

Vysoká škola logistiky o.p.s.

**Simulační model křižovatky řízené
světelnou signalizací**

(Diplomová práce)



Vysoká škola
logistiky
o.p.s.

Zadání diplomové práce

student **Bc. Jan Zdařil**

studijní program Logistika
obor Logistika

Vedoucí Katedry magisterského studia Vám ve smyslu čl. 22 Studijního a zkušebního řádu Vysoké školy logistiky o.p.s. pro studium v navazujícím magisterském studijním programu určuje tuto diplomovou práci:

Název tématu: **Simulační model křižovatky řízené světelnou signalizací**

Cíl práce:

Vytvořit simulační model křižovatky ve vhodném simulačním programu (Vissim). Definovat a realizovat příslušné simulační experimenty. Výsledky simulačních experimentů zhodnotit.

Zásady pro vypracování:

Využijte teoretických východisek oboru logistika. Čerpejte z literatury doporučené vedoucím práce a při zpracování práce postupujte v souladu s pokyny VŠLG a doporučeními vedoucího práce. Části práce využívající neveřejné informace uveďte v samostatné příloze.

Diplomovou práci zpracujte v těchto bodech:

Úvod

1. City logistika - teoretická východiska
2. Modelování a simulace
3. Analýza vybrané křižovatky řízené světelnou signalizací
4. Tvorba simulačního modelu křižovatky
5. Simulační experimenty s modelem

Závěr

Rozsah práce: 50 – 60 normostran textu

Seznam odborné literatury:

VOŽENÍLEK, Vít a Vladimír STRAKOŠ. City logistics: dopravní problémy města a logistika. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2009. SBN 978-80-244-2317-3.

PŘIBYL, Pavel a SVÍTEK, Miroslav. Inteligentní dopravní systémy. Praha: BEN - technická literatura, 2001. ISBN 80-7300-029-6.

ŠIROKÝ, Jaromír. Technologie dopravy. Vyd. 5., rozš. Pardubice: Institut Jana Pernera, 2012. ISBN 978-80-86530-82-6.

Centrum dopravního výzkumu. [online] 2018 Dostupné z: <https://www.cdv.cz/>

PTV VISSIM User Manual, PTV AG, Karlsruhe, Německo 2018

ČSN 73 6101 Projektování silnic a dálnic, ČSN 73 6110 Projektování místních komunikací

Vedoucí diplomové práce:

prof. Ing. Gabriel Fedorko, PhD.

Datum zadání diplomové práce:

31. 10. 2018

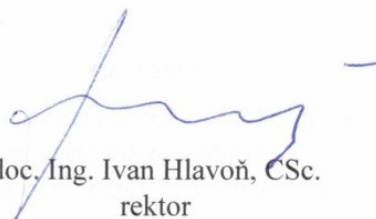
Datum odevzdání diplomové práce:

11. 5. 2019

Přerov 31. 10. 2018



doc. Dr. Ing. Oldřich Kodym
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivan Hlavoň, CSc.
rektor

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že předložená diplomová práce je původní a že jsem ji vypracoval samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná a že jsem v práci neporušil autorská práva ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb., o autorském právu, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů.

Prohlašuji, že jsem byl také seznámen s tím, že se na mou diplomovou práci plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména § 60 – školní dílo. Beru na vědomí, že Vysoká škola logistiky o.p.s. nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro pedagogické, vědecké a prezentační účely školy. Užiji-li svou diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat před tím o této skutečnosti Vysokou školu logistiky o.p.s. prorektora pro vzdělávání.

Prohlašuji, že jsem byl poučen o tom, že diplomová práce je veřejná ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, zejména § 47b. Taktéž dávám souhlas Vysoké škole logistiky o.p.s. ke zpřístupnění mnou zpracované diplomové práce v její tištěné i elektronické verzi. Souhlasím s případným použitím této práce Vysokou školou logistiky o.p.s. pro pedagogické, vědecké a prezentační účely.

Prohlašuji, že odevzdaná tištěná verze diplomové práce, elektronická verze na odevzdaném optickém médiu a verze nahraná do informačního systému jsou totožné.

Přerov 11. 5. 2019

.....

podpis

Poděkování

Na tomto místě bych velice rád poděkoval svému vedoucímu diplomové práce prof. Ing. Gabrieli Fedorkovi, Ph.D za odborné vedení práce, cenné rady a připomínky.

Anotace

Cílem práce je objasnit city logistiku. Práce je rozdělena do dvou částí: teoretické a praktické. V teoretické části jsou stručně definovány pojmy související s city logistikou a logistikou obecně. V praktické části je realizovaná simulace systému křižovatky a popsány experimenty se simulačním modelem.

Klíčová slova

City logistika, simulace, PTV Vissim, křižovatka, světelná signalizace

Annotation

The aim of the thesis is to clarify the city logistics. The thesis is divided into two parts: theoretical and practical. The theoretical part briefly defines terms related to city logistics and logistics in general. In the practical part the simulation of the intersection system is realized and experiments with the simulation model are described.

Keywords

City logistics, simulation, PTV Vissim, intersection, traffic lights

Obsah

Úvod.....	9
1 City logistika - teoretická východiska	10
1.1 Definice logistiky	11
1.2 Komponenty logistického systému	12
1.3 Historie a pokrok v logistice	13
1.4 Vztah mezi dopravou a logistikou.....	14
1.4.1 Náklady na dopravu a zboží v logistice	15
1.4.2 Vliv dopravy na logistiku	16
1.4.3 Role dopravy v kvalitě služeb.....	17
1.5 City Logistika.....	17
1.5.1 Definice City Logistiky	17
1.5.2 Aplikované techniky v City logistice.....	20
1.5.3 Vývoj City Logistiky	22
2 Modelování a simulace	25
2.1 Systém.....	25
2.2 Model	26
2.2.1 Dělení modelů.....	26
2.3 Modelování	27
2.4 Simulace.....	28
2.4.1 Proces simulace.....	28
2.5 Základní přístupy k simulačnímu modelování.....	31
2.5.1 Simulace diskrétních událostí (Discrete event simulation – DES).....	31
2.5.2 Systémová dynamika (System dynamics simulation – SDS).....	31
2.5.3 Agentní simulace (Agent-based simulation – ABS).....	31
2.5.4 Hybridní simulace (Multi-method simulation MMS).....	32
2.6 Modelování v dopravě.....	32

2.6.1	Typy modelů podle úrovně abstrakce	32
2.7	Nástroje na simulaci dopravního systému.....	35
3	Analýza vybrané křižovatky řízené světelnou signalizací	36
3.1	Hustota provozu	37
3.2	Dopravní značení	40
4	Tvorba simulačního modelu křižovatky	41
4.1	Vytvoření sítě a spuštění simulace	41
4.1.1	Definování parametrů simulace	41
4.1.2	Definování rychlosti	41
4.1.3	Definování typů vozidel.....	42
4.1.4	Modelování cest pro vozidla a chodce, modelovací konektory.....	42
4.1.5	Zadávání vstupů vozidla do koncových bodů sítě	44
4.1.6	Definování změn na požadovanou rychlost.....	45
4.1.7	Úpravy konfliktních oblastí v nesignalizovaných průsečících	45
4.1.8	Vložení semaforu	46
4.1.9	Vyhodnocení uzlů	48
5	Simulační experimenty s modelem.....	51
5.1	Experiment č. 1	52
5.2	Experiment č. 2	53
5.3	Experiment č. 3	54
5.4	Sumarizace experimentů	55
	Závěr	57
	Seznam použitých zdrojů.....	59
	Seznam zkratk	61
	Seznam obrázků	62
	Seznam tabulek	63
	Seznam příloh	64

Úvod

Doprava doprovází lidstvo od jeho počátku. Současná doprava představuje však také hodně problémů. Z hlediska dopravy leží město Přerov na dvou ze čtyř národních železničních uzlů, které jsou součástí celoevropské dopravní sítě TEN-T. Plánuje se také v jeho blízkosti výstavba dálnice D1. Poloha v rámci České Republiky přímo předurčuje, že plní funkce hlavní dopravní křižovatky. Nicméně i zde nacházíme problémy, s nimiž město Přerov dlouhodobě bojuje.

Město Přerov má dva základní problémy. Jedním je samotné rozdělení města řekou Bečvou, kde je významným nedostatkem chybějící třetí přemostění pro osobní dopravu. Druhým problémem je železnice, která město obepíná spolu s nízko propustnými podjezdy pod ní. Zároveň rozložení města s jeho průmyslovým jádrem, letištěm na západě, přírodní rezervací Žebračka se statutem ochrany z hlediska životního prostředí a ochrannou zónou parku Michalov z hlediska ochrany kultury, tvoří rovněž přirozené bariéry pro rozvoj dopravní infrastruktury.

Diplomovou práci jsem rozdělil do dvou základních celků. Teoretická část se věnuje obecnému přehledu daného tématu. Dále se zabývá přehledem o city logistice a popisuje tvorbu simulace v logistice. Praktická část zahrnuje tvorbu simulačního modelu, experimenty se simulačním modelem a vyhodnocení získaných dat.

Pro potřeby simulace jsem vybral frekventovanou křižovatku, řízenou světelnou signalizací v Přerově. Tato křižovatka se nachází na hlavní trase Hranice - Zlín, nezabývám se tedy jen frekventovanou křižovatkou, ale i významným dopravním uzlem.

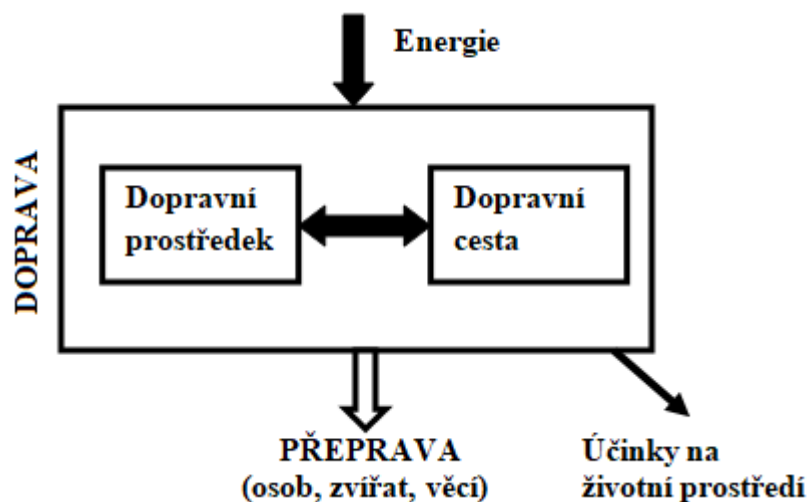
1 City logistika - teoretická východiska

Doprava je jednou z nejstarších činností člověka, která výrazně přispěla k rozvoji společnosti, osídlení, státu, národního hospodářství, kultury, osobností a vnitřní politiky. Neoddiskutovatelná je potřeba přemístění ve všech fázích vývoje lidské společnosti. Rozvoj dopravy se odvíjel od úrovně společenských potřeb.

Doprava a její úroveň měla v dějinách velký význam i pro rozmístění vznikajících sídlišť a jejich růst i pro rozvoj celých oblastí. Města vznikala na křižovatkách obchodních cest. Města, která vznikla z jiných důvodů, bylo nutno vhodným druhem dopravy propojit s ostatním územím.

Vysvětleme si v úvodu dva základní pojmy, jež budou studenty dopravních oborů doprovázet nejen po celou dobu jejich studia, ale i poté. Těmito pojmy jsou "Doprava" a "Přeprava" (obr. 1.1). Doprava je definována jako úmyslný pohyb (tzn. jízda, let, plavba) dopravních prostředků po dopravních cestách nebo činnost dopravních zařízení. Jejím výsledkem je pak přeprava, tzn. vlastní přemístění (resp. přemísťování) osob, zvířat a věcí.

Obrázek 1.1: Doprava a přeprava

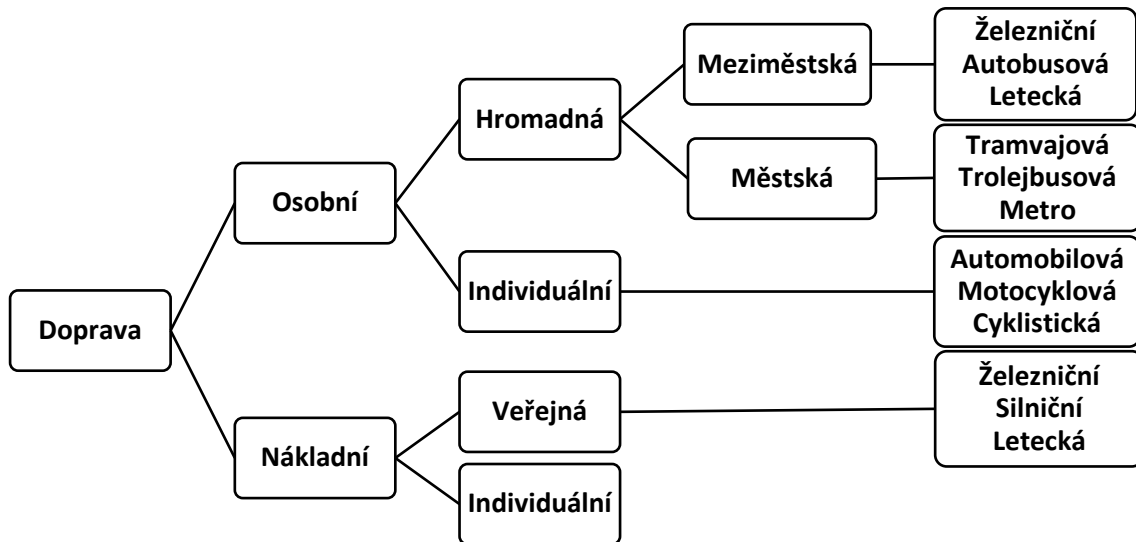


Zdroj: Vlastní zpracování

Dopravu lze rozdělit podle několika různých hledisek. Základní rozdělení dopravy je na dopravu osobní, kdy předmětem přepravy jsou cestující, a na dopravu nákladní, kdy předmětem přepravy je jakýkoli náklad, čili suroviny, zboží apod. Další rozdělení

je patrné z obr. 1.2. Nutno podotknout, že jde pouze o základní rozdělení, se kterým se ve většině případů můžeme setkat v našich zeměpisných oblastech.

Obrázek 1.2: Základní rozdělení dopravy



Zdroj: Vlastní zpracování

1.1 Definice logistiky

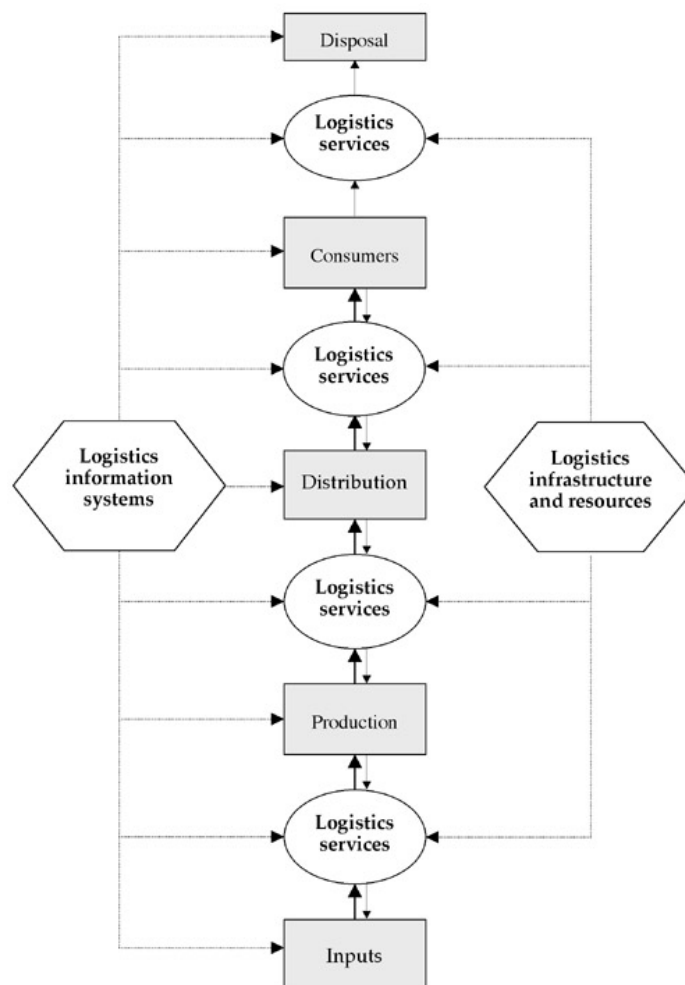
Rada logistického managementu (1991) definovala, že logistika je součástí procesu dodavatelského řetězce, který plánuje, realizuje a kontroluje efektivní předávání a zpětný tok, skladování zboží, služeb a souvisejících informací mezi místem původu a spotřeby, aby byly splněny požadavky zákazníků (Tilanus, 1997). Definice Johnsona a Wooda používá k interpretaci „pět důležitých klíčových termínů“, kterými jsou logistika, příchozí logistika, správa materiálů, fyzická distribuce a řízení dodavatelského řetězce. Logistika popisuje celý proces materiálů a výrobků, které se pohybují do, přes a mimo firmu. Příchozí logistika pokrývá pohyb materiálu přijatého od dodavatelů. Materiálové hospodářství popisuje pohyb materiálů a součástí v rámci firmy. Fyzická distribuce označuje pohyb zboží směrem ven, od konce montážní linky k zákazníkovi.

Shodnost nedávných definic je, že logistika je proces přesunu a manipulace se zbožím a materiálem, od začátku až do konce výroby, přes prodejní proces, likvidaci odpadu,

až k uspokojení zákazníků a zvýšení konkurenceschopnosti podniků. Je to proces předvídání potřeb a přání zákazníků; získávání kapitálu, materiálů, lidí, technologií a informací nezbytných pro uspokojení těchto potřeb a přání; optimalizace sítě vytvářející zboží nebo služby pro splnění požadavků zákazníků; a využití sítě pro včasné splnění požadavků zákazníků. (Tilanus, 1997) Jednoduše řečeno, logistika je orientována na zákazníka.

1.2 Komponenty logistického systému

Obrázek 1.3: Přehled logistického systému



Zdroj: BTRE, 2001

Obrázek 1.3 poskytuje přehled o logistickém systému - logistické služby, informační systémy a infrastruktura. Zdroje jsou tři složky tohoto systému a úzce propojené.

Interakce hlavních složek logistického systému jsou interpretována následovně:

Logistické služby podporují pohyb materiálů a výrobků, a to od vstupů přes výrobu až po spotřebitele, jakož i související odpady a zpětné toky. Zahrnují činnosti prováděné interně uživateli služeb (např. skladování nebo řízení zásob v závodě výrobce) a provoz externích poskytovatelů služeb.

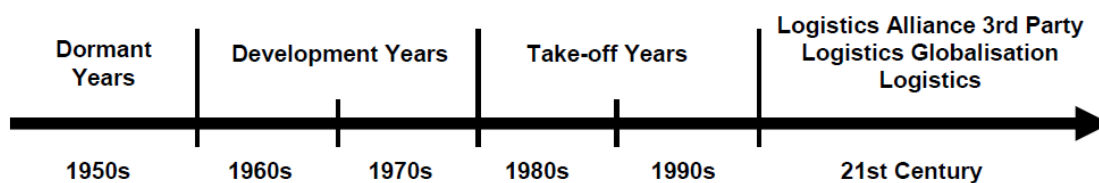
Logistické služby zahrnují fyzické aktivity (např. dopravu, skladování), jakož i nefyzické činnosti (např. návrh dodavatelského řetězce, výběr dodavatelů, jednání o přepravném). Většina činností logistických služeb je obousměrná. Informační systémy zahrnují modelování a řízení rozhodování a důležitější otázky jsou sledování a skladování. Poskytují základní údaje a konzultace v každém kroku interakce mezi logistickými službami a cílovými stanicemi. Infrastruktura zahrnuje lidské zdroje, finanční zdroje, obalový materiál, sklady, dopravu a spoje. Většina fixního kapitálu je určena na budování těchto infrastruktur. Jedná se o betonové základy a suterény v rámci logistických systémů.

1.3 Historie a pokrok v logistice

Logistika byla zpočátku vojenskou činností, která se zabývala získáváním a dopravou vojáků a munice na bojiště včas, ale nyní je považována za nedílnou součást moderního výrobního procesu. Hlavním východiskem jejího vývoje je, že recese Ameriky v padesátých letech zapříčinila, že průmyslové odvětví přikládalo důležitost oběhu zboží. Termín logistika byl původně vyvinut v souvislosti s vojenskými aktivitami na konci 18. století a na počátku 19. století. Pravděpodobný původ termínu logistiky je řecký *logistikos*, což znamená 'kvalifikovaný v počítání'. (BTRE, 2001) Vojenské definice typicky zahrnují nabídku a pohyb vojsk. A nyní bylo provedeno několik výzkumů, z nichž byly vytvořeny logistické aplikace vojenské činnosti.

Obchodní logistika nebyla až do šedesátých let akademickým předmětem. Klíčovým prvkem logistiky, kompromisem mezi náklady na dopravu a zásobami, byl v ekonomice formálně uznán alespoň v polovině 80. let 19. století. (BTRE, 2001) Na základě amerických zkušeností lze vývoj logistiky rozdělit do čtyř období, které jsou reprezentovány jako Obr. 1.4.

Obrázek 1.4: Historický vývoj logistiky



Zdroj: BTRE, 2001

Hlavní součástí dotčených manažerů byla výroba, a logistika průmyslu byla v tomto období považována za „nezbytné zlo“. V padesátých a šedesátých letech minulého století bylo tendencí uplatňovat nové myšlenky správy na podnikání. (Drucker, 2001) Drucker, který si myslel, že logistika je ekonomickým temným kontinentem, považoval postup fyzické distribuce po produkci produktů za nejrozvinutější oblast rozvoje v amerických podnicích, ale také za nejvíce opomíjenou oblast. Lewisova studie v roce 1956 o úloze letecké dopravy ve fyzické distribuci byla aplikace „konceptu celkových nákladů“ a poukázala na pojmy kompromisu mezi zásobami a dopravou. Od 70. let se objevovalo stále více aplikací a výzkumů logistiky. V důsledku růstu cen ropy v roce 1973 vzrostly vlivy logistických činností na podniky. Pomalý růst trhu, tlak vysoké stagflace, uvolnění řízení dopravy a konkurence třetího světa na produkty a materiály v té době zvýšily význam logistického systému pro plánování a podnikání.

Další tendencí logistiky na počátku 21. století je logistická aliance, logistika třetí strany (TPL) a globalizovaná logistika. Logistický oběh je nezbytným předpokladem obchodní činnosti a udržení konkurenceschopnosti, nicméně vedení a řízení velké společnosti je nákladné a neekonomické. Proto by aliance mezinárodních průmyslových odvětví mohla ušetřit pracovní náklady a spolupráce s TPL by se mohla specializovat na oblast logistiky.

1.4 Vztah mezi dopravou a logistikou

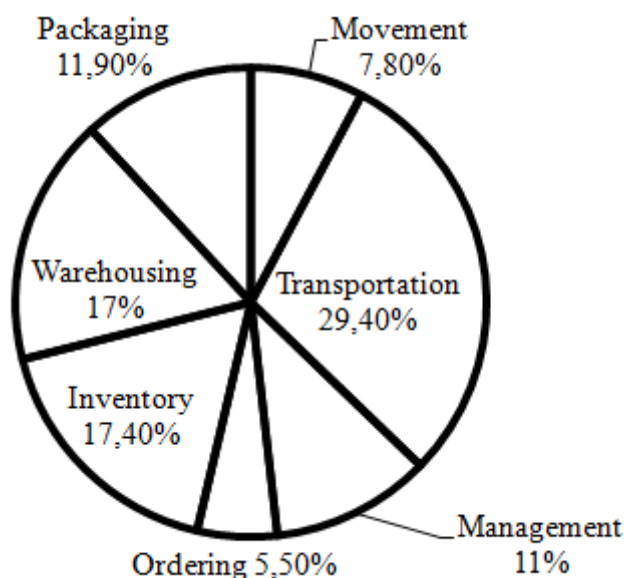
Bez dobře rozvinutých dopravních systémů by logistika nemohla přinést své výhody do plné hry. Kromě toho by dobrý dopravní systém v logistických činnostech mohl zajistit lepší efektivitu logistiky, snížit provozní náklady a podpořit kvalitu služeb. Zlepšení dopravních systémů vyžaduje úsilí jak veřejného, tak soukromého

sektoru. Dobře fungující logistický systém by mohl zvýšit jak konkurenceschopnost vlády, tak i podniků

1.4.1 Náklady na dopravu a zboží v logistice

Dopravní systém je nejdůležitější ekonomickou aktivitou mezi složkami systémů podnikové logistiky. Přibližně jedna, až dvě třetiny nákladů na logistické náklady podniků, jsou vynaloženy na dopravu. Podle vyšetřování Národní rady fyzického distribučního managementu (NCPDM) v roce 1982, náklady na dopravu v průměru představovaly 6,5 % tržních tržeb a 44 % logistických nákladů.

Obrázek 1.5: Poměr nákladů logistických položek



Zdroj: Chang, 1998

BTRE (2001) uvedlo, že australská hrubá přidaná hodnota sektoru dopravy a skladování činila v letech 1999-2000 34 496 milionů dolarů, neboli 5,6 % HDP. Obrázek 1.5 představuje složky logistických nákladů na základě odhadu Asociace leteckých dopravců. Analýza dle Changa udává, že nejvyšší cena je vydávána za dopravu, která zabere 29,4% logistických nákladů, dále v pořadí jsou pak zásoby, skladovací náklady, náklady na balení, náklady na správu, náklady na přepravu a náklady na objednávky. Tento poměr představuje téměř jednu třetinu celkových logistických nákladů. Náklady na dopravu zde zahrnují dopravní prostředky, chodby, kontejnery, palety, terminály, práci a čas. Toto číslo znamená nejen nákladovou strukturu logistických systémů,

ale také důležitost pořadí při zlepšování zpracování. V logistických aktivitách zaujímá významný podíl. Zlepšení položky vyšších provozních nákladů může být lepší. Proto musí manažeři logistiky důkladně pochopit provoz dopravního systému.

Dopravní systém umožňuje pohyb zboží a výrobků a zajišťuje včasnou a regionální efektivnost s cílem podpořit přidanou hodnotu podle principu nejnižších nákladů. Doprava ovlivňuje výsledky logistických činností a samozřejmě ovlivňuje výrobu a prodej. V logistickém systému lze náklady na přepravu považovat za omezení objektivního trhu. Hodnota dopravy se liší s různými průmyslovými odvětvími. Pro výrobky s malým objemem, nízkou hmotností a vysokou hodnotou náklady na přepravu jednoduše zabírají velmi malou část prodeje; v případě velkých, těžkých a nízko hodnotových výrobků doprava zabere velkou část prodeje a více ovlivňuje zisk, a proto je na ně brán více zřetel.

1.4.2 Vliv dopravy na logistiku

Přeprava hraje spojovací roli mezi několika kroky, které vedou k přeměně zdrojů na užitečné zboží pro konečného spotřebitele. Jedná se o plánování všech těchto funkcí a dílčích funkcí do systému pohybu zboží s cílem minimalizovat náklady na maximalizaci nákladů pro zákazníky, které představují koncept obchodní logistiky. Jakmile bude systém zaveden, musí být účinně řízen. (Fair a Williams, 1981)

Tyto kroky tradičně zahrnovaly samostatné společnosti pro výrobu, skladování, dopravu, velkoobchod a maloobchodní prodej, v zásadě však výrobní závody, skladové služby, a vše, co se týče přepravy zboží. Výrobní závody vyžadovaly montáž materiálů, komponentů a dodávek s, nebo bez skladování, zpracování a manipulace s materiálem v rámci závodu.

Skladové služby mezi provozovny a marketingovými pobočkami zahrnovaly samostatnou dopravu. Transportní zařízení dokončila řetěz s dodávkami spotřebitelům. Výrobci se omezili na výrobu zboží a zanechali marketing a distribuci jiným firmám. Skladování lze zvažovat z hlediska služeb výrobního procesu a distribuce výrobků. Došlo k významným změnám v počtu a umístění zařízení s uzavřením mnoha skladů pro jednoho uživatele a rozšířením konsolidačních zařízení

a distribučních center. Tento vývoj odráží faktory, jako jsou lepší dopravní služby a tlaky na zlepšení výkonu logistiky.

1.4.3 Role dopravy v kvalitě služeb

Úloha, kterou hraje doprava v logistickém systému, je složitější, než přeprava zboží pro majitele. Jeho složitost se může projevit pouze prostřednictvím vysoce kvalitního řízení. Prostřednictvím dobře zpracovaného dopravního systému by mohlo být zboží zasíláno na správné místo a ve správný čas tak, aby uspokojilo požadavky zákazníků. Přináší efektivitu a buduje také most mezi výrobcí a spotřebiteli. Proto je doprava základem efektivnosti a hospodárnosti v podnikové logistice a rozšiřuje další funkce logistického systému. Kromě toho dobrý dopravní systém v logistických činnostech přináší výhody nejen pro kvalitu služeb, ale i pro oblast konkurenceschopnosti.

1.5 City Logistika

City Logistika je koncept, který se snaží integrovat stávající zdroje do řešení problémů způsobených dopady rostoucího počtu obyvatel a vlastnictví vozidel v městské oblasti. Mnoho měst, jako je Bangkok, Londýn a Tokio, trpí těmito problémy kvůli dopravním zácpám, dopadu na životní prostředí, nízké efektivnosti dopravy a následně i konkurenceschopnosti podniků. Tento stav nejenže snižuje kvalitu života v městských oblastech, ale také snižuje budoucí rozvoj města. City Logistika poskytuje příležitost k vytvoření inovativních řešení pro zlepšení kvality života v městských oblastech. Kniha od Taniguchiho (2001a) obsahuje několik pokročilých technik, jako je geografický informační systém (GIS), Global Positioning System (GPS), logistické znalosti, inteligentní dopravní systém (ITS) a modelování pro optimalizaci městského prostředí. Navíc pomáhá snižovat jak náklady na dopravu, tak negativní dopad na prostředí.

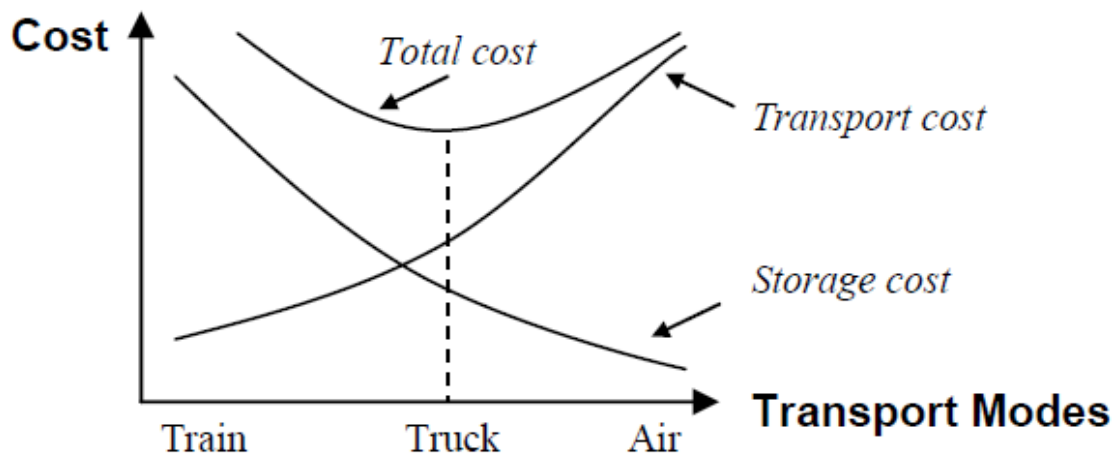
1.5.1 Definice City Logistiky

Hlavním místem podnikání jsou města. Proto hrají důležitou roli v ekonomickém rozvoji. Vzhledem k vysokému koncentrovanému rozvoji v městských oblastech však

má mnoho měst vážné dopravní problémy a negativní dopady na životní prostředí, jako je hluk a znečištění ovzduší, a to představuje náklady jak v rozvojových, tak v rozvinutých zemích. Tyto negativní faktory snižují ekonomickou konkurenceschopnost města a snižují jeho kvalitu života. Obyvatelé se stávají oběťmi ve vysoce rozvinutých městech. Způsob řešení a rovnováhy této podmínky se v posledních letech stal náročnou záležitostí. City Logistika je nový a inovativní koncept, jehož cílem je vyřešit tento komplexní problém.

Logistika nákladní dopravy ve městech může být rozdělena do mnoha prvků, jako je skladování, doprava či manipulace. Konvenční zlepšování logistického procesu je obvykle zaměřeno pouze na jeden prvek. Z makroekonomického hlediska však může zlepšení pomoci společnosti přinést nejlepší zisk. Obrázek 1.6 znázorňuje princip nákladových záležitostí s různými druhy dopravy. Letecká přeprava by mohla být dražší než pozemní doprava, ale náklady na skladování by mohly být nižší. Z hlediska celkových nákladů by tedy letecká přeprava mohla být nejvhodnějším způsobem dopravy pro konkrétní dopravní účely, jako například přeprava čerstvých mořských plodů.

Obrázek 1.6: Dopravní vzorce a celkové náklady



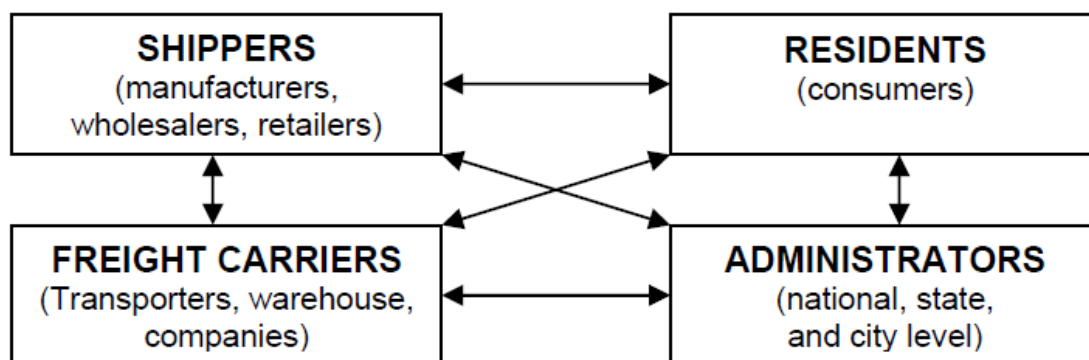
Zdroj: Chang, 1998

Před plánováním systému City Logistice je důležité pochopit jeho prvky. Podle Thompson a kol. (2001) jsou do městské nákladní dopravy zapojeny čtyři klíčové subjekty:

- odesílatelé;
- nákladní dopravci;
- rezidenti;
- správci / vlády.

Každá skupina má své specifické cíle a má tendenci se chovat odlišným způsobem a je třeba ji zvážit. V zásadě vznik cesty pochází od odesílatelů a od spotřebitelů. Nositeli dopravních úkolů jsou dopravci a správci nákladní dopravy. Charakteristikou jejich vztahů je, že mírný pohyb v jedné části, může ovlivnit celou situaci. Například nákladní dopravce s nižší efektivitou by ovlivnil kvalitu služeb systému, a tím zvýšil obtíže správy pro správce. Kromě toho by se také snížila míra spokojenosti spotřebitelů a spolehlivost firem a zvýšily by se náklady na operace.

Obrázek 1.7: Klíčoví aktéři v City Logistice



Zdroj: Taniguchi a kol, 2001a

Taniguchi a kol (2003) se domnívají, že existují tři nezbytné cíle, kterých by bylo možné dosáhnout použitím City Logistiky:

- mobilita;
- udržitelnost;
- životaschopnost.

Mobilita je snadný pohyb, který je základním požadavkem pro přepravu zboží v městských oblastech. Zboží má být dodáno Just-In-Time. Hlavní otázkou je proto rovnováha mezi dostatečnou kapacitou silniční sítě a sníženým dopravním přetížením. Pokud jde o udržitelnost, která je stále důležitější, je třeba vzít v úvahu otázky životního prostředí a úspory energie. Pro obyvatele by měla být uvažována životnost. Jedná

se o posouzení podmínek, které jsou prožívány a interpretovány v rámci života jednotlivce, jako je bezpečnost, klid, přitažlivost a kouzlo.

1.5.2 Aplikované techniky v City logistice

K běžným technikám integrovaným v postupech City Logistiky patří kooperativní nákladní systémy, nákladní vesnice (terminály), řízení dopravního zatížení, nové systémy nákladní dopravy a inteligentní dopravní systémy (ITS).

Kooperativní nákladní systémy

Tradiční způsob dopravy znamená méně cest a více nákladu. Doručovací společnosti obvykle udržovaly své podnikání nezávisle. To znamená, že ve stejné oblasti mohou sloužit dva dopravci. V současné době jsou trendy městské nákladní dopravy směřující k poskytování „Just-in-time“ a „door-to-door“. Provoz nákladní dopravy se mění tak, že má více cest, ale méně nákladu, aby se účinnost zvýšila jinak. Bez zlepšení se náklady na dopravu výrazně zvýší, aby vyhovovaly současným požadavkům. Kooperativní nákladní systémy jsou způsoby, které by mohly tento problém vyřešit.

Kooperativní nákladní systémy integrují zdroje spolupracujících společností, aby optimalizovaly ekonomické přínosy.

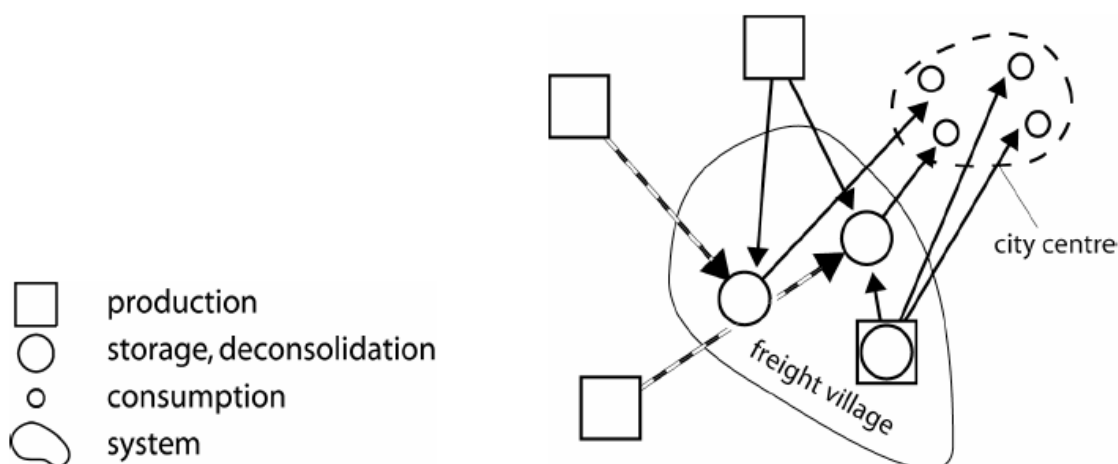
Hlavními přínosy těchto technik jsou:

- žádné zvýšení zátěže při výjezdu;
- snížení zbytečných cest, jakož i znečištění a nákladů;
- snížení přesahů obslužné oblasti;
- zvyšování kvality služeb a zisku společností.

Vesnice nákladní dopravy (terminály)

Koncept nákladních vesnic (terminálů) byl aplikován v několika městech, například v Monaku. Zboží je reorganizováno v nákladní vesnici předtím, než je dopraveno do městských oblastí. Tento systém může snížit požadovaný počet vozíků používaných pro dodávku a manipulaci.

Obrázek 1.8: Struktura vesnic nákladní dopravy



Zdroj: Potrol, 2003

Obrázek 1.8 představuje model vesnic nákladní dopravy. Náklad z vnější strany města je odeslán do nákladní vesnice, aby se mohl klasifikovat a připravit na dopravu do městské oblasti. To by mohlo zvýšit nosnost vozidel a snížit zbytečné cesty v městské oblasti. Tato integrace navíc prospívá soukromému sektoru snižováním nákladů a také veřejným prostředím snižováním cest a znečištěním ovzduší.

Řízení dopravních činitelů

V Evropě některá města zavádějí omezení zátěžových faktorů v městské nákladní dopravě. Společnosti, které mají povolenou dodávku zboží v městské oblasti, musí mít vysokou míru nakládky a vozidla musí splňovat ekologické normy. Metoda regulace je prostřednictvím vydávání speciálních certifikátů a dává společnostem právo používat konkrétní dopravní infrastrukturu v městské oblasti, čímž se snižuje složitost městské dopravy.

Inteligentní dopravní systémy (ITS)

Aplikace ITS v dopravních systémech jsou velmi rozšířené. Mezi nejběžnější techniky logistiky patří Global Positioning System (GPS), Geografické informační systémy (GIS) a pokročilé informační systémy. GPS poskytuje servis polohování vozidel. To by mohlo pomoci řídicím střediskům sledovat a vysílat nákladní automobily. GIS poskytuje základní geografickou databázi pro doručovatele, která umožňuje snadnější a rychlejší uspořádání jejich tras. Pokročilé informační systémy poskytují manažerům i doručovatelům v reálném čase informace o tom, jak přizpůsobit své cesty novým

požadavkům. Integrace GPS, GIS a vyspělých informačních systémů poskytuje vysokou manévrovatelnost dopravních systémů. Výhodou integrací je vyšší kvalita služeb, snížení zbytečných jízd a vyšší zatížení.

1.5.3 Vývoj City Logistiky

Tváří v tvář celosvětové konkurenci by ke zlepšování logistického systému měly pokračovat jak soukromé společnosti, tak vláda. Existují tři revoluce v podnikání, které mají významný dopad na nákupní a dodavatelské strategie výrobních odvětví.

Tyto tři revoluce jsou:

- globalizace obchodu;
- příchod informační éry;
- náročnější spotřebitelé a neustále se měnící preference spotřebitelů.

Hlavní charakteristiky budoucího vývoje logistiky jsou:

Úloha vlády: Pro udržení konkurenceschopnosti průmyslu musí vláda vést cestu k podpoře logistických odvětví. Například myšlenka nákladní vesnice městské logistiky poskytuje prostředí na podporu efektivity logistiky a snížení provozních nákladů. Zahrnuje však velké investice a některé problémy týkající se zákonů a vnitrostátních politik. Bez vedení a podpory vlády je dosažení plánu obtížné.

Růst mezinárodní nákladní dopravy: K růstu mezinárodní nákladní dopravy přispívá několik faktorů. Zaprvé, rozkvět elektronického obchodu prosazuje mezinárodní obchodní aktivity. Zadruhé, změna výrobní strategie vyžaduje mezinárodní spolupráci, např. importu polotovarů výrobků ze zemí s levnějším lidským kapitálem pro ty, kteří mají vyspělejší technologii, aby sestavili konečné zboží.

Zatřetí, tlak globalizovaného trhu, jako je Světová obchodní organizace (WTO), prosazuje místní průmyslová odvětví, aby se prosazovala k dosažení mezinárodního standardu a čelila celosvětové konkurenci.

Zlepšení služeb: Poskytování dobrého zákaznického servisu se stává nezbytným požadavkem obchodní činnosti s intenzivní konkurencí globálního trhu. Kvalita služeb je hlavním faktorem ovlivňujícím spotřební chování podniků s vysokou podobností. Servisní systémy nyní zahrnují několik vyvinutých technik, například

Efficient Consumer Response (ECR) a Quick Response (QR). V blízké budoucnosti by se při poskytování lepších služeb zákazníkům uplatnilo více nových technik.

Revoluce logistických operací: IT techniky a její produkty přinášejí do logistických systémů efektivitu a plynulost. Radiofrekvenční ID (RFID) je jednou z těchto technik. Hlavní rozdíl mezi systémem čárového kódu a RFID spočívá v tom, že RFID nepotřebuje skenování čárového kódu na zboží. RFID by mohlo dramaticky ušetřit dobu ručního provozu. Systémy RFID mohly automaticky a okamžitě rozpoznat, kolik zboží vstupuje do štítků, když zákazníci vytáhnou svůj vozík výjezdem (Carroll, 2004).

Kratší životnost výrobku: Se současným trendem se design zboží mění ze dne na den, a proto je životnost výrobku kratší a kratší, a to zejména v oblasti informatiky. Aby bylo možné čelit dopadům, musí logistický systém zvýšit efektivitu a spolehlivost dodávek zboží. V opačném případě by nevhodný logistický systém bránil konkurenceschopnosti nových výrobků a zisku podniků.

Zlepšení logistických zařízení: Rozvoj a vývoj logistiky je založen na několika technikách a úplných teoriích. High-tech zařízení a systémy, např. ITS, by mohly logistice přinést více možností a výhod. Zlepšení souvisejících zařízení, např. vysokozdvížných vozíků, je například nezbytné pro efektivitu dopravy. V budoucnu je hlavním cílem celého procesu dodavatelského řetězce automatizace výroby. To by mohlo přispět ke zvýšení efektivitě a snížení provozních nákladů.

Kanálová spolupráce mezi společnostmi: Pro úsporu logistických nákladů je klíčovým konceptem maximalizovat využití dostupné přepravní kapacity. Integrace logistických požadavků mezi četná oddělení pomáhá k dosažení tohoto cíle. V praxi by konglomerát mohl rozvíjet vlastní logistické služby pro pobočky. Pro některé středně velké společnosti by mohly spolupracovat s dopravními kanály.

Specializované dodávky logistiky: Jedním z významných trendů logistického průmyslu je specializovaná doručovací služba. Například dodávka čerstvých potravin z místa původu vyžaduje nízkoteplotní nádoby. Výpočetní čipy, plyny a ropa potřebují k přepravě zvláštní přepravu. Tyto požadavky rostou, protože výrobky se stávají stále citlivějšími.

Logistická centra: Rozvoj logistických center je vhodný pro podporu průmyslu a rozvoj národního ekonomického systému. Logistická centra by mohla úspěšně zkrátit

vzdálenost mezi výrobou a marketingem vertikálně a zároveň horizontálně integrovat různá odvětví, a tím snížit náklady. Vlády mohou navrhnout speciální prostory pro sklady a logistiku, aby se snížily akvizice půdy. Budoucí logistika bude spolupracovat s elektronickým obchodem, internetem a nově otevřenými dveřmi, aby vytvořila nové obchodní vyhlídky.

Nákladní doprava: Důležitým trendem v budoucnu bude spojení mezi dodavatelskými společnostmi střední velikosti. Strategie by mohla pomoci rozšířit oblasti služeb a zvýšit kvalitu služeb a mezitím zvýšit počet jednotlivých cest za účelem snížení nákladů na dodávky.

2 Modelování a simulace

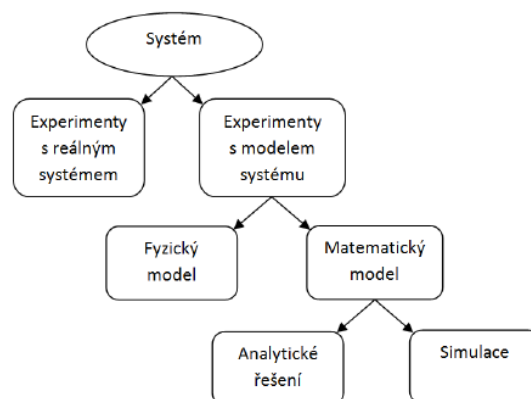
Počítačové modelování a simulace se postupně stávají nepostradatelným nástrojem při racionalizaci procesů lidské činnosti, výrobních systémů a služeb. Umožňují mimo jiné napodobovat a sledovat vlastnosti jednotlivých procesů a předvídat jejich chování. Počítačové simulace se stávají důležitým nástrojem při řešení problémů, které vyžadují použití takových metod a podpůrných nástrojů, aby poskytly komplexní přístup k návrhu systému, rychle testovaly různá řešení a minimalizovaly riziko chybných rozhodnutí.

Abychom mohli začít se simulačním modelováním, je třeba vysvětlit některé důležité pojmy, bez nichž by bylo velmi obtížné se orientovat. Mezi tyto důležité pojmy patří systém, modelování a simulace.

2.1 Systém

Systém je definován jako soubor entit, jako jsou osoby nebo stroje, které jednají a spolupracují na dosažení společného logického cíle (Law, 2007). Můžete si představit různé systémy. Od relativně jednoduchých, kterými jsou abstraktní systémy, jako rodinný systém, systém literatury nebo fyzikální systémy kterými jsou dům, automobil, výrobní nebo balící linka, až po složité a komplexní systémy, jako jsou přírodní systémy (Siebers, 2011). Často se je snažíme prozkoumat a zjistit, jak pracují. Toto úsilí popisuje obrázek 2.1.

Obrázek 2.1: Způsoby zkoumání systémů



Zdroj: Law

2.2 Model

Model je kolekce objektů, konceptů nebo myšlenek, které jsou uspořádány v určité formě a s určitými omezeními, na rozdíl od samotného modelovaného objektu, systému (Shannon, 1998). Takový model reprezentuje zkoumaný systém (objekt, problém). Vzhledem k tomu, že obvykle vytváříme modely pro pochopení zkoumaného objektu, je důležité použít odpovídající zjednodušení vzhledem ke složitosti objektu. Je nutné, určit důležité prvky, které ovlivňují stav systému. Prvky, které jsou nepodstatné pro provedení a popis systému, mohou být ve vytvořeném modelu ignorovány. Takové zjednodušení se nazývá abstrakce. Abstrakce, jak ilustruje Paretův princip - když 80 % funkčnosti dosáhne 20 % příčin (Shannon, 1998), je užitečná. Kdybychom nepoužili abstrakci v modelování a snažili jsme se vytvořit takový přesný model, který by byl pravdivý, učinili bychom model tak komplikovaným a složitým, že je nepravděpodobné, že bychom ho dokázali vytvořit (Berka, 1991). S ohledem na tyto informace jsou užitečná následující prohlášení. *Všechny modely jsou špatné. Některé modely jsou užitečné.* (Připsáno autorům: George Box, Edwards Deming). Dobrým příkladem modelu může být mapa. Špatné je, že neobsahuje všechny dostupné údaje o prostoru, ale například jen užitečné informace pro plánování trasy (Pelánek, 2013).

2.2.1 Dělení modelů

Protože svět je velmi velký a obsahuje velké množství objektů, je vždy možné vytvořit velké množství různých modelů, které tyto objekty reprezentují. Proto musí existovat také různá kritéria pro správné rozdělení.

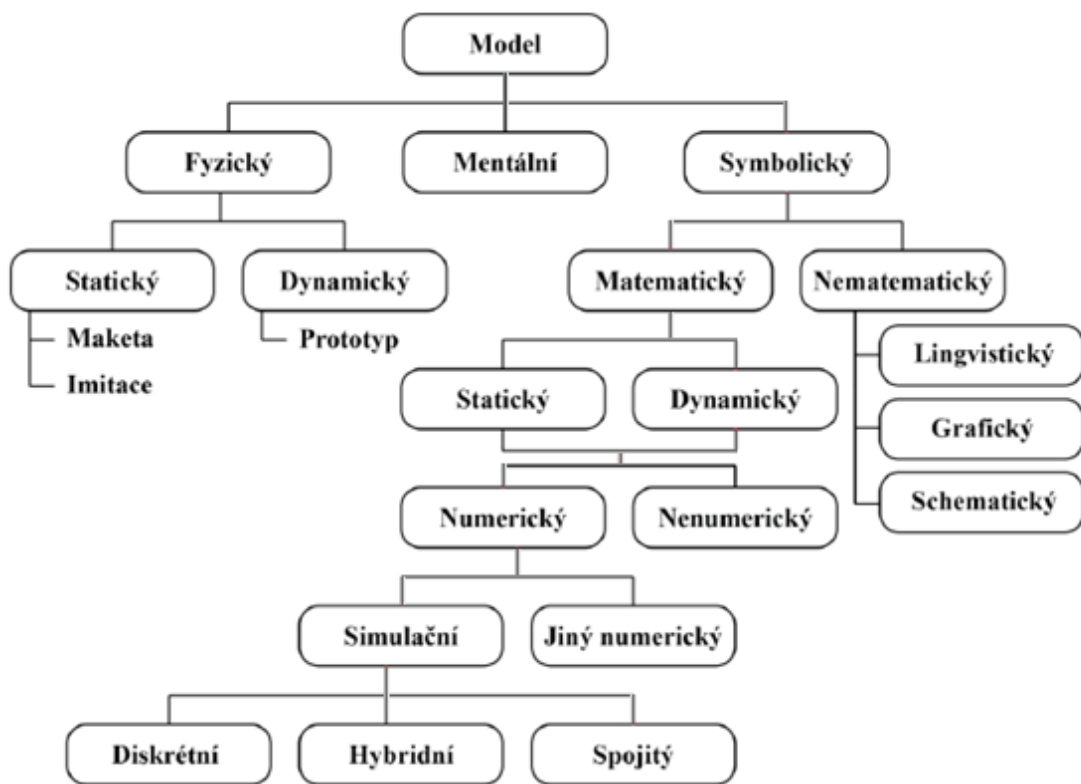
Komplexní dělení modelů:

- **Symbolické modely** – jsou opakem fyzických modelů. Fyzikální experimenty (měření, vážení,...) mohou být prováděny s fyzickým modelem. U symbolického modelu toto možné není. Symbolický (abstraktní) model je založen na principu formálního popisu modelového systému. Zpravidla je vybrán matematický popis s různými rovnicemi. Abstraktní modely však nemusí být popsány matematicky, ale k jejich popisu lze použít různé diagramy (Borshchev, 2012). Hlavní rozdíl mezi abstraktními modely a fyzickými modely spočívá v tom, že informace o modelovaném systému lze získat přímo

z fyzických modelů. Abstrakce však musí být nějakým způsobem zpracována matematicky nebo logicky.

- **Dynamické modely** - výstupní hodnoty modelu závisí nejen na vstupech, ale také na čase. Tyto modely sledují vývoj v čase.
- **Simulační modely** - slouží k předvídání budoucnosti modelu. S modelem jsou prováděny různé experimenty, od změn konfigurace až po změny vstupních proměnných. Sledováním těchto změn můžeme identifikovat možné budoucí stavy modelu.

Obrázek 2.2: Dělení modelů



Zdroj: Vlastní zpracování

2.3 Modelování

Modelování je proces, ve kterém je reálný objekt nahrazen modelem. Jinak řečeno, jedná se o proces, ve kterém je pomocí abstrakce a přesně definovaných kritérií vytvořen určitý fyzický nebo abstraktní model zkoumaného objektu (systému). (Jelínek, 2012) Terminologie pro modelování se může zdát matoucí, takže řada zdrojů tento termín zjednodušuje, příkladem může být první věta tohoto odstavce. Správný

název v první větě by byl: reálný objekt (původní) - modelovaný systém, model - modelovací systém (Křivý a spol., 2011).

2.4 Simulace

Nejprve je třeba poznamenat, že simulace je aplikována na zkoumané systémy pro vyhodnocení jejich dynamiky. Existuje mnoho definic simulací. Podle Shannona (1998) je simulace proces vytváření a experimentování s reálným modelem systému. Model pochopení chování zkoumaného systému nebo vyhodnocení různých systémových operací. Simulace je aplikována na systémy, které jsou složité (je velmi obtížné nebo nereálné je analyticky popisovat) nebo na systémy, které nelze použít pro experimenty v reálném světě, ani na systémy, které ještě neexistují (např. funkčnost se vyhodnocuje nejprve před vytvořením systému). Simulační proces zahrnuje modelování (simulační model, simulátor) a experimentování s tímto simulačním modelem, takže simulační proces je považován za experimentální výzkumnou metodu.

2.4.1 Proces simulace

Proces simulace zahrnuje mnoho samostatných kroků, od definování problému, který má být vyřešen, až po vytvoření modelu pro provádění experimentů (simulací) s modelem, což z něj činí zdlouhavý a náročný proces. Ačkoli simulační modelování bylo v posledních desetiletích velmi populární a hojně používáno, neexistují přesné pokyny, jak to udělat - možná proto, že každý simulační projekt je unikátní. Je jen několik doporučení, která se v literatuře mírně liší, o tom, které kroky by měly pokrývat celý proces simulace. Obrázek 2.3 (níže v textu) ukazuje celý proces simulace.

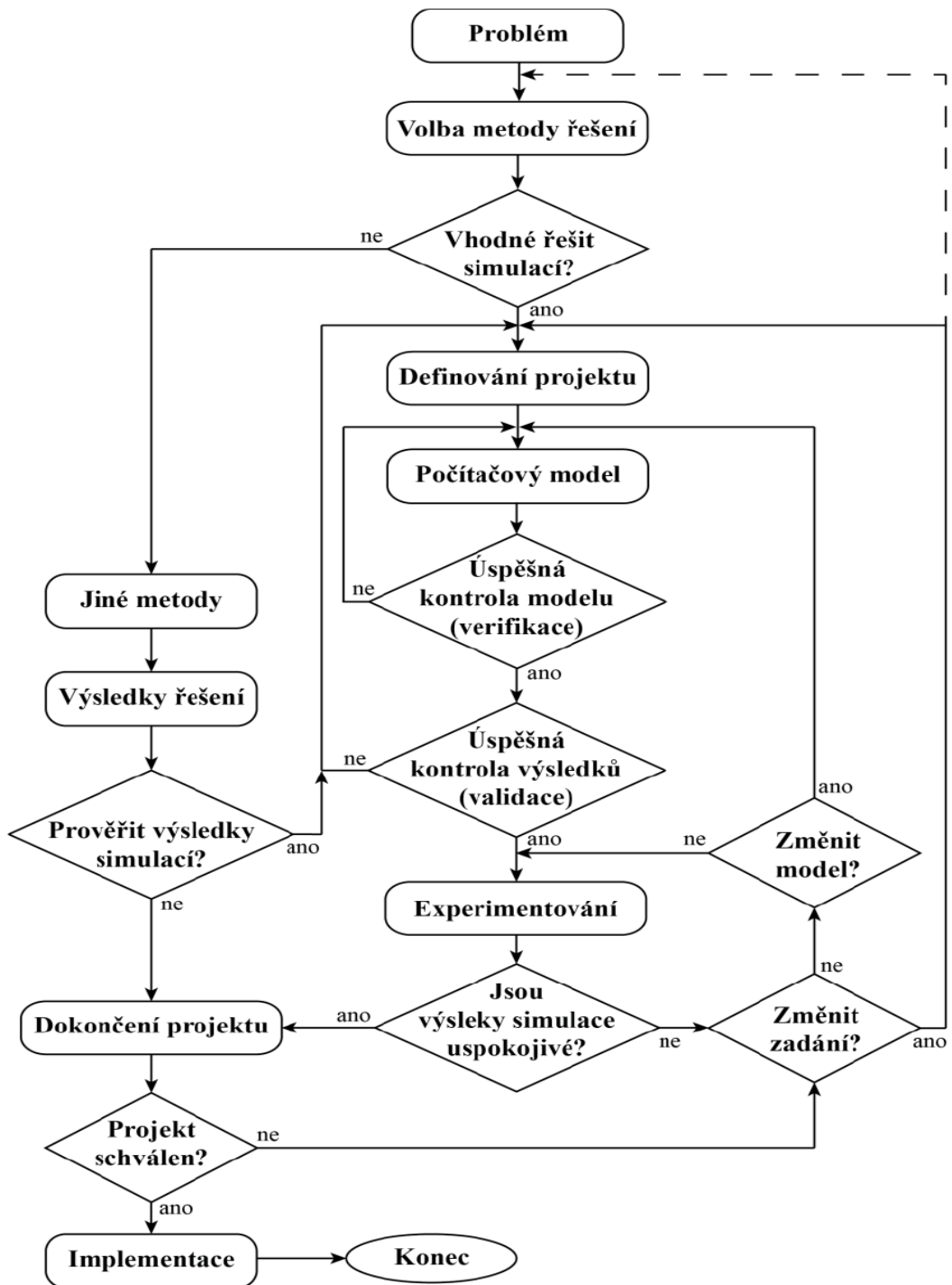
Popis fází simulačního procesu:

- 1) Definice problému, který chceme řešit, je jasnou definicí účelu modelování. Je třeba definovat daný problém a odpovědět na otázky: proč chceme problém vyřešit a čeho přesně chceme dosáhnout?
- 2) Výběr metody řešení je velmi důležitým krokem. Nedoporučuje se zvolit simulaci, pokud jsou k dispozici jiné, přesnější techniky.
- 3) Definice projektu - definování studovaného systému, stanovení stupně abstrakce a vytvoření konceptuálního modelu.

- 4) Vytvoření počítačového modelu - společné programovací jazyky, které jsou často vhodné pro transformaci konceptuálního modelu do počítačového prostředí nebo specializované simulační modelovací knihovny nebo specializované programy určené speciálně pro vytváření simulačních modelů a experimentů s využitím buď obecných programovacích jazyků, nebo specializovaného jazyka.
- 5) Ověření - ujistěte se, že počítačový model odpovídá koncepčnímu modelu.
- 6) Validace - zkontrolujte výsledky modelu počítače, abyste zjistili, zda vyhovují modelovaným systémům do určité míry přesnosti.
- 7) Simulační experimenty (simulační běhy). Po experimentech jsou vyhodnoceny jejich výsledky a přizpůsobeny vstupní hodnoty, model nebo dokonce celé řešení.
- 8) Dále závěrečná zpráva ze simulační studie, modelová dokumentace a předání klientovi. Pokud je vše v pořádku, realizace výsledků může následovat originál.

Celý proces simulace můžeme rozdělit do dvou hlavních částí. První částí je návrh a vytvoření simulačního modelu, který obsahuje kroky 1 - 6. Druhá část, experimenty sestavování a vedení modelu, zahrnuje kroky 7 a 8. Je také vhodné zmínit doporučení 40/20/40 pro tvůrce modelu. To znamená, že 40 % času a úsilí vynaloženo na kroky 1 až 3, 20 % času v kroku 4 a zbývajících 40 % času a úsilí v krocích 5 až 8.

Obrázek 2.3: Simulační proces



Zdroj: Dorda, 2010

2.5 Základní přístupy k simulačnímu modelování

Informace k této části byly shromážděny zejména z (Borshche, 2012) a (Šalamon, 2010).

2.5.1 Simulace diskrétních událostí (Discrete event simulation – DES)

Jak název napovídá, tento typ simulace nesleduje čas nepřetržitě, ale posuzuje se pouze v určitých časech, konkrétněji, když nastane událost (například když položka vstoupí do systému). Podobně se mění i proměnné modelu, jejich stav se mění pouze s těmito definovanými časy povinně pro systém použitými, jejichž struktura je známa. Prvky vstupující do modelu, procházejí jím a opouští systém. Typické pro tento typ simulace fronty.

2.5.2 Systémová dynamika (System dynamics simulation – SDS)

Na rozdíl od DES, dynamika systému sleduje spojitě čas. V každém okamžiku je systém sledován a mění se hodnoty svých proměnných. SDS využívá velkou úroveň abstrakce, to také odráží způsob, jakým je zpracováván - vývojové diagramy a grafy zásob. Tok prvků v systému je vyhodnocen diferenciálními rovnicemi. Důležitou výhodou tohoto přístupu je schopnost identifikovat zpětnou vazbu a její poměrně jednoduchou implementaci do modelu.

2.5.3 Agentní simulace (Agent-based simulation – ABS)

Základní koncepce tohoto typu simulace je zcela odlišná od předchozích dvou přístupů. V DES a SDS musí být známo celkové chování, propojení a vlastnosti řešených systémů, aby se vytvořily jejich simulační modely, tzv. "top-down" přístup vytvoření modelů. Naopak není nutné znát přesné chování a propojení komponent systému, stačí, aby bylo možné popsat prvky zkoumaného systému, které tvoří interakci celého systému - přístup „bottom-up“. Základními stavebními kameny ABS jsou látky. Agenti představují základní prvky studovaného systému. V modelu agenta nemusí být pouze jeden typ agenta. Ve stejném modelu může být několik, možná zcela odlišných typů agentů. Agenti jsou také v prostředí, kde mohou vykonávat činnost, pro kterou jsou určeni. Ačkoliv agenti mohou být zcela primitivní entity, jejich velkou výhodou je schopnost interakce s jinými agenty, které v kombinaci s interakcí a prostředím poskytují úplný obraz systému.

2.5.4 Hybridní simulace (Multi-method simulation MMS)

Tento přístup simulačního modelování nezahrnuje žádnou další koncepci, pouze využívá a kombinuje všechny výše uvedené přístupy. Hybridní simulace se využívá například pokud chceme rozšířit funkčnost klasických přístupů. Máme-li například diskretní model péče o zákazníky v bance, můžeme nahradit zástupce s určitými charakteristikami pro hybridní simulační model místo pasivních entit, které procházejí modelem.

2.6 Modelování v dopravě

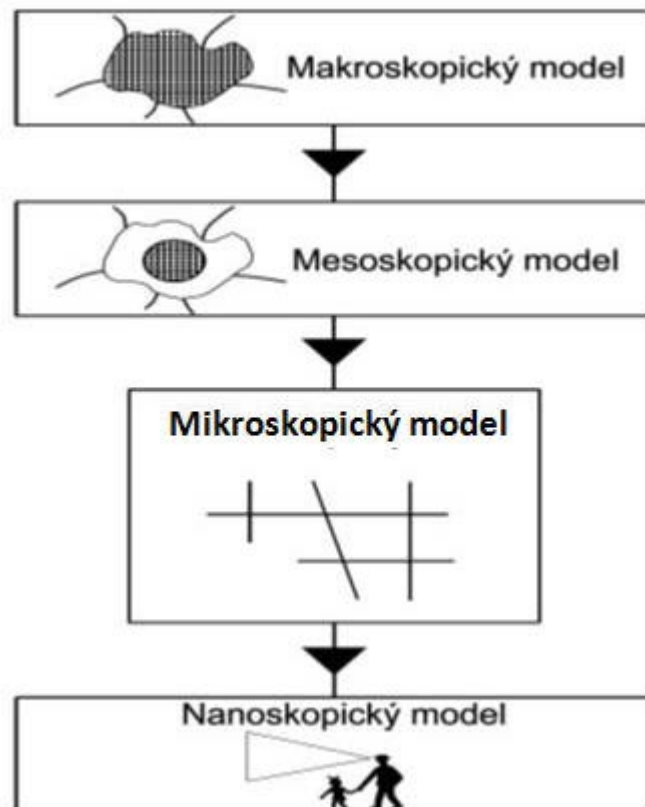
Zájem o modelování dopravy lze sledovat až v první polovině 20. století. Vzhledem k počítačové technologii v té době vznikaly jednoduché matematické modely pro analýzu a jednoduchou simulaci vybrané komunikační sítě a byly vytvořeny výpočetní modely. Mezi modely, které se objevily, ale mezi těmi, které se uchytily, jsou Greenshieldův lineární model, Greenbergův logaritmický model, Underwoodův exponenciální model a Pipesův zobecněný model. Tyto modely se i dnes používají pro zjednodušený popis dopravních podmínek. Všechny tyto modely jsou založeny na stejném základním vztahu mezi rychlostí a hustotou dopravního toku, což má za následek intenzitu dopravního toku. Rychlost je vyjádřena v kilometrech za hodinu, hustota jako počet vozidel jeden jízdni pruh pozemní komunikace a intenzita jako počet jízdni pruhů za hodinu. Modely v tomto pořadí se časem objevily, protože byly znovu zkoumány, aby se zlepšil nedostatek jejich předchůdců. Ačkoliv modely dopravního toku byly postupně vylepšovány, žádný z vyvinutých modelů nebyl tak dokonalý, že by mohl být použit pro univerzální modelování jakýchkoliv podmínek - každý model je vhodný pro určité podmínky. Pokud tedy chceme vytvořit model dopravního toku, který bude co nejpřesnější a pro co nejširší možný rozsah současných podmínek, tzv. kombinované modely s více režimy, jež kombinují různé modely, musíme definovat jejich vhodnost pro specifické situace. (Křivda, 2011)

2.6.1 Typy modelů podle úrovně abstrakce

Cílem tvorby simulačních transportních modelů je modelování pohybu a interakce účastníků silničního provozu. Hlavním kritériem pro vytváření dopravních modelů je v první řadě rozsah modelového prostředí a zároveň rozsah modelu. Podle modelu

prostředí je také stupeň podrobnosti, se kterým by model měl představovat realitu. V závislosti na měřítku modelového prostředí mohou být modely rozděleny na makroskopické, mesoskopické a mikroskopické (některé zdroje zmiňují nanoskopickou rovinu). (Křivda, 2011) Úroveň detailu je pak určena úrovní vymazání nepotřebných podrobností pro modelovaný problém (abstrakce) v každém modelu. Na obrázku je znázorněna hierarchie modelů.

Obrázek 2.4: Hierarchie modelů podle detailu



Zdroj: Křivda, 2011

Makroskopické modely

Využívají se pro modelování velkých ploch, přičemž rozsah modelované komunikační sítě je relativně silně abstrahován. Makroskopické modely nemodifikují pohyb jednotlivých účastníků, ale pracují se shromážděnými informacemi a informacemi o pohybu. Základem běžně používaných makroskopických modelů je vztah mezi rychlostí, hustotou a intenzitou dopravního toku (viz výše uvedené modely dopravního toku).

Mikroskopické modely

Hladina abstrakce v mikroskopických modelech je poměrně malá, takže velikost zkoumané komunikace je dostatečně podrobná. Základním rysem mikroskopických modelů je modelování pohybu jednotlivých účastníků s přihlédnutím nejen k detailním informacím o vozidle (jako je zrychlení, zpomalení, hmotnost, typ vozidla atd.), ale také různé vlastnosti řidičů jednotlivých vozidel. Pro tento typ modelu je také nutné přesně odrazet podrobnosti modelované komunikační sítě (povolená rychlost, počet, umístění a chronologické pořadí semaforů, přesná geometrická specifikace atd.). Protože mikroskopické modely charakterizují provoz na každé úrovni vozidla, rychlost, hustota a intenzita již nejsou dostatečně přesné pro popis pohybu vozidla, takže mikroskopická simulace používá jinou sadu proměnných. Zvláště důležitý je rozdíl času a délky.

Mesoskopické modely

Přesná definice mesoskopických modelů neexistuje, zdroje se liší. Je určeno pouze to, že se pohybují na rozhraní mezi makroskopickými a mikroskopickými modely. To umožňuje použití obou typů modelů. Proto úroveň abstrakce závisí na požadavcích konkrétního modelu a pohybuje se mezi úrovněmi abstrakce modelů. Dobrým příkladem mesoskopické abstrakce může být křižovatka. V mikroskopických modelech je jeho přesná reprezentace vyřešena (od semaforů až po přesné geometrické vymezení), zatímco v makroskopických modelech není vůbec řešena, ale je chápána pouze jako uzel pro rozvětvenou komunikaci. V mesoskopických modelech to může být chápáno jako makroskopické, nebo může být zpracováno na určité úrovni abstrakce, například aby ji reprezentovalo pouze jako pevné zpomalení projíždějících aut.

Nanoskopické modely

Tyto modely jsou jedním zvláštním případem z mikroskopických modelů, proti kterým mají nižší úroveň abstrakce. Správně zpracované nanoskopické modely mohou poskytnout velmi přesná data, ale jsou náchylné k přesným datům a nastavení modelu (stejně jako k mikroskopickým modelům), které tyto údaje poskytují.

2.7 Nástroje na simulaci dopravního systému

V posledních desetiletích procházely nástroje používané k simulaci dopravního systému velmi rychlým vývojem, což umožnilo zejména rozvoj výpočetní techniky. Zejména předchozí nástroje se zaměřily na analýzu toku provozu a související výpočty pro urychlení a automatizaci dobře známých výpočetních metod, které byly také nejmodernější. S rostoucími možnostmi výpočetní techniky začaly nástroje přesněji chápat dopravní systém - jednotlivá auta, jejich pohyb, vzájemné vztahy - jinými slovy nástroje pro mikroskopickou simulaci.

Simulační nástroje se postupem času rozrostly a zdokonalily poskytnuté výsledky. V simulačním nástroji byly vytvořeny přesné modely dopravních sítí, fyzických modelů vozidel, řidičů a mentálních modelů. Tyto modely spolu vzájemně spolupracují. Tím se vytvoří výsledné chování modelovaného systému. Dnešní nástroje simulace dopravního systému poskytují řadu dalších funkcí, jako jsou: například průzkum a hodnocení modelované dopravní sítě pro zavedení efektivního mýtného, odhad množství emisí výfukových plynů generovaných na trase atd.

3 Analýza vybrané křižovatky řízené světelnou signalizací

Pro analýzu jsem vybral krizovou křižovatku v Přerově, a to křižovatku ulic Komenského, Kojetínská a Velké Novosady. Tato křižovatka se nachází na hlavním tahu z Hranic do Zlína a jedná se tedy o velice frekventovanou křižovatku.

Obrázek 3.1: Křižovatka ulic Komenského, Kojetínská a Velké Novosady

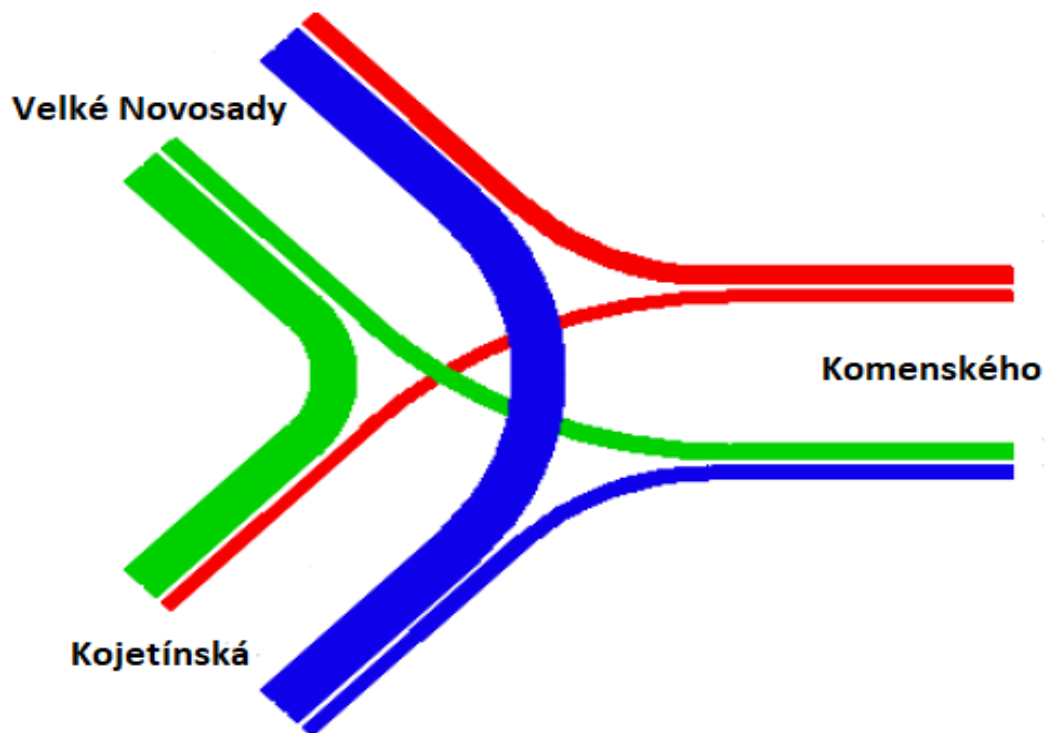


Zdroj: mapy.cz

Tato křižovatka je, vedle nedostavěného obchvatu města, jednou z hlavních příčin dopravních problémů v Přerově. I pro plánovaný „průpich“ městem je tato křižovatka kritickým bodem.

Na následném obrázku jsou schematicky znázorněny jízdní a přípojně pruhy. Je patrné, že úzkým místem této frekventované křižovatky je směr Hranice – Zlín, jelikož tato cesta má jen jeden jízdní pruh a pro stávající hustotu dopravy je tedy nevyhovující.

Obrázek 3.2: Schematické znázornění křižovatky



Zdroj: Vlastní zpracování

3.1 Hustota provozu

Pro potřebu vstupních dat do analýzy jsem zvolil celostátní sčítání dopravy z roku 2016 dostupného na internetové stránce Ředitelství silnic a dálnic ČR. Následují výsledky sčítání jednotlivých úseků křižovatky.

Tabulka 3.1: Význam použitých zkratk

LN	Lehká nákladní vozidla (užitečná hmotnost do 3,5 t)
SN	Střední nákladní vozidla (užitečná hmotnost 3,5 – 10t)
TN	Těžká nákladní vozidla (užitečná hmotnost nad 10t)
NSN	Návěsové soupravy nákladních vozidel
A	Autobusy
TR	Traktory bez přívěsů
TV	Těžká motorová vozidla celkem
O	Osobní a dodávková vozidla bez přívěsů i s přívěsy
M	Jednostopá motorová vozidla
SV	Všechna motorová vozidla celkem (součet vozidel)
TNV	Těžká nákladní vozidla
C	Cyklisté [cyklo/den]

Zdroj: www.rsd.cz

Následující tabulky popisují vybrané výsledky z celostátního sčítání dopravy na dálniční a silniční síti České republiky.

Tabulka 3.2: Sčítání dopravy - Komenského ulice

Komenského ulice - vyús.z 436, zaús.do 55											
Roční průměr denních intenzit dopravy		<i>LN</i>	<i>SN</i>	<i>TN</i>	<i>NSN</i>	<i>A</i>	<i>TR</i>	<i>TV</i>	<i>O</i>	<i>M</i>	<i>SV</i>
RPDI - všechny dny	voz/den	625	311	174	150	124	14	1 398	6 561	67	8 026
		<i>LN</i>	<i>SN</i>	<i>TN</i>	<i>NSN</i>	<i>A</i>	<i>TR</i>	<i>TV</i>	<i>O</i>	<i>M</i>	<i>SV</i>
RPDI - pracovní den (Po-Pá)	voz/den	774	385	217	191	144	17	1 728	7 121	62	8 911
RPDI - volné dny (mimo svátky)	voz/den	253	125	66	47	74	6	571	5 162	78	5 811
Těžká nákladní vozidla – TNV											<i>TNV</i>
Hodnota TNV	voz/den										1 043
Intenzita cyklistické dopravy											<i>C</i>
Cyklistická doprava	cyklo/den										85

Zdroj: www.rsd.cz

Ulice Komenského je nejméně frekventovanou ulicí vstupující do křižovatky. Ulice vede z centra a tudíž je na ní omezená nákladní doprava. Nákladní dopravu zde představuje zásobování obchodů a přerovského pivovaru, který má na zmíněné ulici svoji výrobu.

Tabulka 3.3: Sčítání dopravy - Velké Novosady

Velké Novosady - vyús.434 v Přerově, vyús.MK - nábřeží Protifašistických bojovníků											
Roční průměr denních intenzit dopravy		<i>LN</i>	<i>SN</i>	<i>TN</i>	<i>NSN</i>	<i>A</i>	<i>TR</i>	<i>TV</i>	<i>O</i>	<i>M</i>	<i>SV</i>
RPDI - všechny dny	voz/den	1 578	900	463	1 500	251	20	4 712	13 686	65	18 463
		<i>LN</i>	<i>SN</i>	<i>TN</i>	<i>NSN</i>	<i>A</i>	<i>TR</i>	<i>TV</i>	<i>O</i>	<i>M</i>	<i>SV</i>
RPDI - pracovní den (Po-Pá)	voz/den	1 953	1 118	578	1 912	290	25	5 876	14 853	61	20 790
RPDI - volné dny (mimo svátky)	voz/den	640	356	174	469	152	8	1 799	10 768	76	12 643
Těžká nákladní vozidla - TNV											<i>TNV</i>
Hodnota TNV	voz/den										5 372
Intenzita cyklistické dopravy											<i>C</i>
Cyklistická doprava	cyklo/den										412

Zdroj: www.rsd.cz

Ulice Velké Novosady, je co se týče dopravy, jednou z nejvíce vytížených ulic v Přerově. Tato ulice je na hlavním tahu mezi Hranicemi a Zlínem a na trase plánovaného „průpichu“ Přerovem. Také se zde nachází supermarket TESCO, který této situaci napomáhá.

Tabulka 3.4: Sčítání dopravy - Kojetínská ulice

Kojetínská ulice- vyús.04721 ul.Husova, vyús.434 v Přerově											
Roční průměr denních intenzit dopravy		<i>LN</i>	<i>SN</i>	<i>TN</i>	<i>NSN</i>	<i>A</i>	<i>TR</i>	<i>TV</i>	<i>O</i>	<i>M</i>	<i>SV</i>
RPDI - všechny dny	voz/den	1 538	838	273	1 283	394	18	4 344	12 094	89	16 527
		<i>LN</i>	<i>SN</i>	<i>TN</i>	<i>NSN</i>	<i>A</i>	<i>TR</i>	<i>TV</i>	<i>O</i>	<i>M</i>	<i>SV</i>
RPDI - pracovní den (Po-Pá)	voz/den	1 904	1 040	341	1 636	456	22	5 399	13 126	83	18 608
RPDI - volné dny (mimo svátky)	voz/den	623	331	100	402	239	7	1 702	9 515	104	11 321
Těžká nákladní vozidla - TNV											<i>TNV</i>
Hodnota TNV	voz/den										4 725
Intenzita cyklistické dopravy											<i>C</i>
Cyklistická doprava	cyklo/den										92

Zdroj: www.rsd.cz

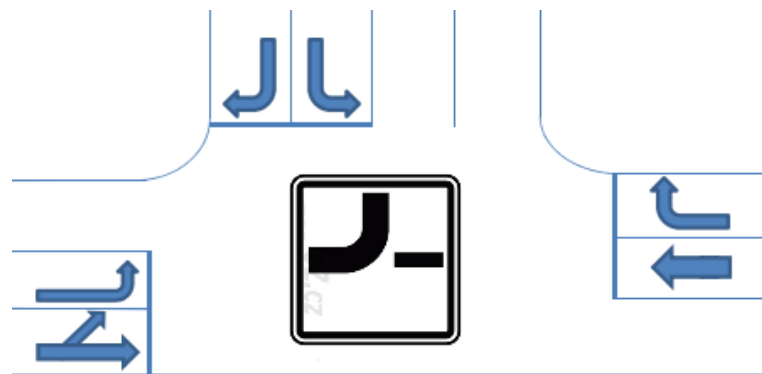
Pokud se budeme bavit o Kojetínské ulici, je třeba zmínit, že přímo navazuje na přerovské hlavní vlakové a autobusové nádraží a z toho důvodu je zde zvýšený

pohyb autobusů městské hromadné dopravy. Dále Kojetínská ulice směřuje na výjezd z Přerova směrem na Bochoř a Troubky.

3.2 Dopravní značení

Řešená křižovatka je řízená světelnou signalizací, ale v noci nebo během poruchy se semafony změní na žlutá blikající světla. Tento stav pak předá řízení dopravy dopravním značkám, které jsou podřazena systému semaforu. Žlutý režim blikajícího světla se také používá k úspoře energie, kdy semafor spotřebovává méně energie.

Obrázek 3.3: Značení hlavní silnice



Zdroj: Vlastní zpracování

4 Tvorba simulačního modelu křižovatky

Pro potřeby simulace byl již zadáním diplomové práce vybrán program PTV VISSIM verze 11 ve studentské licenci. Tato licence má sice určité omezení, ale pro potřebu simulace křižovatky se světelnou signalizací dostačující.

PTV Vissim je přední mikroskopický simulační program pro modelování multimodálních transportních operací a patří do softwaru Vision Traffic Suite. Realistický a přesný v každém detailu, Vissim vytváří nejlepší podmínky pro testování různých dopravních scénářů před jejich realizací. Vissim je nyní celosvětově využíván veřejným sektorem, poradenskými firmami a univerzitami.

4.1 Vytvoření sítě a spuštění simulace

Nyní představím nejdůležitější kroky, které umožní definovat základní data, vytvořit síť, provést nezbytná nastavení pro simulaci a spustit simulaci.

4.1.1 Definování parametrů simulace

Před zahájením simulace můžete nastavit obecné parametry simulace. Lze tak zadat počet simulačních běhů, které se chtějí provést.

Comment: Jakýkoli potřebný komentář k simulaci

Period: Simulační čas v simulačních sekundách. Také je třeba vzít v úvahu časy řízení signálů.

Start time: Čas začátku simulace

Start date: Datum začátku simulace

4.1.2 Definování rychlosti

Vyberme z nabídky Base Data > Distributions > Desired Speed. Můžete zde definovat nové požadované rozložení rychlostí a přidávat mezilehlé body jako body spline k průběhu křivky. Obecně jsou dva uzly dostatečné pro dosažení více či méně distribuce ve tvaru S, a tedy koncentrace kolem střední hodnoty.

4.1.3 Definování typů vozidel

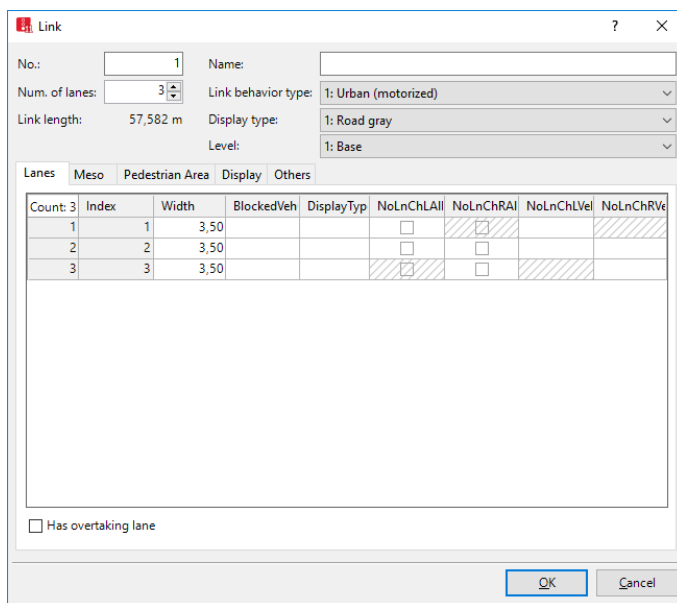
Typ vozidla umožňuje vytvořit skupinu vozidel se stejnými technickými jízdními vlastnostmi. Údaje o typu vozidla jsou zahrnuty do výpočtu emisí. Vissim poskytuje následující výchozí typy vozidel: Auto, HGV, Autobus, Tramvaj, Muži, Ženy, Kolo.

Na základě těchto typů vozidel můžete definovat vlastní typy vozidel, například nákladní auto s přívěsem, standardní autobus či kloubový autobus. Pokud mají vozidla v kategorii vozidla rozdílné chování při rychlosti nebo zrychlení, definujte každý typ vozidla zvlášť.

4.1.4 Modelování cest pro vozidla a chodce, modelovací konektory

Můžeme modelovat cesty, na kterých se pohybují vozidla a chodci. Toto vozidlo a chodec musí být definováno jako typy vozidel.

Obrázek 4.1: Nastavení modelu cest



Zdroj: PTV Vissim

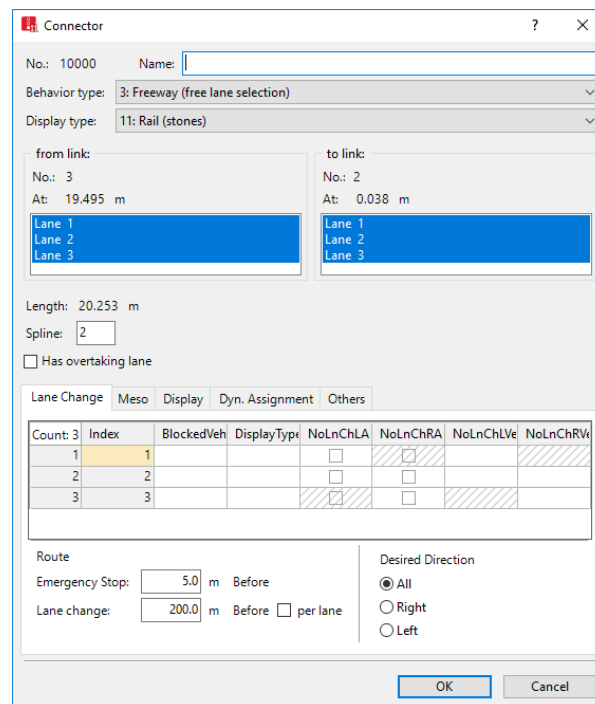
Po vybrání objektu **Link** v dialogovém okně **Network objects** na mapě vytvoříme cestu. Následně se otevře okno s nastavením modelu cesty.

V nastavení je možno zvolit počet jízdních pruhů, jejich šířku, název cesty, barvu cesty.

Aby vozidla mohla pokračovat v jízdě na následujících cestách, musíme tyto cesty spojit konektory. Konektory lze vkládat pouze mezi dva články. Konektory nelze

připojit k sobě. Konektory mají atributy a možnosti, které jsou srovnatelné s vazbami. Počáteční nebo koncový bod konektoru můžete později přesunout na jiný odkaz.

Obrázek 4.2: Nastavení konektoru



Zdroj: PTV Vissim

Na panelu nástrojů **Network objects** klepněte na položku **Link**. Pomocí ukazatele myši přejdeme na pozici v odkazu, na kterém má konektor začít. Okraje spoje jsou ve směru pohybu označeny šipkami. Stiskneme klávesu CTRL, podržíme pravé tlačítko myši a přetáhneme myš na první požadovaný koncový bod křivky.

Dokud není vložen celý konektor, podržíme klávesu CTRL a pravé tlačítko myši podržené. Levým tlačítkem myši vložíme mezilehlé body. Podržíme klávesu CTRL a pravé tlačítko myši a klepněte na tlačítko. Pokračujeme v přidávání mezilehlých bodů, dokud konektor nedosáhne pozice uvnitř odkazu, kde chceme, aby byl konec ukončen. V síťovém editoru je konektor zobrazen barevně mezi dvěma odkazy. K tomu je přidán počet mezilehlých bodů právě vytvořeného konektoru. Ostatní hodnoty atributů jsou převzaty z cílového odkazu. Mezilehlé body můžeme přesunout tak, aby byl konektor přesně modelován. Otevře se okno Connector. Nový konektor je přiřazen atributu Number, což je číslo > 9,999.

Jak vidíme na obrázku po otevření okna s nastavením konektoru můžeme vybrat cesty, které na sebe budou přímo napojeny. Kromě toho má konektor následující atributy:

- **Name:** Jméno konektoru.
- **Behavior type:** Definování sad parametrů jízdního chování
- **Display type:** Barevné zobrazení konektoru.
- **Spline:** Průběžné body pro grafické znázornění. Mezilehlé body nejsou relevantní pro jízdní chování vozidel, která na nich jezdí. Pokud zadáte více mezilehlých bodů, můžete konektor přesněji modelovat. Pro přímé spojky postačují dva mezilehlé body. Až 15 bodů může být užitečných pro delší konektory, například pro otočení. Když např. je nutno přesunout počáteční nebo koncový bod konektoru na jiný spoj nebo jiný pruh, mezilehlé body a průběh konektoru jsou přepočítány. Pomocí z-Offset můžete zadat výšku nad zemí pro každý mezilehlý bod.

4.1.5 Zadávání vstupů vozidla do koncových bodů sítě

V síti můžete definovat časově závislé vstupy vozidla pro všechny typy vozidel. K tomu musí být definováno alespoň jedno složení vozidla. Vstupy vozidla mohou být umístěny pouze na spojích. Vstup vozidla nelze umístit na jeden pruh spoje. Můžete nastavit časové intervaly pro vstupy vozidla a tím určit objem pro každý časový interval na vstupu pro chodce. Zadáme svazek pro odkaz ve vozidle za hodinu. Když tak učiníme, můžeme se rozhodnout použít přesný počet vozidel nebo si Vissim může vybrat číslo stochasticky na základě zadaného objemu. Musíte vždy zadat počet vozidel za hodinu, i když je časový interval kratší nebo neskončí za celou hodinu, např. po 3,5 hodinách.

Doby vjezdu vozidla, kdy vozidla vstupují do sítě Vissim, definuje Vissim stochasticky: Průměrná časová mezera mezi dvěma vozidly vyplývá z hodinového objemu. Tato průměrná časová mezera se používá jako průměrná hodnota negativního exponenciálního rozdělení. Vissim získává časové rozdíly z tohoto rozdělení, které souvisí s Poissonovým rozdělením. V reálných životních scénářích může být vstupní čas vystaven větší variabilitě než ve Vissimu na základě Poissonova rozdělení.

Následuje podstup zadávání vstupů vozidla:

1. Na panelu nástrojů **Network objects** klepneme na položku **Vehicle inputs**.

2. Podržíme klávesu CTRL a klepneme pravým tlačítkem myši na požadovaný odkaz nebo konektor. Otevře se okno **Vehicle inputs**. Pokud ještě není žádný svazek, zobrazí se pouze názvy sloupců.
3. Klepneme pravým tlačítkem myši v seznamu.
4. V místní nabídce vybereme příkaz **Add**. Hodnoty atributů a atributů tohoto typu objektu sítě jsou zobrazeny v seznamu vlevo, který se skládá ze dvou spojených seznamů.
5. V seznamu vlevo zadáme požadované hodnoty atributů.

4.1.6 Definování změn na požadovanou rychlost

Požadovanou rychlost (DesSpeed) můžeme změnit pomocí následujících síťových objektů:

- Omezené oblasti rychlosti pro dočasnou změnu.
- Požadovaná rychlostní rozhodnutí pro trvalou změnu, například na dálnicích, pro dopravní značky, které omezují rychlost, nebo při vstupu a výstupu z města. Požadovaná rozhodnutí jsou umístěna na místě, kde má změna začít. U vícenásobných spojů umístíme požadované rozhodnutí o rychlosti na každý pruh a definujte atributy. S požadovanými rychlostními rozhodnutími vozidlo snižuje svou rychlost pouze tehdy, když vstoupí do požadované sekce rozhodnutí o rychlosti. Vozidlu je pak přiřazena nová požadovaná rychlost a odpovídajícím způsobem změní rychlost. To nastane, když je použito požadované zrychlení.

4.1.7 Úpravy konfliktních oblastí v nesignalizovaných průsečících

Pomocí automaticky zobrazených konfliktních oblastí můžete modelovat konflikty mezi vozidly na dvou spojích nebo konektorech.

Namísto prioritních pravidel použijeme oblasti konfliktu, abychom mohli modelovat právo na křižovatce. Oblasti konfliktů se automaticky zobrazují, jsou lépe upravitelné a lépe odrážejí chování při řízení než pravidla priority.

V konfliktní oblasti mohou nastat následující typy konfliktů:

Crossing: Dva přejezdy

Merging: Dva konektory vedou ke stejnému propojení nebo konektor vede k propojení s jiným předcházejícím provozem. Pokud dva konektory povedou k prvním 5 m propojení a začnou na dvou spojích, konflikt mezi těmito dvěma spoji je způsoben konfliktní oblastí.

Branching: Dva konektory vycházejí ze stejného spoje nebo jeden konektor je odpojen od spoje, který pokračuje dále po proudu více než 0,5 m. Pokud dva konektory povedou k prvním 5 m dvou vazeb, konflikt mezi těmito dvěma vazbami je také zapříčiněn konfliktní oblastí.

4.1.8 Vložení semaforu

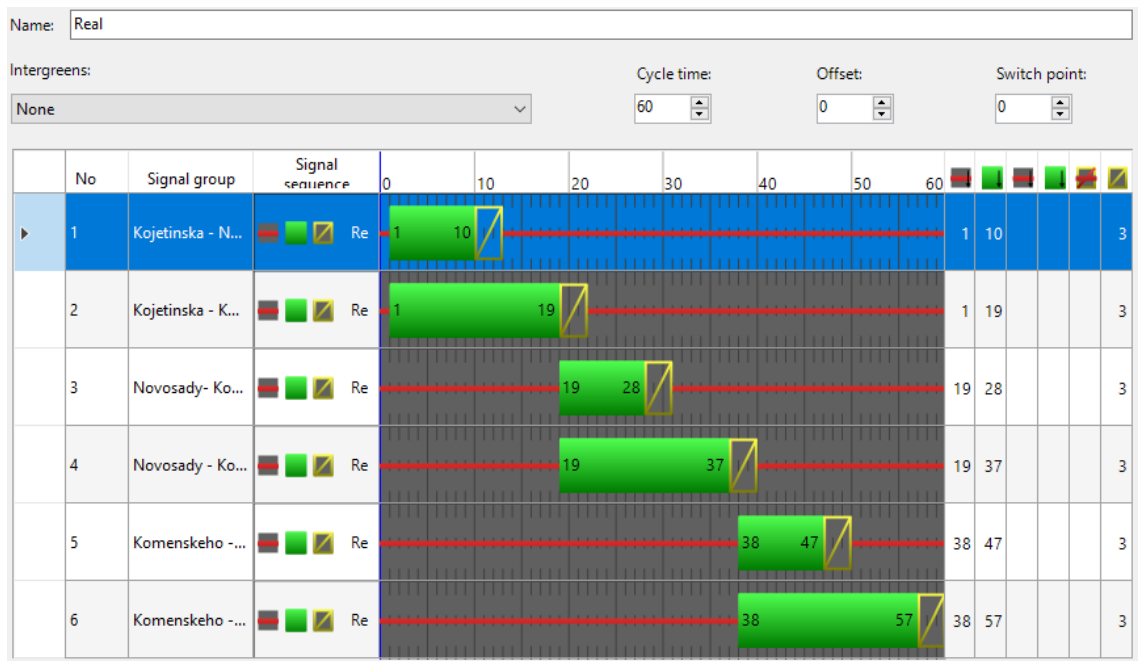
Protože skupiny signálů nejsou ve skutečnosti viditelné, Vissim rozlišuje mezi signálními hlavami (semafony) a signálními skupinami. Signální skupině lze přiřadit několik signálních hlav, které vždy zobrazují stejný signál.

Vozidla blížící se k červenému signálu se zastaví v klidové vzdálenosti před semaforem. Výchozí vzdálenost zastavení je 0,5 m. Vozidla, která se blíží k oranžovému signálu, překročí křižovatku, pokud nemohou zastavit na zastavovací lince. Volitelně můžeme zvolit metodu, která počítá pravděpodobnost zastavení nebo pokračování vozidla. Pro tento výpočet jsou požadovány tři parametry jízdního chování.

Jako první musíme vytvořit skupinu, která se tvoří v nabídce **Signal control** položka **Signal controllers**. Zde vytvoříme jednotlivé skupiny, kde můžeme vybrat typ semaforu a minimální časový interval pro jednotlivé signalizace.

V následující záložce **Signal program** tvoříme samotný program pro jednotlivé skupiny semaforů. Jak je vidět v následujícím obrázku, tvoření samotného programu je poměrně jednoduché. Program, cyklus jednotlivých skupin semaforů, lze vytvořit buď přímým zadáním časových intervalů nebo lze jednoduše myší posouvat samotným intervalem a tím vytvořit požadovaný program. V grafickém prostředí programu PTV Vissim je tato funkce velmi přehledná a snadno lze odhalit možné kolize.

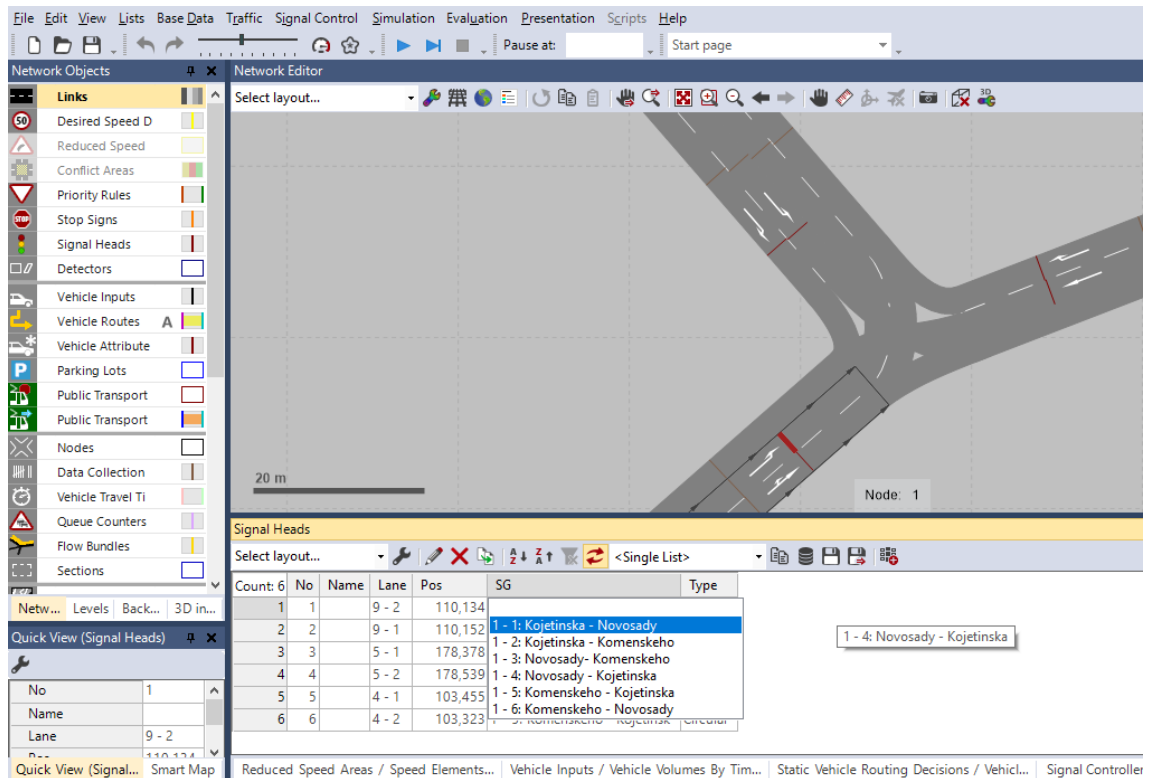
Obrázek 4.3: Dialogové okno nastavení cyklu světelné signalizace



Zdroj: PTV Vissim

Samotné vložení semaforu je realizováno funkcí **Signal Heads** a následným vložení programu do jednotlivých semaforů.

Obrázek 4.4: Nastavení signalizačních světél



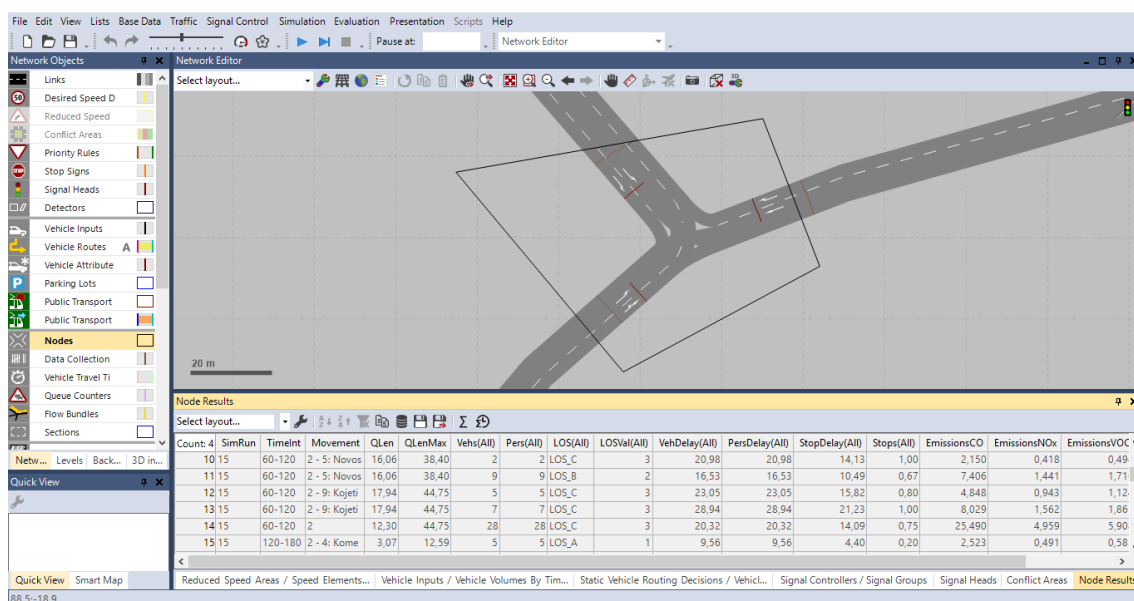
Zdroj: PTV Vissim

4.1.9 Vyhodnocení uzlů

Vyhodnocení uzlů se používá zejména k určení konkrétních dat z průsečíků, aniž by bylo nutné ručně definovat všechny sekce, a aby bylo možné určit data.

K vyhodnocení využijeme funkci **Nodes**, po vytvoření sledované oblasti nastavíme v záložce **Evaluation** v okně konfigurace zvolíme funkci nodes a nastavíme sledovaný interval.

Obrázek 4.5: Uzly a vyhodnocení simulace



Zdroj: PTV Vissim

Po spuštění simulace můžeme v okně **Nodes result** sledovat výsledky a exportovat tyto výsledky například do programu Microsoft Excel.

Ve výsledcích můžeme sledovat následující hodnoty:

SIMRUN: Počet spuštění simulace.

TIMEINT: Trvání intervalů hodnocení, během kterých jsou data agregována.

MOVEMENT: Počet konektorů konkrétního příchozího spojení na konkrétní odchozí spojení uzlu. Pohyb může obsahovat více spojovacích sekvencí, například přes paralelní konektory. Při vyhodnocení uzlu se pro jednotlivé pohyby automaticky vypočítávají různé atributy výsledků.

QLEN: Průměr všech průměrných délek fronty v uzlu. Vissim automaticky generuje čítače front v uzlu pro detekci délek fronty. Vissim vypočítá průměrnou délku fronty zjištěnou čítači front v uzlu a poté vypočítá jejich průměr.

QLENMAX: Maximální délka fronty.

VEHS(ALL): Počet vozidel.

PERS(ALL): Počet cestujících ve vozidlech: počet vozidel * průměrná obsazenost.

LOS(ALL): Úroveň služeb (kvalita dopravy): Úroveň kvality dopravy A až F pro pohybu a hrany, hodnota hustoty (jednotky vozidla / míle / dráha). Vychází z atributu výsledek Zpoždění vozidla (průměr). Aktuální rozsah hodnot zpoždění vozidla závisí na úrovni typu servisního schématu uzlu.

Tabulka 4.1: Úroveň kvality dopravy

LOS_A	Ztráta času <10 protože žádné vozidlo se nepohybuje kvůli dopravní zácpě
LOS_B	> 10 s do 20 s
LOS_C	> 20 s do 35 s
LOS_D	> 35 s do 55 s
LOS_E	> 55 s do 80 s
LOS_F	> 80 s

Zdroj: PTV Vissim

LOSVAL(ALL): Hodnota úrovně služeb: Úroveň kvality dopravy jako čísla od 1 až 6 podle přiřazeného systému LOS. Žádná hodnota = žádný objem. 1 odpovídá LOS_A <10 s, až 6 odpovídá LOS_F. Hodnota úrovně služby je vhodnější pro uživatelem definované atributy vzorců a barevná schémata.

VEHDELAY(ALL): Zpoždění vozidla při měření doby trvání jízdy se získá odečtením teoretického (ideálního) času jízdy od skutečného času jízdy.

PERSDELAY(ALL): Průměrná zpoždění všech cestujících ve vozidle.

STOPDELAY(ALL): Průměrná doba zpoždění na vozidle v sekundách bez zastávek, na zastávkách PT a na parkovištích.

STOPS(ALL): Průměrný počet zastávek vozidel na vozidlo bez zastávek, na zastávkách PT a na parkovištích.

EMISSIONSCO: Emise CO: Množství oxidu uhelnatého [gramů].

EMISSIONSNOX: Emise NOx: Množství oxidů dusíku [gramů].

EMISSIONSVOC: Emise VOC: Množství těkavých organických sloučenin [gramů].

FUELCONSUMPTION: Spotřeba paliva.

Atributy budou zobrazeny po jednotlivých rádcích pro každý simulační běh a každý pohyb v uzlu. Pro každý uzel se zobrazí celkové výsledky v následujícím řádku:

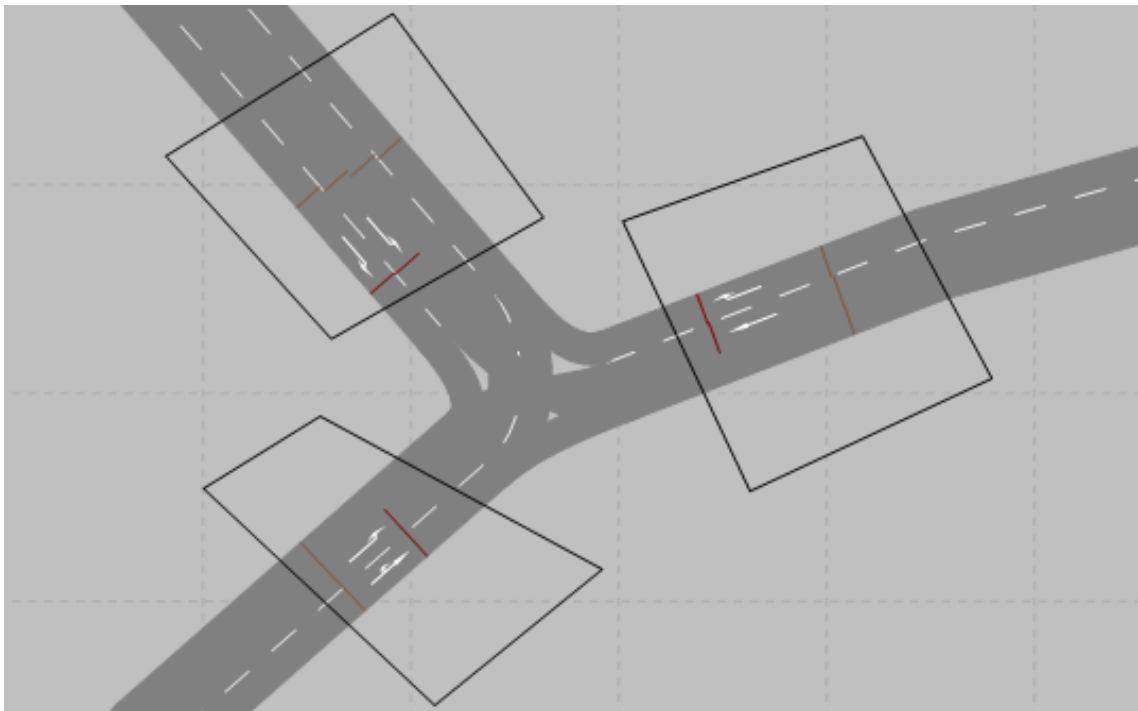
- Výpočet součtu vozidel, osob, emisí, spotřeby paliva
- Výpočet celkového průměru zpoždění vozidla, zpoždění osob, zpoždění zastavení, fronty, délky, zastávek
- Výpočet maximální délky fronty

Spolu se vstupními údaji jsou tato data dostačující k vyhodnocení křižovatky. V následující kapitole budou řešeny experimenty s vytvořeným modelem.

5 Simulační experimenty s modelem

Pro experimenty s modelem jsem vybral několik modelových situací pro danou křižovatku. Pro každou situaci budou definovány parametry, které jsou unikátní pro danou situaci. Následně budou tyto parametry upraveny v simulačním modelu a provedena simulace. Pro všechny experimenty s modelem bude nastavena stejná doba simulace, aby bylo zaručené objektivní vyhodnocení a porovnání výsledků experimentů.

Obrázek 5.1: Model křižovatky k simulaci



Zdroj: PTV Vissim

Výsledky jednotlivých simulací budou vyhodnoceny v tabulce a závěru diplomové práce budou takto získaná data shrnuta a bude doporučena varianta, která nejlépe vyhovuje reálnému stavu dopravy, popřípadě bude doporučeno nejvhodnější nastavení světelné signalizace.

Pro všechny experimenty bude použit stejný model křižovatky a budou se měnit jen vstupní data a nastavení jednotlivých komponent. Také budou zachovány definované oblasti pro vyhodnocování dat.

Každá simulace bude hodnocena dle základních kritérií a to:

1. **QLEN (Queue length)** : průměrná délka čekací fronty [m];

2. **QLENMAX** (Queue length (maximum): maximální délka čekací fronty[m]);
3. **LOSVAL** (Level of Service): úroveň kvality dopravy [1-6 odpovídá A-F úrovni];
4. **VEHDELAY** (Vehicle delay): střední doba zdržení vozidel.

Tato získaná data budou analyzována v závěrečném shrnutí simulací. Kompletní výstup ze simulací lze nalézt v přílohách diplomové práce.

Pro potřeby vyhodnocení simulace je každý experiment rozdělen na dvě samostatné simulace, a to na simulaci v normálním provozu a na simulaci v hustém provozu.

Následující tabulka popisuje nastavení počtu aut vstupující do simulace v závislosti na hustotě provozu. Pro případ vysoké hustoty dopravy jsem původní hodnoty zdvojnásobil.

Tabulka 5.1: Nastavení simulace v závislosti na dopravě

Ulice	Počet aut	
	Normální provoz	Vysoká doprava
Velké Novosady	758	1500
Komenského	380	760
Kojetínská	800	1600

Zdroj: Vlastní zpracování

5.1 Experiment č. 1

První 2 experimenty se budou zabývat nastavením cyklů světelné signalizace. Cykly světelné signalizace velmi výrazně ovlivňují funkčnost křižovatky. V dnešní době se začínají využívat inteligentní systémy pro řízení dopravy, bohužel tato technologie není ještě všude dostupná.

Základem pro nastavení cyklů světelné signalizace je odečet reálných dat. Tato data byla upravena pro potřeby simulace. Obrázky č. 5.2 a č. 5.3 ukazují cyklus světelné signalizace. Postup vložení cyklu a signalizačních světel je popsán v kapitole 4.1.8 Vložení semaforu.

Obrázek 5.2: Nastavení cyklu světelné signalizace – experiment č. 1



Zdroj: Vlastní zpracování

5.2 Experiment č. 2

Pro experiment č. 2 jsem změnil systém signalizace. Využil jsem volný odbočovací pruh. V případě, kdy na opačné straně křižovatky svítí zelená, je tento pruh volný. V experimentu č. 1 v té době svítí červené světlo.

Obrázek 5.3: Nastavení cyklu světelné signalizace – experiment č. 2

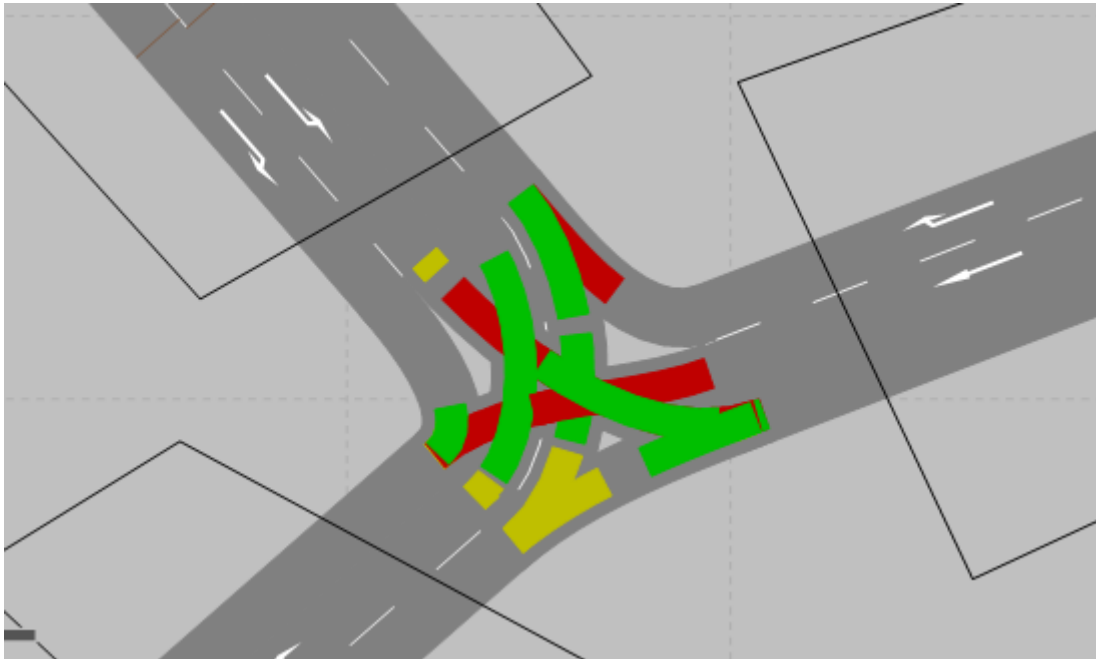


Zdroj: Vlastní zpracování

5.3 Experiment č. 3

V případě vypnutí světelné signalizace vstupuje v platnost dopravní značení. Pro tuto simulaci je důležité nastavit funkci **Conflict areas**

Obrázek 5.4: Conflict areas

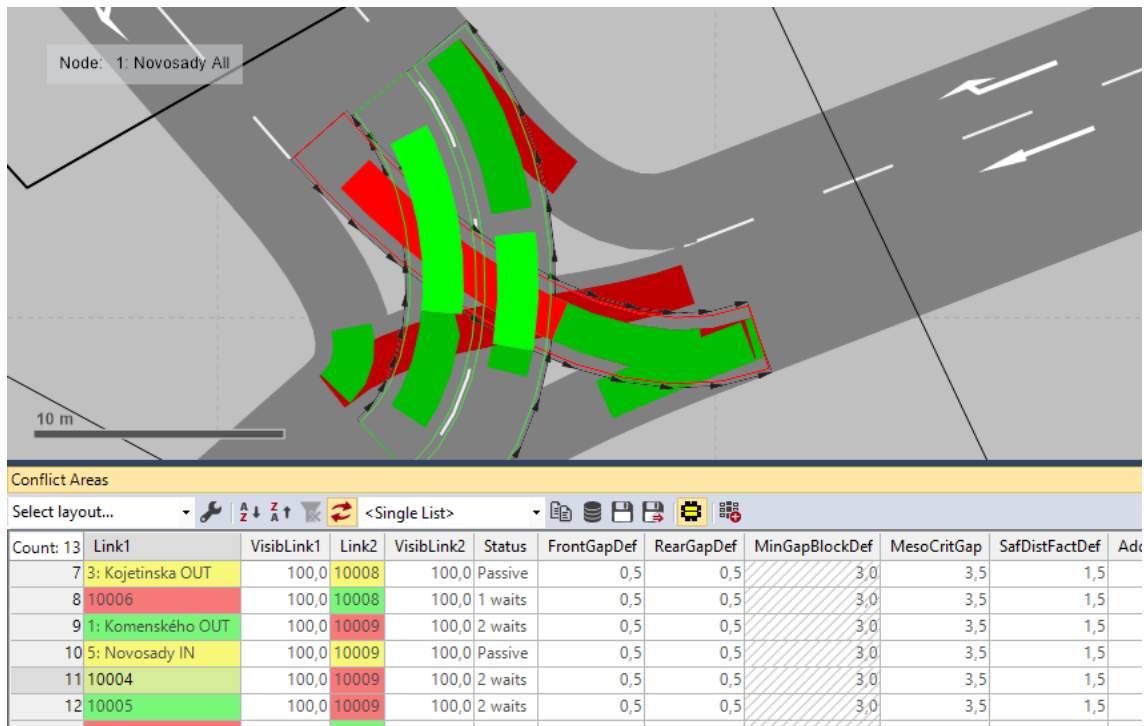


Zdroj: PTV Vissim

Stejně jako předešlé experimenty, je také tento experiment rozdělen na dvě samostatné simulace a to na simulaci v normálním provozu a na simulaci v hustém provozu. Pro potřeby vstupních dat je využita tabulka č. 5.1, která popisuje počet automobilů vstupujících do simulace.

Nastavení priorit průjezdů křižovatkou se provádí prostřednictvím funkce **Conflict areas**, kde se priority průjezdů při křížení cest nastavují jednotlivě. Následný obrázek znázorňuje nastavení těchto priorit. Jak je vidět, tak tato funkce je dobře graficky provedená a tím pádem i přehledná.

Obrázek 5.5: Nastavení conflict areas



Zdroj: PTV Vissim

5.4 Sumarizace experimentů

Sledovaná kritéria (průměrná délka čekací fronty [m], maximální délka fronty [m], úroveň kvality dopravy a střední doba zdržení vozidel) jsem shrnul v tabulce č. 5.2.

Tabulka 5.2: Výsledky experimentů

	Ø QLEN	Ø QLENMAX	Ø LOSVAL	Ø VEHDELAY
Exp č. 1: normální doprava	12,520	40,252	2,167	16,522
Exp č. 1: vysoká hustota dopravy	36,412	69,685	2,333	24,045
Exp č. 2: normální doprava	11,875	37,120	2,000	13,265
Exp č. 2: vysoká hustota dopravy	35,208	72,002	2,333	20,097
Exp č. 3: normální doprava	4,398	29,567	1,333	4,147
Exp č. 3: vysoká hustota dopravy	44,692	72,200	2,500	22,528

Zdroj: Vlastní zpracování

Pro potřebu analýzy jsem každé hodnotě přiřadil body od 1 do 6, které reprezentují váhy jednotlivých sledovaných kritérií. Poté jsem spočítal sumy jednotlivých experimentů. Dále je třeba zohlednit situace při normální hustotě dopravy a při vysoké hustotě dopravy. Z toho důvodu jsem v jednotlivých experimentech udělal průměr sumarizací normální hustoty dopravy a při vysoké hustotě dopravy.

Tabulka č. 5.3 shrnuje hodnocení veškerých výsledků provedených experimentů s vytvořeným modelem křižovatky řízené světelnou signalizací.

Tabulka 5.3: Váhové hodnoty výsledků experimentů

	QLEN	QLENMAX	LOSVAL	VEHDELAY	Σ	$\bar{\varnothing}$ exp
Exp č. 1: normální doprava	4	4	4	4	16	12,25
Exp č. 1: vysoká hustota dopravy	2	3	3	1	9	
Exp č. 2: normální doprava	5	5	5	5	20	15,25
Exp č. 2: vysoká hustota dopravy	3	2	3	3	11	
Exp č. 3: normální doprava	6	6	6	6	24	14,50
Exp č. 3: vysoká hustota dopravy	1	1	1	2	5	

Zdroj: Vlastní zpracování

Závěr

V první části diplomové práce je čtenář seznámen obecně s logistikou. Je definována logistika, komponenty logistiky přes historii, až po vztahy mezi logistikou a dopravou. Dále je definovaná City logistika, její vliv na logistiku a role dopravy v kvalitě služeb.

Následně se práce zabývá modelováním a simulací. Pro potřeby diplomové práce byly definovány potřebné pojmy a vysvětleny postupy a druhy simulací. Je zde popsán proces simulace, který je při menších úpravách využit nejen pro simulaci, ale i pro obecný postup řešení v různých odvětvích lidské činnosti.

Po analýze křižovatky řízené světelnou signalizací, do které vstupují ulice Komenského, Kojetínská a Velké Novosady v Přerově, začíná popis samotné tvorby simulačního modelu v simulačním programu PTV Vissim 11 ve studentské licenci. Studentská licence je poskytnuta jen pro potřeby školních prací, nikoli pro komerční účely. I když tato licence má určitá omezení pro potřebu tvorby křižovatky řízené světelnou signalizací je dostačující. V práci jsou popsány funkce pro potřeby vytvoření simulačního modelu pro následné experimenty.

Pro experimenty byla zvolena dvě nastavení cyklů světelné signalizace křižovatky a simulace těžce křižovatky bez světelné signalizace. Každý z těchto tří experimentů byl rozdělen na dvě samostatné simulace, a to simulace pro normální hustotu dopravy a simulace s vysokou hustotou dopravy, a to proto, jelikož je potřeba získat data nejen ze standardního provozu, ale i v dopravních špičkách.

Důvodem zvolení těchto typů experimentů bylo otestování cyklů světelné signalizace a pro případ výpadku světelné signalizace i změnu této křižovatky ze světelně řízené na neřízenou.

Při sumarizaci experimentů se analyzují sledovaná kritéria (průměrná délka čekací fronty [m], maximální délka fronty[m], úroveň kvality dopravy a střední doba zdržení vozidel). Tato zvolená kritéria vystihují komplexní hodnocení dané křižovatky. Následně jsou při analýze přiřazeny váhy k jednotlivým kritériím na základě výsledku simulace. Tyto váhy jsou pro jednotlivé experimenty sečteny. Důležité je analyzovat

experimenty pro normální hustotu dopravy a vysokou hustotu dopravy jako celek, aby tyto tři experimenty bylo možno porovnat mezi sebou.

Výsledky experimentů jsou docela překvapivé, nejplynulejší provoz byl při normální hustotě dopravy neřízené křižovatky. Co už není překvapivé je to, že nejhorší hodnoty naopak byly u neřízené křižovatky při vysoké hustotě dopravy.

Z výsledkové tabulky je patrné, že v poměru normálního a hustého provozu jsou nejlepší výsledky v experimentu č. 2. Tento experiment sice neměl ani v jednom z hodnotících kritérií nejlepší výsledky, ale tento způsob nastavení cyklů světelné signalizace má konstantní výsledky pro normální hustotu dopravy i pro vysokou hustotu dopravy a tudíž je pro reálné potřeby nejvhodnější.

Seznam použitých zdrojů

- Berka, Milan. Operační výzkum. Brno : Vysoké učení technické, 1991. 80-214-0346-2.
- Borshchev, Andrei. The Big Book Of AnyLogic. AnyLogic. [Online] [Citace: 30. 12 2012.] <http://www.anylogic.com/the-big-book-of-anylogic>.
- Btre (2001) Logistics in Australia: A Preliminary Analysis. Bureau of Transport and Regional Economics, Canberra, <http://www.btre.gov.au/docs/wp49_contents.htm>.
- ČSN 73 6101 Projektování silnic a dálnic,
- ČSN 73 6110 Projektování místních komunikací
- Dorda, Michal. Výukové texty předmětu Aplikace počítačů v provozu. [Online] 14. 9 2010. [Citace: 10. 2 2013.] http://homel.vsb.cz/~dor028/Aplikace_PC.htm.
- Drucker, Peter Ferdinand. Management challenges for the 21st century. New York: HarperBusiness, c1999. ISBN 0887309992.
- Fair, M.L. and Williams, E.W. (1981) Transportation and Logistics. Business Publication Inc., USA.
- Chang, Y.H. (1998) Logistical Management. Hwa-Tai Bookstore Ltd., Taiwan.
- Jelínek, Jiří. Výukové texty, předmět Modelování a simulace. [Online] 2012. [Citace: 15. 12 2012.] <http://moodle.prf.jcu.cz/course/view.php?id=76>.
- Křivda, Vladislav a Škvain, Václav. Učební texty. Městské komunikace a křižovatky. [Online] 2011. [Citace: 3. 1 2013.] <http://kds.vsb.cz/mkk/>.
- Křivý, Ivan a Kindler, Evžen. Simulace a modelování. [Online] 2011. [Citace: 18. 12 2012.] <http://prf.osu.cz/kip/dokumenty/Msm.pdf>.
- Law, Averill M. Simulation modeling and analysis. Boston [u.a.] : McGraw-Hill, 2007. 978-007-125519-6.
- Pelánek, Radek. Modelování a simulace. [Online] [Citace: 1. 2 2013.] <http://www.fi.muni.cz/~xpelanek/IV109/slidy/modelovani.pdf>.
- Potrol (2003) Inner freight transport and city logistics. Potrol transport teaching material.
- Proceedings 3rd International Conference on City Logistics, Institute for City Logistics,
- PŘIBYL, Pavel a SVÍTEK, Miroslav. Inteligentní dopravní systémy. Praha: BEN - technická literatura, 2001. ISBN 80-7300-029-6.
- PTV VISSIM User Manual, PTV AG, Karlsruhe, Německo 2018
- Shannon, Robert E. Introduction to the art and science of simulation. [Online] 1998. [Citace: 15. 1 2013.] <http://www.informs-sim.org/wsc98papers/001.PDF>.

Siebers, Peer-Olaf. G54 SIM - Simulation for Computer Scientists: 2011/2012 (Autumn). School of Computer Science, The University of Nottingham. [Online] 5. 10 2011. [Citace: 1. 2 2013.] <http://www.cs.nott.ac.uk/~pos/g54sim/2011-2012/slides/G54SIM-Lec01%202011%20r01.pdf>.

Šalamon, Tomáš. Development of Agent-based Models for Economic Simulation. Praha: VŠE-FIS, 2010. Disertační práce.

ŠIROKÝ, Jaromír. Technologie dopravy. Vyd. 5., rozš. Pardubice: Institut Jana Pernera, 2012. ISBN 978-80-86530-82-6. Centrum dopravního výzkumu. [online] 2018
Dostupné z: <https://www.cdv.cz/>

Taniguchi, E., Thompson R.G., Yamada, T. and Duin R. (2001a) Introduction. In City Logistics: Network Modelling and Intelligent Transport Systems. Pergamon, 1-15.

Taniguchi, E., Thompson, R.G. and Yamada, T. (2001b) Recent advances in modelling City Logistics. In E. Taniguchi and R.G. Thompson (eds.), City Logistics II. Institute of Science Research, Japan, 3-33. Systems

Taniguchi, E., Thompson, R.G. and Yamada, T. (2003) Visions for city logistics.

Thompson, R.G. and Taniguchi, E. (2001) City logistics and freight transport. In A.M.

Tilanus, Bernhard. Information systems in logistics and transportation. Tarrytown, N.Y., U.S.A.: Pergamon, 1997. ISBN 0080430546.

VOŽENÍLEK, Vít a Vladimír STRAKOŠ. City logistics: dopravní problémy města a logistika. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2009. SBN 978-80-244-2317-3.

Seznam zkratek

%	Procenta
ABS	Agent-based simulation (Agentní simulace)
DES	Discrete event simulation (Simulace diskrétních událostí)
ECR	Efficient Consumer Response (Účinná odpověď na spotřebitele)
GIS	Geografický informační systém
GPS	Global Positioning System (Globální poziční systém)
HDP	Hrubý domácí produkt
ID	Identifikace
IT	Informační technologie
ITS	Inteligentní dopravní systém
m	metr
MMS	Multi-method simulation (Hybridní simulace)
NCPDM	National Council of Physical Distribution Management
QR	Quick Response (Rychlá odezva)
RFID	Radiofrekvenční ID
SDS	Systémová dynamika (System dynamics simulation – SDS)
TEN-T	Trans-European Transport Network
TPL	Third-party logistics (Logistika třetí strany)
WTO	World Trade Organization (Světová obchodní organizace)

Seznam obrázků

Obrázek 1.1: Doprava a přeprava	10
Obrázek 1.2: Základní rozdělení dopravy.....	11
Obrázek 1.3: Přehled logistického systému.....	12
Obrázek 1.4: Historický vývoj logistiky.....	14
Obrázek 1.5: Poměr nákladů logistických položek	15
Obrázek 1.6: Dopravní vzorce a celkové náklady	18
Obrázek 1.7: Klíčoví aktéři v City Logistice	19
Obrázek 1.8: Struktura vesnic nákladní dopravy.....	21
Obrázek 2.1: Způsoby zkoumání systémů.....	25
Obrázek 2.2: Dělení modelů	27
Obrázek 2.3: Simulační proces	30
Obrázek 2.4: Hierarchie modelů podle detailu	33
Obrázek 3.1: Křižovatka ulic Komenského, Kojetínská a Velké Novosady	36
Obrázek 3.2: Schematické znázornění křižovatky.....	37
Obrázek 3.3: Značení hlavní silnice	40
Obrázek 4.1: Nastavení modelu cest.....	42
Obrázek 4.2: Nastavení konektoru.....	43
Obrázek 4.3: Dialogové okno nastavení cyklu světelné signalizace	47
Obrázek 4.4: Nastavení signalizačních světel.....	47
Obrázek 4.5: Uzly a vyhodnocení simulace	48
Obrázek 5.1: Model křižovatky k simulaci.....	51
Obrázek 5.2: Nastavení cyklu světelné signalizace – experiment č. 1	53
Obrázek 5.3: Nastavení cyklu světelné signalizace – experiment č. 2	53
Obrázek 5.4: Conflict areas	54
Obrázek 5.5: Nastavení conflict areas	55

Seznam tabulek

Tabulka 3.1: Význam použitých zkratk	38
Tabulka 3.2: Sčítání dopravy - Komenského ulice	38
Tabulka 3.3: Sčítání dopravy - Velké Novosady	39
Tabulka 3.4: Sčítání dopravy - Kojetínská ulice	39
Tabulka 4.1: Úroveň kvality dopravy	49
Tabulka 5.1: Nastavení simulace v závislosti na dopravě	52
Tabulka 5.2: Výsledky experimentů	55
Tabulka 5.3: Váhové hodnoty výsledků experimentů	56

Seznam příloh

- Příloha č. 1 Experiment č. 1: normální hustota dopravy
- Příloha č. 2 Experiment č. 1: vysoká hustota dopravy
- Příloha č. 3 Experiment č. 2: normální hustota dopravy
- Příloha č. 4 Experiment č. 2: vysoká hustota dopravy
- Příloha č. 5 Experiment č. 3: normální hustota dopravy
- Příloha č. 6 Experiment č. 3: vysoká hustota dopravy

Experiment č. 1: Cykly světelné signalizace – normální hustota dopravy

SIMRUN	TIMEINT	MOVEMENT	QLEN	QLENMAX	VEHS(ALL)	PERS(ALL)	LOS(ALL)	LOSVAL(ALL)	VEHDELAY(ALL)
1	0-360	1-5: Novosady IN	32,89	117,85	78	78	LOS_C	3	33,19
1	0-360	1-6: Novosady OUT	0	0	43	43	LOS_A	1	-0,16
1	0-360	Ø 1	16,45	117,85	121	121	LOS_C	3	21,34
1	0-360	2-3: Kojetinska OUT	0	0	58	58	LOS_A	1	0,08
1	0-360	2-9: Kojetinska IN	23,89	66,58	62	62	LOS_C	3	28,72
1	0-360	Ø 2	11,95	66,58	120	120	LOS_B	2	14,88
1	0-360	3-1: Komenského OUT	0	0	74	74	LOS_A	1	0,04
1	0-360	3-4: Komenského IN	18,34	57,08	35	35	LOS_D	4	37,26
1	0-360	Ø 3	9,17	57,08	109	109	LOS_B	2	11,99
SIMRUN	TIMEINT	MOVEMENT	PERSDELAY(ALL)	STOPDELAY(ALL)	STOPS(ALL)	EMISSIONSCO	EMISSIONSNOX	EMISSIONSVOC	FUELCONSUMPTION
1	0-360	1-5: Novosady IN	33,19	26,3	0,73	79,717	15,51	18,475	1,14
1	0-360	1-6: Novosady OUT	-0,16	0	0	3,357	0,653	0,778	0,048
1	0-360	Ø 1	21,34	16,96	0,47	83,178	16,183	19,277	1,19
1	0-360	2-3: Kojetinska OUT	0,08	0	0	3,58	0,697	0,83	0,051
1	0-360	2-9: Kojetinska IN	28,72	23,35	0,56	53,964	10,499	12,507	0,772
1	0-360	Ø 2	14,88	12,07	0,29	57,502	11,188	13,327	0,823
1	0-360	3-1: Komenského OUT	0,04	0	0	6,427	1,251	1,49	0,092
1	0-360	3-4: Komenského IN	37,26	31,47	0,74	38,382	7,468	8,896	0,549
1	0-360	Ø 3	11,99	10,1	0,24	44,668	8,691	10,352	0,639

Experiment č. 1: Cykly světelné signalizace – vysoká hustota dopravy

SIMRUN	TIMEINT	MOVEMENT	QLEN	QLENMAX	VEHS(ALL)	PERS(ALL)	LOS(ALL)	LOSVAL(ALL)	VEHDELAY(ALL)
2	0-360	1-5: Novosady IN	105,01	183,02	100	100	LOS_D	4	54,7
2	0-360	1-6: Novosady OUT	0	0	83	83	LOS_A	1	-0,1
2	0-360	Ø 1	52,51	183,02	183	183	LOS_C	3	29,84
2	0-360	2-3: Kojetinska OUT	0	0	88	88	LOS_A	1	0,07
2	0-360	2-9: Kojetinska IN	82,14	151,6	91	91	LOS_D	4	54,58
2	0-360	Ø 2	41,07	151,6	179	179	LOS_C	3	27,78
2	0-360	3-1: Komenského OUT	0	0	98	98	LOS_A	1	0,12
2	0-360	3-4: Komenského IN	31,32	83,49	79	79	LOS_C	3	34,9
2	0-360	Ø 3	15,66	83,49	177	177	LOS_B	2	15,64
SIMRUN	TIMEINT	MOVEMENT	PERSDELAY(ALL)	STOPDELAY(ALL)	STOPS(ALL)	EMISSIONSCO	EMISSIONNOX	EMISSIONSVOC	FUELCONSUMPTION
2	0-360	1-5: Novosady IN	54,7	42,33	1,03	146,726	28,548	34,005	2,099
2	0-360	1-6: Novosady OUT	-0,1	0	0	6,544	1,273	1,517	0,094
2	0-360	Ø 1	29,84	23,13	0,56	153,486	29,863	35,572	2,196
2	0-360	2-3: Kojetinska OUT	0,07	0	0	5,409	1,052	1,254	0,077
2	0-360	2-9: Kojetinska IN	54,58	46,84	0,81	123,215	23,973	28,556	1,763
2	0-360	Ø 2	27,78	23,81	0,41	128,584	25,018	29,801	1,84
2	0-360	3-1: Komenského OUT	0,12	0	0	8,639	1,681	2,002	0,124
2	0-360	3-4: Komenského IN	34,9	27,92	0,81	86,179	16,767	19,973	1,233
2	0-360	Ø 3	15,64	12,46	0,36	94,665	18,418	21,939	1,354

Experiment č. 2: Hustota provozu – normální hustota dopravy

SIMRUN	TIMEINT	MOVEMENT	QLEN	QLENMAX	VEHS(ALL)	PERS(ALL)	LOS(ALL)	LOSVAL(ALL)	VEHDELAY(ALL)
5	0-360	1-5: Novosady IN	30,23	99,11	78	78	LOS C	3	21,76
5	0-360	1-6: Novosady OUT	0	0	43	43	LOS A	1	-0,15
5	0-360	Ø 1	15,11	99,11	121	121	LOS B	2	13,98
5	0-360	2-3: Kojetinska OUT	0	0	58	58	LOS A	1	0,1
5	0-360	2-9: Kojetinska IN	23,89	66,58	62	62	LOS C	3	28,72
5	0-360	Ø 2	11,95	66,58	120	120	LOS B	2	14,88
5	0-360	3-1: Komenského OUT	0	0	74	74	LOS A	1	0,09
5	0-360	3-4: Komenského IN	17,13	57,03	35	35	LOS C	3	29,07
5	0-360	Ø 3	8,56	57,03	109	109	LOS A	1	9,39
SIMRUN	TIMEINT	MOVEMENT	PERSEDELAY(ALL)	STOPDELAY(ALL)	STOPS(ALL)	EMISSIONSCO	EMISSIONNOX	EMISSIONSVOC	FUELCONSUMPTION
5	0-360	1-5: Novosady IN	21,76	16,74	0,5	58,714	11,424	13,607	0,84
5	0-360	1-6: Novosady OUT	-0,15	0	0	3,358	0,653	0,778	0,048
5	0-360	Ø 1	13,98	10,79	0,32	62,14	12,09	14,402	0,889
5	0-360	2-3: Kojetinska OUT	0,1	0	0	3,591	0,699	0,832	0,051
5	0-360	2-9: Kojetinska IN	28,72	23,35	0,56	53,964	10,499	12,507	0,772
5	0-360	Ø 2	14,88	12,07	0,29	57,546	11,196	13,337	0,823
5	0-360	3-1: Komenského OUT	0,09	0	0	6,483	1,261	1,502	0,093
5	0-360	3-4: Komenského IN	29,07	23,98	0,63	32,397	6,303	7,508	0,463
5	0-360	Ø 3	9,39	7,7	0,2	38,737	7,537	8,978	0,554

Experiment č. 2: Hustota provozu – vysoká hustota dopravy

SIMRUN	TIMEINT	MOVEMENT	QLEN	QLENMAX	VEHS(ALL)	PERS(ALL)	LOS(ALL)	LOSVAL(ALL)	VEHDELAY(ALL)
6	0-360	1-5: Novosady IN	100,14	182,96	92	92	LOS_D	4	42,75
6	0-360	1-6: Novosady OUT	0,05	21,53	83	83	LOS_A	1	-0,1
6	0-360	Ø 1	50,1	182,96	175	175	LOS_C	3	22,42
6	0-360	2-3: Kojetinska OUT	0	0	78	78	LOS_A	1	0,11
6	0-360	2-9: Kojetinska IN	82,14	151,6	91	91	LOS_D	4	54,58
6	0-360	Ø 2	41,07	151,6	169	169	LOS_C	3	29,44
6	0-360	3-1: Komenského OUT	0	0	100	100	LOS_A	1	0,17
6	0-360	3-4: Komenského IN	28,92	75,92	79	79	LOS_C	3	23,07
6	0-360	Ø 3	14,46	75,92	179	179	LOS_B	2	10,27
SIMRUN	TIMEINT	MOVEMENT	PERSEDELAY(ALL)	STOPDELAY(ALL)	STOPS(ALL)	EMISSIONSCO	EMISSIONSNOX	EMISSIONSVOC	FUELCONSUMPTION
6	0-360	1-5: Novosady IN	42,75	32,18	1,27	129,133	25,125	29,928	1,847
6	0-360	1-6: Novosady OUT	-0,1	0	0	6,539	1,272	1,515	0,094
6	0-360	Ø 1	22,42	16,92	0,67	136,182	26,496	31,561	1,948
6	0-360	2-3: Kojetinska OUT	0,11	0	0	4,844	0,942	1,123	0,069
6	0-360	2-9: Kojetinska IN	54,58	46,84	0,81	123,215	23,973	28,556	1,763
6	0-360	Ø 2	29,44	25,22	0,44	128,036	24,911	29,674	1,832
6	0-360	3-1: Komenského OUT	0,17	0	0	8,901	1,732	2,063	0,127
6	0-360	3-4: Komenského IN	23,07	18,11	0,54	62,984	12,254	14,597	0,901
6	0-360	Ø 3	10,27	7,99	0,24	71,686	13,948	16,614	1,026

Experiment č. 3: Vypnutí světelné signalizace – normální hustota dopravy

SIMRUN	TIMEINT	MOVEMENT	QLEN	QLENMAX	VEHS(ALL)	PERS(ALL)	LOS(ALL)	LOSVAL(ALL)	VEHDELAY(ALL)
3	0-360	1-5: Novosady IN	1,91	36,67	86	86	LOS_A	1	5,13
3	0-360	1-6: Novosady OUT	17,99	52,37	49	49	LOS_A	1	0,17
3	0-360	Ø 1	9,95	52,37	135	135	LOS_A	1	3,33
3	0-360	2-3: Kojetinska OUT	5,24	47,35	57	57	LOS_A	1	0,55
3	0-360	2-9: Kojetinska IN	0	0	77	77	LOS_A	1	0,37
3	0-360	Ø 2	2,62	47,35	134	134	LOS_A	1	0,45
3	0-360	3-1: Komenského OUT	0,06	23,91	86	86	LOS_A	1	1,15
3	0-360	3-4: Komenského IN	1,19	17,1	35	35	LOS_C	3	17,51
3	0-360	Ø 3	0,62	23,91	121	121	LOS_A	1	5,89
SIMRUN	TIMEINT	MOVEMENT	PERSEDELAY(ALL)	STOPDELAY(ALL)	STOPS(ALL)	EMISSIONSCO	EMISSIONSNOX	EMISSIONSVOC	FUELCONSUMPTION
3	0-360	1-5: Novosady IN	5,13	1,52	0,27	35,138	6,837	8,143	0,503
3	0-360	1-6: Novosady OUT	0,17	0	0,02	4,517	0,879	1,047	0,065
3	0-360	Ø 1	3,33	0,97	0,18	39,693	7,723	9,199	0,568
3	0-360	2-3: Kojetinska OUT	0,55	0	0	3,906	0,76	0,905	0,056
3	0-360	2-9: Kojetinska IN	0,37	0	0	15,714	3,057	3,642	0,225
3	0-360	Ø 2	0,45	0	0	19,636	3,82	4,551	0,281
3	0-360	3-1: Komenského OUT	1,15	0,61	0,16	15,38	2,992	3,564	0,22
3	0-360	3-4: Komenského IN	17,51	9,5	0,86	30,456	5,926	7,058	0,436
3	0-360	Ø 3	5,89	3,18	0,36	45,682	8,888	10,587	0,654

Experiment č. 3: Vypnutí světelné signalizace – vysoká hustota dopravy

SIMRUN	TIMEINT	MOVEMENT	QLEN	QLENMAX	VEHS(ALL)	PERS(ALL)	LOS(ALL)	LOSVAL(ALL)	VEHDELAY(ALL)
4	0-360	1-5: Novosady IN	111,67	161,51	63	63	LOS_F	6	83,72
4	0-360	1-6: Novosady OUT	43,4	58,06	85	85	LOS_A	1	0,57
4	0-360	1	77,53	161,51	148	148	LOS_E	5	35,96
4	0-360	2-3: Kojetinska OUT	48,18	64,1	41	41	LOS_A	1	0,18
4	0-360	2-9: Kojetinska IN	0	0	152	152	LOS_A	1	0,48
4	0-360	2	24,09	64,1	193	193	LOS_A	1	0,42
4	0-360	3-1: Komenského OUT	0	0	103	103	LOS_A	1	2,65
4	0-360	3-4: Komenského IN	64,9	149,53	20	20	LOS_E	5	47,57
4	0-360	3	32,45	149,53	123	123	LOS_A	1	9,96
SIMRUN	TIMEINT	MOVEMENT	PERSDELAY(ALL)	STOPDELAY(ALL)	STOPS(ALL)	EMISSIONSCO	EMISSIONNOX	EMISSIONSVOC	FUELCONSUMPTION
4	0-360	1-5: Novosady IN	83,72	54,63	3,67	195,704	38,077	45,356	2,8
4	0-360	1-6: Novosady OUT	0,57	0,23	0,08	10,794	2,1	2,502	0,154
4	0-360	1	35,96	23,38	1,61	207,282	40,329	48,04	2,965
4	0-360	2-3: Kojetinska OUT	0,18	0	0	2,578	0,502	0,597	0,037
4	0-360	2-9: Kojetinska IN	0,48	0	0	31,261	6,082	7,245	0,447
4	0-360	2	0,42	0	0	33,833	6,583	7,841	0,484
4	0-360	3-1: Komenského OUT	2,65	2,02	0,19	22,12	4,304	5,127	0,316
4	0-360	3-4: Komenského IN	47,57	40,3	1	27,451	5,341	6,362	0,393
4	0-360	3	9,96	8,24	0,33	49,351	9,602	11,437	0,706

Autor (vypracoval)	Bc. Jan Zdařil
Název DP	Simulační model křižovatky řízené světelnou signalizací
Studijní obor	Logistika
Rok obhajoby DP	2019
Počet stran	
Počet příloh	6
Vedoucí DP	prof. Ing. Gabriel Fedorko, Ph.D
Oponent DP	
Anotace	Cílem práce je objasnit city logistiku. Práce je rozdělena do dvou částí: teoretické a praktické. V teoretické části jsou stručně definovány pojmy související se city logistikou a logistikou obecně. V praktické části je realizovaná simulace systému křižovatky a popsány experimenty se simulačním modelem.
Klíčová slova	City logistika, simulace, PTV Vissim, křižovatka, světelná signalizace
Místo uložení	ITC (knihovna) Vysoké školy logistiky v Přerově
Signatura	