnih i dugoročnih poslovnih odnosa te mogućnosti ostvarivanja boljih poslovnih rezultata. Kroz ovu suradnju, Petrokemija ne samo da ostvaruje značajne uštede i konkurentске prednosti, nego također doprinosi većoj učinkovitosti cijelog prijevoznog procesa.

U nastavku rada opisati će se i analizirati mjere optimizacije plana transporta koje Petrokemija može provesti unutar svojih tehnoloških procesa.

5.4.1. Optimizacija problema odabira vagona korištenjem excel solver alata

Petrokemija je u godinama prije nestabilnosti na tržištu energenata i slabljenja industrijske proizvodnje i potražnje uslijed pandemije COVID-19 virusa bilježila zapažene količine u dopremi i otpremi robe željeznicom. To je značilo i značajnu potrebu za vagonskim kapacitetima uslijed koje se pojavljuje problem odabira vagona odnosno optimizacije serije i broja vagona.

Zbog svojih velikih kolosiječnih kapaciteta i dobrih poslovnih odnosa sa HŽ Cargom, postignut je dogovor o privremenom deponiranju određenog broja HŽ Cargo vagona na kolosijecima Petrokemije. Ovim pristupom osigurane su prednosti za obje strane. HŽ Cargo je izbjegao plaćanje naknade za zadržavanje vagona na kolosijecima HŽ Infrastrukture, dok je Petrokemija neprekidno imala na raspolaganju vagone koji su joj donijeli fleksibilnost i mogućnost trenutnog utovara. U situacijama kada raspoloživi vagoni nisu bili dostatni koristila se uobičajena procedura naručivanja dodatnih vagonskih kapaciteta potrebnih za podmirenje potreba utovara.

Unatoč objema opcijama, u periodima intenzivne otpreme, vagonski kapaciteti su nerijetko bili potpuno iskorišteni te je bilo od iznimne važnosti da se što bolje iskoristi maksimalno statičko i dinamičko opterećenje svakoga vagona, odnosno da se prilikom odabira izabere kombinacija vagona kojom će zadovoljiti najveća stopa njihove iskoristivosti.

U slijedećem primjeru prikazat će se mogućnost optimiziranja problema izbora vagona upotrebom excel solver alata koja se primjenjuje u Petrokemiji.

Excel solver je optimizacijski alat koji korisnicima omogućuje definiranje i rješavanje različitih matematičkih problema kako bi se postigla optimalna rješenja, a za čije bi ručno rješavanje bio potreban značajan ljudski trud. Primjena excel solver alata zahtjeva dvije ključne polazišne točke:

- definiranje parametara problema
- definiranje ograničenja problema (postavljanje uvjeta)

Definiranje problema:

Petrokemija ima potrebu za utovarom i otpremom 800 t UREE u velikim vrećama za uputni kolodvor Cervignano u Italiji. Dozvoljena maksimalna dužina vlaka za ovu relaciju iznosi 500 m a maksimalna bruto masa vlaka 1600 t. Za utovar velikih vreća mogu se koristiti vagoni serije H (Habbins-z, Hbills-z, Hbis-z) i serije R (Rils-z). Obzirom na raspoloživi broj vagona ovih serija na kolosijecima Petrokemije potrebno je odrediti njihovu optimalnu kombinaciju za otpremu, na način da se u potpunosti zadovolje potrebe kupca, zadovolje uvjeti maksimalne dopuštene bruto mase i duljine vlaka te istovremeno sačuva maksimalni mogući broj preostalih vagona za buduće otpreme.

1. Korak: popunjavanje baze podataka

U prvom koraku potrebno je formirati i popuniti tablicu baze podataka koju će excel solver koristiti pri izračunu optimalne varijante izbora vagona. Tablica sadrži informacije o broju paketnih jedinica, neto masi robe (samo roba), neto masi vagona (roba + ambalaža), i bruto masi, po vagonu za svaku seriju i podseriju. Kao ograničavajući faktori uzimaju se dimenzije utovarnog prostora i nosivost vagona. Ovi podaci su poznati i u praksi potvrđeni kroz prethodne utovare u logistici Petrokemije. U tablici 1. prikazane su kapaciteti pojedine serije vagona u pogledu broja komada i neto tona u ovisnosti o vrsti robe i pakiranju.

Tablica 1. Kapaciteti vagona serije H i R u pogledu broja komada i mase robe

| Vrsta robe | Pakiranje | Habbinss-z | | Rils-z | | Hbis-z | | Hbills-z | |
|-----------------------------|-----------------------|------------|------|--------|------|--------|------|----------|------|
| | | komada | tona | komada | tona | komada | tona | komada | tona |
| UREA N 46 | Velika vreća (500 kg) | 81 | 40,5 | 69 | 34,5 | 42 | 21 | 40 | 20 |
| | Paleta (1250 kg) | 40 | 50 | 36 | 45 | 20 | 25 | 19 | 23,8 |
| NPK, KAN, ASN, PETROKEMIJAS | Velika vreća (600 kg) | 81 | 48,6 | 69 | 41,4 | 42 | 25,2 | 40 | 24 |
| | Paleta (1250 kg) | 40 | 50 | 40 | 50 | 20 | 25 | 19 | 23,8 |
| AN | Velika vreća (600 kg) | 66 | 39,6 | 66 | 39,6 | 42 | 25,2 | 41 | 24,6 |
| | Paleta (1250 kg) | 40 | 50 | 40 | 50 | 20 | 25 | 19 | 23,8 |

Neto masa vagona izračunava se prema izrazu:

$$N_v = N_r + A, \quad (6)$$

gdje je:

N_v – Neto masa vagona

N_r – Neto masa samo robe

A – Ambalaža (paleta, folije, vreće)

Bruto masa vagona se dobije zbrajanjem neto mase vagona i tare vagona koja se uzima iz tehničko-eksploatacijskih značajki svakog vagona.

2. Korak: definiranje nezavisnih i zavisnih varijabli

U drugom koraku potrebno je definirati sve nezavisne i zavisne varijable koji omogućuju rad alata. Pregled kreiranih varijabli sa detaljnim pojašnjenjem svake varijable prikazan je u tablici 2.

Tablica 2. Pregled zavisnih i nezavisnih varijabli

| Ime varijable | Tip varijable | Opis |
|-----------------------------|--------------------|---|
| količina prema nalogu | Nezavisna - Unos | Korisnik unosi ukupnu količinu robe, u tonama, koju je potrebno utovariti |
| količina nakon optimizacije | Zavisna - Ispis | Aplikacija ispisuje količinu predviđenu za utovar nakon optimizacije koja mora biti veća ili jednaka količini prema nalogu |
| vagoni na raspolaganju | Nezavisna - Unos | Korisnik unosi, prema serijama, broj vagona koji u tom trenutku ima na raspolaganju za utovar |
| varijabla odabira pakiranja | Nezavisna - odabir | Korisnik u padajućem izborniku odabire vrstu robe i pakiranje na osnovu kojeg će aplikacija povući odgovarajuće podatke iz baze |
| upotrebljeni vagoni | Zavisna - Ispis | Aplikacija ispisuje kombinaciju vagona koji predstavljaju optimalnu varijantu utovara |
| dozvoljena bruto masa vlaka | Nezavisna - Upis | Korisnik unosi dozvoljenu bruto masu vlaka, u tonama, za predmetnu relaciju |
| dozvoljena dužina vlaka | Nezavisna - Upis | Korisnik unosi dozvoljenu dužinu vlaka, u metrima, za predmetnu relaciju |
| ostvarena bruto masa vlaka | Zavisna - Ispis | Aplikacija ispisuje ostvarenu bruto masu vlaka, u tonama, koja mora biti manja ili jednaka dozvoljenoj bruto masi vlaka |
| ostvarena dužina vlaka | Zavisna - Ispis | Aplikacija ispisuje ostvarenu duljinu vlaka, u metrima, koja mora biti manja ili jednaka dozvoljenoj dužini vlaka |

Na slici 15 prikazano je početno stanje alata sa definiranim varijablama i popunjenom bazom podataka.

The screenshot shows an Excel Solver interface with the following elements:

- Target Cell:** "količina prema nalogu" with a value of 0,00 t.
- Variable Cell:** "količina nakon optimizacije" with a value of 0 t.
- Table: VAGONI NA RASPOLAGANJU**

| | Habbins-s-z | Rils-z | Hbis-z | Hbills-z |
|--|-------------|--------|--------|----------|
| | 0 | 0 | 0 | 0 |
- Table: Wagon Characteristics**

| | Habbins-s-z | Rils-z | Hbis-z | Hbills-z | |
|---------------------|-------------|--------|--------|----------|-------|
| komada po vagonu | 88 500 | 81,00 | 69,00 | 42,00 | 40,00 |
| neto masa robe | | 40,50 | 34,50 | 21,00 | 20,00 |
| neto masa vagona | | 40,58 | 34,57 | 21,04 | 20,04 |
| bruto masa vagona | | 68,58 | 61,57 | 36,04 | 35,04 |
| upotrebljeni vagoni | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
- Constraints:**

| | | | |
|-----------------------------|---|----------------------------|---|
| dozvoljena bruto masa vlaka | 0 | ostvarena bruto masa vlaka | 0 |
| dozvoljena dužina vlaka | 0 | ostvarena duljina vlaka | 0 |

Slika 15. Početni ekran solver dodatka za optimizaciju izbora vagona

3. Korak: definiranje ograničenja

U ovom, ključnom koraku, postavljaju se ograničenja koja će odrediti smjer odabira optimalnog rješenja.

Prvo je potrebno odrediti cilj (set objective). U ovom primjeru to je ćelija F6 koja prikazuje vrijednost varijable *količina nakon optimizacije*. Ciljana vrijednost se postavlja kao minimalna jer želimo prevesti najmanju moguću količinu robe a da se zadovolji količina prema nalogu, odnosno cilj je što je moguće više približiti se vrijednosti od 800 t kako bi se izbjegla naknadna potreba za smanjivanjem broja komada po vagonu i posljedično smanjivanje statičkog i dinamičkog opterećenja vagona.

Nadalje, definira se kako se rješenje ciljane varijable, *količina nakon optimizacije* dobiva promjenama varijable (by changing variable cells) *upotrebljeni vagoni* u rasponu od L9-O9.

Važno je postaviti sva potrebna ograničenja (subject to the constraints) koje će alat poštivati prilikom izračuna. U tablici 3 prikazana su definirana ograničenja sa detaljnim pojašnjenjem svakog od njih.

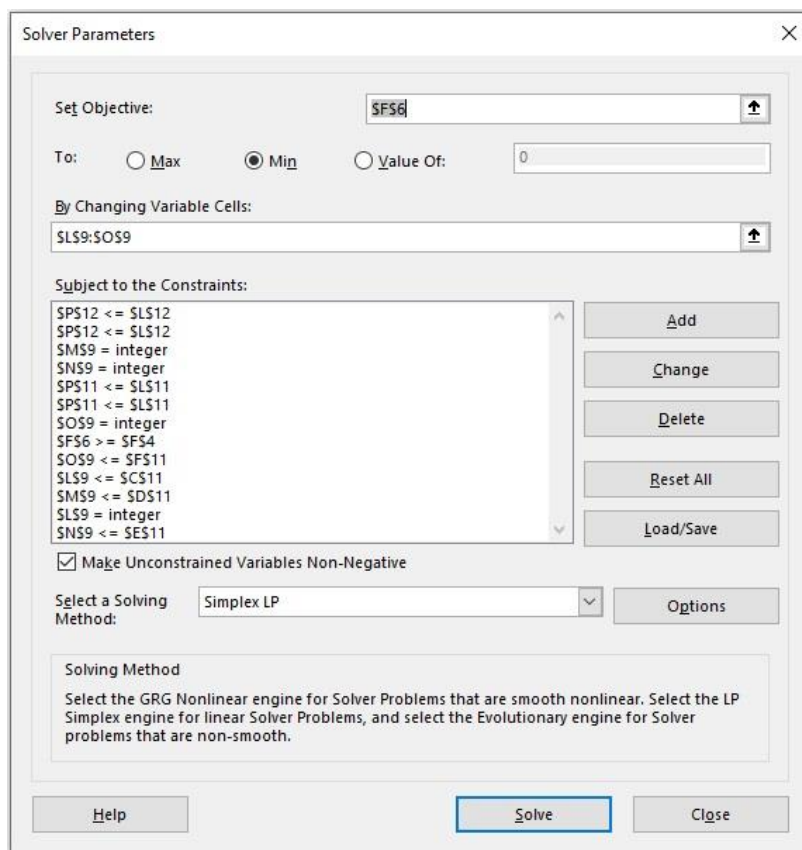
Tablica 3. Prikaz i pojašnjenja ograničenja unutar excel solver alata

| Formula ograničenja | Opis ograničenja |
|---------------------|---|
| F6 >= F4 | <i>Količina nakon optimizacije</i> mora biti veća ili jednaka <i>količini prema nalogu</i> |
| L9 <= C11 | Upotrebljeni broj Habbins-s-z vagona mora biti manji ili jednak od Habbins-s-z vagona koji su na raspolaganju |
| L9 = integer | Vrijednost varijable <i>upotrebljeni vagoni</i> koja se odnosi na seriju Habbins-s-z mora biti cjelobrojna vrijednost |
| M9 <= D11 | Upotrebljeni broj Rils-z vagona mora biti manji ili jednak od Rils-z vagona koji su na raspolaganju |
| M9 = integer | Vrijednost varijable <i>upotrebljeni vagoni</i> koja se odnosi na seriju Rils-z mora biti cjelobrojna vrijednost |

| | |
|---------------|---|
| N9 <= E11 | Upotrjebljeni broj Hbis-z vagona mora biti manji ili jednak od Hbis-z vagona koji su na raspolaganju |
| N 9 = integer | Vrijednost varijable <i>upotrjebljeni vagoni</i> koja se odnosi na seriju Hbis-z mora biti cjelobrojna vrijednost |
| O9 <= F11 | Upotrjebljeni broj Hbills-z vagona mora biti manji ili jednak od Hbills-z vagona koji su na raspolaganju |
| O9 = integer | Vrijednost varijable <i>upotrjebljeni vagoni</i> koja se odnosi na seriju Hbills-z mora biti cjelobrojna vrijednost |
| P11 <= L11 | Vrijednost varijable ostvarena bruto masa vlaka mora biti manja ili jednaka varijabli dozvoljena bruto masa vlaka |
| P12 <= L12 | Vrijednost varijable ostvarena duljina vlaka mora biti manja ili jednaka varijabli dozvoljena duljina vlaka |

4. Korak: odabir metode rješavanja

Odabirom metode rješavanja excel solveru dajemo naredbu koju matematičku metodu da primjeni kod izračuna. U ovom primjeru izabrana je Simplex LP metoda koja daje najbolje rješenje globalnog optimuma. Dodatno se u opcijama odabrane metode mogu podesiti parametri koje utječu na preciznost izvedbe optimizacije poput preciznosti ograničenja, konvergencije, stope mutacije i sl. Na slici 16 prikazan je izgled excel solver prozora za definiranje ograničenja.



Slika 16. Prikaz excel solver prozora za definiranje ograničenja

Rješenje:

Nakon popunjavanja baze podataka, kreiranja svih varijabli te postavljanja ograničenja i metode izračuna moguće je testirati alat. Za navedeni primjer, izvedbu alata će se testirati kroz četiri različita scenarija. Varijabla *količina prema nalogu*, *dozvoljena bruto masa vlaka*, *dozvoljena dužina vlaka* te *varijabla odabira pakiranja* će u svim scenarijima biti iste jer su to zadane postavke. Mijenjat će se varijabla *vagoni na raspolaganju* gdje će se pokušati simulirati različiti težinski razred optimizacije vagona. U tablici 4 prikazane su četiri scenarija testiranja funkcionalnosti alata.

Tablica 4. Početni parametri scenarija testiranja

| | količina prema nalogu | varijabla izbora pakiranja | dozvoljena bruto masa vlaka | dozvoljena dužina vlaka | VAGONI NA RASPOLAGANJU | | | |
|------------|-----------------------|----------------------------|-----------------------------|-------------------------|------------------------|--------|--------|----------|
| | | | | | Habbinss-z | Rils-z | Hbis-z | Hbills-z |
| SCENARIJ 1 | 800 t | BB 500 | 1600 t | 500 m | 100 | 100 | 100 | 100 |
| SCENARIJ 2 | | | | | 25 | 10 | 25 | 10 |
| SCENARIJ 3 | | | | | 50 | 50 | 0 | 0 |
| SCENARIJ 4 | | | | | 0 | 0 | 50 | 50 |

Za svaki od četiri scenarija korisnik unosi podatke prema tablici, pokreće excel solver i potvrdom naredbe „solve“ aktivira optimizacijski postupak izbora vagona.

Analiza rješenja:

U tablici 5 prikazana su rješenja optimizacije izbora vagona za sva četiri scenarija. Potpuna rješenja sva četiri scenarija nalaze se u prilogu 2 ovog rada.

Tablica 5. Rješenja optimizacijskog postupka

| | Pronađeno optimalno rješenje | količina nakon optimizacij | ostvarena bruto masa vlaka | ostvarena duljina vlaka | upotrebljeni vagoni | | | | iskorištenost vagona nakon redukcije |
|------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------|---------------------|--------|--------|----------|--------------------------------------|
| | | | | | Habbinss-z | Rils-z | Hbis-z | Hbills-z | |
| SCENARIJ 1 | DA | 800 t | 1425,6 t | 465,84 m | 0 | 22 | 1 | 1 | 100% |
| SCENARIJ 2 | DA | 800 t | 1366,6 t | 499,02 m | 10 | 0 | 15 | 4 | 100% |
| SCENARIJ 3 | DA | 801 t | 1403,6 t | 461,348 m | 7 | 15 | 0 | 0 | 99,88% |
| SCENARIJ 4 | NE | | | | 0 | 0 | 0 | 0 | |

Scenarij 1 predstavlja hipotetski scenarij gdje je na raspolaganju dovoljan broj vagona svake serije da se može doći do rješenja velikim brojem kombinacija, uključujući i varijantu u kojoj se može doći do rješenja koristeći samo vagone jedne serije. Takvo rješenje bi rijetko bilo optimalno i prihvatljivo ali je moguće. Rješenje koje je ponudio alat predstavlja optimalno rješenje. Utovarena je tražena količina po nalogu, duljina vlaka i bruto masa vlaka su ispod dopuštenih granica a svi vagoni su natovareni maksimalno, odnosno njihova iskorištenost je 100%.

Scenarij 2 predstavlja veći optimizacijski izazov jer u čak tri od četiri slučaja nije moguće dobiti zadovoljavajuću varijantu koristeći samo vagone jedne serije. Odnosno

zahtjeva se kombinacija najmanje dvije serije za dobivanje valjanog rješenja. U slučaju scenarija 2 kombinacijom tri serije postignuto je optimalno rješenje. Utovarena je tražena količina po nalogu, duljina vlaka i bruto masa vlaka i ovdje su ispod dopuštenih granica a ponovo su svi vagoni natovareni maksimalno, odnosno njihova iskorištenost je također 100%.

Scenarij 3 karakterizira potpuni izostanak dvije serije vagona (Hbis-z i Hbills-z) a rješenje problema moguće je ostvariti kombinacijom samo dvije serije. Problem je utoliko kompleksniji što su izostavljene serije dvoosovinskih vagona koje omogućavaju „fino podešavanje“ a koriste se samo četveroosovinske serije koje primaju veće količine robe pa je znatno teže postići optimum. I u ovom scenariju je pronađeno optimalno rješenje. Zadovoljeni su uvjeti u pogledu maksimalne duljine i bruto mase vlaka. Maksimalna iskorištenost vagona bi zahtijevala utovar 801 t robe, što je za jednu tonu više od otvorenog naloga, to znači da je potrebno u dva vagona utovariti po jednu vreću manje čime dolazimo do ukupne iskorištenosti vagona od 99,88% što je i dalje visok postotak, a istovremeno ne postoji varijanta koja bi kombinacijom ovih serija vagona rezultirala boljom iskorištenosti.

Scenarij 4 nije ponudio optimalno rješenje. Raspoloživi vagoni dostatni su za utovar cjelokupne naručene količine ali čak i uz maksimalan utovar isključivo Hbis-z vagona koji mogu primiti 1 t više robe po vagonu od Hbills-z vagona i dalje se maksimalna duljina vlaka dostiže prije nego li se uspije utovariti 800 t robe. Maksimalan broj dvoosovinskih vagona koji je moguće utovariti da bi duljina vlaka bila ispod 500 m iznosi 35. Koristeći 35 vagona moguće je utovariti svega 735 t robe. Dakle scenarijom 4 nije moguće zadovoljiti sve postavljene uvjete te excel solver nije u mogućnosti pronaći izvedivo rješenje. U ovom slučaju korisnik će morati od prijevoznika zahtijevati dodatne vagonске kapacitete četveroosovinskih vagona ili odjelu prodaje naložiti da sa kupcem ispregovara manju količinu za ovu otpremu.

Zaključci ove analize o primjeni excel solver alata za optimizaciju problema izbora vagona u Petrokemiji jasno pokazuju prednosti ovog alata u rješavanju kompleksnih prometnih izazova. Kroz četiri različita scenarija excel solver je demonstrirao svoju sposobnost pronalaska optimalnih rješenja koji zadovoljavaju uvjete i ograničenja postavljena u problemu.

Prikazanim primjerom pronalazi se primjena ovog alata u procesu odabira vagona za utovar pakirane robe u Petrokemiji što ima značajan utjecaj na učinkovitost i ekonomičnost raspolaganja vagonima, te posljedično na ukupni plan prijevoza. Kroz precizno definiranje parametara problema, postavljanje ograničenja i odabir odgovarajuće metode rješavanja, excel solver omogućuje brzo i pouzdano pronalaženje optimalnih kombinacija vagona koje maksimiziraju iskorištenost kapaciteta dok istovremeno minimiziraju troškove i ispunjavaju zahtjeve kupca.

Problem odabira vagona predstavlja optimizacijski problem koji može porasti do tog stupnja kompleksnosti da predstavlja veliki izazov za njegovo ručno rješavanje.

Čak i nakon pronalaska izvedivog rješenja postavlja se pitanje je li ono doista optimalno. U ovim okolnostima excel solver se pokazao kao neprocjenjiv alat za optimizaciju navedenog problema pružajući rješenja koja kombiniraju učinkovitost, iskoristivost kapaciteta i zadovoljstvo kupca.

5.4.2. Optimizacija cijene usluge

Cijena usluge prijevoza je, uz kapacitet, brzinu dostave i fleksibilnost jedan od osnovnih faktora izbora određene prometne grane ili pružatelja usluge. Petrokemija Kutina od svojih početaka uvelike se oslanja na prijevoz svojih proizvoda i sirovina za proizvodnju željeznicom. Ona povijesno predstavlja vrlo bitnog korisnika za nacionalnog željezničkog prijevoznika HŽ Cargo koji u suradnji sa Petrokemijom vidi mogućnost za ostvarenje stabilnog, kontinuiranog poslovnog odnosa temeljenog na velikoj potražnji što je svakako poželjno za svakog pružatelja prijevozne usluge. Temeljem dugogodišnje suradnje, postupnom gradnjom odnosa i zajedničkim kreiranjem učinkovitijeg prijevoznog procesa postavljeni su temelji za dugoročna ugovaranja između ova dva subjekta sa ciljem usuglašavanja povoljnijih uvjeta za obje strane. Tako su krovnim ugovorom pobliže definirani uvjeti prijevoza pošiljaka, a posebnim odredbama i predviđena kreiranja korisničkih tarifa za pojedinačne relacije u kojima se pobliže definiraju uvjeti i cijene prijevoza. Korisničke tarife HŽ Carga koje Petrokemija konzumira sadrže:

- područje valjanosti – podatke o otpremnim i odredišnim kolodvorima
- informacije o robi – vrsta robe, NHM pozicija, očekivana količina
- cijenu usluge – primjene Hrvatskih robnih tarifa, ugovorene cijene prijevoza
- troškove uključene u cijenu prijevoza
- moguće troškove koji nisu uključeni u cijenu prijevoza
- način obračuna i plaćanje
- navode u teretnom listu
- rok valjanosti tarife
- ostale odredbe

U ovom djelu rada pokazat će se kako se međusobnom suradnjom prijevoznika i korisnika usluge može utjecati na optimizaciju plana prijevoza koji za posljedicu može imati smanjenje cijene prijevozne usluge.

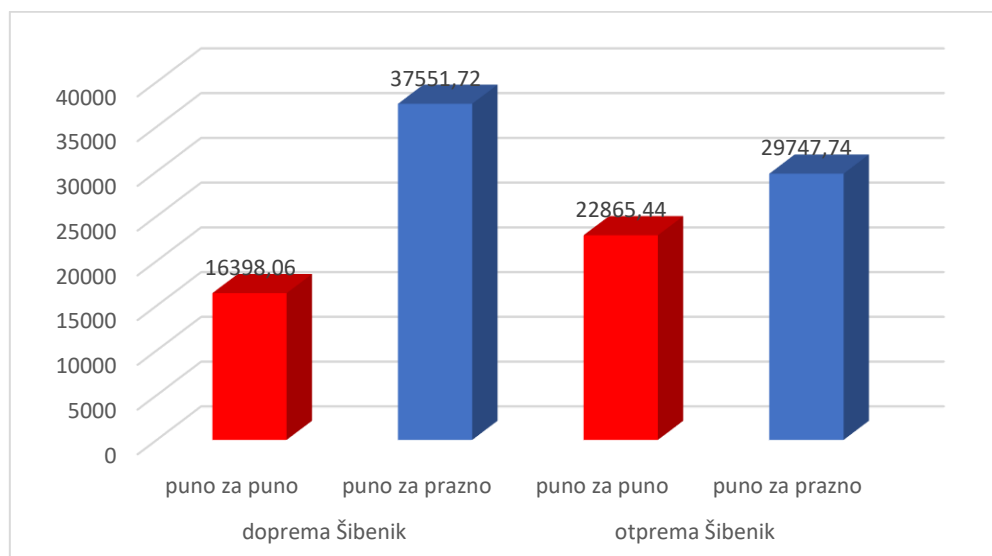
Petrokemija značajan dio svojih proizvoda u rasutom stanju na udaljenija tržišta plasira kombinacijom željezničkog i pomorskog prijevoza preko Luke Šibenik, odnosno željezničkog i prometa na unutarnjim plovnim putevima preko Luke Vukovar. S druge strane, gotovo svu sirovinu (izuzev dolomita) Petrokemija na isti način, u suprotnom smjeru, doprema u Kutinu.

Sve do 2020. godine Petrokemija je imala odobrene korisničke tarife sa jedinstvenom cijenom za svaku od relacija u unutarnjem prometu. Prijevoznik je,

vodeći se načelom ekonomičnosti, kod kreiranja cijena usluga uzimao u obzir fiksne troškove koji ne ovise o obujmu rada ali i varijabilne troškove koji su rasli sa porastom obujma rada. Još jedan važan element koji mora biti uzet u obzir kod kreiranja cijene prijevozne usluge je iskorištenost prijevoznih kapaciteta, odnosno sa stanovišta troškova, nije svejedno da li prijevozna sredstva prometuju u oba smjera proizvodeći koristan učinak prevozeći robu ili u jednom smjeru prevoze robu a u povratku idu kao prazne garniture. Napori željezničkog prijevoza da istakne svoje prednosti u obliku ekonomičnog i ekološki održivog prijevoza leži u njegovoj sposobnosti da visoke troškove prijevoza i neefikasno iskorištavanje resursa svede na najmanju moguću mjeru.

Ova činjenica nije bila uzeta u obzir pri kreiranju jedinstvene prijevozne cijene i Petrokemija je to prepoznala kao mogućnost da se pametnim planiranjem prijevoza optimiziraju prijevozni troškovi. Zajedničkom suradnjom, HŽ Cargo i Petrokemija su usvojili inovativnu strategiju kreiranja dodatne cijene usluge koja se temelji na dinamici prijevoza u oba smjera. Tako su u sklopu postojećih tarifa za prijevoz robe na relacijama u unutarnjem prijevozu usvojene dvije cijene. Cijena „puno za prazno“ koja podrazumijeva prijevoz robe samo u jednom smjeru, a povratak praznih garnitura predstavlja neproizvodni trošak te cijena „puno za puno“ koja se temelji na prijevozu robe u oba smjera. Petrokemija je ovime suočena sa izazovom da dobrim planiranjem i koordiniranjem dopreme sirovine i otpreme gotovih proizvoda utječe na smanjenje cijene usluge prijevoza, a HŽ Cargo racionalnim iskorištenjem prijevoznih kapaciteta kod prijevoza „puno za puno“ ostvaruje povoljniji utjecaj na prijevozne troškove.

Za primjer uzet će se analiza prijevoza na relaciji prema Šibeniku u 2021. godini kroz koji će se prikazati uštede ostvarene korištenjem modela dvojne cijene.



Slika 17. Omjer prijevoza puno za puno/puno za prazno za 2021. godinu na relaciji Kutina - Šibenik

Na slici 17 prikazan je omjer „puno za prazno“ i „puno za puno“ kod otpreme i dopreme na relaciji prema Šibeniku. U 2021. godini na ovoj relaciji ukupno je prevezeno 106 563 t robe. Radi se o relativno malim količinama za pojmove Petrokemije (2020. godine ta brojka je iznosila 222 500 t, a 2015. godine čak 500 000 t) ali one su posljedica ranije spomenutih vanjskih utjecaja koje nije bilo moguće eliminirati. Od ukupno prevezenih količina, 39 264 t je prevezeno koristeći povlaštenu cijenu zbog prijevoza po modelu „puno za puno“ što čini udio od 36,85 %.

Po modelu dvojne cijene, cijena usluge prijevoza „puno za prazno“ je iznosila 12,92 € po toni prevezenog proizvoda, dok je cijena usluge za prijevoz po modelu „puno za puno“ iznosila 11,18 € po toni prevezenog proizvoda. Izračunom prema navedenim podacima dolazi se do podatka kako je Petrokemija učinkovitijim planiranjem dinamike prijevoza svojih proizvoda željeznicom u 2021. godini ostvarila uštedu od 68 313 € na vozarinama, što odgovara stopi uštede od 5%.

Jasno je kako male realizirane količine imaju za posljedicu neravnomjernost u dinamici pa je to i uzrok manjeg postotnog udjela prijevoza puno za puno. Za očekivati je kako bi se nekim budućim povećanjem prijevoza na toj relaciji, odnosno povećanjem gustoće prometa u oba smjera, stvorili povoljni preduvjeti za efikasniju primjenu modela „puno za puno“ što bi u konačnici rezultiralo osjetnijim uštedama na cijenama željezničkog prijevoza.

Petrokemija je sa ciljem dodatne uštede na području cijena usluge identificirala još jednu potencijalnu mogućnost za optimizacijom prometnog procesa koja je na koncu i implementirana kroz dodatnu tarifu na relaciji prema Šibeniku. Ova tarifa koristi činjenicu da Petrokemija ima potrebu za dopremanjem sirovine iz Šibenika i kada nema u planu otpremu svojih proizvoda iz Kutine za Šibenik. Tako su HŽ Cargo i Petrokemija kreirali tehnologiju prijevoza koja Petrokemiji omogućuje povlaštenu cijenu prijevoza na način da se vagoni kojima HŽ Cargo za druge korisnike sa kontinenta Republike Hrvatske doprema žitarice u Solin preusmjeravaju na ukrcaj sirovine u Luku Šibenik a Petrokemija u Kutini zauzvrat obavlja uslugu pranja istog broja vagona koje potom daje na raspolaganje HŽ Cargu koji te vagone ponovo koristi za ukrcaj žitarica. Na ovaj način se zatvara krug obrta vagona koji i u ovom slučaju smanjuje neravnomjernost korištenja željezničkih vozila i povećava koeficijent korisnog rada. Petrokemija dobiva povlaštenu cijenu prijevoza sirovine iz Šibenika, a HŽ Cargo osigurava optimizaciju plana transporta boljim iskorištenjem vagonskih kapaciteta.

6. ZAKLJUČAK

Globalni razvoj industrije, znanstvenih i tehnoloških inovacija te brzo uvođenje novih tehnologija utječe na sve aspekte društva i postavljaju izazove pred prometni sektor. U ovom kontekstu, naglasak se stavlja na potrebu razvoja prometnih sustava koji su učinkoviti, prilagodljivi, ekološki i pametni.

Suočen sa sve jačom konkurencijom i rastom populacije, prometni sektor mora proizvesti veću kvalitetu usluge istovremeno implementirajući nove ideje i tehnologije uz što bolje optimizaciju svih svojih podsustava. Sve veći broj ljudi putuje i prevozi teret, a očekuje se da će taj trend nastaviti rasti. U takvom okruženju, prometni sustavi moraju uložiti goleme napore kako bi se osigurala zadovoljavajuća prijevozna usluga.

Ključni aspekti ovog napora su smanjenje troškova i utjecaja na okoliš uz povećanje brzine prijevoza, sigurnosti i kapaciteta. Svaka prometna grana se sa manjom ili većom uspješnošću suočava sa ovim izazovima. Isto tako neke prometne grane svojim osnovnim postavkama ostvaruju značajnu prednost dok neke druge grane moraju uložiti goleme financijske i intelektualne napore, često i uz značajnu zakonodavnu podršku kako bi zadržali korak i poboljšali svoju poziciju u modalnoj raspodjeli.

Željeznički promet je prepoznat kao prometni mod budućnosti. Globalno se ulažu veliki naponi kako bi se ostvarile dovoljne prednosti željezničkog prometa da se društveni robni i putnički tokovi preusmjere na ovaj mod prijevoza. To zahtjeva suradnju vlasti, industrije, znanstvenika i prometnih stručnjaka.

Optimizacija prometnih procesa i poboljšanje konkurentske pozicije željezničkog prometa na tržištu prijevozne usluge predstavljaju dva komplementarna aspekta unutar prometnog sektora.

Ovaj rad naglašava važnost optimizacije plana prijevoza u željeznici kao ključnog koraka u ostvarivanju ekonomičnog i ekološki održivog prijevoza. Kroz analizu različitih aspekata željezničkog prijevoza, istaknuto je kako su optimizacija izbora teretnih vagona i optimizacija cijene usluge izrazito važni elementi unaprjeđenja prometnog procesa. Daljnjom analizom, suradnja između Petrokemije d.d. Kutina kao velikog korisnika i HŽ Carga kao pružatelja prijevozne usluge identificirana je kao ključni faktor za postizanje tih ciljeva.

Optimizacija teretnih vagona, kao što je opisano u ovom radu, pruža mogućnost boljeg iskorištavanja resursa, smanjenja troškova i povećanje učinkovitosti prijevoznog procesa. Korištenjem excel solver optimizacijskog alata, kao što Petrokemija to čini, postiže se racionalizacija raspolaganjem vagonskog parka čime se omogućava optimalna isporuka robe, maksimalna iskoristivost statičkog i dinamičkog opterećenja vagona, uz optimalnu dinamiku i fleksibilnost utovara.

S obzirom na ekonomske izazove i konkurenciju u željezničkom sektoru, optimizacija cijene usluge također igra ključnu ulogu iz perspektive korisnika i prijevoznika. Dinamika prijevoza u oba smjera, omogućuje HŽ Cargu da prilagodi cijenu koja Petrokemiju stavlja u povoljan položaj da pojača vezu sa prijevoznikom i usmjeri dodatne količine robe na željeznički prijevoz.

Kroz ovaj rad je pokazano kako plan prijevoza nije isključivo zadaća prijevoznika. Suradnja između njega i velikih korisnika industrijskih željeznica poput Petrokemije ključna je za ostvarivanje optimizacije plana prijevoza te posljedično uspostavljanje održivog prijevoznog procesa. Ovom suradnjom mogu se razmjenjivati informacije o potrebama, kapacitetima i planovima, što omogućuje bolje planiranje i prilagodbu usluga koje prijevoznik nudi. Osim toga suradnja može poticati investicije u infrastrukturu, modernizaciju i tehničke inovacije te može biti pokretačem revitalizacije pozicije industrijskih kolosijeka unutar željezničkog prometnog sektora.

Zaključno, optimizacija plana prijevoza na željeznici ne samo da ima potencijal znatno smanjiti troškove i emisije, već također doprinosi održivosti i konkurentnosti ovog prijevoznog moda. Željeznica je opravdano identificirana kao prijevozni mod budućnosti i potrebno je poduzeti velike infrastrukturne i tehnološke zahvate da bi se osigurao taj položaj, ali zajednička suradnja velikih industrijskih korisnika kao što je Petrokemija i snažnih i sposobnih prijevoznika kao što HŽ Cargo svakako je ispravan korak naprijed u tom smjeru. Željeznica je započela kao prijevozni mod budućnosti i svakako ima potencijala ponovno postati ključna prijevozna grana koja može transformirati način na koji se putnici i teret prevoze širom svijeta.

LITERATURA

- [1] I. Bošnjak i D. Badanjak, *Osnove prometnog inženjerstva*. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu Fakultet prometnih znanosti, 2005.
- [2] D. Badanjak, B. Bogović, i V. Jenić, *Organizacija željezničkog prometa*. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu Fakultet prometnih znanosti, 2006.
- [3] B. Bogović, *Prijevozi u željezničkom prometu*. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu Fakultet prometnih znanosti, 2006.
- [4] E. Commission i D.-G. for M. and Transport, *White paper on transport : roadmap to a single European transport area : towards a competitive and resource efficient transport system*. Publications Office, 2011. doi: doi/10.2832/30955.
- [5] European Court of Auditors, „Rail freight transport in the EU: still not on the right track“, Luxemburg, 2016.
- [6] Eurostat, „Freight transport statistics - modal split - Statistics Explained“. Preuzeto s: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Freight_transport_statistics_-_modal_split [Pristupljeno 21. kolovoza 2023.]
- [7] B. Bogović i D. Šimulčik, *Ekonomika željezničkog prometa*. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, 1998.
- [8] M. Jarocka i U. Ryciuk, „Pricing in the railway transport“, u *9th International Scientific Conference Business and Management 2016*, Bialystok: Bialystok University of Technology, svi. 2016.
- [9] B. Kovačević i S. Vojnović, „Upravljanje amortizacijom - specifičnim oblikom troškova poslovanja“, *Ekonomski pregled - pregledni članak*, 2000.
- [10] Republika Hrvatska. *Zakon o željeznici*. Izdanje: 94. Zagreb: Narodne novine; 2013.
- [11] K. Solina i B. Abramović, „Effects of Railway Market Liberalisation: European Union Perspective“, *Sustainability*, 2022; 14, 4657
- [12] HŽ Infrastruktura, „Izvešće o mreži 2023“, 2021. Preuzeto s: https://www.hzinfra.hr/wp-content/uploads/2022/12/2023_II_IOM.pdf [Pristupljeno 21. kolovoza 2023.]
- [13] HŽ Infrastruktura, „HRVATSKA ŽELJEZNIČKA MREŽA“. Preuzeto s: <https://www.hzinfra.hr/naslovna/mreza-hrvatskih-pruga/> [pristupljeno 22. kolovoza 2023.]
- [14] Republika Hrvatska. *Zakon o ugovorima o prijevozu u željezničkom prometu*. Izdanje: 87. Zagreb: Narodne novine; 1996.
- [15] A. Dolinayova, L. Černa, Z. Hrebíček, i V. Zitricky, *Methodology for the Tariff Formation in Railway Freight Transport*. 2018; UDK 656.23.03.
- [16] D. Šipuš. *Transportni problem u prijevozu robe*. [Prezentacija] Prijevoz robe željeznicom. Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu. 21. siječnja 2021.
- [17] J. Kunac, *Prijevoz robe željeznicom*. Zagreb: Željeznička tehnička škola, 2006.

- [18] J. Zavada, *Željeznička vozila i vuča vlakova*. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu Fakultet prometnih znanosti, 2004.
- [19] Petrokemija, „Osnovni podaci“. Preuzeto s: <https://petrokemija.hr/Kompanija/Osnovni-podaci> [Pristupljeno 25. kolovoza 2023.]
- [20] M. Mudronja, M. Kutleša, i D. Gundić, „Kapaciteti gotovih proizvoda, sirovina i upakirane robe“, Kutina, 2022.
- [21] M. Nagradić i M. Kutleša, „Transportna mjesta“, Kutina, 2009. 36-05-1-5-9–012
- [22] M. Nagradić, „Organizacija, procesi i rizici u Logistici“, Kutina, 2022. 36-05-9–001
- [23] Ž. Bokulić, „Uputa o vršenju prometnih poslova na industrijskom kolodvoru - Petrokemije d.d. Kutina“. Petrokemija d.d. Kutina, Kutina, 2010.

POPIS KRATICA

| | |
|-----------------|---|
| CIM | (Convention Internationale concernant le transport des Marchandises par chemins de fer) jedinstveni pravni propisi za ugovor o međunarodnom željezničkom prijevozu robe |
| CO ₂ | (Carbon dioxide) ugljikov dioksid |
| HŽ | Hrvatske željeznice |
| PKM | Putnički kilometri |
| NTKM | Netotonski kilometri |
| TM | Transportno mjesto |
| MAP | (monoammonium phosphate) mono amonijev fosfat |
| DAP | (diammonium phosphate) di amonijev fosfat |
| COVID-19 | (Coronavirus disease 2019) korona virus 2019 |
| KAN | Kalcijev amonijev nitrat |
| NPK | Anorganska gnojiva sa kombinacijama dušično-fosforno-kalijevim makrohranjivima |
| AN | Amonijev nitrat |
| ASN | Amonijev sulfonitrat |
| DHL | (Diesel-hydraulic locomotive) diesel-hidraulična lokomotiva |
| MIN | (Mechanical industry Nis) mašinska industrija Niš |
| EU | (European Union) Europska unija |
| RH | Republika Hrvatska |

POPIS SLIKA

| | | |
|-----------|---|----|
| Slika 1. | Modalna raspodjela teretnog prijevoza u EU 2011.-2021..... | 6 |
| Slika 2. | Modalna raspodjela teretnog prijevoza u RH za 2021. godinu..... | 7 |
| Slika 3. | Prikaz ukupnih fiksnih i varijabilnih troškova..... | 10 |
| Slika 4. | Tablica transportnog problema..... | 17 |
| Slika 5. | Logistika-pregled otpreme i dopreme za period 2015.-2022. godine...21 | |
| Slika 6. | Organizacijska shema Logistike..... | 22 |
| Slika 7. | Doprema i otprema u Željezničkim tehnologijama (2015.-2022.)..... | 23 |
| Slika 8. | Mosna željeznička vaga..... | 26 |
| Slika 9. | Upravljački terminal signalno-sigurnosnog uređaja..... | 27 |
| Slika 10. | Utovarna pozicija pakirnice 1..... | 28 |
| Slika 11. | Dizel-hidraulična lokomotiva DHL 734-002..... | 28 |
| Slika 12. | Tadds-z vagon..... | 29 |
| Slika 13. | Hbis-z vagon..... | 30 |
| Slika 14. | Rils-z vagon..... | 30 |
| Slika 15. | Početni ekran solver dodatka za optimizaciju izbora vagona..... | 37 |
| Slika 16. | Prikaz excel solver prozora za definiranje ograničenja..... | 38 |
| Slika 17. | Omjer prijevoza puno za puno/puno za prazno za 2021. godinu na relaciji Kutina - Šibenik..... | 42 |

POPIS TABLICA

| | | |
|------------|--|----|
| Tablica 1. | Kapaciteti vagona serije H i R u pogledu broja komada i mase robe .. | 35 |
| Tablica 2. | Pregled zavisnih i nezavisnih varijabli..... | 36 |
| Tablica 3. | Prikaz i pojašnjenje ograničenja unutar excel solver alata..... | 37 |
| Tablica 4. | Početni parametri scenarija testiranja..... | 39 |
| Tablica 5. | Rješenja optimizacijskog postupka..... | 39 |

PRILOZI

PRILOG 1 – Industrijski kolosiječni kapaciteti Petrokemije d.d. Kutina

| Kolosječna skupina | Oznaka kolosijeka | Namjena kolosijeka | Korisna duljina (m) |
|------------------------------|-------------------|--|---------------------|
| Priopredajna skupina | 810 | prispjeće tovarnog bruta | 417 |
| | 820 | otprema tovarnog bruta | 417 |
| | 830 | pripjeće praznih vagona | 494 |
| | 840 | otprema i carinjenje tovarnog bruta | 462 |
| | 850 | otprema i carinjenje tovarnog bruta | 462 |
| Kolosijeci pakirnice 1 | 420 | utovar rasute robe | 540 |
| | 110 | utovar pakirane robe | 850 |
| | 121 | utovar pakirane i rasute robe | 830 |
| Kolosijek pakirnice 2 | 130 | utovar rasute i pakirane robe | 320 |
| Kolosijeci pakirnice 3 | 140 | pranje vagona | 415 |
| | 150 | deponiranje vagona | 415 |
| | 160 | deponiranje vagona | 470 |
| | 170 | utovar robe u rasutom stanju | 460 |
| | 180 | deponiranje vagona | 470 |
| | šturc P-3 | utovar paletizirane robe | 382 |
| | 233 | utovar robe u velikim vrećama | 120 |
| Istovarni kolosijeci 1. faze | 411 | Istovar sirovina | 540 |
| | 420 | istovar sirovina | 850 |
| | 130/v | istovar dolomita | 830 |
| Istovarni kolosijeci 2. faze | 432 | istovar KCL-a | 524 |
| | 440 | istovar fosfata i gotovog proizvoda | 420 |
| | 460 | istovar sumpora (izvan funkcije) | 420 |
| Prolazni kolosijeci | 240 | opsluživanje TM 01 | 534 |
| | 231 | opsluživanje TM 01 i TM 02 | 203 |
| | 232 | opsluživanje TM 02 | 223 |
| | 233 | opsluživanje TM 03, TM 07 i slijepog kol. TM 05 | 120 |
| | 234 | manevarske vožnje prema izvlačnjaku 740 | 696 |
| | 251 | veza kolosijeka 240 i kolosijeka pakirnice 3 | 177 |
| | 260 | spojni kolosijek između gornjeg i donjeg prolaznog kol. | 266 |
| | 210 | opsluživanje kolosijeka pakirnice 3 i vagnskih vaga | 300 |
| | 220 | povezivanje ranžirne skupine i vagnskih vaga sa kol. 740 | 470 |
| | 280 | opsluživanje kolosijeka istočne strane pakirnice 3 | 460 |
| Kolosijeci ranžirne skupine | 310 | ranžiranje vagona/lokomotivski kolosijek | 270 |
| | 320 | ranžiranje i deponiranje vagona | 270 |
| | 330 | ranžiranje i deponiranje vagona | 326 |
| | 340 | ranžiranje i deponiranje vagona | 387 |
| | 352 | ranžiranje i deponiranje vagona | 447 |

| | | | |
|--|-----|--|-----|
| | 362 | ranžiranje, deponiranje i pregled vagona za izvoz | 416 |
| | 370 | ranžiranje, deponiranje i pregled vagona za izvoz | 414 |
| Kolosijeci istovara i utovara tekućine | 510 | utakanje i istakanje amonijaka | 426 |
| | 520 | utakanje i istakanje amonijaka | 426 |
| | 530 | utakanje i istakanje fosforne kiseline | 419 |
| | 540 | utakanje i istakanje sumporne kiseline i tekućeg gnojiva UAN | 419 |
| | 550 | istakanje lakih ulja | 457 |
| | 560 | istakanje teških ulja i mazuta | 457 |
| Kolosijeci vagonskih vaga | 610 | vaganje tovarenih i praznih vagona | 438 |
| | 620 | vaganje tovarenih i praznih vagona | 420 |
| Izvlačnjaci | 710 | izvlaka i dostava vagona na primopredajnu skupinu, TM 01 i TM 02 | 204 |
| | 740 | Izvlaka i dostava vagona na TM 07 | 271 |

PRILOG 2. – Prikaz rješenja optimizacijskog postupka izbora vagona

Scenarij 1.

| | |
|-----------------------------|----------|
| količina prema nalogu | 800,00 t |
| količina nakon optimizacije | 800 t |

| VAGONI NA RASPOLAGANJU | | | |
|------------------------|--------|--------|----------|
| Habbinss-z | Rils-z | Hbis-z | Hbills-z |
| 100 | 100 | 100 | 100 |

| | Habbinss-z | Rils-z | Hbis-z | Hbills-z | |
|---------------------|------------|--------|--------|----------|-------|
| komada po vagonu | BB 500 | 81,00 | 69,00 | 42,00 | 40,00 |
| neto masa robe | | 40,50 | 34,50 | 21,00 | 20,00 |
| neto masa vagona | | 40,58 | 34,57 | 21,04 | 20,04 |
| bruto masa vagona | | 68,58 | 61,57 | 36,04 | 35,04 |
| upotrebljeni vagoni | | 0 | 22 | 1 | 1 |

| | | | |
|-----------------------------|------|----------------------------|--------|
| dozvoljena bruto masa vlaka | 1600 | ostvarena bruto masa vlaka | 1425,6 |
| dozvoljena dužina vlaka | 500 | ostvarena duljina vlaka | 465,84 |

Scenarij 2.

| | |
|-----------------------------|----------|
| količina prema nalogu | 800,00 t |
| količina nakon optimizacije | 800 t |

| VAGONI NA RASPOLAGANJU | | | |
|------------------------|--------|--------|----------|
| Habbinss-z | Rils-z | Hbis-z | Hbills-z |
| 25 | 10 | 25 | 10 |

| | Habbinss-z | Rils-z | Hbis-z | Hbills-z | |
|---------------------|------------|--------|--------|----------|-------|
| komada po vagonu | BB 500 | 81,00 | 69,00 | 42,00 | 40,00 |
| neto masa robe | | 40,50 | 34,50 | 21,00 | 20,00 |
| neto masa vagona | | 40,58 | 34,57 | 21,04 | 20,04 |
| bruto masa vagona | | 68,58 | 61,57 | 36,04 | 35,04 |
| upotrebljeni vagoni | | 10 | 0 | 15 | 4 |

| | | | |
|-----------------------------|------|----------------------------|--------|
| dozvoljena bruto masa vlaka | 1600 | ostvarena bruto masa vlaka | 1366,6 |
| dozvoljena dužina vlaka | 500 | ostvarena duljina vlaka | 499,02 |

Scenarij 3.

| | |
|-----------------------------|----------|
| količina prema nalogu | 800,00 t |
| količina nakon optimizacije | 801 t |

| VAGONI NA RASPOLAGANJU | | | |
|------------------------|--------|--------|----------|
| Habbinss-z | Rils-z | Hbis-z | Hbills-z |
| 50 | 50 | 0 | 0 |

| | Habbinss-z | Rils-z | Hbis-z | Hbills-z | |
|---------------------|------------|--------|--------|----------|-------|
| komada po vagonu | BB 500 | 81,00 | 69,00 | 42,00 | 40,00 |
| neto masa robe | | 40,50 | 34,50 | 21,00 | 20,00 |
| neto masa vagona | | 40,58 | 34,57 | 21,04 | 20,04 |
| bruto masa vagona | | 68,58 | 61,57 | 36,04 | 35,04 |
| upotrebljeni vagoni | | 7 | 15 | 0 | 0 |

| | | | |
|-----------------------------|------|----------------------------|----------|
| dozvoljena bruto masa vlaka | 1600 | ostvarena bruto masa vlaka | 1403,602 |
| dozvoljena dužina vlaka | 500 | ostvarena duljina vlaka | 461,348 |

Scenarij 4.

| | |
|-----------------------------|------------|
| količina prema nalogu | 800,00 t |
| količina nakon optimizacije | 748,9301 t |

| VAGONI NA RASPOLAGANJU | | | |
|------------------------|--------|--------|----------|
| Habbinss-z | Rils-z | Hbis-z | Hbills-z |
| 0 | 0 | 50 | 50 |

| | Habbinss-z | Rils-z | Hbis-z | Hbills-z | |
|---------------------|------------|--------|--------|----------|-------|
| komada po vagonu | BB 500 | 81,00 | 69,00 | 42,00 | 40,00 |
| neto masa robe | | 40,50 | 34,50 | 21,00 | 20,00 |
| neto masa vagona | | 40,58 | 34,57 | 21,04 | 20,04 |
| bruto masa vagona | | 68,58 | 61,57 | 36,04 | 35,04 |
| upotrebljeni vagoni | | 0 | 0 | 36 | 0 |

| | | | |
|-----------------------------|------|----------------------------|----------|
| dozvoljena bruto masa vlaka | 1600 | ostvarena bruto masa vlaka | 1285,378 |
| dozvoljena dužina vlaka | 500 | ostvarena duljina vlaka | 500 |

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

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu završnog/diplomskog rada pod naslovom Optimizacija plana prijevoza robe željeznicom, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

Student/ica:

U Zagrebu, 12.09.2023.

Stjepan Rod

(ime i prezime, potpis)

