



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

ÚSTAV SOUDNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF FORENSIC ENGINEERING

ODBOR ZNALECTVÍ VE STROJÍRENSTVÍ, ANALÝZA DOPRAVNÍCH NEHOD A OCEŇOVÁNÍ MOTOROVÝCH VOZIDEL

DEPARTMENT OF EXPERTISE IN MECHANICAL ENGINEERING, ANALYSIS OF TRAFFIC ACCIDENTS AND
VEHICLE ASSESSMENT

MODELOVÁNÍ SILNIČNÍHO PROVOZU VE VYBRANÉ LOKALITĚ

ROAD TRAFFIC MODELLING IN THE SELECTED LOCATION

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Tomáš Chudják

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Pavel Maxera, Ph.D.

BRNO 2025

Zadání diplomové práce

Student:	Bc. Tomáš Chudják
Studijní program:	Expertní inženýrství v dopravě
Studijní obor:	bez specializace
Vedoucí práce:	Ing. Pavel Maxera, Ph.D.
Akademický rok:	2024/25
Ústav/odbor:	Odbor znalectví ve strojírenství, analýza dopravních nehod a oceňování motorových vozidel

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Modelování silničního provozu ve vybrané lokalitě

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce se bude zabývat problematikou dopravního modelování. V práci bude zpracována literární rešerše současného stavu poznání dané problematiky a popis vybrané lokality vč. zjištění intenzit provozu v různých částech dne či časových obdobích, vymezení problematických úseků apod. Na základě získaných dat bude vytvořen model dopravní infrastruktury a budou provedeny simulace skutečného stavu. Následně budou pro zabezpečení plynulosti a bezpečnosti silničního provozu navrženy změny dopravní infrastruktury, pro tyto varianty budou vytvořeny upravené modely a provedeny simulace pro posouzení jejich vhodnosti. U jednotlivých variant řešení bude zvažován rovněž výskyt neočekávaných událostí, např. vznik dopravní nehody.

Cíle diplomové práce:

Cílem práce bude za využití simulačního modelování provést analýzu silničního provozu ve vybrané lokalitě, vymežit problematické úseky a navrhnout vhodné změny dopravní infrastruktury pro zabezpečení plynulosti a bezpečnosti silničního provozu.

Seznam literatury:

JANÍČEK, Přemysl. Systémová metodologie: brána do řešení problémů. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2014. ISBN 978-80-7204-887-8.

SARJOUGHIAN, Hessam S. and François E. CELLIER, ed. Discrete Event Modeling and Simulation Technologies [online]. New York, NY: Springer New York, 2001. ISBN 978-1-4419-2868-9. DOI:10.1007/978-1-4757-3554-3.

BORSHCHEV A. and I. GRIGORYEV. The Big Book of Simulation Modeling: Multimethod Modeling with AnyLogic 8. AnyLogic, 2020. Available from: <https://www.anylogic.com/resources/books/big-book-ofsimulation-modeling/>.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2024/25

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Bc. Marek Semela, Ph.D.
vedoucí odboru

prof. Ing. Karel Pospíšil, Ph.D., LL.M.
ředitel

Abstrakt

Táto diplomová práca sa zaoberá analýzou a modelovaním cestnej dopravnej infraštruktúry vo vybranej lokalite s dôrazom na problematiku križovatiek. Cieľom je identifikovať kritické body dopravy a navrhnúť efektívne riešenia prostredníctvom simulačných nástrojov. V práci je vykonaná podrobná analýza súčasného stavu, využívajú sa slovenské a české technické normy, a sú porovnávané rôzne typy križovatiek – svetelne riadené, okružné a mimoúrovňové. Hlavným výstupom je tvorba simulačných modelov v prostredí AnyLogic, ktoré umožňujú testovanie navrhnutých riešení s cieľom zlepšiť plynulosť a bezpečnosť dopravy. Výsledky simulácií poukazujú na možné optimalizačné zásahy, ktoré môžu byť implementované v praxi.

Abstract

This thesis focuses on the analysis and modeling of road transport infrastructure in a selected area, with emphasis on intersection-related issues. The aim is to identify critical traffic points and propose effective solutions using simulation tools. The work includes a detailed analysis of the current situation, applies Slovak and Czech technical standards, and compares various types of intersections – signal-controlled, roundabouts, and grade-separated. The main outcome is the creation of simulation models in AnyLogic, which allow testing of proposed solutions to improve traffic flow and safety. The simulation results highlight potential optimization strategies that can be implemented in practice.

Klíčová slova

doprava, modelovanie, križovatka, simulácia, AnyLogic

Keywords

traffic, modeling, intersection, simulation, AnyLogic

Citace elektronického zdroje:

CHUDJÁK, Tomáš. *Modelování silničního provozu ve vybrané lokalitě*. Online, diplomová práce. Pavel MAXERA (vedoucí práce). Brno: Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, 2025. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/161362>. [cit. 2025-05-25].

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Modelování silničního provozu ve vybrané lokalitě jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně

.....

Bc. Tomáš Chudják

Podakovanie

Na tomto mieste by som rád poďakoval v prvom rade vedúcemu mojej diplomovej práce, pánovi Ing. Pavlovi Maxerovi, Ph.D., za jeho odborné vedenie, cenné rady a konzultácie, ktoré mi pomohli počas celej realizácie tejto práce.

Zároveň by som sa chcel úprimne poďakovať svojim rodičom za ich neustálu podporu, povzbudenie a trpezlivosť počas celého štúdia.

OBSAH

OBSAH.....	13
1 ÚVOD	15
2 ANALÝZA SÚČASNÉHO STAVU.....	16
2.1 Technické normy súvisiace s návrhom pozemných komunikácií.....	16
2.2 Cestná dopravná infraštruktúra.....	21
2.2.1 Pozemná komunikácia	22
2.3 Križovatky	24
2.4 prevádzka na pozemných komunikáciách.....	27
2.4.1 Miestna úprava prevádzky na pozemných komunikáciách v obciach	28
2.4.2 Obmedzenie plynulosti prevádzky na pozemných komunikáciách	28
2.5 Analýza prác zameraných na modelovanie v oblasti dopravy	29
2.5.1 Rozdelenie štúdií.....	30
2.5.2 Grafické znázornenie	32
2.6 Zhrnutie analýzy súčasného stavu.....	34
3 FORMULÁCIA PROBLÉMOV A STANOVENIE CIEĽOV RIEŠENIA.....	35
4 POUŽITÉ METODY A ICH ODÔVODNENIE	36
5 ANALÝZA METÓDY RIEŠENIA	37
5.1 Modelovanie dopravy	37
5.2 Druhy Simulácií.....	37
5.3 Simulačný nástroj	39
5.3.2 Library AnyLogic	39
6 VLASTNÉ RIEŠENIE	41
6.1.1 Výber lokality.....	41
6.2 Vstupné parametre	49
6.3 Tvorba modelu aktuálneho stavu	51
6.3.1 Križovatka č.1.....	51
6.3.2 Križovatka č.2.....	52
6.3.3 Križovatka č.3.....	54
6.4 Varianty riešení.....	56
6.4.1 Návrh svetelnej signalizácie križovatky č.1.....	56
6.4.2 Výstavba okružnej križovatky z križovatky č.1	57
6.4.3 Výstavba dvojprúdovej okružnej križovatky z križovatky č.1	58
6.4.4 Atypická okružná križovatka z križovatky č.2.....	59

6.4.5	Návrh svetelnej signalizácie križovatky č.2.....	60
6.4.6	Mimo úrovňová križovatka č.3.....	62
7	DOSIAHNUTÉ VÝSLEDKY	64
7.1	Grafické zobrazenie výsledkov	65
7.1.1	Križovatka č.1	65
7.1.2	Križovatka č.2.....	66
7.1.3	Križovatka č.3.....	67
8	ANALÝZA VÝSLEDKOV RIEŠENIA.....	69
9	ZÁVER	71
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	72
	ZOZNAM ZDROJOV V TABULKE	75
	ZOZNAM PRÍLOH.....	77
	ZOZNAM GRAFOV	78
	ZOZNAM OBRÁZKOV	78
	ZOZNAM TABULIEK.....	79

1 ÚVOD

Doprava je neoddeliteľnou súčasťou modernej spoločnosti, pričom výrazne ovplyvňuje každodenný život ľudí a celkovú hospodársku výkonnosť krajín. S rastúcou urbanizáciou, nárastom počtu obyvateľov a zvyšujúcim sa množstvom vozidiel na cestách sa dopravná infraštruktúra stretáva s množstvom výziev. Medzi najväčšie problémy patrí vznik dopravných zápch, zvýšené množstvo emisií spôsobených stagnujúcou premávkou, časové straty a riziká spojené s dopravnou bezpečnosťou. Riešenie týchto problémov si vyžaduje systematický a dôsledný prístup, ktorý dokáže identifikovať kritické miesta a navrhnúť efektívne opatrenia.

V posledných rokoch sa technológie zamerané na modelovanie a simuláciu stali neoddeliteľnými nástrojmi pri navrhovaní a zlepšovaní dopravnej infraštruktúry. Tieto metódy umožňujú analyzovať aktuálne podmienky v doprave, predvídať jej budúci vývoj a testovať rôzne alternatívne riešenia. Ich cieľom je zlepšiť plynulosť dopravy, obmedziť dopravné zápchy a zvýšiť úroveň bezpečnosti. Využitie dopravných modelov poskytuje dôležité podklady pre rozhodovanie a plánovanie, či už ide o návrh križovatiek, reguláciu premávky alebo výstavbu novej infraštruktúry.

Táto práca je zameraná na analýzu a modelovanie dopravnej situácie vo vybranej lokalite. Cieľom je identifikovať kritické body, ktoré negatívne ovplyvňujú plynulosť a bezpečnosť premávky. Práca sa sústreďuje na tvorbu dopravných modelov, ktoré budú zahŕňať parametre, ako sú hustota dopravy, priechody chodcov a časy signalizácie na križovatkách. Na základe týchto modelov budú navrhnuté vhodné riešenia, ktoré budú overené pomocou validačných a verifikačných metód.

Výstupom tejto práce je preskúmanie možností a návrh riešení prostredníctvom simulácií, ktoré majú tendenciu minimalizovať vznik problémov v doprave a zároveň rešpektujú normy a požiadavky na dopravnú infraštruktúru. Výsledky tejto práce môžu poslúžiť ako základ pre ďalšie plánovanie dopravných stratégií v danej lokalite a môžu byť aplikovateľné aj v iných oblastiach s obdobnými problémami.

2 ANALÝZA SÚČASNÉHO STAVU

Analýza súčasného stavu sa zameriava na hodnotenie plynulosti a bezpečnosti cestnej premávky na vybraných križovatkách. Pozornosť je venovaná identifikácii dopravných problémov, ktoré ovplyvňujú každodenný chod dopravy a predstavujú potenciálne úzke miesta v infraštruktúre. Súčasťou analýzy je aj porovnanie slovenských a českých technických noriem týkajúcich sa návrhu a prevádzky križovatiek. Toto porovnanie umožňuje identifikovať legislatívne odlišnosti a zároveň čerpať inšpiráciu z osvedčených riešení.

V závere kapitoly sa rozoberajú jednotlivé typy križovatiek, ktoré sa v území nachádzajú alebo sú zvažované ako alternatívne riešenia. Hodnotí sa ich vplyv na plynulosť premávky, bezpečnosť účastníkov a prevádzkovú efektívnosť. Týmto spôsobom sa vytvára prehľad o možných štrukturálnych a organizačných úpravách v dopravných uzloch.

2.1 TECHNICKÉ NORMY SÚVISIACE S NÁVRHOM POZEMNÝCH KOMUNIKACÍ

Slovenské technické normy

Slovenské technické normy sa zameriavajú na kľúčové technické normy, ktoré sú nevyhnutné pre správne projektovanie miestnych pozemných ciest a zároveň pre návrh križovatiek v rámci Slovenska. Tieto normy predstavujú rámec, ktorý zabezpečuje kvalitu, bezpečnosť a efektívnosť dopravnej infraštruktúry na území krajiny, pričom kladú dôraz na dodržiavanie stanovených predpisov a noriem, ktoré sú platné pre projektovanie ciest a križovatiek.

STN 73 6102 Projektovanie miestnych ciest

Norma STN 73 6102 sa zaoberá návrhom a usporiadaním cestnej infraštruktúry a križovatiek, pričom definuje rôzne technické parametre a odporúčania týkajúce sa úrovňových križovatiek. Zabezpečuje vhodné usmernenie dopravných prúdov, minimalizáciu nebezpečných situácií a efektívne využitie dostupného priestoru. [1]

V rámci návrhu úrovňových križovatiek sa kladie dôraz na zabezpečenie dostatočného rozhľadu na cestách, vrátane rozhľadu na zastavenie a predchádzanie, a to najmä v smerových oblúkoch. Norma definuje minimálne polomery smerových oblúkov pre rôzne kategórie ciest, pričom sa zohľadňuje aj dostredný sklon a klopenie jazdných pásov. Pri návrhu križovatiek sa berú do úvahy aj ďalšie faktory ako prechodnice, vzostupnice a zostupnice, odvodnenie ciest, a uhol križovania, ktorý ovplyvňuje bezpečnosť a plynulosť dopravy. [1]

Dôležitou súčasťou návrhu je aj určenie hraníc a oblasti križovatky, ako aj vzájomná vzdialenosť medzi križovatkami. Norma sa zameriava na optimálne členenie križovatiek, pričom umožňuje výber vhodného typu križovatky podľa konkrétnych podmienok. V rámci usporiadania križovatiek sa zabezpečuje efektívne usmernenie dopravných prúdov, pričom sa zohľadňujú aj priebežné jazdné pruhy, ktoré sú kľúčové pre plynulý a bezpečný pohyb vozidiel. [1]

Tab. č. 1: Najmenšie polomery zaoblenia nárožia úrovňových križovatiek ciest podľa druhu vozidla (zdroj:[1])

Základné skupiny vozidiel	Minimálny polomer	Minimálny odporúčaný polomer
Vozidlá s max. dĺžkou 9,0 m - osobné a dodávkové automobily, malé autobusy	4,0	8
Vozidlá s max. dĺžkou 12,0 m - veľké nákladné automobily a prípojné vozidlá (okrem návesov), linkové autobusy s 2 nápravami	8,0	12,0
Vozidlá s max. dĺžkou 16,5 m - súpravy ťahača s návesom autobusy s 2, 3 a viac nápravami	9,0	15,0
Vozidlá s max. dĺžkou 19,0 m - súpravy motorového vozidla s 1 prívesom		
Vozidlá s max. dĺžkou 22,0 m - súpravy motorového vozidla s 2 návesmi, s 2 prívesmi alebo s návesom a prívesom	13,0	17,0

STN 73 6110 Projektovanie miestnych ciest

Norma STN 73 6110 sa zaoberá návrhom a usporiadaním miestnych ciest, ktoré sú kľúčové pre zabezpečenie dopravnej obsluhy územia a podporu rôznych druhov dopravy. V rámci tejto normy sa definuje základné rozdelenie miestnych ciest do funkčných skupín, ktoré zohľadňujú ich úlohu v dopravnej sieti a typy dopravy, ktoré sú pre ňu prioritné. [2]

Dopravná obsluha územia je riadená podľa základných zásad, ktoré zahŕňajú správne rozdelenie dopravy na rôzne druhy, ako je individuálna automobilová doprava, verejná doprava a pešia doprava. Zohľadňuje sa aj dostupnosť územia, pričom sa kladie dôraz na efektívnosť a prístupnosť pre všetkých účastníkov cestnej premávky. [2]

Norma tiež stanovuje zásady pre návrh chodníkov, pričom sa dbá na kapacitu chodníkov a kvalitu pohybu chodcov. Je potrebné zabezpečiť dostatočnú šírku chodníkov a plynulý pohyb, čo prispieva k pohodliu chodcov. V oblasti verejnej dopravy sa berie do úvahy preferencia MHD, aby sa podporil efektívny a udržateľný spôsob dopravy v mestských oblastiach. K tomu sa pridáva aj návrh cyklochodníkov a podpora cyklistickej dopravy, čo umožňuje bezpečný a pohodlný pohyb cyklistov po meste. [2]

Mestská zeleň zohráva významnú úlohu v kvalite života v mestských oblastiach, a preto norma zahŕňa aj usmernenia pre jej integráciu do dopravnej infraštruktúry. V tomto kontexte sa vytvárajú aj pešie zóny, ktoré umožňujú bezproblémový pohyb chodcov v oblastiach s vysokou koncentráciou osôb. [2]

Rovnaký dôraz sa kladie aj na návrh obytných ulíc, ktoré sú navrhované tak, aby zabezpečovali bezpečný a komfortný pohyb všetkých účastníkov cestnej premávky, a to so zohľadnením špecifických potrieb obyvateľov a okolitého prostredia. [2]

STN 73 6114 Vozovky pozemných komunikácií. Základné ustanovenia pre navrhovanie

Norma STN 73 6114 sa zaoberá triedením dopravného zaťaženia (TDZ) vozoviek na základe celoročného priemerného počtu prejazdov ťažkých nákladných vozidiel. Tento systém triedy dopravného zaťaženia je kľúčový pri návrhu vhodnej konštrukcie vozovky, pretože umožňuje zohľadniť intenzitu a charakter dopravy, ktorá ovplyvňuje životnosť a pevnosť cestnej infraštruktúry. [3]

V norme je uvedená tabuľka (Tab. č. 2), ktorá definuje jednotlivé triedy vozoviek podľa dopravného zaťaženia. Triedy sú kategorizované na základe počtu ťažkých nákladných vozidiel, ktoré prejdú konkrétnym úsekom vozovky počas celého roka. Tieto údaje sú nevyhnutné na správne dimenzovanie a návrh konštrukcie vozovky, ktorá musí vydržať zaťaženie vyplývajúce z prevádzky nákladných vozidiel. [3]

Triedy dopravného zaťaženia sú dôležité pri rozhodovaní o použitých materiáloch, šírke a hrúbke vozovky, ako aj ďalších technických parametroch, ktoré zabezpečujú jej odolnosť a dlhodobú funkčnosť. Táto kategorizácia pomáha projektantom prispôbiť návrh konkrétnym podmienkam, čím sa znižuje riziko predčasného opotrebovania vozovky a zvyšuje sa jej bezpečnosť a komfort pre účastníkov cestnej premávky. [3]

Tab. č. 2: Triedenie vozoviek podľa veľkosti dopravného zaťaženia (STN 73 6114) (zdroj [3])

Trieda dopravného zaťaženia	Charakteristika zaťaženia	Celoročný priemer počtu prejazdov ťažkých nákladných vozidiel v oboch smeroch za 24 h (podľa sčítania dopravy) TNV	Orientačné špecifikácie pozemnej komunikácie
I.	veľmi ťažké	>3500	diaľnice, rýchlostné cesty, miestne rýchlostné komunikácie
II.	ťažké	1501 až 3500	
III.	poloťažké	501 až 1500	cesty I. triedy, cesty II. Triedy, zberné miestne komunikácie
IV.	stredné	101 až 500	
V.	ľahké	15 až 100	cesty III. Triedy, obslužné, miestne, účelové a nemotoristické komunikácie, odstavné, parkovacie a dopravné plochy
VI.	veľmi ľahké	<15	

České technické normy

Podkapitola České technické normy sa zameriava na technické normy, ktoré poskytujú podobné alebo zhodné informácie o pozemných komunikáciách ako normy uvedené v podkapitole Slovenské technické normy. Tieto normy predstavujú dôležitý základ pre navrhovanie a hodnotenie cestnej infraštruktúry, pričom zohľadňujú špecifiká dopravy v Českej republike.

ČSN 73 6101 Projektovanie ciest a diaľnic

Norma ČSN 73 6101 upravuje návrh a usporiadanie pozemných komunikácií v Českej republike, pričom zahŕňa viaceré kľúčové technické požiadavky. Norma stanovuje šírkové usporiadanie pre každú kategóriu ciest a diaľnic, pričom zohľadňuje požiadavky na bezpečnosť a plynulosť dopravy. Definuje najmenšie dovolené polomery smerových kruhových oblúkov a výškových oblúkov, čím zabezpečuje plynulý a bezpečný pohyb vozidiel aj v náročných terénnych podmienkach. [11]

Uvedená technická právna norma zrušila samostatný vodiaci prúžok pri smerovo nerozdelených komunikáciách a jeho šírku začlenila do šírky spevnenej krajnice. Vnútorňý vodiaci prúžok bol premenovaný na spevnenú časť krajnice. [11]

Súčasťou normy je aj určenie dĺžky rozhľadu potrebnej na zastavenie a na predchádzanie, čo prispieva k zlepšeniu bezpečnosti cestnej premávky. Okrem iného predpisuje maximálny pozdĺžny sklon vozoviek a pravidlá pre klopenie vozoviek, čím zabezpečuje stabilitu vozidiel a komfort vodičov v zákrutách a na svahoch. [11]

ČSN 73 6110 Projektovanie miestnych komunikácií

Norma ČSN 73 6110 sa zaoberá projektovaním miestnych komunikácií a poskytuje podrobné usmernenia pre ich návrh a využitie. Pri miestnych komunikáciách sa vodiaci pruh stále uplatňuje ako samostatný prvok. Norma delí miestne komunikácie do funkčných skupín (A, B, C, D) a stanovuje ich šírkové a ďalšie parametre, ako aj spôsob ich použitia. [12]

Dôraz je kladený na bezpečnosť prevádzky, pričom zahŕňa opatrenia pre ochranu chodcov, cyklistov, priechody pre chodcov a odstavné miesta. Výkonnosť miestnych komunikácií funkčnej skupiny B (miestne zberné) je určená kapacitou križovatiek, zatiaľ čo pri funkčnej skupine C sa výkonnosť neurčuje. [12]

Norma tiež zavádza pojem bezpečnostného odstupu, ktorý predstavuje šírkový prvok, do ktorého nesmú zasahovať ani byť osadzované žiadne zariadenia alebo prekážky, s výnimkou zvodidiel. [12]

ČSN 73 6102 Projektovanie križovatiek na pozemných komunikáciách

Norma ČSN 73 6102 je kľúčovým dokumentom pre návrh križovatiek, pričom jej cieľom je zabezpečenie ich bezpečnosti a funkčnosti. Pri návrhu križovatiek je potrebné brať do úvahy tieto aspekty:

- Ľudský činiteľ: správanie účastníkov premávky.
- Dopravné hľadisko: intenzita dopravy a požadovaný stupeň kvality premávky.
- Technické hľadisko: charakter a využívanie príľahlej oblasti, rozhľadové pomery.
- Ekonomické faktory: stavebné náklady, vplyv dostupnosti pozemkov a prevádzkové náklady.

Norma zdôrazňuje bezpečnosť križovatiek, ktorá zahŕňa včasnú postrehnuteľnosť križovatky, prehľadnosť, zrozumiteľnosť organizácie dopravy, dostatočné rozhľady, technickú možnosť prejazdu jednotlivými „paprskami“ a psychologickú jednoznačnosť križovatky. [13]

Norma stanovuje, že vodič prichádzajúci k úrovňovej križovatke musí mať nerušený rozhľad na „paprsky“ križovatky a celú križovátku vrátane dopravného a svetelného značenia. Tento rozhľad má umožniť vodičovi spoznať dopravnú situáciu a urobiť potrebné rozhodnutia na bezpečný prejazd alebo zabránenie nehode. Posúdenie rozhľadu vychádza z povolenej rýchlosti na danom mieste, prípadne zo smerodajnej či meznej rýchlosti, ak si to vyžaduje dopravno-technický stav. Na križujúcich sa komunikáciách v oblasti križovatky musí byť zabezpečený rozhľad na zastavenie. Na vedľajšej komunikácii musí byť umožnený rozhľad na dopravnú značku, ktorá

upravuje prednosť v jazde na hlavnej komunikácii. Ak nie je možné zabezpečiť požadovaný rozhľad pri uvažovanej rýchlosti na hlavnej komunikácii, je možné navrhnúť dopravno-technické opatrenia na zníženie tejto rýchlosti. [13]

Porovnanie slovenských a českých technických noriem

Slovenské a české technické normy sa vo svojich základoch príliš neodlišujú, čo vyplýva z dôvodu, že základy spomenutých noriem vznikali v čase Československa. Vo všeobecnosti sa rozdiely týkajú prevažne špecifických detailov a taktiež rozsahu jednotlivých noriem, pričom české normy sú detailnejšie v prípade projektovania križovatiek a diaľnic, zatiaľ čo slovenské normy sú zamerané na širší rámec pre návrh miestnych ciest a vozoviek.

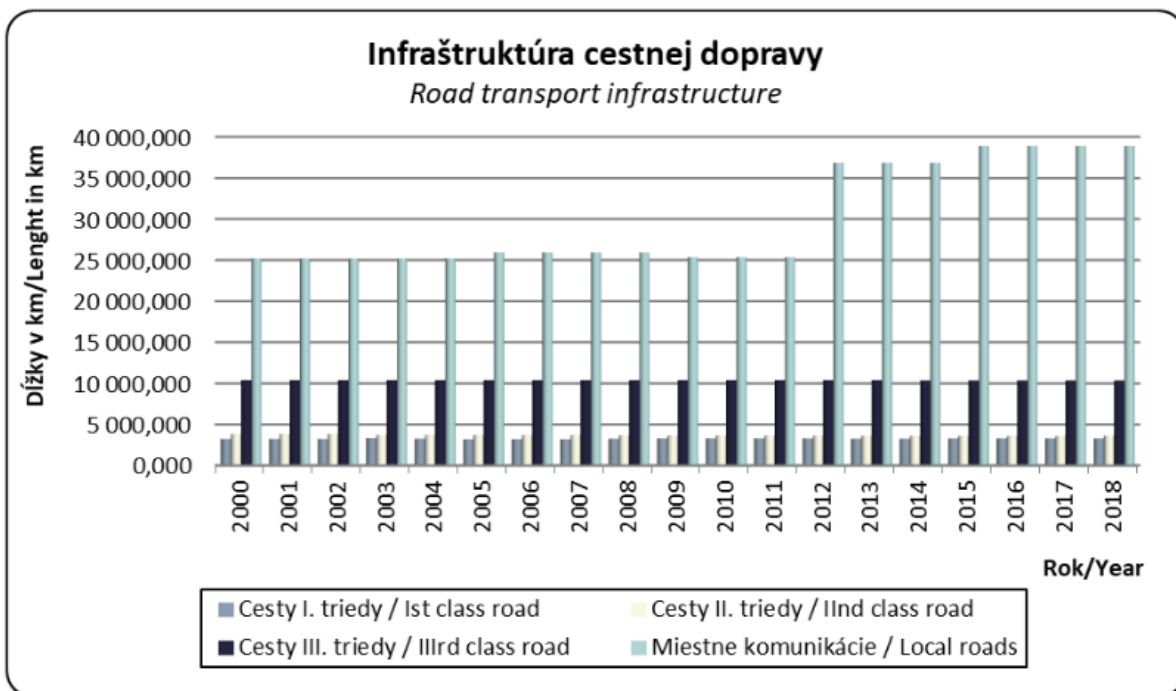
Rozdiely spočívajú najmä:

- Geometrické požiadavky: Obidve krajiny majú podrobné normy, ktoré sa zaoberajú geometrickými požiadavkami, ale české normy sú viac špecializované na rôzne typy križovatiek a diaľnic (ČSN 73 6101), zatiaľ čo slovenské normy sa často zameriavajú na širší kontext vozoviek a miestnych ciest (STN 73 6114, STN 73 6102).
- Projektovanie križovatiek: V Česku je podrobne ošetrené projektovanie križovatiek miestnych ciest (ČSN 73 6110), čo môže byť špecifické pre miestne podmienky. Na Slovensku nie je norma, ktorá by sa výslovne zameriavala na križovatky miestnych ciest, ale je to zahrnuté v širších normách pre projektovanie ciest (napr. STN 73 6110, STN 73 6102).

2.2 CESTNÁ DOPRAVNÁ INFRAŠTRUKTÚRA

Dopravná infraštruktúra predstavuje súhrn komunikácií, technických zariadení a dopravných prostriedkov, ktoré zabezpečujú mobilitu osôb a tovarov. V rámci verejnej infraštruktúry zohráva zásadnú úlohu, keďže priamo ovplyvňuje ekonomickú výkonnosť, kvalitu života obyvateľstva a environmentálnu udržateľnosť.

Podľa technickej normy STN 73 6100 sa pozemné komunikácie klasifikujú na základe ich dopravného významu, funkčného určenia a technického vybavenia. Táto norma definuje kategórie ciest, ako aj požiadavky na ich návrh a prevádzku, čím vytvára rámec pre systematické a bezpečné plánovanie cestnej siete. Umožňuje tak efektívne prispôbenie infraštruktúry aktuálnym i budúcim potrebám dopravy s dôrazom na plynulosť a bezpečnosť cestnej premávky. [26]



Obrázok č. 1: Infraštruktúra cestnej dopravy [25]

2.2.1 Pozemná komunikácia

Podľa definície používanej v rámci Centrálnej technickej evidencie pozemných komunikácií (CTEPK) sa za pozemnú komunikáciu (PK) považuje verejne prístupná cesta, primárne určená na pohyb motorových vozidiel. V bežnej praxi sa pre tieto komunikácie používa aj zjednodušený pojem „cesta“. [26]

Na základe dopravného významu a technických charakteristík sa pozemné komunikácie delia na tri hlavné skupiny:

- diaľnice a cesty,
- miestne cesty,
- účelové cesty.

Kategória diaľnic a ciest slúži predovšetkým pre tranzitnú cestnú dopravu mimo zastavaných území a ďalej sa člení na:

- diaľnice,
- cesty I. triedy,
- cesty II. triedy,

- cesty III. triedy.

Od 1. januára 2017 sa do systému CTEPK zahrňajú aj všetky miestne komunikácie, ktoré sú verejne prístupné pre motorovú dopravu. Miestne cesty zabezpečujú dopravnú obsluhu sídiel a ich funkčných celkov. Podľa urbanisticko-dopravného významu sa ďalej delia na:

- rýchlostné miestne cesty,
- zberné miestne cesty,
- obslužné miestne cesty,
- nemotoristické miestne cesty (ktoré však nie sú súčasťou evidencie CTEPK).

Každá cesta má svoj miestopisný priebeh, ktorý je určený trasovaním od východiskového po koncový bod. Trasa definuje smerový a výškový priebeh cesty, pričom má vždy svoju orientáciu – v smere alebo proti smeru komunikácie, v závislosti od spôsobu jej sledovania. Táto orientácia je rozhodujúca napríklad pri spracovaní technických podkladov, projektovej dokumentácie či riadení dopravného toku. [26]

2.3 KRIŽOVATKY

Križovatky s dopravným značením

Križovatka je podľa § 2 ods. 2 písm. r) zákona č. 8/2009 Z. z. o cestnej premávke definovaná ako miesto, v ktorom sa cesty pretínajú alebo spájajú a je možné po nich pokračovať rôznymi smermi. Tieto miesta sú z hľadiska bezpečnosti a plynulosti cestnej premávky považované za najkritickejšie úseky cestnej siete. [22]

Dopravné značenie na križovatkách, v zmysle § 59 až § 61 tohto zákona a jeho vykonávacích predpisov, plní kľúčovú úlohu pri regulácii pohybu účastníkov premávky. Značky určujú prednosť, upozorňujú na zmeny organizácie dopravy a zvyšujú čitateľnosť dopravnej situácie. Z hľadiska formy sa na križovatkách využívajú predovšetkým zvislé dopravné značky (napr. „Daj prednosť v jazde“, „Stoj, daj prednosť v jazde“) a vodorovné značenie (napr. priechody pre chodcov, stop čiary, vyznačenie jazdných pruhov). Tieto prvky musia byť navrhnuté tak, aby boli včas viditeľné, zrozumiteľné a konzistentné s reálnou geometriou križovatky. [22]

Chybne alebo nejasne aplikované značenie môže viesť k nesprávnemu vyhodnoteniu situácie vodičom, čím sa zvyšuje riziko kolíznych situácií. Efektívne dopravné značenie na križovatkách preto patrí medzi základné nástroje dopravného inžinierstva zamerané na znižovanie nehodovosti a podporu plynulosti premávky. [22]

Svetelne riadená križovatka

Svetelne riadené križovatky predstavujú jeden z najrozšírenejších spôsobov regulácie dopravy v mestskom prostredí. Ich hlavnou úlohou je zabezpečiť bezpečný a plynulý priechod dopravných prúdov v miestach, kde sa ich trajektórie križujú, zbiehajú alebo rozbiehajú.

Podľa § 59 zákona č. 8/2009 Z. z. o cestnej premávke sú účastníci cestnej premávky povinní riadiť sa svetelnou signalizáciou, ktorá má prednosť pred dopravnými značkami a iným dopravným značením. Svetelné signály sú preto rozhodujúcim riadiacim prvkom v zložitých dopravných uzloch, najmä počas dopravných špičiek. [22]

Vyhlasčka č. 30/2020 Z. z., ktorou sa vykonávajú pravidlá cestnej premávky, definuje v prílohách podrobnosti o tvaroch, farbách, význame a umiestnení signálov. Uvádza tiež význam jednotlivých svetelných signálov pre vozidlá a chodcov, ako aj zásady pre navrhovanie signálnych plánov vrátane fázovania, minimálnych a maximálnych časov pre zelenú a červenú fázu [4].

Norma STN 73 6102 poskytuje technické usmernenia pre projektovanie križovatiek riadených svetelnou signalizáciou. Uvádza sa v nej, že návrh signalizácie musí vychádzať z dopravno-inžinierskej analýzy dopravných prúdov, pričom sa osobitne zohľadňuje:

- počet a štruktúra vozidiel v jednotlivých smeroch,
- konfliktné body v priestore križovatky,
- minimálny zelený čas potrebný na vyprázdnenie stĺpca vozidiel,
- doba medzi prepnutím fáz (tzv. medzičas),
- nutnosť zaradenia predvoľby pre chodcov alebo cyklistov v zmysle bezpečnostných požiadaviek. [1]

STN 73 6102 zároveň umožňuje rôzne formy koordinácie križovatiek v prípade ich vzájomnej blízkosti. Typickým príkladom je „zelená vlna“, pri ktorej sa časovanie signálnych plánov upravuje tak, aby vozidlá prechádzali viacerými križovatkami bez potreby zastavenia. [1]

Svetelne riadené križovatky môžu byť riadené statickým spôsobom (pevne nastavené cykly) alebo dynamicky (s prispôbením cyklu na základe aktuálneho dopravného zaťaženia). Normy odporúčajú zväžiť nasadenie detekčných systémov na zvýšenie flexibility a priepustnosti, najmä v oblastiach s kolísajúcou intenzitou premávky. [1,2]

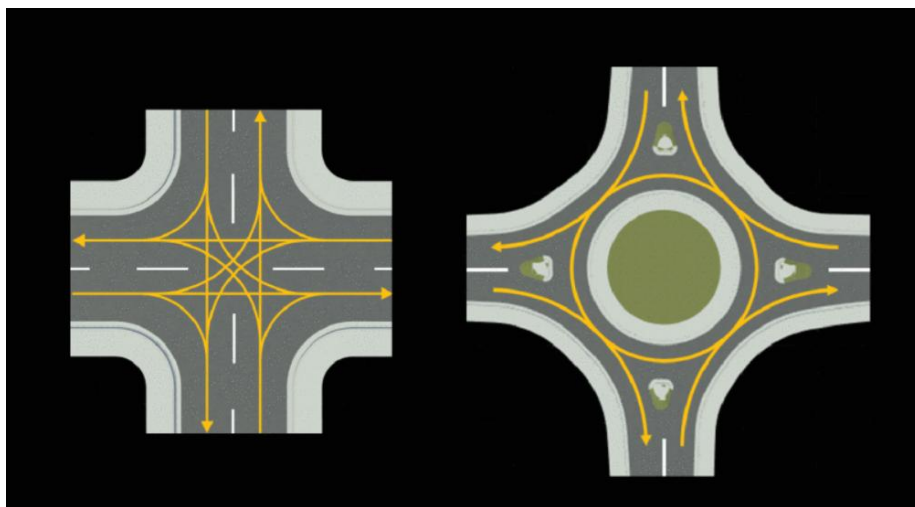
Okružná križovatka

Okružné križovatky patria podľa STN 73 6102 medzi odporúčané riešenia pre úrovňové križovania ciest, kde nie je vhodné alebo možné použiť svetelnú signalizáciu. Vďaka svojmu jednosmernému toku premávky a eliminácii konfliktov s odbočením vľavo (v pravostrannej premávke) významne zvyšujú bezpečnosť premávky, najmä v prostredí so zvýšenou nehodovosťou. [1]

Výskumy preukázali, že konverzia svetelne riadených križovatiek na okružné vedie k zníženiu celkového počtu nehôd o viac ako 50 %, pričom výskyt nehôd s vážnym zranením klesá až o 80–90 % .[6] Tieto údaje podporujú zahraničné aj domáce dopravno-bezpečnostné analýzy. Zásadnou výhodou je aj zníženie počtu konfliktných bodov – z tradičných 32 pri štvorramennej križovatke na 8 až 16 pri jednopruhovej okružnej križovatke [5]. Tento rozdiel znižuje pravdepodobnosť kolízií a zlepšuje čitateľnosť dopravnej situácie pre vodičov.

Podľa STN 73 6110 je však nevyhnutné, aby bol návrh okružnej križovatky prispôbený dopravnému zaťaženiu, geometrickým obmedzeniam a požiadavkám na pohyb cyklistov a chodcov

[2]. Nedostatočne navrhnutá geometria sa podľa štúdií podieľa až na 60 % prípadov dopravných nehôd [7]. Z toho dôvodu je kvalita návrhu rozhodujúca pre úspešné fungovanie okružnej križovatky.



Obrázok č. 2: Konfliktné body na štvoramennej križovatke a jednopruhovej okružnej križovatke [5]

Mimoúrovňová križovatka

Mimoúrovňové križovatky (GSI) predstavujú riešenie, pri ktorom sa jednotlivé dopravné prúdy fyzicky nekrižujú v jednej úrovni, ale sú oddelené výškovým usporiadaním – typicky prostredníctvom mostov, nadjazdov alebo podjazdov. Hlavným cieľom tohto riešenia je eliminácia kolíznych bodov, zvýšenie kapacity križovania a plynulosti premávky. [1] Podľa normy STN 73 6102 je mimoúrovňová križovatka odporúčaná najmä v prípadoch, keď:

- intenzita dopravy presahuje 20 000 vozidiel za deň na hlavnom smere,
- dochádza k výrazným konfliktom medzi dopravnými smermi, ktoré nie je možné efektívne riadiť v jednej úrovni,
- ide o križovanie cesty I. triedy alebo rýchlostnej komunikácie s miestnou cestou,
- sa požaduje nepretržitý tok dopravy (napr. tranzitné alebo obchvatové ťahy).

Norma zároveň špecifikuje základné typy mimoúrovňových križovatiek, vrátane tzv. diamantových križovatiek a ich variant (napr. polovičný datelinový list). V rámci týchto návrhov je dôležité zabezpečiť:

- dostatočné šírkové usporiadanie ramp a ich polomery zakrivenia,
- prehľadnosť a intuitívnosť vedenia trasy pre vodiča,

- vylúčenie kolízií v mieste napojenia na hlavnú trasu (napr. cez odbočovacie a pripájacie pruhy),
 - a minimalizáciu tzv. spillback efektu – zahltenia výjazdov spätným tokom z križovanej vetvy.
- [1]



Obrázok č. 3: Mimoúrovňová križovatka pod Prístavným mostom Bratislava [8]

2.4 PREVÁDZKA NA POZEMNÍCH KOMUNIKÁCIÁCH

Prevádzka na pozemných komunikáciách predstavuje pohyb vozidiel, chodcov a iných účastníkov cestnej premávky po cestách, miestnych komunikáciách a účelových komunikáciách. V Slovenskej republike je cestná premávka upravená najmä zákonom č. 8/2009 Z. z. o cestnej premávke. Tento predpis definuje základné pravidlá cestnej premávky, povinnosti účastníkov, kategórie komunikácií, ako aj spôsob správy, údržby a bezpečnosti na cestách.

Základne pojmy dopravného inžinierstva:

- Intenzita dopravy – vyjadruje počet vozidiel, ktoré prejdú konkrétnym miestom komunikácie za určitý časový interval, najčastejšie v jednotkách vozidiel za hodinu (voz/h). Je dôležitým ukazovateľom dopravného zaťaženia. [22]
- Hustota dopravy – vyjadruje počet vozidiel nachádzajúcich sa v danom okamihu na určitom úseku komunikácie, zvyčajne v jednotkách vozidiel na kilometer (voz/km). Hustota úzko súvisí s rýchlosťou jazdy – čím vyššia hustota, tým nižšia rýchlosť a plynulosť premávky. [22]

- Dopravný tok (prúd) – predstavuje súhrn pohybov všetkých účastníkov cestnej premávky na určenej časti cestnej siete. Ide o dynamický proces, ktorý je ovplyvňovaný mnohými faktormi, ako sú kapacita ciest, intenzita dopravy, dopravné značenie, dopravné nehody či svetelná signalizácia.[23]
- Sčítanie dopravy – realizuje sa za účelom získania presných údajov o intenzite dopravy na cestnej sieti. Výsledky slúžia ako podklad pre plánovanie a usmerňovanie investičných zámerov v oblasti dopravnej infraštruktúry. Zároveň poskytujú podklady pre aktualizáciu prognóz vývoja dopravy v budúcnosti. [21]
- Metódy posudzovania plynulosti dopravy – plynulosť dopravy sa hodnotí najčastejšie pomocou tzv. úrovne kvality dopravy (Level of Service – LOS), ktorá sa označuje stupnicou od A po F, pričom A predstavuje plynulú dopravu bez zdržaní a F označuje kolaps dopravy. Medzi ďalšie metriky patria priemerné oneskorenie, dĺžka kolón, využitie kapacity komunikácie, či časová spoľahlivosť. [21]

2.4.1 Miestna úprava prevádzky na pozemných komunikáciách v obciach

V rámci výkonu štátnej správy na úseku cestnej dopravy a pozemných komunikácií v Trnavskom kraji zabezpečuje Obvodný úrad pre cestnú dopravu a pozemné komunikácie v Trnave správu ciest II. a III. triedy. Tento úrad je zodpovedný za určovanie použitia dopravných značiek a zariadení na týchto cestách, ako aj za povolenie zriadenia vyhradených parkovísk. V prípade zastavaných území alebo území určených na zastavanie, čo sa týka aj mesta Trnava, je potrebné tieto zmeny konzultovať a prerokovať s príslušnou obcou. V prípade ciest I. triedy je zodpovedný za túto problematiku Odbor cestnej dopravy a pozemných komunikácií, ktorý taktiež musí prerokovať tieto záležitosti s obcou. Tieto procesy sú nevyhnutné pre správne a koordinované riadenie dopravného značenia a parkovacích zón v rámci miest a obcí, čím sa zabezpečuje plynulý a bezpečný pohyb dopravy. [24]

2.4.2 Obmedzenie plynulosti prevádzky na pozemných komunikáciách

Dopravný tok v mestách je ovplyvňovaný viacerými faktormi, pričom jedným z najvýznamnejších je kapacita cestnej infraštruktúry. S rastúcim počtom vozidiel často dochádza k prekročeniu kapacitných limitov ciest, čo vedie k dopravným zápcham (kongesciám). Tieto situácie majú negatívny vplyv na efektivitu dopravy, životné prostredie a kvalitu života obyvateľov. Príčiny kongescií môžeme rozdeliť na:

- Opakujúce sa faktory: napríklad nedostatočná kapacita ciest alebo nepriaznivé počasie, ktoré pravidelne znižujú priepustnosť ciest.
- Neočakávané faktory: ako dopravné nehody, uzávierky jazdných pruhov alebo mimoriadne udalosti, ktoré spôsobujú náhle zníženie kapacity ciest.

Topológia mestských sietí zohráva kľúčovú úlohu pri formovaní dopravného toku. Zložité križovatky s vysokým počtom možností na odbočenie môžu výrazne spomaliť dopravu, keďže vozidlá menia smery a ovplyvňujú plynulosť pohybu. Naopak, jednoduchšie cestné štruktúry umožňujú vozidlám zachovať konštantnejšiu rýchlosť, čo prispieva k lepšej priepustnosti dopravy. Podľa normy STN 73 6102 je pri návrhu ciest a križovatiek potrebné zohľadniť predpokladané dopravné zaťaženie a zabezpečiť dostatočnú kapacitu komunikácií. Norma stanovuje zásady pre návrh križovatiek a cestných úsekov tak, aby bola zabezpečená plynulosť a bezpečnosť dopravy. V prípade prekročenia kapacitných limitov je potrebné uvažovať o úpravách infraštruktúry alebo implementácii riadiacich systémov na zlepšenie priepustnosti ciest. [1]

2.5 ANALÝZA PRÁČ ZAMERANÝCH NA MODELOVANIE V OBLASTI DOPRAVY

Cieľom je identifikovať kľúčové prístupy, používané simulačné nástroje a aktuálne trendy v oblasti dopravného modelovania, s dôrazom na optimalizáciu dopravného toku a znižovanie dopravných zápch. Na zber odborných zdrojov bola využitá knižnica PRIMO, pričom články sa stiahli vo formáte RIS a ďalej sa spracovali pomocou špecializovaného softvéru VOSviewer. Celkovo bolo získaných približne 30 relevantných štúdií, publikovaných v období 2014 – 2024, ktoré sa tematicky zameriavali na simulácie dopravy, inteligentné dopravné systémy, optimalizáciu riadenia a analýzu správania vozidiel na križovatkách. Pre ďalšiu analýzu boli vybrané iba tie štúdie, ktoré spĺňali nasledovné podmienky:

- Tematická relevantnosť – články sa museli priamo týkať problematiky modelovania križovatiek alebo dopravného riadenia,
- Odbornosť – štúdie museli byť publikované v recenzovaných vedeckých časopisoch,
- Dostupnosť dát – články museli obsahovať merateľné údaje, metódy alebo výsledky simulácií.

Vybrané štúdie boli podrobené obsahovej analýze, pri ktorej sa sledovali:

- použité softvérové nástroje (napr. AnyLogic, Aimsun, VISSIM),
- analyzované parametre (čakacia doba, čas prejazdu, počet vozidiel, intenzita),

- typy simulovaných križovatiek (klasické, okružné, svetelne riadené),

2.5.1 Rozdelenie štúdií

Tabuľka č. 3 poskytuje systematický prehľad vedeckých štúdií, ktoré sa zaoberajú aplikáciou simulačných nástrojov v oblasti dopravného inžinierstva. Prvý stĺpec obsahuje odkazy na jednotlivé zdroje, ktoré sú uvedené v časti Zoznam zdrojov v tabuľke. Nasleduje stĺpec, ktorý špecifikuje použitý simulačný softvér – konkrétne sa zameriava na tri najčastejšie využívané platformy: AnyLogic, Aimsun a PTV Vissim. Ďalšia časť tabuľky sa venuje hodnotám, ktoré boli v rámci štúdií sledované. Medzi hlavné indikátory patrí dopravná špička, časové oneskorenia a cestovný čas. Tieto ukazovatele patria k základným metrikám pri hodnotení výkonnosti dopravných uzlov a prietoku vozidiel. V poslednej časti tabuľky sú články rozdelené podľa typu skúmanej križovatky – či ide o svetelne riadenú križovatku, okružnú križovatku alebo križovatku vybavenú zvislým dopravným značením.

Tab. č. 3: Rozdelenie štúdií podľa softwaru, sledovanej hodnoty a druhu križovatiek

Reference	Anylogic	Aimsun	PTV Vissim	Dopravná špička	Čas oneskorenia	Cestovný čas	Svetelne riadená križovatka	Okružná križovatka	Križovatka so zvýšeným značením
Okebe Meshack W a kol. (2024)		x			x	x	x		
Weigang, Ganna a kol. (2024)		x				x		x	
Velmurugan Pachaiaappan a kol. (2024)	x			x	x	x			
Kučeřa Tomáš a kol. (2021)		x						x	
Nyame-Baafi a kol. (2023)			x	x		x			
Liu, Yang a kol. (2022)						x	x		
Garmeji, Saeed a kol. (2019)				x				x	
Abedian Sahar a kol. (2021)							x		x
Okebe, Meshack W. a kol. (2024)	x						x		
Shamlitskiy, Ya I a kol. (2019)			x	x	x		x		
Weigang, Ganna a kol. (2024)			x	x	x			x	
Ikidid, Abdelouafi a kol. (2023)			x	x	x			x	
Korfant, Matúš a kol. (2017)								x	
Hamad, Khaled a kol. (2019)								x	
Mintsis, Evangelos a kol. (2016)		x		x	x	x			
Vilarinho Cristina a kol. (2014)									x
Mintsis, Evangelos a kol. (2016)				x	x				
Liu, Yang a kol. (2022)						x		x	
Dossou, Paul-Eric a kol. (2021)			x						x
Pachaiaappan, Velmuruga a kol. (2024)					x			x	
Duff, Michal a kol. (2018)							x		x
Abdelouafi Ikidid a kol. (2022)								x	x
Malim, Muhammad Rozi a kol. (2019)			x				x		

Vizualizácia pomocou VOSviewer

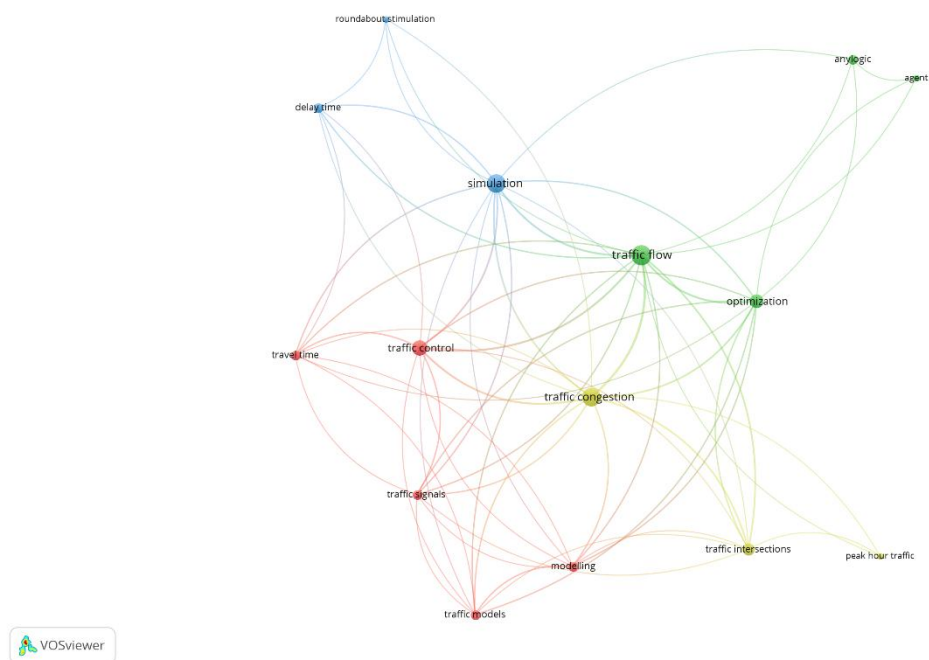
Na základe extrahovaných kľúčových slov z jednotlivých štúdií bola vytvorená myšlienková mapa pomocou nástroja VOSviewer, ktorá je zobrazená nižšie (obrázok č.4).

Diagram znázorňuje vzťahy medzi najčastejšie sa vyskytujúcimi pojmami v analyzovaných článkoch. Vidieť, že najdominantnejšie pojmy sú traffic flow, simulation, traffic control, traffic congestion a optimization. Tieto pojmy tvoria centrálny uzol siete, čo poukazuje na ich vysokú výskytovú frekvenciu a vzájomnú prepojenosť.

Zároveň sa tu objavujú aj špecifickejšie výrazy ako roundabout simulation, AnyLogic, travel time, delay time a traffic signals, ktoré dopĺňajú hlavné témy o konkrétne aplikácie alebo merané veličiny.

Farebné rozdelenie uzlov v mape znázorňuje tematické klastre. Napríklad:

- Zelená skupina – orientovaná na simuláciu a agentné modelovanie (napr. AnyLogic, optimization, agent),
- Červená skupina – zameraná na riadenie dopravy (traffic control, traffic signals, modelling),
- Modrá skupina – sústredená na časy oneskorenia a simulácie okružných križovatiek,
- Žltá skupina – prepája výrazy ako traffic congestion, peak hour traffic, a intersections.

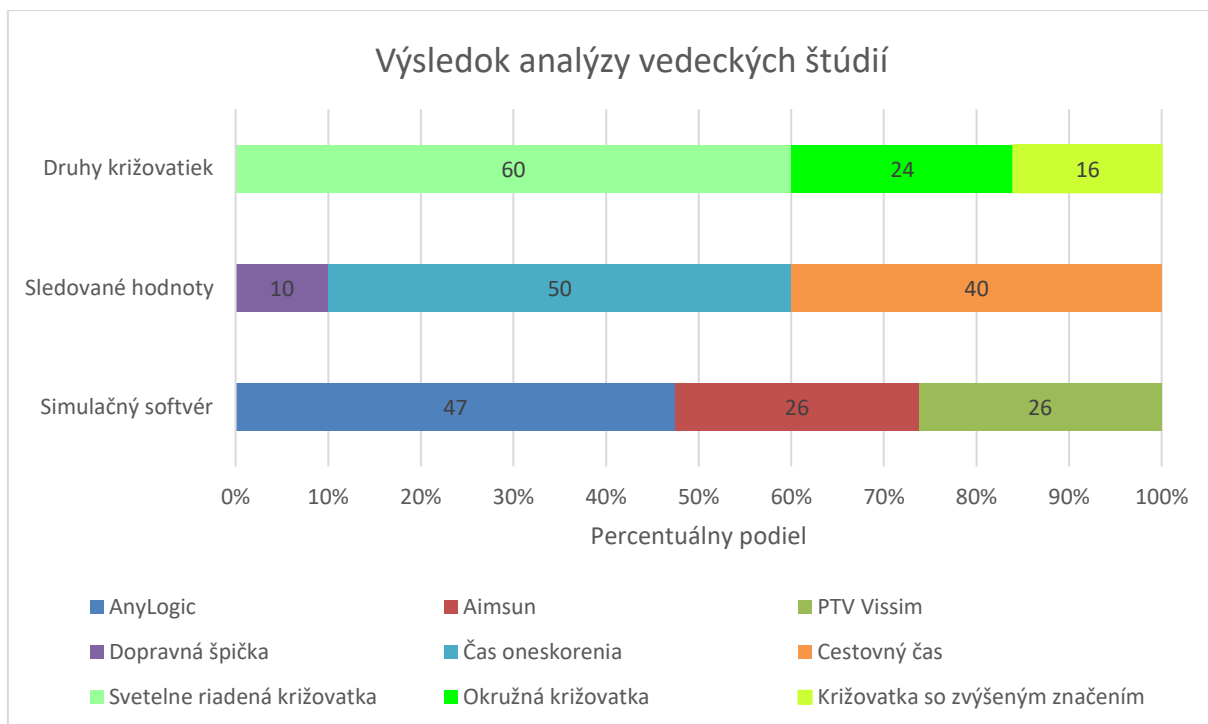


Obrázok č. 4: VOSviewer diagram

2.5.2 Grafické znázornenie

Znázornený pásový graf, ktorý sumarizuje výsledky analýzy vedeckých článkov zameraných na dopravné simulácie. Graf zhŕňa tri základné kategórie: použité simulačné softvéry, sledované dopravné ukazovatele a typy skúmaných križovatiek. Z dát jednoznačne vyplýva, že najčastejšie využívanou simulačnou platformou bol softvér AnyLogic, ktorý sa objavil v 11 z analyzovaných štúdií, zatiaľ čo Aimsun a PTV Vissim boli zastúpené zhodne po 6-krát.

Z hľadiska sledovaných premenných dominoval cestovný čas a čas oneskorenia, čo poukazuje na to, že tieto ukazovatele sú kľúčové pri hodnotení plynulosti premávky. O niečo menej bola analyzovaná dopravná špička (8 výskytov). Pokiaľ ide o infraštruktúrne rozdelenie, najviac štúdií sa venovalo svetelne riadeným križovatkám (15), zatiaľ čo okružné križovatky a križovatky so zvislým značením boli zahrnuté v menšej miere (6, resp. 5 štúdií). Táto distribúcia poukazuje na preferenciu modelovania komplexnejších križovatiek, kde sú možné väčšie optimalizačné zásahy.



Graf č. 1: Výsledok analýzy vedeckých štúdií

2.6 ZHRNUTIE ANALÝZY SÚČASNÉHO STAVU

Analýza súčasného stavu odhalila viacero kľúčových faktorov ovplyvňujúcich kvalitu a plynulosť cestnej premávky vo vybraných častiach Trnavy. Boli identifikované problémy súvisiace s kapacitou dopravnej infraštruktúry, geometrickým riešením križovatiek a nedostatočným prispôsobením existujúceho dopravného systému aktuálnym potrebám. Súčasťou analýzy bola podrobná klasifikácia pozemných komunikácií a prehľad príslušných technických noriem (STN 73 6102, STN 73 6110, STN 73 6114), ktoré upravujú návrh cestnej siete a križovatiek. Tieto normy stanovujú parametre týkajúce sa rozhľadových pomerov, geometrií križovatiek, tried dopravného zaťaženia a návrhových rýchlostí, čo sú faktory s priamym vplyvom na bezpečnosť a plynulosť premávky. Z hľadiska typológie križovatiek boli identifikované tri základné kategórie – svetelne riadené križovatky, okružné križovatky a mimoúrovňové križovatky. Každý typ má špecifické výhody aj obmedzenia, pričom ich vhodnosť závisí od intenzity dopravy, priestorových podmienok a požiadaviek na bezpečnosť. Svetelné križovatky umožňujú presné riadenie dopravných prúdov, no vyžadujú optimalizáciu časovania. Okružné križovatky prispievajú k zníženiu kolízií, avšak ich efektívnosť závisí od kvalitného návrhu geometrie. Mimoúrovňové križovatky sú vhodné pre vysoko frekventované smery, no vyžadujú značné investície. Dôležitým výstupom bola aj identifikácia vplyvu kongescií na životné prostredie a ekonomiku. Dopravné zápchy spôsobujú zvýšené emisie, hluk a predlžujú cestovné časy. Tieto javy sa prejavujú najmä v oblastiach so zložitou dopravnou topológiou a nedostatočnou kapacitou križovatiek.

V závere bola spracovaná literárna rešerš zameraná na využitie simulačných nástrojov (napr. AnyLogic) pri modelovaní dopravných uzlov. Výsledky ukazujú, že najčastejšie analyzované boli práve križovatky so svetelným riadením, pričom dominantnými ukazovateľmi boli čakacia doba, cestovný čas a dĺžka kolón.

3 FORMULÁCIA PROBLÉMOV A STANOVENIE CIEĽOV RIEŠENIA

Z analýzy súčasného stavu vyplýva, že infraštruktúra väčších miest už častokrát nezodpovedá narastajúcemu objemu dopravy, čo vedie k preťaženiu hlavných dopravných uzlov. Tento problém spôsobuje dopravné kongescie, ktoré negatívne ovplyvňujú efektívnosť dodávok tovaru a obmedzujú aj prevádzku mestskej hromadnej dopravy, čo zhoršuje kvalitu života obyvateľov. Pre vyriešenie tejto situácie je kľúčové efektívne modelovanie a simulovanie reálnych dopravných scenárov, ktoré umožní presne určiť slabé miesta a navrhnúť riešenia pre optimalizáciu dopravného toku.

Správny výber metód modelovania a simulácie premávky, vrátane faktorov ako intenzita dopravy a rozloženie v čase, je nevyhnutný pre efektívne zlepšenie dopravnej infraštruktúry. Na základe týchto simulácií môžeme navrhnúť zlepšenia v organizácii dopravy, výstavbe nových dopravných uzlov alebo úprave existujúcich komunikácií. Okrem toho je dôležité pri implementácii riešení dodržiavať platné normy a predpisy, ktoré sa týkajú nielen cestných komunikácií, ale aj prvkov ako chodníky, zástavky a priechody pre chodcov, aby sa zabezpečila bezpečnosť a plynulosť dopravy.

Na základe vyššie uvedeného je možné vymedziť problémy obmedzenej infraštruktúry v hlavných dopravných uzloch.

Cieľom riešenia problému bude:

- Vytvorenie modelu dopravného toku, ktorý bude mať kratší a bezpečný prejazd vybraným úsekom
- Implementovanie modelu do reálneho sveta pomocou satelitných snímok do vybraných lokalít
- Verifikácia výsledkov pomocou simulačného modelovania

4 POUŽITÉ METODY A ICH ODŮVODNENIE

Riešenie definovaného problému bude spočívať v tvorbe modelov pre vybrané lokality, ktoré budú zohľadňovať hustotu dopravného toku osobných automobilov, nákladných vozidiel a autobusov. Okrem toho sa do modelov zahrnú aj chodci a ich vplyv na plynulosť premávky. Táto práca sa zameriava predovšetkým na transformáciu svetelne riadenej križovatky alebo križovatky so zvislým značením na okružnú križovatku, pričom jej cieľom nie je optimalizácia svetelného riadenia, ale posúdenie možností a dopadov takejto zmeny infraštruktúry. Pri navrhovaní modelov bude potrebné zvážiť aj veľkosť plochy potrebnej na implementáciu riešení, pričom sa bude dbať na to, aby tieto zásahy neovplyvnili existujúce budovy v okolí.

Vedeckých štúdií, ktoré sa venujú tejto problematike, je relatívne málo, keďže väčšina výskumov sa sústreďuje na zefektívnenie existujúceho svetelného riadenia križovatiek. Z tohto dôvodu sa táto práca vydáva smerom analýzy samotnej premeny križovatiek na iný typ.

Výsledky jednotlivých variantov modelov dopravných uzlov budú následne verifikované prostredníctvom simulačného modelovania, ktoré umožní overiť ich efektívnosť a praktickú realizovateľnosť.

5 ANALÝZA METÓDY RIEŠENIA

V tejto práci sa využíva mikroskopické modelovanie, ktoré umožňuje simuláciu individuálneho správania jednotlivých vozidiel, vrátane reakcií na svetelnú signalizáciu, zaraďovanie do jazdných pruhov, dodržiavanie bezpečných vzdialeností a pohyb v rámci križovatkového priestoru. Tento typ modelovania je vhodný najmä pre detailnú analýzu svetelne riadených križovatiek, kde sú dôležité časové priebehy signálnych plánov, reakčné časy vodičov a geometrické obmedzenia vetiev.

5.1 MODELOVANIE DOPRAVY

Modelovanie cestnej dopravy predstavuje kľúčový nástroj pri analýze a hodnotení dopravných systémov. Slúži na overenie kapacity, detekciu problémových úsekov a návrh zlepšení, ktoré by bolo náročné alebo nemožné testovať priamo v reálnej premávke. V dopravnom inžinierstve sa modely najčastejšie používajú na predikciu dopravného správania v konkrétnych infraštruktúrnych podmienkach a na vyhodnocovanie efektivity rôznych organizačných alebo stavebných úprav.

Ako modelovací nástroj bol zvolený softvér AnyLogic, ktorý umožňuje kombináciu agentového modelovania, diskrétnych udalostí a systémovej dynamiky. Vďaka možnosti importu mapových podkladov z OpenStreetMap a nástroju na definovanie vlastných pravidiel pohybu vozidiel je AnyLogic vhodný na presnú replikáciu reálneho dopravného priestoru, vrátane semaforov, dopravného značenia a topológie ciest. Výhodou je aj schopnosť testovať alternatívne scenáre – napríklad rôzne nastavenia semaforov alebo zmeny vo vedení pruhov – bez potreby zásahu do reálnej infraštruktúry.

5.2 DRUHY SIMULÁCIÍ

Tromi hlavnými prístupmi k modelovaniu sú diskrétne udalostné modelovanie, agentové modelovanie a systémová dynamika. Každý z nich sa líši spôsobom reprezentácie systému, úrovňou abstrakcie a vhodnosťou pre rôzne typy problémov. Nasledujúce kapitoly stručne predstavujú ich základné princípy a charakteristiky.

Discrete Event Simulation

Diskrétne udalostné modelovanie (Discrete Event Simulation, DES) predstavuje v prostredí AnyLogic jeden z hlavných simulačných prístupov a je vhodný najmä pre systémy, kde dochádza k

postupnému spracovaniu entít cez definovanú sekvenciu krokov. V kontexte dopravného modelovania sa týmto spôsobom simuluje napríklad pohyb vozidiel cez križovatku, tvorba kolón alebo čakanie na zelenú fázu semafora. V DES modeli je systém reprezentovaný ako sled udalostí, ktoré menia stav systému v diskretných časových bodoch – napríklad príchod vozidla, začiatok čakania alebo koniec obsluhy. Medzi udalosťami sa čas neposúva plynulo, ale skokovo, presne v okamihu, keď dôjde k udalosti, čím sa dosahuje efektívnosť simulácie. [27]

Každá entita (napr. auto) si zachováva svoju individualitu a jej správanie môže byť definované pomocou parametrov alebo rozdelení pravdepodobnosti (napr. variabilita rýchlosti, reakčný čas vodiča). Tento prístup je vhodný pre simuláciu dopravných križovatiek, kde je potrebné zohľadniť fronty, časy obsluhy, konflikty a rôzne riadiace logiky. [27]

DES modelovanie v AnyLogicu je možné kombinovať aj s ďalšími prístupmi, ako je agentové modelovanie alebo systémová dynamika, čo umožňuje vytvárať realistické multimodálne modely dopravných uzlov. V prípade potreby je možné do modelu integrovať aj dynamickú signalizáciu, časové plány semaforov alebo adaptívne riadenie križovatky. [27]

Agent Based Simulation

Agentové modelovanie (Agent-Based Modeling, ABM) predstavuje v softvéri AnyLogic jeden z hlavných prístupov k simulácii zložitých systémov. V tomto modeli sa každý agent (napr. vozidlo, chodec) správa autonómne, na základe svojich vlastných pravidiel a stavov. Tento prístup je výhodný najmä pri simuláciách, kde zohrávajú úlohu individuálne rozhodovania, interakcie medzi účastníkmi dopravy alebo adaptívne správanie prvkov dopravnej infraštruktúry. V tejto práci je agentové modelovanie využité najmä ako koncepčný rámec pre reprezentáciu vozidiel ako samostatne sa pohybujúcich entít. V kombinácii s diskretným udalostným modelovaním umožňuje ABM realističšie zachytiť tok dopravy cez križovatku, tvorbu kolón a reakcie na svetelnú signalizáciu. [27]

System Dynamics

Systémová dynamika je simulačný prístup zameraný na modelovanie spojitých zmien v čase pomocou agregovaných premenných, ktoré sú navzájom prepojené spätnými väzbami a tokmi medzi stavmi systému. V tejto práci nebola systémová dynamika použitá ako dominantná metóda modelovania, keďže dopravné procesy boli reprezentované prevažne diskretným udalostným a agentovým prístupom. [27]

5.3 SIMULAČNÝ NÁSTROJ

Na vytvorenie simulačných modelov dopravnej infraštruktúry bol použitý softvér AnyLogic, ktorý umožňuje kombináciu troch hlavných modelovacích prístupov – diskkrétne udalostné modelovanie (DES), agentové modelovanie (ABM) a systémovú dynamiku (SD). V tejto práci bol primárne využitý diskrétny udalostný prístup, keďže dopravné procesy na križovatkách možno efektívne reprezentovať ako sled udalostí s definovanými vstupmi a výstupmi. Model bol vytvorený s využitím knižnice Road Traffic Library, ktorá poskytuje nástroje na tvorbu realistických dopravných sietí vrátane jazdných pruhov, svetelnej signalizácie, dopravného značenia a vozidiel. Pomocou tejto knižnice bolo možné modelovať jednotlivé križovatky na základe reálnych podkladov z OpenStreetMap a definovať pravidlá pohybu vozidiel, fázy semaforov a dopravné konflikty.

Simulácia prebiehala v diskrétnom čase, kde každé vozidlo bolo reprezentované ako samostatná entita prechádzajúca modelom podľa vopred definovanej logiky. Tento prístup umožnil analyzovať kapacitné vlastnosti križovatiek, časové priebehy čakania a dĺžku vytváraných kolón. [27]

5.3.2 Library AnyLogic

Pri tvorbe simulačných modelov v tejto práci boli využité tri špecializované knižnice softvéru AnyLogic: Road Traffic Library, Pedestrian Library a Process Modeling Library. Každá z nich slúži na modelovanie špecifických aspektov dopravného systému a v kombinácii umožnili vytvoriť realistický model dopravnej infraštruktúry so zapojením všetkých hlavných účastníkov premávky.

Road Traffic Library

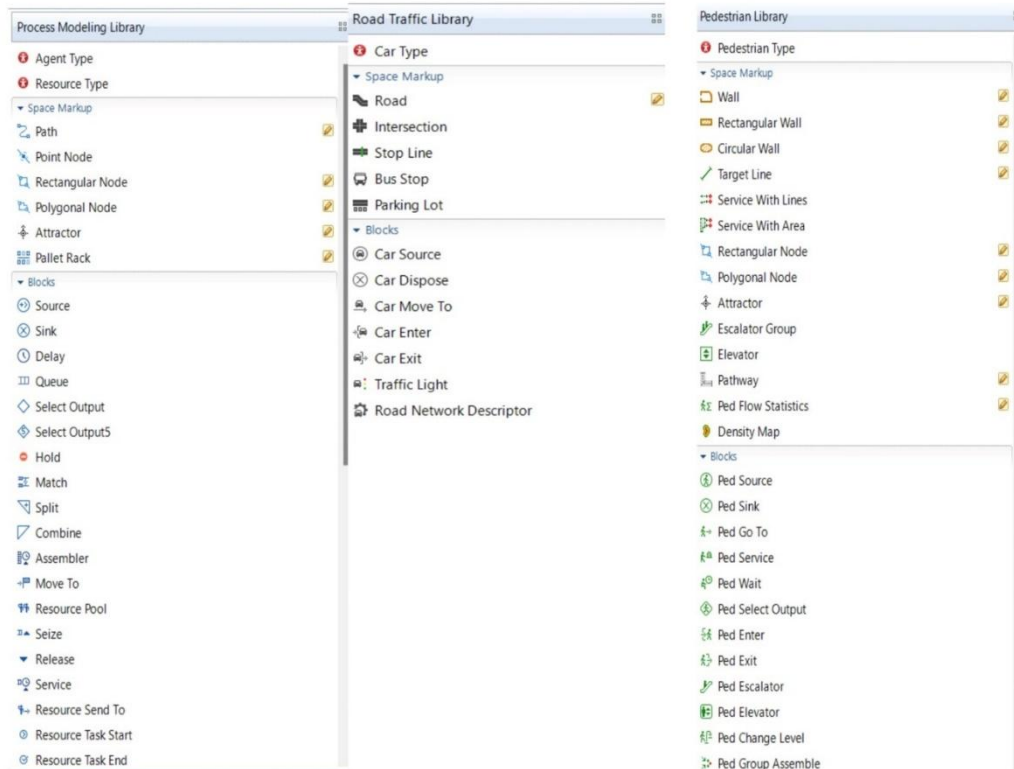
Táto knižnica predstavuje hlavný nástroj pre modelovanie vozidiel, cestnej siete a dopravných pravidiel. Umožňuje definovať jazdné pruhy, križovatky, kruhové objazdy, semaforey a pravidlá správania vozidiel v premávke. Komponenty tejto knižnice boli využité pri tvorbe všetkých simulačných modelov križovatiek – vrátane nastavovania fáz semaforov, vytvárania dopravných tokov a merania ukazovateľov ako sú časy čakania, dĺžka kolón či kapacita uzlov. [10]

Pedestrian Library

Pedestrian Library slúži na modelovanie pohybu chodcov a ich interakcií s dopravným prostredím. Umožňuje vytvárať realistické trajektórie, simulovať prechody cez cestu, pohyb na nástupištiach alebo v okolí dopravných zariadení. V tejto práci bola použitá na modelovanie priechodov pre chodcov na niektorých križovatkách, kde bolo potrebné overiť vplyv peších účastníkov na plynulosť dopravy a bezpečnosť križovania. [9]

Process Modeling Library

Táto knižnica poskytuje základné bloky pre diskrétné udalostné modelovanie (DES), ktoré sú univerzálne použiteľné v rôznych oblastiach vrátane dopravy. Kombináciou komponentov tejto knižnice s Road Traffic Library bolo možné vytvoriť logiku dynamického správania systému a implementovať špecifické pravidlá bez potreby skriptovania. [27]



Obrázok č. 5: Knižnica použitých modulov [27]

6 VLASTNÉ RIEŠENIE

Metóda riešenia vymedzeného problému bude spočívať v tvorbe modelov, ktoré umožnia analýzu a simuláciu aktuálneho stavu dopravného systému. Prvým krokom bude vytvorenie modelu, ktorý bude odrážať reálne hodnoty a parametre systému v danom čase, čím sa zabezpečí čo najpresnejšia reprezentácia situácie. Tento model bude vychádzať zo získaných dát a bude obsahovať všetky relevantné faktory, ktoré ovplyvňujú správanie systému, ako sú doprava, infraštruktúra, a ďalšie kľúčové premenné. Na tvorbu modelu bude použitý softvér AnyLogic. Pri tvorbe modelov súčasného stavu bol ku každej vybranej lokalite vytvorený aj pentlogram (diagram intenzity dopravy), ktorý vizuálne vyjadroval najviac vyťažené smery (čím väčšia šírka čiary, tým väčšia intenzita).

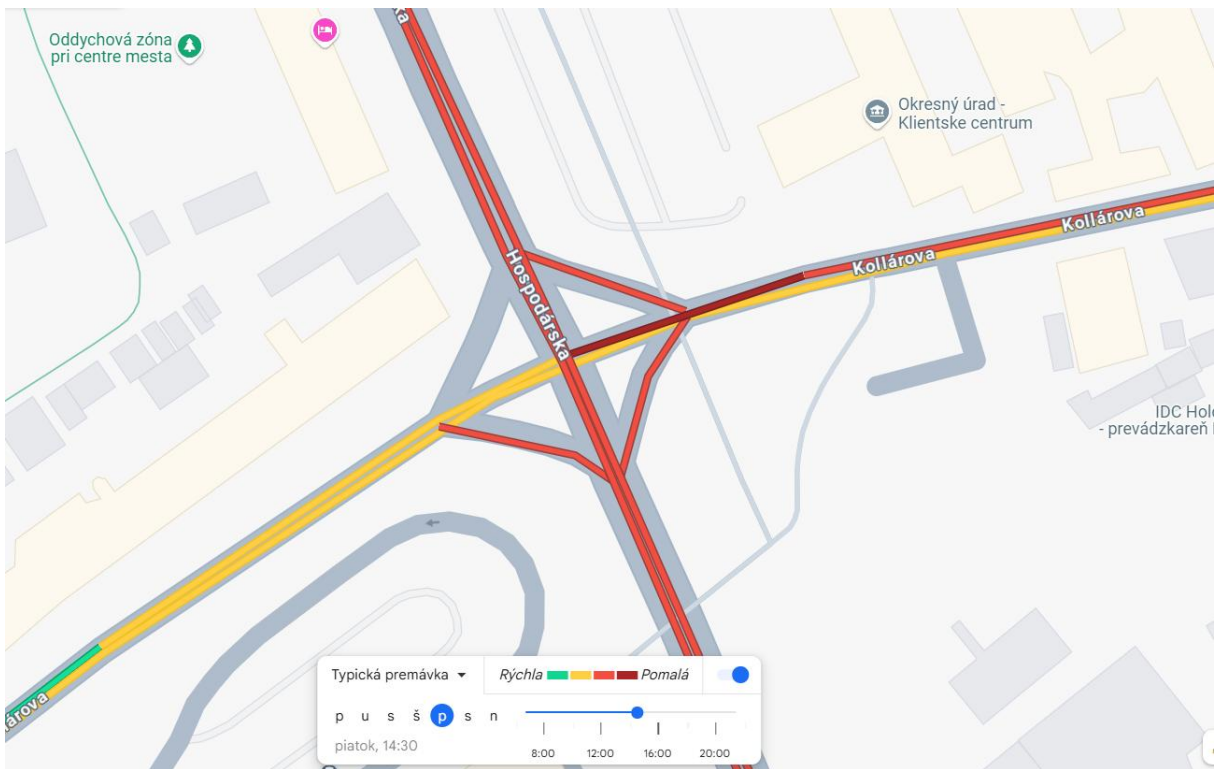
6.1.1 Výber lokality

Prvou analyzovanou lokalitou je križovatka ulíc Staničná – Hospodárska – Kollárova, ktorá sa nachádza v bezprostrednej blízkosti železničnej stanice Trnava. Ide o významný dopravný uzol, ktorý prepája centrum mesta s hlavnými ťahmi východného smeru. V križovatke sa koncentruje nie len osobná automobilová doprava, ale aj autobusy MHD a peší pohyb medzi stanicou a okolím.

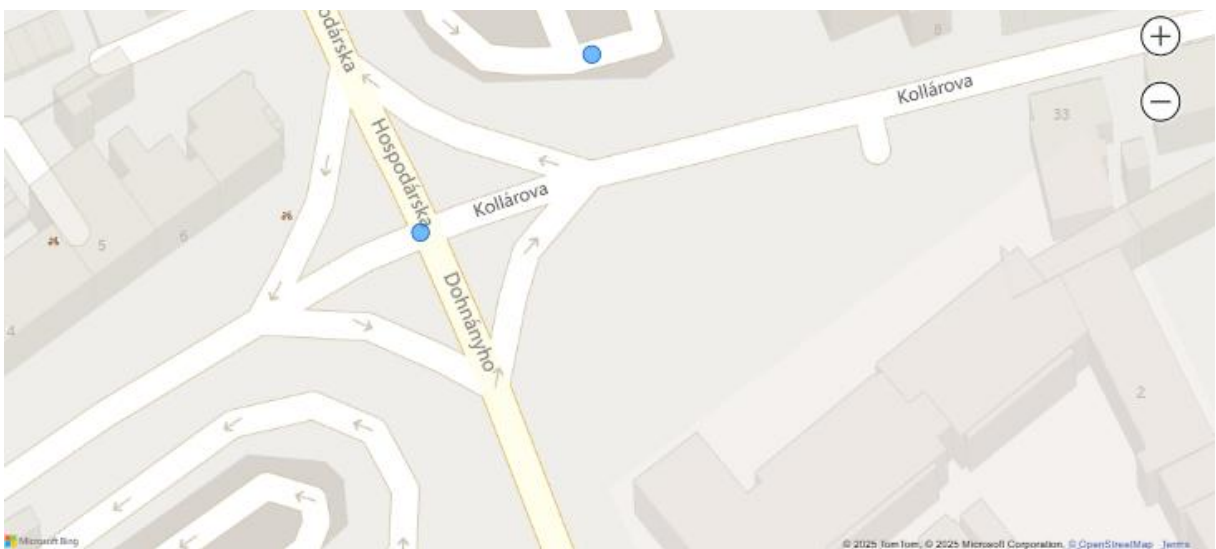
Základným dôvodom výberu tejto križovatky do riešenia je výrazná dopravná zataženosť v špičkových časoch, ktorá je dokumentovaná mapou typickej premávky z Google Maps, kde sú v čase 14:30 viditeľné dlhodobé úseky so spomalenou premávkou (červené zóny) vo všetkých návazných smeroch (obr.6).

Relevantnosť výberu križovatky ako dopravne problematickej je navyše potvrdená odborným dokumentom „Štúdia uskutočniteľnosti modernizácie dopravy v Trnave“, kde je konkrétne uvedené, že touto križovatkou denne prejde 21 000 vozidiel a jej riešenie je nevyhnutné pre zlepšenie priepustnosti hlavného dopravného koridoru v tejto časti mesta [28].

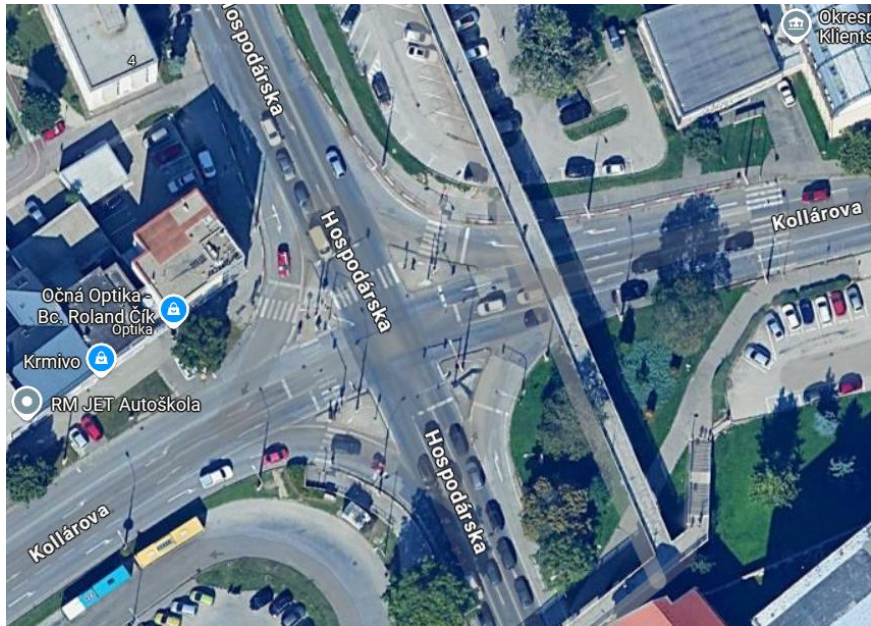
Z týchto dôvodov bola lokalita zaradená do návrhu úprav a simulácií v tejto diplomovej práci. Cieľom je porovnať súčasný stav s alternatívnym riešením, ktoré by prispelo k zníženiu preťaženia a zvýšeniu plynulosti dopravy.



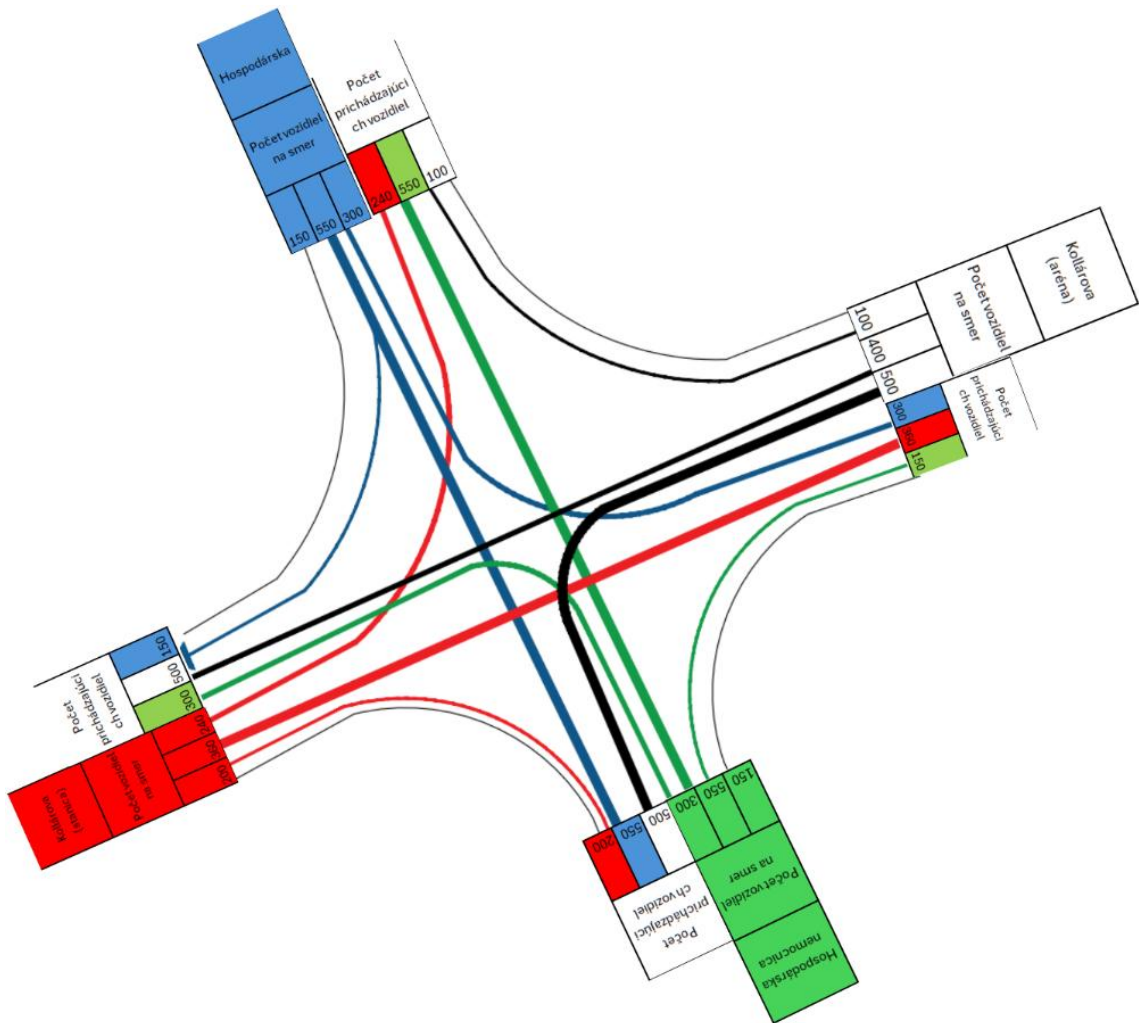
Obrázok č. 6: Označenie ulíc vo vybranej lokalite (zdroj [14])



Obrázok č. 7: Výskyt dopravných nehôd zaznamenaných políciou SR (zdroj [20])



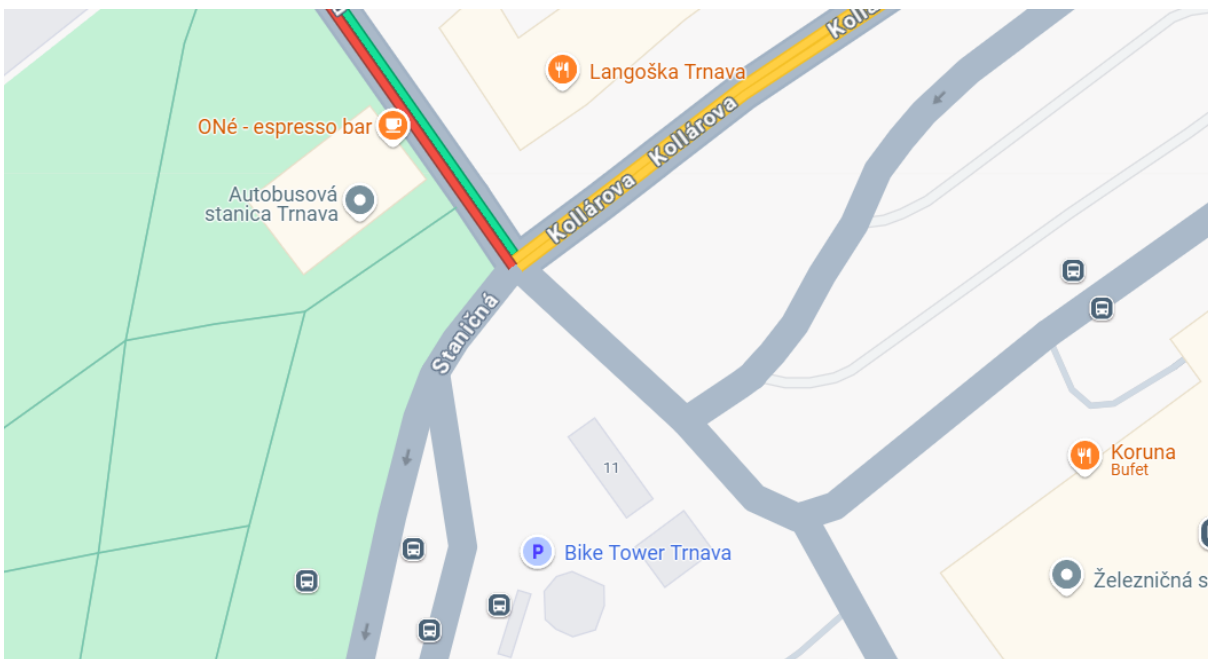
Obrázok č. 8: Satelitný snímok vybranej lokality (zdroj [15])



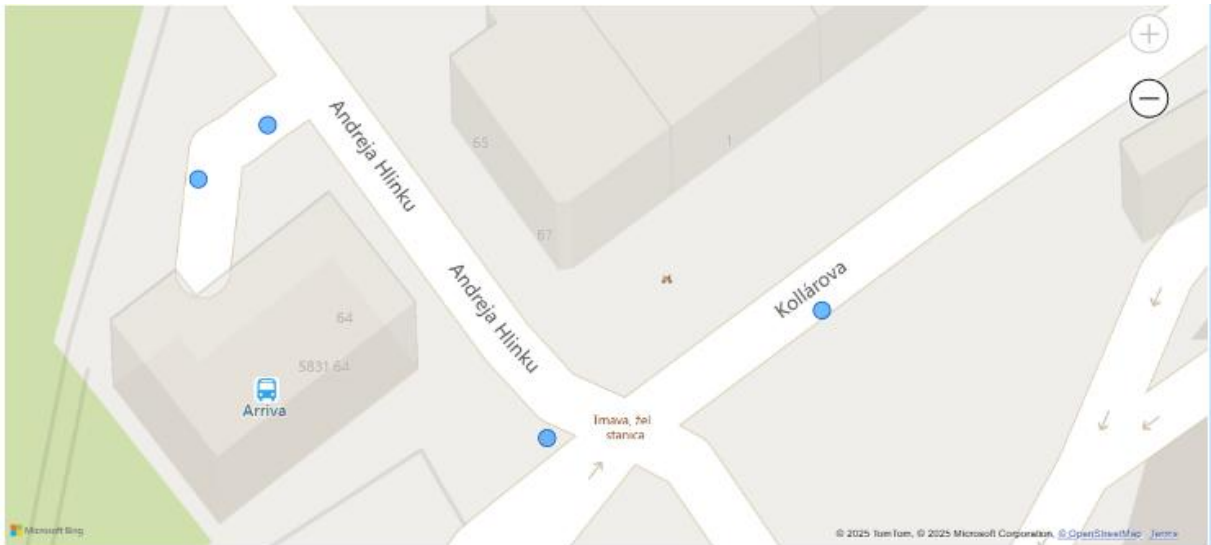
Obrázok č. 9: pentlogram križovatky č.1

Druhou riešenou lokalitou je križovatka ulice Kollárova a Andreja Hlinku, ktorá sa nachádza v tesnej blízkosti železničnej a autobusovej stanice v Trnave. Je to priama náväznosť na križovatku č. 1, čo z nej robí významný bod v logistickom a dopravnom uzle mesta, kde dochádza ku koncentrácii vozidiel, chodcov a autobusovej dopravy. Dlhodobo problematická je najmä v čase dopravnej špičky (7:00 – 9:00 a 14:30 – 17:00), kedy dochádza k tvorbe kongescií a dlhým zdržaniam na hlavnom smere Kollárova – Andreja Hlinku. Ako je zreteľné z mapy Google (obrázok. č. 10), dopravné zaťaženie je vysoké a dochádza tu k častému narušeniu plynulosti premávky, vrátane zdržania MHD.

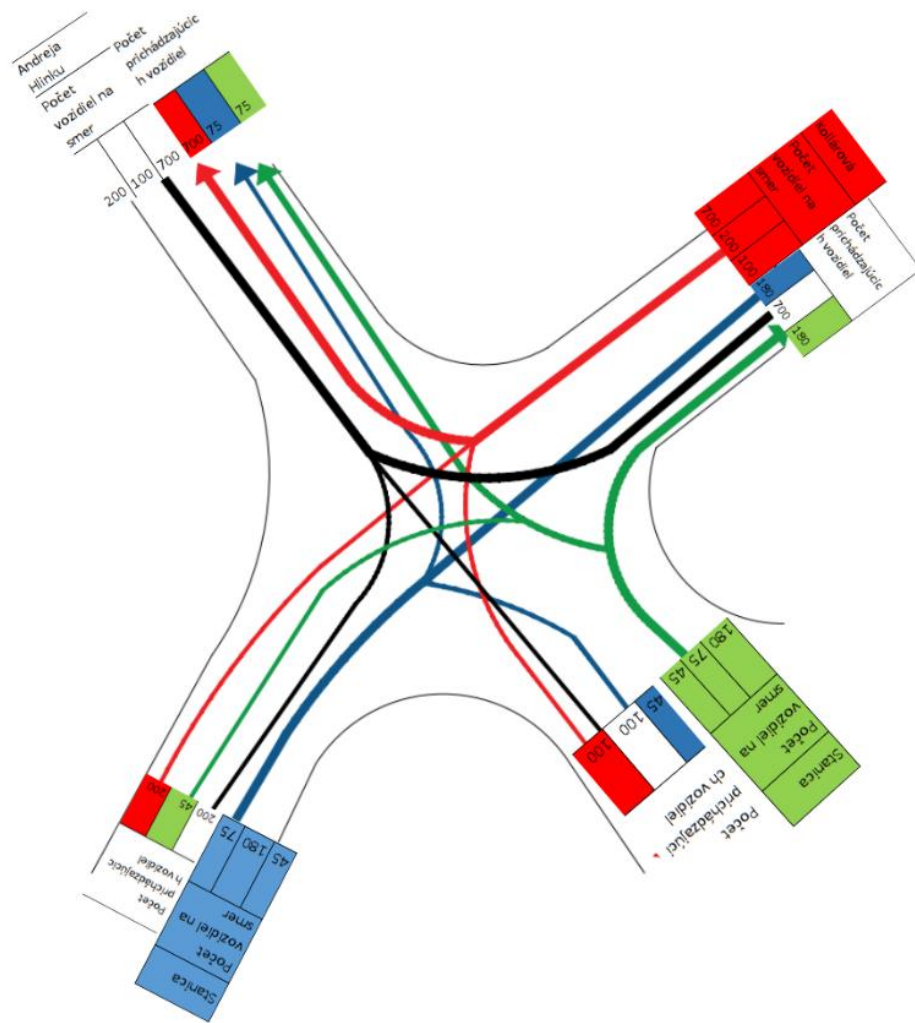
Podľa štatistík ministerstva vnútra SR bolo na tomto mieste v priebehu posledného roka zaevidovaných minimálne 4 dopravné nehody (obrázok. č.11), ktoré riešila polícia. Okrem toho sa tu podľa pozorovaní pravidelne vyskytujú aj dopravné konflikty riešené na mieste bez zápisu, čo poukazuje na vysokú mieru rizika. Najčastejšou príčinou incidentov bolo porušenie povinnosti vodiča – najmä pri dávaní prednosti v jazde a nesprávnom radení do jazdných pruhov. Problémom tejto križovatky je aj nedostatočne zreteľná organizácia dopravy, najmä vo vzťahu k odbočovacím manévrom a napojeniu z vedľajšej cesty. V kombinácii s chýbajúcou preferenciou pre vozidlá MHD a pohybom chodcov ide o miesto s vysokou pravdepodobnosťou vzniku dopravných konfliktov. Z vyššie uvedených dôvodov bola táto križovatka zvolená ako druhá analyzovaná lokalita.



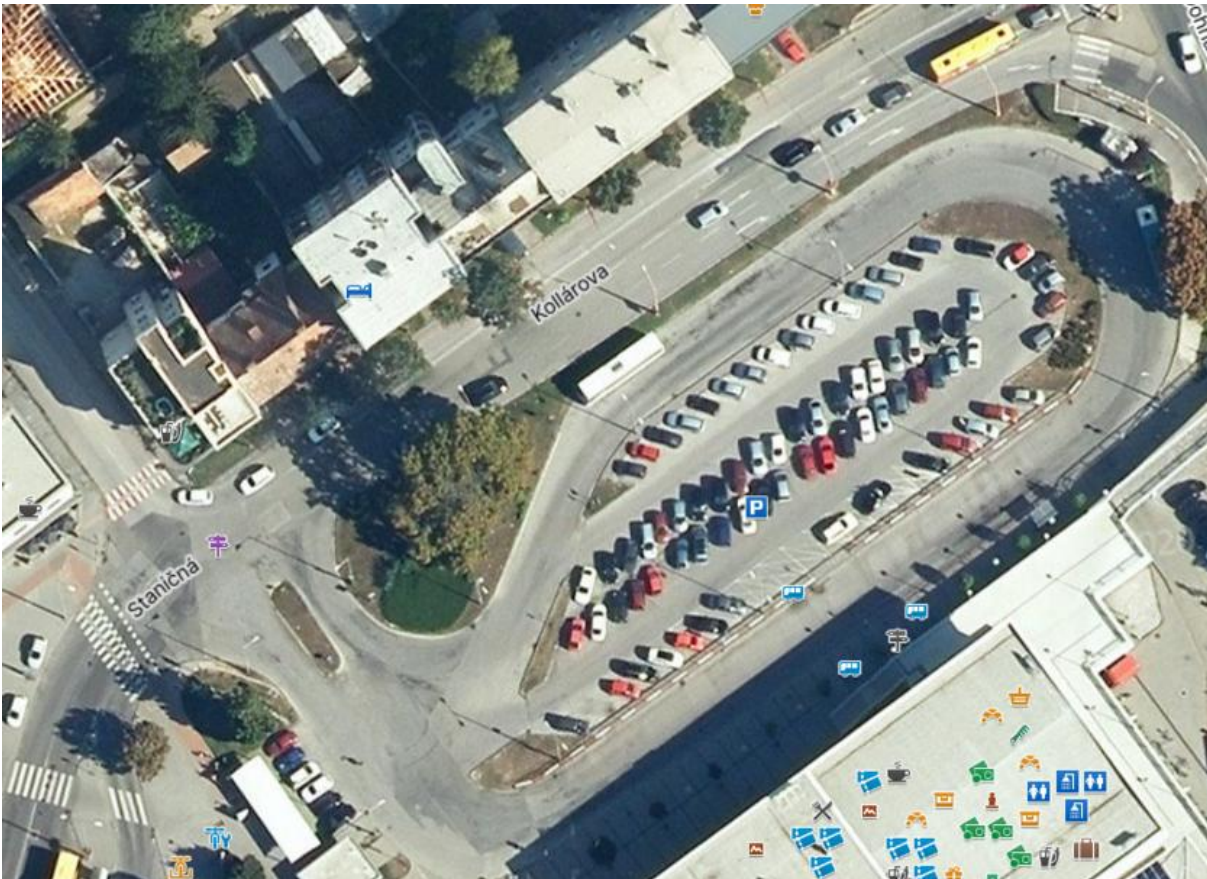
Obrázok č. 10: Označenie ulíc vo vybranej lokalite (zdroj [16])



Obrázok č. 11: Výskyt dopravných nehôd zaznamenaných políciou SR (zdroj [20])



Obrázok č. 12: pentlogram križovatky č.2



Obrázok č. 13: Satelitný snímok vybranej lokality (zdroj [17])

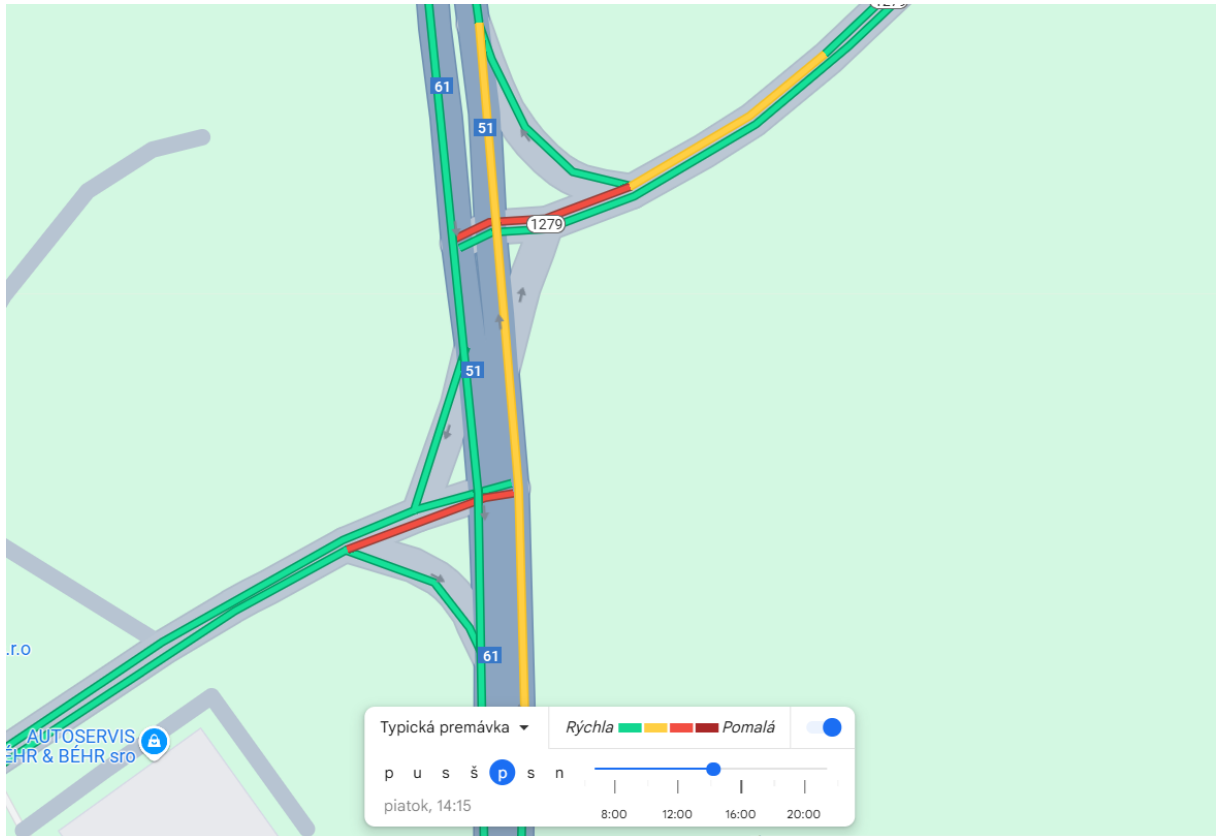
Tretia analyzovaná lokalita sa nachádza na južnom okraji mesta Trnava – ide o križovatku cesty I/51 a vedľajšej komunikácie č. 1279, v tesnej blízkosti Zavorskej cesty a výjazdu na diaľnicu D1 a CT Parku. Táto križovatka má význam predovšetkým z pohľadu tranzitnej a priemyselnej dopravy, keďže zabezpečuje napojenie Trnavy na diaľničný obchvat a príslušné logistické zóny.

Dopravné zaťaženie križovatky výrazne stúpa v špičkových hodinách, najmä:

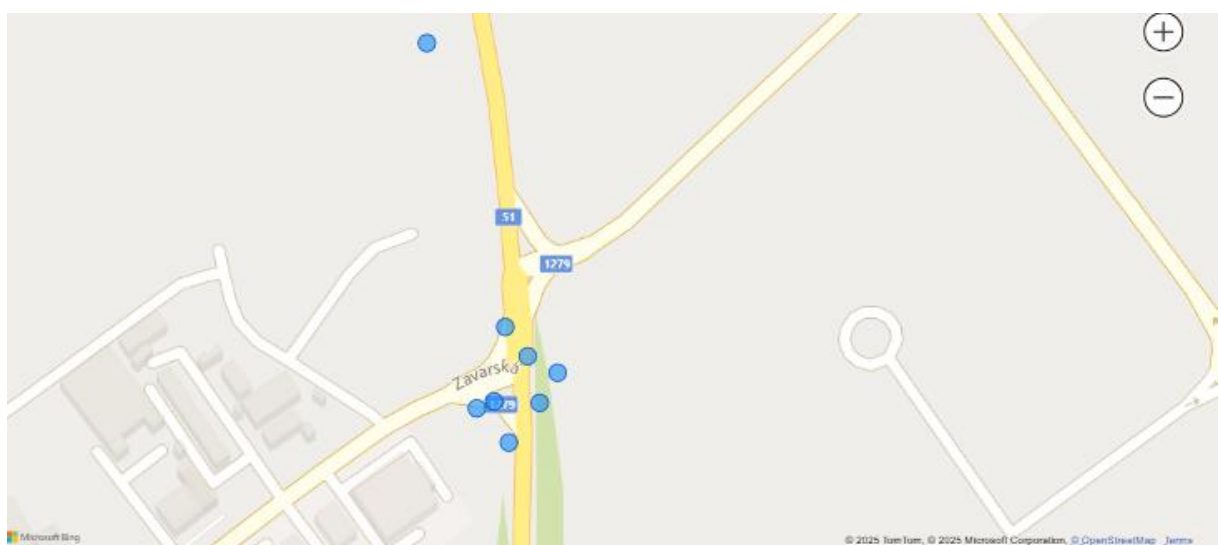
- ráno (6:30 – 8:00), kedy dochádza k nástupu pracovníkov do priemyselného parku (CT Park),
- poobede (14:30 – 16:00), pri ukončení zmien a výjazde nákladných a osobných vozidiel smerom na diaľnicu.

Ako ukazuje dopravná mapa z Google Maps (obrázok č. 14), v čase piatok 14:15 sú zaznamenané rozsiahle kolóny v oboch smeroch na ceste I/51 aj v návaznej križovatke, čo potvrdzuje opakujúce sa kongescie. Problém nie je len v plynulosti, ale aj v bezpečnosti premávky. Podľa verejne dostupných údajov z Ministerstva vnútra SR, v uvedenej lokalite došlo v priebehu posledného roka k viacerým dopravným nehodám, z čoho niektoré boli vážnejšieho charakteru.

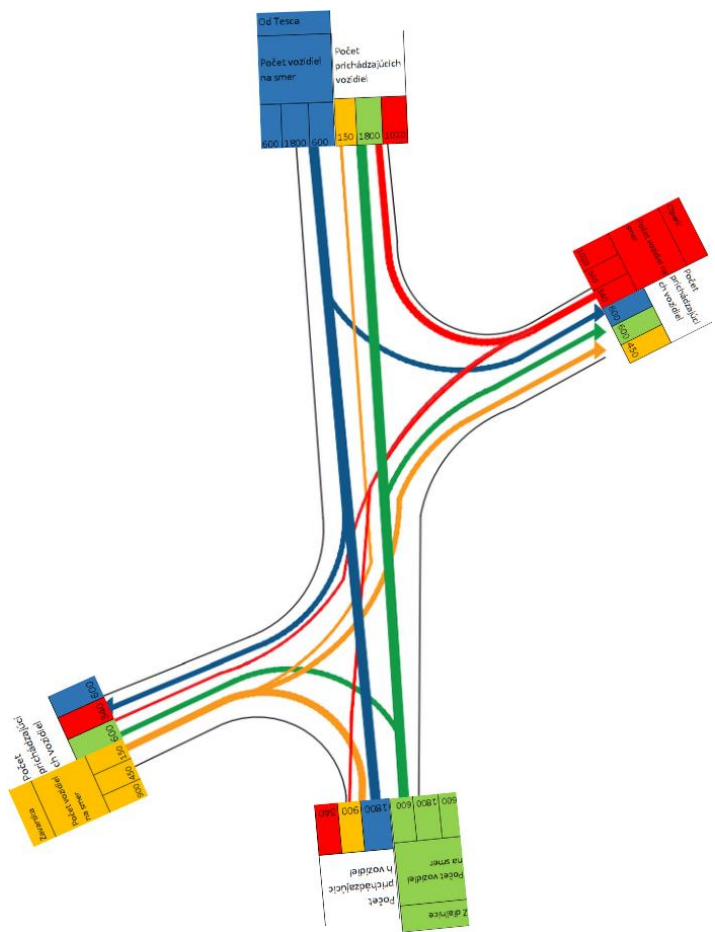
Ako ukazuje druhá mapa (obrázok č.15), miesta nehôd sú označené modrými bodmi a sú koncentrované práve v okolí spomínanej križovatky. Väčšina nehôd vznikla nesprávnym prejazdom križovatkou, zlým radením a nedodržaním prednosti v jazde, pričom celková spôsobená škoda sa odhaduje na takmer 100 000 EUR. Na základe opísaných faktov bola táto lokalita zvolená do riešenia práce.



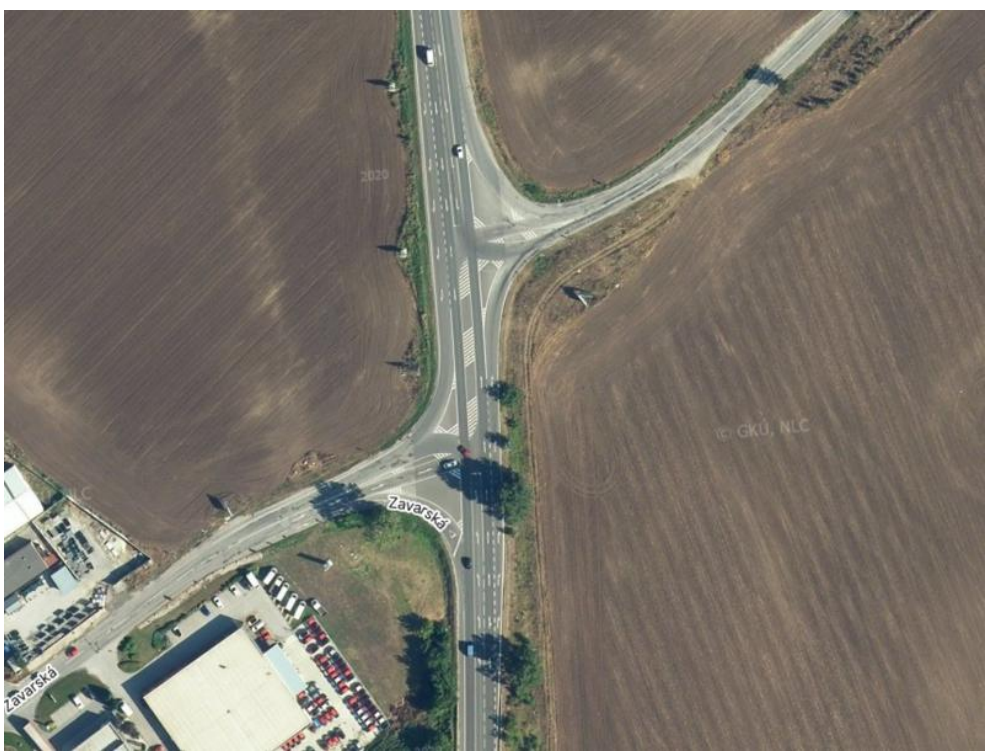
Obrázok č. 14: Označenie komunikácií vo vybranej lokalite (zdroj [18])



Obrázok č. 15: Výskyt dopravných nehôd zaznamenaných políciou SR (zdroj [20])



Obrázok č. 16: Pentlogram križovatky č.3



Obrázok č. 17: Satelitný snímok vybranej lokality (zdroj [19])

6.2 VSTUPNÉ PARAMETRE

Pre správnu funkčnosť modelov bolo nevyhnutné zadať presné vstupné parametre. Tieto parametre zahŕňajú počet vozidiel, ktoré vstúpili do vybraného úseku počas jednej hodiny z jednotlivých smerov. Počet osobných automobilov, ako aj autobusov a nákladných vozidiel bol zistený na mieste vybranej lokality v čase od 14:00 do 15:00, čo zodpovedá obdobiu najhustejšej premávky. Zároveň boli zaznamenané intervaly signalizácie na svetelne riadených križovatkách, a to pre červenú, oranžovú a zelenú farbu. Namerané údaje sú prehľadne uvedené v tabuľkách, ktoré sú súčasťou tejto kapitoly. Vstupné parametre boli namerané na mieste vybranej lokality. Rýchlosti vozidiel sú určené na základe priemernej rýchlosti respektíve maximálnej rýchlosti vo vybraných lokalitách.

Tab. č. 4: Vstupné hodnoty križovatky č.1

Auta		Autobusy	
Nastavenie vozidiel		Nastavenie vozidiel	
Počiatočná rýchlosť [km/h]	50	Počiatočná rýchlosť [km/h]	40
Preferovaná rýchlosť [km/h]	50	Preferovaná rýchlosť [km/h]	40
Max zrýchlenie [m/s]	2.5	Max zrýchlenie [m/s]	1.8
Max spomalenie [m/s]	8	Max spomalenie [m/s]	4.2
Hospodárska		Hospodárska	
Počet vozidiel za hodinu	1000	Počet vozidiel za hodinu	15
Pravdepodobnosť odbočenia	0.15/0.55/0.3	Pravdepodobnosť odbočenia	Iba na stanicu
Kollarová (stanica)		Kollarová (stanica)	
Počet vozidiel za hodinu	800	Počet vozidiel za hodinu	35
Pravdepodobnosť odbočenia	0.3/0.45/0.25	Pravdepodobnosť odbočenia	0.5/0.25/0.25
Dohnányho		Dohnányho	
Počet vozidiel za hodinu	1000	Počet vozidiel za hodinu	10
Pravdepodobnosť odbočenia	0.1/0.6/0.3	Pravdepodobnosť odbočenia	Iba na stanicu
Kollarová (Aréna)		Kollarová (Aréna)	
Počet vozidiel za hodinu	1000	Počet vozidiel za hodinu	10
Pravdepodobnosť odbočenia	0.5/0.4/0.1	Pravdepodobnosť odbočenia	Iba na stanicu

Tab. č. 5: Vstupné hodnoty križovatky č.2

Auta	
Nastavenie vozidiel	
Počiatočná rýchlosť [km/h]	50
Preferovaná rýchlosť [km/h]	50
Max zrýchlenie [m/s]	2.5
Max spomalenie [m/s]	8
Andreja Hlinku	
Počet vozidiel za hodinu	1000
Pravdepodobnosť odbočenia	0.2/0.1/0.7
Kollarová	
Počet vozidiel za hodinu	1000
Pravdepodobnosť odbočenia	0.7/0.2/0.1
Stanica	
Počet vozidiel za hodinu	300
Pravdepodobnosť odbočenia	0.6/0.25/0.15
Stanica1	
Počet vozidiel za hodinu	300
Pravdepodobnosť odbočenia	0.15/0.25/0.6

Autobusy	
Nastavenie vozidiel	
Počiatočná rýchlosť [km/h]	40
Preferovaná rýchlosť [km/h]	40
Max zrýchlenie [m/s]	1.8
Max spomalenie [m/s]	4.2
Andreja Hlinku	
Počet vozidiel za hodinu	5
Pravdepodobnosť odbočenia	Iba na stanicu
Kollarová	
Počet vozidiel za hodinu	65
Pravdepodobnosť odbočenia	Iba na stanicu

Tab. č. 6 Vstupné hodnoty križovatky č.3

Auta	
Nastavenie vozidiel	
Počiatočná rýchlosť [km/h]	70
Preferovaná rýchlosť [km/h]	70
Max zrýchlenie [m/s]	2.5
Max spomalenie [m/s]	8
Zavarska	
Počet vozidiel za hodinu	1500
Pravdepodobnosť odbočenia	0.6/0.3/0.1
Ctpark	
Počet vozidiel za hodinu	1700
Pravdepodobnosť odbočenia	0.6/0.2/0.2
Od Tesca	
Počet vozidiel za hodinu	3000
Pravdepodobnosť odbočenia	0.2/0.6/0.2
Z diaľnice	
Počet vozidiel za hodinu	3000
Pravdepodobnosť odbočenia	0.2/0.6/0.2

Nákladné vozidlá	
Nastavenie vozidiel	
Počiatočná rýchlosť [km/h]	60
Preferovaná rýchlosť [km/h]	60
Max zrýchlenie [m/s]	1.8
Max spomalenie [m/s]	4.2
Zavarska	
Počet vozidiel za hodinu	80
Pravdepodobnosť odbočenia	Iba na diaľnicu
Ctpark	
Počet vozidiel za hodinu	80
Pravdepodobnosť odbočenia	Iba na Tesco
Od Tesca	
Počet vozidiel za hodinu	250
Pravdepodobnosť odbočenia	0.7/0.3
Z diaľnice	
Počet vozidiel za hodinu	250
Pravdepodobnosť odbočenia	0.7/0.3

6.3 TVORBA MODELU AKTUÁLNEHO STAVU

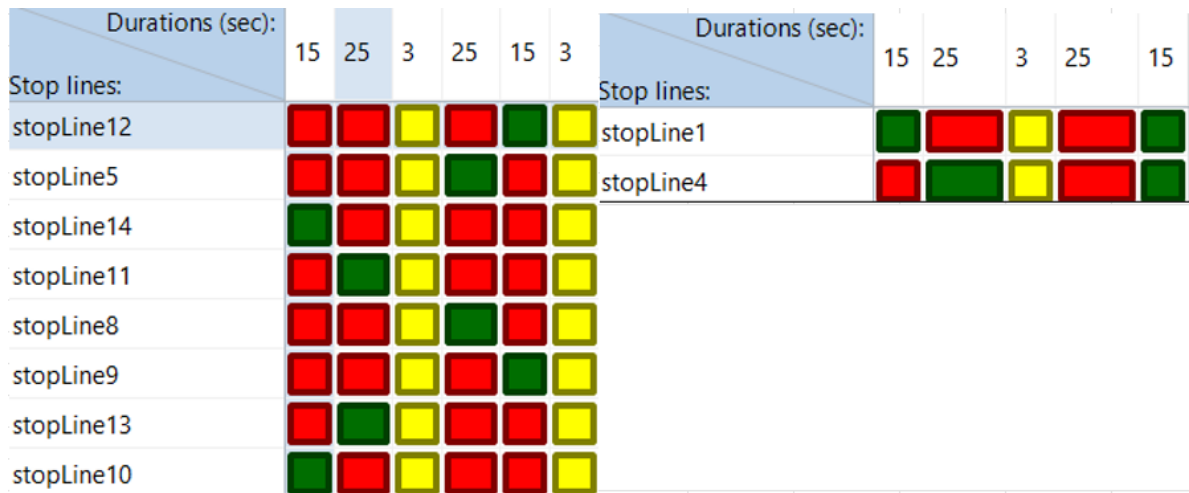
6.3.1 Križovatka č.1

Model križovatky č. 1 bol vytvorený v prostredí AnyLogic na základe snímku, ktorý slúžil ako vizuálny podklad pre zakreslenie reálnych proporcií jazdných pruhov, vjazdov a výjazdov. Na modelovanie bol použitý nástroj Road Traffic Library, pomocou ktorého boli vytvorené jednosmerné komunikácie s definovanou rýchlosťou 50 km/h pre osobné automobily a 40 km/h pre autobusy, stop čiarami a uzlami.

Dopravná logika (viď. Príloha č. 1) bola zostavená z blokov CarSource, SelectOutput, MoveTo a CarDispose, pričom intenzity vstupov boli nastavené podľa pozorovaného zaťaženia počas dopravnej špičky. Smery jazdy boli rozdelené podľa pravdepodobnosti výskytu a rešpektovali dopravné značenie. Keďže ide o svetelne riadenú križovatku, do modelu boli implementované aj svetelné signalizácie s časovým plánom (Obrázok č. 19). Hlavné smery a odbočenia boli nastavené v samostatných riadiacich skupinách. Model slúži ako základ na porovnanie dopravnej výkonnosti pred a po aplikácii návrhových riešení.



Obrázok č. 18: Model vybranej lokality križovatky



Obrázok č. 19: Časový plán svetelne riadenej križovatky

Výsledok simulácie aktuálneho stavu

Na základe simulácie aktuálneho stavu križovatky č. 1, ktorá prebiehala počas jednej hodiny simulačného času dopravnej špičky, boli získané nasledovné výstupy (Príloha č. 2):

- Priemerná rýchlosť vozidiel (osobné vozidlá aj autobusy) bola iba 5,23 km/h, čo poukazuje na výrazné spomalenie dopravy.
- Priemerný čas zotrvania v križovatke dosiahol:
 - 95,54 sekundy pre osobné vozidlá
 - 76,87 sekundy pre autobusy
- Celkový počet zastavení vozidiel dosiahol 2855 zastavení, čo svedčí o nízkej plynulosti dopravy.
- Celkový počet vozidiel, ktoré prešli križovatkou bolo 55 autobusov a 1531 osobných automobilov
- Vývoj okamžitej priemernej rýchlosti ukazuje fluktuácie typické pre dopravnú zápchu, kde dochádza ku krátkodobému zvýšeniu rýchlosti medzi zastaveniami.

6.3.2 Križovatka č.2

Druhá modelovaná lokalita sa nachádza bezprostredne pred železničnou stanicou v Trnave, kde sa stretávajú viaceré dopravné toky osobnej aj verejnej dopravy. Križovatka je charakteristická intenzívnym výskytom chodcov, ktorí prechádzajú z centra mesta smerom k stanici alebo do neďalekého nákupného centra. Zároveň sa tu nachádza zastávka MHD, na ktorej v

pravidelných intervaloch zastavujú autobusy, ktoré naberajú alebo vykladajú cestujúcich. Táto zastávka sa nachádza v tesnej blízkosti križovatky, čo ovplyvňuje plynulosť premávky.

V blízkosti sa taktiež nachádza bezplatné parkovisko situované na lukratívnom mieste v centre mesta. Je častým javom, že vodiči počas dňa opakovane prechádzajú touto lokalitou v snahe nájsť voľné miesto na parkovanie. Tento faktor zvyšuje počet otáčajúcich sa vozidiel a znižuje predvídateľnosť dopravných tokov. Z hľadiska parametrov modelu boli osobné vozidlá nastavené s maximálnou rýchlosťou 50 km/h a autobusy s maximálnou rýchlosťou 40 km/h.



Obrázok č. 20: Model vybranej lokality križovatky

V rámci modelu križovatky č. 2 bola implementovaná logika (Príloha č. 4) umožňujúca dávanie prednosti chodcom pri prechode cez vozovku. Táto funkcionality bola vytvorená pomocou stavových diagramov (statechart), ktoré vyhodnocujú prítomnosť chodcov v blízkosti priechodu.

Na detekciu pohybu chodcov slúžia komponenty `pedAreaDescriptor`, ktoré monitorujú vstup a výstup z určených zón. Vstupom chodca sa zvyšuje hodnota počítadla „`pedCountBeforeX`“ (++) on enter), výstupom sa znižuje (-- on exit). Stavový diagram prepína medzi stavmi `openForward` a `closeForward` (prípadne `openBackward` / `closeBackward`) na základe podmienky, napr.:

„pedCountBefore2 > 0 || pedCountForward1 > 0. V stave openForward“ je následne aktivovaný príkaz:

„stopLineX.setSignal(TrafficLightSignal.SIGNAL_GREEN)“

alebo „SIGNAL_RED“, čím sa v simulácii ovplyvní správanie vozidiel — buď pokračujú v jazde, alebo zastavia a dajú prednosť chodcom.

Výsledok simulácie aktuálneho stavu

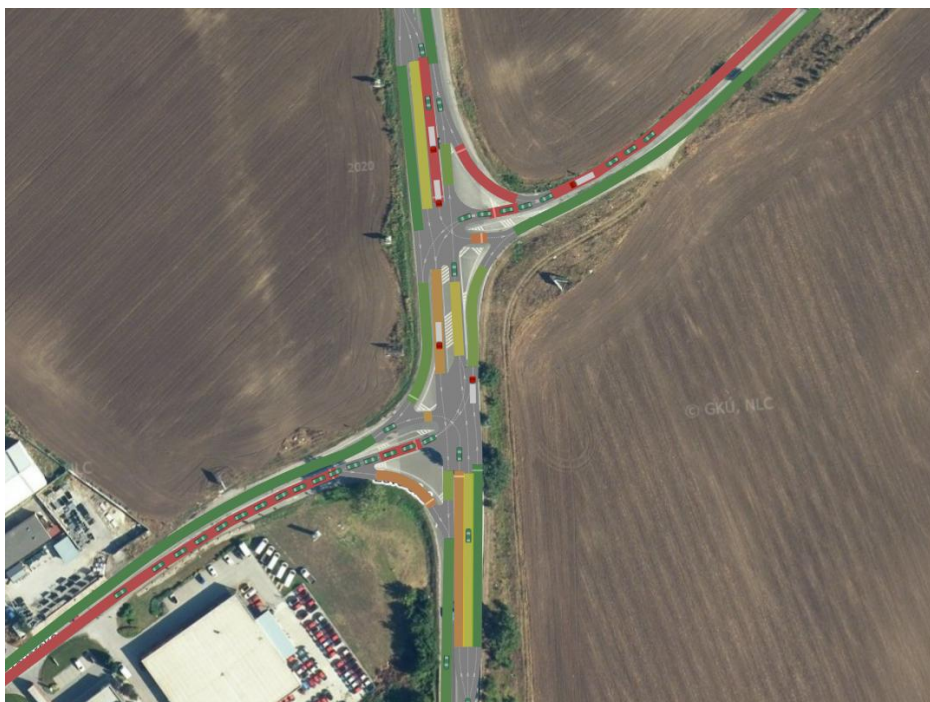
Simulácia aktuálneho stavu križovatky č. 2 prebiehala počas simulovaného časového úseku jednej hodiny. V rámci simulácie boli zaznamenané tieto kľúčové ukazovatele (Príloha č. 5):

- Priemerný čas strávený v križovatke pre osobné vozidlá bol približne 79,2 sekundy.
- Autobusy dosiahli priemerný čas 128,5 sekundy, čo zodpovedá ich zastaveniu a pobytu na autobusovej zastávke.
- Priemerná rýchlosť vozidiel sa pohybovala na úrovni 2,83 km/h, čo však zahŕňa aj segmenty, kde vozidlá parkujú alebo manévrujú v priestore parkoviska.
- Počet zaznamenaných zastavení vozidiel dosiahol hodnotu 2 315, čo indikuje časté brzdenie a nepravidelný tok dopravy, najmä v dôsledku interakcie medzi prichádzajúcimi vozidlami, autobusmi a vozidlami parkujúcimi alebo odchádzajúcimi z parkoviska.
- Počet vozidiel v systéme bol 1063ks z toho 52 autobusov a 1011 automobilov.

6.3.3 Križovatka č.3

Tretia analyzovaná križovatka sa nachádza na mestskom obchvate Trnava, v blízkosti napojenia na diaľnicu D1 a logistického parku CTPark Trnava. Vzhľadom na svoju polohu ide o významný tranzitný uzol, ktorý slúži na presmerovanie osobnej aj nákladnej dopravy mimo centra mesta. Križovatka je vybavená vodorovným dopravným značením, ktoré usmerňuje pohyb vozidiel v jednotlivých smeroch. Napriek tomu sa v tejto lokalite často vyskytujú dopravné nehody, predovšetkým v dôsledku nedodržiavania dopravného značenia, nesprávnej jazdy cez križovatku a nedostatočnej pozornosti zo strany vodičov. Tieto faktory prispievajú k narušeniu plynulosti dopravy a znižujú bezpečnosť premávky. Dopravné zaťaženie je výrazne ovplyvnené striedaním pracovných zmien v priemyselnom areáli, čo vedie k dopravným kongesciám najmä v ranných a popoludňajších hodinách. Dôležitým faktorom je aj vysoký podiel nákladnej dopravy, ktorý predstavuje významnú záťaž pre túto križovatku. V rámci simulácie boli nastavené rýchlosti

pohybujúcich sa vozidiel podľa charakteru dopravného toku: osobné vozidlá sa pohybovali rýchlosťou 70 km/h, zatiaľ čo nákladné vozidlá 60 km/h



Obrázok č. 21: Model vybranej lokality križovatky

Výsledok simulácie aktuálneho stavu

Križovatka č. 3, ktorá sa nachádza na tranzitnej trase v juhozápadnej časti Trnavy, bol simulovaný aktuálny stav počas dopravnej špičky (Príloha č. 7).

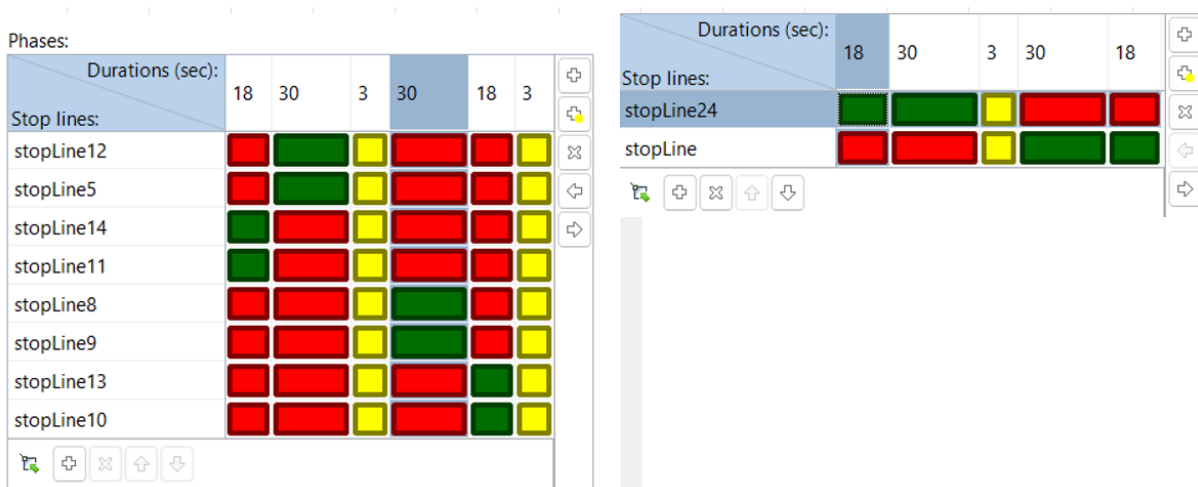
- Počas simulácie trvajúcej 60 minút boli zaznamenané nasledovné výsledky:
- Priemerná rýchlosť vozidiel sa pohybovala na úrovni 15,01 km/h, čo je výrazne pod stanovenou rýchlosťou pre daný úsek (70 km/h pre osobné a 60 km/h pre nákladné vozidlá), čo svedčí o výraznej neplynulosti premávky.
- Priemerný čas zotrvania osobných vozidiel v križovatke bol 74,6 sekundy, zatiaľ čo nákladné vozidlá zotrvali v oblasti križovatky v priemere 89,87 sekundy.
- Celkový počet zastavení v rámci modelu dosiahol 5 569 zastavení za jednu hodinu simulovaného času, čo poukazuje na časté brzdenie a opätovné rozbiehanie vozidiel – typický prejav preťaženého dopravného uzla s nízkou priepustnosťou.
- Celkový počet vozidiel v systéme bol 1750 ks z toho 259 nákladných vozidiel a 1491 automobilov.

6.4 VARIANTY RIEŠENÍ

6.4.1 Návrh svetelnej signalizácie križovatky č.1

Prvým návrhovým opatrením bolo prehodnotenie a návrh novej svetelnej signalizácie na križovatke č. 1, ktorá patrí medzi najviac zaťažené dopravné uzly v riešenej oblasti. Pôvodné nastavenie signalizácie bolo zaznamenané počas rannej dopravnej špičky, čo poskytlo realistický základ pre porovnanie aktuálneho a navrhovaného stavu. Cieľom návrhu bolo zvýšenie priepustnosti križovatky, zníženie dĺžky čakacích radov a celkového zdržania vozidiel, a to úpravou dĺžok jednotlivých svetelných fáz. Optimalizácia sa zamerala najmä na:

- predĺženie fázy hlavných smerov, ktoré počas špičky generovali najväčšie množstvo vozidiel,
- implementáciu fázového prekrytia, ktoré umožnilo súčasný prejazd niektorých neskrížených smerov (napr. rovno zo severu a juhu),
- redukciu prestojov medzi fázami, čím sa znížila neefektívne nevyužitá doba medzi zmenou signálov.



Obrázok č. 22: Návrh svetelnej signalizácie

Výsledky návrhu svetelne riadenej križovatky

Po vykonaní návrhu svetelnej signalizácie na križovatke č. 1 boli upravené dĺžky signálnych intervalov tak, aby lepšie zohľadňovali intenzitu dopravy v jednotlivých smeroch. Zároveň došlo k úprave logiky radenia a rozdelenia fáz, aby sa zlepšila plynulosť premávky a znížil počet konfliktov medzi jednotlivými dopravnými prúdmi. Cieľom úprav bolo znížiť mieru preťaženia križovatky počas dopravnej špičky a zabezpečiť rovnomernejšie rozdelenie zaťaženia medzi hlavné a vedľajšie

smery. Výsledky ukázali (Príloha č. 8) priemernú rýchlosť vozidiel 7,7 km/h. Priemerný čas strávený v križovatke bol 90,78 sekundy pre osobné automobily a 97,44 sekundy pre autobusy. Celkový počet zastavení v priebehu hodinovej simulácie predstavoval 2801, pričom sa v simulácii pohybovalo celkom 1723 vozidiel (z toho 1662 osobných a 61 autobusov).

6.4.2 Výstavba okružnej križovatky z križovatky č.1

Ako alternatíva k pôvodnému riešeniu je navrhnutá jednopruhovú okružná križovatka. Tento návrh reflektuje priestorové možnosti daného územia a zohľadňuje potrebu zníženia kolíznych bodov a zvýšenia plynulosti premávky. Jednopruhovú okružnú križovatku zabezpečujú efektívne smerovanie vozidiel v rámci všetkých ramien križovatky. Navrhnuté usporiadanie rešpektuje existujúcu dopravnú infraštruktúru a poskytuje dostatočný priestor pre pohyb vozidiel vrátane MHD.



Obrázok č. 23: Návrh na riešenie okružnej križovatky č.1

Výsledok jednopruhovej okružnej križovatky

Simuláciou návrhu jednopruhovej okružnej križovatky boli získané tieto hodnoty. Priemerná rýchlosť vozidiel v rámci simulácie dosiahla 10,6 km/h. Priemerný čas strávený v systéme predstavoval 56,86 sekundy pre osobné automobily a 73,97 sekundy pre autobusovú dopravu. Počas jednej hodiny simulovaného času cez križovatku prešlo celkovo 1 703 vozidiel, z čoho 60 tvorili autobusy. Počet zaznamenaných zastavení v rámci križovatky dosiahol hodnotu 2 758 (Príloha č. 9).

6.4.3 Výstavba dvojprúdovej okružnej križovatky z križovatky č.1

Okružné križovatky vo všeobecnosti znižujú počet kolíznych bodov a tým zvyšujú bezpečnosť. V prípade dvojpruhového riešenia ide najmä o zabezpečenie kapacitného zvládnutia intenzít dopravy, ktoré presahujú možnosti tradičných svetelne riadených križovatiek. Dvojica jazdných pruhov v okruhu umožňuje simultánny pohyb väčšieho počtu vozidiel a znižuje dĺžku čakacích radov. Návrh rešpektuje základné princípy návrhu podľa STN 73 6102, vrátane minimálnych širok jazdných pruhov, tvarového usporiadania vjazdov a výjazdov, ako aj centrálného ostrovčeka. Rovnako bolo prihliadnuté na možnosti prejazdu autobusov, ktoré sú v danej lokalite bežné, ako aj na potrebu smerového vedenia a prehľadnosti. Zmena na okružnú križovatku predpokladá elimináciu nútených zastavení z dôvodu čakania na zelený signál, čím sa skracuje priemerný čas prejazdu križovatkou a zároveň znižuje riziko tvorby kongescií. Tento typ riešenia je vhodný najmä pre križovatky s výrazným pomerom priečných a hlavných smerov, čo platí aj pre predmetnú lokalitu.



Obrázok č. 24: Návrh na riešenie križovatky č.1

Výsledky dvojprúdovej okružnej križovatky

Simuláciou návrhu dvojprúdovej okružnej križovatky boli získané tieto hodnoty. Priemerná rýchlosť vozidiel v rámci simulácie dosiahla 9,7 km/h. Priemerný čas strávený v systéme predstavoval 120 sekúnd pre osobné automobily a 177 sekúnd pre autobusovú dopravu. Počas jednej hodiny simulovaného času cez križovatku prešlo celkovo 2056 vozidiel, z čoho 56 tvorili

autobusy. Počet zaznamenaných zastavení v rámci križovatky dosiahol hodnotu 8908 (Príloha č. 10).

6.4.4 Atypická okružná križovatka z križovatky č.2

Druhý návrh vychádza z princípov netradičných okružných križovatiek, ktoré sa v posledných rokoch čoraz častejšie uplatňujú najmä v hustej mestskej zástavbe, kde klasické kruhové riešenie nie je možné uplatniť kvôli obmedzenému priestoru, existujúcej infraštruktúre alebo špecifickej topografii.

Návrh sa inšpiruje výsledkami publikovanými v nasledovných štúdiách:

- "Effectiveness of Unconventional Roundabouts in the Design of Suburban Intersections", kde autori prezentujú využitie netradičných tvarov okružných križovatiek na zlepšenie dopravného prietoku bez zásadného zásahu do urbanistického usporiadania. [29]
- "Traffic Circulation Efficiency of Elliptical Roundabouts", ktorá preukazuje, že eliptické okružné križovatky majú pri vysokom dopravnom zaťažení až o 16,9 % vyššiu efektivitu než klasické okružné križovatky rovnakých rozmerov.[30]

Zvolené riešenie sa preto snaží:

- zachovať existujúcu urbanistickú štruktúru, vrátane napojenia na parkovacie plochy a pešie ťahy,
- zároveň však zvýšiť plynulosť dopravy rozšírením kapacity v hlavnom smere prostredníctvom pretiahnutého – eliptického alebo oválneho – tvaru okruhu,
- a minimalizovať kolízne body v porovnaní s pôvodným stavom alebo klasickým kruhovým návrhom.



Obrázok č. 25: Návrh riešenia križovatky č.2

Výsledky simulácie návrhu atypickej okružnej križovatky

Výsledky simulácie ukazujú, že priemerná rýchlosť vozidiel bola 4,751 km/h. Treba však poznamenať, že do tohto údaja je zahrnutý aj čas státia počas parkovania. Priemerný čas, ktorý vozidlá strávili v systéme, dosiahol hodnotu 82,79 sekundy, zatiaľ čo priemerný čas pre autobusy bol 101,1 sekundy. Celkový počet zastavení počas simulácie bol 2113. Do systému vstúpilo spolu 1332 vozidiel, z toho 1280 osobných áut a 52 autobusov (Príloha č. 11).

6.4.5 Návrh svetelnej signalizácie križovatky č.2

Návrh úpravy križovatky s implementáciou svetelnej signalizácie vychádza z potenciálu existujúcej infraštruktúry a z cieľa zlepšiť plynulosť a bezpečnosť dopravy v danom území. V rámci návrhu boli doplnené odbočovacie pruhy v miestach, kde to priestorové možnosti umožňovali. Konkrétne sa jedná o nový výjazdový pruh z parkoviska na Kollárovu ulicu, odbočovací pruh z Kollárovej ulice smerom na ulicu Andreja Hlinku a taktiež nový odbočovací pruh zo Staničnej ulice do parkovacieho priestoru. Zároveň bola upravená šírková dispozícia Kollárovej ulice, kde došlo k redukcii z troch na dva jazdné pruhy. Odbočenie vpravo smerom k nemocnici bolo posunuté ďalej od pôvodného miesta, čím sa vytvoril priestor pre bezpečnejšie a efektívnejšie vedenie dopravy.

Uvedený návrh si vyžaduje realizáciu rozsiahlych inžinierskych zásahov vrátane inštalácie svetelnej signalizácie.



Obrázok č. 26: Návrh svetelne riadenej križovatky

Svetelná signalizácia v predmetnej križovatke bola navrhnutá s cieľom minimalizovať počet kolíznych bodov a zároveň zabezpečiť plynulý prechod vozidiel po najvyťaženejších komunikáciách. Ulice Kollárova, Staničná a Andreja Hlinku, ako hlavné dopravné ťahy, boli preto uprednostnené v časovaní signálov – fáza zelenej pre tieto smery trvá 30 sekúnd. Odbočenie doprava z Kollárovej ulice bolo rozšírené o ďalších 15 sekúnd, čo umožňuje jeho priechodnosť aj počas zelenej fázy na Andreja Hlinku, čím sa celkový čas výjazdu predlžuje na 45 sekúnd. Takéto riešenie umožňuje dynamickejšie riadenie dopravy bez narušenia bezpečnosti. Menej frekventované smery, ako je výjazd z parkoviska, majú fázu zelenej signalizácie nastavenú na kratší interval – 15 sekúnd, čo zodpovedá ich nižšiemu dopravnému zaťaženiu.

Durations (sec):	30	3	15	3	30	3
Stop lines:						
stopLine	Green	Yellow	Red	Yellow	Red	Yellow
stopLine1	Red	Yellow	Red	Yellow	Green	Yellow
stopLine6	Red	Yellow	Green	Yellow	Red	Yellow
stopLine2	Red	Yellow	Red	Yellow	Green	Yellow
stopLine15	Green	Yellow	Green	Yellow	Red	Yellow

Obrázok č. 27: Návrh svetelnej signalizácie

Výsledky návrhu svetelnej signalizácie

Priemerná rýchlosť vozidiel: 1,801 km/h Táto hodnota je výrazne ovplyvnená faktom, že sa do výpočtu započítava aj čas státia na parkovisku, Priemerný čas v systéme: osobné vozidlá: 83,86 sekundy autobusy: 136,76 sekundy

Počet vozidiel: 965 z toho 49 autobusov a 916 osobných automobilov. Počet zastavení 1477 Tento počet zahŕňa všetky úplné zastavenia vozidiel v priebehu simulácie, vrátane prízjazdov k priechodom pre chodcov, výjazdov z parkoviska či vstupov do križovatky. Vzhľadom na jednopruhovú riešenie je tento údaj relatívne prijateľný (Príloha č. 12).

6.4.6 Mimo úrovňová križovatka č.3

Križovatka č. 3 sa nachádza na úseku obchvatu s vysokým podielom tranzitnej dopravy a predstavuje dôležitý bod dopravného napojenia mimo zastavané územie. Z tohto dôvodu sa ako najvhodnejšie a dlhodobu udržateľné riešenie javí výstavba mimoúrovňovej križovatky. Hlavným cieľom návrhu je zlepšiť plynulosť dopravného toku, zvýšiť bezpečnosť účastníkov cestnej premávky a eliminovať problémy vyplývajúce z aktuálnej dopravnej situácie. Zavedením mimoúrovňového riešenia dôjde k efektívnej segregácii dopravných prúdov, čím sa odstránia kolízne body a minimalizuje sa riziko dopravných nehôd. Vozidlá budú môcť križovatkou prechádzať bez potreby zastavenia, čo zabezpečí nepretržitý a rýchly priechod aj počas dopravnej špičky. Tento prístup je obzvlášť vhodný pre úseky s dominantnou tranzitnou funkciou, ako je tomu v tomto prípade – križovatka sa totiž nachádza na napojení cestného obchvatu. Realizácia svetelne riadenej križovatky by v tomto prostredí nebola vhodná, nakoľko by spôsobila zbytočné spomaľovanie plynulého toku vozidiel. Rovnako nevhodná by bola aj okružná križovatka, ktorá by si vyžiadala zníženie rýchlosti a zvýšila by mieru zastavovania. Pri návrhu mimoúrovňového

riešenia sa brali do úvahy smerové pomery hlavných aj vedľajších vetiev, dostupné priestorové možnosti, ako aj potreba zachovať plynulé a bezpečné napojenie príľahlých komunikácií.



Obrázok č. 28: Návrh riešenia križovatky č.3

Výsledky návrhu mimoúrovňovej križovatky

Priemerná rýchlosť vozidiel: 24,825 km/h. Priemerný čas v systéme: osobné vozidlá: 73,4 sekundy a nákladné vozidlá 56,51 sekundy.

Počet vozidiel v systéme je 1936 z toho 318 nákladných vozidiel a 1618 osobných automobilov.

Počet zastavení v systéme za hodinu simulačného času bolo 3680 (Príloha č. 13)

7 DOSIAHNUTÉ VÝSLEDKY

Tabuľka č. 7 poskytuje komplexné porovnanie jednotlivých návrhových riešení dopravných uzlov na troch vybraných križovatkách v meste Trnava. Pre každé riešenie boli vyhodnotené základné simulačné ukazovatele vrátane priemernej rýchlosti vozidiel, priemerného času zotrvania v križovatke (pre osobné vozidlá aj autobusy alebo nákladné vozidlá), celkového počtu zastavení a počtu vozidiel prechádzajúcich daným uzlom v rámci hodinovej simulácie. Z uvedených údajov je zrejmé, že návrhové varianty vykazujú rozdielne hodnoty výkonnostných parametrov, čo je dôsledkom špecifických opatrení implementovaných v jednotlivých scenároch – napríklad optimalizácia svetelnej signalizácie, výstavba jednopruhovej alebo dvojpruhovej okružnej križovatky či návrh mimoúrovňového riešenia. Rozdiely medzi riešeniami sa prejavujú najmä v priemernej rýchlosti a čase zdržania, ktoré sú kľúčovými ukazovateľmi plynulosti dopravy. Kritériá ako počet zastavení alebo celkový počet vozidiel prechádzajúcich križovatkou zároveň poukazujú na mieru vyťaženia jednotlivých variant a ich schopnosť zvládať dopravné zaťaženie počas špičky.

Tab. č. 7: Porovnanie dopravných riešení križovatiek

		Priemer. Rýchlosť [km/h]	Priemer. Čas OA [s]	Priemer. Čas BUS/NK [s]	Počet Zastavení	Počet vozidiel
Križovatka č.1	Aktuálny stav	5,23	95,54	76,87	2855	1586
Križovatka č.1	Optimalizácia signalizácie	7,70	90,78	97,44	2801	1723
Križovatka č.1	Jednopruhovú okružná križovatka	10,60	56,86	73,97	2758	1703
Križovatka č.1	Dvojpruhová okružná križovatka	9,70	120	177	8908	2056
Križovatka č.2	Aktuálny stav	2,83	79,2	128,5	2315	1063
Križovatka č.2	Atypická križovatka	4,75	82,79	101,1	2113	1332
Križovatka č.2	Svetelná signalizácia	1,80	83,86	136,76	1477	965
Križovatka č.3	Aktuálny stav	15,01	74,6	89,87	5569	1750

		Priemer. Rýchlosť [km/h]	Priemer. Čas OA [s]	Priemer. Čas BUS/NK [s]	Počet Zastavení	Počet vozidiel
Križovatka č.3	Mimourovňová križovatka	24,83	73,4	56,51	3680	1936

7.1 GRAFICKÉ ZOBRAZENIE VÝSLEDKOV

Pre lepšiu prehľadnosť výsledkov je hodnota „počet zastavení“ a „počet vozidiel“ vydelená číslom 100 a rýchlosť vozidiel bola prepočítaná na m/s.

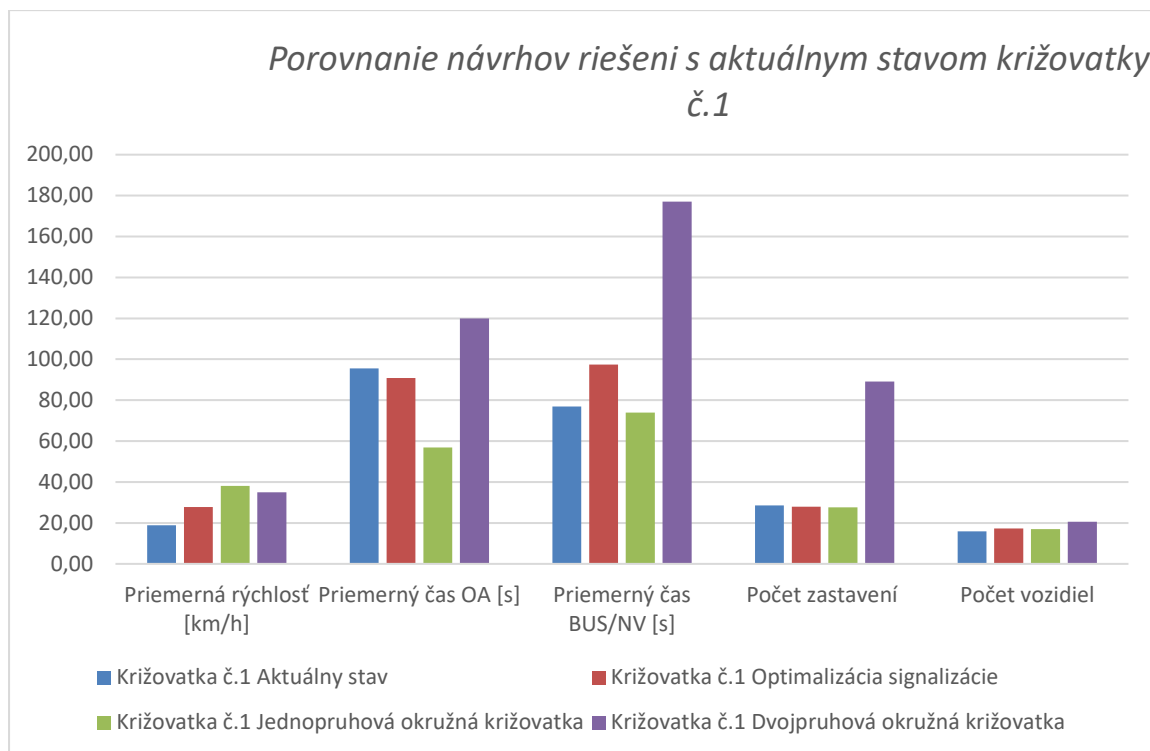
7.1.1 Križovatka č.1

Na základe výsledkov simulácií boli pre križovatku č. 1 porovnané tri návrhové riešenia s aktuálnym stavom. Každé z nich prináša určité výhody, ale aj špecifické obmedzenia, ktoré je potrebné zohľadniť pri posudzovaní ich reálnej implementovateľnosti.

Najlepšie výsledky z pohľadu dopravných ukazovateľov – ako je priemerná rýchlosť, čas strávený v križovatke a počet zastavení – dosiahla jednopruhovú okružnú križovatku. Ide o riešenie, ktoré výrazne zvyšuje plynulosť dopravy a zároveň minimalizuje kolízne body. Napriek tomu je potrebné upozorniť, že v reálnej prevádzke nie je isté, či by takáto konfigurácia bola schopná zvládnuť intenzitu dopravy počas dopravnej špičky. Jej kapacita môže byť v hraničných situáciách nedostatočná.

Naopak, dvojpruhová okružná križovatka predstavuje z hľadiska kapacity najrobustnejšie riešenie. Výsledky simulácie však ukazujú na výrazne vyššie časy zdržania, čo môže byť spôsobené zložitejšou geometriou a vyšším počtom rozhodovacích bodov pre vodičov. Tento typ križovatky často spôsobuje zmätok a neistotu, čo sa môže negatívne prejavovať na plynulosti premávky, najmä v prostredí, kde vodiči nie sú na takýto typ križovatky zvyknutí.

Tretím posudzovaným variantom bola optimalizácia existujúcej svetelnej signalizácie. Táto alternatíva si nevyžaduje zásadné stavebné úpravy a v simulácii dosiahla lepšie výsledky než pôvodný stav. Je však dôležité poznamenať, že v reálnych podmienkach by efektívnosť takéhoto riešenia mohla byť výrazne vyššia v prípade využitia inteligentných riadiacich systémov (napr. adaptívne riadenie podľa dopravného zaťaženia, kamerové detekcie a pod.). Staticky nastavené signalizačné programy totiž nemusia dostatočne reagovať na meniace sa dopravné toky v priebehu dňa.



Graf č. 2: Porovnanie návrhov riešení s aktuálnym stavom križovatky č.1

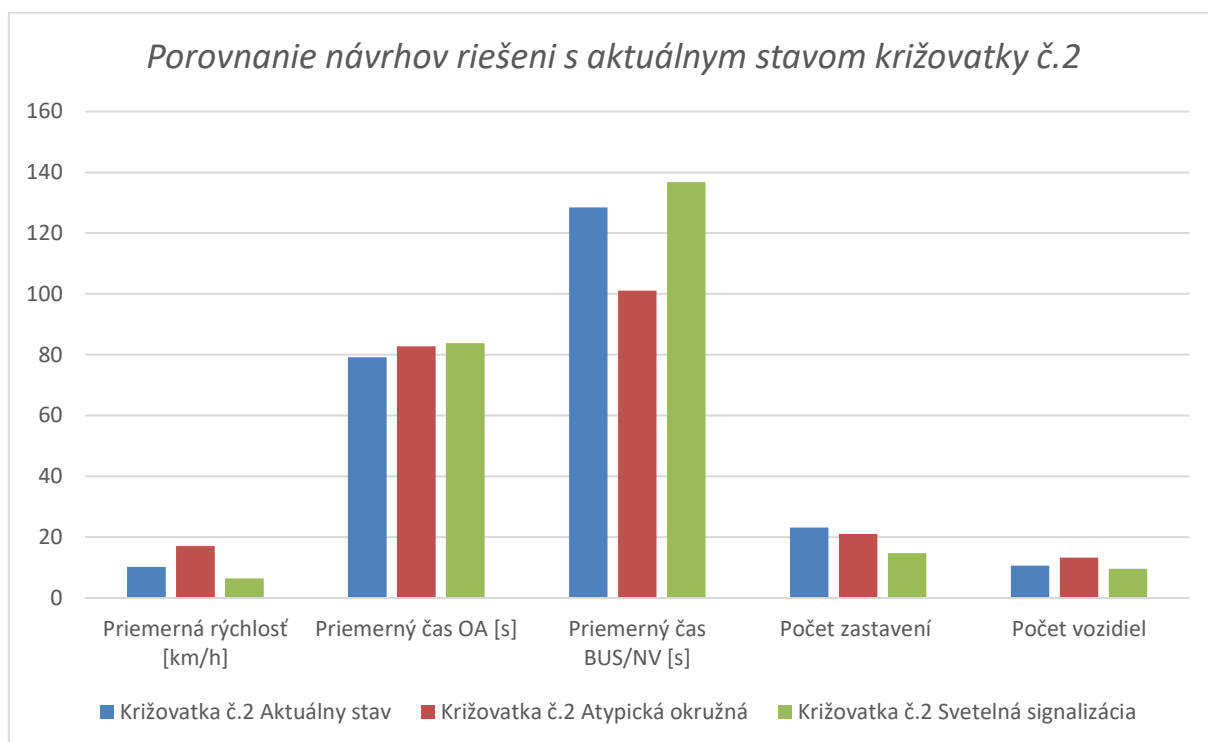
7.1.2 Križovatka č.2

Križovatka č. 2 sa nachádza v dopravne významnej lokalite, v blízkosti železničnej stanice, autobusovej zastávky a centrálného parkoviska. Ide o zložitú dopravnú prostredie s viacerými vstupmi do križovatky a súčasným výskytom osobnej, verejnej a statickej dopravy. Zároveň sa však v danom priestore nachádzajú urbanistické rezervy, ktoré umožňujú prestavbu križovatky bez zásadného zásahu do zástavby. Jednotlivé návrhy boli hodnotené na základe simulačných údajov vrátane priemernej rýchlosti, počtu zastavení, času zotrvania a počtu obslužených vozidiel. V prípade tejto križovatky je však priemerná rýchlosť menej relevantným ukazovateľom, keďže do výpočtu vstupujú aj zastavenia na autobusovej zastávke a manévrovanie pri parkovaní. Výraznejší obraz poskytuje priemerný čas strávený v systéme.

Návrh so svetelnou signalizáciou sa v tomto prípade ukázal ako najmenej vhodný. Napriek teoretickej výhode v regulácii dopravných tokov nedosahuje v simulácii dostatočné výsledky – počet obslužených vozidiel je najnižší, čas zotrvania v systéme vysoký a rovnako aj počet zastavení. Ukazuje sa, že pri vysokom počte vstupov a rôznorodosti dopravy (vrátane MHD) nie je tradičná signalizácia schopná efektívne riadiť pohyb v križovatke.

Naopak, atypická okružná križovatka sa javí ako najvhodnejšie riešenie. Prispôsobuje sa špecifickému tvaru územia a umožňuje plynulý prejazd bez potreby zastavovania. Simulácia

preukázala najvyšší počet obslužených vozidiel a zároveň nižší počet zastavení v porovnaní s aktuálnym stavom. Napriek netradičnému tvaru si zachováva všetky funkčné vlastnosti okružnej križovatky a dokáže účinne zvládnuť aj nápor počas dopravnej špičky.



Graf č. 3: Porovnanie návrhov riešení s aktuálnym stavom križovatky č.1

7.1.3 Križovatka č.3

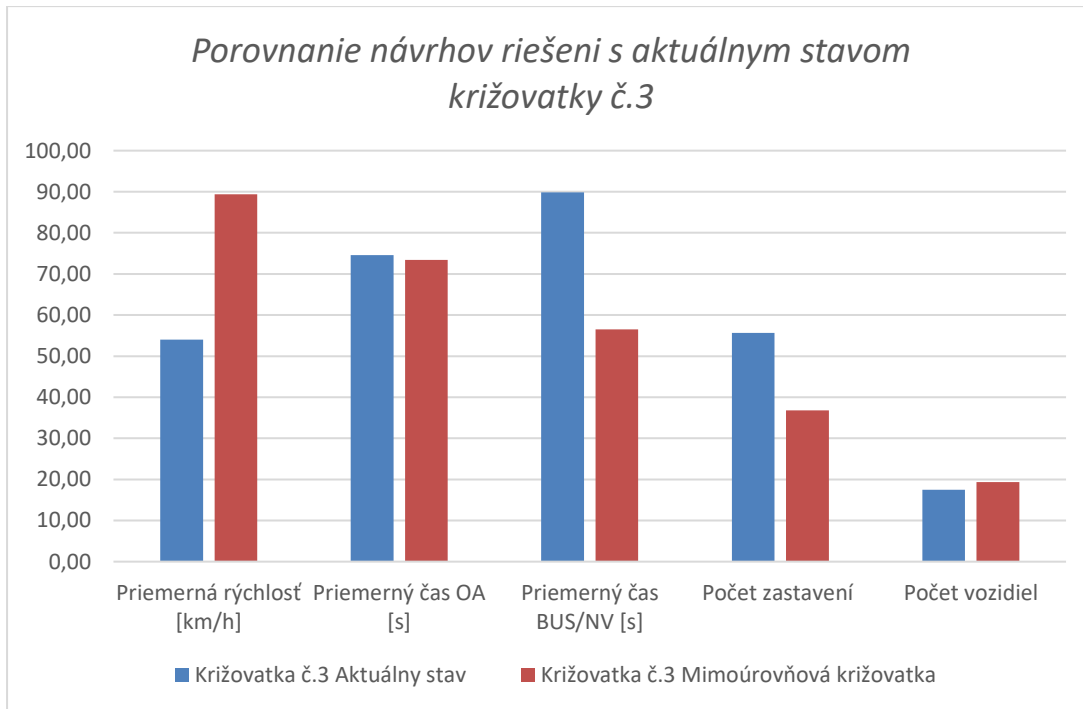
Križovatka č. 3 sa nachádza mimo zastavaného územia mesta Trnava, na úseku obchvatu s vysokým podielom tranzitnej dopravy. Slúži ako dôležité napojenie na diaľnicu D1 a zároveň zabezpečuje prístup k priemyselným a logistickým zónam, čím významne prispieva k odbremeneniu centrálnej časti mesta. Vzhľadom na svoju polohu a funkciu je vylúčené použitie svetelnej signalizácie, ktorá by spôsobovala zbytočné zastavovanie a znižovala efektivitu tranzitu.

Ako najvhodnejšie riešenie sa preto javí mimoúrovňová križovatka, ktorá už bola realizovaná na iných výjazdoch obchvatu, no práve vo vybranej lokalite zatiaľ chýba. Dôvody jej absencie môžu byť technického, finančného alebo vlastníckeho charakteru, avšak výsledky simulácie potvrdzujú jej vysokú efektivitu.

V porovnaní s aktuálnym stavom dosiahla mimoúrovňová križovatka lepšie hodnoty vo všetkých sledovaných parametroch:

- Priemerná rýchlosť dosahuje výrazne vyššiu hodnotu, čo svedčí o plynulejšom toku dopravy bez nútených zastavení.

- Čas zotrvania v križovatke je kratší pre osobné aj nákladné vozidlá, čím sa skracuje celkový tranzitný čas cez oblasť.
- Počet zastavení je významne znížený, čo znižuje spotrebu paliva, emisie a opotrebovanie vozidiel.
- Počet obslužených vozidiel zostáva stabilný a dostatočný, čo potvrdzuje kapacitnú zdatnosť návrhu.



Graf č. 4: Porovnanie návrhov riešení s aktuálnym stavom križovatky č.3

8 ANALÝZA VÝSLEDKOV RIEŠENIA

Simulácia troch vybraných križovatiek v aktuálnom stave a následne po implementácii navrhovaných dopravných riešení priniesla cenné údaje, ktoré umožňujú hodnotenie ich účinnosti z hľadiska plynulosti dopravy, bezpečnosti a celkovej kapacity dopravnej infraštruktúry.

Križovatka č. 1, pôvodne riešená ako svetelne riadená križovatka, bola v návrhu transformovaná na dvojpruhový kruhový objazd. Z výsledkov simulácie vyplýva, že hoci došlo k nárastu priemerného času prejazdu vozidiel, tento nárast je spôsobený väčšou plošnou rozsiahlosťou kruhového objazdu a špecifikami správania autobusov, ktoré musia dodržiavať cestovný poriadok a často si vyžadujú prednosť. Napriek týmto okolnostiam je dôležité, že kruhový objazd umožnil významné zvýšenie počtu vozidiel odbavených za jednu hodinu simulácie (2 374 oproti 1 586 v pôvodnom stave), čo potvrdzuje jeho vyššiu kapacitnú účinnosť. Zaznamenala sa aj vyššia priemerná rýchlosť vozidiel, čo naznačuje plynulejší dopravný tok.

Križovatka č. 2, nachádzajúca sa pri autobusovej stanici, bola v aktuálnom stave charakteristická veľmi nízkou priemernou rýchlosťou (1,37 km/h), čo bolo spôsobené najmä tým, že v simulácii sa započítava aj rýchlosť vozidiel počas parkovania. V navrhovanom riešení, ktoré zahŕňa atypický kruhový objazd, priemerná rýchlosť síce zostáva štatisticky ovplyvnená rovnakým faktorom, no aj napriek tomu dosahuje vyššie hodnoty. Priemerný čas prejazdu pre automobily sa skrátil na 59,07 sekundy, čo predstavuje významné zlepšenie efektivity. Počet vozidiel, ktoré prešli križovatkou, sa taktiež zvýšil, čo potvrdzuje vyššiu priepustnosť systému. Počet zastavení bol výrazne nižší v porovnaní s pôvodným stavom, čo svedčí o lepšej plynulosti premávky.

Križovatka č. 3 predstavovala z hľadiska dopravného zaťaženia najkomplexnejší uzol, keďže sa nachádza na tranzitnom ťahu s vysokým podielom tranzitnej dopravy. V pôvodnom stave dosahovali vozidlá priemerné časy prejazdu 72,62 sekundy pre osobné a 95,27 sekundy pre nákladné vozidlá, s relatívne priaznivou priemernou rýchlosťou 14,7 km/h. V navrhovanom riešení s mimoúrovňovou križovatkou sa podarilo tieto hodnoty výrazne zlepšiť: priemerné časy klesli pod 50 sekúnd pre oba typy vozidiel a priemerná rýchlosť sa viac ako zdvojnásobila, dosahujúc hodnotu 30,4 km/h. Zvýšil sa aj počet vozidiel, ktoré prešli križovatkou za hodinu, čo svedčí o zásadnom zlepšení kapacity a efektivity dopravného uzla. Zvýšený počet zastavení koreluje s vyšším počtom vozidiel, no neznamena zníženie kvality dopravného toku. Získané výsledky poukazujú na to, že každé z navrhovaných riešení viedlo k zvýšeniu kapacity križovatky, zlepšeniu plynulosti dopravy a vo viacerých prípadoch aj k zvýšeniu priemernej rýchlosti. Zároveň ukazujú dôležitosť zohľadnenia špecifických dopravných charakteristík danej lokality, ako sú zastávky MHD, podiel tranzitnej

dopravy alebo fyzické priestorové možnosti. Analýza potvrdzuje, že vhodne zvolené dopravné riešenia majú potenciál výrazne prispieť k zvýšeniu komfortu a bezpečnosti cestnej premávky aj v prípade zložitých a zaťažených križovatiek.

9 ZÁVER

Hlavným cieľom tejto diplomovej práce bolo analyzovať súčasný stav cestnej dopravnej infraštruktúry vo vybraných lokalitách mesta Trnava a navrhnúť úpravy, ktoré by mohli prispieť k zlepšeniu plynulosti a bezpečnosti cestnej premávky. Riešenie sa sústredilo na tri konkrétne križovatky, ktoré boli vybrané na základe výskytu dopravných nehôd (podľa údajov Ministerstva vnútra SR), dopravného zaťaženia a pozorovaných kongescií (analýza Google Maps), ako aj poznatkov z terénneho pozorovania. Tieto faktory boli základom pre identifikáciu problémových miest a vytvorenie návrhových opatrení.

a overenie navrhovaných riešení boli vytvorené mikroskopické simulačné modely v softvéri AnyLogic, ktoré využívali kombináciu diskrétného udalostného a agentového modelovania. Modely reflektovali reálne dopravné toky, správanie vozidiel, činnosť svetelnej signalizácie a pohyb chodcov, pričom rešpektovali technické požiadavky definované v príslušných slovenských technických normách (STN 73 6100, STN 73 6110, TP 085). Pre každú lokalitu bol najskôr zostavený model aktuálneho stavu a následne bol vytvorený návrhový variant, zahŕňajúci napr. zmenu typu križovatky (napr. okružné riešenie), úpravy časovania semaforov či doplnenie stavebných prvkov. Výsledky simulácií ukázali, že vo väčšine prípadov navrhované riešenia viedli k zníženiu čakacích dôb, zvýšeniu plynulosti premávky a zníženiu počtu zastavení vozidiel. V jednom prípade však navrhovaná zmena nepriniesla očakávaný efekt, čím sa potvrdila potreba simulovať aj menej efektívne scenáre a overiť ich dopad pred prípadnou realizáciou. Simulácie tak zohrali dôležitú úlohu pri objektívnom posúdení efektivity jednotlivých variantov bez nutnosti fyzického zásahu do dopravnej infraštruktúry. Zároveň bolo preukázané, že simulačné modelovanie je cenným nástrojom v oblasti dopravného inžinierstva – umožňuje testovanie rôznych alternatív, kvantifikovanie ich dopadu a tým zvyšuje kvalitu rozhodovania. Vzhľadom na variabilitu vstupných parametrov je možné modely ďalej rozvíjať a prispôbovať rôznym dopravným situáciám či mestám. Ich budúci vývoj môže smerovať k automatizovanej optimalizácii parametrov, ako sú intervaly signalizácie, dimenzovanie odbočovacích pruhov alebo usporiadanie priechodov pre chodcov.

Výstupy tejto práce môžu slúžiť ako podklad pre mestských plánovačov, dopravných inžinierov či zástupcov samosprávy pri rozhodovaní o konkrétnych dopravných opatreniach. Zároveň potvrdzujú, že kombinácia simulačného modelovania s rešpektovaním legislatívnych a normových rámcov predstavuje efektívny nástroj pre moderné a udržateľné plánovanie dopravy v mestskom prostredí.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. Ministerstvo dopravy SR. STN 73 6102: Projektovanie miestnych pozemných ciest [online]. Bratislava: Ministerstvo dopravy SR, 2018. Dostupné z: https://www.ssc.sk/files/documents/technicke-predpisy/tp/tp_73_6102.pdf.
2. Ministerstvo dopravy SR. STN 73 6110: Projektovanie miestnych pozemných ciest [online]. Bratislava: Ministerstvo dopravy SR, 2018. Dostupné z: https://www.ssc.sk/files/documents/technicke-predpisy/tp/tp_73_6110.pdf
3. Ministerstvo dopravy SR. STN 73 6114: Vozovky pozemných komunikácií. Základné ustanovenia pre navrhovanie [online]. Bratislava: Ministerstvo dopravy SR, 2014. Dostupné z: <http://www.vdoprave.sk/wp-content/uploads/2020/02/TP-079-Navrhovanie-dodato%C4%8Dn%C3%BDch-jazdn%C3%BDch-pruhov-napojenia-vozoviek-prie%C4%8Dne-rozkop%C3%A1vky.pdf>
4. SLOVENSKÁ REPUBLIKA. Vyhláška Ministerstva vnútra Slovenskej republiky č. 30/2020 Z. z., ktorou sa vykonávajú pravidlá cestnej premávky. In: Zbierka zákonov Slovenskej republiky, čiastka 13/2020. [online]. Bratislava: Ministerstvo vnútra SR, [cit. 2025-05-25]. Dostupné na: <https://www.slov-lex.sk/pravne-predpisy/SK/ZZ/2020/30>
5. CAMPI, Elena; MASTINU, Gianpiero; PREVIATI, Giorgio; STUDER, Luca a UCCELLO, Lorenzo. Roundabouts: Traffic Simulations of Connected and Automated Vehicles-A State of the Art. Online. *IEEE transactions on intelligent transportation systems*. 2024, roč. 25, č. 5, s. 3305-3325. ISSN 1524-9050. Dostupné z: <https://doi.org/10.1109/TITS.2023.3325000>. [cit. 2024-12-17].
6. ZHAO, Shanshan; KHATTAK, Aemal J a THOMPSON, Eric C. Safety and Economic Assessment of Converting Two-Way Stop-Controlled Intersections to Roundabouts on High Speed Rural Highways. Online. *Journal of the Transportation Research Forum*. 1424. 2015, roč. 54, č. 1, s. 131-144. Dostupné z: <https://doi.org/10.22004/ag.econ.207452>. [cit. 2024-12-17].
7. MONTELLA, Alfonso. Identifying crash contributory factors at urban roundabouts and using association rules to explore their relationships to different crash types. Online. *Accident analysis and prevention*. 2011, roč. 43, č. 4, s. 1451-1463. ISSN 0001-4575. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2011.02.023>. [cit. 2024-12-17].
8. BRATISLAVSKÝ SAMOSPRÁVNÝ KRAJ. Bratislavský kraj. *Bratislavský kraj* [online]. 2021 [cit. 2024-12-17]. Dostupné z: <https://bratislavskykraj.sk/takto-vyzera-zrekonstruovana-krizovatka-pod-pristavnym-mostom-fotovideo/>
9. ANYLOGIC. Pedestrian Library. ANYLOGIC. *Pedestrian Library* [online]. 2024 [cit. 2025-01-20]. Dostupné z: <https://www.anylogic.com/features/libraries/pedestrian-library/>

10. ANYLOGIC. Road Traffic Library. ANYLOGIC. *Road Traffic Library* [online]. 2024 [cit. 2025-01-20]. Dostupné z: <https://www.anylogic.com/features/libraries/road-traffic-library/>
11. ÚŘAD PRO TECHNICKOU NORMALIZACI, METROLOGII A STÁTNÍ ZKUŠEBNICTVÍ. *Projektování silnic a dálnic* [online]. Česka agentura pro standardizaci, 2018, 94 s. [cit. 2025-01-20].
12. ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT. *Projektování místních komunikací* [online]. Druhé. Praha: Český normalizační institut, 2006, 128 s. [cit. 2025-01-20].
13. ÚŘAD PRO TECHNICKOU NORMALIZACI, METROLOGII A STÁTNÍ ZKUŠEBNICTVÍ. *Projektování křižovatek na pozemních komunikacích* [online]. Druhé. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012, 158 s. [cit. 2025-01-20].
14. GOOGLE. Google maps. GOOGLE. *Google maps* [online]. 2024 [cit. 2025-01-20]. Dostupné z: https://www.google.com/maps/@48.3714707,17.5848554,18.75z/data=!5m1!1e1?entry=tту&g_ep=EgoyMDI1MDUyMS4wIKXMDSoASAFQAw%3D%3D
15. GOOGLE. Google maps. GOOGLE. *Google maps* [online]. 2024 [cit. 2025-01-20]. Dostupné z: https://www.google.com/maps/@48.3714761,17.5849815,145m/data=!3m1!1e3?entry=tту&g_ep=EgoyMDI1MDUyMS4wIKXMDSoASAFQAw%3D%3D
16. GOOGLE. Google maps. GOOGLE. *Google maps* [online]. 2024 [cit. 2025-01-20]. Dostupné z: https://www.google.com/maps/@48.3706791,17.5833766,19z/data=!5m1!1e1?entry=tту&g_ep=EgoyMDI1MDUyMS4wIKXMDSoASAFQAw%3D%3D
17. GOOGLE. Google maps. GOOGLE. *Google maps* [online]. 2024 [cit. 2025-01-20]. Dostupné z: https://www.google.com/maps/@48.3706791,17.5833766,145m/data=!3m1!1e3?entry=tту&g_ep=EgoyMDI1MDUyMS4wIKXMDSoASAFQAw%3D%3D
18. GOOGLE. Google maps. GOOGLE. *Google maps* [online]. 2024 [cit. 2025-01-20]. Dostupné z https://www.google.com/maps/@48.3761173,17.6221624,18.25z/data=!5m1!1e1?entry=tту&g_ep=EgoyMDI1MDUyMS4wIKXMDSoASAFQAw%3D%3D
19. GOOGLE. Google maps. GOOGLE. *Google maps* [online]. 2024 [cit. 2025-01-20]. https://www.google.com/maps/@48.376351,17.6212328,289m/data=!3m1!1e3!5m1!1e4?entry=tту&g_ep=EgoyMDI1MDUyMS4wIKXMDSoASAFQAw%3D%3D
20. MINISTERSTVO VNÚTRO SR. *Štatistika dopravnej nehodovosti SR* [online]. 2025 [cit. 2025-05-27]. Dostupné z: <https://www.minv.sk/?dopravna-nehodovost>
21. SLOVENSKÁ SPRÁVA CIEST. *Celoštátne sčítanie dopravy v roku 2015* [online]. 2016, 13.02.2020 [cit. 2025-04-05]. Dostupné z: <https://www.ssc.sk/sk/cinnosti/rozvoj-cestnej-siete/dopravne-inzinerstvo/celostatne-scitanie-dopravy-v-roku-2015.ssc>
22. SLOVENSKÁ REPUBLIKA. Zákon č. 8/2009 Z. z. o cestnej premávke a o zmene a doplnení niektorých zákonov. In: *Zbierka zákonov Slovenskej republiky*. 2009, čiastka 3. [online]. Bratislava:

Ministerstvo spravodlivosti SR, [cit. 2025-04-21]. Dostupné na: <https://www.slov-lex.sk/pravne-predpisy/SK/ZZ/2009/8>

23. MINISTERSTVO DOPRAVY, VÝSTAVBY A REGIONÁLNEHO ROZVOJA SR. *TECHNICKÉ PODMIENKY TP 16/2015 VÝPOČET KAPACÍT POZEMNÝCH KOMUNIKÁCIÍ*. Bratislava, 2015.
24. OBVODNÝ ÚRAD PRE CESTNÚ DOPRAVU A POZEMNÉ KOMUNIKÁCIE TRNAVA. VÝROČNÁ SPRÁVA 2012 [online]. 2013 [cit. 2025-04-05]. Dostupné z: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfefindmkaj/https://www.mindop.sk/uploads/extfiles/vyrocnaspravy/2012/kud_tt.pdf
25. MINISTERSTVO DOPRAVY SR. Dopravná infraštruktúra [online]. 2018 [cit. 2025-04-21]. Dostupné z: https://www.mindop.sk/files/statistika_vud/dop_infra.htm
26. Úrad pre normalizáciu, metrológiu a skúšobníctvo Slovenskej republiky. STN 73 6100: Terminológia pozemných komunikácií [online]. Bratislava: ÚNMS SR, 2024. Dostupné z: <https://www.sutn.sk/predpis/138205/stn-73-6100-april-2024/> SLOVENSKÁ SPRÁVA CIEST. *Pozemné komunikácie* [online]. 2017, 14.06.2022 [cit. 2025-04-25]. Dostupné z: <https://www.cdb.sk/sk/metadata/referencna-siet/pozemne-komunikacie.alej>
27. BORŠČEV, Andrei a Ilja GRIGORJEV. *Multimethod Modeling with AnyLogic* [online]. Anylogic, 2024 [cit. 2025-03-05]. Dostupné z: <https://www.anylogic.com/resources/books/big-book-of-simulation-modeling/>
28. Mesto Trnava. *Inteligentné riadenie dopravy - Smart Trnava* [online]. 2020, 43 s. [cit. 2025-05-27]. Dostupné z: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfefindmkaj/https://www.trnava.sk/userfiles/file/%C5%A0t%C3%BAdia%20uskuto%C4%8Dnite%C4%BEnosti_SU-MD-su_715-2.pdf?utm_source
29. CIAMPA, Donato a Fernando GIGLIO. Effectiveness of unconventional roundabouts in the design of suburban intersections. *Giordano Editore* [online]. 2020, 2020(6), 2-7 [cit. 2025-05-27]. ISSN 1825-3997. Dostupné z: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfefindmkaj/https://iris.unibas.it/retrieve/ac8966dc-bee6-4240-8640-1cc45a6c8216/Paper%206%20n%2080.pdf>
30. FATHULLAH, Hardi S. *Traffic Circulation Efficiency Analysis of Elliptical Roundabouts* [online]. Kayo, Irak, 2025, 2025(1), 66-70 [cit. 2025-05-27]. ISSN 2410-9355. Dostupné z: [doi:http://dx.doi.org/10.14500/aro.11150](http://dx.doi.org/10.14500/aro.11150)

ZOZNAM ZDROJOV V TABULKE

1. SUN, Leiting; TAO, Jianqiang; LI, Chunfa; WANG, Shengkai a TONG, Ziqiang. Microscopic Simulation and Optimization of Signal Timing based on Multi-Agent: A Case Study of the Intersection in Tianjin. Online. *KSCE journal of civil engineering*. 2018, vol. 22, no. 9, s. 3373-3382. ISSN 1226-7988. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s12205-018-0528-2>. [cit. 2025-03-04].
2. DENG, Jiatai; MENG, Yadong; FU, Yanrong; DU, Yingjie a GUO, He. Research on the simulation of emergency evacuation of rail transit stations based on Anylogic. Online. In: *2023 IEEE 7th Information Technology and Mechatronics Engineering Conference (ITOEC)*. IEEE, 2023, s. 1163-1167. Dostupné z: <https://doi.org/10.1109/ITOEC57671.2023.10291978>. [cit. 2025-03-04].
3. MALIM, Muhammad Rozi; ABDUL HALIM, Faridah a ABD RAHMAN, Sherey Sufreney. OPTIMISING TRAFFIC FLOW AT A SIGNALISED INTERSECTION USING SIMULATION. Online. *Malaysian Journal of Computing*. 2019, vol. 4, no. 2, s. 261. ISSN 2231-7473. Dostupné z: <https://doi.org/10.24191/mjoc.v4i2.6104>. [cit. 2025-03-04].
4. KUČERA, Tomáš a CHOCHOLÁČ, Jan. Design of the City Logistics Simulation Model Using PTV VISSIM Software. Online. *Transportation research procedia (Online)*. 2021, vol. 53, s. 258-265. ISSN 2352-1465. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.02.033>. [cit. 2025-03-04].
5. NYAME-BAAFI, Eric; ADAMS, Charles Anum a OSEI, Kwame Kwakwa. Volume warrants for major and minor roads left-turning traffic lanes at unsignalized T-intersections: A case study using VISSIM modelling. Online. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*. 2018, vol. 5, no. 5, s. 417-428. ISSN 2095-7564. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2018.01.005>. [cit. 2025-03-04].
6. DU, Xiaojing a SUN, Dongshi. Research on the arterial coordination control of road intersections in port areas based on vissim simulation. Online. In: *2018 Chinese Control And Decision Conference (CCDC)*. IEEE, 2018, s. 5744-5747. Dostupné z: <https://doi.org/10.1109/CCDC.2018.8408134>. [cit. 2025-03-04].
7. GARMEI, Saeed a KASHI, Ehsan. Calibration of Aimsun roundabout model: Pedestrian and vehicles flow. Online. *Cogent engineering*. 2019, vol. 6, no. 1. ISSN 2331-1916. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/23311916.2019.1686796>. [cit. 2025-03-04].
8. ABEDIAN, Sahar; MIRSANJARI, Mir Mehrdad a SALMANMAHINY, Abdolrassoul. Investigating the Effect of Suburban Buses on Traffic Flow and Carbon Monoxide Emission by Aimsun

- Simulation Software. Online. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*. 2021, vol. 49, no. 6, s. 1319-1330. ISSN 0255-660X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s12524-020-01289-z>. [cit. 2025-03-04].
9. OKEBE, Meshack W.; ABUODHA, Silvester O.; OCHIENG, Meshack O. A. a SHIWAKOTI, Nirajan. Evaluating Emission Reduction Policies along an Urban Arterial Highway Using the AIMSUN Model. Online. *Journal of advanced transportation*. 2024, vol. 2024, no. 1. ISSN 0197-6729. Dostupné z: <https://doi.org/10.1155/2024/6309854>. [cit. 2025-03-04].
 10. SHAMLITSKIY, Ya I; MIRONENKO, S N; KOVBASA, N V; BEZRUKOVA, N V; TYNCHENKO, V S et al. Evaluation of the effectiveness of traffic control algorithms based on a simulation model in the AnyLogic. Online. *Journal of physics. Conference series*. 2019, vol. 1353, no. 1, s. 12101. ISSN 1742-6588. Dostupné z: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1353/1/012101>. [cit. 2025-03-04].
 11. WEIGANG, Ganna a KOMAR, Kateryna. Multi-agent modeling of traffic organization in urban agglomerations. Online. *Transport technologies*. 2024, vol. 2024, no. 1, s. 10-22. ISSN 2708-2199. Dostupné z: <https://doi.org/10.23939/tt2024.01.010>. [cit. 2025-03-04]
 12. IKIDID, Abdelouafi; ABDELAZIZ, El Fazziki a SADGAL, Mohammed. Multi-Agent and Fuzzy Inference-Based Framework for Traffic Light Optimization. Online. *International journal of interactive multimedia and artificial intelligence*. 2023, vol. 8, no. 2, s. 88-97. ISSN 1989-1660. Dostupné z: <https://doi.org/10.9781/ijimai.2021.12.002>. [cit. 2025-03-04].
 13. KORFANT, Matúš a GOGOLA, Marián. Possibilities of Using Traffic Planning Software in Bratislava. Online. *Procedia engineering*. 2017, vol. 192, s. 433-438. ISSN 1877-7058. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.06.075>. [cit. 2025-03-04].
 14. HAMAD, Khaled a ISMAIL, Abdulkarim. Evaluating traffic operations performance of directional interchange with semi-direct ramp connections with loops. Online. *Canadian journal of civil engineering*. 2020, vol. 47, no. 4, s. 450-460. ISSN 0315-1468. Dostupné z: <https://doi.org/10.1139/cjce-2019-0180>. [cit. 2025-03-04].
 15. MINTSIS, Evangelos; BELIBASSAKIS, Michael; MINTSIS, George; BASBAS, Socrates a PITSIAVA-LATINOPOULOU, Magda. The use of a transport simulation system (AIMSUN) to determine the environmental effects of pedestrianization and traffic management in the center of Thessaloniki. Online. *European Journal of Environmental Sciences (On-line)*. 2016, vol. 6, no. 1, s. 25-29. ISSN 1805-0174. Dostupné z: <https://doi.org/10.14712/23361964.2016.5>. [cit. 2025-03-04].
 16. VILARINHO, Cristina; SOARES, Guilherme; MACEDO, José; TAVARES, José Pedro a ROSSETTI, Rosaldo J.F. Capability-enhanced AIMSUN with Real-time Signal Timing Control.

- Online. *Procedia, social and behavioral sciences*. 2014, vol. 111, s. 262-271. ISSN 1877-0428. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.059>. [cit. 2025-03-04].
17. KHASANOV, Dmitry S. Improving the efficiency of traffic management in a metropolis based on computer simulation. Online. 2021, roč. 14, č. 3, s. 33. ISSN 2304-9766. Dostupné z: <https://doi.org/10.18721/JCSTCS.14303>. [cit. 2025-03-04].
 18. LIU, Yang a SONG, Yunxue. Research on simulation and optimization of road traffic flow based on Anylogic. Online. *E3S web of conferences*. 2022, vol. 360, s. 1070. ISSN 2267-1242. Dostupné z: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202236001070>. [cit. 2025-03-04].
 19. DOSSOU, Paul-eric a VERMERSCH, Axel. Development of a decision support tool for sustainable urban logistics optimization. Online. *Procedia computer science*. 2021, vol. 184, s. 476-483. ISSN 1877-0509. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.03.060>. [cit. 2025-03-04].
 20. PACHAIAPPAN, Velmurugan; NABI ANWARBASHA, Gulshan Taj Mohamed; RAMALINGAM, Malathy a KUMAR, S.R.R. Senthil. Traffic study using unmanned aerial vehicle & simulation of traffic flow at congested junctions of Salem City using hybrid approach. Online. *MATEC web of conferences*. 2024, vol. 400, s. 3006. ISSN 2261-236X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1051/matecconf/202440003006>. [cit. 2025-03-04].
 21. DUFF, Michael a MCLEOD, Robert D. An Agent Based Model to Analyze the Effects of Traffic Signal Timing on Vehicle Throughput in Inclement Weather. Online. *OALib (Online)*. 2018, vol. 5, no. 5, s. 1-12. ISSN 2333-9721. Dostupné z: <https://doi.org/10.4236/oalib.1104523>. [cit. 2025-03-04].
 22. IKIDID, Abdelouafi a A. EL FAZZIKI. Multi-agent based traffic light management for privileged lane. *ResearchGate* [online]. 2022, 2022(1), 1-6 [cit. 2025-03-04]. Dostupné z: [doi:10.46354/i3m.2020.sesde.001](https://doi.org/10.46354/i3m.2020.sesde.001)
 23. MALIM, Muhammad Rozi; ABDUL HALIM, Faridah a ABD RAHMAN, Sherey Sufreney. OPTIMISING TRAFFIC FLOW AT A SIGNALISED INTERSECTION USING SIMULATION. Online. *Malaysian Journal of Computing*. 2019, vol. 4, no. 2, s. 261. ISSN 2231-7473. Dostupné z: <https://doi.org/10.24191/mjoc.v4i2.6104>. [cit. 2025-03-04].

ZOZNAM PRÍLOH

Príloha č. 1: Flowchart vybranej lokality pre automobily a autobusy.....	80
Príloha č. 2: Výstup simulácie križovatky č.1 aktuálneho stavu	81
Príloha č. 3: Flowchart križovatky č.2 pre automobily a autobusy	82

Príloha č. 4: Logika pre chodcov a Daj prednosť chodcom križovatka č.2	83
Príloha č. 5: Výstup simulácie križovatky č.2 aktuálneho stavu	84
Príloha č. 6: Flowchart križovatky č.3 pre automobily a nákladne vozidlá	85
Príloha č. 7: Výstup simulácie križovatky č.3 aktuálneho stavu	86
Príloha č. 8: Výstup simulácie križovatky č.1 Návrh svetelnej signalizácie	87
Príloha č. 9: Výsledok simulácie jednoprúdovej okružnej križovatky č.1	88
Príloha č. 10: Výsledok simulácie návrhu dvojprúdovej okružnej križovatky č.1	89
Príloha č. 11: Výsledky návrhu atypickej okružnej križovatky č.2	90
Príloha č. 12: Výsledok simulácie Svetelnej signalizácie križovatky č.2	91
Príloha č. 13: Výsledky simulácie návrhu mimoúrovňovej križovatky č.3	92

ZOZNAM GRAFOV

Graf č. 1: Výsledok analýzy vedeckých štúdií	33
Graf č. 2: Porovnanie návrhov riešení s aktuálnym stavom križovatky č.1	66
Graf č. 3: Porovnanie návrhov riešení s aktuálnym stavom križovatky č.1	67
Graf č. 4: Porovnanie návrhov riešení s aktuálnym stavom križovatky č.3	68

ZOZNAM OBRÁZKOV

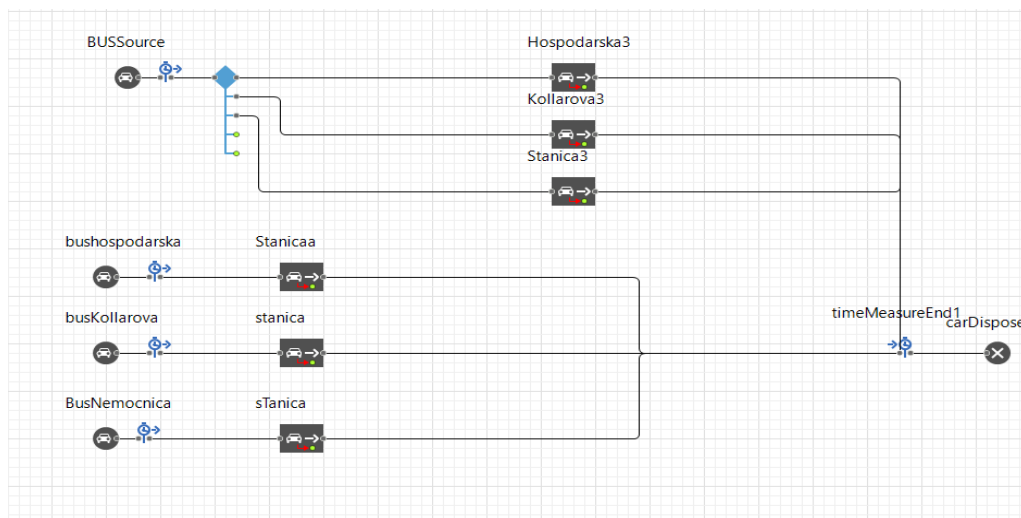
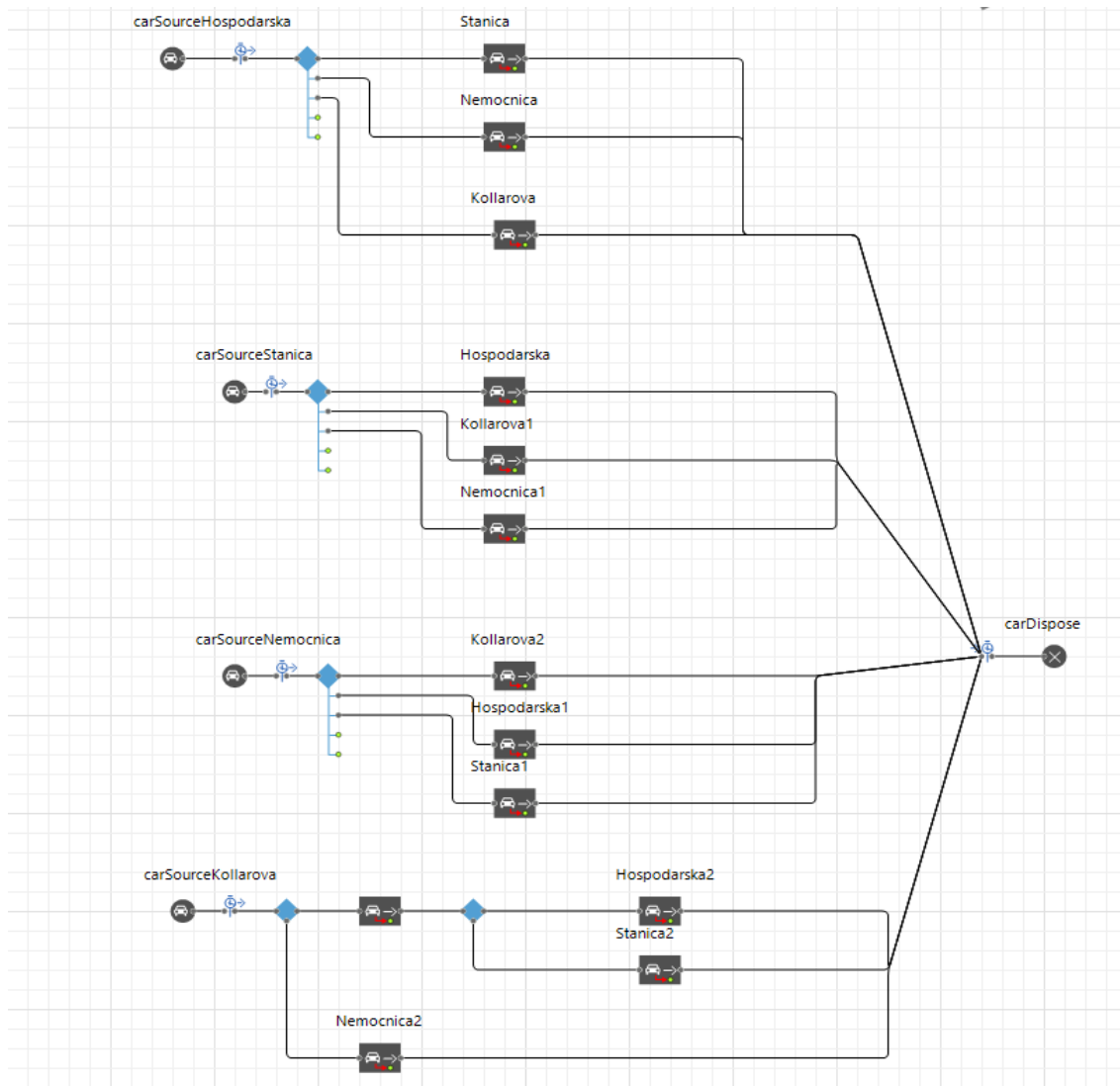
Obrázok č. 1: Infraštruktúra cestnej dopravy [25]	22
Obrázok č. 2: Konfliktne body na štvoramennej križovatke a jednopruhovej okružnej križovatke [5]	26
Obrázok č. 3: Mimoúrovňová križovatka pod Prístavným mostom Bratislava [8]	27
Obrázok č. 4: VOSviewer diagram	32
Obrázok č. 5: Knižnica použitých modulov [27]	40
Obrázok č. 6: Označenie ulíc vo vybranej lokalite (zdroj [14])	42
Obrázok č. 7: Výskyt dopravných nehôd zaznamenaných políciou SR (zdroj [20])	42
Obrázok č. 8: Satelitný snímok vybranej lokality (zdroj [15])	43
Obrázok č. 9: pentlogram križovatky č.1	43
Obrázok č. 10: Označenie ulíc vo vybranej lokalite (zdroj [16])	44
Obrázok č. 11: Výskyt dopravných nehôd zaznamenaných políciou SR (zdroj [20])	45
Obrázok č. 12: pentlogram križovatky č.2	45
Obrázok č. 13: Satelitný snímok vybranej lokality (zdroj [17])	46
Obrázok č. 14: Označenie komunikácií vo vybranej lokalite (zdroj [18])	47

Obrázok č. 15: Výskyt dopravných nehôd zaznamenaných políciou SR (zdroj [20])	47
Obrázok č. 16: Pentlogram križovatky č.3	48
Obrázok č. 17: Satelitný snímok vybranej lokality (zdroj [19]).....	48
Obrázok č. 18: Model vybranej lokality križovatky	51
Obrázok č. 19: Časový plán svetelne riadenej križovatky	52
Obrázok č. 20: Model vybranej lokality križovatky	53
Obrázok č. 21: Model vybranej lokality križovatky	55
Obrázok č. 22: Návrh svetelnej signalizácie	56
Obrázok č. 23: Návrh na riešenie okružnej križovatky č.1	57
Obrázok č. 24: Návrh na riešenie križovatky č.1	58
Obrázok č. 25: Návrh riešenia križovatky č.2	60
Obrázok č. 26: Návrh svetelne riadenej križovatky.....	61
Obrázok č. 27: Návrh svetelnej signalizácie	62
Obrázok č. 28: Návrh riešenia križovatky č.3.....	63

ZOZNAM TABULIEK

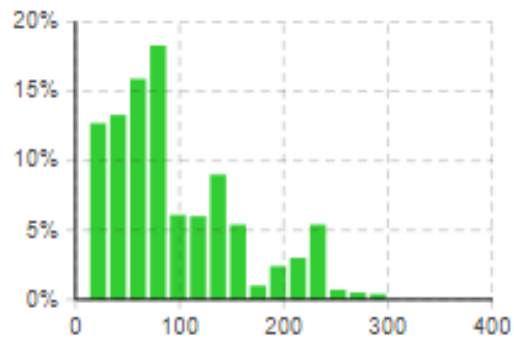
Tab. č. 1: Najmenšie polomery zaoblenia nárožia úrovňových križovatiek ciest podľa druhu vozidla (zdroj.[1]).....	17
Tab. č. 2: Triedenie vozoviek podľa veľkosti dopravného zariadenia (STN 73 6114) (zdroj [3]).....	19
Tab. č. 3: Rozdelenie štúdií podľa softwaru, sledovanej hodnoty a druhu križovatiek.....	30
Tab. č. 4: Vstupné hodnoty križovatky č.1	49
Tab. č. 5: Vstupné hodnoty križovatky č.2.....	49
Tab. č. 6 Vstupné hodnoty križovatky č.3.....	50
Tab. č. 7: Porovnanie dopravných riešení križovatiek	64

Príloha č. 1: Flowchart vybranej lokality pre automobily a autobusy

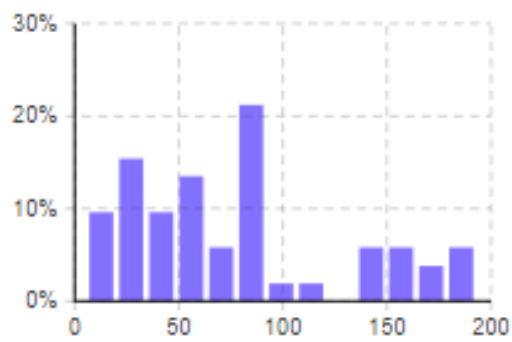


Príloha č. 2: Výstup simulácie križovatky č.1 aktuálneho stavu

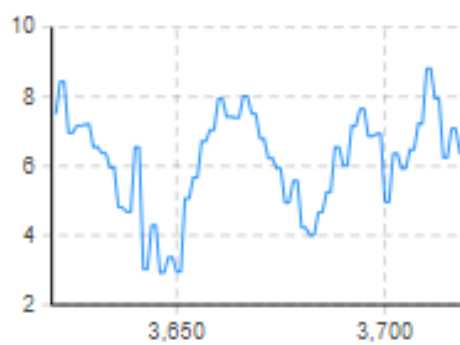
● averageCarSpeed
5.723



● Title 95.54



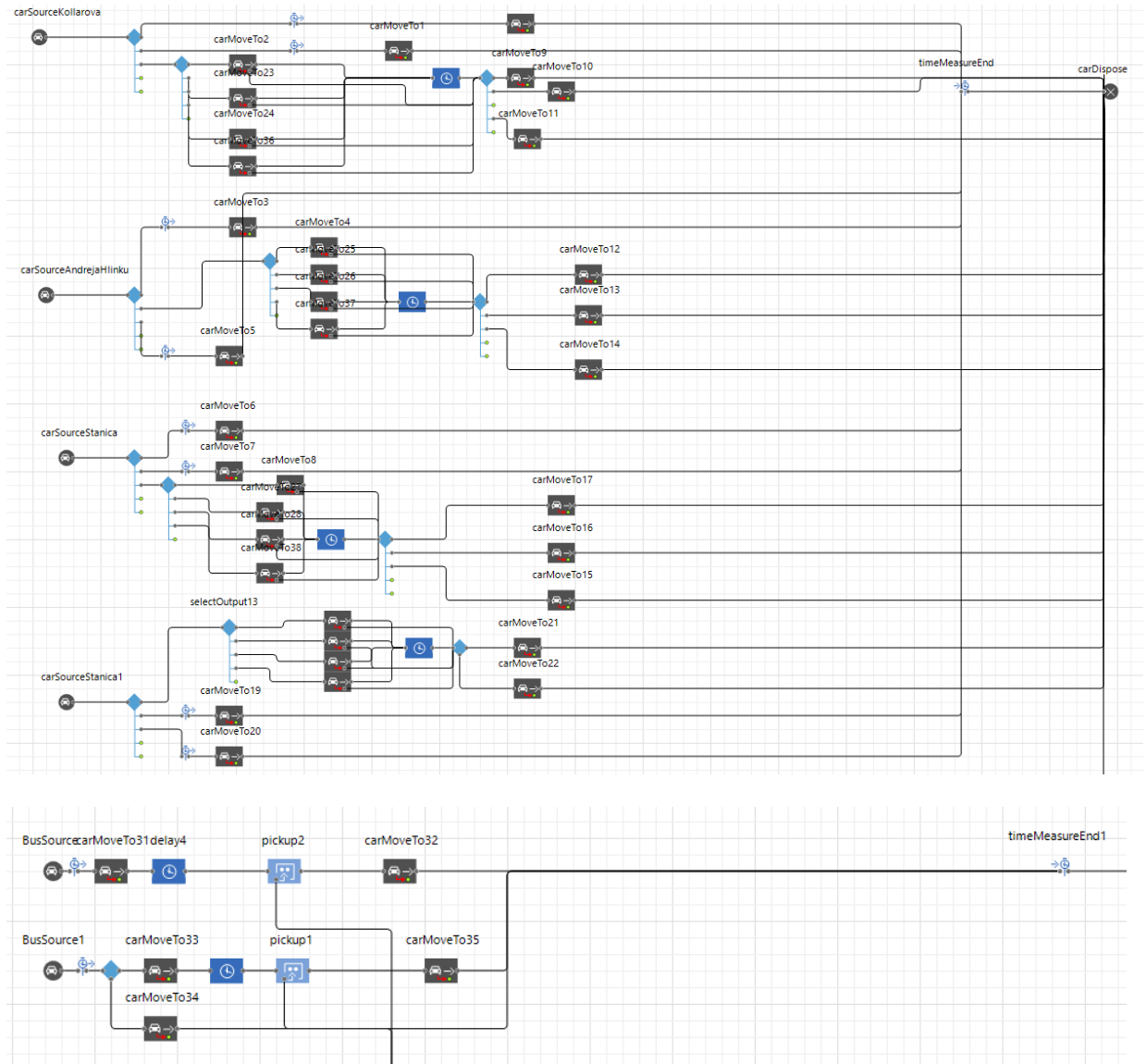
● Title 76.87



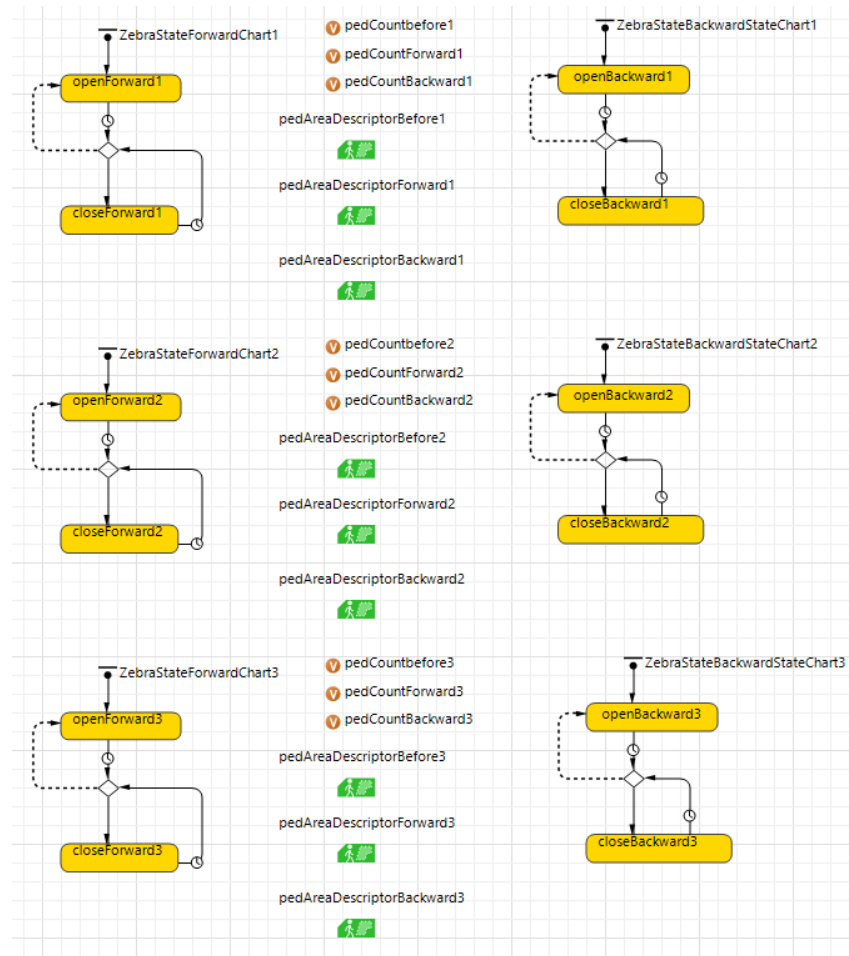
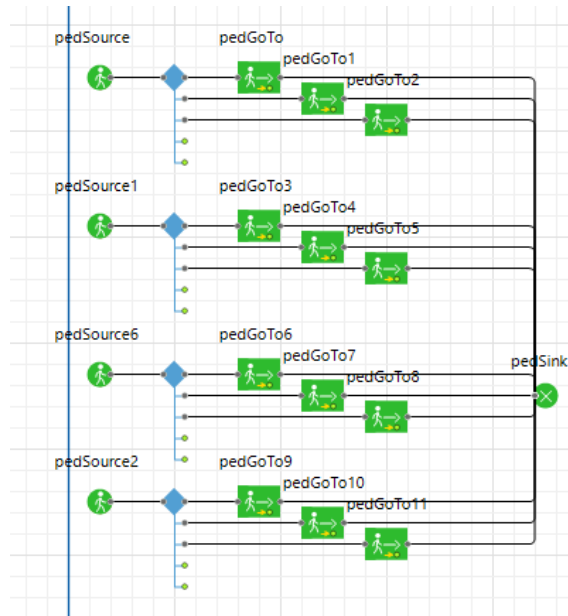
● Title

● carStopsCounter
2 8.55

Príloha č. 3: Flowchart križovatky č.2 pre automobily a autobusy

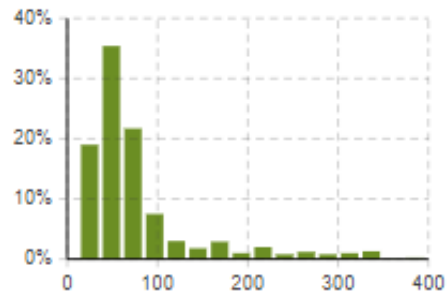


Príloha č. 4: Logika pre chodcov a Daj prednosť chodcom križovatka č.2

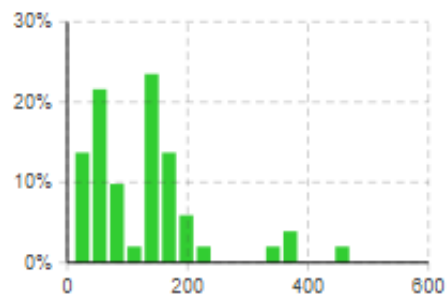


Príloha č. 5: Výstup simulácie križovatky č.2 aktuálneho stavu

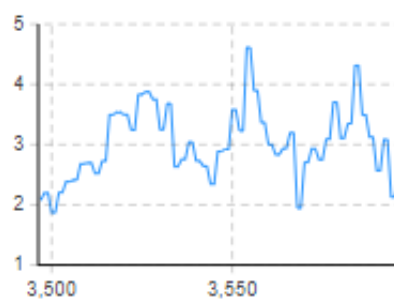
carStopsCounter
2,833



distribution 79.2



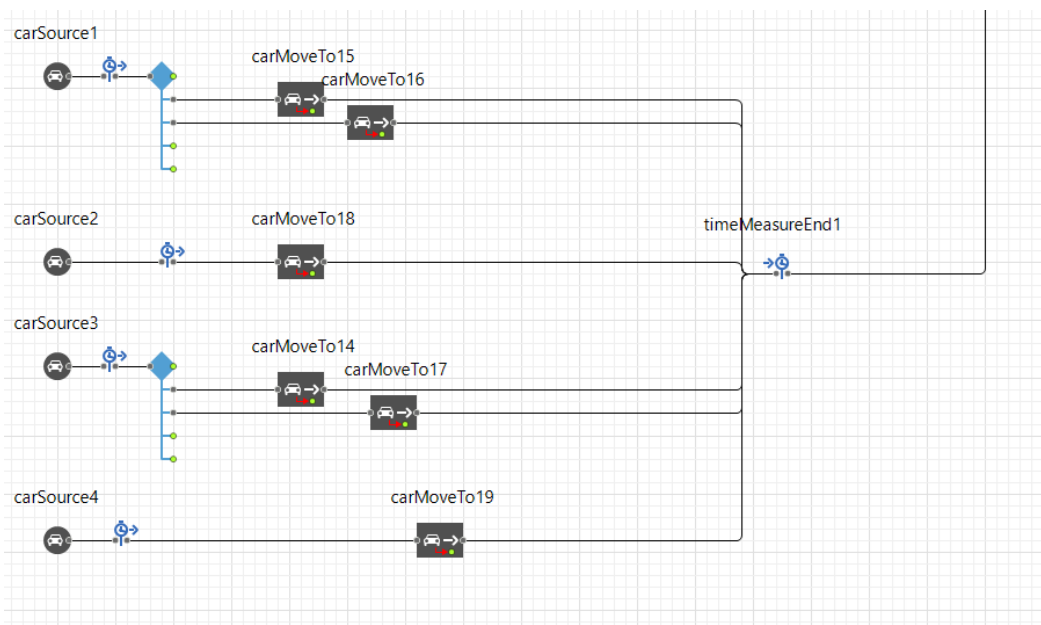
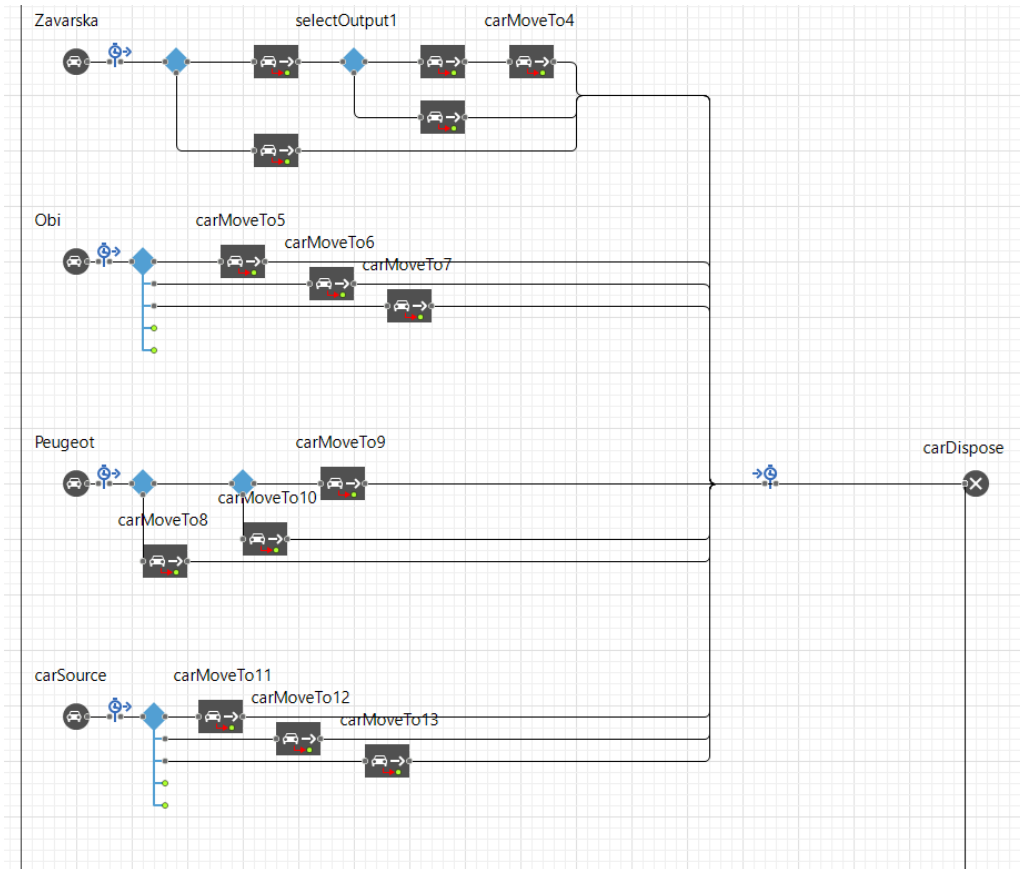
distribution 128.5



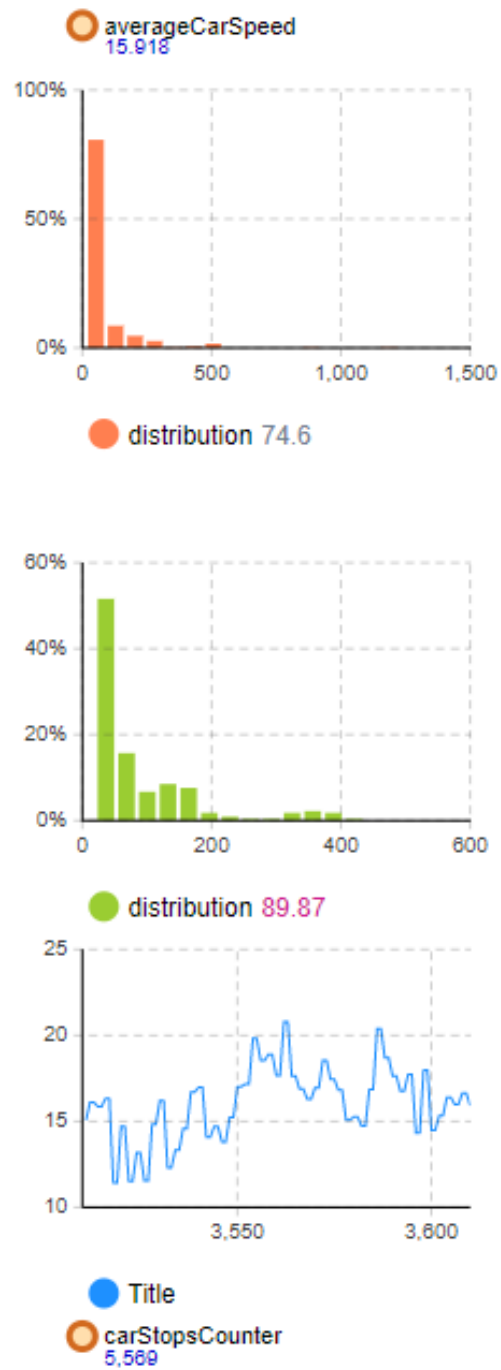
Title

averageCarSpeed
2,315

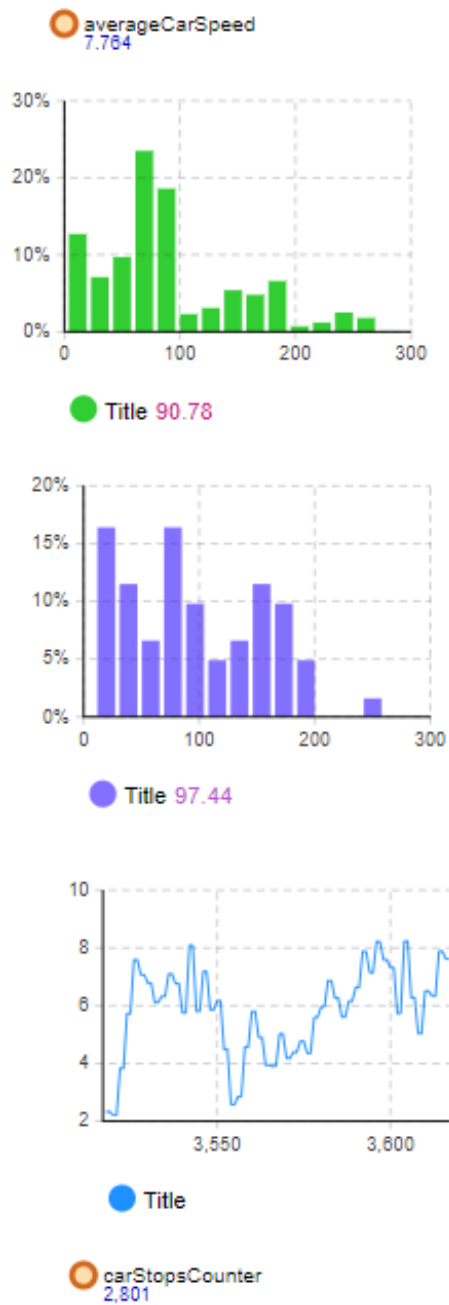
Príloha č. 6: Flowchart križovatky č.3 pre automobily a nákladne vozidlá



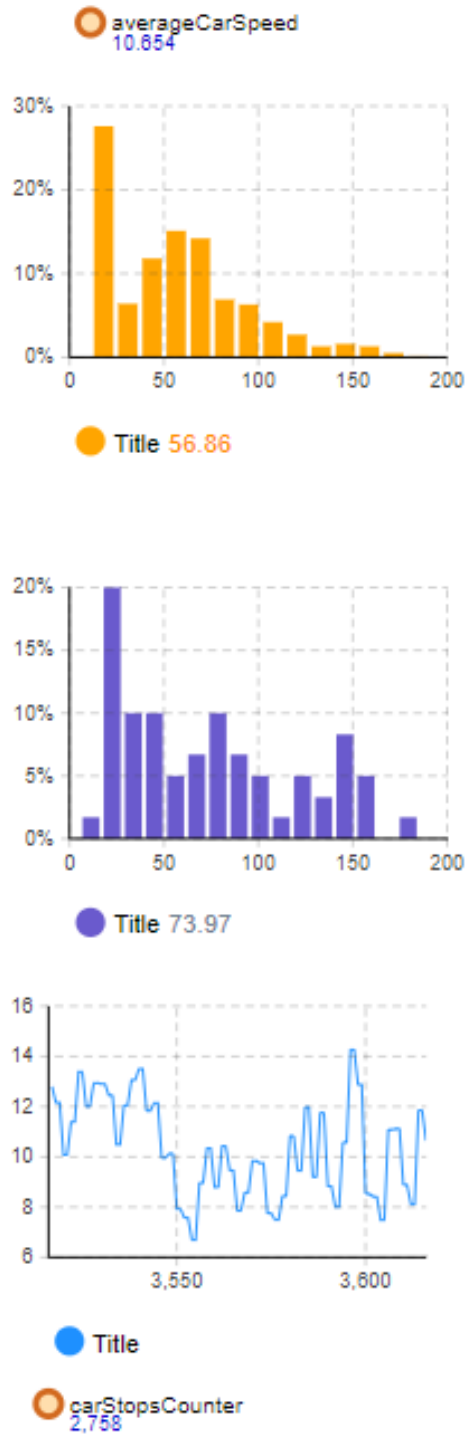
Príloha č. 7: Výstup simulácie križovatky č.3 aktuálneho stavu



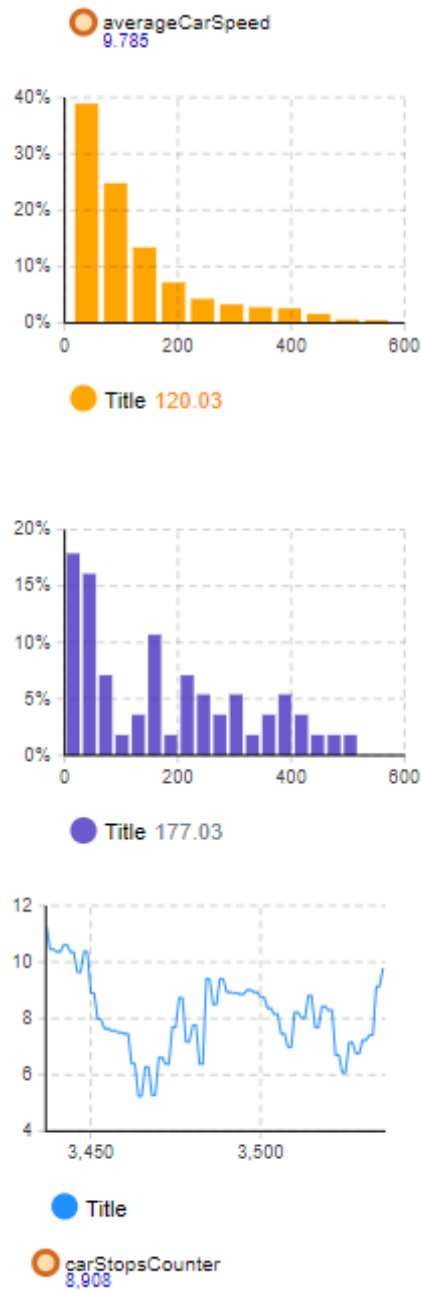
Príloha č. 8: Výstup simulácie križovatky č.1 Návrh svetelnej signalizácie



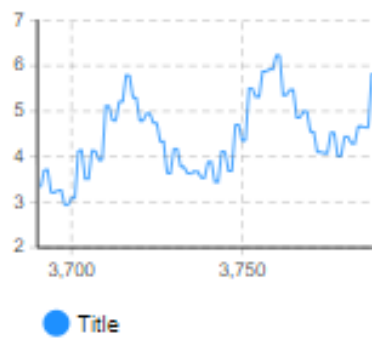
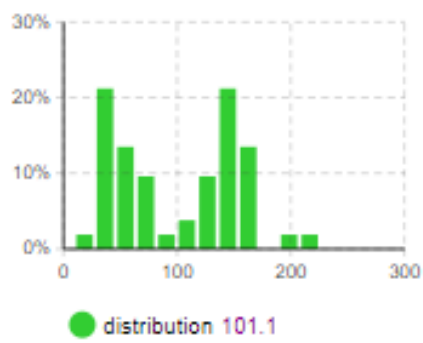
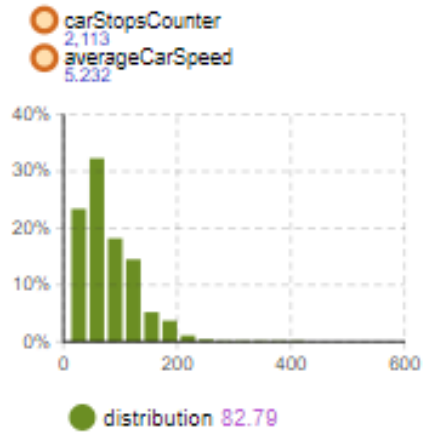
Príloha č. 9: Výsledok simulácie jednoprúdovej okružnej križovatky č.1



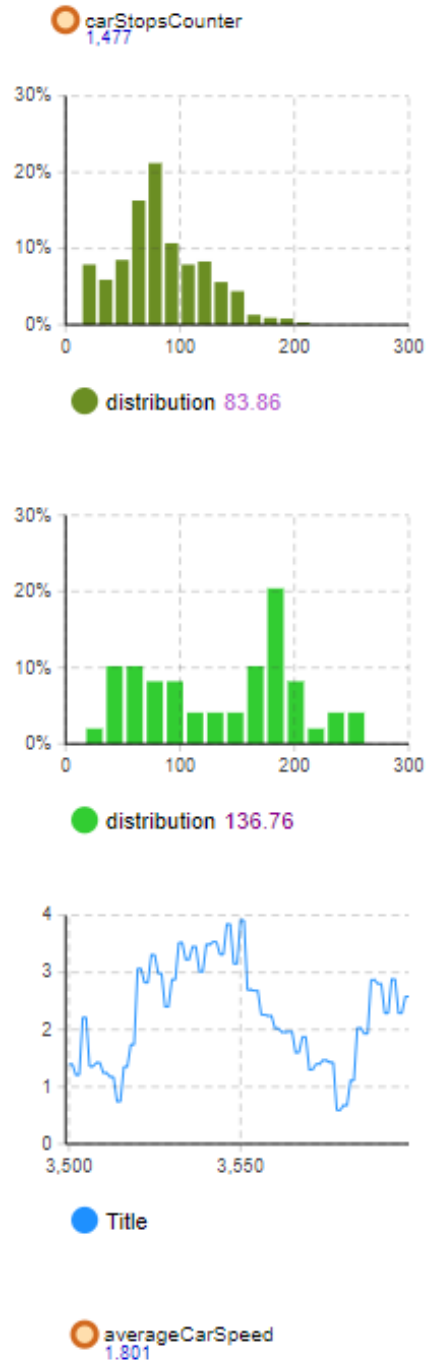
Príloha č. 10: Výsledok simulácie návrhu dvojprúdovej okružnej križovatky č.1



Príloha č. 11: Výsledky návrhu atypickej okružnej križovatky č.2



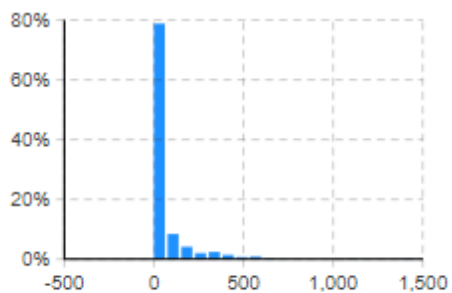
Príloha č. 12: Výsledok simulácie Svetelnej signalizácie križovatky č.2



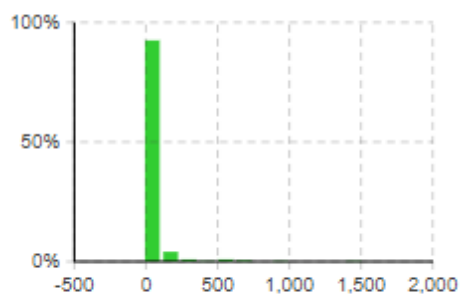
Príloha č. 13: Výsledky simulácie návrhu mimoúrovňovej križovatkyč.3

● averageCarSpeed
24.825

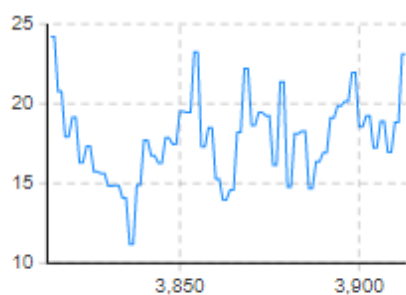
● carStopsCounter
3,680



● distribution 73.4



● distribution 56.51



● Title