

»54. Srečanja mladih raziskovalcev slovenije 2020«

Analiza vplivov infrastrukturnih posegov na pretočnost prometa s simulacijo prometnih tokov mesta Maribor

Raziskovalna naloga

Arhitektura, gradbeništvo ali promet

II. gimnazija Maribor

Avtor: Miha Kramberger

Mentorici: Simona Šinko in Katja Holnthaner Zorec

Maribor, 2020

»54. Srečanja mladih raziskovalcev slovenije 2020«

Analiza vplivov infrastrukturnih posegov na pretočnost prometa s simulacijo prometnih tokov mesta Maribor

Raziskovalna naloga

Arhitektura, gradbeništvo ali promet

II. gimnazija Maribor

Avtor: Miha Kramberger

Mentorici: Simona Šinko in Katja Holnthaner Zorec

Maribor, 2020

KAZALO VSEBINE

1	UVOD.....	- 9 -
1.1	Oris glavne metode dela.....	- 11 -
1.2	Namen in cilji naloge.....	- 12 -
1.3	Hipoteze.....	- 13 -
1.4	Omejitev raziskave.....	- 13 -
2	PREGLED LITERATURE.....	- 14 -
2.1	Transportni sistem	- 14 -
2.2	Inteligentni transportni sistem	- 14 -
2.3	Manjšanje zasedenosti cestnega omrežja	- 16 -
2.4	Uvajanje območij nižjih emisij	- 18 -
2.5	Prometni zastoji.....	- 21 -
2.6	Kazalci zastojev.....	- 24 -
2.7	Simulacija prometnih situacij	- 25 -
2.8	SUMO simulacijsko okolje	- 27 -
3	Osrednji del.....	- 31 -
3.1	Definiranje posegov v prometnem sistemu mesta Maribor	- 31 -
3.1.1	Uvod.....	- 31 -
3.1.2	Zapora cest.....	- 32 -
3.1.3	Način zapore.....	- 33 -
3.2	SIMULACIJA PROMETA.....	- 35 -
3.2.1	Proučevano geografsko območje.....	- 35 -
3.2.2	Simulacija prometa preučevanega geografskega območja	- 37 -
3.2.3	Zapora Koroške ceste	- 39 -
3.2.4	Zapora Lenta.....	- 41 -
3.2.5	Alternativni in dopolnilni ukrep	- 42 -
3.2.6	Analiza dolžin kolon	- 48 -
4	ZAKLJUČEK	- 50 -
5	DRUŽBENA ODGOVORNOST	- 52 -
5.1	Uvod	- 52 -
5.2	Spoštovanje človekovih pravic, mednarodnih norm in vladavine prava	- 52 -
6	VIRI.....	- 55 -

KAZALO SLIK

Slika 1: Upravljanje oskrbe z mestnim prometom. Vir: (kapsch , 2020).....	- 16 -
Slika 2: Upravljanje povpraševanja po mestnem prometu. (kapsch , 2020).....	- 16 -
Slika 3: Priprava scenarija v OSMWebWizardosmWebWizard. Vir: Avtor naloge	- 28 -
Slika 4: Primer kode simulacije. Vir: Avtor naloge.	- 30 -
Slika 5: Število osebnih vozil, ki so vstopila/izstopila v ožje mestno središče med 7:15 in 8:45 (torek, 14. december 2010). Vir: (BALANT, in drugi, 2015)	- 35 -
Slika 6: Preučevano geografsko območje v osmWebWizard. Vir: Avtor naloge.	- 37 -
Slika 7: Preučevano geografsko območje v NETEDIT. Vir: Avtor naloge	- 38 -
Slika 8: Zaprta Koroška cesta v NETEDIT. Vir: Avtor naloge.....	- 40 -
Slika 9: Zaprta Koroška cesta in Lent v NETEDIT. Vir: Avtor naloge.....	- 42 -
Slika 10: Načrtovalske prioritete; po izgradnji odsekov. Vir: (BALANT, in drugi, 2015)....	- 43 -
Slika 11: Google traffic. Vir: Google maps.	- 44 -
Slika 12: Nova cesta. Vir: Avtor nalog	- 45 -
Slika 13: Nova cesta v NETEDIT. Vir: Avtor naloge.....	- 46 -
Slika 14: Izgled Glavnega trga po prenovi. Vir: https://static.vecer.com/images/slike/2020/04/08/7821870.jpg	- 54 -

KAZALO TABEL

Tabela 1: Povprečen čas v sistemu - obstoječe stanje.....	- 39 -
Tabela 2: Povprečen čas v sistemu - zaprta Koroška cesta.....	- 39 -
Tabela 3: Povprečen čas v sistemu - zaprta Koroška cesta in Lent.....	- 41 -
Tabela 4: Povprečen čas v sistemu - nova cesta.....	- 46 -
Tabela 5: Dolžine kolon.....	- 48 -

KAZALO GRAFOV

Graf 1: Dolžina potovanj avtomobilov glede na situacijo.....	- 47 -
Graf 2: Povprečna dolžina kolon.	- 49 -

POVZETEK

Izboljšava prometne situacije naj bi v osnovi temeljila na restrikciji prometa v mestnem jedru, kar bi ljudi privedlo do uporabe alternativnih virov mobilnosti. V nalogi smo simulirali prometne tokove mesta Maribor in analizirali vplive izbranih posegov v infrastrukturo mestnega cestnega omrežja. Analiza prometnih tokov je temeljila na podlagi realnih podatkov, obdelanih s simulacijskim orodjem SUMO, s katerim lahko uspešno simuliramo prometno situacijo na izbranem območju in ustvarimo delujoč model cestnega omrežja. S simulacijo prometnih tokov smo analizirali predvsem vprašanje zaprtja Koroške ceste in nekaterih ostalih podobnih območij. Preučili smo vpliv zaprtja nekaterih delov cestnega omrežja na pretočnost prometa in s tem poskušali reorganizirati prometni sistem, ki bi temeljil na načelu t. i. Pametnih mest – omejitev prometa. Negativne posledice omejitve prometa smo poskušali odpraviti z inovativnimi infrastrukturnimi predlogi.

1 UVOD

Koncept pametnega mesta je bilo prvič mogoče zaslediti na zasedanjih gibanj "Smart Growth Movement" v poznih devetdesetih letih prejšnjega stoletja. Koncept pametnih mest v modernih časih spodbuja predvsem gospodarski sektor. Je ključna beseda, ki pritegne ogromno zanimanje podjetij. V koncept pametnih mest so se vključila predvsem velika podjetja na področju IKT (inovativna komunikacijska tehnologija), kot so: Siemens, Cisco, IBM itd. Podjetja skušajo "zapakirati" že obstoječe inovacije v paket pametnega mesta, da bi uvedla neke vrste veleprodajni koncept in ga usmerila v javni sektor mestnih uprav. Večina takšnih ali drugačnih IKT že obstaja. Novost je medsebojna povezanost in sinhronost sistemov IKT, ki so medsebojno povezani v celosten sistem t. i. pametnih mest (Wangel & Höjer, Smart Sustainable Cities Definition and Challenges, 2014).

Inteligenčni transportni sistem (ITS) je pomemben sestavni del pametnih mest. V modernem svetu predstavljajo prometni zastoji naraščajočo težavo, ki je zaradi pomanjkanja zemlje in kapitala ni več mogoče reševati na tradicionalne načine. ITS so nujno potrebne za izboljšanje kapacitete prometnih sistemov. Na Kitajskem se je povprečna hitrost vožnje znižala na 20 km/h, v določenih območjih celo na 8 km/h. Takšne izredno majhne hitrosti premikanja in povečan obseg prometa povečujeta emisije prometa in slabšata kakovost okoliškega zraka. Povečan promet v povezavi z neprilagojenim cestnim prometnim sistemom povečuje nastanek cestnih zastojev. Cestni zastoji imajo veliko različnih vplivov na zamude, prometne nesreče, obseg emisij in stopnjo stresa voznikov (Zhang, Sheng, Rong, & Cooper, 2012).

Promet nima le velikega neposrednega vpliva (onesnaževanje, akutna prometna nevarnost), temveč tudi mnogo posrednih vplivov na počutje ljudi (nivo stresa, zadovoljstva, zamujanje itd.) in privlačnost oziroma podobo mesta. Načrtovanje prometa mora v sodobnem času ustrezati novim smernicam, ki nam bodo omogočile lažje doseči cilj modernih in pametnih mest. V želji po zmanjšanju pritiska na zastarel prometni sistem in optimalnem izkoriščanju obstoječih sredstev poskušajo vlade preusmeriti svoja prizadevanja v raziskave in izgradnjo inovativnih rešitev. S pomočjo boljše transportne infrastrukture in napredne inovativne transportne tehnologije lahko utrdimo povezavo med vozili, cestnim omrežjem in uporabniki

mobiliti, kar bi izboljšalo upravljanje prometnih sistemov in posledično izboljšalo učinkovitost, priročnost in varnost.

Strokovnjaki napovedujejo, da bo do leta 2050 kar 67 %, v razvitejših celo 86 %, globalnega prebivalstva živel v mestih (Wangel & Höjer, *Smart Sustainable Cities: Definition and Challenge*, 2014). Kljub temu da je bila večina študij opravljenih na večjih in bolj razvitih mestih, lahko trdimo, da imajo slovenska mesta podobne probleme. Maribor, naše drugo največje mesto ima 105 730 prebivalcev in je ekonomsko in politično središče severovzhodne Slovenije (Slovenije, 2019). Mesto leži na stičišču prometnih poti od srednje do jugovzhodne Evrope in od zahodne Evrope do Panonske nižine. Zaradi pomembne gospodarske lege ponuja Maribor mnogo možnosti zaposlitve. Večino prometa tako predstavljajo dnevne ekonomske migracije. (Zhang, Sheng, Rong, & Cooper, 2012).

Maribor se že spopada s problemom povečanega onesnaževanja zaradi povečanja prometa. V letu 2012 je bila predstavljena eko-cona. Okolica mestnega jedra je bila zaprta za vozila z motorji EURO 0 in EURO 1 emisijskih standardov. Eko-cona se je obdržala samo eno leto, predvsem zaradi slabega javnega potniškega sistema, katerih avtobusi niso ustrezali predpisom cone (BALANT, in drugi, 2015). Maribor se je od takrat občutno spremenil, med drugim so posodobili avtobusni vozni park. Kljub temu se še vedno spopada z delno preobremenjenim cestnim omrežjem in povečanim onesnaževanjem. Neuspešna praksa je odgovorne odvrnila od nadaljnjega razvoja inovativnega prometnega sistema.

Avtorji raziskave trdimo, da je omejevanje prometa, predvsem v mestnem središču, eno od korektnih prometnih odločitev. Naša raziskovalna naloga temelji na analizi vplivov infrastrukturnih posegov na pretočnost prometa, ki so v osnovi nedefinirani, saj želimo pripraviti raziskavo, ki bi bila podlaga različnim prometnim študijam, predvsem povezanih z omejevanjem prometa. Kljub temu smo si v nalogi zadali nekaj konkretnih problemov, ki so po našem mnenju najbolj pereči in bi morebiti prinesli najpomembnejše spremembe. V zadnjem času je aktualno vprašanje prav zaprtje oziroma restrikcija prometa na območju Koroške ceste. V želji po analizi slednjega primera smo večino prometnih sprememb povezali prav z omejitvijo in preureditvijo prometa v starem mestnem središču. Pomembno je

poudariti, da je z dnem, petek 31. Januar 2020 začela veljati zapora Koroške ceste (zaradi prenove Starega trga). Raziskovalna naloga je napovedala popolnoma takšno situacijo, kot smo ji bila priča na dan zapore. Vpliv zaprtja Koroške ceste se ujema z rezultati predstavljenimi v nalogi, kar samo potrjuje naše ugotovitve.

1.1 Oris glavne metode dela

Ena izmed ustreznih metod za modeliranje prometnih situacij je računalniška simulacija. Računalniške simulacije prometa imajo lahko velik prispevek k študijam o prometu in obnašanju prometnih situacij. Poznamo številna računalniška okolja, ki omogočajo računalniško modeliranje prometa. To so: VISSIM, AVENUE, MITSIMLab, SUMO, DRACULA, Dynameq, DynaMIT, METANET itd. (Krajzewicz, Traffic Simulation with SUMO – Simulation of Urban Mobility. In J. Barceló (Ed.), Fundamentals of Traffic Simulation (pp. 269–294). , 2010).

Prometna simulacije je sposobna posnemati časovno spreminjanje prometnih fenomenov. Glede na podano dejstvo simulacije zajemajo kompleksnost prometnih sistemov. Za potrebe naše raziskave smo uporabili SUMO simulacijsko okolje. SUMO pomeni Simulacija urbane mobilnosti ("Simulation of Urban Mobility") in je simulacijsko orodje za mikroskopske simulacije, zato je kot nalašč za simuliranje posameznih mest (Krajzewicz, Traffic Simulation with SUMO – Simulation of Urban Mobility. In J. Barceló (Ed.), Fundamentals of Traffic Simulation (pp. 269–294). , 2010).

Naša naloga temelji na primerjanju časov potovanja avtomobilov v različnih prometnih situacijah, ki smo jih modelirali in simulirali v programskem okolju SUMO. Rezultati naloge bodo časovne vrednosti (prav tako dolžine kolon), ki nam bodo podale oceno o smiselnosti določenega posega v cestno omrežje mesta Maribor.

1.2 Namen in cilji naloge

V nalogi smo si zadali več med seboj povezanih ciljev:

- Izdelati model računalniške simulacije, ki bo smiselno opisal trenutno prometno situacijo.
- Prilagoditi izdelan model morebitnim spremembam cestnega omrežja.
- Izvesti simulacijo vseh opisanih in predstavljenih prometnih situacij.
- Na podlagi analize časov potovanj presoditi ali so posegi v cestno omrežje smiselni.
- Na podlagi nekaterih drugih kazalnikov prometne prezasedenosti podkrepiti ugotovitve analize časov potovanj.

Osrednji namen naloge je prikazati pomembnost predstavljenega postopka prometne simulacije. Poudariti želimo sposobnost preverjanja vplivov posegov v cestnem omrežju z uporabo metode, ki nam omogoča simuliranje danih situacij v nadzorovanem okolju. Takšen način preverjanja vplivov rešitev prometne politike je po našem mnenju najprimernejši. Preizkusiti želimo, kako bi določeni posegi vplivali na življenje prebivalcev in ali bi od njih imeli določene koristi. Posegi v cestnem sistemu bodo v nadaljevanju natančno opredeljeni, vendar se namen naloge ne nanaša zgolj na pridobivanje konkretnih rezultatov. Namen naloge ni le preveriti vplivov konkretnega predloga, temveč tudi izoblikovati primer postopka analize katerega koli drugega predloga z uporabo računalniške simulacije. Poleg tega želimo ustvariti standard nadaljnjih raziskav, ki bi se osredotočale na izboljšanje prometnega stanja mest.

1.3 Hipoteze

V raziskovalni nalogi smo si zastavili naslednje hipoteze.

- Z uporabo simulacijskega orodja SUMO lahko uspešno simuliramo prometno situacijo na izbranem območju in ustvarimo delujoč model cestnega omrežja.
- Čas potovanja, kot kazalec prometnih zastojev, nam omogoča smiselno primerjavo prometnih situacij.
- Zaprtje Koroške ceste bo prineslo občutno poslabšanje pretočnosti prometa v mestu.
- Zaprtje Koroške ceste in Lenta hkrati bo popolnoma preobremenilo prometno mrežo mesta.
- Z Izgradnjo nove in inovativne cestne povezave občutno razbremenimo prometni sistem mesta.

1.4 Omejitve raziskave

Vhodne podatke za izvedbo simulacije smo razbrali iz Celostne prometne strategije mesta Maribor (BALANT, in drugi, 2015). Ker so bili podatki izmerjeni na nekoliko manjšem območju mesta, kot ga simuliramo v naši nalogi se izračunana povprečna gostota, izračunana iz podatkov za manjše območje lahko razlikuje od dejanske. To pa lahko vpliva na število vozil v sistemu. Vendar pa ta omejitev ne vpliva pomembno na rezultate saj nas zanima relativni prirastek posamezni faktorjev, ki jih spremljamo (kazalci prometnih zastojev uporabljeni v nalogi).

2 PREGLED LITERATURE

2.1 Transportni sistem

Visokokakovosten in efektiven transportni sistem je nepogrešljiv za urbano ekonomijo in splošno počutje prebivalstva. Mesta, katerih transportni sistemi so nezanesljivi in polni zastojev, izgubljajo pomembnejše prvine uspešnega delovanja – poslovne dejavnosti in z njimi povezane ljudi – v primerjavi z mesti, ki uspešno rešujejo transportne probleme. Prometni zastoji, prometne nesreče in onesnaževanje se v Evropskih mestih povečujejo, ob tem pa povpraševanje po osebni mobilnosti ne kaže znakov upadanja. Cena prometnih zastojev je ocenjena na približno 2 % GDP (“Gross domestic product”) članic EU, oziroma približno 120 milijard ECU (“European Currency Unit”) celotne Evropske unije (v nadaljevanju: EU). Si lahko gospodarstvo, v današnjem trgovsko-tekmovalnem svetu lahko privošči vse večje stroške prometnih zastojev (Hedin & Kompfner, 1999)?

Gradnja vedno novih cest kot edini ukrep se ne upošteva več kot uspešna in sprejemljiva nadgradnja. Običajni načini reševanja prometnih težav se mnogokrat izkažejo kot nepopolni. Tudi javni promet se ne more kosati s povečanim povpraševanjem po osebni mobilnosti. Opozoriti je treba na primere, kjer si avtobusi in tramvaji delijo cestišče in kjer cestni zastoji občutno zmanjšajo kakovost ponujenih storitev. Poslanstvo EU in slehernega posameznika, ki v njej živi, je zagotoviti trajnostno mobilnost, pri tem pa moramo biti pozorni, da se povečana želja po mobilnosti, ne bo kazala v večji obremenjenosti okolja. Zagotavljanje mejnih vrednosti ogljikovih izpustov, kakovosti zraka in porabe energetskega virov postaja vedno težje, zato so za doseganje občutnih sprememb potrebni novi pristopi (Hedin & Kompfner, 1999).

2.2 Inteligentni transportni sistem

Moderni razvoj transporta, računalniške in komunikacijske opreme rojeva vrsto novih orodij imenovanih Inteligentni Transportni Sistemi (“Intelligent Transport Systems”), ki lahko ponudijo odgovore na mnoga vprašanja povezana s težavami v prometu (Hedin & Kompfner, 1999). Znani so mnogi primeri, kjer je ITS pomagal izboljšati kakovost življenja prebivalcev

evropskih mest. Glavne smernice izboljšave in optimizacije spopadanja s povečanim številom cestnega prometa lahko podamo na primeru držav, ki so jih že dosegle (Hedin & Kompfner, 1999):

- Prihranitev časa za uporabnike javnega prevoza z integrirano platformo več neodvisnih, vendar povezanih storitev ITS (Torino, Italija; Southampton, Velika Britanija);
- učinkovitejši in varnejši javni prevoz (Pariz, Francija);
- izboljšava prilagodljivosti javnega prevoza (Flandrija, Belgija; Firence, Italija);
- zmanjševanje onesnaževanja (Atene, Grčija; Bristol, Velika Britanija);
- znižanje nevarnosti nesreč zaradi prehitre vožnje (Umeå, Švedska);
- zaščita mestnih mestnih središč (Barcelona, Španija; Rim in Bologna, Italija);
- obveščanje potnikov in podpiranje njihovih potovalnih odločitev (West Midlands, Združeno kraljestvo; Stuttgart, Frankfurt, München, Nemčija);
- pametnejši plačilni sistem, s čimer se znižajo stroški in poveča dostopnost javnega prevoza (Vaasa, Finska; Pariz, Francija);
- povečanje prihodkov za mesto in nadzor nad povpraševanjem v prometu (Oslo, Norveška).

2.3 Manjšanje zasedenosti cestnega omrežja

Upravljanje oskrbe z mestnim prometom						
Povečanje deleža čistih vozil	Zmanjšanje porabe energije in prometnih izpustov	Zmanjšanje lokalnih emisij in izboljšava kakovost življenja	Zmanjšanje parkirnega pritiska	Zmanjšanje zastojev	Povečanje učinkovitosti javnega prometa	Povečanje privlačnosti javnega prometa
"car sharing" in "car pooling"	Upravljanje mobilnosti	Restrikcija vstopa	Kolesarjenje	Prometne informacije in upravljanje	Kombiniranje modalitet prevoza	Logistične storitve in dostava
Restrikcija vstopa	Kolesarjenje	Logistične storitve in dostava	car sharing" in "car pooling"	Upravljanje mobilnosti	Upravljanje mobilnosti	Prometne informacije in upravljanje
Čista vozila in goriva	"car sharing" in "car pooling"	Upravljanje parkiranja	Upravljanje mobilnosti	Restrikcija vstopa	Kolesarjenje	Kombiniranje modalitet prevoza
Upravljanje parkiranja	Čista vozila in goriva		Upravljanje parkiranja	Promocija javnega prometa	"car sharing" in "car pooling"	Upravljanje mobilnosti
	Promocija javnega prometa			Logistične storitve in dostava	Promocija javnega prometa	Restrikcija vstopa
	Politika cen			Upravljanje parkiranja		Promocija javnega prometa
				Politika cen		Politika cen

Slika 1: Upravljanje oskrbe z mestnim prometom. Vir: (kapsch, 2020).

Upravljanje povpraševanja po mestnem prometu						
Povečanje deleža čistih vozil	Zmanjšanje porabe energije in prometnih izpustov	Zmanjšanje lokalnih emisij in izboljšava kakovost življenja	Zmanjšanje parkirnega pritiska	Zmanjšanje zastojev	Povečanje učinkovitosti javnega prometa	Povečanje privlačnosti javnega prometa
"car sharing" in "car pooling"	Upravljanje mobilnosti	Restrikcija vstopa	Kolesarjenje	Prometne informacije in upravljanje	Kombiniranje modalitet prevoza	Logistične storitve in dostava
Restrikcija vstopa	Kolesarjenje	Logistične storitve in dostava	car sharing" in "car pooling"	Upravljanje mobilnosti	Upravljanje mobilnosti	Prometne informacije in upravljanje
Čista vozila in goriva	"car sharing" in "car pooling"	Upravljanje parkiranja	Upravljanje mobilnosti	Restrikcija vstopa	Kolesarjenje	Kombiniranje modalitet prevoza
Upravljanje parkiranja	Čista vozila in goriva		Upravljanje parkiranja	Promocija javnega prometa	"car sharing" in "car pooling"	Upravljanje mobilnosti
	Promocija javnega prometa			Logistične storitve in dostava	Promocija javnega prometa	Restrikcija vstopa
	Politika cen			Upravljanje parkiranja		Promocija javnega prometa
				Politika cen		Politika cen

Slika 2: Upravljanje povpraševanja po mestnem prometu. (kapsch, 2020).

Obstaja veliko strategij za obvladovanje prezasedenosti s prometom, vendar večina spada v eno od dveh kategorij - tiste, ki povečajo ali zmanjšajo razpoložljivo infrastrukturo (povečajo ali zmanjšajo oskrbo s prometom), poskrbijo za nove načine mobilnosti (alternativni načini mobilnosti: kolesarjenje, javni prevoz, "car sharring" itd.)(Slika 1) in tiste, ki omejijo ali kako drugače upravljajo ravni prometa na novi ali sproščeni zmogljivosti cestnega omrežja oziroma omejijo dostop do sistema in tako zmanjšajo prometno obremenjenost, preden se ta sploh lahko zgodi (Slika 2). Zadnja kategorija ukrepov na splošno zajema tri različne, vendar povezane pristope (OECD/ECMT, 2007):

- Neposredno upravljanje fizičnega dostopa do vozišča s pomočjo "politik dostopa";
- posredno upravljanje dostopa do omrežja cest in neposredne vplive na potovanje po cesti določenih območij s "politiko parkiranja";
- upravljanje količine prometa s "cestnimi politikami", ki so namenjene dostopanju do prometnih cest ali urbanih območij.

"Politike dostopa" so pristopi, ki poskušajo omejiti dostop vozil do določenih con (npr. zgodovinskih središč) ali do nekaterih cestnih povezav. V primeru omejitev dostopa v coni se lahko promet blokira z uporabo fizičnih elementov in ovir v omrežju mestnih cest (npr. z uporabo enosmernih ulic in cestnega omrežja, ki je strukturirano tako, da onemogoča večjo količino prometa) ali absolutnimi prepovedmi prometa. Slednja možnost zahteva dosledno izvajanje ter jasno in zanesljivo izvrševanje. Območja omejevanja prometa bi morala biti povezana z nizom dopolnilnih ukrepov. Potrebno je zagotoviti, da en sam ukrep ne bo v celoti breme prizadevanja za zmanjšanje prometa. Prav tako je potrebno zagotavljati visokokakovosten javni prevoz, ustrezno vodenje parkirišč in njihovih cen (OECD/ECMT, 2007).

Zmanjšanje prometa določenega urbanega območja ali dela cestnega omrežja se lahko izrabi za relokacijo linij javnega prevoza ali za vzpostavitev javnih prostorov oziroma t. i. skupnih

prostorov ("shared space"). Zmanjšana zmogljivost določenih odsekov odvrne dostop do omenjenih območij in omogoči drugačno rabo prostora kljub dovoljenemu prometu (OECD/ECMT, 2007).

Popolna omejitev določenih urbanih območij ali dela cestnega omrežja ima seveda nekatere druge prednosti. Popolna zapora preventivno zaščiti potnike pred morebitnimi gnečami v izbranem odseku cestnega omrežja, ki je zavestno oslavljen (zmanjšana zmogljivost) z namenom, da bi oslavljeni del cestnega omrežja zmanjšal lastno priljubljenost pri voznikih, ki bi nato začeli iskati druge, alternativne poti. Zmanjšana zmogljivost določenega dela cestnega omrežja lahko le dodatno podaljša čas potovanja. Zmanjšanje stopnje zapore se lahko stopnjuje sorazmerno s spremenjenim odnosom in prilagojenostjo uporabnikov cestnih omrežij. Kakorkoli, po začetku manjšanja restrikcij dostopa v omejeno urbano okolje naj bo posamezna vključitev plačljiva (OECD/ECMT, 2007).

2.4 Uvajanje območij nižjih emisij

Zahteva prebivalcev za zdrava in živahna mestna središča ter pravni predpisi, kot je Direktiva EU o kakovosti zunanjega zraka, zahtevajo od vodilnih predstavnikov mest in držav sprejem ukrepov za zmanjšanje emisij onesnaževal zraka. Ta direktiva določa mejne vrednosti za pomembna onesnaževala kot so SO₂, NO_x, trdne delce (PM delce) itd. Občine oziroma države, kjer so že presežene mejne vrednosti onesnaževanja nimajo veliko možnosti, saj je spremembe potrebno aktualizirati hitro. Večinoma je edina možnost zmanjšanja onesnaževal prometa urejanje dostopa vozil v izbrana območja v obliki nizko emisijskih con. V času pisanja te naloge je bilo vzpostavljenih že vsaj 160 takšnih območij. Po podatkih Evropske agencije za energijo je skoraj četrtino (23,8 %) toplogrednih plinov emisij in več kot četrtino (27,9 %) vseh emisij CO₂ proizvedejo osebni avtomobili (Leihs, 2019).

Območja z nizkimi emisijami (LEZ – Low Emission Zone) so območja, kjer je vozilom, ki onesnažujejo okolje, prepovedano vstopiti, oziroma jim je to pogojno dovoljeno ob predhodni

poravnavi ustreznega davka. Uvedba območij nižjih emisij je pogosto najučinkovitejši ukrep, ki ga mesta lahko sprejmejo za zmanjšanje težav z onesnaževanjem zraka (Leihs, 2019).

Stopnja onesnaženosti vozila določajo merila za razvrstitev, npr. „Euro standardi“. Včasih je omejitev prometa namenjena le avtomobilom določenih kategorij onesnaževanja, kot je to v mnogih nemških mestih ali v italijanskem mestu Milano. Pogosto je pomembno merilo tudi teža vozila, zlasti če želimo zmanjšati število težkih tovornih vozil, kot so to storili na Nizozemskem, Norveškem in v Veliki Britaniji. V Italijanski provinci Alto Adige je dostop vozil sezonsko spremenjen v skladu z razredom onesnaževanja in tipom vozila in njihovo reakcijo na vremenske vplive (Leihs, 2019).

Zmanjšanje onesnaženosti zraka v mestih je mogoče doseči s spreminjanjem vedenja uporabnikov mobilnosti, in sicer z zmanjšanjem celotnega avtomobilskega prometa. Občinam je na voljo široka paleta ukrepov ITS (inteligentni transportni sistem), ki segajo od povečanja kakovosti javnega prevoza do spodbud uporabe „zelenih“ avtomobilov. Nizko emisijske cone (LEZ) igrajo osrednjo vlogo, saj so izraz za spreminjanje mobilnosti v mestih, vplivajo pa tudi na mobilnost zunaj obravnavanih območij. Uvedba emisijsko občutljivih prometnih območij lahko doseže takojšnje zmanjšanje onesnaževanja, prav tako prisilijo takojšno prilagoditev navad, bodisi z uporabo javnega prometa ali nakupa novejših vozil. Če emisijske cone uporabimo za komercialni segment je zmanjšanje onesnaževanja dosegljivo: Elektronsko podprti sistemi na Nizozemskem so povzročili znatno večji delež vozil Euro-4 in Euro-5 znotraj območja, kar je povzročilo zmanjšanje koncentracije od $-0,2 \dots -1,1 \mu\text{g} / \text{m}^3$ za NO_2 in $0,1 \dots -0,6 \mu\text{g} / \text{m}^3$ za PM_{10} . Prepovedi vožnje, ki veljajo za širšo javnost, vplivajo na osebne avtomobile, lahko zgrešijo cilj trajnostnega razmišljanja in spreminjanja navad uporabe mobilnosti (Leihs, 2019).

Prepovedi vožnje so enostavne za izvajanje, saj so različica prometnega prava. Poleg tega delujejo takoj, saj so ljudje prisiljeni takoj spremeniti svoje navade, pa naj gre za uporabo javnega prevoza ali za nakup novejših avtomobilov. Popolne prepovedi vožnje so zagotovo neugodne za skupine prebivalstva, kot so neaktivna gospodinjstva ali majhne trgovine, ki začenejajo javno razpravo o ustreznosti ukrepov. Ko vozila, ki ne izpolnjujejo meril za dostop,

postanejo praktično ničvredna, se začnejo pojavljati razprave o izkoriščanju zasebnih pravic s strani vlade. Te razprave pa žal popolnoma zasenčijo razprave o okoljskih rešitvah (Leihs, 2019).

Bolj gladke spremembe vedenja se lahko dosežejo z zbiranjem pristojbin, saj ljudje niso izključeni iz dostopa do mesta in lahko v omrežje vstopajo v skladu s svojimi posameznimi zmožnostmi in potrebami. Izkušnje kažejo, da so cilji na področju emisij in sprejemanje javnosti dobro dosegljivi z realizacijo plačljivih območij z nizkimi emisijami. Omenjene odločitve se morajo sprejemati v skladu z javnimi glasovanji, vendar je potrebno pred javnim posvetovanjem natančno določiti cilje in prioritete prometne in okoljske politike, saj v nasprotnem primeru javna diskusija ni zmožna pridobiti poglobljenega znanja o razlogih za spremembo politike. Območja prepovedi vožnje za osebne avtomobile so se izkazala za manj učinkovita zaradi obsežnih izjem in dolgih prehodnih obdobj. Poleg tega se pojavljajo javne razprave o izključevanju voznikov in diskriminaciji nekaterih skupin prebivalstva, ki se ne morejo ustrezno prilagoditi. Območja omejenega prometa sicer izpolnjujejo cilje zmanjšanja emisij, kar povzroča spremembo vedenjske mobilnosti. Prepričljivi argumenti niso samo zmanjšanje vnosov onesnaževal, ampak tudi drugotni učinki, kot so manjši zastoji, boljša dostopnost središča mesta ali manjši parkirni pritisk (Leihs, 2019).

Glede toplogrednih plinov splošna javnost ne razlikuje med onesnaževali, ki ogrožajo zdravje, in emisijami, ki spodbujajo globalno segrevanje - v primeru uporabe avtomobilov, oboje izvira iz istega procesa. Načelo plačljivih območij cestnega omrežja sicer ne izključuje vstopa v mesto, vendar ljudi spodbuja, da spreminjajo vedenje glede na svoje zmožnosti, posamezne razmere in potrebe. Spremembam vedenja uporabnikov mobilnosti tako rekoč ne najdemo ustreznih alternativ. Razkazovanje električnih avtomobilov v izložbenih oknih prodajaln preprosto ni dovolj. Ljudje potrebujejo spodbudo za spreminjanje vedenjskih načel (Leihs, 2019)

2.5 Prometni zastoji

Večina ljudi ve, kaj so prometni zastoji in verjetno imajo svojo definicijo pojava. Vendar se ob postavljenem vprašanju natančne opredelitve cestnih zastojev hitro zamenjajo z opisnimi izrazi (npr. "Ustavljen promet") in vzročne razlage (npr. "Preveč prometa"). Takšne definicije so osnovane na subjektivnih izkušnjah posameznikov, zato lahko trdimo, da so takšne definicije nepopolne in ne predstavljajo objektivnega stanja. Mnogi politiki so bili izvoljeni na podlagi obljub, da bodo odpravili prometne zastoje in mnogi gradbeni inženirji in načrtovalci prometa so celotno kariero poskušali uresničiti te obljube. Pod uspešne projekte se lahko podpišejo le redki, njihovi uspehi pa so presenetljivo kratkotrajni in omejeni po obsegu (OECD/ECMT, 2007).

Zakaj se v boju proti prometnim zastojem pojavljajo tako vztrajni neuspehi?

Zastoji so običajno opisani kot pogoj, ki nastane, če je prometa na cesti, glede na njeno zmogljivost, preveč. Ta na videz preprosta opredelitev pa služi bolj za posploševanje resničnosti, kot pa zagotoviti globlje razumevanje. Prometni zastoji so zapleten rezultat zelo zapletenih sistemov. V tej nalogi se bomo poskušali usmeriti na celosten in inovativen način reševanja prometnih zastojev, ki jih bomo podkrepili z realnimi in izvedljivimi izboljšavami (OECD/ECMT, 2007).

Najpomembnejša razlika v uporabi termina je, da nekateri ljudje izraz uporabljajo za opis popolno nepremičnih stanj v prometu, ko vozila dobesedno stojijo. Spet drugi s prometnim zastojem opišejo že najmanjšo spremembo v hitrosti premikanja zaradi prevelike količine prometa., medtem ko ga drugi opisujejo širše, kot vsako izgubo hitrosti zaradi prevelike količine prometa. Definicija, kjer gre za absolutno ustavitev prometa bolje sovpada z mišljenjem, da so takšni zastoji najpomembnejši in predstavljajo največjo težavo. Še vedno ne obstaja splošno sprejeta definicija, ki bi natančno opredelila prometne zastoje. Takšno stanje dodatno zaplete dejstvo, da je preobremenjenost tako kvantitativno opisan fizičen pojav, kot tudi subjektivno doživeta situacija, ki se razlikuje od osebe do osebe in od kraja do kraja. Medtem ko mnogi ljudje nagonsko »vedo«, kaj je preobremenjenost, le redki znajo natančno

povedati, kdaj cesta postane prekomerna zasedena in kdaj se ponovno sprosti. Pomanjkanje natančnosti dodatno zaplete delovne postopke, saj nikoli zares ne moremo vedeti, kaj rešujemo in kaj pravzaprav sploh želimo doseči (OECD/ECMT, 2007).

Zastoji so fizičen pojav, kjer vozila preprečujejo napredovanje drugih vozil, ko se povpraševanje po omejenem cestnem prostoru približa polni zmogljivosti. Preprosta definicija pravi, da so prometni zastoji nezmožnost doseganja cilja v zadovoljivem času zaradi počasnih oziroma nepredvidljivih potovalnih hitrosti. Morda lahko oblikujemo definicijo, ki bo natančno in objektivno opisala bistvo prometnih zastojev. Ena izmed takšnih definicij bi se lahko glasila: prometni zastoji so stanja, ko povpraševanje po uporabi cestnega omrežja presega njeno zmogljivost. Takšna definicija bi lahko bila pravilna, saj opisuje razmerje dveh najpomembnejših spremenljivk, ki vplivata na nastanek zastojev. To sta povpraševanje po mobilnosti in zmogljivost cestnega omrežja. Pri omejevanju prometnih zastojev s spreminjanjem teh dveh spremenljivk moramo pazljivo upoštevati dejstvo, da se tako povpraševanje, kot tudi zmogljivost vseskozi spreminjata. Povpraševanje se lahko spreminja iz dneva v dan, velik vpliv pa lahko ima izgradnja drugih infrastruktur, ki ne sovpadajo z izbrano vizijo prometa. Naše namere spreminjanja mišljenja ljudi na podlagi spodbujanja zavesti do okolja lahko na primer hitro izniči nov nakupovalni center, ki bo dodatno obremenil problematičen del cestnega omrežja. Podobno velja za zmogljivost cestnega omrežja. Čeprav se zdi, da se je zmogljivost karakteristika omrežja, ki se pazljivo načrtuje prav z namenom omejevanja zastojev, lahko zmogljivost omrežja spreminjajo tudi prometne nesreče, dela na cesti in podobne nevšečnosti. Pri spreminjanju kapacitete cestnega omrežja moramo biti predvsem pozorni na začaran krog gradnje nove cestne infrastrukture. V veliko primerih lahko nova in izboljšana infrastruktura zmanjša pritisk na določene dele cestnega omrežja. Pazljivi moramo biti predvsem na to, da nova cestišča dodatno ne povečajo že velikega povpraševanja. Predstavljajmo si obvoznico nekega mesta, ki se v jutranjih urah spopada s povečanimi zastoji. Dogradnja obvoznice bi lahko sprostila obstoječo infrastrukturo, vendar le ob predpostavki, da bo povpraševanje ostalo enako. Povečana zmogljivost lahko težave prenatrpanosti rešuje le relativno kratko obdobje, saj bo navidezno popravljeno stanje privabilo vedno večje količine vozil, ki se sicer po obvoznici ne bi vozili. Povečana zmogljivost, ki jo dosežemo z izgradnjo nove infrastrukture, lahko le poveča povpraševanje, kar posledično

pripelje do relativno enakega stanja, ki smo ga beležili pred spremembo. Opisan problem lahko nakažemo z naslednjim primerom. Vpliv prometne infrastrukture lahko na splošno prikažemo s prisposodbo vodovodne cevi. Po tej analogiji večje cevi omogočajo večje pretoke - npr. s povečanjem zmogljivosti vozišča, se lahko po njem vozi več vozil in čakalne vrste se odpravijo. Vendar ta pristop zanemarja bistveno naravo sistema; ljudje - za razliko od vode - prilagodljivo izbirajo kam iti. Poleg tega ceste, za razliko od cevi, opravljajo več funkcij v urbanih območjih - od tega jih veliko ni nujno povezanih s prometno dejavnostjo (OECD/ECMT, 2007).

Prometni zastoji se pojavijo v razmerah, ko se uporaba prometnega sistema približa njegovi zmogljivosti. Pri opisovanju vzrokov se ne smemo zadovoljiti le z omenjenima vzrokoma, saj se cestni zastoji lahko pojavijo še preden preobremenimo zmogljivost cestnega omrežja. Pomemben atribut je zajet v razmerju med hitrostjo in pretokom. Zaradi vedno prisotne nestabilnosti med hitrostjo in pretokom lahko rečemo, da zastoji nastanejo še preden se doseže fizična kapaciteta omrežja. Vzroki za takšno nestabilnost v pretoku so lahko povsem objektivne, lahko pa tudi subjektivne narave. Križišča, semaforji, priključki manjših prometnic in podobni cestni elementi vplivajo na pretok, kar posledično akutno vpliva na hitrost vozila, čigar sprememba (nekonstantnost hitrosti) pripomore k tvorjenju prometnih zgoščin. Podobno vzročno posledično razmerje opazimo pri t. i. fantomskih zastojih, ker je glavni krivec za zastoj prav človekova nesposobnost za vzdrževanje konstantnih razmer (hitrosti, medsebojne razdalje itd.). Prav človeška napaka je tista, ki jih prometni analitiki najtežje odpravijo, saj je popolnoma nepredvidljiva in izjemno težko obvladljiva. Pomembno je, da kakršno koli izboljšavo podkrepimo z rešitvami, ki bodo spremenile razmišljanje lokalnega prebivalstva (OECD/ECMT, 2007).

2.6 Kazalci zastojev

Obstajata dva splošna pristopa za merjenje preobremenjenosti cestnega omrežja: operativni pristop, ki je naklonjen odgovornim za gradnjo in upravljanje cestnih omrežij in ekonomsko utemeljen pristop, ki se na splošno uporablja za določitev prednostnih javnih izdatkov za promet. Prvi pristop se običajno ukvarja z opaznimi značilnostmi učinkovitosti cestišča (hitrost, pretok oz. gostota, dolžina in trajanje čakalnih vrst), medtem ko se je slednji običajno osredotočil na ekstrapoliranje fizičnih ukrepov v denarne vrednosti, ki lahko nato služijo stroškovnim analizam (OECD/ECMT, 2007).

V prejšnjem kontekstu so si inženirji prizadevali za tehnično "optimalno" cestno zmogljivost, medtem ko so ekonomisti poskušali določiti ekonomsko "optimalne" ravni preobremenjenost. Po pregledu nacionalne in regionalne prakse se zdi prvotno omenjen pristop - merjenje fizične in tehnične učinkovitosti sistema najučinkovitejši in prevladujoč (OECD/ECMT, 2007).

Kazalci preobremenitve, ki se nanašajo na čas, raven storitve ali zamudo, običajno vsebujejo neko poljubno definicijo referenčne hitrosti potovanja (npr. hitrost, ki je določena s prometnimi omejitvami ali povprečno potovalno hitrostjo prostega pretoka), s katero nato primerjamo hitrost vozil v potencialnih zastojih. Zmanjšana hitrost potovanja lahko vpliva na mnoge kazalnike prometnih zastojev (OECD/ECMT, 2007).

Med množico razpoložljivih kazalnikov operativnega pristopa lahko razberemo tri osnovne skupine meritev zmogljivosti, ki bi lahko koristno prikazale natančno sliko preobremenjenosti in njeno breme (OECD/ECMT, 2007):

- Čas potovanja (in s tem povprečne hitrosti, dosežene na vozišču ob prometno najbolj obremenjenih urah);
- kakovost potovanja (predvsem zanesljivost in predvidljivost potovanja);

- izpostavljenost potnikov v urbanih urah v času prometnih zastojev (npr. uporabniki cestnega prometa, ki so del prometnega zastoja) v primerjavi z ostalimi uporabniki mobilnosti v prometno najbolj obremenjenih urah.

2.7 Simulacija prometnih situacij

Mnogi ljudje predvidevajo, da promet lahko opišemo s konstantnimi časi odhoda in prihoda ter predvidljivimi obsegi poti, vendar je promet precej bolj pogojen z nepredvidljivo željo ljudi po mobilnosti (takšnega prometa je okoli 60 %). To je precejšen problem za modeliranje prometa, saj nam osnovni podatki (čas potovanja, izhodišča, poti itd.) niso znani. Svobodna izbira načina mobilnosti onemogoča kakršno koli opisovanje prometa z matematičnimi formulami. Poleg človeških dejavnikov obstajajo še nešteti naravni dejavniki, ki vplivajo na način, čas in pot potovanja, to so: vreme, prometne nesreče, dela na cesti itd. Mnogi različni dejavniki vplivajo na naključno (napovedljivo do neke mere, vendar nasploh nepredvidljivo) obnašanje prometa, ki ga v celoti ne more upoštevati noben matematični model. V takšnem primeru je simulacija edino edini način odkrivanja šibkih točk sistema in predvidevanje prometa (Krajzewicz, Hertkorn, Wagner, & Rössel, Berlin).

Za implementiranje rešitev prometnega načrtovanja je potrebno natančno poznavanje prometnih razmer in dinamike prometa. Simuliranje prometa predstavlja pomembno orodje pri načrtovanju prometnih strategij in vplivu teh strategij na cestno omrežje. Simulacije prometa se v grobem delijo na štiri skupine (Lopez, in drugi, 2018):

- Makroskopske simulacije: modelirana je samo povprečna dinamika vozila npr. gostota vozil;
- mikroskopske simulacije: vsako vozilo in njegova dinamika sta modelirana posamično.;
- mezoskopske simulacije: mešanica makroskopske in mikroskopske simulacije.;

- submikroskopske simulacije: modelira se vsako posamično vozilo, prav tako je izrecno simulirano tudi delovanje znotraj vozila (npr. delovanje motorja ali menjalnika).

Prednost makroskopskih modelov je običajno njihova hitra izvedba. Podrobnejše simulacije mikroskopskih ali submikroskopskih modelov so natančnejše, zlasti kadar želimo izvedeti natančno vrednost emisij oziroma posamične poti vozil (Lopez, in drugi, 2018). Zaradi manjšega preučevanega območja in potrebe po natančnih rezultatih smo v nalogi izbrali mikroskopski model simulacije.

Za izgradnjo prometne simulacije so potrebni mnogi elementi. Najpomembnejši so naslednji (Lopez, in drugi, 2018):

- Podatki o omrežju (ceste, peš poti in kolesarske steze);
- dodatna prometna infrastruktura;
- povpraševanje po prometu.

Ti elementi skupaj tvorijo simulacijsko situacijo oziroma scenarij. Omrežje, ki ga uporabimo v programu SUMO, je sestavljeno iz vozlišč in enosmernih povezav, ki predstavljajo ulice, vodne poti, steze, kolesarske steze in pohodne poti. Vsak rob ima geometrijo, ki jo opisuje niz linijskih segmentov in je sestavljen iz enega ali več stez, ki potekajo vzporedno. Atributi, kot so širina, omejitve hitrosti in dovoljenja za dostop (npr. samo avtobus) so modelirani konstantno vzdolž voznega pasu (roba). Posledično se mora odsek ceste modelirati kot zaporedje robov (Lopez, in drugi, 2018).

2.8 SUMO simulacijsko okolje

Simulacije prometa olajšajo ocenjevanje infrastrukturnih sprememb, še preden se te pojavijo na cestah. Učinkovitost okoljskih območij, algoritmov za nadzor semaforjev ali kakršnih koli infrastrukturnih posegov je mogoče preizkusiti in optimizirati v simulaciji, še preden se uporabijo v resničnem svetu (DLR, 2019).

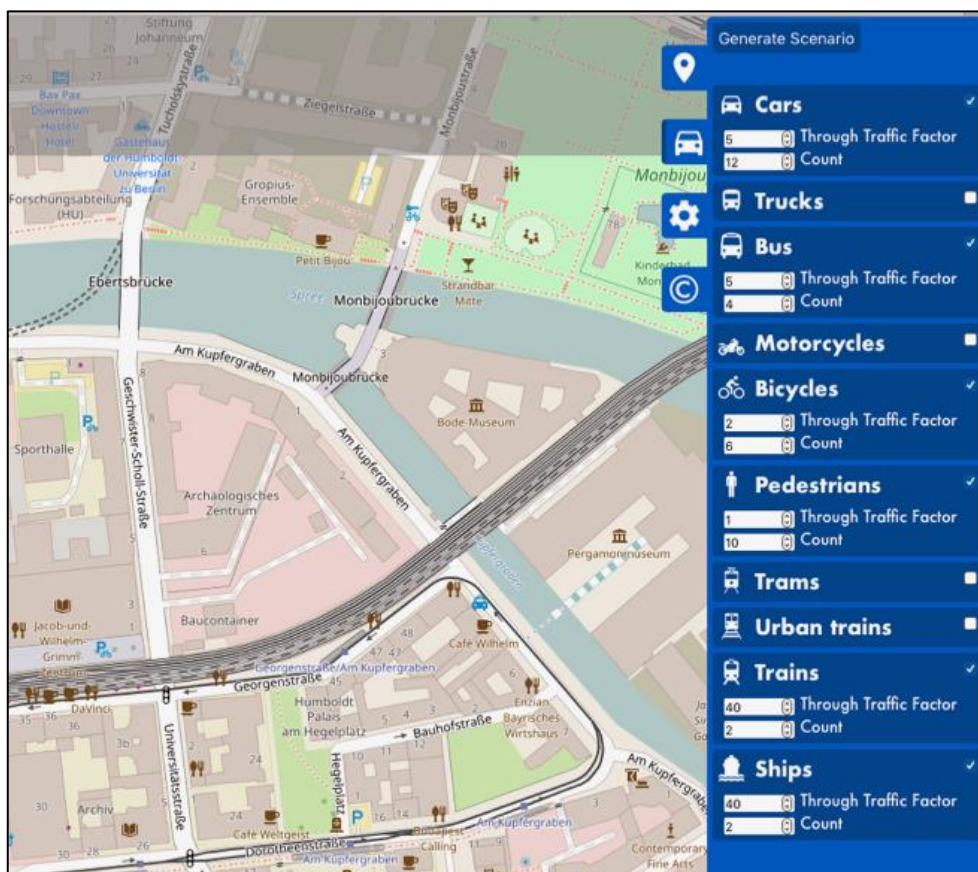
SUMO je brezplačen in odprt paket za mikrosimulacijo prometa, ki je na voljo od leta 2001 ter temeljili na programskem jeziku C++. SUMO je programsko okolje, sestavljeno iz mnogih posameznih programov, ki se ukvarjajo z nalogami, kot so iskanje poti, vizualizacija, uvoz omrežja in izračun emisij. SUMO omogoča modeliranje intermodalnih prometnih sistemov, vključno s cestnimi vozili, javnim prevozom in pešci (DLR, 2019).

Omrežja, ki jih uporabimo v programu SUMO, so ustvarjena z uporabo aplikacij NETCONVERT in NETEDIT. NETCONVERT je orodje ukazne vrstice, ki ga je mogoče uporabiti za uvažanje cestnega omrežja iz različnih virov podatkov, npr. OpenStreetMap (OSM), OpenDRIVE ali Shapefile itd. NETEDIT je grafični omrežni urejevalnik, ki se lahko uporablja za ustvarjanje, analizo in urejanje omrežnih datotek. Orodje služi ročni dopolnitvi omrežja, prav tako podpira ustvarjanje nove infrastrukture, ki je ni mogoče predhodno uvoziti z orodjem NETCONVERT (Lopez, in drugi, 2018).

Funkcije orodja NETEDIT so (SUMO, 2019):

- osnovni mrežni elementi (stičišča, robovi in vozni pasovi);
- napredni omrežni elementi (npr. semaforji);
- dodatna infrastruktura (npr. avtobusne postaje).

Koristno orodje za začetno pripravo scenarija in uvoz cestnega omrežja je spletno orodje OSMWebWizard, ki je del SUMO orodja. To orodje omogoča generiranje simulacijskih scenarijev z nekaj kliki v brskalniškem vmesniku. Uporabnik izbere območje na zaslону zemljevida skupaj z naborom parametriziranih prometnih situacij.



Slika 3: Priprava scenarija v OSMWebWizard. Vir: Avtor naloge

V orodju OSMWebWizard (Slika 3) lahko izbiramo med 10 različnimi modalitetami prevoza, ki jih dodamo ali odstranimo s klikom miške. Za vsako posamezno modaliteto lahko določimo parametra "Count" in "Through Traffic Factor".

"Count parameter" definira koliko vozil bo generiranih na kilometer poti v eni uri. "Through traffic factor" nam pove koliko krat večja je možnost, da vozilo začne svojo pot na robnem

vozlišču oz. in ne znotraj simuliranega območja. To nam dejansko pove, koliko od simuliranih vozil svojo pot začne izven preučevanega območja.

V naši nalogi nam opisana faktorja nista prinesla dodatne vrednosti, saj so naši podatki o številu vozil pomanjkljivi in nam ne ponudijo dovolj informacij (podatki, uporabljeni v nalogi, so sicer realni, vendar ne vsebujejo podatkov o omenjenih parametrih. Podatki so pomanjkljivi le iz vidika parametrov). Prava vrednost omenjenih parametrov je bila določanje števila vozil, saj nam programsko orodje ne dopušča preprosto vnesti števila vozil. Izbrali smo naključno kombinacijo parametrov, ki nam je podala željeno število vozil, vendar smo kljub naključnemu izbiranju predpostavili relativno veliko vrednost "count factor"-ja (SUMO, 2019).

Orodje omrežne podatke izvozi iz OpenStreet Map-a. Nato se generira prometna simulacija, temelječa na statistični porazdelitvi, ki jo definirata "count parameter" in "through traffic factor". Promet se nato giblje po sistemu, pri tem pa se uporabljajo različne modalitete prevoza. Za naključno generiranje prometa, torej za naključno izbiranje izvornih in ponornih točk ("origin-destination") SUMO uporablja psevdo naključen mersenne twister algoritem za generiranje naključnih števil. Generator naključnih števil izmed vseh možnih robov (točk omrežja) naključno izbere začetne in končne robove, ki skupaj z določenim začetnim časom tvori pot (končni čas potovanja se potem izračuna med samo simulacijo – in je odvisen od veliko različnih dejavnikov).

Pot od začetka potovanja do končne destinacije določi na podlagi Dijkstrovega algoritma iskanja najkrajše poti, ki ni najkrajša po času, temveč po razdalji. V nalogi se bomo zanašali prav na slednje dejstvo. Avtomobili bodo potovali po najkrajši možni poti, kar pa ne pomeni, da bodo potovali najhitreje. Izbira najkrajše možne poti, pri čemer se uporablja neučinkovita infrastruktura, tako ne postane optimalna izbira, saj lahko z izboljšavami in preureditvami prometnega sistema kljub daljši razdalji občutno skrajšamo čas potovanja (npr. zaradi povečane hitrosti premikanja).

```

<routes xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
xsi:noNamespaceSchemaLocation="http://sumo.dlr.de/xsd/
routes_file.xsd">
  <vType id="veh_passenger" vClass="passenger"/>
  <trip id="veh0" type="veh_passenger" depart="0.00"
departLane="best" from="247410448#5"
to="-11150458#6"/>
  <trip id="veh1" type="veh_passenger" depart="0.57" departLane="best"
departSpeed="max" from="-28559061#1" to="-28642547#0"/>
  <trip id="veh2" type="veh_passenger" depart="1.15" departLane="best"
from="27259626#0" to="26697700#1"/>
</routes>

```

Slika 4: Primer kode simulacije. Vir: Avtor naloge.

Za podrobnejše razumevanje ozadja generiranja vozil bomo opisali kodo, ki jo program uporabi kot model za določanje vsakega posameznega vozila. Slika 4 prikazuje del kode, namenjene avtomobilom, kot je opazno iz oznake `Type id="veh_passenger"`. Slednja oznaka predstavlja osebna vozila, modaliteti kolo in avtobus imata lastne oznake "bike" in "bus". S krepkim tiskom je označen del kode, ki je namenjen posameznemu vozilu, v tem primeru vozilu 0 ("veh0"). Določen je čas začetka vožnje "depart", začetno vozlišče "from" in končno vozlišče "to". Opaziti je mogoče še "depart line = best", kar pomeni, da bo vozilo izbiralo tiste vozne pasove, po katerih bo lahko čim dlje vozilo brez spremembe pasu.

3 Osrednji del

3.1 Definiranje posegov v prometnem sistemu mesta Maribor

3.1.1 Uvod

V pregledu literature smo veliko poudarka namenili prometnim zastojem. Ni presenečenje, da se z njimi srečujemo tudi v mestu Maribor. Pomembna naloga bi lahko bila iskanje vzrokov za nastanek neobvladljivih prometnih zastojev in tudi iskanje rešitev za odpravo. Ko pomislimo na zastoje, se nam v mislih hitro izrišejo mnoga pomembna področja na katerem smo osebno že izkusili prometni zastoj. Glede na aktualno prenovo Glavnega trga bi mnogi lahko pomislili prav na skoraj nemogočo prometno situacijo, ki je značilna za Koroško cesto v času prometnih konic. V skladu s sodobnimi evropskimi mesti, ki zapirajo mestna središča, se pojavlja ideja, da bi prometno situacijo, prometne zastoje rešili, še preden se ti sploh pojavijo. V primeru Maribora, bi to lahko bilo zaprtje Koroške ceste (avtorji naloge dodajamo še zaprtje Lenta, kot bo opisano v nadaljevanju). Seveda se takšno mišljenje lahko zdi nedodelano in nestrokovno. Res je, da bo zaprtje Koroške ceste zmanjšalo promet na sami cesti, saj tam preprosto ne bo več avtomobilov. Vozila, ki so potovala po omenjeni cesti, bodo sedaj prisiljena prilagoditi svojo pot in prometni zastoji se bodo pojavili nekje drugje v mestnem središču. Zdi se, da zapiranje ceste, na katerih so pogosti prometni zastoji, ni pametna odločitev, saj se bodo prometni zastoji pojavili nekje drugje.

Kljub temu takšno razmišljanje ni bilo nikoli znanstveno potrjeno. Možnih je še veliko drugih alternativnih posledic, ki bi sledile takšnemu posegu. Morda kapaciteta Koroške ceste že v osnovi premajhna in se zastoji tam pojavijo že ob blagem povečanju, medtem ko je pretok avtomobilov (število avtomobilov v časovni enoti), ki dejansko prečkajo Koroško cesto, v primerjavi z drugimi cestami mestnega središča precej manjši. Morda je kapaciteta okoliških cest še ni povsem izrabljena, zato dodaten pretok (ne nujno majhen, kot je nakazoval prejšnji argument) ne povzroči drastičnih sprememb. Seveda je možno o učinkih zapore Koroške ceste razglabljati v nedogled, zato menimo, da je potrebno na vprašanje odgovoriti na podlagi

znanstvenih metod in analiziranih podatkov, ki nam bodo dali nedvoumen in morda tudi presenetljiv odgovor.

Osrednji cilj naloge ni prepričevati ljudi o smiselnosti zapiranja Koroške ceste, prav tako ni namen naloge ovrednotiti argumente prisotne v debatah o smiselnosti zapore. Namen naloge je orisati enega pomembnejših razlogov za zaprtje in kar je še pomembnejše, eksperimentalno preveriti učinke omenjenega posega. Predpostavili bomo, da je, v skladu s podanimi argumenti, zaprtje Koroške ceste poseg, ki ne bo drastično otežil mestne mobilnosti. Podali bomo tudi dosleden načrt zaprtja, ki bo poskušal zajeti vse vidike moderne mobilnosti. V nalogi si prizadevamo izpostaviti še druge razloge za zaprtje Koroške ceste, vendar želimo na problem gledati iz vidika prometnega načrtovanja in temu primerno predstaviti razloge, ki so v neposredni povezavi z aktualizacijo pametnega transportnega sistema in posledično pametnih mest.

3.1.2 Zapora cest

Glavni trg je osrednji in drugi največji mariborski trg. Prvič se omenja leta 1315. Na Glavnem trgu se je vse od srednjega veka odvijala živahna trgovska dejavnost, v prvi polovici 20. stoletja sta jo nadomestili kulturna in zgodovinska dejavnost. V začetku 16. stoletja zgrajena mestna hiša oziroma rotovž je namenjena sprejemom župana in porokam. V 18. stoletju je bila zgrajena poznobaročna Alojzijeve cerkev. V središču trga stoji Marijino ali Kužno znamenje, ki so ga prebivalci v 17. stoletju postavili v spomin na kugo, ki je v letih 1680 in 1681 terjala življenja skoraj petine prebivalcev. Med zanimivejše stavbe na trgu sodijo še stavba bivšega kazinoja, v kateri je sedaj našel svoj ustvarjalni prostor Salon uporabnih umetnosti. Na mestu nekdanje gostilne Koper je bila prva mariborska pivovarna, vogalna stavba na začetku Poštne ulice z napisom Ludwigshof pa je v lasti nekoč mlinarske družine Franz z velikim mlinom v Melju. V hiši poslikani z lekarniško motiviko, je bila nekoč mestna lekarna znanega mariborskega lekarnarja Franca Minarika. Glavni trg lijakasto prehaja v Koroško cesto. Ta z ohranjenimi hišami predstavlja urbano jedro Maribora (TIC Maribor , 2019).

Brez dvoma lahko trdimo, da je Glavni trg skupaj s Koroško cesto eno zgodovinsko najpristnejših območij Maribora, zato je pomembno, da mu posvečamo pozornost. Staro mestno jedro je večini razvite Evrope biser, ki ga mesta, ki so ozaveščena glede svoje kulture, znajo negovati. Zato so vsa za avtomobilski promet, razen za javni potniški promet, zaprta. Uredili so trge, restavracije, kavarnice in parke.

Debata o zaprtju mestnega jedra temelji na argumentu, da povečan promet zmanjšuje privlačnost delov mesta za turiste in uničuje njihov zgodovinski ugled. Takšnih območij v mestu Maribor je več, eno očitnejših, poleg omenjene Koroške ceste, je mariborski Lent. Tudi to območje ima pomembno zgodovinsko vlogo, vendar kljub temu ne preseneča, da je cesta v času prometnih konic pogosto prezasedena. Lent je stari del Maribora ob Dravi. Ime Lent izvira iz stare nemške besede Lander, kar pomeni prostor za pristajanje, saj je bilo na tem mestu pomembno pristanišče, kjer je letno pristajalo do 1100 rečnih splavov. Tu je stala zelo pomembna vodna utrdba iz 16. stoletja - Dravske Benetke. V 80-tih letih 20. stoletja so začeli Lent načrtno obnavljati in danes ga poživljajo številne gostilne, kavarne, obnavljajo pa tudi starejše zgodovinsko pomembne hiše. Daleč naokoli je znana 400 let stara vinska trta sorte žametovka ali modra kavčina, ki je najstarejša na svetu in še danes rodi (Wkipedija, 2005). Prav zaradi slednjih dejstev si tudi Lent zasluži spokojno okolje, v katerem bodo lahko uživali predvsem njegovi obiskovalci.

3.1.3 Način zapore

Prvi izmed mnogih ukrepov, ki bi restavriral videz starega jedra, je zmanjšanje prometa. Glede na predstavljeno literaturo bi za upravljanje zasedenosti Koroške ceste izbrali strategijo, ki zmanjša povpraševanje po infrastrukturi z različnimi metodami restrikcije, kar pomeni, da bi se promet zmanjšal, še preden bi se pravzaprav začel. Menimo, da drug način, torej zmanjšanje prometa s promoviranjem in uporabo drugih, alternativnih načinov mobilnosti, ne bi bila tako učinkovita. Ob tem ne trdimo, da je promocija alternativnih mobilnosti neučinkovita in nepotrebna, trdimo le, da ni najprimernejša rešitev za popolno zmanjšanje prometa.

Zaprtje Koroške ceste je lahko tvegan poseg, zato smo zaprli le del Koroške ceste. V tej situaciji je Glavni most (Stari most) še vedno popolnoma operativen in prevozen, zaprta je le povezava med Strossmajerjevo in križiščem med vstopom/izstopom na Glavni most. Takšen ukrep se nam zdi v začetnem obdobju najprimernejši, saj lahko dosežemo želen učinek, zmanjšanje vpliva prometa na Starem trgu, ob tem pa ne posegamo v uporabnost infrastrukture, katere zaprtje se morda zdi nesmiselno. V primeru spodbudnih rezultatov lahko začnemo razmišljati tudi o popolnem zaprtju Glavnega mosta. Enako velja pri zapori Lenta. Tveganje je precejšnje, zato želimo v prvi fazi zapreti le pomembnejši del Lenta in nato območje zapore po potrebi povečevati. Kljub zapisani smernici smo že v začetku zaprli cesto med Studenško brvjo in Starim mostom (območje Ob bregu, Pristana in Vojašniške ulice). Odločili smo se za obsežno zaporo, saj nam ta, v primerjavi z manjšo zaporo (med npr. Pristaniško ulico in Glavnim mostom) ne bi povzročila drastičnih poslabšanj rezultatov simulacije, saj bi bila prevozna funkcija ceste onemogočena v obeh primerih.

Ker želimo zmanjšati promet le na omenjeni cesti, se nam posredno onemogočanje prometa z zmanjšanjem pretočnosti ne zdi pametna rešitev. Zmanjšana pretočnost Koroške ceste ne bi učinkovito preusmerila uporabnikov prometa, saj je Koroška cesta priljubljena prometna povezava. Menimo, da je potrebna absolutna prepoved, ki bi prisilila uporabnike, da začnejo razmišljati o alternativnih načinih potovanja. Potrebno je upoštevati možnost, da bi sprememba voznega režima odvrnila ljudi od vožnje z avtomobili. Tako ne bi spremenili le svoje poti, temveč tudi popolnoma opustili problematične načine transporta. Enako velja za primer popolne zapore Lenta. Menimo, da bi bila motnja v celotnem cestnem sistemu opazna, povečano povpraševanje pa bi se moralo reševati z izboljšanimi alternativnimi modalitetami prevoza in uvajanjem dopolnilnih ukrepov, npr. izboljšava mestnega avtobusnega sistema.

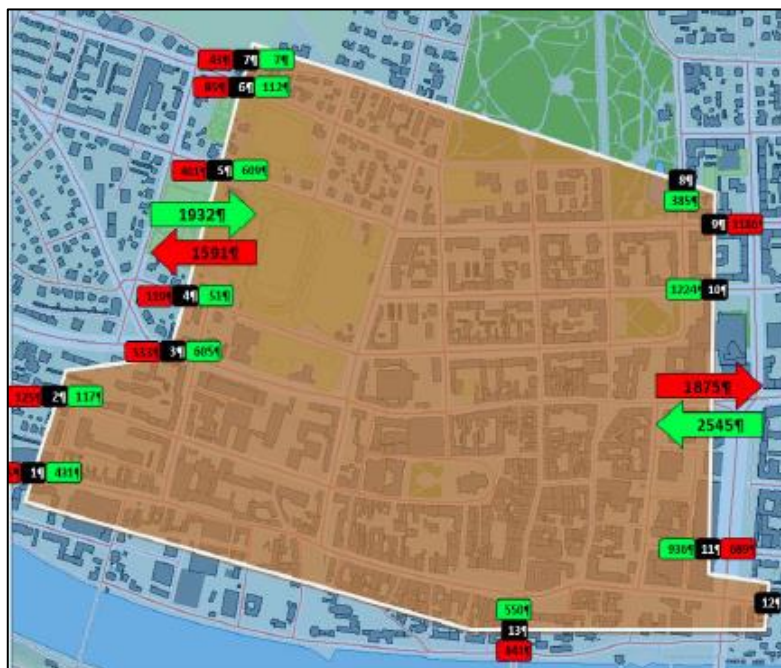
Seveda absolutna prepoved s fizično pregrado ne bi popolnoma onemogočila prometa. Cesta bi bila odprta za promet javnega prevoza, torej za vse avtobusne linije, prav tako za stanovalce, lastnike tamkajšnjih nepremičnin in lokalov ter intervencijska vozila. Plačljiva cona, ki bi omejevala promet na podlagi plačljivih dovolilnic (dostopne vsem, ne le privilegiranim prebivalcem, dostavljavcem, lastnikom itd.), ne bi dosegla pričakovanega učinka, torej umirjenega trga brez odvečnega prometa. Pomembno je dodati, da bi bilo

potrebno uvesti ustrezno umerjeno uvajalno obdobje, ki bi poskrbelo za postopno prilagajanje meščanov. Pomemben argument je seveda tudi manj prometnih izpustov, ki bi škodili zdravju meščanov, ki se zadržujejo v okolici trga.

Zmanjševanje povpraševanja po mobilnosti bi lahko imelo tudi dolgoročne posledice. Povečano rast avtomobilskega prometa je potrebno zaustaviti, zato mnoga mesta ukinjajo avtomobilski promet in modernizirajo ostale alternative prevoza, kar posledično vodi do izgradnje inteligentnega prometnega sistema, ki bi temeljil na izboljššanem javnem prometu in novih tipih vozil. Seveda doseganje takšnih prometnih sistemov ni preprosto, vendar bi odločitve, ki so neposredno uperjene v tradicionalni način transporta prinesle občutne prednosti v razvoju posameznih mest, ki bi se lahko ponašale z nazivom pametno mesto.

3.2 SIMULACIJA PROMETA

3.2.1 Proučevano geografsko območje

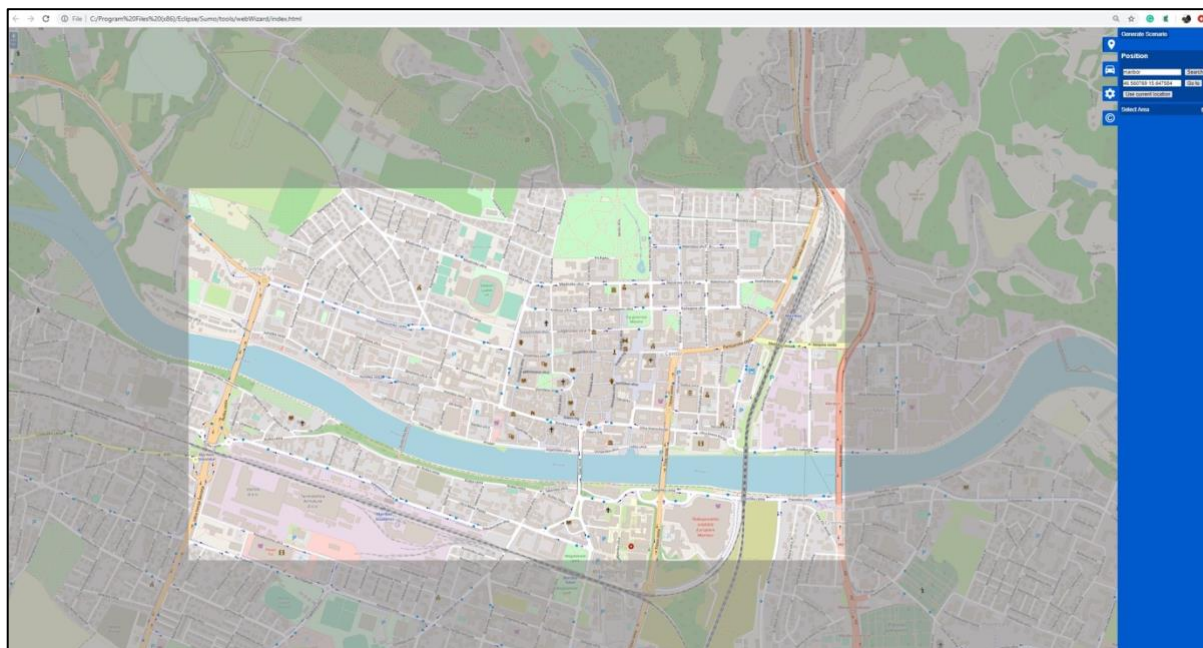


Slika 5: Število osebnih vozil, ki so vstopila/izstopila v ožje mestno središče med 7:15 in 8:45 (torek, 14. december 2010). Vir: (BALANT, in drugi, 2015)

Za modeliranje prometnih tokov znotraj izbranega območja SUMO programsko okolje zahteva podatek o tem, koliko vozil se v določenem časovnem obdobju nahaja v sistemu ali natančneje gostoto vozil na kilometer ceste na uro. Za pridobitev takšnih podatkov bi bilo potrebno uporabiti drago tehnično opremo, ki je nimamo na razpolago. Da bi zgradili simulacijo s nadvse zanesljivo, prometno situacijo Maribora, smo uporabili podatke, predstavljene v Celostni prometni strategiji mesta Maribor (2015) (Slika 5). Podatki predstavljajo jutranjo prometno konico v mestu (med 7.15 in 8.45 uro). V tem času v območje, prikazano na sliki 1, z avtomobilom prispe približno 5000 ljudi, izstopi pa 4300 ljudi. Razlika med vstopom in izstopom iz mestnega središča je okoli 700 vozil. Od tega je večina (vsaj nekaj) svojo pot končala prav v preučevanem območju. Najverjetneje število izstopnih vozil predstavljajo rezidenti mestnega središča, ki zapuščajo območje, vendar nam podani podatki tega ne morejo zagotovo dokazati. Predpostavili smo, da je večina avtomobilov v sistemu preučevanega območja odvisna predvsem od števila vstopnih vozil. Glede na pridobljene podatke je smiselno trditi, da je okolica središča mesta predvsem tranzitno območje.

Kot je bilo opredeljeno v poglavju *SUMO simulacijsko okolje*, smo število avtomobilov določili predvsem z uporabo parametrov "trough traffic factor" in "count factor". Ob predpostavki števila vozil, opisanega v prejšnjih odstavkih, smo pridobili vrednosti parametrov za zmanjšano območje mestnega središča. Simulirali smo razširjeno območje levega brega mesta Maribor. Na Slika 6 lahko vidimo označeno območje simulacije v orodju OSMWebWizard. Preučevano geografsko okolje je bilo v osnovi omejeno le na levi breg reke Drave, ki bi posnemalo območju opravljene analize števila vozil v času prometnih konic. Pomembno je, da smo simulirali območje celotnega mestnega središča, saj ima Koroška cesta pomembno vlogo pri prepeljevanju mestnega središča. Osnovno območje smo razširili tako, da smo omogočili simuliranje situacije predstavljene v poglavju *Alternativni in dopolnilni ukrep*. Simulacijsko območje je moralo tako vsebovati še vse tri mostove (Koroški, Titov in Glavni most) in desno rečno brežino. Omejeval nas je način označevanja, ki je v omenjenem orodju mogoč le v obliki pravokotnika. Takšna omejitev je pomenila, da bo končno simulirano območje nekoliko večje kot območje, ki bi popolnoma ustrezalo številu vozil v sistemu. Ponovno smo predpostavili, da morata biti parametra enaka v obeh situacijah zato smo v situaciji razširjenega geografskega območja priredili še število vozil, ki se je ujemalo s

parametrom “count factor”. Omenili smo, da se ta definira glede na kilometer poti, kar pomeni, da se po več kilometrov poti vozi več vozil, kljub temu da ohranimo enako vrednost parametra “count factor”.

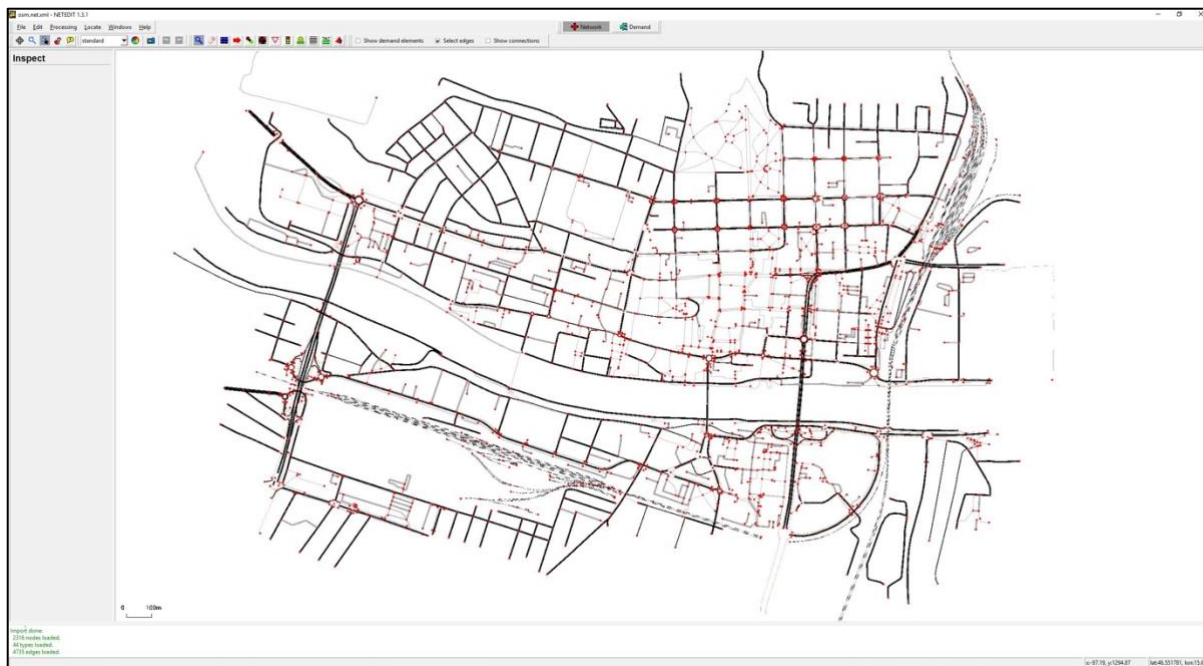


Slika 6: Preučevano geografsko območje v osmWebWizard. Vir: Avtor naloge.

3.2.2 Simulacija prometa preučevanega geografskega območja

Simulacijo smo ustvarili s pomočjo programskega orodja SUMO, ki je primerno za mikroskopsko simuliranje prometa, saj nam omogoča, da simuliramo obnašanje vsake posamezne entitete oz. vozila v sistemu. V simulaciji smo simulirali obnašanje dveh tipov vozil: avtobusov in osebnih vozil. Predpostavili smo, da sta omenjeni kategoriji najpogosteje zastopani v mestnem središču.

Primerjava učinkov posega v prometno infrastrukturo je mogoča le z primerjavo novega stanja z obstoječim. S programskim orodjem OSMWebwizard (del programskega paketa SUMO) smo ekstrahirali prometne podatke iz prostodostopnega zemljevida (prometna mreža in naključen tok vozil). Obstoječe stanje smo simulirali v SUMO.GUI vmesniku. Simulirali smo okolje predstavljeno na Slika 7.



Slika 7: Preučevano geografsko območje v NETEDIT. Vir: Avtor naloge

Kazalci prometnih zastojev nam pomagajo pri določanju prisotnosti prometnih zastojev ter njihovega obsega. V nalogi smo se odločili za uporabo kazalca: čas potovanja. Analiza je temeljila na primerjanju časa potovanja vozil. Primerjali smo povprečne čase, ki so jih vozila potrebovala za opravljeno pot. Takšna analiza je mogoča ob predpostavki, da so začetne in končne točke v vseh simuliranih situacijah enake. Glede na nastavitve simulacije so bile izvorno-ponorne točke konstantne, spreminjala se je le najkrajša pot, ki jo je med tema točkama možno izpeljati. Na čas potovanja sta tako vplivala cestna infrastruktura in hitrost avtomobilov, ki sta bila v različnih situacijah prilagojena različnim hitrostim premikanja. Pomembno je omeniti, da so vozila sledila večini osnovnih prometnih predpisov hitrosti (prometna signalizacija itd.). Seveda lahko na potovanje vozil vplivajo še mnogi ostali naključni dogodki (vreme, prometne nesreče, napake ljudi itd.), ki jih v simulaciji ne moremo upoštevati.

Poleg časov potovanja bomo prometno situacijo ovrednotili tudi s primerjavo povprečne dolžine kolon. Simulacija izmeri razdaljo med prvim in zadnjim avtom v simulaciji, kar nam bo v pomoč pri ugotavljanju situacije (, v kateri se pojavljajo daljši prometni zastoji).

Simulacija obstoječega stanja je dala naslednje rezultate, prikazane v tabeli 1:

Tabela 1: Povprečen čas v sistemu - obstoječe stanje

<i>Vrsta vozila</i>	<i>Povprečen čas v sistemu [s]</i>
<i>Avtobus</i>	677
<i>Avtomobil</i>	713

Avtomobili potrebujejo za svoja izvorno-ponorna potovanja v povprečju 11,9 minut, avtobusi pa 11,3 minut. Podani rezultati sicer temeljijo na mehanizmu, ki želi posnemati realno okolje, vendar rezultati, torej čas potovanja, ne ponujajo oprijemljivih podatkov, ki bi samostojno prikazali določeno stanje. Podatek nam pove čas trajanja potovanja, vendar nam ne ovrednoti njegove vrednosti, zato ga moramo primerjati z drugimi. Rezultati simulacije obstoječega stanja so bazni podatki, ki nam bodo služili primerjavi vseh nadaljnjih analiz, kar nam bo omogočilo, da bomo poseg v prometnem sistemu (npr. situacija zaprte Koroške ceste, Situacija zaprtega Lenta lahko ovrednotili kot uspešen ali neuspešen).

3.2.3 Zapora Koroške ceste

V prvem koraku smo simulirali situacijo zaprte Koroške ceste (Slika 8).

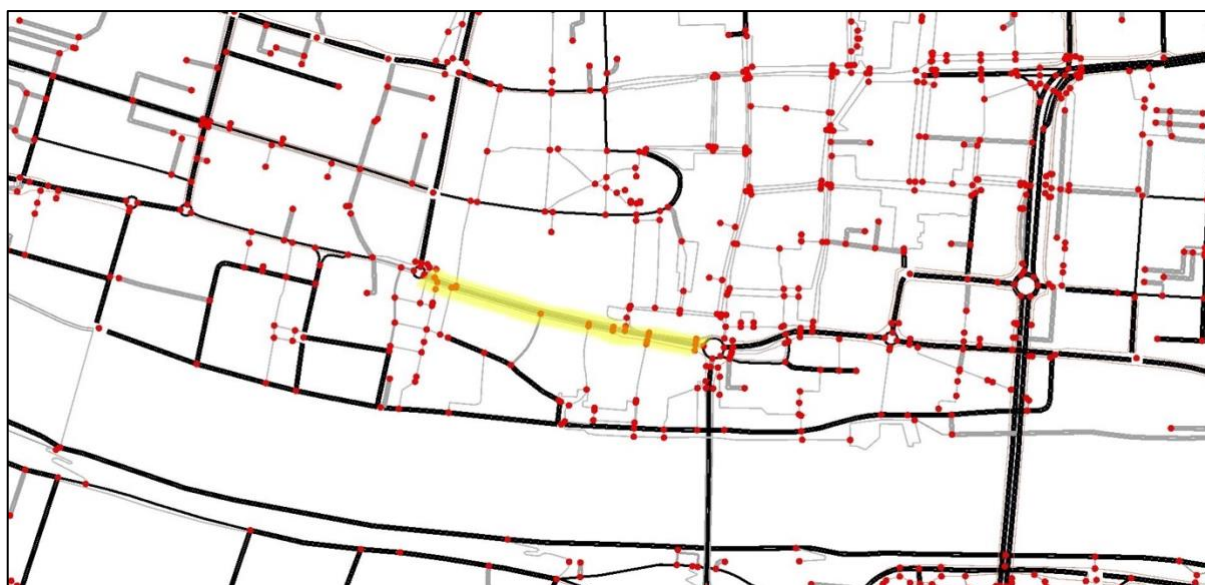
Rezultati simulacije so predstavljeni v Tabeli 2.

Tabela 2: Povprečen čas v sistemu - zaprta Koroška cesta

<i>Vrsta vozila</i>	<i>Povprečen čas v sistemu [s]</i>
<i>Avtobus</i>	779
<i>Avtomobil</i>	734

Glede na rezultate opazimo, da so se časi potovanja povečali. Avtomobili so v povprečju za svoja potovanja potrebovali približno 12,2 minut, avtobusi približno 13 minut. Povečanje

časov potovanja je relativno majhno, saj se je čas potovanja avtomobilov povečal zgolj za 3 %. Povečanje časov potovanj avtobusov znaša 13 %. Simulacija avtobusov nam pokaže, kako ranljivi so avtobusi na takšne posege v cestnem sistemu v primerjavi z avtomobili, vendar smo predpostavili, da bi bila zapora prepustna za vozila mestnega javnega prometa, zato sprememba nima velikega odločilnega faktorja. Prav tako bi bilo potrebno v simulaciji upoštevati še obstoječe poti linijskega prevoza. Rezultati nakazujejo, da zaprtje Koroške ceste ne bi imelo prevelikega vpliva na prometni sistem. Razlogov za to je, kakor smo zapisali v uvodu definiranja prometnih posegov v prometnem sistemu mesta Maribor, je več: s podanimi podatki pa ni mogoče jasno izpeljati vzroka za nastanek takšnih rezultatov. Za nadaljnjo razlago bi bilo potrebno narediti natančen model ožjega območja mestnega središča in natančno preučiti prometne tokove v njem.



Slika 8: Zaprta Koroška cesta v NETEDIT. Vir: Avtor naloge.

3.2.4 Zapora Lenta

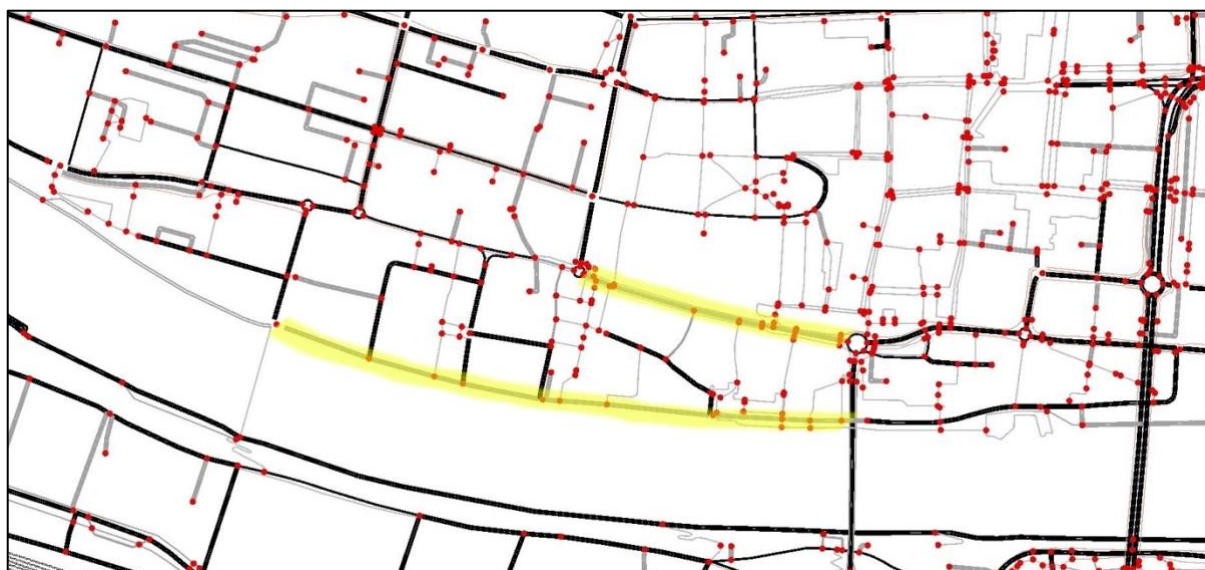
Zaprtje Koroške ceste ni prineslo drastičnega poslabšanja prometne situacije, zato bi lahko zaprtje Koroške ceste uresničili brez večjih objektivnih nevšečnosti. Ugotovili smo, da so rezultati dovolj pozitivni, da se o tej temi spleta izdelati podrobnejšo raziskavo. Naši cilji glede zapiranja cest v območjih pomembne zgodovinske in kulturne vrednosti so vsebovali tudi zaporo Lenta, zato smo na podlagi spodbudnih rezultatov simulirali situacijo zaprte Koroške ceste in Lenta hkrati (Slika 9).

Rezultati so predstavljeni v tabeli 3.

Tabela 3: Povprečen čas v sistemu - zaprta Koroška cesta in Lenta

<i>Vrsta vozila</i>	<i>Povprečen čas v sistemu [s]</i>
<i>Avtobus</i>	2920
<i>Avtomobil</i>	3275

Opazimo lahko relativno veliko povečanje časov potovanj. Avtomobili v tej situaciji potujejo v povprečju 54,6 minut, kar je pribl. 4,6-krat (460 %) več kot v simulaciji osnovnega stanja in pribl. 4,5-krat (450 %) več kot v simulaciji zaprte Koroške ceste. Zapora Koroške ceste in Lenta je nesmiselna, saj so se časi potovanj drastično povečali. Kljub temu da ne vemo mejne vrednosti, do katere lahko trdimo, da je čas potovanja še sprejemljiv, lahko na podlagi osebnih izkustev realnega in obstoječega stanja predvidevamo, da bi se prometno stanje občutno poslabšalo. Če želimo ohraniti Lenta kot enega pomembnih delov mesta Maribor, bomo morali poiskati drugo alternativo. Avtorji menimo, da je zapora še vedno dobra odločitev, vendar bomo morali v tem primeru sprejeti še nekaj drugih dopolnilnih ukrepov.



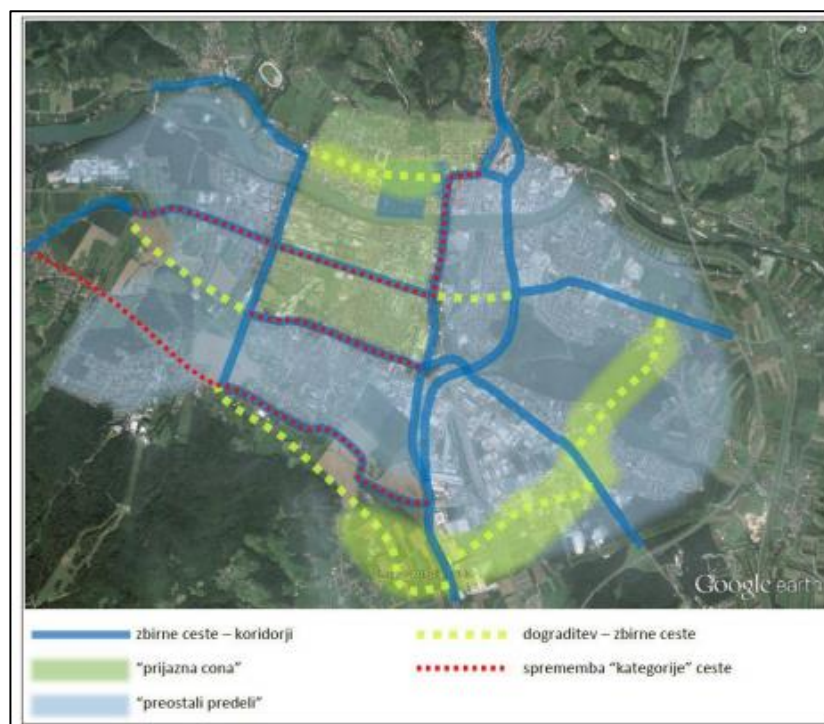
Slika 9: Zaprta Koroška cesta in Lent v NETEDIT. Vir: Avtor naloge.

3.2.5 Alternativni in dopolnilni ukrep

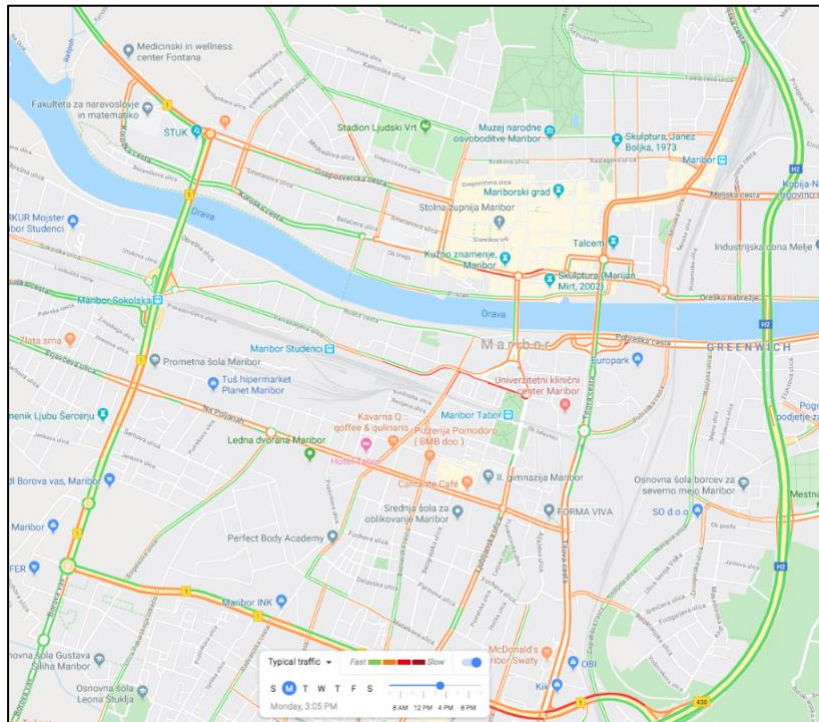
Omenili smo, da je zaprtje prometnih povezav običajno potrebno podkrepiti z vrsto dopolnilnih ukrepov, ki bi lahko zmanjšali ali v celoti odpravili negativne vplive. V nadaljevanju naloge bomo podali in opisali možno infrastrukturno izboljšavo, ki bi lahko uravnotežila zaprtje Koroške ceste in morda celo izboljšala prometno stanje Maribora.

Levi breg Maribora je še vedno pomemben oziroma najpomembnejši cilj potovanj z osebnim avtomobilom. Največ Mariborčanov prihaja iz desnega brega Drave, sledijo prebivalci levega brega in okoliški prebivalci, ki v mesto vstopajo iz južne in jugovzhodne smeri, najmanj (ne nujno malo) je okoliških prebivalcev severa, vzhoda in levega brega Dravske doline. Problem, ki ga predstavljajo omenjeni meščani, je pot, ki jo opravljajo med prepeljevanjem mestnega središča. Največ je prepeljevanja mestnega središča v smeri vzhod-zahod, večino tranzita opravijo vozniki, ki živijo v neposredni bližini Maribora, njihovi cilji pa se nahajajo v širši okolici Maribora. Čistega tranzita skozi območje levega brega (mestnega središča), ki ga generirajo nerezidenti, je malo. Za večino ljudi, ki želijo prečkati mestno središče, je največja ovira veliko število prometnih zastojev, predvsem v času prometnih konic. Avtorji naloge vidimo največjega krivca za nastanek povečanih zastojev na območju mestnega središča prav v pomanjkanju primernih prevoznih povezav, ki bi bile zmožne zadovoljiti povečano

povpraševanje po mobilnosti. Na Slika 10 so prikazane vse večje zbiralne ceste oziroma t. i. koridorji, ki so namenjeni obvladovanju večjega povpraševanja. Opaziti je mogoče tudi rumene oznake, ki prikazujejo mesta dogradnje novih zbirnih cest. Očitno je, da je za prepeljevanja mestnega središča potrebna zmogljivejša povezava, torej zbirna cesta. Glede na prikaz običajne prometne zasedenosti Googlovega orodja Google traffic (Slika 11) lahko opazimo, da so ceste, ki naj bi predstavljale zbirne ceste najbolj zasedene. Očitno večjo zasedenost opazimo na cestah Na Poljanah, Koresova cesta, Titova cesta, Cesta proletarskih brigad, kar je pričakovano. Težava se pojavi na levem bregu mesta, saj tam takšne ceste ni, njeno vlogo pa prevzemajo (od zahoda proti vzhodu) Gosposvetska in Koroška ter Titova cesta. Koroška cesta ima v primerjavi z Gosposvetsko in Titovo cesto precej manjšo kapaciteto, zato je pretok vozil manjši, kar povzroča občutne prometne zastoje (BALANT, in drugi, 2015).



Slika 10: Načrtovalske prioritete; po izgradnji odsekov. Vir: (BALANT, in drugi, 2015).

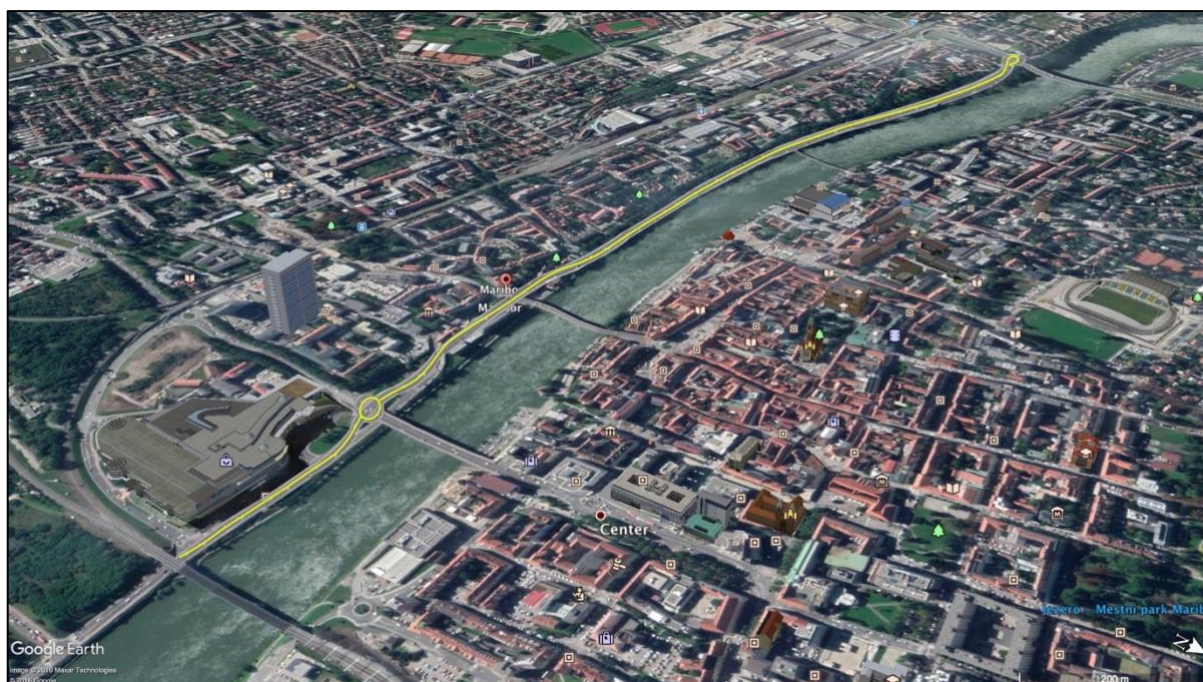


Slika 11: Google traffic. Vir: Google maps.

Rešitev bi lahko predstavljala izgradnja nove cestne povezave, ki bi razbremenila omenjene ceste in omogočila lažje prepeljevanje mestnega središča. Avtorji naloge menimo, da za takšen poseg v mestnem središču preprosto ni več prostora, gradnja podzemne infrastrukture pa se nam zdi predraga in prezahtevna. Rešitev vidimo v izgradnji nove cestne povezave tik ob desnem bregu Drave, ki bi povezovala Koroški in Dvoetažni most oz. nakupovalno središče Europark oz. Pobreško cesto. Nova povezava bi potekala v neposredni bližini sedanje Ruške ceste. V obstoječem sistemu lahko prebivalci, v želji po izogitvi prometnim zastojem izberejo alternativno pot, ki pa žal vključuje dvakratno prečkanje mostu. Na podobno težavo bi naleteli uporabniki nove ceste, vendar pa bi bila nepriročnost minimalna, saj bi bila razdalja med mostovi in novim koridorjem precej manjša, kot obstoječa razdalja med mostovi in npr. ulico Na Poljanah (v podaljšku Koresova ulica).

Karakteristika in videz ceste nista dokončno določena, saj je predlog v fazi razvoja (Slika 12 in Slika 13). Rumeno črto na skici predstavljata dve dvopasovni vozišči (dva vozna pasova za vsako smer vožnje). Povezava z izhodom Koroškega in Glavnega mosta je v našem predlogu ustvarjena s krožiščem. Cestišče smo z ostalimi prometnicami povezali s krožnim križiščem.

Krožna krožišča smo postavili ob Koroški most, drugega pa ob Titov most. Cesta prečka območje Medicinske fakultete (bližina Trga svobode). Na tem mestu je cesta ustvarjena hipotetično. Predvidevali smo rešitev v obliki nadvoza ali delnega predora. Optimalne gradbene rešitve nismo določili, saj to ni bistvo izdelane analize. Z željo po izogitvi preobremenjenosti bi lahko na Koroškem mostu oblikovali še eno cestišče, ki bi se uporabljalo po potrebi, vendar pa bi takšna implementacija izločila potreben prostor za kolesarje in pešče. Omislili smo si rešitev, pri kateri bi bila kolesarska in peš cona zgrajena pod samim mostom, v obliki dogradnje obstoječega mostu in ne novega samostojnega objekta (most itd.). Morebiten problem bi lahko povzročilo pomanjkanje parkirnih mest. Obstoječa parkirišča na območju Lenta bi morali prenesti na druge lokacije. Nedvomno bi bilo dobrodošlo zgraditi parkirna mesta ob novi cestni povezavi. Kljub temu bi morali urediti manjše število parkirnih mest v neposredni bližini promenade, ki bi služili dostavi, tamkajšnjim prebivalcem in različnim potrebam ljudi, ki so tja prišli npr. nakupovat (bližina mestne tržnice). Ob izgradnji nove povezave bi lahko začeli z revitalizacijo brežine desnega brega, ki danes sameva. Gradbena dela na brežini desnega brega Drave bi lahko izrabili za pripravo družabnega območja, kjer bi lahko ponujali pestro turistično ponudbo.



Slika 12: Nova cesta. Vir: Avtor nalog



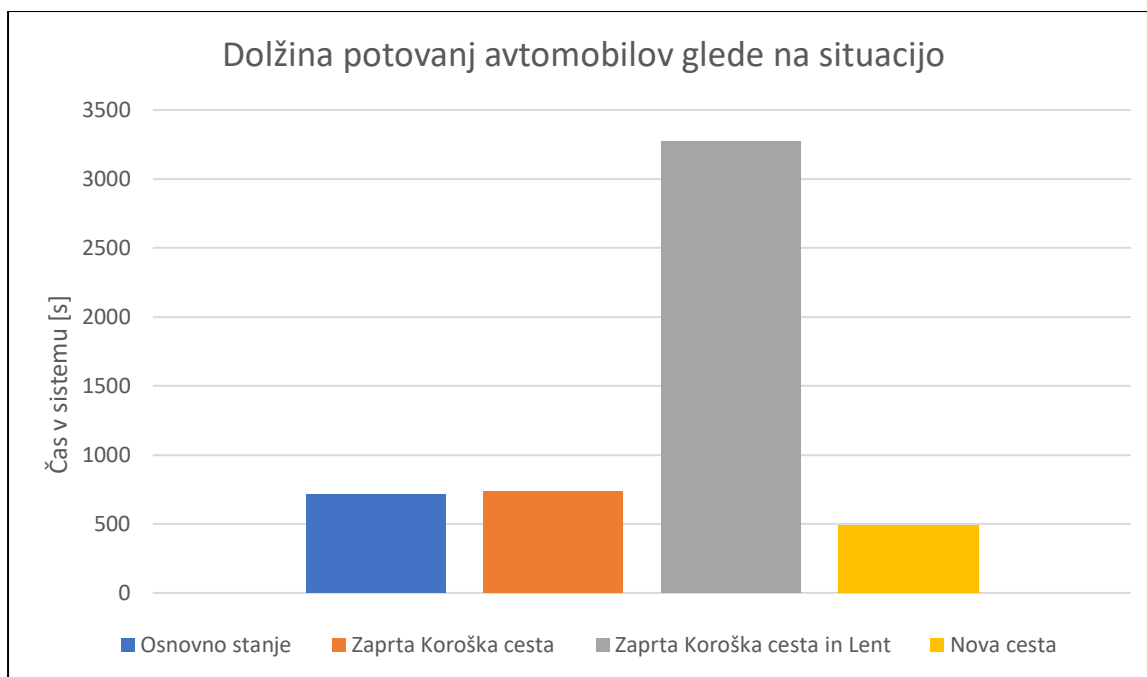
Slika 13: Nova cesta v NETEDIT. Vir: Avtor naloge

Takšno prometno stanje smo ponovno simulirali. Rezultati so prikazani v tabeli 4.:

Tabela 4: Povprečen čas v sistemu - nova cesta

<i>Vrsta vozila</i>	<i>Povprečen čas v sistemu [s]</i>
<i>Avtobus</i>	576
<i>Avtomobil</i>	485

Primerjava rezultatov prikaže, da bi predlagan poseg učinkovito razbremenil zaprtje Koroške ceste in Lenta. Po primerjavi rezultatov ugotovimo, da se čas potovanja v primerjavi s situacijo zaprte Koroške ceste in Lenta zmanjša za 6,8 krat (680 %), v primerjavi z obstoječim stanjem se čas potovanja zmanjša za približno 30 %, podobno je zmanjšanje v primerjavi s situacijo zaprte Koroške ceste.



Graf 1: Dolžina potovanj avtomobilov glede na situacijo.

3.2.6 Analiza dolžin kolon

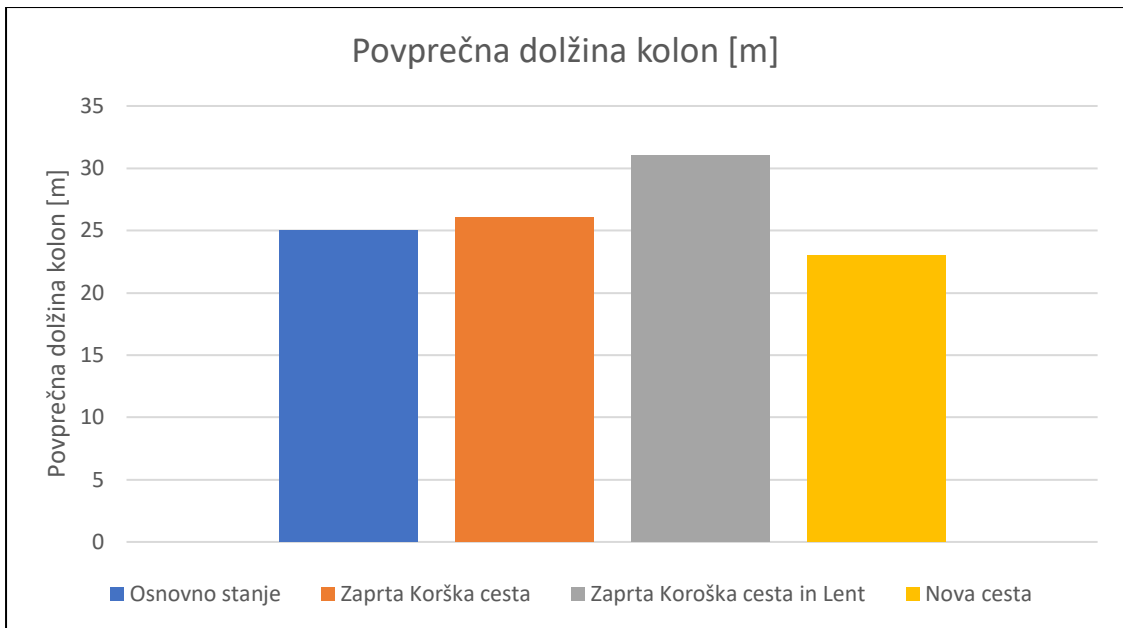
Glavni kazalnik prometne situacije je bil čas potovanja. V nalogi smo se osredotočili na čas potovanja, ker daje neposredno razumevajoče rezultate. Kljub temu smo, v želji po večji verodostojnosti, upoštevali še druge kazalnike. Kot smo omenili smo analizirali tudi dolžino kolon in čakalnega časa v kolonah. Rezultati so podani v naslednjih tabelah:

Tabela 5: Dolžine kolon

<i>Situacija</i>	<i>Dolžina kolone [m]</i>
<i>Osnovno stanje</i>	25
<i>Zaprta Koroška cesta</i>	26
<i>Zaprta Koroška cesta in Lent</i>	≤ 31
<i>Nova cesta</i>	23

Primerjava dolžine kolon nam poda podobno končno sliko, kot nam jo je podala analiza povprečnih časov potovanj. Zaprtje Koroške ceste ne prinese drastičnega povečanja dolžine kolon, kar sovpada z relativno majhnim povečanjem časov potovanja. Dolžine kolon so se povečale za 4 %. Zapora Koroške ceste in Lenta drastično poslabša prometno situacijo. V tem primeru je povečanje dolžine kolone približno 20 % (primerjava z osnovnim stanjem). Izgradnja nove ceste, ki sledi našim osnovnim zahtevam bi občutno izboljšala stanje v primerjavi ne le s situacijo zaprte Koroške ceste in Lenta (≤ 26 % zmanjšanje), ampak tudi s situacijo osnovnega stanja (≤ 8 % zmanjšanje).

Opomba: Dolžina kolone v situaciji zaprte Koroške ceste in Lenta je zapisana z več kot ali enako 32 m. Takšna posebnost je posledica omejitve MS Excel, ki prikazuje zgolj okoli 1 000 000 vrstic. Podatkovni niz je bil prevelik za pravilno prikazovanje, zato je prikazal zgolj največje možno število vrstic. Podan rezultat je povprečje vseh podatkov, ki jih Excel lahko prikaže. Glede na analize števila zastojev in čakalnega časa lahko z zagotovostjo trdimo, da je število lahko le večje. Tako nam pomanjkljivi podatkovni niz ne izpodbije podanega sklepa.



Graf 2: Povprečna dolžina kolon.

4 ZAKLJUČEK

V raziskovalni nalogi smo se lotili simulacije cestnega omrežja dela mesta Maribor. Pri tem smo uporabljali programski paket SUMO, ki nam je omogočil uspešno simulirati dano območje. Ustvarili smo popolnoma delujoč model cestnega omrežja, ki bi se lahko uporabljal v mnogih drugih raziskavah. Prva hipoteza (**hipoteza 1**) naloge je z gotovostjo potrjena. Prav tako smo izpolnili enega izmed naših osnovnih ciljev; predstaviti način izdelave simulacije in uporabe takšne metodologije v namen prometnih raziskav. Menimo, da je eden najpomembnejših zaključkov te naloge prav uporabnost metodologije računalniške simulacije s SUMO programskim okoljem pri načrtovanju prometnih odločitev.

Povprečen čas potovanja (povprečen čas v sistemu) se je izkazal kot ustrezen kazalec prometnih zastojev, saj so bili rezultati jasno izraženi, njihova interpretacija se je izkazala kot netežavna. V nalogi smo upoštevali še kazalec povprečne dolžine kolon, ki se je popolnoma skladal z rezultati časov potovanj. **Hipoteza 2** je bila brez dvoma potrjena.

Predpostavljali smo, da bo zaprtje Koroške ceste privedlo do drastičnega zmanjšanja prometnega pretoka v mestu. **Hipoteza številka 3** je bila le delno potrjena. Povprečen čas potovanja se je povečal, vendar je bilo povečanje relativno majhno, vsekakor manjše od naših pričakovanj. Rezultati, ki so v nasprotju s prevladujočim mišljenjem, so mnogokrat prehitro razveljavljeni. Avtorji naloge trdno stojimo za prikazanimi rezultati. Prav tako trdimo, da so rezultati pravilno interpretirani in so niso odvisni od človeških napak v metodološkem postopku. Kljub temu avtorji spodbujamo nastanek raziskav, ki bi poskušale dokazati nasprotno. Ob tem je ključno omeniti, da je bila **Hipoteza številka 3** ovržena (oziroma delno potrjena) s strani mestne uprave, ki je neodvisno od predstavljene raziskave zaprla Koroško cesto, kar je omogočilo, da smo se lahko na lastne oči prepričali o dejanskem vplivu zaprtja. Avtorjem očitna opažanja predstavljajo trden dokaz o pravilnosti rezultatov.

Zaprtje Koroške ceste in Lenta hkrati bi privedlo do relativno velikega povečanja prometnega pretoka. Kot je bilo omenjeno v osrednjem delu naloge, nam podatki sami zase ne podajo bistvene informacije. Časa potovanja nismo mogli primerjati s podatki o času potovanja, ki bi

ga določili s terenskim merjenjem in opazovanjem, splošno sprejetim kot sprejemljivim. S težavo lahko trdimo, da bi bilo cestno omrežje s podanimi čakalnimi časi popolnoma neuporabno, vendar pa smo s primerjavo rezultatov simulacije obstoječega stanja dokazali občutno povečanje. Zaprtje Koroške ceste in Lenta morda ne bo popolnoma preobremenilo prometne mreže mesta, vendar bo stanje občutno poslabšalo (**Hipoteza 4** je potrjena). Namen naloge namreč ni upravičiti omenjenega infrastrukturnega posega, temveč izboljšati prometno situacijo mesta.

Izboljšava prometne situacije naj bi v osnovi temeljila na restrikciji prometa v mestnem jedru, kar bi ljudi privedlo do uporabe alternativnih virov mobilnosti. Takšno mišljenje je sicer pravilno, vendar ne opraviči pomanjkljivo preiščenega cestnega sistema. Menimo, da morajo iti inovacije na področju konvencionalnih kot tudi alternativnih načinov mobilnosti z roko v roki. Predlagali smo izgradnjo nove cestne povezave. Treba je upoštevati, da je opisan predlog nastal na podlagi želje po izboljšanju stanja simulacijskega modela. Predlagana rešitev resnično zmanjša povprečen čas premikanja od točke A do točke B, vendar je rešitev preizkušena le v simulacijskem modelu. **Hipoteza številka 5** je potrjena, saj se hipoteza navezuje na predstavljen simulacijski model mesta. Analiza je pokazala pozitivne učinke takšnega posega, vendar pa bi bilo smiselno o izgradnji nove ceste analizirati še druge odločilne dejavnike, česar se avtorji naloge popolnoma zavedamo.

5 DRUŽBENA ODGOVORNOST

5.1 Uvod

Evropska komisija je družbeno odgovornost podjetij (Corporate social responsibility – CSR) opredelila kot koncept, po katerem podjetja v svoje poslovne dejavnosti in odnose z interesnimi skupinami prostovoljno vključujejo družbena in okoljska vprašanja. Pri družbeni odgovornosti podjetij gre za ukrepe podjetij, ki presegajo njihove pravne obveznosti do družbe in okolja. Pri družbeni odgovornosti ne gre le za obveznost podjetij, kot pravnih oseb, vendar za obveznost vseh posameznikov, ki soodločajo o prihodnosti. Vsi sestavljamo skupine, svet, zato moramo odgovorno, to je brez zlorabe in škodovanja, delovati v odnosu do: naravne, soljudi, dela/učenja, skupnosti (Evropska komisija, 2011).

5.2 Spoštovanje človekovih pravic, mednarodnih norm in vladavine prava

Pravica do zdravega in varnega življenjskega okolja je ena izmed temeljnih človekovih pravic, zapisanih v ustavi številnih držav, tudi v slovenski. Postaja mednarodno prepoznana kot pravica do življenja, pravica do spoštovanja zasebnega in družinskega življenja ter pravica dostopa do informacij javnega značaja in do obveščeniosti. Okolje je naš dom, vendar zanj ne skrbimo najboljše. S čedalje pogostejšimi nepremišljenimi posegi usodno kratimo kakovost zraka, vode in zemlje, s tem pa vplivamo na zdravje ljudi in živali ter kakovost pridelane hrane.

Promet je pomemben okoljski onesnaževalec, zato je pomembno, da promet razvijamo in nadgradujemo v skladu s smernicami varovanja okolja. Promet postaja vse bolj odločujoč faktor primernosti življenjskega prostora v številnih svetovnih mestih. Zapiranje določenih delov mest za promet oziroma kakršna koli druga metoda reduciranja prometne prezasedenosti ima veliko potencialno moč, da spremeni potek razvoja mest. V nalogi se nismo osredotočali predvsem na zmanjšanje količine emisij, čeprav smo to tudi dosegli. Naša primarna naloga je bila implementacija prometnih inovacij, ki bi izboljšala podobo mesta. Izboljšana podoba mesta bi vključevala tudi kopico okoljskih izboljšav, ki bi bile skladne z

izboljšanim prometnim sistemom. Premestitev območja povečanih zastojev in posledično povečanih izpustov iz mestnih središč ter njihova razporeditev občutno povečata privlačnost mestnega jedra in mesta nasploh. Naša raziskava se je osredotočala predvsem na izboljšanje mestne mobilnosti po vzoru pametnih mest. Naziva pametnega mesta pa si mesto ne pridobi zgolj s pametnim transportnim sistemom, temveč tudi z inovacijami in izboljšavami na drugih področjih. Želja avtorjev naloge je podati konkreten predlog za izboljšanje podobe mesta Maribor, prav tako pa želimo spodbuditi druge avtorje, tako s predstavitvijo metode kot tudi z nalogo samo, da po vzoru naše raziskave oblikujejo svoje predloge, tako na področju mobilnosti kot tudi na vseh ostalih področjih.

Avtorji naloge želimo poudariti, da namen izgradnje nove cestne povezave ni bil zmanjšati morebitnih negativnih učinkov zaprtja določenih cestnih povezav. Avtorji trdimo, da je omejitev cestnega prometa pravi korak k varnejšim in okolju prijaznejšim mestom. Naloga našega predloga ni bila in nikoli ne bo (to velja tudi za podobne primere prometne restrikcije) povrniti prometne slike v stanje, ki ga danes smatramo kot sprejemljivo. Kljub morebitni nesmiselnosti bi bili negativni učinki cestnih zapor spremenljivi, zmanjšati pa bi se morali s pomočjo izbire alternativnih modalitet prevoza.

5.3 Obeti za prihodnost

Konec lanskega oktobra začeta prenova Glavnega trga in Koroške ceste se počasi zaključuje, vendar kot kaže trenutno, vsa dela ne bodo končana v pogodbenem roku. Sprva je bilo predvideno, da bo tudi po prenovi promet po Glavnem trgu in Koroški cesti potekal dvosmerno, a s hitrostnimi omejitvami (20 km/h) in možnostjo zaprtja ceste ob posebnih priložnostih. Glede na aktualno poročanje očitno ne bo tako. Tako Glavni trg, kot del Koroške do Strossmajerjeve bosta tlakovana v enem nivoju, ki bo omogočal tako imenovan "shared space"; torej območje, ki si ga delijo pešci, kolesarji, javni mestni potniški promet in vozila z dostavne službe. Na srečo se je zaradi številnih okoliščin v zadnjih mesecih zgodil cel spekter eksperimentov, od zaprtja v času zimskih počitnic, do časa, ko so vsi v službah in delajo, pa do ustavitve ob koronavirusu. Poudariti želimo, da se avtorji s takšnim predlogom strinjamo. Tudi sami smo razmišljali o implementaciji t. i. deljenega prostora. Na podlagi neuradnih pogovorov z nekaterimi projektnimi svetovalci naj bi bila takšna ureditev, zaradi pogojev EU za sofinanciranje projekta, sprejeta že mnogo prej. Veseli nas, v kolikor to tudi drži, da EU narekuje smernice videza mestnih središč, ki sovпада z našo vizijo modernih mest (restrikcije prometa v mestnih središčih).



Slika 14: Izgled Glavnega trga po prenovi. Vir: <https://static.vecer.com/images/slike/2020/04/08/7821870.jpg>

6 VIRI

- BALANT, M., ĐURIĆ, A., KLEMENČIČ, M., KUKOVEC, M., KUZMANIČ, A., Lep, M., . . . Rotar, J. (2015). *Celostna prometna strategija mesta Maribor*. Maribor: Mestna občina Maribor.
- DLR. (2019). *Institute of Transportations systems*. Pridobljeno iz DLR: https://www.dlr.de/ts/en/desktopdefault.aspx/tabid-9883/16931_read-41000/
- Evropska komisija. (2011). Obnovljena strategija EU za družbeno odgovornost podjetij za obdobje 2011–14. *SPOROČILO KOMISIJE EVROPSKEMU PARLAMENTU, SVETU, EVROPSKEMU EKONOMSKO-SOCIALNEMU ODBORU IN ODBORU REGIJ*. Bruselj.
- Hedin, J., & Kompfner, P. (1999). *Intelligent City Transport – ITS Planning Handbook*.
- kapsch. (2020). Tallinn Access Management Feasibility Study. *kapsch trafficcom ag*. Austria.
- Krajzewicz, D. (2010). *Traffic Simulation with SUMO – Simulation of Urban Mobility*. In J. Barceló (Ed.), *Fundamentals of Traffic Simulation* (pp. 269–294). Springer.
- Krajzewicz, D., Hertkorn, G., Wagner, P., & Rössel, C. (Berlin). *SUMO (Simulation of Urban MObility) An open-source traffic simulation*. 2019: DLR Institute of Transportations Research.
- Leihs, D. (2019). *From low emission zones to low green house gas zones*. Dunaj.
- Leihs, D. (2019). *Urban low emission zones-environmental policy with civic participation?* Dunaj.
- Lopez, P., Behrisch, M., Laura Bieker-Walz, Jakob Erdmann, Yun-Pang Flötteröte, Bieker-Walz, L., Erdmann, J., Flötteröd, Y.-P., . . . Rummel, J. (2018). *Microscopic Traffic Simulation using SUMO*. Hawaii: DLR Institute of Transportations systems.
- OECD/ECMT. (2007). *Managing urban traffic congestion*. Francija.
- Slovenije, S. u. (2019). *Osebe s prijavljenim stalnim prebivališčem v Republiki Sloveniji po petletnih starostnih skupinah in spolu, občine, Slovenija, polletno*. Pridobljeno iz https://pxweb.stat.si/SiStatDb/pxweb/sl/10_Dem_soc/10_Dem_soc__05_prebivalstvo__50_05V10_osebe_stalno_prebivalisce/05V1006S.px/table/tableViewLayout2/
- SUMO. (September 2019). *Tutorials/OSMWebWizard*. Pridobljeno iz SUMO: <https://sumo.dlr.de/docs/Tutorials/OSMWebWizard.html>

- TIC Maribor . (2019). *Glavni trg v Mariboru*. Pridobljeno iz Maribor:
<https://www.visitmaribor.si/si/kaj-poceti/znamenitosti/4978->
- Wangel, J., & Höjer, M. (2014). *Smart Sustainable Cities Definition and Challenges*. Stockholm:
KTH Royal Institute of Technology,.
- Wangel, J., & Höjer, M. (2014). *Smart Sustainable Cities: Definition and Challenge*. Springer.
- Wikipedija. (2005). *Lent*. Pridobljeno iz Wikipedija: <https://sl.wikipedia.org/wiki/Lent>
- Zhang, X., Sheng, H., Rong, W., & Cooper, D. (December 2012). Intelligent transportation systems for smart cities: a progress review. *55(12)*, str. 2908–2914.