

**Univerzita Hradec Králové**  
**Fakulta informatiky a managementu**  
**KIT - Katedra informačních technologií**

**Simulace a optimalizace městské dopravy**  
Bakalářská práce

Autor: Radovan Hovorka  
Studijní obor: Aplikovaná Informatika (ai3-p)

Vedoucí práce: doc. Ing. Hana Tomášková, Ph.D.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a s použitím uvedené literatury.

V Hradci Králové dne 15.8.2022

Radovan Hovorka

Poděkování:

Děkuji vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Hana Tomášková, Ph.D. za metodické a vstřícné vedení práce, dále děkuji své rodině a svým přátelům za poskytnutí podpory při studiu.

## **Anotace**

Předmětem této bakalářské práce je nasimulování a optimalizace dopravy mezi křižovatkami Fortna a Mileta v Hradci Králové při jejich stávajícím stavu a porovnání se stavem po plánované rekonstrukci, která má být dokončena v roce 2024. Metodou simulace a optimalizace v softwaru Anylogic jsou zpracovány veškeré pohyby na dopravních komunikacích a z výsledných hodnot jsou pak vyvozeny závěry. Práce tedy zjišťuje, jaký vliv bude mít rekonstrukce obou křižovatek na plynulost dopravy a zda dojde k jejímu zlepšení a do jaké míry.

## **Annotation**

### **Title: Urban transportation modeling and optimization**

Subject of this bachelor thesis is simulation and optimization of urban transport between intersections Fortna and Mileta in town of Hradec Králové in their current state and comparison with their proposed state, which is to be put into operation in 2024. All movements on traffic roads are result of simulation and optimization method in Anylogic software, and conclusions are then drawn from the resulting values. This paper finds out what effect the reconstruction of both these intersections will have on the flow of transport and whether it will be improved.

# Obsah

1	Úvod.....	8
2	Cíl práce.....	9
3	Metodika zpracování .....	10
4	Softwarová analýza .....	11
4.1	Agentově orientované modely ABM .....	11
4.2	Multiagentové systémy .....	11
4.3	Program Anylogic.....	12
4.3.1	Anylogic Road Traffic Library.....	12
4.3.2	Autonomie agentů v Anylogic.....	14
5	Analýza zkoumaného prostředí .....	15
5.1	Hradec Králové.....	15
5.2	Analýza jednotlivých částí zkoumaného prostředí.....	16
5.2.1	Ulice Komenského .....	18
5.2.2	Ulice Ignáta Hermanna.....	19
5.2.3	Ulice Hradecká.....	20
5.2.4	Ulice Zborovská .....	21
5.2.5	Ulice Sokolská.....	22
5.2.6	Popis připojujících se ulic .....	23
5.2.7	Křižovatka Fortna.....	25
5.2.8	Křižovatka Mileta.....	26
6	Vstupní data simulace .....	28
6.1	Intervaly vstupu vozidel.....	29
6.2	Rozhodování vozidel .....	30
7	Simulace současného stavu .....	31
7.1	Získaná data.....	33

8	Simulace navrhovaného stavu .....	34
8.1	Optimalizace světelné signalizace.....	36
8.2	Získaná data.....	37
9	Shrnutí výsledků.....	38
10	Závěr .....	39
11	Seznam použité literatury .....	40
12	Přílohy.....	42

## Seznam obrázků

Obrázek 1: Příklad algoritmu rozhodování namodelovaného vozidla.....	14
Obrázek 2: Zkoumaná oblast simulace vyznačená žlutě .....	17
Obrázek 3: ulice Komenského – pohled ze západní strany .....	18
Obrázek 4: ulice Ignáta Hermanna z pohledu od Fortny.....	19
Obrázek 5: ulice Hradecká, pohled na křižovatku Mileta .....	20
Obrázek 6: ulice Zborovská, pohled z křižovatky Mileta.....	21
Obrázek 7: ulice Sokolská, pohled na západní rameno od křižovatky Mileta.....	22
Obrázek 8: Stávající stav křižovatky Fortna (vlevo), Návrh kruhové křižovatky (vpravo) .....	25
Obrázek 9: Současný stav křižovatky Mileta.....	27
Obrázek 10: Navrhovaný model křižovatky Mileta .....	27
Obrázek 11: Křižovatka Mileta - pravděpodobnosti rozhodování .....	30
Obrázek 12: Simulace křižovatky Fortna při současném stavu.....	32
Obrázek 13: Simulace křižovatky Mileta při současném stavu.....	32
Obrázek 14: Graf simulace současného stavu .....	33
Obrázek 15: Model křižovatky Fortna – navrhovaný stav .....	34
Obrázek 16: Model křižovatky Mileta – navrhovaný stav .....	35
Obrázek 17: Výsledek optimalizace.....	36
Obrázek 18: Graf simulace navrhovaného stavu.....	37

## Seznam tabulek

Tabulka 1: Modelovací prvky Road Traffic Library .....	13
Tabulka 2: Intervaly vozidel.....	29
Tabulka 3: Data simulací.....	38

# 1 Úvod

Kvalitní infrastruktura dopravy a její plynulost je v dnešním světě jedním z hlavních předpokladů správně fungující společnosti. Právě zde se uplatňuje pravidlo: čas jsou peníze. Právě proto, je potřeba se touto problematikou zabývat. Hlavním problémem v dopravě jsou dopravní zácpy, které se při stále rostoucím počtu automobilů objevují na nových místech a pokud se jimi dopravní koordinátor nebude zabývat, můžou v městském prostředí způsobit rozsáhlý dopravní kolaps.

Tato bakalářská práce si klade za cíl nasimulování a optimalizaci stavu dopravy mezi vytíženými dopravními uzly Fortna a Mileta v Hradci Králové. Na křižovatce Fortna právě probíhá kompletní rekonstrukce, která má za cíl křižovatku přeměnit na kruhový objezd. Podle webu [hkcity.cz](http://hkcity.cz), vyjde rekonstrukce uzlu Fortna na cca. 50 mil. Kč (bez DPH) a má být hotová v létě roku 2023. Pro světelnou křižovatku Mileta u Fakultní nemocnice Hradec Králové je též naplánovaná modernizace, která má, jak uvádí web [hkcity.cz](http://hkcity.cz), započnout na jaře roku 2023 a trvat má zhruba jeden rok. Cena se předpokládá na cca. 129 mil. Kč (bez DPH), z toho 36 % zaplatí město Hradec Králové, zbylá procenta pokryje Ředitelství silnic a dálnic ČR (57 %) a Královehradecký kraj (7 %). Tato křižovatka bude obsahovat podchody pro chodce a cyklisty, díky nimž z křižovatky zmizí světelné přechody a zefektivní se dopravní pohyb. Dále přibudou tři odbočovací pruhy vpravo, které mají za úkol celkově odlehčit dopravě. ([hkcity.cz](http://hkcity.cz), 2022)

Tyto křižovatky byly vybrány z důvodu vlastní zkušenosti a povědomí o jejich špatné průjezdnosti. Zejména uzel křižovatky Mileta, se v posledních letech stal nejvytíženějším dopravním místem v Hradci Králové, a proto se zde především v odpoledních hodinách tvoří často dlouhé dopravní kolony. Od této skutečnosti se odvíjí další dopravní zácpy v okolí, jako například už zmiňovaná křižovatka Fortna, auty zaplněná ulice Hradecká vedoucí podél kampusu Univerzity Hradec Králové a také světelně řízený kruhový objezd ležící na Gočárově okruhu směrem na východ od Milety.



## 2 Cíl práce

Výsledkem práce je co nejpřesněji predikovat změny v propustnosti dopravy mezi uzly Fortna a Mileta, při současném stavu a po jejich navržené modernizaci. Zkoumanými dopravními entitami jsou osobní automobily, kamiony a autobusy městské hromadné dopravy. Hlavní otázkou je, zdali modernizace křižovatek zlepší plynulost dopravy v Hradci Králové a pokud ano, o jak velkou změnu se bude jednat. Porovnání dat z obou modelů simulace nám zajistí odpověď na tuto otázku.

### **3 Metodika zpracování**

Ke zpracování tohoto problému dopravy byl po konzultaci s vedoucí práce zvolen program AnyLogic verze Personal Learning Edition (dále jen PLE) s nástrojem AnyLogic Road Traffic Library. Tento nástroj, nebo přesněji knihovna, umožňuje uživateli modelovat dopravní uzly a komunikace z reálného světa. V tomto modelu spustíme simulaci dopravy, která pracuje s využitím agentových přístupů. Anylogic optimalizuje proces dopravy pro dosažení nejefektivnějších výsledků simulace. Na závěr získaná data s dvou modelů porovnáme a vyvodíme výsledky. [1]

## 4 Softwarová analýza

Pro představu jak funguje zkoumaný simulační model je potřeba být seznámen se samotným softwarem pro modelování Anylogic a dále s pojmy:

- agentové přístupy
- multiagentové systémy
- autonomní rozhodování

### 4.1 Agentově orientované modely ABM

V agentovém modelování (ABM) je systém modelován jako soubor entit s autonomním rozhodováním nazývaných agenti. Každý agent se individuálně rozhoduje na základě svých předem stanovených pravidel. [3]

Výhody ABM oproti jiným modelovacím technikám:

- Zachycuje pohotovostní jevy
- Poskytuje jednoduchý popis systému
- Je flexibilní

### 4.2 Multiagentové systémy

Multiagentový systém je systém složený z několika agentů, kteří jsou schopni se autonomně rozhodovat a vzájemně spolupracovat. Multiagentové systémy jsou schopný, stejně jako neuronové sítě, se samostatně učit a rozvíjet. [5]

Agent je samostatná entita fungující v multiagentovém systému, která vykonává zadanou činnost. Inteligentní agent je agent, který vykonává svoji činnost za účelem splnění svých úloh, proto musí pozorovat a chápat své okolí. Na základě externích podnětů, vykonává příslušné akce. Podněty mohou mít podobu vizuální, zvukovou, dotykovou atd. Rozhodování probíhá různými způsoby, záleží jestli má agent částečnou nebo úplnou znalost svého prostředí, jestli vykonává úkol sám nebo spolupracuje. [5]

V dopravní simulaci jsou agenty všechny silniční vozy. Používají informace získané z prostředí pomocí senzorů, jako například signály na semaforech, dopravní předpisy nebo pozice ostatních agentů a na základě těchto informací upravují své vlastnosti jízdy.

### **4.3 Program Anylogic**

Software Anylogic verze PLE je volně dostupný software pro multimetodické simulační modelování. Vytvořené simulace fungují na agentovém rozhodování, díky tomu je tato metoda simulace ideální pro zkoumání dopravy. V softwaru Anylogic lze nasimulovat vícero odvětví: konkurence na trhu, zdravotnictví, maloobchody, ekosystém, kosmonautika a mnoho dalších.














Anylogic je od roku 2000 používaným nástrojem spousty velkých společností. Důvěru v něj vkládají giganti v oboru IT jako je například Google, Intel, IBM. Dále našel využití například v automobilovém průmyslu u firem Ford, BMW, Volkswagen a další. [2]

#### **4.3.1 Anylogic Road Traffic Library**

Nástroj Anylogic Road Traffic Library umožňuje uživateli plánovat, navrhovat a simulovat dopravní toky na detailní fyzické úrovni. Tok dopravy je reprezentován agenty neboli vozidly. Anylogic poskytuje uživateli možnost nahrát soubor formátu GIS Shapefile, který obsahuje data o dopravních komunikacích z reálného světa. Tento soubor program Anylogic zkonvertuje na odpovídající model s pomocí značkovacích prvků. Druhým způsobem modelování skutečných dopravních uzlů, je vložení satelitního snímku zkoumané oblasti. Tento snímek se použije jako šablona pro manuální vytvoření modelu. Knihovna Road Traffic Library je ideální pro explicitní modelování každého agenta a pro reprezentaci dynamiky dopravního toku. Modelování probíhá stylem drag and drop, kde uživatel vkládá modelovací prvky z levého sloupce Palette do modelu. K pokročilejším metodám simulačního modelu se používá programovací jazyk Java. Úryvky kódu Java se vkládají do zvoleného prvku v pravém sloupci Properties. [1]

Výčet všech modelovacích prvků z Road Traffic Library je uveden v Tabulce 1 níže.

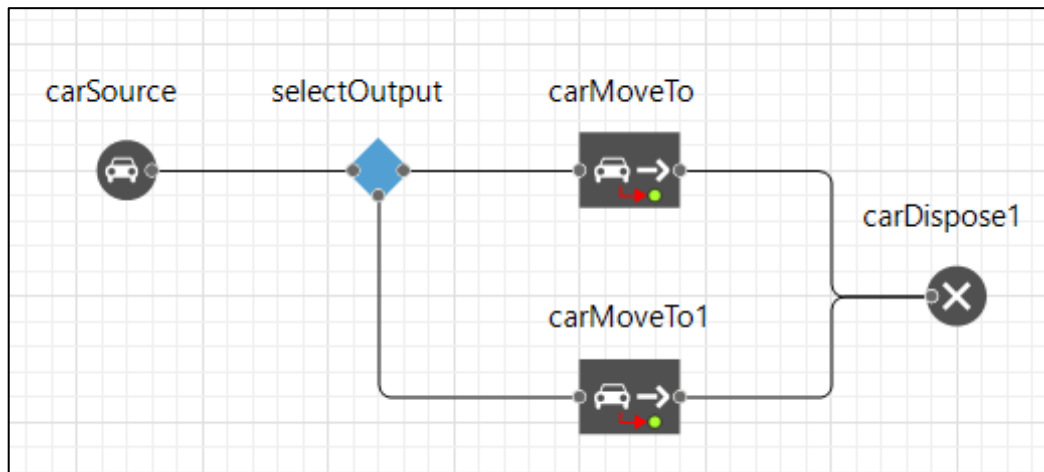
**Tabulka 1: Modelovací prvky Road Traffic Library**

 Car Type	Druh vozidla	Přidá do modelu zvolený druh vozidla.
<b>Space markup elements</b>	<b>Značkovací prvky</b>	<b>Následuje výčet značkovacích prvků.</b>
 Road	Silnice	Přidá do modelu silnici. Standartně vytvoří čtyřproudovou silnici s pravostranným provozem.
 Intersection	Křižovatka	Přidá do modelu průsečnou křižovatku se čtyřmi rameny.
 Stop Line	Příčná čára	Přidá do modelu příčnou čáru.
 Bus Stop	Zastávka autobusu	Přidá do modelu autobusovou zastávku. Automaticky se ukotvuje k hřbetu silnice.
 Parking Lot	Parkoviště	Přidá do modelu parkoviště.
<b>Blocks</b>	<b>Bloky</b>	<b>Následuje výčet bloků. Bloky slouží ke konfiguraci silniční logiky.</b>
 Car Source	Zdroj vozidla	Určuje místo zdroje a frekvenci generujících se vozidel.
 Car Dispose	Likvidace vozidla	Kolektor vozidel, která dosáhla stanovené destinace.
 Car Move To	Vozidlo směřuje do	Určuje místo destinace vozidla.
 Car Enter	Vstup vozidla	Obdrží vozidlo a dosadí ho do specifikované lokace.
 Car Exit	Výjezd vozidla	Vezme vozidlo a posílá ho dál do algoritmu.
 Traffic Light	Světelná signalizace	Určuje nastavení světelné signalizace. Tento blok je přidělený alespoň k jedné křižovatce.
 Road Network Descriptor	Popis silniční sítě	Poskytuje větší kontrolu nad celou dopravní sítí. (např. barevně vyznačuje míru dopravy)

(Zdroj: vysvětlivky v programu Anylogic)

### 4.3.2 Autonomie agentů v Anylogic

Dle vlastního pozorování je nastavena v simulaci hustota dopravy respektive množství agentů vytvořených v koncových bodech modelu. Tito agenti procházejí silničním modelem, obdobně jako skutečná vozidla. To znamená, že dodržují silniční předpisy, volí trasu ke své destinaci, dbají ohled na ostatní agenty v modelu. Dále jsou na světelné křižovatce Mileta skutečné fáze semaforů.



Obrázek 1: Příklad algoritmu rozhodování namodelovaného vozidla  
(Zdroj: vlastní)

V obrázku 1 můžeme vidět diagram triviálního algoritmu agentového rozhodování sestavený z bloků.

Blok **carSource** musí, kromě názvu, povinně obsahovat dvě hodnoty. Název místa, kde se vozidla generují (obvykle počátek silnice) a míra generovaných vozidel za jednotku času. Algoritmus pokračuje do prvku **selectOutput**, který je součástí Process Modeling Library. Knihovna má k dispozici prvek **selectOutput** až s pěti výstupy. Tento prvek obsahuje podmínku, která rozhodne jakým výstupem algoritmus pokračuje. Podmínka je implementována pravděpodobností od 0 do 1 nebo Java kódem. Prvek **carMoveTo** určuje destinaci agenta. Destinací je jeden prvek z výčtu markup elementů (např. konec silnice). Obsahuje navíc druhý výstup **outWayNotFound** označený červenou šipkou. Tento výstup slouží k ošetření výjimky, pokud se agentovi nepodaří nalézt cestu do zadané destinace. O ukončení algoritmu se stará blok **carDispose**. Tento blok eliminuje agenty z prostředí modelu.

## 5 Analýza zkoumaného prostředí

### 5.1 Hradec Králové

Město Hradec Králové je hlavní město Královéhradeckého kraje, který se nachází ve východních Čechách. Statistické statutární město leží na soutoku řek Labe a Orlice. Má rozlohu 105,7 km<sup>2</sup>, nachází se v nadmořské výšce 235 metrů a v roce 2022 zde bylo sečteno 90 596 obyvatel (Český statistický úřad, 2022).

Hradec Králové je důležitým dopravním uzlem. O velkou část městem procházející dopravy se stará silnice I/31, pro Hradečany lépe známá pod názvem Gočárův okruh. Tento chytře navržený obchvat od českého architekta Josefa Gočára byl naplánovaný již ve dvacátých letech minulého století. Dokončen byl ale až otevřením Orlického mostu a to v roce 1980. Gočárův okruh také slouží pro průjezd vozidel skrz město na východ, jelikož v tomto směru neexistuje okolo Hradce Králové žádný obchvat. Tento průjezd na východ vede přes zkoumaný dopravní uzel Mileta, který je kvůli absenci mimoměstského obchvatu dopravně zahlcen. Z uzlu Mileta je možné se dostat do centra města přes uzel Fortna, který leží na tzv. Malém městském okruhu. Tento malý okruh vizuálně napodobuje okruh Gočárův a společně s ním zajišťuje průjezd velké části Hradecké dopravy. [4][7]

Ve městě jsou tři vysoké školy, které leží v okolí námi zkoumané oblasti. Stejná lokalita těchto tří ústavů má vliv na průtok místní dopravy. [4]

## 5.2 Analýza jednotlivých částí zkoumaného prostředí

Simulace má za úkol pozorovat dopravu na hlavní trase vedoucí mezi silničními uzly Fortna a Mileta. Grafický přehled oblasti (výstřižek z mapy) je uveden na Obr. 2, viz níže.

Trasa je tvořena z ulic (od severu k jihu):

- Komenského
- I. Hermanna
- Hradecká
- Zborovská

Na tuto trasu, měřící zhruba 1 km, se připojují ulice:

Východní strana:

- výjezd od sportovní haly
- Nábřeží U Přívozu
- dva výjezdy od Univerzity Hradec Králové

Západní strana:

- Jana Koziny (jednosměrná)
- Orlické nábřeží
- Brněnská
- výjezd od Podnikatelského centra (jednosměrná)
- 17. listopadu
- Akademika Heyrovského
- Sokolská (Gočárův okruh)





Obrázek 2: Zkoumaná oblast simulace vyznačená žlutě (Zdroj: mapy.cz)

Pro úplnou představu aktuální situace na zmíněných ulicích spadajících do studované oblasti jsme se rozhodli je detailně popsat, a to zejména při jejich vyústění do zkoumaných křižovatek. Toto napojení je pak vždy provázeno fotografií pro jasnější představu.

### 5.2.1 Ulice Komenského

Ulice Komenského je součástí tzv. malého okruhu a jedná se o velmi frekventovanou ulici, která slouží k propojení centra s jižní částí Hradce Králové - Moravským předměstím. Ulice je dvouproudová s odbočovacími pruhy u vjezdu do pivovarské garáže, zimního stadionu a na křižovatce Fortna, která leží uprostřed této ulice. Tato ulice tvoří s ulicí Ignáta Hermana křižovatku tvaru T. Ulici spolu s osobními automobily využívá celkem osm linek městské hromadné dopravy. Zastávky hromadné autobusové dopravy Komenského leží ve východní části ulice před budovou Střední zdravotnické školy. (Schéma po linkách MHD v HK, dpmhk.cz, 2021)

Tato ulice je nejvíce zatížena v ranní a odpolední dopravní špičce, jelikož křižovatka slouží jako nejrychlejší propojení mezi centrem města a hustě osídleným Moravským předměstím na jihu města. Kolony zde dosahují až 100 metrů. Na Komenského ulici se nachází celkem tři přechody pro chodce, které dopravu ještě více zpomalují.

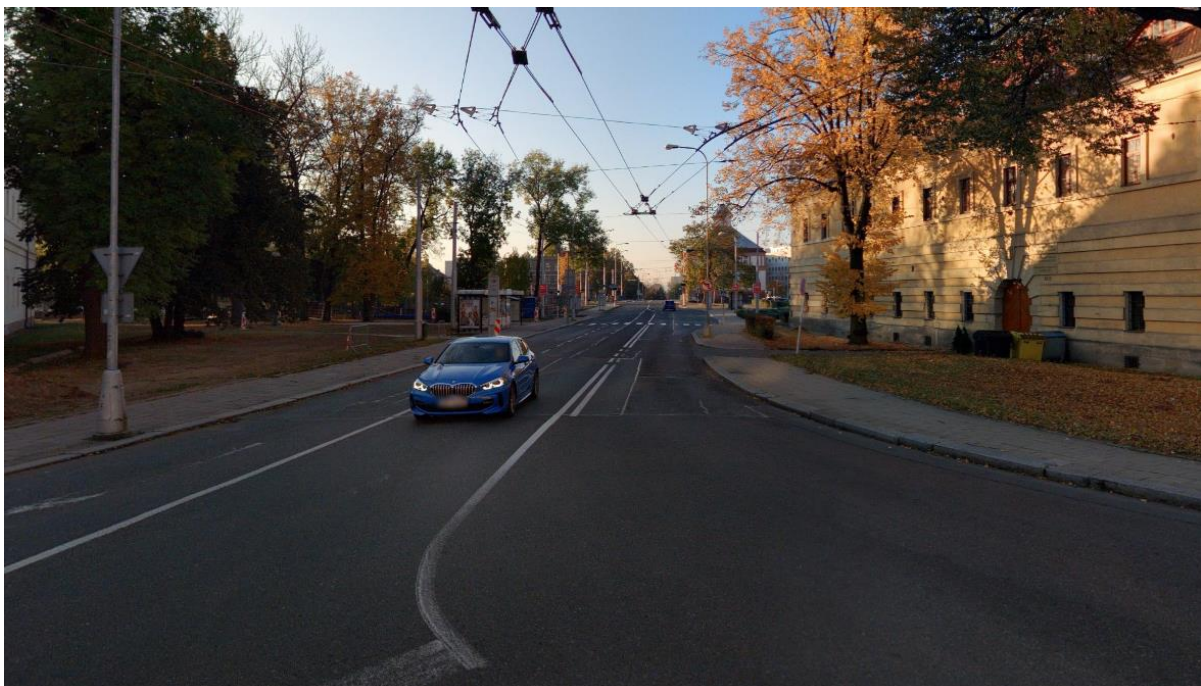


Obrázek 3: ulice Komenského – pohled ze západní strany  
(Zdroj: mapy.cz)

### 5.2.2 Ulice Ignáta Hermanna

Tato ulice měří 130 metrů a spojuje křižovatku Fortna s Moravským mostem, který vede přes řeku Orlici. Ve směru do centra ulici tvoří dva pruhy vedoucí ke křižovatce Fortna. Oba pruhy jsou odbočovací. Levý pruh končí v křižovatce, kde musí řidiči odbočující doleva dát přednost protijedoucím vozidlům. Až poté mohou vjet do křižovatky s úmyslem pokračovat po Komenského ulici směrem na západ. Zde občas vzniká problém, kdy řidiči z důvodu nemožnosti pokračovat dál v jízdě vlevo, zůstávají stát v křižovatce a blokují tím pruh vedoucí zprava z ulice Komenského.

Na této ulici jsou v obou směrech zastávky hromadné dopravy s názvem Zimní stadion. Tyto zastávky používají zejména studenti ze čtyř přilehlých škol. Jedná se o velmi frekventovanou ulici, kde během školního roku a dopravní špičky, vzniká střední dopravní zdržení.



**Obrázek 4: ulice Ignáta Hermanna z pohledu od Fortny  
(Zdroj: mapy.cz)**

### 5.2.3 Ulice Hradecká

Tato ulice se táhne od Moravského mostu, podél Studijní vědecké knihovny, kampusu Univerzity Hradec Králové až ke křižovatce Mileta, kde je přerušena ulicí Zborovská. U budovy Zdravotnické záchranné služby poté dál pokračuje směrem na jih a končí v Třebši napojením na ulici Štefánikova. Měří celkem 2 kilometry. Ulice má odbočovací pruhy vedoucí ke dvěma vjezdům do kampusu UHK, poté odbočovací pruh vedoucí k jídelně na ulici 17. listopadu a odbočovací pruh do ulice Akademia Bedrny. Zhruba 130 metrů před světelnou křižovatkou Mileta se ulice rozděluje na dva pruhy a po 50 metrech na tři pruhy, dva odbočovací a jeden přímý. V opačném směru je jeden pruh vedoucí podél ostrůvku autobusové zastávky Heyrovského, kde zastavují tři linky hromadné autobusové dopravy. (Schéma po linkách MHD v HK, dpmhk.cz, 2021)

Na této ulici bývá největší dopravní vytížení brzy ráno před zahájením školní výuky ve směru do centra a poté od 14 do 16 hodin ve směru na Moravské předměstí. V odpolední špičce se často před křižovatkou nahromadí velké množství vozidel pokračujících rovně na ulici Zborovská, a tím zablokují průjezd vozidel jedoucích jinými směry.



**Obrázek 5: ulice Hradecká, pohled na křižovatku Mileta**  
(Zdroj: mapy.cz)

## 5.2.4 Ulice Zborovská

Ulice Zborovská je jižním ramenem uzlu Mileta. Vede na konec Moravského předměstí, ven z města Hradce Králové, směrem na Vysokou nad Labem. U křižovatky Mileta ve směru do centra jsou k dispozici tři pruhy, dva levé pruhy slouží k odbočení doleva na okruh směrem na Pardubice a třetí k jízdě rovně nebo doprava. Dopravní vytížení je zde podobné jako u ulice Hradecká, kdy ráno bývá před semaforem dlouhá kolona aut. Většina vozidel zde odbočuje doleva na Sokolskou ulici ve směru na Pardubice, kudy se také řidiči dostanou na dálnici D11 vedoucí do Prahy. Ostatní vozy pokračují rovně do centra města, doprava pak odbočuje malé množství řidičů.

Na ulici je jedna autobusová zastávka s názvem Fakultní nemocnice B a to ve směru na Moravské Předměstí. (Schéma po linkách MHD v HK, dpmhk.cz, 2021)



**Obrázek 6: ulice Zborovská, pohled z křižovatky Mileta**  
(Zdroj: mapy.cz)

## 5.2.5 Ulice Sokolská

Ulice Sokolská je součástí Gočárova okruhu. Vede přes soutok řek Labe a Orlice, dále podél Fakultní nemocnice Hradec Králové a protíná křižovatku Mileta, jako její hlavní silnice. Za křižovatkou pokračuje na východ kolem benzínové pumpy OMV a zaniká na další světelné křižovatce s ulicí Brněnská. V obou směrech je silnice dvouproudová a maximální povolená rychlost je 60 km/h. Ze směru od Fakultní nemocnice se 130 metrů před křižovatkou silnice rozděluje na tři pruhy, dva přímé, z nichž levý přímý pruh je zároveň odbočovací pruh doleva, a na třetí pruh, který je odbočovací doprava. Jelikož se jedná o část Gočárova okruhu a představuje i hlavní komunikaci pro průjezd městem, je tato ulice značně vytížená v průběhu celého dne.

V obou směrech jsou v blízkosti za křižovatkou zastávky hromadné dopravy s názvem Heyrovského. Tyto zastávky využívají čtyři linky městské autobusové dopravy. (Schéma po linkách MHD v HK, dpmhk.cz, 2021)



**Obrázek 7: ulice Sokolská, pohled na západní rameno od křižovatky Mileta  
(Zdroj: mapy.cz)**

## 5.2.6 Popis připojujících se ulic

Ulice Jana Koziny, připojující se na ulici Ignáta Hermanna, je zřídka využívaná. Během dne touto ulicí projedou řádově desítky vozidel. Z důvodu velkého provozu na navazující hlavní ulici Ignáta Hermanna se vyjíždějící vozidla dlouho zdrží kvůli dání přednosti v jízdě vozidlům na hlavní silnici. Tato ulice, společně s křižovatkou Fortna, právě probíhá rekonstrukcí.

Ulice Orlické nábřeží slouží zejména pro vozidla jedoucí ke středním školám Biskupské gymnázium, SPŠ Hradební a k Domu dětí a mládeže. Doprava v ulici je významnější pouze v dopravních špičkách, jinak je zde množství dopravy zanedbatelné.

Rameno připojující parkoviště Sportovní haly do ulice Ignáta Hermanna je řídiči velmi zřídka využívané. Slouží především pro personál nebo návštěvy zimního stadionu a pro vozidla zde sídlící rozvážkové pizzerie Pizza Panda.

Dlouhá ulice Brněnská, vedoucí z Nového Hradce Králové, zaniká napojením na ulici Hradeckou u Moravského mostu před Studijní a vědeckou knihovnou. Právě ze směru od Nového Hradce Králové zde proudí v dopravní špičce značné množství vozidel. Mimo to tudy jezdí pět linek autobusové dopravy, které pokračují doprava přes Moravský most na zastávku Zimní stadion.

Ulice nábřeží U Přívozu měří pouze 180 metrů a slouží pro výjezd místní hasičské služby a dále pro přístup na malé parkoviště za Studijní a vědeckou knihovnou. Denní provoz je zde zanedbatelný.

Dvě ulice, připojující kampus Univerzity Hradec Králové, slouží pro přístup k parkovišti univerzity a k podzemnímu parkovišti patřící Studijní a vědecké knihovně. Severní výjezd slouží pro zaměstnance univerzity a pro registrované uživatele knihovny. Provoz zde je velmi malý. Jižní vjezd na parkoviště slouží především pro studenty a zaměstnance tří fakult univerzity. Zde je provoz znatelně vyšší než u severního vjezdu. Při větším provozu vzniká fronta v obou směrech v prostoru jižní závory parkoviště UHK.

[11]

Výjezd od Podnikatelského centra je jednosměrný ve směru na ulici Hradecká. Je využívám hlavně vozidly dopravní obsluhy. Provoz zde je zanedbatelný.

Ulice 17. listopadu slouží k přístupu na parkoviště školní jídelny. Pokračuje dále podél Střední školy profesní přípravy a na konci za Farmaceutickou fakultou se stáčí doprava a napojuje se na ulici Akademika Heyrovského.

Ulice Akademika Heyrovského se napojuje na ulici Hradecká 100 metrů před křižovatkou Mileta. Slouží k dopravě na tři parkoviště u zde přítomných vzdělávacích institucí a velkému množství přilehlých firem. Kvůli paralelně zaparkovaným vozidlům, je obousměrná jízda touto ulicí komplikovaná. Ulice je středně dopravně vytížená.



### 5.2.7 Křižovatka Fortna

Křižovatka Fortna ve tvaru T (viz. Obr. 8) spojuje frekventované ulice Komenského a Ignáta Hermanna. Původní stav křižovatky je již nevyhovující a přestává plnit požadavky na správnou plynulost dopravy. Uzel zejména v čase 14 – 17 hodin podléhá dopravním kolonám. Tato dopravní nepropustnost negativně ovlivňuje také městskou hromadnou dopravu. Vozy MHD zde nabírají několika minutová zpoždění a tím odrazují občany k používání dopravních prostředků, kteří v tomto důsledku raději volí transport vlastním dopravním automobilem a tím nevědomě zhoršují už tak zatížený silniční uzel. [8]

Na jaře v roce 2022 byla zahájena kompletní modernizace křižovatky, která právě probíhá. Přestavba křižovatky na kruhový objezd slibuje úlevu silniční dopravě a celkové vizuální zlepšení prostředí v historickém centru města. [8]



**Obrázek 8: Stávající stav křižovatky Fortna (vlevo), Návrh kruhové křižovatky (vpravo)**  
(Zdroje: mapy.cz; hkcity.cz)

### 5.2.8 Křižovatka Mileta

Průsečná křižovatka Mileta se světelnou signalizací (viz. Obr. 9) je podle dat Ředitelství silnic a dálnic ČR z roku 2020 v současné době nejvytíženějším dopravním uzlem v Hradci Králové. V časovém horizontu mezi 6. – 18. hodinou, zde projede v průměru 24 024 vozidel. V tomto uzlu protíná Hradecká ulice Gočárovův okruh. Křižovatka spojuje čtyři směry. Ulice Sokolská, ležící na Gočárově okruhu, vede od východu na západ a ulice Hradecká ze severu na jih. Tyto dvě ulice svírají křižovatku pod necelým 90° úhlem. Fáze semaforu jsou nastaveny tak, že střídavě má signál volno směr východního ramena, západního ramena a pak ve stejné fázi směry severního a jižního ramena křižovatky. Řidiči vozidel jedoucí souběžně s protilehlým směrem projíždí křižovatkou v souladu se zákonem č. 361/2000 Sb. o silničním provozu. [12]

Navrhovaná rekonstrukce křižovatky (viz. Obr.10) má přidat tři samostatné pruhy pro odbočení vpravo, které nebudou podléhat světelné signalizaci. Přechody pro chodce a cyklisty budou v prostoru křižovatky řešeny novými vybudovanými podchody. Celková délka úpravy na Sokolské ulici je 420 metrů. Celkem tři zastávky MHD v oblasti křižovatky budou nově vybudovány. Změna týkající se řadících pruhů v prostoru křižovatky je prozatím v počátku návrhu. Vyznačené silniční pruhy na modelu ŘSD ČR proto nejsou definitivní. [8][13]



**Obrázek 9: Současný stav křižovatky Mileta  
(Zdroj: mapy.cz)**



**Obrázek 10: Navrhovaný model křižovatky Mileta  
(Zdroj: rsd.cz)**

## 6 Vstupní data simulace

Model simuluje stav dopravy po dobu 1 hodiny reálného času. Po uplynutí této doby, se zkoumaný komplexní model stihne patřičně zaplnit vozidly. Vstupní data jsou totožná u obou modelů simulace. Mapový podklad pro model byl převzat ze satelitních snímků aplikace Google Earth. Šířka silničních pruhů byla nastavena na 3,5 metrů podle zavedených technických norem. Směr jízdy je pravostranný. Maximální povolená rychlost vozidel v modelu je stanovena na 50 km/h s výjimkou ulice Sokolská, ležící na Gočárově okruhu, zde je povolená rychlost do 60 km/h.

Nejdůležitějšími vstupními daty jsou hodnoty intervalu vstupu vozidel do modelu a následné zjištění jejich destinace. Tato vstupní data neodpovídají stoprocentně realitě. Bylo však provedeno velké množství opakování simulace, které se pomocí vlastních pozorování, zkušeností a poskytnutých dat o dopravě, blíží skutečnému stavu dopravy. Na základě poskytnutých dat dopravy a vlastních znalostí zkoumané oblasti v centru Hradce Králové byl vytvořen model pro simulaci současného stavu dopravní situace.

## 6.1 Intervaly vstupu vozidel

Četnost vstupu vozidel do modelu má za úkol zachytit reálnou situaci dopravní špičky v Hradci Králové mezi 14. – 17. hodinou. Intervaly dle koncových ulic modelu jsou uvedeny v Tabulce 2 níže.

Tabulka 2: Intervaly vozidel

<i>Ulice</i>	<b>Název v modelu</b>	<i>Automobily</i>	<i>Autobusy</i>	<i>Kamiony</i>
		<b>auto/min*</b>	<b>bus/hod**</b>	<b>kam/min*</b>
<i>Komenského - východ</i>	carSourceKomenE	8	12	
<i>Komenského - západ</i>	carSourceKomenW	8	20	
<i>Jana Koziny</i>	carSourceJanaKoziny	0,1		
<i>Zimní stadion</i>	carSourceZimak	0,1		
<i>Orlické nábřeží</i>	carSourceBiskupGym	1		
<i>Nábřeží U Přívozu</i>	carSourceKnihovna	0,1		
<i>Brněnská</i>	carSourceStrojarna	4	20	
<i>Výjezd od UHK - sever</i>	carSourceUhkN	0,1		
<i>Výjezd od Podn. Centra</i>	carSourcePodnCentrum	0,1		
<i>17. listopadu</i>	carSource17Listopad	0,5		
<i>Výjezd od UHK - jih</i>	carSourceUhkS	2		
<i>Akademika Heyrovského</i>	carSourceAkHeyr	1		
<i>Sokolská – východ</i>	carSourceSokolskaE	20	8	1
<i>Zborovská</i>	carSourceZborovska	16	20	
<i>Sokolská – západ</i>	carSourceSokolskaW	20	16	1

(Zdroj: vlastní)

\* počet vzniku vozidel za 1 minutu času modelu

\*\* počet vzniku autobusů za 1 hodinu času modelu (součin počtu autobusových linek s průměrnou frekvencí příjezdu autobusů za jednu hodinu)

## 6.2 Rozhodování vozidel

Rozhodování agentů v modelu napodobuje situaci z reálného světa, kdy řidiči automobilů určují jakým směrem budou pokračovat v jízdě křižovatkou. Pro zjištění cíle každého agenta, byly použity algoritmy pracující s pravděpodobnostní logikou. Každý dopravní uzel v modelu obsahuje hodnoty pravděpodobnosti, pomocí kterých agent vypočítává vlastní trasu napříč celým modelem. Agenti typu autobus používají k určení své trasy názvy zastávek, přes které musí modelem projet. Pro agenty typu autobus jsou zastávky chápány jako destinace.

Data o rozhodování jsou velmi obsáhlá. Obsahují data pravděpodobnosti jízdy přes každý silniční uzel v každém směru jízdy. Pro ukázkou si znázorníme hodnoty rozhodování na křižovatce Mileta. Nápomocný nám bude současný stav křižovatky před rekonstrukcí (Obrázek 11 viz níže).

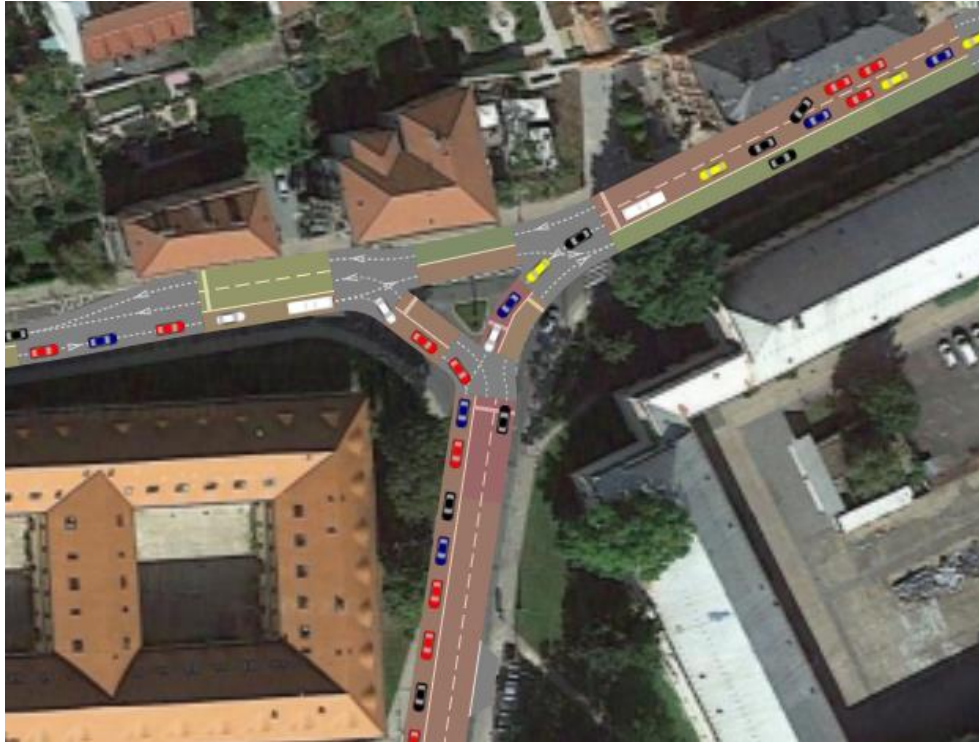


**Obrázek 11: Křižovatka Mileta - pravděpodobnosti rozhodování**  
(zdroj: mapy.cz, hodnoty vlastní)

## 7 Simulace současného stavu

V průběhu simulace je vidět podobnost modelu s reálnou situací dopravy. Na následujícím obrázku 12 vidíme ucpaný jižní směr za křižovatkou Fortna. Míra hustoty dopravy je vyznačena zbarvením dopravní komunikace spektrem od zelené po červenou barvu. Kolona vozidel se táhne až ke křižovatce Mileta, která je vzdálená 730 metrů na jih. Hlavním důvodem zácpy je malá propustnost těchto dvou hlavních křižovatek a výskyt 7 dalších křižovatek mezi těmito uzly.

Situace u křižovatky Mileta je obdobná (Obrázek 13.). Před křižovatkou stojí kolony měřící až 200 metrů. Nejvíce je zatížené severní rameno křižovatky vedoucí z centra města. Důvodem je hustá doprava a krátká fáze semaforu 10 sekund.



**Obrázek 12: Simulace křižovatky Fortna při současném stavu  
(Zdroj: vlastní)**

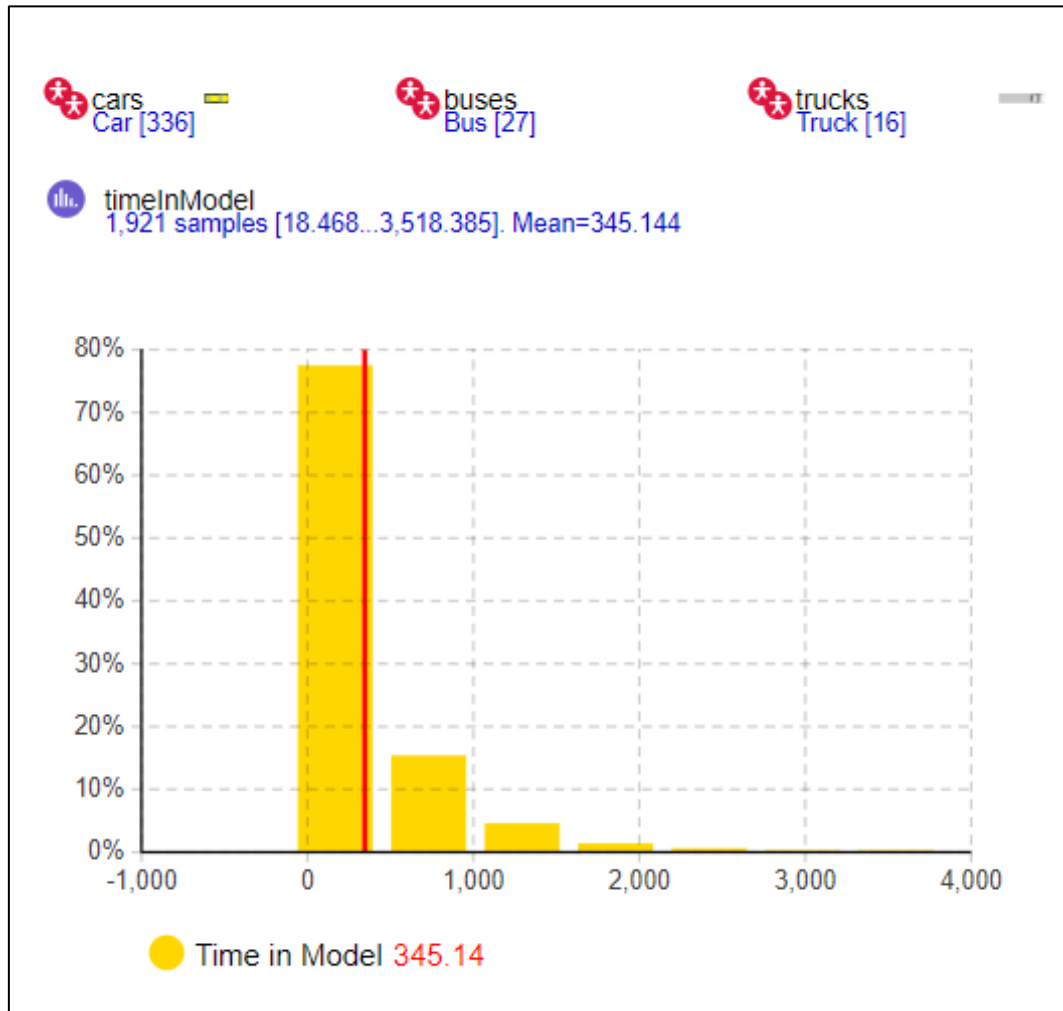


**Obrázek 13: Simulace křižovatky Mileta při současném stavu  
(Zdroj: vlastní)**



## 7.1 Získaná data

Pomocí níže uvedeného obrázku jsme schopni zjistit potřebná data pro vyhodnocení současné dopravní situace.



Obrázek 14: Graf simulace současného stavu  
(Zdroj: vlastní)

Po uplynutí 1 simulované hodiny jsme schopni určit, že zkoumanou dopravní oblastí projelo celkem 1 921 vozidel. V modelu se po 1 hodině simulace nacházelo 336 automobilů, 27 autobusů a 16 kamionů. Průměrný čas strávených vozidly v modelu byl 345,14 sekund (5 minut 45 sekund). Minimum bylo necelých 18,5 sekund, maximum 3 518 sekund. Nejčtenější hodnotou času vozidla stráveného v simulaci byla hodnota do 334 sekund, s četností 1 632 vozidel.

## 8 Simulace navrhovaného stavu

Plán rekonstrukce křižovatky Fortna má za cíl jí přestavět na kruhový objezd. Tato změna přinesla již na první pohled v simulaci větší plynulost dopravy ve všech přilehlých směrech, a to hlavně díky nepřítomnosti volitelných pruhů před a vně křižovatky. Je znatelné celkové urychlení dopravy, se kterého budou těžit vozidla městské hromadné doprava. Eliminuje se zpoždění z důsledku velké dopravní kongesce.

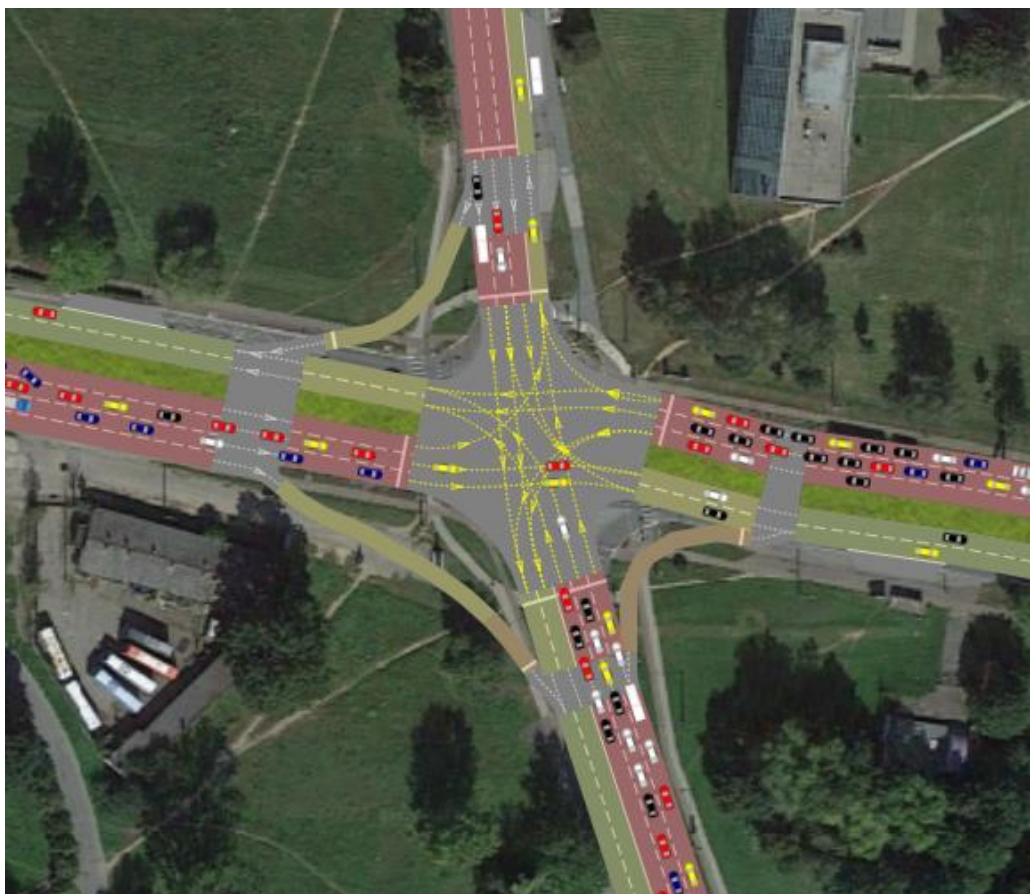
V průběhu simulace má křižovatka Mileta větší propustnost. Největší změnu pozorujeme u severního ramene Hradecká. Tři nové bypassy křižovatky a optimalizace fází semaforů zajišťují zefektivnění propustnosti křižovatky. Fáze křižovatky byly změněny následovně:

- P1 – 30 s >> 40 s
- P2 – 30 s >> 10 s
- P3 – 10 s >> 35 s
- P4 – zůstává 10 s

U ostatních křižovatek byla změna v propustnosti zanedbatelná.



**Obrázek 15: Model křižovatky Fortna – navrhovaný stav**  
(Zdroj: vlastní)

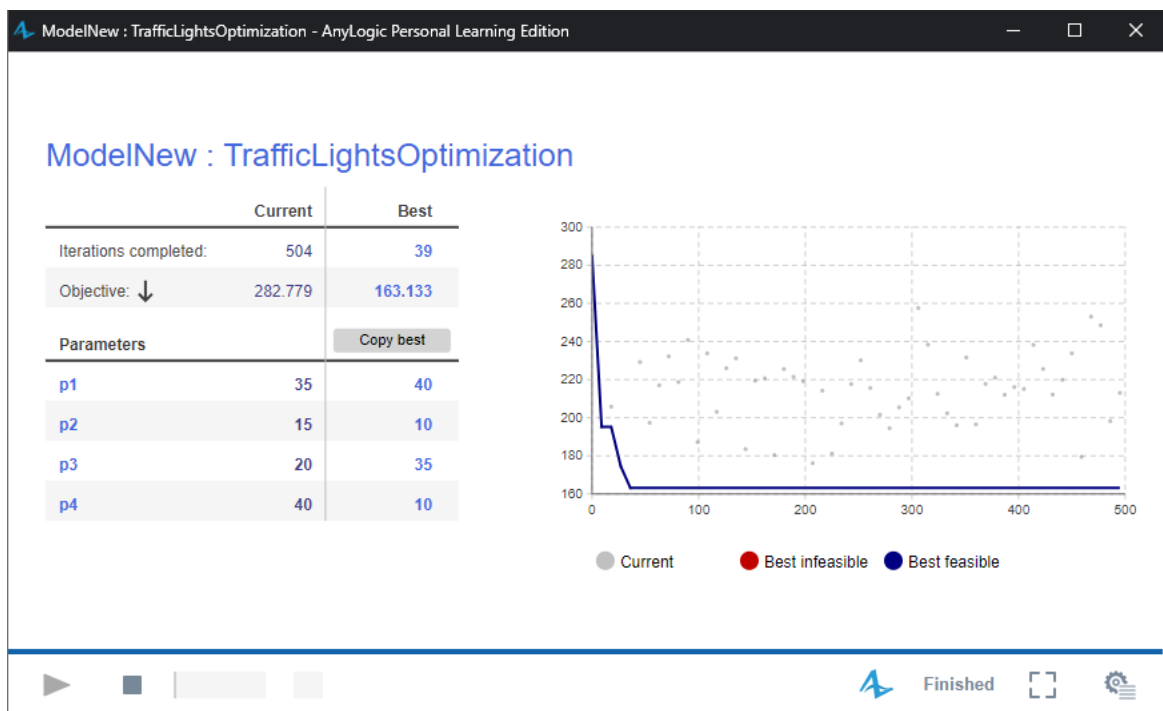


Obrázek 16: Model křižovatky Mileta – navrhovaný stav  
(Zdroj: vlastní)

## 8.1 Optimalizace světelné signalizace

V prostředí Anylogic jsme provedli optimalizační experiment s názvem TrafficLightsOptimization. Vstupními daty experimentu byly časové intervaly čtyř fází semaforu. Tyto fáze byly optimalizovány s cílem zjištění minimálního průměrného času stráveného vozidly v modelu. Proměnné fází jsou pojmenovány p1, p2, p3, p4. Fázím byly nastaveny limity od 10 do 40 sekund s krokem posunu 5 sekund.

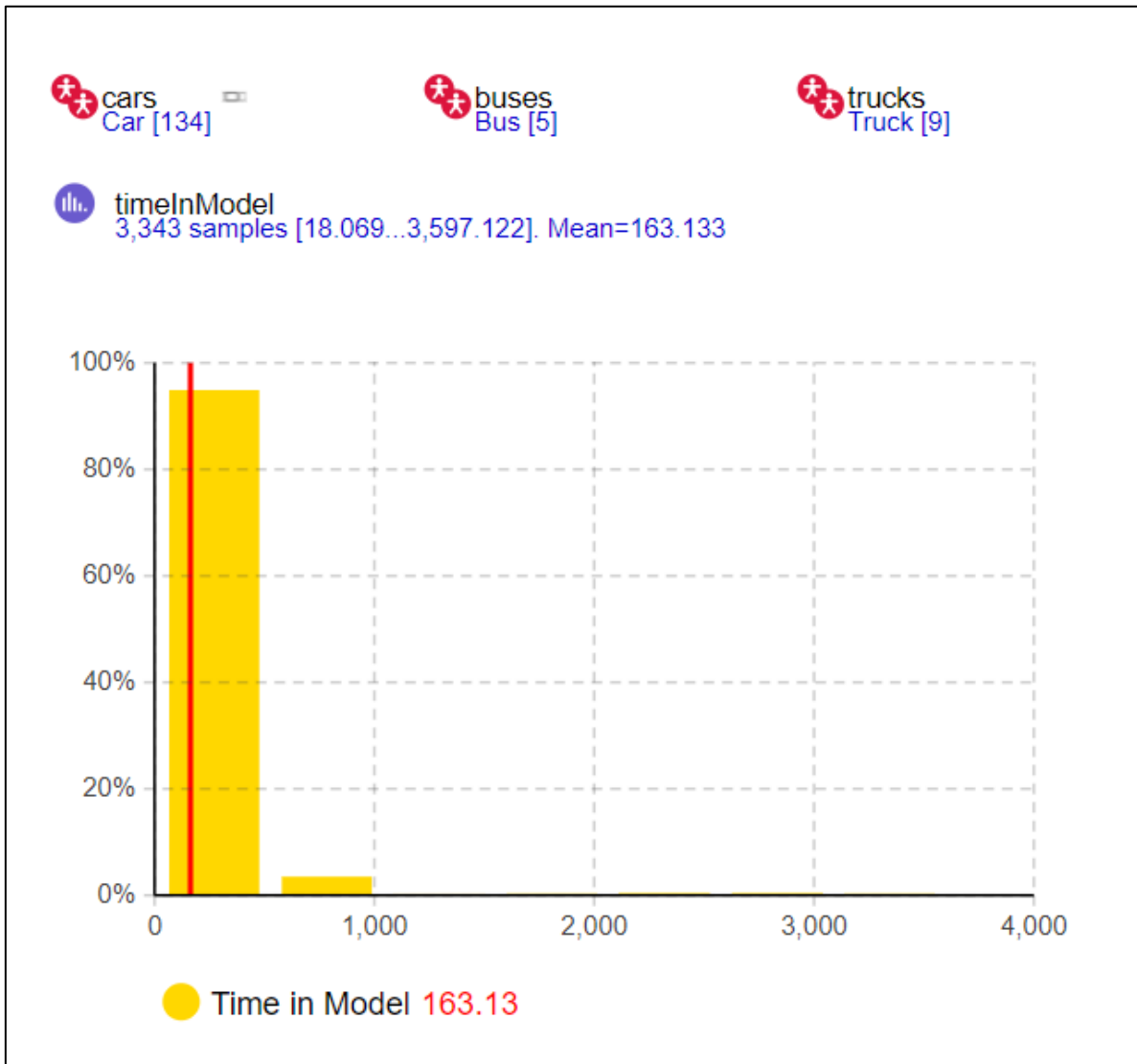
Při spuštění optimalizace závisle na volná jádra procesoru proběhlo více iterací simulace. V těchto simultánně běžících simulacích byly hledány nejlépe realizovatelné hodnoty fází semaforu. Na snímku níže vidíme, že nejefektivnější hodnoty byly nalezeny v iteraci č. 39. Hodnoty P1, P2, P3, P4 byly použity v konfiguraci světelné křižovatky Mileta.



Obrázek 17: Výsledek optimalizace  
(Zdroj: vlastní)

## 8.2 Získaná data

Pomocí níže uvedeného snímku jsme schopni zjistit potřebná data pro vyhodnocení dopravní situace po modernizaci obou křižovatek a optimalizaci semaforů.



Obrázek 18: Graf simulace navrhovaného stavu  
(Zdroj: vlastní)

Za dobu simulace projelo zkoumanou dopravní oblastí celkem 3 343 vozidel. V modelu se po konci simulace nacházelo 134 automobilů, 5 autobusů a 9 kamionů. Průměrný čas vozidel strávených v modelu byl 163,13 sekund (necelé 3 minuty). Minimum bylo necelých 18,1 sekund, maximum 3 597 sekund. Nejčetnější hodnotou času vozidla stráveného v simulaci byl časový interval 15 - 527 sekund, s četností 3 174 vozidel.

## 9 Shrnutí výsledků

Výčet dat z modelů simulace:

**Tabulka 3: Data simulací**

	<b>S1</b>	<b>S2</b>
<b>N</b>	1921	3343
<b>T</b>	345,14	163,13

(Zdroj: vlastní měření)

Vysvětlivky k tabulce:

- S1 ... Model simulace současného stavu
- S2 ... Model simulace navrhovaného stavu
- N ... Počet vozidel vyskytujících se v modelu
- T ... Průměrný čas strávený v modelu

Dle porovnání zjištěných dat z obou simulací můžeme potvrdit, že vozidla stráví v nově zrekonstruované dopravní oblasti mezi uzly Fortna a Mileta v průměru o **52,74 %** méně času. Slovy to znamená, že ušetří přes polovinu času při přepravě.

Zároveň zkoumaná dopravní oblast má potenciál zvýšit propustnost vozidel z původních 1 921 na 3 343, což je **74,02 %** nárůst.

Výpočty:

T1, T2 – průměrné časy vozidel strávených v modelech

$$100 - (T2 / T1) \times 100 = 100 - (163,13 / 345,14) \times 100 = 52,74$$

N1, N2 – počet vozidel

$$(N2 - N1) / N1 \times 100 = (3343 - 1921) / 1921 \times 100 = 74,02$$

## 10 Závěr

V této bakalářské práci byla zanalyzována a popsána současná dopravní situace mezi dopravními uzly Fortna a Mileta v Hradci Králové. Primárním cílem bylo zjištění změny v propustnosti dopravy ve stanovené dopravní síti.

Podkladem pro teoretickou část bylo zejména vlastní pozorování a znalosti konkrétní zkoumané oblasti, obohacena daty o dopravě z roku 2020 a daty autobusových linek MHD.

V praktické části byla pomocí softwaru Anylogic nejprve vytvořena simulace aktuálního stavu zkoumané oblasti. Poté byl zrealizován návrh rekonstrukce obou významných uzlů dopravy a byl vytvořen druhý model simulace. Simulace ukázali, že současný stav obou uzlů je oproti navrhovanému stavu nevyhovující. Čímž byla odpovězena počáteční otázka, že navrhovaná rekonstrukce zvýší míru propustnosti dopravy ve zkoumané oblasti a to o 74 %.

K simulaci a optimalizaci dopravní oblasti v Hradci Králové byla používána free verze PLE softwaru Anylogic.

## 11 Seznam použité literatury

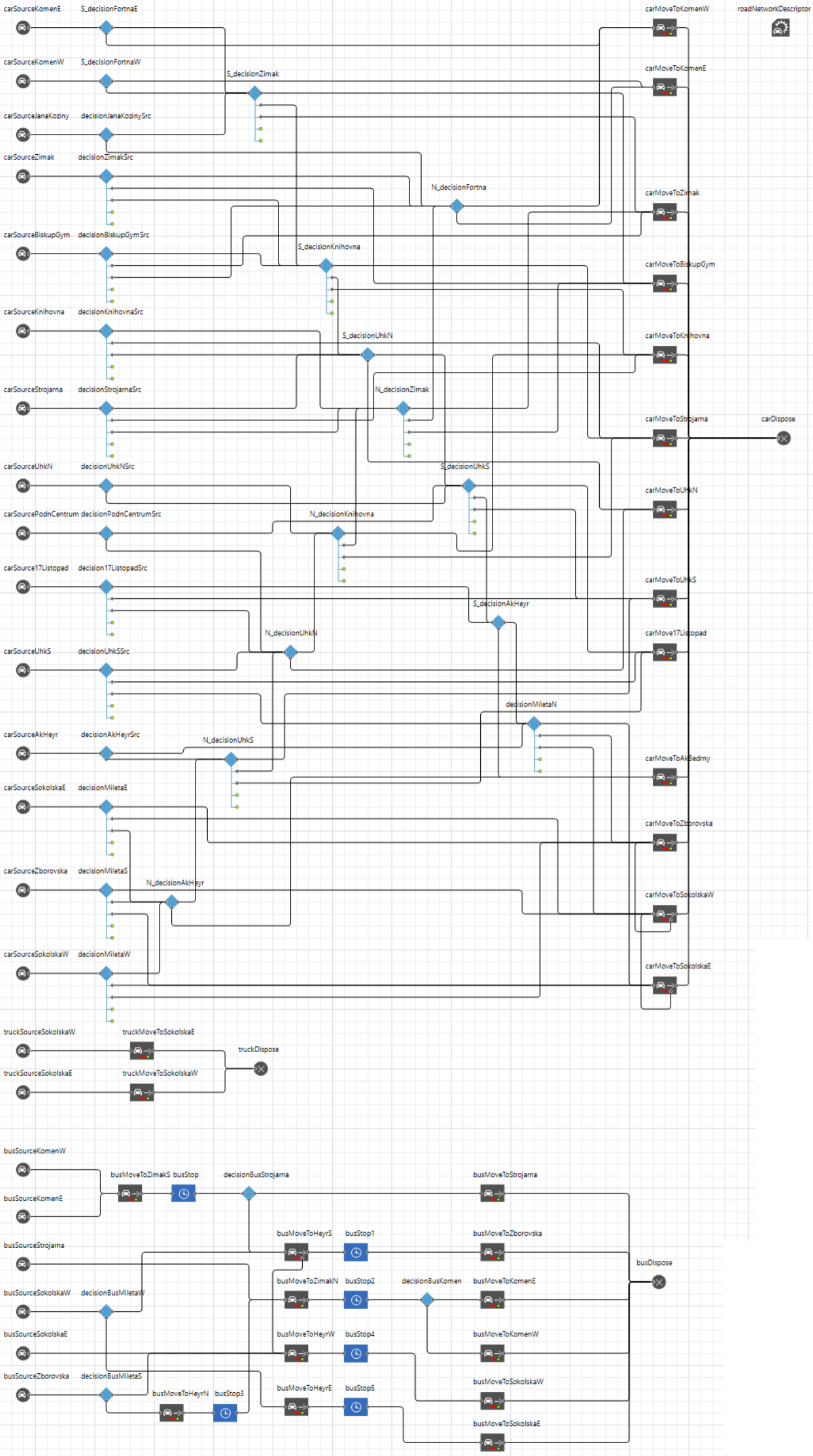
- [1] Road Traffic Library – Anylogic Simulation Software [online]. 2022 [cit. 2022-08-02]. Dostupné z: <https://www.anylogic.com/features/libraries/road-traffic-library/>
- [2] Clients & testimonials – AnyLogic Simulation Software. AnyLogic: Simulation Modeling Software Tools & Solutions for Business [online]. 2022 [cit. 13.08.2022]. Dostupné z: <https://www.anylogic.com/company/clients/>
- [3] Eric Bonabeau: Agent-based modeling: methods and techniques for simulating human systems [online]. 2002 [cit. 2022-08-02]. Dostupné z: <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.082080899>
- [4] O Hradci [online]. 2022 [cit. 2022-08-05]. Dostupné z: <https://www.hradeckralove.org/o-hradci/ms-1058/p1=1058>
- [5] Jennings, N.R., Sycara, K., Woolridge, M.: A roadmap of agent research and development. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems Journal* 1(1), (1998) [cit. 2022-08-13]
- [6] Český statistický úřad: Počet obyvatel v obcích – k 1. 1. 2022. [online]. 2022 [cit. 2022-08-09]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/pocet-obyvatel-v-obcich-k-112022>
- [7] Až rozvoj dopravy prověřil 90 let starou myšlenku Gočárova okruhu - Hradecký deník [online]. 2014 [cit. 2022-08-09]. Dostupné z: [https://hradecky.denik.cz/zpravy\\_region/az-rozvoj-dopravy-proveril-90-let-starou-myslenku-gocarova-okruhu-20140701.html](https://hradecky.denik.cz/zpravy_region/az-rozvoj-dopravy-proveril-90-let-starou-myslenku-gocarova-okruhu-20140701.html)
- [8] HKCITY - Nově přidané projekty Hradec Králové [online]. 2022 [cit. 2022-08-09]. Dostupné z: <https://www.hkcit.cz/nove-pridane-projekty-hradec-kralove/>
- [9] Mapy a schémata | Dopravní podnik města Hradce Králové. Úvod | Dopravní podnik města Hradce Králové [online]. 2017 [cit. 2022-08-10]. Dostupné z: [https://www.dpmhk.cz/33/Mapy\\_a\\_schemata/](https://www.dpmhk.cz/33/Mapy_a_schemata/)
- [10] Seznam.cz: Mapy.cz [online]. 2022 [cit. 2022-08-10]. Dostupné z: <http://mapy.cz/>
- [11] Parkování v areálu SVK HK | Studijní a vědecká knihovna v Hradci Králové. [online]. 2022 [cit. 2022-08-11]. Dostupné z: <https://www.svkhk.cz/Uvodni-stranka/Provozni-informace/Parkovani-v-arealu-SVK-HK/Parkovani-v-arealu-SVK-HK.aspx>
- [12] Sčítání dopravy - ŘSD ČR. Ředitelství silnic a dálnic České republiky [online]. 2020 [cit. 2022-08-11]. Dostupné z: <https://www.rsd.cz/silnice-a-dalnice/scitani-dopravy>
- [13] ŘSD ČR: Hradec Králové, křižovatka Mileta | Informační leták, stav k 07/2022 [online]. 2022 [cit. 2022-08-11]. Dostupné z: [https://apdos.roadmedia.cz/Upload/Stavby/245/infoletak\\_s31-hk-mileta.pdf](https://apdos.roadmedia.cz/Upload/Stavby/245/infoletak_s31-hk-mileta.pdf)



[14] Google Earth. [online]. 2022. Dostupné z: <https://earth.google.com/web/>

## 12 Přílohy

1. Diagram rozhodování agentů v modelu



UNIVERZITA HRADEC KRÁLOVÉ  
Fakulta informatiky a managementu  
Akademický rok: 2020/2021

Studijní program: Aplikovaná informatika  
Forma studia: Prezenční  
Obor/kombinace: Aplikovaná informatika (ai3-p)

## Podklad pro zadání BAKALÁŘSKÉ práce studenta

Jméno a příjmení: Radovan Hovorka

Osobní číslo: I1900192

Adresa: Rybova 1909/26, Hradec Králové – Nový Hradec Králové, 50009 Hradec Králové 9, Česká republika

Téma práce: Simulace a optimalizace městské dopravy

Téma práce anglicky: Urban transportation modeling and optimization

Vedoucí práce: doc. Ing. Hana Tomášková, Ph.D.  
Katedra informačních technologií

Zásady pro vypracování:

Návrh simulačního modelu městské dopravy s důrazem na optimalizační přístupy.

Seznam doporučené literatury:

- Sommerville, I. (2013). *Software inženýrství*. Computer Press, Albatros Media as.
- Bruckner, T., Voříšek, J., Buchalceková, A., Stanovská, I., Chlápek, D., & Řepa, V. (2012). *Tvorba informačních systémů*. Praha, Česká republika: Grada Publishing.

Podpis studenta:

*Hovorka*

Datum:

*15. 8. 2022*

Podpis vedoucího práce:

*H.T.*

Datum:

*15. 8. 2022*