

Izrada prometnog modela s prikazom prometnih opterećenja na relaciji Rijeka – Zagreb

Pušelja, Veronika

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies, Rijeka / Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:187:310655>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-06-29**



Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet
University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies

Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies - FMSRI Repository](#)



**SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET**

VERONIKA PUŠELJA

**IZRADA PROMETNOG MODELA S PRIKAZOM
PROMETNIH OPTEREĆENJA NA RELACIJI RIJEKA-
ZAGREB**

ZAVRŠNI RAD

Rijeka, 2023.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET**

**IZRADA PROMETNOG MODELA S PRIKAZOM
PROMETNIH OPTEREĆENJA NA RELACIJI RIJEKA-
ZAGREB**

**CREATION OF A TRAFFIC MODEL SHOWING TRAFFIC
LOADS ON ROUTE RIJEKA-ZAGREB**

ZAVRŠNI RAD

Kolegij: : Osnove prometnog modeliranja

Mentor/komentator: prof. dr. sc. Neven Grubišić

Student/studentica: Veronika Pušelja

Studijski smjer: Tehnologija i organizacija prometa

JMBAG: 0112083887

Rijeka, srpanj 2023.

Student/studentica: Veronika Pušelja

Studijski program: Tehnologija i organizacija prometa

JMBAG: 0112083887

IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZRADI ZAVRŠNOG RADA

Kojom izjavljujem da sam završni rad s naslovom

**IZRADA PROMETNOG MODELA S PRIKAZOM PROMETNIH OPTEREĆENJA NA
RELACIJI RIJEKA-ZAGREB**

(naslov završnog rada)

izradio/la samostalno pod mentorstvom
prof. dr. sc. Neven Grubišić

(prof. dr. sc. / izv. prof. dr. sc. / doc dr. sc Ime i Prezime)

te komentorstvom _____

stručnjaka/stručnjakinje iz tvrtke _____
(naziv tvrtke).

U radu sam primijenio/la metodologiju izrade stručnog/znanstvenog rada i koristio/la literaturu koja je navedena na kraju završnog rada. Tuđe spoznaje, stavove, zaključke, teorije i zakonitosti koje sam izravno ili parafrazirajući naveo/la u završnom radu na uobičajen, standardan način citirao/la sam i povezo/la s fusnotama i korištenim bibliografskim jedinicama, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Rad je pisan u duhu hrvatskoga jezika.

Student/studentica



(potpis)

Ime i prezime studenta/studentice

Student/studentica: Veronika Pušelja

Studijski program: Tehnologija i organizacija prometa

JMBAG: 0112083887

IZJAVA STUDENTA – AUTORA
O JAVNOJ OBJAVI OBRANJENOG ZAVRŠNOG RADA

Izjavljujem da kao student – autor završnog rada dozvoljavam Pomorskom fakultetu Sveučilišta u Rijeci da ga trajno javno objavi i besplatno učini dostupnim javnosti u cjelovitom tekstu u mrežnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta.

U svrhu podržavanja otvorenog pristupa završnim radovima trajno objavljenim u javno dostupnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta, ovom izjavom dajem neisključivo imovinsko pravo iskorištavanja bez sadržajnog, vremenskog i prostornog ograničenja mog završnog rada kao autorskog djela pod uvjetima *Creative Commons* licencije CC BY Imenovanje, prema opisu dostupnom na <http://creativecommons.org/licenses/>

Student/studentica – autor



(potpis)

SAŽETAK

U radu je prikazan primjer izrade prometnog modela za cestovni prometni pravac Rijeka – Zagreb s ciljem dobivanja dnevnih prometnih opterećenja i raspodjele prometnih tokova za dvije kategorije vozila, automobile i kamione. Izrađen je jednostavni prometni model sa svrhom razumijevanja osnovnih elemenata prometnog modela, objekata, atributa i njihovih parametara. Korišteni su podaci Hrvatskih cesta iz izvještaja o brojanju prometa pri čemu su odabrana brojačka mjesta u blizini glavnih čvorišta kojima se povezuje autocesta i državne odnosno županijske ceste u navedenom području. Metodologija izrade prometnog modela obuhvaća izradu modela prometne mreže s glavnim vezama odnosno kategorijama prometnica, uređivanja pravila kretanja kroz raskrižje, izradu matrica prometne potražnje, te podešavanje funkcije impedancije. Nakon izrade modela kreirane su procedure za asignaciju generiranih putovanja na prometnu mrežu te su dobiveni rezultati u vidu prosječnih dnevnih prometnih opterećenja raspoređenih po glavnim dionicama trase.

Ključne riječi: prometno modeliranje, prometna potražnja, prometni model, PTV Visum

SUMMARY

The paper presents an example of creating a traffic model for the road traffic direction from Rijeka to Zagreb, aiming to obtain daily traffic loads and the distribution of traffic flows for two categories of vehicles: cars and trucks. A simple traffic model was created to understand the basic elements of traffic modeling, including objects, attributes, and their parameters. The data from "Hrvatske ceste" on traffic counting were utilized, selecting counting points near the main hubs that connect the motorway and highways in the mentioned area. The methodology for creating a traffic model includes developing a model of the traffic network with the main connections or road categories, modifying the rules of movement at intersections, creating traffic demand matrices, and adjusting the impedance function. Once the model was created, procedures were established to assign generated trips to the transportation network, resulting in average daily traffic loads distributed across the main sections of the route.

Key words: modeling transport, travel demand, traffic model, PTV Visum

SADRŽAJ

SAŽETAK	I
SUMMARY	I
SADRŽAJ	II
1. UVOD	1
2. OPĆENITO O MODELIRANJU I PROMETNOM MODELU	2
2.1. PROMETNO MODELIRANJE	2
2.2. PROMETNI MODEL.....	2
2.3. ELEMENTI PROMETNOG MODELA	3
2.3.1. <i>Prometna mreža</i>	3
2.3.2. <i>Prometne zone</i>	3
2.3.3. <i>Centroidi</i>	4
2.3.4. <i>Čvorovi</i>	4
2.3.5. <i>Linkovi (veze)</i>	4
2.3.6. <i>Konektori</i>	4
3. METODOLOGIJA IZRADE PROMETNOG MODELA NA PRIMJERU GLAVNOG CESTOVNOG PRAVCA RIJEKA-ZAGREB	6
3.1. PODRUČJE OBUHVATA.....	6
3.2. KONSTRUKCIJA MREŽE (PROMETNE PONUDE).....	8
3.2.1. <i>Definiranje zona</i>	8
3.2.2. <i>Određivanje karakteristika čvorišta i njihovih atributa</i>	10
3.2.3. <i>Određivanje kategorija i karakteristika prometnica</i>	11
3.3. VALIDACIJA DIZAJNA – KOREKCIJA MREŽE.....	12
3.4. KREIRANJE PROMETNE POTRAŽNJE	14
3.5. PROCEDURA ASIGNACIJE PUTOVANJA	18
4. ANALIZA REZULTATA PROMETNOG MODELA	19
4.1. FUNKCIJA IMPEDANCIJE.....	19
4.2. POSTAVLJANJE VRIJEDNOSTI TROŠKA CESTARINE	20
4.3. REZULTATI RASPODJELE PROMETA SA I BEZ TROŠKA CESTARINE	21
4.4. PRIKAZ REZULTATA PO O-D PAROVIMA I NA KOMPLETNOJ MREŽI.....	22
5. ZAKLJUČAK	25

LITERATURA	26
POPIS TABLICA	27
POPIS SLIKA	27

1. UVOD

Ovaj rad se bavi primjenom prometnog modela sa svrhom razumijevanja raspodjele prometnih tokova na području cestovnog prometnog koridora Rijeka-Zagreb. U okviru problema istraživanja razmatrani su: međusobna ovisnost kapaciteta prometne ponude, prometne infrastrukture i načina upravljanja i regulacije prometa, te volumena prometne potražnje. Volumen prometne potražnje je važan jer utječe na brzinu i trajanje putovanja, te posljedično i na donošenje odluka kojom rutom ili prijevoznim sredstvom putovati.

Predmet istraživanja jesu dnevna prometna opterećenja koja se iskazuju kao AADT (PGDP) prosječni dnevni promet u jednogodišnjem razdoblju, te primjena tih opterećenja na cestovnim pravcima koji povezuju Rijeku i Zagreb, uključujući i čvorišta na toj dionici.

Objekt istraživanja je razmatranje različitih segmenata, faktora, parametara koji se dobiju kao rezultat same izrade prometnog modela. Bitno je razmotriti fleksibilan karakter programa koji nudi pokazivanje jasnih i čistih mjera predlagačima odluka i javnosti. Dobro je razumjeti učinke novog stanja koje su rezultat tog stanja ili mjera koje se poduzimaju u nekoj skorijoj budućnosti u svrhu realiziranja prometnog stanja.

Radna hipoteza ovog istraživanja jest da je prometnim modelom moguće prikazati realna stanja opterećenja prometne mreže. Kao pomoćne hipoteze mogu se izdvojiti:

- 1) Kvaliteta modela ponude (mreža) ovisi o ispravno podešenim varijablama kojima se opisuju osnovni elementi mreže.
- 2) Podaci o brojanju prometa na ulazno/izlaznim čvorištima mogu predstavljati osnovu za procjenu prometne potražnje, za generiranje i privlačenje putovanja.
- 3) Uključivanjem dodatnih varijabli u funkciju odabira rute, utječe se na preraspodjelu prometnog toka na alternativne rute.

Svrha ovog završnog rada je upoznavanje s mogućnostima prometnog modeliranja i načina na koji je isti moguće koristiti u konkretnim studijama. **Cilj** je prikazati, razumjeti metodologiju izrade prometnog modela, simulirati prometni tok, te optimalno planirati cjelokupni sustav prometne mreže.

U prvom dijelu, uvodu, prezentirani su problem, predmet, objekt istraživanja, radna i pomoćna hipoteza, svrha i cilj istraživanja, te struktura rada. U drugom poglavlju opisani su osnovni elementi prometnog modela, a u trećem metodologija izrade prometnog modela na primjeru glavnog cestovnog pravca Rijeka-Zagreb. Rezultati su prikazani u četvrtom poglavlju. U petom poglavlju data su zaključna razmatranja.

2. OPĆENITO O MODELIRANJU I PROMETNOM MODELU

U ovom poglavlju izdvojeni su glavni pojmovi i njihovo značenje. Detaljnije će se opisati nazivi i značenje glavnih objekata koji predstavljaju elemente s pomoću kojih se kreira prometni model uz pomoć računalnog softvera.

2.1. PROMETNO MODELIRANJE

Prometno modeliranje je postupak izrade prometnog modela koji predstavlja alat za izračunavanje odnosa između prometne ponude i prometne potražnje i određivanje raspodjele prometnih tokova na mreži¹. Prometno modeliranje uključuje proučavanje i analizu prometa u cilju boljeg planiranja cjelokupnog prometnog sustava i povećanja sigurnosti u prometu. Prometni modeli primjenjuju se u analizama postojećeg stanja prometa, predviđanju budućih prometnih tokova, planiranju i projektiranju prometne infrastrukture, evaluaciji prometnih politika i mjera i sl. Omogućuju simuliranje prometnih situacija, testiranje različitih scenarija, te procjenu učinaka različitih prometnih rješenja. Iz tih razloga, prometno modeliranje ima utjecaj na kvalitetu planiranja posebno u urbanim područjima, doprinosi održivom gospodarskom razvoju, te održivosti prometnog sustava. Također, prometno modeliranje obuhvaća matematičke modele i algoritme za simuliranje, pomoću kojih je moguće bolje predvidjeti događaje i stanja te optimizirati prometni tok te uočiti na vrijeme promjene prometnih stanja koje mogu negativno utjecati na mobilnost stanovništva. Prema tome, prometnim modeliranjem se dočaravaju šarolike aktivnosti i događaji koje zaključno proizlaze iz tendencije ljudi za kretanjem.

2.2. PROMETNI MODEL

Prometni model je specifična platforma koja nastaje upravo prometnim modeliranjem, te oslikava funkcionalno stanje kompletnog prometnog sustava na lokalnoj, regionalnoj ili nacionalnoj razini: prometnu mrežu (ponudu), matrice putovanja (potražnju), vrste putovanja po modovima transporta, mape linija javnog prijevoza, prometna opterećenja, transportne rute, te pridružene prometne tokove i prometna opterećenja na prometnoj mreži². Prometni model

¹ Modelling Transport, Fourth Edition. Juan de Dios Ortúzar and Luis G. Willumsen.

© 2011 John Wiley & Sons, Ltd. Published 2011 by John Wiley & Sons, Ltd, str. 2

² PTV Visum 2023 - New features at a glance © PTV Planung Transport Verkehr GmbH, str. 5

nam predstavlja razumijevanje svih mogućih prometnih problema na cestama, željeznicama, zračnim lukama, terminalima, te drugim mjestima s velikim prometom. Prometni model predstavlja pojednostavljeni prikaz realnog sustava ili procesa odnosno nekog njegovog dijela u zadanom ambijentu koje uz to prati i vrijeme.

2.3. ELEMENTI PROMETNOG MODELA

2.3.1. Prometna mreža

Prometna mreža sastoji se od ishodišta i odredišta, prometnih čvorišta, raskrižja, prometnica te njihovih atributa na kojoj se odvija proces kretanja odnosno realiziraju putovanja od polazišta do odredišta. , uz savladavanje udaljenosti u zadanom vremenskom intervalu. Struktura prometne mreže je sastavljena od cestovnih, željezničkih, zračnih, pomorskih i rijetko plovnih mreža koje su namijenjene za uspostavljanje brze i jednostavne prometne povezanosti radi boljeg funkcioniranja komunikacije i mobilnosti. Kvaliteta prometne mreže može biti jedan od ključnih elemenata za razvoj urbanih i ruralnih područja, a programi i strategije za njezinu izgradnju i razvoj mogu imati značajan utjecaj na budući razvoj i upravljanje tim područjima. Što se tiče dizajniranja i geometrije, prometna mreža mora zadovoljiti uvjete realnog sustava i računalne simulacije realnog stanja. Prometna mreža se sastoji od čvorova, pravila prolaska i skretanja na raskrižjima, linkova (veza između čvorova), zona, centroida i konektora. Prometnu ponudu u modelima predstavlja sama prometna mreža, te čvorovi, pravila kretanja i linkovi. Prometna ponuda se iskazuje kroz uslugu koja je iskazana na određenom mjestu i vremenu, uz priloženu cijenu. Centroidi i konektori predstavljaju prometnu potražnju tj. potrebu za putovanjima koja se može realizirati korištenjem različitih prijevoznih sredstava, te korištenjem javnih usluga koje su dostupne uz priloženu cijenu. Svi navedeni elementi su povezani u prometnu mrežu, te opisuju cjelokupnu prometnu situaciju u određenom području.

2.3.2. Prometne zone

Zone okružuju određeno geografsko područje unutar prometne mreže, koje se koristi za modeliranje i analizu protoka prometa i drugih povezanih komponenata u prometnom sustavu. Zone su generatori i atraktori putovanja. Pomoću zona se definiraju homogene strukture s obzirom na namjenu kao što su stambena, komercijalna, industrijska, trgovačka, te mnoge druge. Prilikom izrade zona, najčešće se koriste granice prostornih jedinica prema kvalifikaciji statističke regije i oblikuju se ovisno o opsegu studije ciljanog područja za koje se izrađuje model. Zone su ishodišta i odredišta kretanja raznih prometnih modaliteta kojima upravljaju

ljudi unutar prometne mreže. Putovanja unutar zone ili tzv. interna putovanja se isto uzimaju u obzir jer se raspoređuju tako da se kreira veći broj konektora koji spajaju različite čvorove unutar zone s centroidom. Kod vanjskih, eksternih zona, putovanja su izvan područja modela, odnosno tranzitiraju kroz područje modela, te se moraju obavezno uključiti u područje koje modeliramo, ali samo na razini osnovnih elemenata mreže.

2.3.3. Centroidi

Centroid je središte, odnosno gravitacijsko težište zone i ujedno je virtualan element mreže preko kojeg se generira i privlači cjelokupna potražnja realizirana u vidu prometnih putovanja. Tijekom izrade se postavljaju poligoni. Točke poligona zatvaraju područje oko centroida i predstavljaju granicu neke zone. Bitna značajka je ta da se poligon kreira u smjeru obrnuto od kazaljke na satu

2.3.4. Čvorovi

Čvorovi su mjesta gdje se spajaju i razdvajaju prometni tokovi. U stvarnosti to su raskrižja ili terminali (npr. mogu biti i luke ili logistički centri). Čvorovi predstavljaju i točke razmjene u kojima se spaja više načina prijevoza. Na čvorovima prometni modaliteti kojima čovjek upravlja prilaze iz različitih pravaca, prolaze čvorovima i skreću prema smjerovima koje vode ka željenim destinacijama. Prometni modaliteti, također, koriste isti prostor čvora za zadržavanje pravca kretanja ili za skretanje ulijevo ili udesno. Čvorovi spajaju linkove i osiguravaju konzistentnost mreže.

2.3.5. Linkovi (veze)

Linkovi ili veze jesu elementi koji povezuju čvorove. U prometu mogu biti naprimjer ceste, željezničke pruge, mostovi, vijadukti, ali mogu biti i linije javnog prijevoza. Linkovi povezuju čvorove i tako okrunjuju strukturu mreže. Linkovi imaju posebne smjerove. Svaki smjer je nezavisan mrežni objekt. U mrežu se unose oni linkovi koji su relevantni za analizu i koji neće biti izostavljeni ako se radi o nekoj kompleksnoj mreži. Isto tako, linkovi kao parametri pružaju fleksibilnost korisnicima u procesu planiranja i projektiranja infrastrukture.

2.3.6. Konektori

Centroidi su povezani s mrežnim čvorovima preko linkova putem tzv. virtualnih linkova umjetne veze koji se nazivaju konektori. Konektor se može spojiti na čvor ili na link i može predstavljati više prometnica unutar zone. Konektori su posebni objekti koji povezuju centre

prometne potražnje s prometnom mrežom, te su vrlo važni za vizualizaciju povezanosti između elemenata u prometnom sustavu.

3. METODOLOGIJA IZRADE PROMETNOG MODELA NA PRIMJERU GLAVNOG CESTOVNOG PRAVCA RIJEKA-ZAGREB

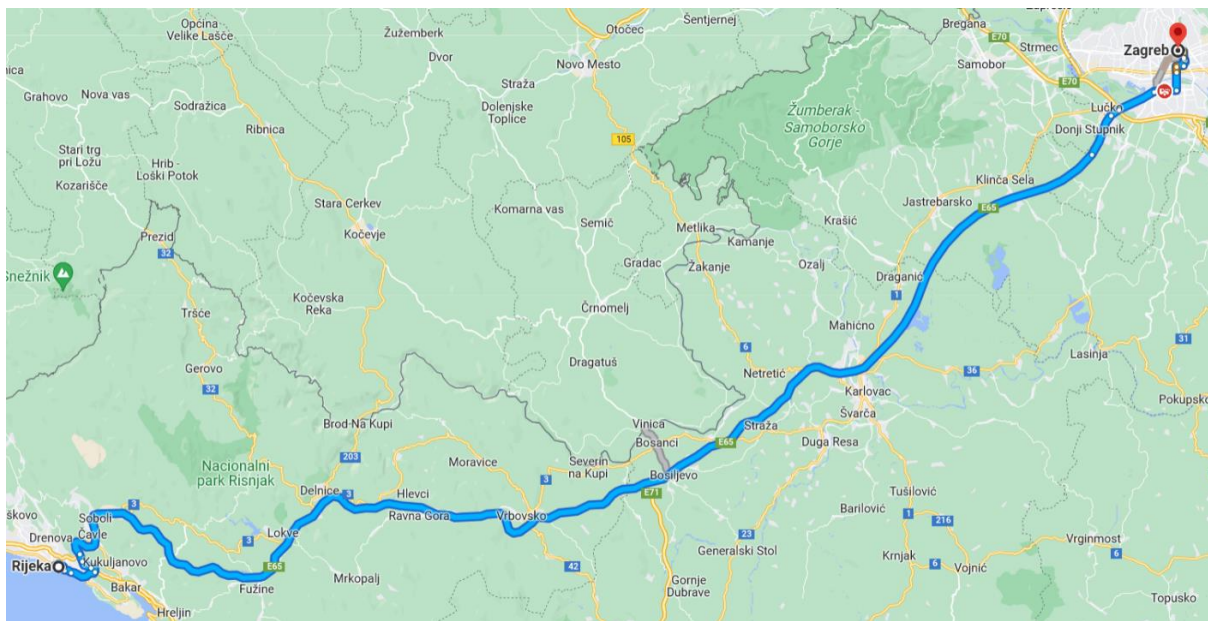
U ovom poglavlju opisuje se metodologija izrade prometnog modela na primjeru cestovnog pravca između Rijeke i Zagreba s naglaskom na dizajn modela, uređivanje glavnih parametara elemenata modela te objekata i pripadajućih atributa. S obzirom na svrhu i prostorni obuhvat za izradu prometnog modela korišten je računalni alat PTV Visum koji se koristi za izradu makroskopskih prometnih modela.

3.1. PODRUČJE OBUHVATA

Prilikom izrade prometnog modela važno je na početku razumjeti opseg njegove primjene i razine detalja koje je potrebno modelirati. U ovom primjeru za područje obuhvata definiran je cestovni pravac Rijeka-Zagreb tj. pojednostavljeni dio mreže koji uključuje glavne dijelove autoceste A1-A6, dijelove državnih cesta D1 i D3, te manjim dijelom ostale priključne ceste kako bi se kompletirala mreža. Također područje obuhvata uključuje čvorišta, u stvarnosti ulaze i izlaze s autoceste na dionici A1/A6. To su: Lučko-Zagreb, Zdenčina, Jastrebarsko, Karlovac, Novigrad, Bosiljevo1, Vrbovsko, Ravna Gora, Delnice, Vrata, Oštrovica, te Rijeka-Kikovica. Također obuhvaćen je i dio dionice autoceste A1 prema Ogulinu, te čvor Bosiljevo 2 koji nije klasičan ulazno-izlazni čvor nego čvor u kojemu se ulijevaju odnosno razdvajaju prometni tokovi prema Rijeci i Splitu/Dubrovniku. Relacija Rijeka- Zagreb ima veliki utjecaj na gospodarski razvoj i turizam, te predstavlja važnu infrastrukturnu vezu i važan je dio europske prometne mreže. Slika 1 prikazuje uvid na geoprometni položaj trase Rijeka – Zagreb.

Nakon prostorne organizacije određenog područja, prometna mreža relacije Rijeka – Zagreb, definirana je na temelju zemljovida koji je precizirao brojačka mjesta brojenja prometa. Brojačka mjesta brojenja prometa su lokacije na cestama koje su odabrane za sustavno prikupljanje podataka o značajkama prometa na cesti u određenom vremenskom periodu³. Slika 2 pokazuje zaokružene podatke koje predstavljaju brojačka mjesta.

³ <https://www.prometna-zona.com/brojanje-ili-snimanje-prometa/> (1.6.2023.)



Slika 1 Prikaz trase Rijeka-Zagreb pomoću platforme GoogleMaps

Izvor: <https://www.google.hr/maps/@45.840196,15.9643316,11z?hl=hr&entry=ttu> (1.6.2023.)



Slika 2 Brojačka mjesta brojenja prometa

Izvor: Hrvatske ceste, Brojenje prometa na cestama Republike Hrvatske godine 2018, <https://hrvatske-ceste.hr/hr/stranice/promet-i-sigurnost/dokumenti/14-brojenje-prometa> (1.6.2023.)

Zaokruženi podatci sa zemljovida uvedeni su, s nazivom mjesta u Tablicu 1, te svako navedeno mjesto ima pripadajući prosječni godišnji dnevni promet (PGDP) koji će poslužiti u budućem izračunu podataka o prometnoj potražnji.

Tablica 1 Prikaz brojačkih mjesta s oznakom, imenom, te PGDP-om

Number:13	Name:	Brojačko mjesto	PGDP
1.	Rijeka - Kikovica	2932	
2.	Oštrovica	2931	11827
3.	Vrata	2916	15088
4.	Delnice	2908	15245
5.	Ravna Gora	2907	14387
6.	Vrbovsko	3023	14459
7.	Bosiljevo -Ogulin	3017	13980
8.	Bosiljevo 1	3016	28090
9.	Novigrad	3026	27390
10.	Karlovac	1922	27841
11.	Jastrebarsko	1919	34548
12.	Donja Zdenčina	1930	36994
13.	Zagreb - Lučko	1913	37603

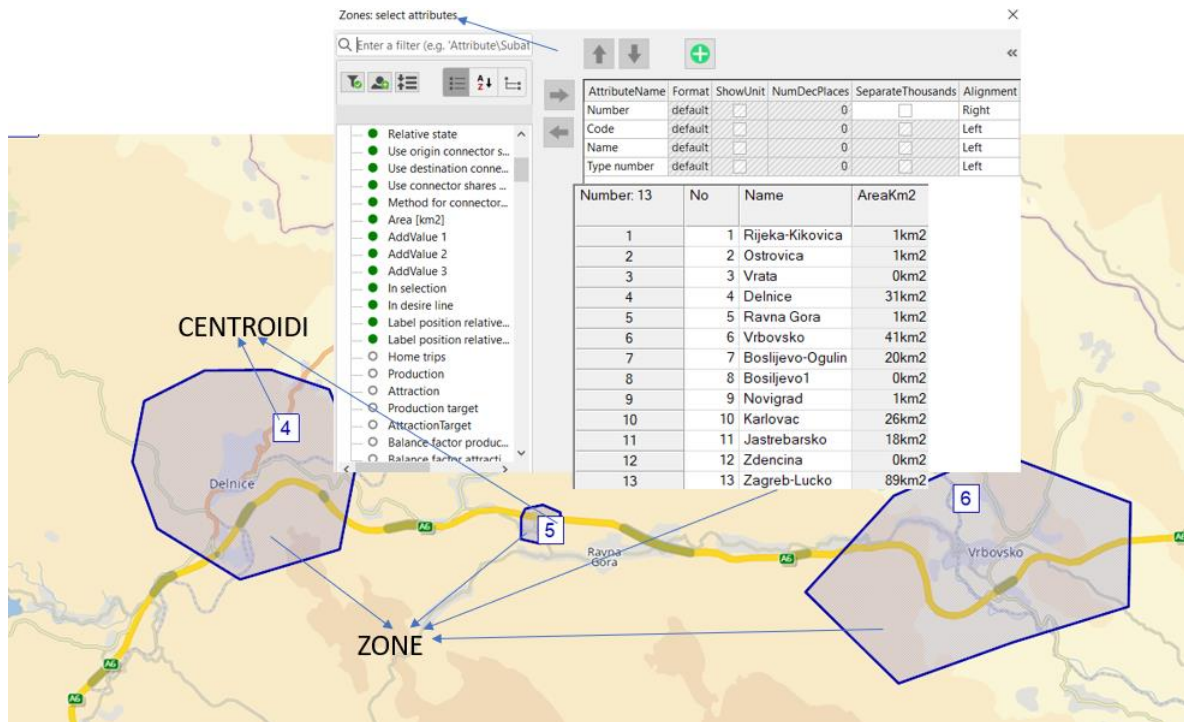
Izvor: Izradila studentica

3.2. KONSTRUKCIJA MREŽE (PROMETNE PONUDE)

3.2.1. Definiranje zona

Područje relacije Rijeka – Zagreb podijeljeno je na 13 zona zbog definiranog područja, prema prethodnim podacima, u kojem se analizira prometni tok. Prilikom izrade zona, najprije se postavlja centroid koji je ujedno i težište zone, te se preko njega generira i privlači cjelokupna potražnja realizirana u vidu prometnih putovanja. Centroida ima također 13. Postupkom izrade zona određuju se granice trase, a područja se mogu podijeliti na zone prema vrsti zemljišta, broju stanovnika, udaljenosti od središta grada ili drugim kriterijima. Zone imaju skup karakteristika ili atributa koji su dodijeljeni određenim zonama unutar modela prijevoza. PTV Visum omogućuje korisnicima definiranje i analizu atributa zona za potrebe planiranja

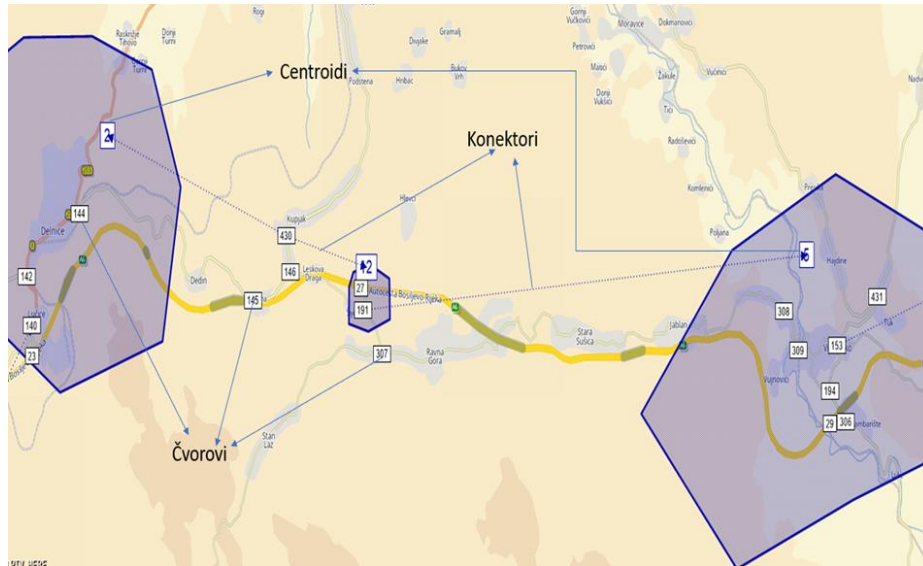
prijevoza. Alat nudi unos i izmjenu podataka o atributima zona, te korištenje tih podataka za izradu i analizu transportnih modela.



Slika 3 Prikaz zona i centroida – programska aplikacija
Izvor: Izradila studentica pomoću softverskog programa PTV Visum

Od 13 definiranih zona u prometnom modelu, svaka zona je spojena s nekoliko konektora na bližnje čvorove. Oni se vežu za čvorove ulaska/izlaska u/iz zone, te prikazuju trošak (udaljenost, vrijeme) uključivanja nekog putovanja u prometni sustav. Broj konektora koji je napravljen u modelu iznosi 50, s time da se mora naglasiti da se pri izradi udvostručuju zbog suprotnog smjera⁴.

⁴ <https://repozitorij.fpz.unizg.hr/islandora/object/fpz%3A1701/datastream/PDF/view> (2.6.2023.)



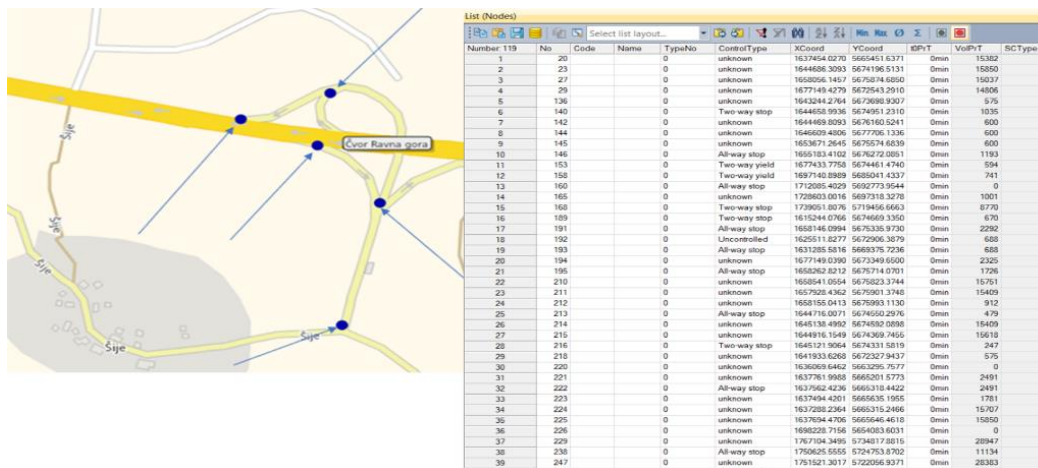
Slika 4 Prikaz raspoređivanja konektora – programska aplikacija
 Izvor: Izradila studentica pomoću softverskog programa PTV Visum

3.2.2. Određivanje karakteristika čvorovišta i njihovih atributa

Kretanje vozila kroz čvor pretpostavlja poštivanje odgovarajućih pravila koja se odnose na dozvoljeni način prolaska kroz raskrižje: prolazak ravno, lijevo ili desno skretanje. Također potrebno je poznavati i na odgovarajući način odrediti prioritete prolaska kroz raskrižje u smislu određivanja glavnih i sporednih tokova.

Kroz „control type“ atribut moguće je programski definirati način kontrole tj. upravljanja raskrižjem. O odabranom načinu kontrole ovisi i kašnjenje vozila tj. sama dinamika kretanja kroz raskrižje je različita ovisno o načinu regulacije. Model izračunava impedanciju na raskrižju u vidu vremena potrebnog za određeni način kretanja kroz raskrižje, u ovisnosti o metodi koja se koristi za izračunavanje impedancije. Preciznije izračunavanje impedancije moguće je korištenjem tzv. ICA metode.

U izradi prometnog modela na relaciji Rijeka – Zagreb čvorovi su se postavljali na ulazno-izlazne rampe te raskrižja koja povezuju ulazno-izlazne rampe s državnim ili županijskim cestama. U PTV Visumu na temelju relacije Rijeka–Zagreb postavljeno je 119 čvorova. Kako bi se aproksimiralo čekanje na naplatnim kućicama na određenom broju čvorova postavljena je „all-way stop“ regulacija.



Slika 5 Prikaz čvorova – programska aplikacija
Izvor: Izradila studentica pomoću softverskog programa PTV Visum

3.2.3. Određivanje kategorija i karakteristika prometnica

U PTV Visumu, linkovi koji su izrađeni predstavljaju autocestu, državne ceste, te rampe na kojima se ulijevaju i razdvajaju tokovi. Svaki link je prikazan različitom bojom, ovisno o kategoriji. Ukupan broj linkova na mreži je 334. Na listi linkova mogu se uređivati podaci o istima.

Svaki link ima određene atribute kojima se opisuju karakteristike prometnice. Ceste iste kategorije u pravilu imaju jednake ili slične atribute. Zbog toga je najprije potrebno postaviti tipove linkova prema kategoriji prometnica i postaviti njihove glavne atribute. Glavni atributi ovisno o tipu prometnice definiraju njene karakteristike. Sljedeći atributi mogu se izdvojiti:

TsysSet: vrsta prijevoznih sredstava čije kretanje je dozvoljeno kroz link; za potrebe ovog rada u modelu su korišteni automobili (C) i kamioni (H).

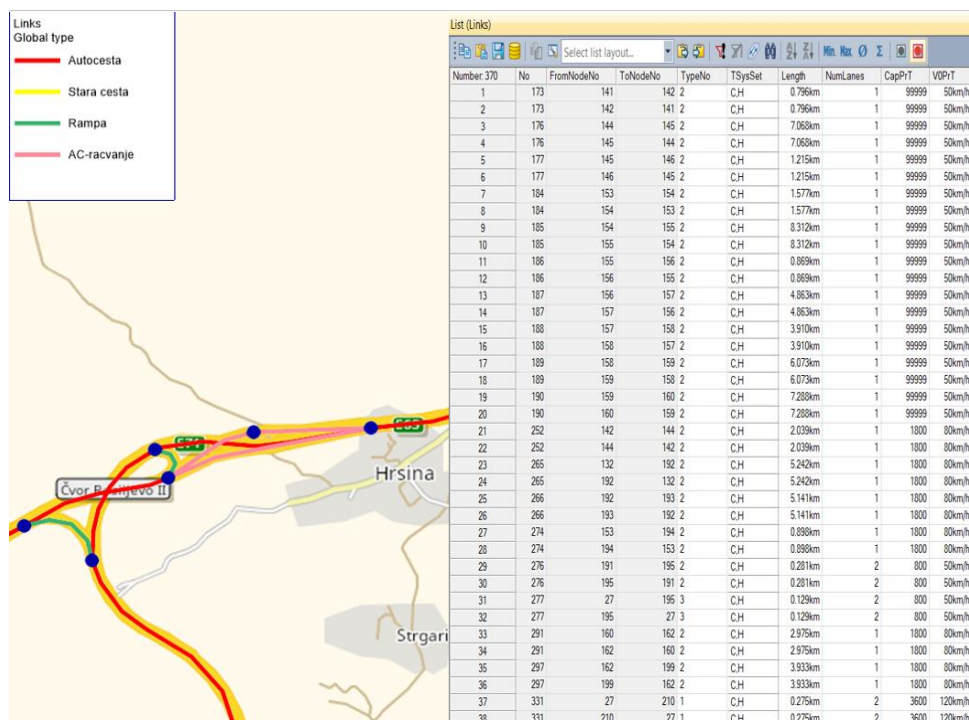
NumLanes: broj prometnih traka u jednom smjeru za link.

CapPrT: kapacitet linka tj. maksimalni volumen vozila za link u periodu od 1h.

V0PrT: brzina slobodnog toka, tj. maksimalna brzina kretanja vozila u neopterećenoj mreži.

VdfNo: Funkcija koja opisuje stanje odnosa volumena i kašnjenja odnosno promjenu vremena putovanja s obzirom na količinu vozila (prometno opterećenje). Za potrebe ovog rada korištenje je standardna BPR(Bureau of Public Roads) funkcija.⁵

⁵ <https://drive.google.com/file/d/10gOmXPRV1K19Oy0-9bgjDLQEx66nqpQ/view> (str. 12,13)



Slika 6 Prikaz linkova - programska aplikacija
Izvor: Izradila studentica pomoću softverskog programa PTV Visum

Tablica 2 prikazuje izrađene kategorije cesta: autocesta, stara cesta, rampa, te račvanje s postavljenim atributima.

Tablica 2 Prikaz kategorija prometnica s određenim atributima – programska aplikacija PTV Visum

Number: 4	Name:	TSysSet	NumLanes	CapPrT	VOPrT	VdfNo	VMax_PrTSys (H)	VMax_PrTSys (C)
1	Autocesta	C.H	2	36000	120 km/h	1	100 km/h	200 km/h
2	Stara cesta	C.H	1	18000	70 km/h	1	45 km/h	200km/h
3	Rampa	C.H	1	8000	50 km/h	1	40 km/h	200 km/h
4	Autocesta-racvanje	C.H	2	36000	60 km/h	1	60 km/h	200 km/h

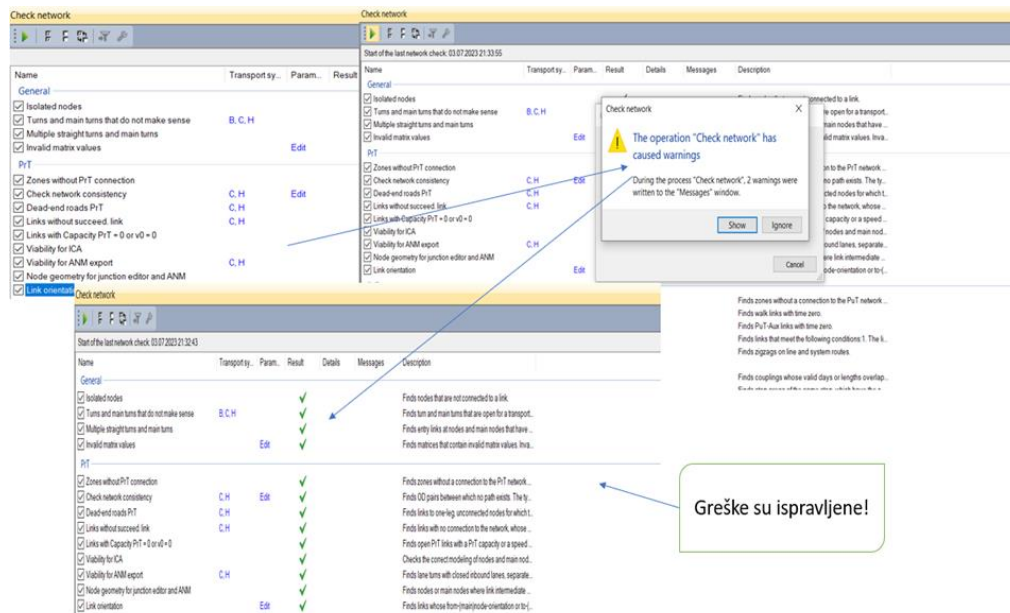
Izvor: Izradila studentica

S obzirom da je cilj prikazati dnevna prometna opterećenja, kapaciteti linkova množeni su s 10 kako bi se dobio realni prikaz stanja budući da vozila ne pristižu ravnomjerno tokom 24 sata nego je glavnina prometnog opterećenja raspoređena u vremenskom periodu od 8 do 16 sati.

3.3. VALIDACIJA DIZAJNA – KOREKCIJA MREŽE

Prilikom izrade prometne mreže u prometnom modelu moguće je da se napravi poneka strukturna ili logička greška. Primjerice, da program izostavi određeni objekt ili da se dobro ne povežu dva objekta i slično. Posljedice mogu biti nefunkcionalnost modela ili nerealno stanje

u smislu načina na koji se vozila kreću ili biraju određenu rutu putovanja. Mogućnost provjere mreže obavlja se u samom alatu. Provjera mreže u PTV Visumu se primjenjuje kako bi se osigurala propusnost prometne mreže ovisno o modu prijevoza i kako bi se osigurala točnost i pouzdanost rezultata. S time, se pažljivo rješavaju greške koje program izbaci na zaslon računala jer nisu dozvoljene zbog toga što program neće raditi bilo kakvu proceduru ili obračun prometnih opterećenja. Slika 7 prikazuje korake rješavanja grešaka u programskom alatu PTV Visum.



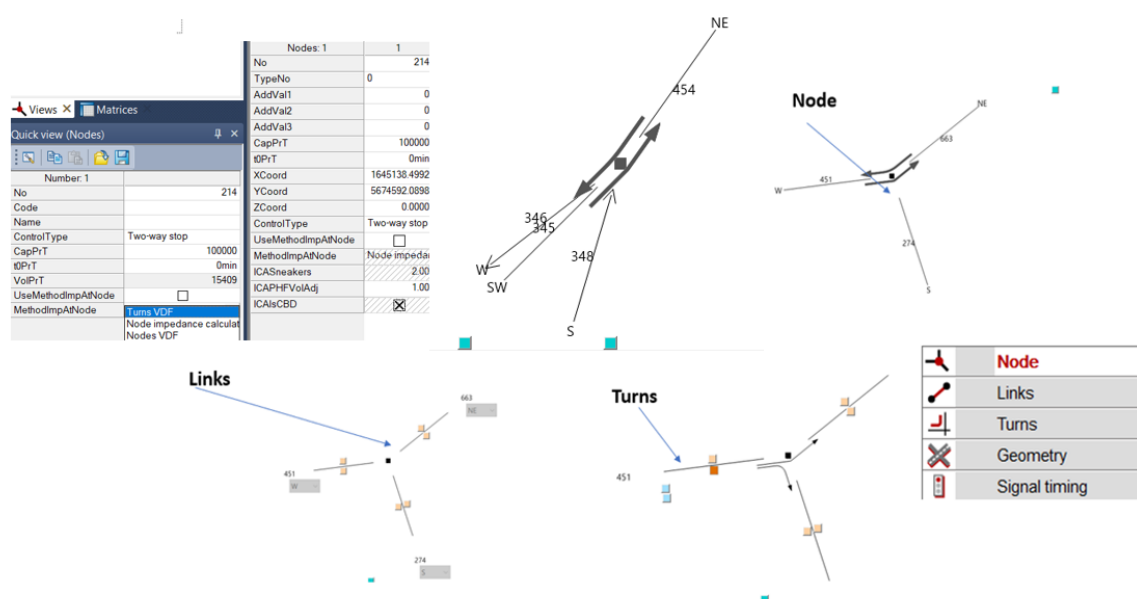
Slika 7 Prikaz grešaka– programska aplikacija

Izvor: Izradila studentica pomoću softverskog programa PTV Visum

Uobičajeni problem kod dizajna mreža jesu sama raskrižja i pravila kretanja kroz raskrižja koja se automatski generiraju prilikom spajanja čvorova i izrade linkova. Stoga je potrebno editirati čvorove i ručno urediti geometriju raskrižja, te pravila kretanja kroz raskrižje kako bi model bio što vjerniji stvarnom stanju. Također neophodno je za ključna čvorišta postaviti odgovarajuću vrstu raskrižja i način regulacije raskrižja: način regulacije prometnim znakovima ili postaviti signalni plan za raskrižje ako je raskrižje regulirano signalnim planom. U konkretnom slučaju nije bilo potrebno postavljati signalne planove jer se ipak ne radi o urbanoj prometnoj mreži.

Važnost uređivanja raskrižja i validacije dizajna sastoji se u činjenici da pravila kretanja kroz raskrižje, geometrija raskrižja te način regulacije utječu na prometnu impedanciju, odnosno kašnjenje u odnosu na pretpostavljeno vrijeme putovanja. U računalnom alatu uređenje raskrižja provodi se kroz objekt „turns“. Prikaz uređivanja elemenata raskrižja prikaza je na Slici 8.

Junction editor!



Slika 8 Model mreže s prikazom pravila – programska aplikacija
Izvor: Izradila studentica pomoću softverskog programa PTV Visum

3.4. KREIRANJE PROMETNE POTRAŽNJE

U prometnom modelu prometna potražnja se prikazuje kroz tzv. matrice prometne potražnje. Za svaki način prijevoza kreira se posebna matrica potražnje. Potražnja se iskazuje kroz broj dnevnih putovanja sa određenom svrhom odnosno agregirano kao broj dnevnih putovanja za određeni način prijevoza. Matrica putovanja/potražnje je zapravo, kvadratna matrica u kojoj redovi i stupci predstavljaju zone putovanja. U matrici, svaka ćelija predstavlja broj putovanja za OD par, stupci prikazuju odredište putovanja, a redovi polazište putovanja. Matrice nam prikazuju ogromnu količinu podataka, koje se prenose na planiranje, analizu i nadzor prometa.

Za potrebe ovog rada pretpostavljena prometna potražnja nije generirana na temelju nekog od modela prometne potražnje (npr. 4-stupanjskog modela) jer je to izvan samo opsega svrhe ovog rada. Prometna potražnja iskazana je direktno kroz broj putovanja određene kategorije vozila i to odvojeno za automobile i kamione.

Krenulo se od pretpostavljenih udjela u potražnji. Potražnju između OD parova dobilo se iz podataka o generiranim i privučenim putovanjima prema podacima s brojačkih mjesta. Ulazi su generirana potražnja (polasci), a izlazi su privučena putovanja (dolasci u zonu). Vrijednosti su se dobila prema udjelima od ukupnog prometa na ulazu i izlazu mreže (na relaciji Rijeka-Zagreb) i to tako da su se najprije odredili udjeli za veća čvorišta (Bosiljevo II, Rijeka), dok su

se za ostala čvorišta pretpostavili veći udjeli za bliža čvorišta jer je, pretpostavljeno da ljudi iz manjih mjesta više putuju u susjedna mjesta, odnosno u čvorišta, nego u veće gradove. *Tablica 3* prikazuje ulaze i izlaze prema kojima su se izračunali pretpostavljeni udjeli u potražnji. Također udjeli su razdvojeni po smjerovima što doprinosi vjernijoj slici stvarnog stanja.

Tablica 3 Prikaz ulaza i izlaza na relaciji Rijeka-Zagreb

Ulazi		Izlazi	
Ri-Zg	Zg-Ri	Ri-Zg	Zg-Ri
6159	34	36	5668
1442	248	309	1889
357	845	830	357
382	189	196	434
241	421	413	217
175	953	971	180
7930	521	580	8103
201	485	430	199
685	1655	1642	681
4972	370	428	5033
1569	481	551	1675
813	0	0	829
0,00	19063	18540	0
24926	25265	24926	25265

Izvor: Izradila studentica prema: Hrvatske ceste, Brojenje prometa na cestama Republike Hrvatske godine 2018, <https://hrvatske-ceste.hr/hr/stranice/promet-i-sigurnost/dokumenti/14-brojenje-prometa> (2.6.2023.)

Tablica 4 Pretpostavljeni udjeli u potražnji

1 Pretpostavljeni udjeli u potražnji

No	Name	Code	Prod		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
			RI	OS														VR
			Prod	Atr														
1	Rijeka-Kikovica	RI	6193	5704	0,000	0,010	0,050	0,010	0,020	0,010	0,030	0,000	0,050	0,030	0,000	0,000	0,790	
2	Ostrovica	OS	1690	2198	1,000	0,000	0,010	0,010	0,010	0,010	0,030	0,000	0,200	0,030	0,000	0,000	0,700	
3	Vrata	VR	1202	1187	0,800	0,200	0,000	0,400	0,400	0,150	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,050	
4	Delnice	DE	571	630	0,700	0,000	0,300	0,000	0,400	0,280	0,000	0,000	0,000	0,020	0,000	0,000	0,300	
5	Ravna Gora	RG	662	630	0,500	0,000	0,200	0,300	0,000	0,500	0,000	0,050	0,000	0,050	0,000	0,000	0,400	
6	Vrbovsko	VB	1128	1151	0,500	0,050	0,300	0,030	0,120	0,000	0,000	0,200	0,050	0,200	0,000	0,000	0,550	
7	Bosiljevo-Ogulin	OG	8451	8683	0,800	0,100	0,030	0,000	0,010	0,060	0,000	0,000	0,200	0,050	0,050	0,050	0,650	
8	Bosiljevo1	BO	686	629	0,500	0,000	0,000	0,300	0,100	0,100	0,000	0,000	0,050	0,250	0,250	0,050	0,400	
9	Novigrad	NG	2340	2323	0,300	0,200	0,020	0,030	0,020	0,030	0,400	0,000	0,000	0,100	0,100	0,000	0,800	
10	Karlovac	KA	5342	5461	0,100	0,020	0,020	0,040	0,020	0,200	0,300	0,200	0,100	0,000	0,100	0,050	0,850	
11	Jastrebarsko	JA	2050	2226	0,050	0,010	0,000	0,010	0,000	0,000	0,010	0,020	0,200	0,700	0,000	0,100	0,900	
12	Zdencina	ZD	813	829	0,020	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,010	0,010	0,100	0,350	0,500	0,000	1,000	
13	Zagreb-Lucko	ZG	19063	18540	0,145	0,080	0,020	0,005	0,000	0,025	0,400	0,020	0,010	0,230	0,060	0,005	0,000	
			50191	50191														

Izvor: Izradila studentica prema: Hrvatske ceste, Brojenje prometa na cestama Republike Hrvatske godine 2018, <https://hrvatske-ceste.hr/hr/stranice/promet-i-sigurnost/dokumenti/14-brojenje-prometa> (2.6.2023.)

Kod *inicijalne produkcije putovanja*, produkcija se množila s udjelima ukupnih generiranih putovanja. Rezultati su prikazani u *Tablici 5*.

Tablica 5 Inicijalna produkcija putovanja

2 Inicijalna produkcija putovanja

No	Name	Code			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
			Prod	Atr	RI	OS	VR	DE	RG	VB	OG	BO	NG	KA	JA	ZD	ZG
					5758	2199	1187	684	642	1037	8631	512	2525	5519	2156	907	18434
1	Rijeka-Kikovica	RI	6193	5758	34	62	308	62	123	62	185	0	308	185	0	0	4866
2	Ostrovica	OS	1690	2199	248	0	14	14	14	14	43	0	288	43	0	0	1009
3	Vrata	VR	1202	1187	676	169	0	143	143	54	0	0	0	0	0	0	18
4	Delnice	DE	571	684	132	0	57	0	153	107	0	0	0	8	0	0	115
5	Ravna Gora	RG	662	642	211	0	84	126	0	121	0	12	0	12	0	0	96
6	Vrbovsko	VB	1128	1037	477	48	286	29	114	0	0	35	9	35	0	0	96
7	Bosiljevo-Ogulin	OG	8451	8631	417	52	16	0	5	31	0	0	1586	397	397	397	5155
8	Bosiljevo1	BO	686	512	243	0	0	146	49	49	0	0	10	50	50	10	80
9	Novigrad	NG	2340	2525	497	331	33	50	33	50	662	0	0	69	69	0	548
10	Karlovac	KA	5342	5519	37	7	7	15	7	74	111	74	37	0	497	249	4226
11	Jastrebarsko	JA	2050	2156	24	5	0	5	0	0	5	10	96	337	0	0	1412
12	Zdencina	ZD	813	907	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	813
13	Zagreb-Lucko	ZG	19063	18434	2764	1525	381	95	0	477	7625	381	191	4384	1144	95	0
			50191	50191													

Izvor: Izradila studentica prema: Hrvatske ceste, Brojenje prometa na cestama Republike Hrvatske godine 2018, <https://hrvatske-ceste.hr/hr/stranice/promet-i-sigurnost/dokumenti/14-brojenje-prometa> (2.6.2023.)

Kako bi se ujednačila produkcija i atrakcija po zonama, potrebno je napraviti normalizaciju tj. balansiranje matrice. Balansirana atrakcija dobila se na način da se atrakcija iz prve tablice (*pretpostavljeni udjeli u potražnji*) dijelila sa atrakcijom iz druge tablice (*inicijalna produkcija putovanja*), te se množila s udjelima iz *inicijalne produkcije putovanja*. Balansiranje je važno jer se odnosi na izjednačavanje ukupne produkcije i atrakcije po zonama, to znači da ukupni broj generiranih putovanja kada se zbroji za sve zone mora odgovarati zbroju privučenih putovanja za sve zone.

Tablica 6 Balansiranje Atrakcije 1

3 Balansiranje Atrakcije 1

No	Name	Code			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
			Prod	Atr	RI	OS	VR	DE	RG	VB	OG	BO	NG	KA	JA	ZD	ZG
					5704	2198	1187	630	630	1151	8683	629	2323	5461	2226	829	18540
1	Rijeka-Kikovica	RI	6195	5704	34	62	308	57	121	68	186	0	283	183	0	0	4894
2	Ostrovica	OS	1670	2198	246	0	14	13	14	16	44	0	265	43	0	0	1015
3	Vrata	VR	1188	1187	670	169	0	132	140	59	0	0	0	0	0	0	18
4	Delnice	DE	579	630	131	0	57	0	150	119	0	0	0	8	0	0	115
5	Ravna Gora	RG	667	630	209	0	84	116	0	134	0	15	0	12	0	0	97
6	Vrbovsko	VB	1127	1151	472	48	286	26	112	0	0	43	8	35	0	0	97
7	Bosiljevo-Ogulin	OG	8327	8683	413	52	16	0	5	35	0	0	1459	392	409	362	5184
8	Bosiljevo1	BO	677	629	240	0	0	134	48	54	0	0	9	50	52	9	81
9	Novigrad	NG	2345	2323	492	331	33	46	32	55	666	0	0	68	71	0	551
10	Karlovac	KA	5382	5461	37	7	7	14	7	82	112	91	34	0	513	227	4250
11	Jastrebarsko	JA	2035	2226	24	5	0	4	0	0	5	12	89	333	0	143	1420
12	Zdencina	ZD	818	829	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	818
13	Zagreb-Lucko	ZG	19182	18540	2738	1525	381	88	0	529	7671	468	175	4338	1181	87	0
			50191	50191													

Izvor: Izradila studentica prema: Hrvatske ceste, Brojenje prometa na cestama Republike Hrvatske godine 2018, <https://hrvatske-ceste.hr/hr/stranice/promet-i-sigurnost/dokumenti/14-brojenje-prometa> (2.6.2023.)

Sljedeća tablica se može smatrati konačnom, te se dobila da se produkcija iz prve tablice (*pretpostavljeni udjeli u potražnji*) dijelila s produkcijom treće tablice (*balansiranje atrakcije 1*) te množila s udjelima.

Tablica 7 Balansiranje Produkcije 1

4 Balansiranje Produkcije 1

No	Name	Code	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		
			Prod	Atr	RI	OS	VR	DE	RG	VB	OG	BO	NG	KA	JA	ZD	ZG												
			5704	2191	1184	632	630	1147	8634	625	2347	5443	2222	833	18599														
1	Rijeka-Kikovica	RI	6193	5704	34	62	308	57	121	68	186	0	283	183	0	0	0	0	283	183	0	0	0	0	0	0	0	0	4892
2	Ostrovnica	OS	1690	2191	249	0	15	13	14	16	44	0	268	43	0	0	0	268	43	0	0	0	0	0	0	0	0	1027	
3	Vrata	VR	1202	1184	678	171	0	133	142	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	
4	Delnice	DE	571	632	129	0	56	0	148	117	0	0	0	7	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	114		
5	Ravna Gora	RG	662	630	207	0	84	116	0	133	0	15	0	12	0	0	0	15	12	0	0	0	0	0	0	0	96		
6	Vrbovsko	VB	1128	1147	473	48	286	26	112	0	0	43	8	35	0	0	0	43	8	35	0	0	0	0	0	0	97		
7	Bosiljevo-Ogulin	OG	8451	8634	419	53	16	0	5	35	0	0	1481	398	415	368	5261	1481	398	415	368	5261							
8	Bosiljevo1	BO	686	625	244	0	136	48	55	0	0	9	50	53	9	82		9	50	53	9	82							
9	Novigrad	NG	2340	2347	491	330	33	46	32	55	665	0	68	71	0	550		68	71	0	550								
10	Karlovac	KA	5342	5443	36	7	7	14	7	82	111	90	34	509	225	4219		90	34	509	225	4219							
11	Jastrebarsko	JA	2050	2222	24	5	0	4	0	0	5	12	89	144	1431			12	89	336	0	144	1431						
12	Zdencina	ZD	813	833	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	813			0	0	0	0	0	0	0	0	813			
13	Zagreb-Lucko	ZG	19063	18599	2721	1515	379	87	0	526	7624	466	174	4311	1173	87	0	174	4311	1173	87	0	0	0	0	0	0		
			50191	50191																									

Izvor: Izradila studentica prema: Hrvatske ceste, Brojenje prometa na cestama Republike Hrvatske godine 2018, <https://hrvatske-ceste.hr/hr/stranice/promet-i-sigurnost/dokumenti/14-brojenje-prometa> (2.6.2023.)

Nakon izračuna konačno se dobila matrica za prijevozni modalitet automobile (Car), što prikazuje Tablica 8.

Tablica 8 Prikaz matrice (Car)

13x13	Name	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
		Rijeka-Kikovica	Ostrovnica	Vrata	Delnice	Ravna Gora	Vrbovsko	Bosiljevo-Ogulin	Bosiljevo1	Novigrad	Karlovac	Jastrebarsko	Zdencina	Zagreb-Lucko	
	Sum	5705	2191	1184	632	629	1147	8635	626	2346	5443	2221	833	18600	
1	Rijeka-Kikovica	6194	34	62	308	57	121	68	186	0	283	183	0	0	4892
2	Ostrovnica	1689	249	0	15	13	14	16	44	0	268	43	0	1027	
3	Vrata	1202	678	171	0	133	142	60	0	0	0	0	0	18	
4	Delnice	571	129	0	56	0	148	117	0	0	0	7	0	114	
5	Ravna Gora	663	207	0	84	116	0	133	0	15	0	12	0	96	
6	Vrbovsko	1128	473	48	286	26	112	0	0	43	8	35	0	97	
7	Bosiljevo-Ogulin	8451	419	53	16	0	5	35	0	0	1481	398	415	368	5261
8	Bosiljevo1	686	244	0	136	48	55	0	0	9	50	53	9	82	
9	Novigrad	2341	491	330	33	46	32	55	665	0	68	71	0	550	
10	Karlovac	5341	36	7	7	14	7	82	111	90	34	509	225	4219	
11	Jastrebarsko	2050	24	5	0	4	0	0	5	12	89	336	0	144	1431
12	Zdencina	813	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	813	
13	Zagreb-Lucko	19063	2721	1515	379	87	0	526	7624	466	174	4311	1173	87	0

Izvor: Izradila studentica pomoću softverskog programa PTV Visum

Nakon toga bilo je potrebno izračunati matricu za kamione. Tu se koristila jednostavna metoda na temelju udjela od ukupnog broja vozila, a na temelju informacija o brojanju prometa s brojačkih mjesta.

Tablica 9 Prikaz udjela HGVa

5 Udio HGVa

No	Name	Code	Udio
1	Rijeka-Kikovica	RI	0,100
2	Ostrovnica	OS	0,109
3	Vrata	VR	0,089
4	Delnice	DE	0,089
5	Ravna Gora	RG	0,100
6	Vrbovsko	VB	0,100
7	Bosiljevo-Ogulin	OG	0,037
8	Bosiljevo1	BO	0,065
9	Novigrad	NG	0,066
10	Karlovac	KA	0,067
11	Jastrebarsko	JA	0,064
12	Zdencina	ZD	0,069
13	Zagreb-Lucko	ZG	0,068

Izvor: Izradila studentica prema: Hrvatske ceste, Brojenje prometa na cestama Republike Hrvatske godine 2018, <https://hrvatske-ceste.hr/hr/stranice/promet-i-sigurnost/dokumenti/14-brojenje-prometa> (2.6.2023.)

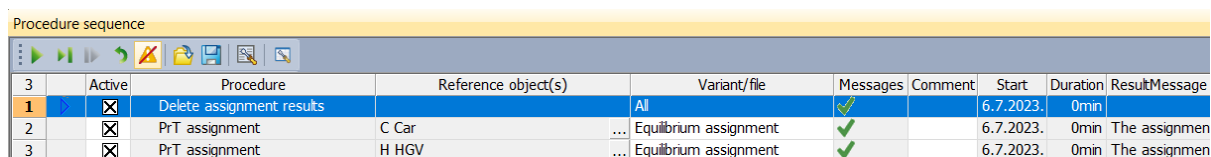
3.5. PROCEDURA ASIGNACIJE PUTOVANJA

Nakon što su kreirane matrice potražnje i prethodno kreirana prometna mreža sa svim potrebnim elementima, objektima i atributima stvoreni su preduvjeti za sljedeći korak, a to je pripisivanje ili asignacija putovanja. Kroz ovaj proces povezuje se prometna ponuda i potražnja tj. putovanja se pridružuju zonama na način da se prijevoznim sredstvima određuje ruta kretanja kroz elemente prometne mreže. Na taj način u stvari se opterećuje mreža i kreira promet kako bi mogli u konačnici izmjeriti prometna stanja i utjecaje.

Kroz kreiranje procesa asignacije, u stvari provodimo simulaciju realnog stanja odvijanja prometa na makrorazini. Rezultati prometnog modela vizualiziraju se na razini dijelova prometne mreže, prometnica, dionica, presjeka i čvorišta/raskrižja, te se grafički prikazuju na karti.

Proces asignacije započinje traženjem svih mogućih ruta ili ograničenog broja ruta od svakog polazišta do svakog odredišta prema podacima iz matrice putovanja. Optimalna ruta odabire se na temelju funkcije generaliziranog troška pri čemu se vrijednost funkcije izračunava za svaku od ruta i odabire ona s minimalnom vrijednosti impedancije.

U PTV Visumu mora se odabrati proračun dodjeljivanja putovanja ovisno o modu prijevoza (PrT assignment), te se bira referentni objekt koji također ovisi o modu prijevoza za koju se izvodi dodjela putovanja na mrežu, a za metodu odabrana je ekvilibrirana metoda. Nakon toga mora se označiti matrica po modovima prijevoza⁶. Nakon prethodnih koraka, trebalo bi se prometno opterećenje vidjeti na računalnom zaslonu.



Procedure sequence									
	Active	Procedure	Reference object(s)	Variant/file	Messages	Comment	Start	Duration	ResultMessage
1	<input checked="" type="checkbox"/>	Delete assignment results		AI	✓		6.7.2023.	0min	
2	<input checked="" type="checkbox"/>	PrT assignment	C Car	...	✓		6.7.2023.	0min	The assignmen
3	<input checked="" type="checkbox"/>	PrT assignment	H HGV	...	✓		6.7.2023.	0min	The assignmen

Slika 9 Prikaz asignacije

Izvor: Izradila studentica pomoću softverskog programa PTV Visum

⁶ <https://repozitorij.fpz.unizg.hr/islandora/object/fpz%3A1701/datastream/PDF/view> (str. 49 i 50) (2.6.2023)

4. ANALIZA REZULTATA PROMETNOG MODELA

U ovom poglavlju analizirat će se dobiveni rezultati, prvenstveno u smislu mogućnosti prometnog modela i njihove interpretacije. Radi boljeg razumijevanja načina na koji se prometna opterećenja raspoređuju na mreži napravljen je dodatan test u vidu dodavanja cestarine u funkciju impedancije kako bi se uočila razlika u rezultatima modela u odnosu na inicijalno stanje.

4.1. FUNKCIJA IMPEDANCIJE

Prometna impedancija iskazuje se kao određena otpornost u smislu realizacije putovanja. Najjednostavnije ju je iskazati kao vrijeme putovanja. Što je vrijeme putovanja veće, impedancija je veća, a privlačnost načina putovanja ili rute kojom se putovanje odvija je manja. Vrijedi naravno i obrnuto. U zadanom primjeru impedancije rute sastoji se od zbroja vremena putovanja na linkovima tj. dionicama ceste. U osnovnoj varijanti funkcija impedancija uključivala je samo vrijeme putovanja u opterećenoj mreži – *tCur-PrTSys*. Osnovna jedinica impedancije u Visumu je sekunda.

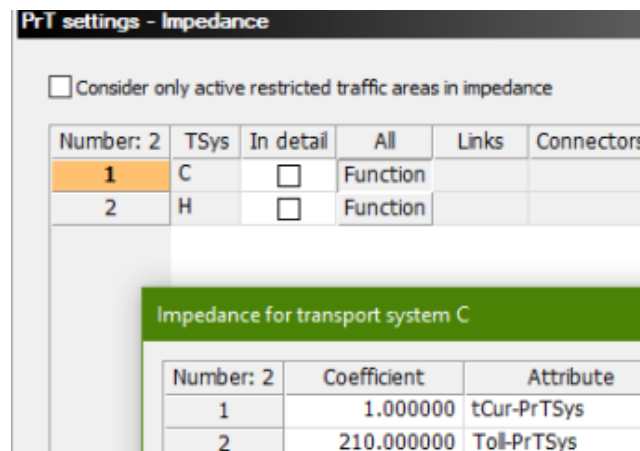
Vrijeme putovanja i trošak putovanja funkcioniraju u svojevrsnoj sprezi između želje za uštedom vremena i spremnosti da se ta mogućnost plati, odnosno ušteda u novcu kompenzira se duljim vremenom putovanja ako nam vrijeme ima u određenim okolnostima manju monetarnu vrijednost. Navedeno je poznato kao tzv. „Value of Time“ (VOT). Monetizacija vremena poznata je metoda koja se koristi u modelima za izračun generaliziranog troška putovanja svedenog na vremensku ili monetarniju jedinicu.

Razvijenije zemlje imaju razrađeni sustav praćenja VOT-a te se objavljuju podaci o vrijednostima za različite skupine korisnike i svrhu putovanja. Za potrebe ovoga rada preuzet je podatak dostupan preko TAG tablica za Veliku Britaniju. Isti izvor koristi se inicijalno za primjere modela u VISUM-u.

Za VOT pretpostavljena je vrijednost od 17,13 €/h⁷. Kako je impedancija izražena u sekundama, ostavljena je standardna opcija prema kojoj je i funkcija generaliziranog troška izražena u vremenskim jedinicama. Zbog toga je uzeta inverzna vrijednost VOT-a i pomnožena s 3600 kako bi se dobio u konačnici vremenski ekvivalent od 210 s za 1€ uštede ili troška.

⁷ Department for Transport, March 2017 Release v1.7 (3.6.2023.)

Dakle, „trošak“ putovanja tj. prometna impedancija u ovom primjeru sastoji se od standardnog vremena putovanja i produljenog vremena putovanja ekvivalentnog trošku cestarine, ukoliko se na linku tj. dionici naplaćuje cestarina.



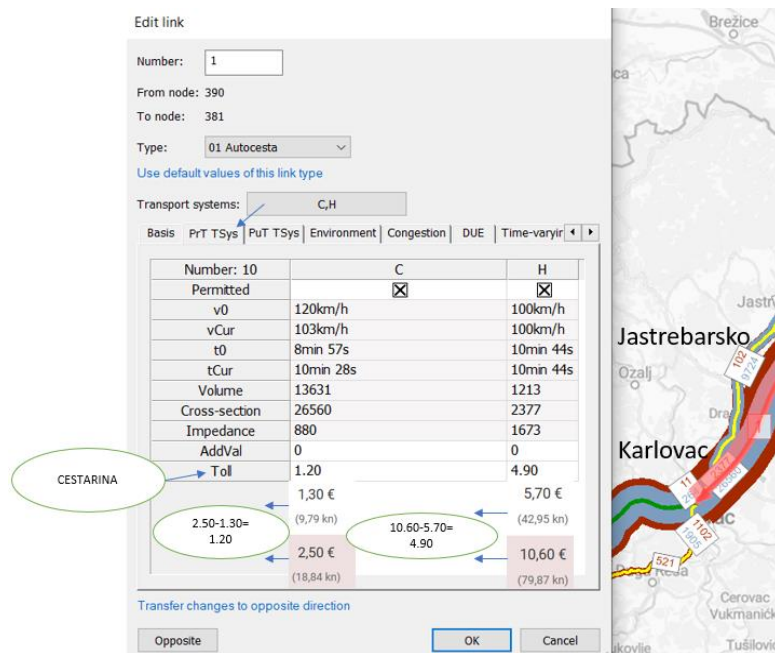
Slika 10 Prikaz impedancije

Izvor: Izradila studentica pomoću softverskog programa PTV Visum

4.2. POSTAVLJANJE VRIJEDNOSTI TROŠKA CESTARINE

Cestarina je naknada koja se plaća za korištenje nekog dijela autoceste. U PTV Visumu naknada cestarine se plaća za vožnju od jednog čvora do drugog u tom dijelu ceste, odnosno određuje se prema udaljenosti prijeđenoj od početka do kraja te dionice ceste. Visina cestarine ovisi o kategoriji vozila, te se plaća na naplatnoj postaji koja se nalazi između čvorova.

Što se tiče ovoga modela, na svakoj dionici autoceste, između čvorova, za određeni prijevozni modalitet, u ovom slučaju radi se o kamionima i automobilima izračunata je određena cestarina koja je ubačena u program.



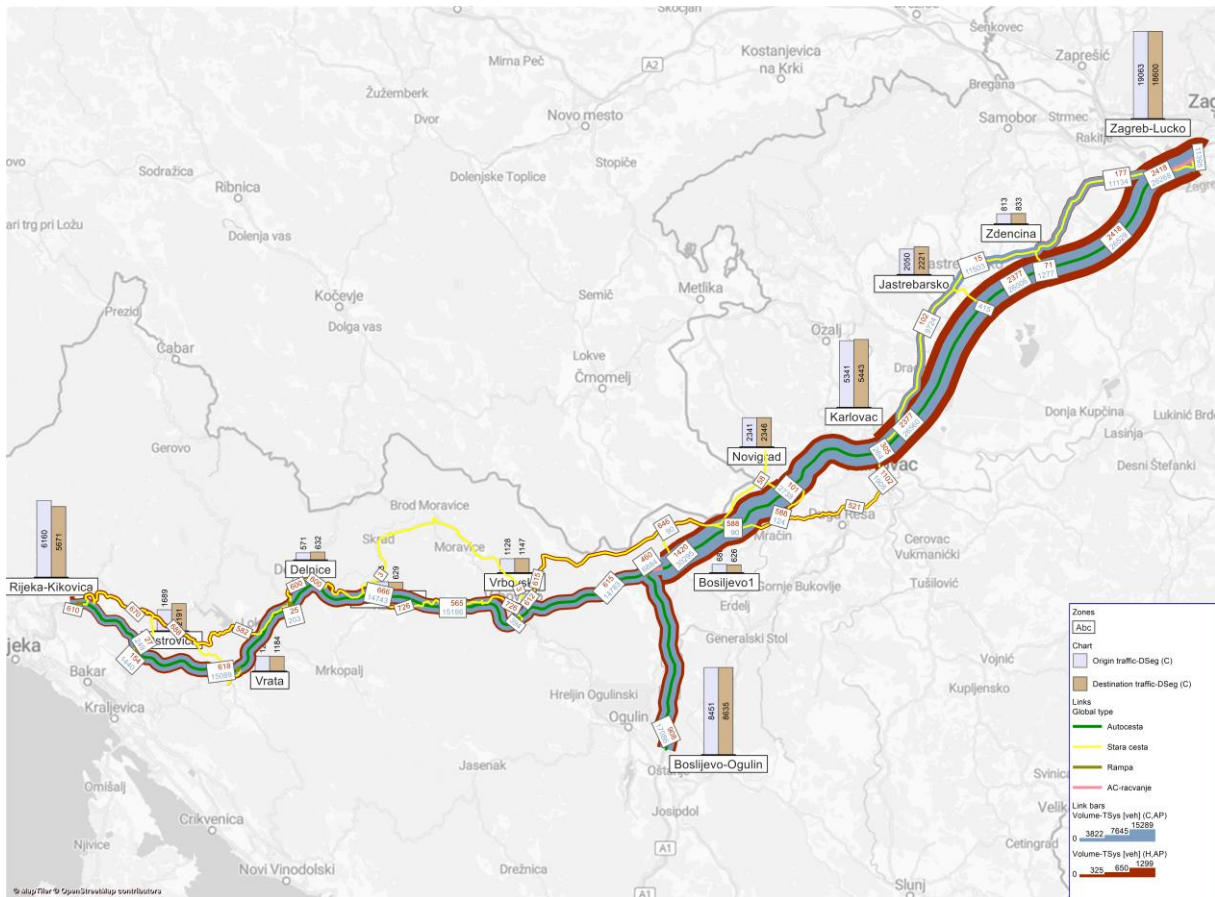
Slika 11 Prikaz izračuna cestarine

Izvor: Izradila studentica prema: cjeniku Hrvatskih autocesta, <https://www.hac.hr/hr/cestarina/cjenik/a1> (3.6.2023.)

4.3. REZULTATI RASPODJELE PROMETA SA I BEZ TROŠKA CESTARINE

Rezultati asignacije upućuju da je dio prometa, posebno onog koji se odnosi na kamione u slučaju uključivanja troška cestarine raspoređen na državnu cestu. Očekivano kod kamiona je utjecaj veći zbog većeg iznosa cestarine. Treba isto tako spomenuti da vrijednost VOT ne uzima u obzir trošak robe tj. zaliha pri čemu bi rezultati vjerojatno bili drukčiji. No, u ovom slučaju primarna svrha je bila razumijevanje funkcionalnosti modela, a ne kreiranje što stvarnijeg modela, obzirom da bi za takvu primjenu bilo potrebno prikupiti druge podatke i provesti dodatnu analitiku u smislu troškovne valorizacije vremena putovanja. Na slici 12 prikazani su rezultati asignacije sa i bez primjene troška cestarine. Prikazani su slučajevi preusmjerenja prometa sa autoceste na državne ceste i to na dionica Zagreb-Karlovac i Delnice-Rijeka.

Pravilno korištenje modela zahtijeva i provedbu validacije modela za što bi bilo potrebno napraviti dodatna snimanja prometa na odabranim lokacijama i za ciljane vremenske intervale. Validacijom se model testira s obzirom na mogućnost točnog predviđanja prometnih stanja s obzirom na ulazne veličine modela i prema potrebi prilagođavaju parametri funkcije kojom se putovanja raspoređuju na prometnu mrežu.



Slika 13 Rezultati asignacije s prikazom dnevnog prometnog opterećenja te produkcije i atrakcije po zonama
 Izvor : Izradila studentica pomoću softverskog programa PTV Visum

List (PrT paths)											
Select list layout...											
Demand segment: DSeg C Selection: Filter for OD pairs Origin zone filter: All											
Number	OrigZoneName	DestZoneName	Vol(AP)	t0	v0	tCur	vCur	Impedance(A)	Length		
1	Rijeka-Kikovica	Ostrovica	62	7min 25s	94km/h	7min 36s	92km/h	688	11.588km		
2	Rijeka-Kikovica	Vrata	308	16min 21s	93km/h	16min 56s	90km/h	1415	25.478km		
3	Rijeka-Kikovica	Delnice	57	22min 4s	96km/h	22min 48s	93km/h	1894	35.330km		
4	Rijeka-Kikovica	Ravna Gora	121	24min 49s	107km/h	25min 50s	102km/h	2201	44.054km		
5	Rijeka-Kikovica	Vrbovsko	68	32min 52s	110km/h	34min 16s	105km/h	2918	60.148km		
6	Rijeka-Kikovica	Bosiljevo-Ogulin	186	49min 40s	112km/h	51min 45s	107km/h	4219	92.559km		
7	Rijeka-Kikovica	Novigrad	283	46min 29s	114km/h	49min 28s	107km/h	4250	88.185km		
8	Rijeka-Kikovica	Karlovac	183	55min 8s	111km/h	1h 2min 6s	99km/h	5135	102.261km		
9	Rijeka-Kikovica	Zagreb-Lucko	4892	1h 23min 22s	108km/h	1h 31min 2s	98km/h	7394	149.433km		
10	Ostrovica	Rijeka-Kikovica	249	7min 13s	92km/h	7min 21s	91km/h	673	11.111km		
11	Ostrovica	Vrata	15	12min 3s	81km/h	12min 32s	78km/h	920	16.339km		
12	Ostrovica	Delnice	13	17min 46s	88km/h	18min 24s	85km/h	1399	26.192km		
13	Ostrovica	Ravna Gora	14	20min 31s	102km/h	21min 26s	98km/h	1706	34.915km		
14	Ostrovica	Vrbovsko	16	28min 34s	107km/h	29min 52s	102km/h	2423	51.010km		
15	Ostrovica	Bosiljevo-Ogulin	44	45min 22s	110km/h	47min 21s	106km/h	3724	83.420km		
16	Ostrovica	Novigrad	268	42min 10s	112km/h	45min 4s	105km/h	3755	79.046km		
17	Ostrovica	Karlovac	43	50min 50s	110km/h	57min 42s	97km/h	4640	93.122km		
18	Ostrovica	Zagreb-Lucko	1027	1h 19min 3s	106km/h	1h 26min 38s	97km/h	6899	140.294km		
19	Vrata	Rijeka-Kikovica	678	16min 46s	93km/h	21min 35s	72km/h	1693	25.907km		
20	Vrata	Ostrovica	171	12min 14s	81km/h	16min 58s	59km/h	1186	16.571km		
21	Vrata	Delnice	133	15min 38s	69km/h	20min 22s	53km/h	1348	18.084km		
22	Vrata	Ravna Gora	142	18min 23s	88km/h	23min 24s	69km/h	1655	26.808km		
23	Vrata	Vrbovsko	60	26min 26s	97km/h	31min 50s	81km/h	2372	42.902km		
24	Vrata	Zagreb-Lucko	18	1h 16min 55s	103km/h	1h 28min 36s	90km/h	6848	132.186km		
25	Delnice	Rijeka-Kikovica	129	21min 32s	97km/h	22min 17s	94km/h	1863	34.775km		
26	Delnice	Vrata	56	15min 27s	69km/h	17min 53s	59km/h	1198	17.737km		
27	Delnice	Ravna Gora	148	9min 19s	50km/h	9min 19s	50km/h	559	7.764km		
28	Delnice	Vrbovsko	117	22min 17s	75km/h	23min 40s	70km/h	1630	27.791km		
29	Delnice	Karlovac	7	44min 33s	94km/h	51min 30s	81km/h	3847	69.904km		
30	Delnice	Zagreb-Lucko	114	1h 12min 46s	97km/h	1h 20min 26s	87km/h	6106	117.075km		
31	Ravna Gora	Rijeka-Kikovica	207	25min 3s	106km/h	26min 45s	99km/h	2256	44.161km		
32	Ravna Gora	Vrata	84	18min 58s	86km/h	22min 21s	73km/h	1591	27.123km		
33	Ravna Gora	Delnice	116	9min 19s	50km/h	9min 19s	50km/h	559	7.764km		
34	Ravna Gora	Vrbovsko	133	15min 8s	87km/h	16min 30s	79km/h	1201	21.838km		
35	Ravna Gora	Bosiljevo 1	15	21min 27s	102km/h	23min 12s	94km/h	1855	36.391km		
36	Ravna Gora	Karlovac	12	37min 24s	103km/h	44min 21s	87km/h	3418	63.951km		
37	Ravna Gora	Zagreb-Lucko	96	1h 5min 37s	102km/h	1h 13min 17s	91km/h	5677	111.123km		
38	Vrbovsko	Rijeka-Kikovica	473	33min 9s	109km/h	38min 4s	95km/h	3146	60.337km		
39	Vrbovsko	Ostrovica	48	28min 37s	107km/h	33min 27s	91km/h	2639	51.000km		
40	Vrbovsko	Vrata	286	27min 3s	96km/h	33min 40s	77km/h	2481	43.299km		
41	Vrbovsko	Delnice	26	23min 4s	74km/h	27min 24s	62km/h	1855	28.402km		
42	Vrbovsko	Ravna Gora	112	15min 55s	85km/h	20min 15s	66km/h	1426	22.449km		
43	Vrbovsko	Bosiljevo 1	43	14min 22s	93km/h	18min 36s	72km/h	1368	22.271km		
44	Vrbovsko	Novigrad	8	21min 39s	99km/h	27min 7s	79km/h	2046	35.755km		
45	Vrbovsko	Karlovac	35	30min 19s	99km/h	39min 45s	75km/h	2931	49.831km		
46	Vrbovsko	Zagreb-Lucko	97	58min 32s	99km/h	1h 8min 41s	85km/h	5190	97.002km		

Slika 14 Prikaz rezultata parametara putovanja po OD parovima
 Izvor: Izradila studentica pomoću softverskog programa PTV Visum

5. ZAKLJUČAK

U ovom završnom radu prikazana je metodologija izrade prometnog modela s raspodjelom prometnih tokova na relaciji Rijeka-Zagreb. Platforma koja je pružila izrađivanje samog prometnog modela je PTV Visum. Glavna odrednica kojom se vodilo tijekom izrade je pružanje odraza prometnog modela na mjestu i vremenu, u što realnijem prikazu. Metodologija izrade prometnog modela uključivala je nekoliko koraka: od prikupljanja podataka, stvaranja modela, kalibracije, kreiranje objekata, postavljanje atributa te izvršavanje procedura simulacije. Pomoću programa su se definirali različiti segmenti, faktori i parametri što su se dobili zaključno od izrade prometnog modela.

Od opsežne primjene PTV Visuma, u radu je prikazan samo maleni spektar kapaciteta rada programa. Precizirale su se prometna ponuda i prometna potražnja u prometnom modelu. Model potražnje sadrži željene usluge za kojima ljudi potražuju i koje su dostupne uz priloženu cijenu, dok model ponude predstavlja prometne objekte, građevine, prijevozna vozila i sredstva koje se prilažu kao usluga, također uz priloženu cijenu. Ta dva pojma usko su povezana, te su doprinijela izračunavanju rezultata putem matrica. Pružena je dodjela putovanja koja je izražena dnevnim prometnim opterećenjem u jednogodišnjem razdoblju, te je oslikana na cestovnim pravicima koji povezuju Rijeku i Zagreb. Elementi u prometnoj mreži u kojoj se izradio prometni model, relacija Rijeka-Zagreb su u međusobnoj interakciji, te pružaju vidljive rezultate.

Što se tiče primjene prometnog modela, bitno je znati zadatak tj. problem koji se želi riješiti. Odnosno moraju se imati u glavi jasno precizirana pitanja i dileme koje se žele riješiti modelom. Uz to mora biti prisutna doza preciznosti.

Prometni inženjeri, raznim alatima doprinose u unaprjeđenju prometnog sustava i osiguranju sigurnog, ekonomičkog i učinkovitog transporta ljudi i tereta. Njihov doprinos je ključan, te je bitno da budu dobro obučeni i informirani o novim tehnologijama, metodama i propisima kako bi se osiguralo kontinuirano poboljšanje prometnog sustava i sigurnost prometa.

LITERATURA

Knjige

1. Modelling Transport, Fourth Edition. Juan de Dios Ortúzar and Luis G. Willumsen, 2011
2. PTV Visum 2023 - New features at a glance © PTV Planung Transport Verkehr GmbH

Internet stranice

1. Izvorni znanstveni članak, Modeliranje prometnog toka na prometnoj mreži u gradovima, Rajko Horvat: <https://hrcak.srce.hr/138111>
2. https://company.ptvgroup.com/fileadmin/Resources/campaign-assets/Mobility_Release/2023/Visum/Overview_Visum2023.pdf
3. Public transport network optimisation in PTV Visum using selection hyper-heuristics, 2020.
4. Modelling of Bicycle Traffic in the Cities Using VISUM, Marianna Jacyna*, Mariusz Wasiaak, Michał Kłodawski, Piotr Gołębiowski
5. Example for application of the PTV VISION VISUM software tool for the calculation of noise and emissions from motor traffic Marija Stojanoskaa*, Vaska Atanasovaa
6. <https://repozitorij.fpz.unizg.hr/islandora/object/fpz%3A1701/datastream/PDF/view>
7. <https://zir.nsk.hr/islandora/object/fpz:2416/datastream/PDF/view>
8. <https://www.prometna-zona.com/brojanje-ili-snimanje-prometa/>
9. <https://www.google.hr/maps/@45.840196,15.9643316,11z?hl=hr&entry=tu>
10. Hrvatske ceste, Brojenje prometa na cestama Republike Hrvatske godine 2018, <https://hrvatske-ceste.hr/hr/stranice/promet-i-sigurnost/dokumenti/14-brojenje-prometa>
11. Cjenik Hrvatskih autocesta, <https://www.hac.hr/hr/cestarina/cjenik/a1>
12. Department for Transport, March 2017 Release v1.7

POPIS TABLICA

Tablica 1 Prikaz brojačkih mjesta s oznakom, imenom, te PGDP-om

Tablica 2 Prikaz kategorija prometnica s određenim atributima

Tablica 3 Prikaz ulaza i izlaza na relaciji Rijeka-Zagreb

Tablica 4 Pretpostavljeni udjeli u potražnji

Tablica 5 Inicijalna produkcija putovanja

Tablica 6 Balansiranje Atrakcije 1

Tablica 7 Balansiranje Produkcije 1

Tablica 8 Prikaz matrice (Car)

Tablica 9 Prikaz udjela HGVa

POPIS SLIKA

Slika 1 Prikaz trase Rijeka-Zagreb

Slika 2 Brojačka mjesta brojenja prometa

Slika 3 Prikaz zona i centroida

Slika 4 Prikaz raspoređivanja konektora

Slika 5 Prikaz čvorova

Slika 6 Prikaz linkova

Slika 7 Prikaz grešaka

Slika 8 Model mreže s prikazom pravila

Slika 9 Prikaz asignacije

Slika 10 Prikaz impedancije

Slika 11 Prikaz izračuna cestarine

Slika 12 Rezultati asignacija bez i sa uključenim troškom cestarine u funkciju generaliziranog troška

Slika 13 Rezultati asignacije s prikazom dnevnog prometnog opterećenja te produkcije i atrakcije po zonama

Slika 14 Prikaz rezultata parametara putovanja po OD parovima