



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV AUTOMATIZACE INŽENÝRSKÝCH ÚLOH A
INFORMATIKY

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF COMPUTER AIDED ENGINEERING AND COMPUTER SCIENCE

ZVÝŠENÍ PROPUSTNOSTI ÚZKÝCH HRDEL ZPŮSOBENÝCH DOPRAVNÍM OMEZENÍM

INCREASE TRANSPORTATION CAPACITY OF BOTTLENECK CAUSED BY TRAFFIC RESTRICTION

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. RADKA MATUSZKOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Mgr. TOMÁŠ APELTAUER, Ph.D.

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T009 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav automatizace inženýrských úloh a informatiky

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant	Bc. RADKA MATUSZKOVÁ
Název	Zvýšení propustnosti úzkých hrdel způsobených dopravním omezením
Vedoucí diplomové práce	Mgr. Tomáš Apeltauer, Ph.D.
Datum zadání diplomové práce	15. 3. 2012
Datum odevzdání diplomové práce	11. 1. 2013

V Brně dne 15. 3. 2012

.....
doc. Ing. Aleš Krejčí, CSc.
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

- charakteristiky dopravního proudu v krizových místech
- mapové podklady
- příslušné ČSN, Technické podmínky, Vzorové listy, Požadavky na provedení a kvalitu v rámci ŘSD

Zásady pro vypracování

Předmětem diplomové práce je návrh minimalizace vlivu dopravních omezení na plynulost, bezpečnost a komfort dopravy na dálnicích a rychlostních komunikacích. Tato problematika je velmi aktuální vzhledem k dlouhodobě plánované rekonstrukci dálnice D1.

Zpracujte naměřená data a použijte je pro sestavení dopravního modelu. Zhodnoťte vlivy nutných oprav, rekonstrukcí a modernizací na pozemních komunikacích na dynamiku dopravního proudu. Navrhněte způsoby omezení těchto vlivů a zdůvodněte své závěry. Při návrhu zohledněte inovativní telematické aplikace a principy dopravního inženýrství. Reagujte na výsledky prováděných výzkumů na obdobné téma.

Předepsané přílohy

- Zjištěná data o dopravní situaci v řešené oblasti
- Schémata, mapy a fotodokumentace
- Výstupy ze softwaru Aimsun

Licenční smlouva o zveřejňování vysokoškolských kvalifikačních prací

.....
Mgr. Tomáš Apeltauer, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

Abstrakt

Diplomová práce pojednává o chování dopravního proudu v místě pracovních zón. Zaměřuje se především na střídavé řazení těsně před úzkým hrdlem a tvorbu kongescí. Součástí práce je studie parametrů, definovaných v programu Aimsun, která zkoumá jejich vliv na střídavé řazení v mikrosimulaci. Správné nastavení hodnot je ověřeno na dopravním modelu sestaveném na základě videozáznamu. Práce si klade za cíl minimalizovat vlivy nutných oprav a rekonstrukcí pozemních komunikací pomocí telematických aplikací, které dynamicky ovlivňují dopravní proud změnami nejvyšší dovolené rychlosti.

Klíčová slova

kongesce, pracovní zóna, úzké hrdlo, AIMSUN, mikrosimulace, telematika, střídavé řazení, pravidlo zipu, dynamické řízení dopravy

Abstract

The diploma thesis deals with the behaviour of traffic stream at work zones. It focuses primarily on alternating arranging just before funnelling of the traffic and creation of congestions. The study of parameters defined in the Aimsun program, that examines their effect on alternating arranging in micro-simulation, is a part of the thesis. The right setting of values is verified on traffic model formulated on the basis of video recording. The work aims to minimize effects of necessary repairs and reconstructions of roads by the telematic applications which dynamically affect the traffic stream by changing the maximum speed.

Keywords

congestion, work zone, traffic bottleneck, AIMSUN, microsimulation, telematics, alternating arranging, rule of zip, dynamic tradic management

Bibliografická citace VŠKP

MATUSZKOVÁ, Radka. *Zvýšení propustnosti úzkých hrdel způsobených dopravním omezením*. Brno, 2013. 177 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav automatizace inženýrských úloh a informatiky. Vedoucí práce Mgr. Tomáš Apeltauer, Ph.D.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 10.1.2013

.....
podpis autora
Radka Matuszková

Poděkování

Především děkuji svému vedoucímu Mgr. Tomáši Apeltauerovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky při vedení mé diplomové práce. Také bych ráda poděkovala Ing. Martinu Všeckovi za odborné konzultace a Ing. Michalu Radimskému. V neposlední řadě všem lidem z blízkého okolí za podporu.

Obsah

Úvod	5
1 Teorie dopravního proudu	6
1.1 Základní charakteristiky dopravního proudu	6
1.2 Vztah rychlosti a hustoty dopravního proudu	7
1.3 Vztah intenzity a rychlosti dopravního proudu	9
1.4 Vztah intenzity a hustoty dopravního proudu	11
2 Modelování dopravního proudu	13
2.1 Základní prvky dopravního modelování	14
2.1.1 Řidič a jeho chování	14
2.1.2 Vozidlo a jeho chování	14
2.1.3 Dopravní síť	15
2.1.4 Okolní prostředí	15
2.1.5 Prvky a systémy řízení dopravy a infrastruktura ITS	15
2.2 Základní způsoby dopravního modelování	15
2.2.1 Makroskopické simulační modely	17
2.2.2 Mesoskopické modely	18
2.2.3 Mikroskopické modely	18
2.3 Principy základních dopravních modelů	19
2.3.1 Greenshieldsův lineární model	19
2.3.2 Model následujícího vozidla	22
2.4 Průběh simulační studie	27
2.4.1 Formulace dopravního problému	27
2.4.2 Stanovení cílů a celkového plánu simulačního procesu	27
2.4.3 Vytvoření koncepce modelu	28
2.4.4 Sběr a analýza dat	28

2.4.5	Vytvoření simulačního modelu	28
2.4.6	Verifikace modelu	28
2.4.7	Validace modelu	28
2.4.8	Návrh simulačního procesu	29
2.4.9	Provedení a analýza simulace	29
2.4.10	Potřeba další simulace	30
2.4.11	Sestavení závěrečné zprávy	30
2.5	Nejpoužívanější simulační nástroje	30
3	Inteligentní dopravní systémy	36
3.1	Hierarchická struktura ITS	37
3.2	Technické zařízení používané v ITS	38
3.2.1	Dopravní detektory	38
3.2.2	Dopravní aktory	41
3.3	Využití ITS aplikací v silniční dopravě	42
3.3.1	Pozemní komunikace	42
4	Dopravní proud v místech s dopravním omezením	45
4.1	Charakteristika kongescí	46
4.1.1	Základní charakteristiky kongescí	48
4.2	Problematika pravidla ZIP	51
4.2.1	Teorie hustotní vlny	52
4.2.2	Lidský faktor	52
4.2.3	Systémy pro řízení dopravního proudu před pracovní zónou	55
4.2.4	Zahraniční modely střídavého řazení	56
5	Tvorba modelu dopravního proudu	59
5.1	Základní údaje	59
5.1.1	Skladba vozidel	60

5.1.2	Charakteristika pozemní komunikace	61
5.1.3	Intenzity dopravního proudu	63
5.1.4	Rychlost dopravního proudu	64
5.2	Studie parametrů dopravního modelu	66
5.2.1	Modely chování v programu Aimsun použité v simulaci	67
5.2.2	Vstupní parametry pozemní komunikace	70
5.2.3	Vstupní parametry vozidel	74
5.3	Simulace dopravního proudu	117
5.3.1	Leader deceleration	117
5.3.2	Avg of Follower and Leader decelerations	120
5.3.3	Sensitivity factor	122
5.3.4	Validace modelu	124
5.3.5	Fundamentální diagramy dopravní simulace	126
6	Zvýšení propustnosti úzkých hrdel	128
6.1	Vstupní parametry	128
6.2	Schémata dynamického řízení dopravního proudu	129
6.3	Řízení dopravního proudu	132
6.3.1	Základní schéma – intenzita 1500 voz/h	132
6.3.2	Základní schéma – intenzita 1900 voz/h	133
6.3.3	Základní schéma – intenzita 2100 voz/h	136
6.4	Dynamické řízení dopravního proudu	138
6.4.1	Schéma 1 (100-80-60)	139
6.4.2	Schéma 2 (100-100-80-60)	142
6.4.3	Schéma 3 (100-80-80-60)	146
6.4.4	Zhodnocení	149
6.4.5	Vybrané schéma dynamického řízení dopravního proudu	151



Závěr	157
Seznam použitých zdrojů	159
Seznam obrázků	169
Seznam tabulek	171
Seznam grafů	174
Seznam použitých zkratek a symbolů	176

ÚVOD

V posledních letech se setkáváme s trendem, který ovlivňuje každého z nás. Tím je rostoucí intenzita silniční dopravy, ať již z důvodů osobních, či obchodních. Právě vysoký počet vozidel způsobuje jak opotřebení vozovky, tak vyčerpání kapacity pozemních komunikací, které byly projektovány na intenzity mnohem menší. Tyto dva hlavní důvody vedou k opravám, rekonstrukcím a modernizacím dopravní sítě na našem území. Právě v pracovních zónách se při snížení počtu jízdničních pruhu vyskytuje úzké hrdlo pozemní komunikace. To se vyznačuje sníženou propustností oproti původnímu profilu dopravní sítě, což má za následek vznik kongescí. Ty způsobují především zvýšení cestovních dob.

Předmětem diplomové práce je navržení minimalizace vlivu dopravních omezení na plynulost, bezpečnost a komfort dopravy na dálnicích a pozemních komunikacích pomocí telematických aplikací. Vzhledem k vývoji informačních technologií jsou již dlouhou dobu v zahraničí používány inteligentní dopravní systémy. Ty pomocí dynamického řízení dopravního proudu zvyšují propustnost, snižují riziko nehod a snižují stres řidičů v dopravních kolonách.

Cílem je návrh schématu dynamického řízení dopravního proudu, který by mohl být implementován na českou dopravní síť, a tím omezit tvorbu kongescí v pracovních zónách a zvýšit propustnost úzkých hrdel.

1 TEORIE DOPRAVNÍHO PROUDU

Dopravní proud je definován jako sled všech vozidel pohybujících se v pruhu za sebou, nebo v pruzích vedle sebe stejným jízdním směrem. Mezi základní charakteristiky dopravního proudu patří intenzita, rychlost, hustota, délkový odstup vozidel a časový odstup vozidel. Vztahy mezi těmito veličinami jsou základem teorie dopravního proudu. Kromě provázaností těchto charakteristik je dopravní proud závislý na mnoha dalších skutečnostech. Podstatnými faktory ovlivňující dopravní proud jsou návrhové parametry pozemní komunikace (směrové a výškové vedení komunikace), kvalita povrchu vozovky, klimatické podmínky, organizace a řízení dopravy, nebo konkrétní doba během dne, týdne, či ročního období. Dalším důležitým parametrem je skladba dopravního proudu a charakteristiky jednotlivých vozidel, například maximální provozní rychlost, akcelerační a decelerační schopnosti a aktuální stav vozidla. V neposlední řadě mohou dopravní proud ovlivnit psychologické a fyziologické charakteristiky řidičů, tedy jejich vlastnosti a aktuální stav.

1.1 Základní charakteristiky dopravního proudu

Hustotu dopravního proudu můžeme chápat jako počet dopravních jednotek, který se v určitém časovém okamžiku nalézá v jednom směru na určité délce pozemní komunikace. Hustota se uvádí v jednotkách voz/km a označuje se písmenem H .

Rychlost dopravního proudu je možné chápat jako určitou funkci rozdělení rychlosti jednotlivých vozidel v dopravní proudě. V konkrétních výpočtech se pak často nahrazuje střední hodnotou rychlosti, měřené na krátkém úseku trasy, tedy okamžitou rychlostí. Pro rychlost se jako základní jednotka udává km/h a je označena písmenem v .

Intenzitou dopravního proudu rozumíme počet silničních vozidel, které projedou určitým příčným profilem pozemní komunikace nebo jeho částí za zvolené časové období v jednom jízdním směru. Základní jednotkou intenzity jsou voz/km a značí se písmenem I .

Intenzitu vyjadřujeme pomocí rovnice kontinuity v určitém místě x a v čase t :

$$\begin{aligned} I(x, t) &= v(x, t) * H(x, t) \\ I(\text{voz/h}) &= v(\text{km/h}) * H(\text{voz/km}) \end{aligned} \tag{1.1}$$

Délkový odstup vozidel je definovaný jako vzdálenost čel za sebou jedoucích vozidel v určitém okamžiku. Základní jednotkou je metr a pro označení se používá písmeno a . V této vzdálenosti je obsažena i délka vozidla a po odečtení tohoto rozměru získáme odstup mezi vozidly.

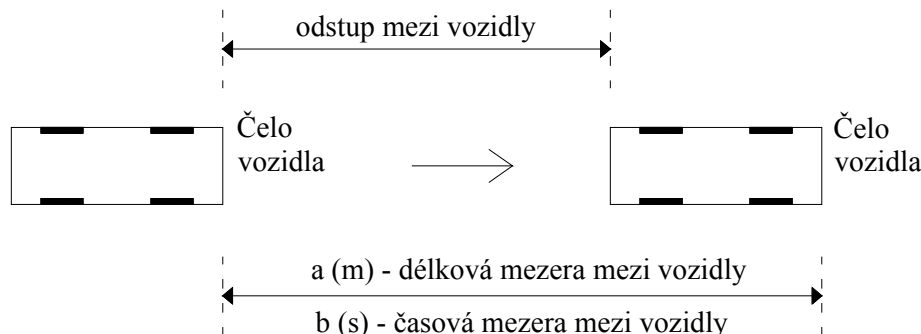
Délkový odstup je definován vzorcem:

$$a(m) = \frac{1(voz)}{H(voz/m)} \quad (1.2)$$

Časový odstup vozidel je doba, která uplyne mezi průjezdy čel dvou za sebou následujících dopravních jednotek stanovených profilem pozemní komunikace. Vyjadřuje se v časové jednotce sekundě a označuje se písmenem b .

Časový odstup je definován vzorcem:

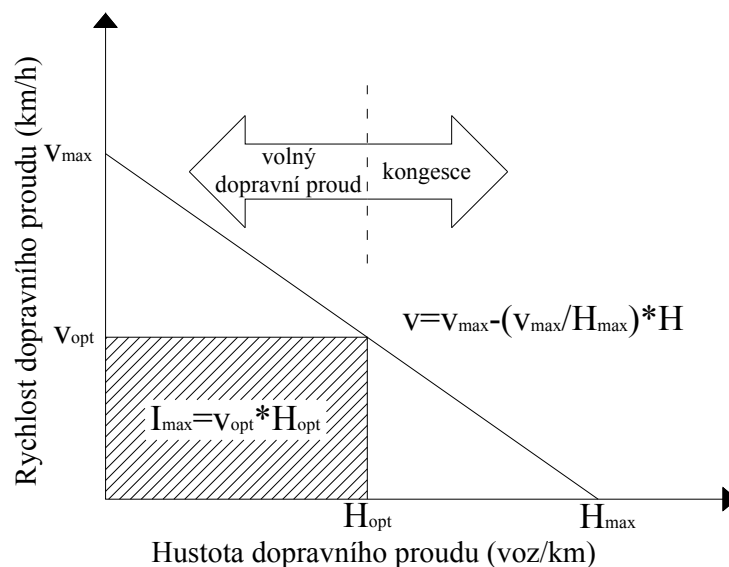
$$b(s) = \frac{1(voz)}{I(voz/s)} \quad (1.3)$$



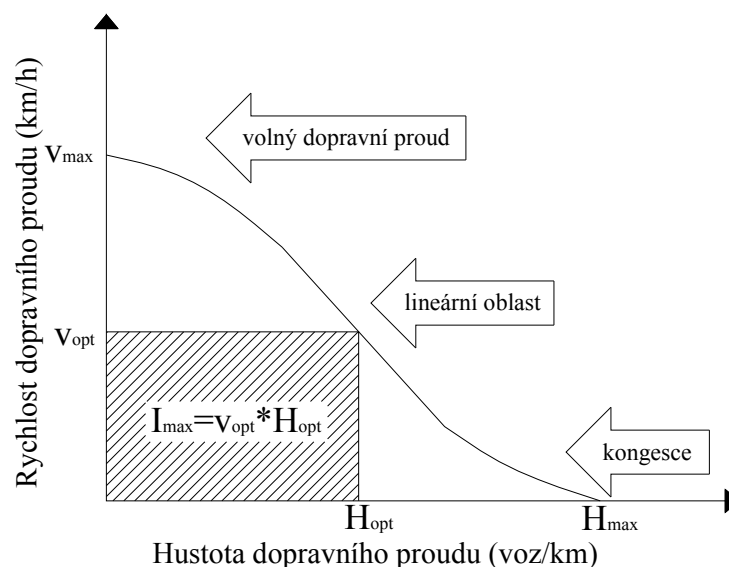
Obrázek 1: Grafické schéma měření délkových a časových odstupů

1.2 Vztah rychlosti a hustoty dopravního proudu

Rychlost dopravního proudu (v) je přímo závislá na hustotě dopravního proudu (H) a se vzrůstající hustotou rychlost proudu klesá. Teoretická závislost rychlosti a hustoty je přímková (Obrázek 2), ale praktická měření ukázala, že v oblastech vysokých rychlostí a hustot dopravního proudu nastává jeho zakřivení (Obrázek 3).



Obrázek 2: Vztah mezi hustotou a rychlostí – lineární závislost



Obrázek 3: Vztah mezi hustotou a rychlostí – nelineární závislost

Z diagramů vyplývá, že v bodě, kdy dopravní proud dosahuje maximální rychlosti (v_{max}), je hustota proudu blízká nule. Tedy čím méně vozidel se pohybuje po pozemní komunikaci, tím vyšší rychlostí mohou jet. Z toho můžeme po dosazení do rovnice (1.1) odvodit, že také intenzita dopravního proudu bude blízká nule. Tento stav dopravního proudu se nazývá volný dopravní proud.

Maximální hodnota hustoty (H_{max}) je jasně definována počtem vozidel (konkrétně jejich délkou), které se vejdou do určitého délkového úseku. Mezi vozidly se započítává i

minimální odstup, který mezi sebou vozidla udržují. Při maximální hustotě jsou vozidla nucena zastavit a rychlost dopravního proudu je tedy nulová. Opět můžeme po dosazení do rovnice (1.1) odvodit, že intenzita dopravního proudu bude blízká nule. V takovém případě je dopravní proud ve stavu zácpy.

Mezi nulovou hustotou a maximální hustotou leží hodnota nazývaná optimální hustota (H_{opt}), při které je možno dosáhnout maximálních intenzit tzv. kapacity jízdního pruhu. Této hustotě pak na křivce odpovídá optimální rychlost dopravního proudu (v_{opt}).

Při lineární závislosti hustoty a rychlosti má přímka tvar:

$$v = a + b * H \quad (1.4)$$

Při předpokladu, že v bodě maximální rychlosti je hustota nulová a v bodě maximální hustoty je rychlost nulová, můžeme určit koeficienty přímky.

$$v_{max} \rightarrow H = 0$$

$$H_{max} \rightarrow V = 0$$

Po dosazení do rovnice (1.4) získáme rovnici přímky určující závislost rychlosti a hustoty dopravního proudu:

$$v = v_{max} - \left(\frac{v_{max}}{H_{max}} \right) * H \quad (1.5)$$

1.3 Vztah intenzity a rychlosti dopravního proudu

Vztah mezi intenzitou a rychlostí dopravního proudu je parabolický. S rostoucí rychlostí intenzita stoupá až do doby, kdy je dosaženo její maximální hodnoty (I_{max}), poté začne i přes růst rychlosti intenzita klesat.

Křivka paraboly má rovnici:

$$I_{max} - I = (v_{opt} - v)^2 \quad (1.6)$$

Křivku můžeme rozdělit do několika oblastí, které blíže určují charakter dopravního proudu (Obrázek 4). Písmeno A značí bod, ve kterém dosahuje rychlost dopravního proudu maximální hodnoty (v_{max}). Při maximální rychlosti vycházíme z

předpokladu, že je na pozemní komunikaci malé množství vozidel a hustota se tedy blíží nule. Z rovnice (1.1) můžeme pak dopočítat intenzitu, která bude téměř rovna nule.

Bod B, jež je vrcholem paraboly, označuje místo, kde dopravní proud dosahuje maximální intenzity (I_{max}) a optimální rychlosti (v_{opt}).

Dále si na křivce můžeme určit dva body C a D, přičemž jeden se nachází před bodem B na parabolické křivce a druhý za bodem B. V těchto bodech je dosaženo při rozdílné rychlosti stejné intenzity.

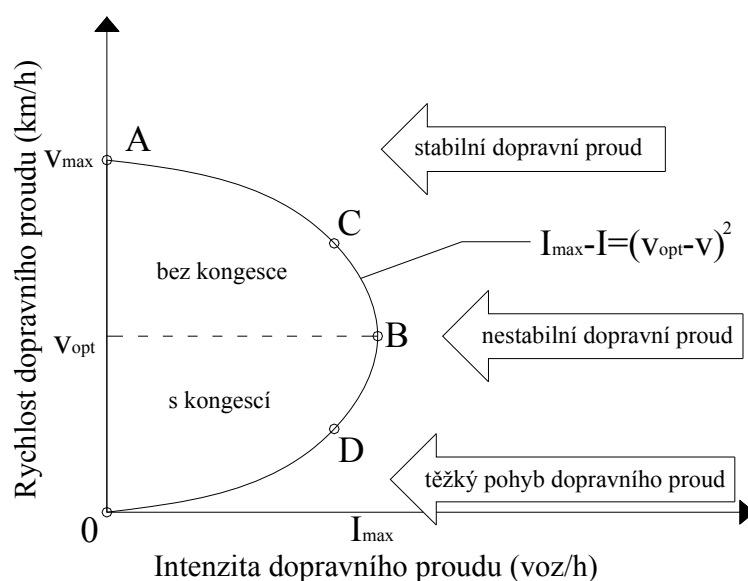
Definované body mají následující charakteristiky:

$$\text{bod A: } v = v_{max}; I = 0 \rightarrow H = 0$$

$$\text{bod B: } v = v_{opt}; I = I_{max} \rightarrow H = H_{opt}$$

$$\text{bod C: } v > v_{opt}; I = I_{CD} \rightarrow H = H_C$$

$$\text{bod D: } v < v_{opt}; I = I_{CD} \rightarrow H = H_D$$



Obrázek 4: Vztah mezi intenzitou a rychlostí dopravního proudu

Zónu mezi body C a D označujeme jako nestabilní dopravní proud. Reálná intenzita osciluje kolem maximální hodnoty intenzity (I_{max}). Dopravní proud se pohybuje na rozmezí mezi oblastí bez kongesce a oblastí s kongescí.

Mezi body A a C je dopravní proud stabilní a platí pro něj normální podmínky. Díky nízké hustotě je rychlost vysoká. V této oblasti nevznikají žádné kongesce.

Pro oblast A-C tedy platí následující podmínky:

$$I \leq I_{max}$$

$$H \leq H_{opt}$$

$$v \geq v_{opt}$$

V bodu D až po začátek paraboly (bod 0) je dopravní proud nestabilní a vyznačuje se malými rychlostmi a vysokými hustotami. Často se tvoří kongesce a předjíždění je nemožné. Pro oblast je typický těžký pohyb dopravního proudu.

Pro oblast D-0 tedy platí následující podmínky:

$$I \leq I_{max}$$

$$H \geq H_{opt}$$

$$v < v_{opt}$$

Pro závislost intenzity a hustoty je nutno si uvědomit, že v současných jízdních podmínkách má rychlost dopravního proudu konečnou hranici, uvádí se 180 km/h. Z tohoto faktu vyplývají omezení pro hustotu a intenzitu dopravního proudu na jízdním pruhu i za ideálních podmínek.

1.4 Vztah intenzity a hustoty dopravního proudu

Závislost mezi intenzitou a hustotou dopravního proudu je parabolická, stejně jako v případě vztahu intenzity a rychlosti. Intenzita vzrůstá s rostoucí hustotou, dokud není dosaženo kapacity (I_{max}) dané komunikace.

Křivka tohoto vztahu má tvar:

$$I_{max} = a * H - a * H^2 \quad (1.7)$$

Na této křivce si opět můžeme určit body, ve kterých specifikujeme vlastnosti dopravního proudu. Bod A je bod, ve kterém dosahuje hustota maximální hodnotu (H_{max}) a rychlost je tím pádem nulová nebo téměř rovna nule. Intenzita má následně dle vzorce (1.1) také nulovou hodnotu a celý dopravní proud stojí nebo se pohybuje stylem „stop and go“, tzv. popojíždění a vytváří kongesci.

Dalším bodem, označeným písmenem B, je vrchol paraboly. Zde dopravní proud dosahuje na křivce maximální intenzity (I_{max}) při optimální hustotě (H_{opt}). Optimální hustotě pak ve vzorci (1.1) odpovídá optimální rychlost (v_{opt}). V tomto bodě je kapacita pozemní komunikace plně využita.

Při menších nebo větších hustotách než je hustota optimální (H_{opt}) může být dosaženo při rozdílných rychlostech stejné intenzity. Tyto body označíme C a D. V bodě C je díky malé hustotě dopravního proudu (menší počet vozidel) možno jet vyšší rychlostí. Naproti tomu v bodě D má dopravní proud vyšší hodnoty hustoty než je optimální hustota a vozidla tak musí udržovat menší rychlost.

Rychlost je z diagramu možno určit díky spojnici vedené z nuly, tedy bodu, kde intenzita i hustota mají nulové hodnoty, do určitého bodu na křivce. Tato směrnice se nazývá radius-vektor. Rychlost zde představuje sklon, který čára svírá s vodorovnou osou (hustota dopravního proudu).

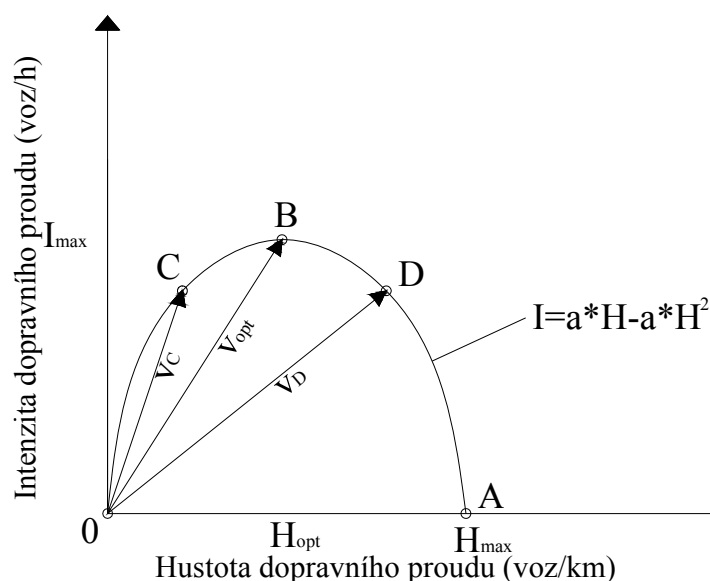
Definované body mají následující charakteristiky:

bod A: $I = 0; H = H_{max} \rightarrow v = 0$

bod B: $I = I_{max}; H = H_{opt} \rightarrow v = v_{opt}$

bod C: $I = I_{CD}; H < H_{opt} \rightarrow v = v_C$

bod D: $I = I_{CD}; H > H_{opt} \rightarrow v = v_D$



Obrázek 5: Vztah mezi hustotou a intenzitou dopravního proudu

2 MODELOVÁNÍ DOPRAVNÍHO PROUDU

Model v obecné rovině je definován jako zjednodušený obraz skutečnosti, která je objektivní realitou. Dopravní model je pokus o napodobení skutečného dopravního procesu na základě konkrétních zákonitostí teorie dopravního proudu. Model dopravního proudu vytvořený pomocí výpočetní techniky představuje účinnou pracovní pomůcku, která rozšiřuje možnosti řešení rozličných úloh a problémů.

Dopravní modely lze využít při:

- prověřování alternativních návrhů, kdy je projektant schopen pomocí modelů porovnat jednotlivé varianty a případně modifikovat vstupní data
- testování nových návrhů, kdy je potřeba ověřit správnost řešení jako například při mimoúrovňových křižovatkách na dálnici
- nalezení problémových míst a jejich diagnostice, případný návrh řešení
- environmentálním posouzení, kdy se modely využívají k posouzení dopadu dopravních staveb na životní prostředí, především znečištění emisemi nebo hluková posouzení
- přípravě různých modelových situací v mnoha profesích, kdy modely simulují různé situace například ve vlakové nebo letecké dopravě pro výuku budoucích dispečerů
- návrhu bezpečnostních opatření, kdy je možno modely využít pro návrh evakuačních plánů nebo opatření na dopravní síti v případě živelných katastrof

Pod pojmem simulace si pak můžeme představit spojení jednotlivých modelů do jednoho celku a vytvoření vzájemných vazeb a interakcí. Činnost simulace zabezpečuje chování jednotlivých modelů na základě matematicky zapsaných vlastností. Výhodou simulování dopravního proudu je umožnění nahlédnout do reálných procesů dopravního proudu bez jeho narušení. Díky výpočetní technice lze pak simulace opakovat, shromažďovat potřebné výstupy případně změnit vstupní data. Právě ta jsou ovšem i největší nevýhodou simulací. Při zastaralosti nebo nepřesnosti správných vstupních údajů o zatížení zkoumané situace jsou modely nepřesné nebo zcela nepoužitelné. Další nevýhodou je fakt, že simulace pouze zobrazuje problém, ale neřeší ho. O případných

opatřeních poté musí rozhodnout projektant nebo dopravní inženýr, simulace ho může pouze nasměrovat.

2.1 Základní prvky dopravního modelování

V rámci vytvoření dopravního modelu je třeba definovat základní charakteristiky a způsoby chování hlavním součástí dopravního systému.

Základní prvky dopravního modelu jsou:

- řidič a jeho chování
- vozidlo a jeho chování
- dopravní síť
- okolní prostředí
- prvky a systémy řízení dopravy a infrastruktury ITS

2.1.1 Řidič a jeho chování

Popsat chování řidičů je největší neznámou dopravních simulací. Každá jednotka je ovlivněna mnoha činiteli. Hlavním faktorem působícím na vnímání a rozhodování řidiče je psychický stav. Fyzický stav zase ovlivňuje dobu reakce řidiče nebo jeho dohledovou vzdálenost. Na ovladatelnost vozidla a viditelnost působí počasí. Všechny tyto aspekty se mění jak v čase, tak s každým řidičem.

Z hlediska modelování jsou nejdůležitější ty, které ovlivňují jízdu vozidla a jeho trajektorii. V tomto případě se jedná o délku rozhledu, konkrétně do jaké vzdálenosti řidič vidí a jestli je viděn. Další potřebný údaj je vnímání času (akceptovatelnost časových mezer), reakční doba řidiče a výběr požadované rychlosti neboli ochota řidičů dodržovat předepsané rychlosti. Tyto charakteristiky lze získat na základě měření reálného dopravního proudu a následně je uplatnit na dopravní model. Ostatní vlivy, kterými jsou například počasí, agresivita řidiče, schopnost odhadu nebo koncentrace, nelze konkrétněji určit a můžou způsobovat nepřesnosti simulace od reálného dopravního proudu.

2.1.2 Vozidlo a jeho chování

Základní parametry vozidel, které je nutné pro dopravní model definovat, jsou rozměry a hmotnost vozidla, výkon motoru a dosahovaná akcelerace nebo decelerace. Většina dopravních modelů pracuje se základními vozidly, jako je osobní automobil,

nákladní automobil a autobus. Pokročilejší modely pak zahrnují i chodce, cyklisty, tramvaje nebo umožňují definovat vlastní typ vozidla.

2.1.3 Dopravní síť

V rámci modelu je nutné zadat především základní stavebně-technické charakteristiky, které tvoří kategorie pozemní komunikace, poloha či geometrické uspořádání křižovatek. Nejdůležitějším krokem je poté určitému dopravnímu proudu přiřadit konkrétní dopravní zatížení zjištěné z průzkumů nebo prognóz.

2.1.4 Okolní prostředí

Tento prvek hraje určitou roli především v makroskopických modelech, kde je zapotřebí zohlednit typy okolních ploch a zón a definovat, jak generují dopravní poptávku a nabídku. Největším příkladem využití toho prvku v modelech je modelování hlukových map nebo modelování zvyšování emisí.

2.1.5 Prvky a systémy řízení dopravy a infrastruktura ITS

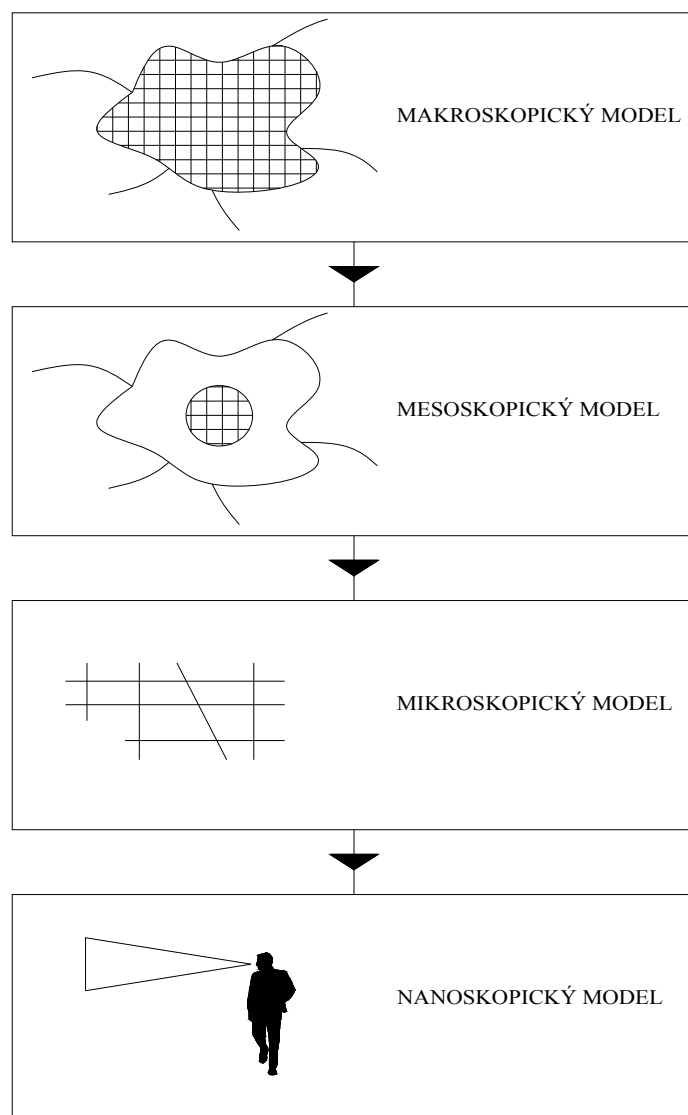
Systémy řízení dopravy pomáhá především zvýšit efektivitu řízení dopravních procesů. Mezi základní možnosti, které ovlivňují dopravní proud, patří světelně signalizační zařízení, regulace rychlosti na základě dopravního značení a metoda informování a navigování řidičů. Simulací těchto metod lze experimentovat s jejich nastavením a najít tak správné zefektivnění, které nejlépe ovlivní reálný systém.

2.2 Základní způsoby dopravního modelování

Základem dopravních modelů je, co nejvěrněji modelovat pohyb vozidel a jejich vzájemné ovlivňování v dopravním proudu. Nelze však vytvořit jeden univerzální model, který by šel použít pro všechny situace. Hlavní rozdíly mezi jednotlivými modely jsou rozsah modelované sítě, míra přibližování se skutečnému stavu a zobrazení detailu.

Existují následující modely:

- Makroskopický model
- Mesoskopický model
- Mikroskopický model
- Nanoskopický model



Obrázek 6: Hierarchie modelů dle zobrazení detailu

Pro zobrazení reálného stavu se nejčastěji používají nanoskopické a mikroskopické modely. Ovšem pro rozsáhlé dopravní sítě jsou tyto modely velmi náročné a zbytečně detailní. Pak je lepší využít více zobecňující makroskopické a mesoskopické modely. Požadovaná úroveň detailu simulace je závislá na rozsahu zkoumané sítě. U dopravních sítí většího rozsahu je možno některé detaily zobecnit, a proto bývá aplikována abstrakce. Abstrakcí se rozumí metoda, která dovozuje některé méně významné prvky zanedbat. Příkladem tohoto zobecnění může být zobrazení křižovatky u makroskopických modelů, kdy je do dopravního modelu zanesena jako uzel bez definice detailů.

Dalším kritériem pro rozdělení dopravních modelů je uvažování nebo neuvažování náhodných vlivů a veličin. Dle tohoto kritéria můžeme rozdělit modely na stochastické a deterministické. Stochastické modely uvažují u sledovaných jevů s pravděpodobností určitých událostí a zohledňují náhodné vlivy. Pro své aktivity a interakce používají náhodně generovaná čísla. Deterministické jevy s náhodnými vlivy vůbec nepočítají. Řídí se přesnými matematickými, statistickými nebo logickými vztahy, které jednoznačně určují jejich chování. Příkladem rozdílu mezi těmito dvěma modely je výběr směru určitého vozidla na křižovatce. Pohyb může být realizován buď cílovým místem, což odpovídá deterministickému modelu nebo pravděpodobnostním rozdělením pohybů jednotlivých vozidel na větvi křižovatky, což charakterizuje stochastický model.

Dalším členěním modelů může být zohlednění jejich působnosti modelu v čase. Jedním je model diskrétního času, kde je čas rozdělený do stejných intervalů a simulace provádí pro každý interval všechny aktivity, které během něj nastanou. Druhým způsobem je model diskrétní události. Každé události je přiřazena hodnota v čase a na základě této hodnoty je vyjádřena časová posloupnost událostí. Tento způsob je vhodný pro systémy s limitovanou velikostí nebo tam, kde se určité stavy mění v malé míře, což je například změna fáze na návěstidle.

2.2.1 Makroskopické simulační modely

Tyto modely se využívají k simulaci rozsáhlých komunikačních sítí a slouží především k prognostickým účelům. Modelování makroskopického modelu se vyznačuje problematickým sběrem dat, který je vzhledem k velikosti modelu velmi objemný ale i časově náročný. Vstupními daty jsou dopravní zatížení jednotlivých úseků, směrové průzkumy, údaje o funkcích a využití jednotlivých ploch v okolí dopravní sítě, které generují dopravní nabídku a poptávku, a také průzkumy zaměřené na dopravní chování.

Mezi základní simulační možnosti patří přidělení dopravní zátěže na simulační síť formou kartogramů intenzit, směrová distribuce dopravních proudů, nalezení dopravních kongescí, tvorba šokových vln apod. Tyto výsledky mohou sloužit k analýze stávající komunikační sítě, k prověření dopravních záměrů, posuzování alternativních řešení a posuzování dopadů na dopravní síť při dopravním omezení.

Jejich podstata je velice blízká standardním kapacitním výpočtům, avšak výhodou je automatizování tohoto procesu a možnost výpočtu u plošné rozsáhlé sítě. Nevýhodou je nižší úroveň prezentace výstupů formou dynamické simulace v reálném prostředí.

Základem makroskopických modelů je vztah mezi rychlostí a hustotou dopravního proudu. Při vytváření modelů se vychází z předpokladů, že při stoupající hustotě vozidel se snižuje rychlost dopravního proudu. Tato skutečnost byla dokázána v předchozím textu. Následně dle vztahu (1.1) můžeme zjistit intenzitu.

Mezi nejvyužívanější makroskopické modely se řadí Greenshieldsův lineární model, Greenbergův logaritmický model, Underwoodův exponenciální model a Pipesův zobecněný model.

2.2.2 Mesoskopické modely

Modely kombinují vlastnosti jak mikroskopických tak makroskopických modelů. Mají využití při simulaci středně rozsáhlých sítí, avšak oproti čistě makroskopickým modelům vycházejí z vlastností jízdy jednotlivých vozidel. S makroskopickými modely mají společné především zobecnění chování vozidel, které není řešeno tak detailně jako v modelu mikroskopickém. Například manévr změny jízdního pruhu je reprezentován jako okamžitá událost s rozhodováním podle relativní hustoty jízdního pruhu na rozdíl od detailních interakcí vozidel.

2.2.3 Mikroskopické modely

V dopravních simulacích se nejčastěji používají mikroskopické dopravní modely. Tyto simulační modely jsou založeny na modelování jízdy jednotlivých vozidel po dané komunikační síti, přičemž zohledňují všechny parametry infrastruktury i dopravních prostředků, včetně chování řidičů.

Základem mikrosimulačních modelů je kvalitní digitální nebo rastrový podklad. U vozidel se zadávají rozměry, dosahovaná rychlost, zrychlení a zpomalení, hmotnost vozidla nebo výkon motoru. Tyto údaje jsou jednoznačné a je možné provést jejich statistické zhodnocení pro jednotlivé kategorie vozidel a následně je tímto způsobem zadat jako vstupní parametry. Součástí vstupů jsou dále charakteristiky řidičů nebo ostatních účastníků provozu (chodci, cyklisté, tramvaje). Vlastní chování vozidel, jejich vzájemné interakce, reakce na okolní podněty jsou dány dlouhodobě ověřenými a detailně

zpracovanými modely. Tyto modely je vždy třeba kalibrovat na podmínky dané země pro zjištění skutečně věrohodných výsledků. Dalším vstupem jsou data o zatížení komunikační sítě, tedy celkové intenzity, podíly nákladních vozidel v dopravním proudu a další údaje.

Výstupem jsou pak standardní údaje, které lze zjišťovat i v rámci jiných dopravních průzkumů. Může to být například kapacita komunikace nebo křižovatky, zdržení, délka front, úseková rychlost a průměrná rychlost. Složitější programové balíky umožňují simulace i náročnějších úloh, jako jsou analýzy vlivu dopravy na životní prostředí, hlukové studie, studie parkování, simulace provozu mýtných bran nebo simulace hromadné dopravy osob.

Mezi nejvýznamnější mikroskopické modely se řadí základní „Car following“ model, model optimální rychlosti (model OVM) a model inteligentního řidiče (model IDM), Wiedemannův model a Gippsův model.

2.3 Principy základních dopravních modelů

2.3.1 Greenshieldsův lineární model

Tento model patří k nejstarším a nejjednodušším makroskopickým modelům založených na vztahu rychlosti a hustoty. Publikován byl roku 1935 profesorem Brucem Douglasem Greenshieldsem, který působil na Michigan University. Vzhledem k tehdejší schopnostem výpočetní techniky byl i nejvyužívanější.

Základem modelu bylo měření rychlostí a intenzit, ze kterých byla dopočítána hustota. Hlavním předpokladem je ustálený a homogenní dopravní proud, tedy že rychlosti a jednotlivých vozidel jsou stejné a hustota je ve všech místech stejná. Potom lze odvodit, že z lineární závislosti $v(H)$ vyplývá parabolická závislost $I(H)$.

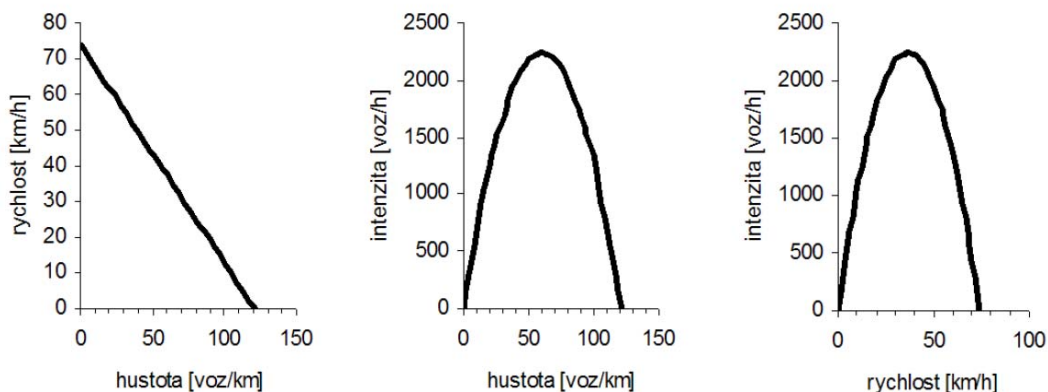
Lineární závislost lze pak formulovat takto:

$$v(H) = v_{max} * \left(1 - \frac{H}{H_{max}}\right) \quad (2.1)$$

Po dosazení do rovnice (1.1) dostaneme kvadratickou závislost intenzity na hustotě:

$$I(H) = v(H) * H = v_{max} * \left(H - \frac{H^2}{H_{max}} \right) \quad (2.2)$$

Pro nastavení správných parametrů se u Greenshieldsova lineárního modelu použije maximální hustota (H_{max}) a maximální rychlost (v_{max}). Maximální rychlost definoval jako rychlost na dopravně nezatížené volné komunikaci (angl. free flow speed) a maximální hustotu jako hustotu při kongesci. Maximální intenzita (I_{max}) je dosažena při hustotě, která se rovná polovině hustoty maximální (H_{max}) a rychlosti, která odpovídá polovině maximální rychlosti (v_{max}).



Obrázek 7: Fundamentální diagramy podle Greenshieldse

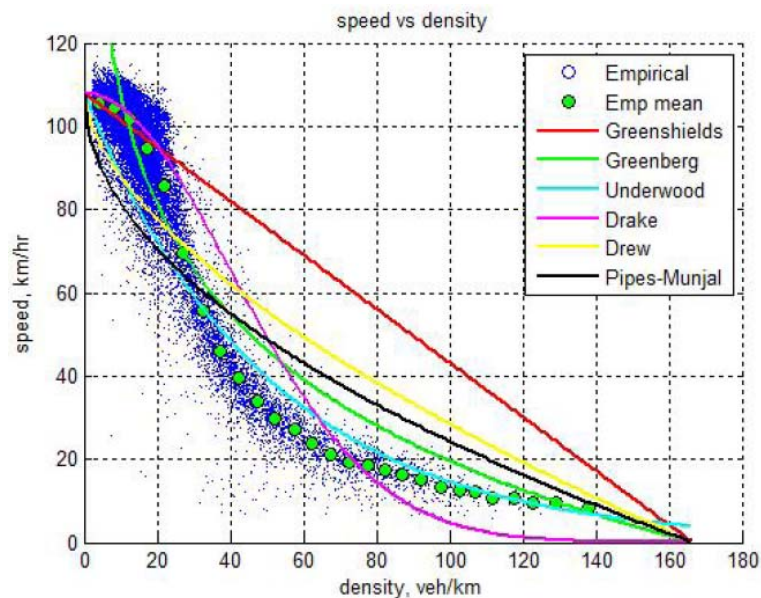
Hlavním problémem tohoto modelu byla naměřená data, která přestože byla získána ze směrově nerozdělených komunikací, byla aplikována i na směrově rozdělené komunikace. Ostatní problémy pak spočívaly ve statistických metodách, metodách dopravního průzkumu a z metodiky, kdy se ze známé rychlosti a intenzity dopočítala hustota.

Model je nerealistický především v oblasti nízkých hustot, jelikož se při tomto stavu vozidla s velkými rozestupy vzájemně neovlivňují. Důsledkem lineární závislosti rychlosti a hustoty je pak symetrie grafu hustota-intenzita. Maximální intenzita (kapacita) je však ve skutečnosti dosahována při menších hustotách. Snahou dalších vědců pak bylo tyto nedostatky odstranit.

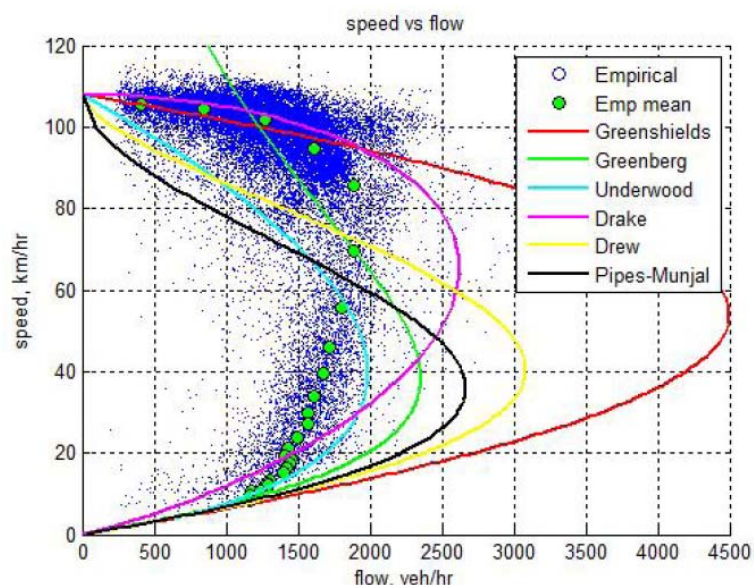
Pro srovnání uvádím tabulku odlišných vyjádření rovnice rychlosti pro různé makroskopické modely, na které lze pozorovat podobnost příslušných modelů:

Tabulka 1: Srovnání makroskopických modelů

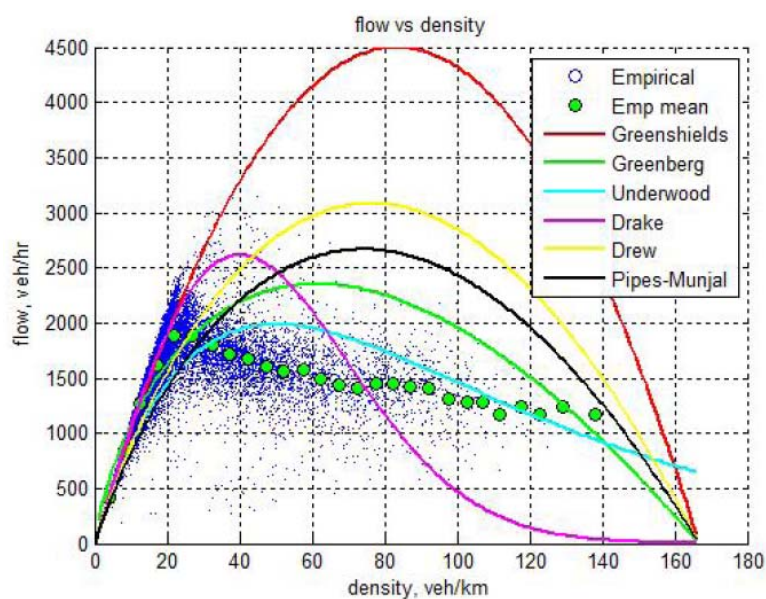
Autor modelu	Model	Veličiny
Greenshields	$v = v_{max} * \left(1 - \frac{H}{H_{max}}\right)$	v_{max} ...free flow speed H_{max} ...hustota při kongesci
Greenberg	$v = v_m * \ln\left(\frac{H_{max}}{H}\right)$	v_m ...rychlost při optimální intenzitě H_{max} ...hustota při kongesci
Underwood	$v = v_{max} * e^{-\frac{H}{H_{opt}}}$	v_{max} ...free flow speed H_{opt} ...hustota při optimální intenzitě
Northwestern	$v = v_{max} * e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{H}{H_{opt}}\right)^2}$	v_{max} ...free flow speed H_{opt} ...hustota při optimální intenzitě
Drew	$v = v_{max} * \left[1 - \left(\frac{H}{H_{max}}\right)^{n+\frac{1}{2}}\right]$	v_{max} ...free flow speed H_{max} ...hustota při kongesci n ...nabývá hodnot větších než -1
Pipes-Munjál	$v = v_{max} * \left[1 - \left(\frac{H}{H_{max}}\right)^n\right]$	v_{max} ...free flow speed H_{max} ...hustota při kongesci n ...reálné číslo větší než 0



Obrázek 8: Srovnání makroskopických modelů na vztahu hustota-rychlost



Obrázek 10: Srovnání makroskopických modelů na vztahu intenzita-rychlost



Obrázek 9: Srovnání makroskopických modelů na vztahu hustota-intenzita

Na obrázcích 8,9 a 10 vidíme fundamentální diagramy pro různé makroskopické modely, v které se od sebe odlišují rovnicí pro výpočet rychlosti.

2.3.2 Model následujícího vozidla

Nejrozšířenějším typem mikroskopických modelů je „car-following“ model, tedy model následujícího vozidla nebo model sledu vozidel. Popisuje pohyb a chování i-tého vozidla v dopravním proudu v závislosti na předchozím vozidle. Základním principem je

stanovení závislosti zrychlení vozidla na okolních podmínkách, což v zjednodušeném duchu znamená stav předcházejícího vozidla.

Obecně lze zrychlení v mikroskopických dopravních modelech vyjádřit takto:

$$a = f(v, \Delta v, \Delta x) \quad (2.3)$$

V tomto vyjádření zrychlení představuje v rychlost vozidla v dopravním proudu, Δv relativní rychlost vzhledem k předcházejícímu vozidlu a Δx odstup od předcházejícího vozidla.

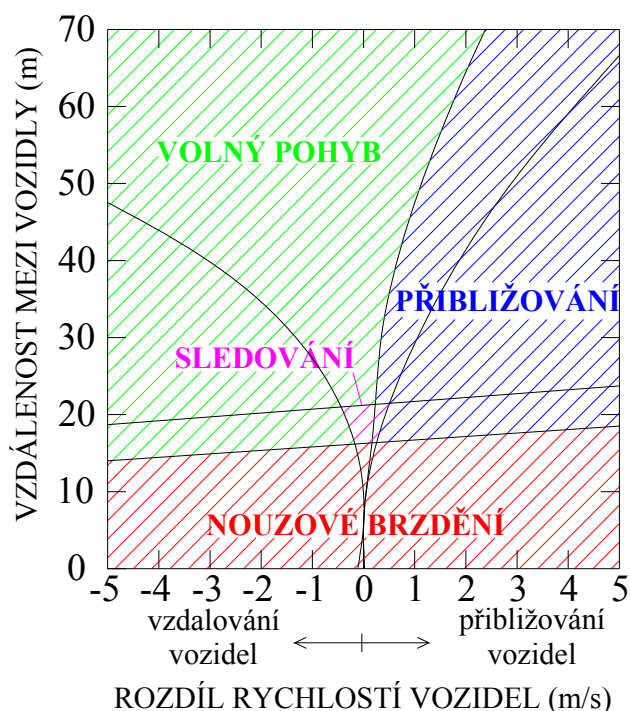
Zkoumáním dopravního proudu, především způsobu a míry ovlivňování vozidel mezi sebou vzniklo mnoho mikroskopických modelů. Prvním přístupem je předpoklad, že všichni řidiči udržují bezpečnou vzdálenost mezi vozidlem svým a vozidlem předchozím a změnu provádí jen v případě změny rychlosti vozidla předchozího. Tyto modely jsou založeny především na akceleraci a deceleraci. Druhý přístup je založen na vzdálenosti mezi vozidly a předpokládá, že rychlost následujícího vozidla závisí na vzdálenosti od vozidla jedoucího před ním a změna nastává v případě, kdy se tato vzdálenost mění.

Nejrozšířenější modely, které jsou použity v simulačních softwarech, jsou modely Wiedemanna (VISSIM) a Gippse (AIMSUN). Na druhou stranu v komunitě matematiků a fyziků, kteří se zabývají modelováním dopravního proudu je nejuznávanější IDM model, tedy model inteligentního řidiče.

2.3.2.1 Wiedemannův model

Tento model byl poprvé představen roku 1968 profesorem Wiedemannem na univerzitě v Karlsruhe. Model patří do kategorie psychofyzilogických modelů, které kombinují psychologické aspekty a fyziologické omezení řidičova vnímání. Základem je akce řidiče, která je provedena při dosažení určité hranice vzdálenosti mezi vozidly a rozdílu rychlostí mezi vozidly, kterou řidič odhaduje pouze relativně. Simulační model hledá tyto hranice, které jsou pro řidiče dostatečně významné, aby na jejich základě udělal určité rozhodnutí. Tyto hranice Wiedemann nazval jako prahové hodnoty.

Tři základní stavové veličiny, kterými je vzdálenost mezi vozidly, rozdíl rychlosti vozidel a rychlost vozidla, jsou vynášeny do grafu, kde vymezují plochy, které odpovídají různým reakcím řidičů.



Obrázek 11: Schéma Wiedemanna modelu

Prahové hodnoty vymezují čtyři typy chování:

- Volný pohyb
- Přibližování
- Sledování
- Nouzové brzdění

U volného pohybu se vozidlo pohybuje maximální možnou rychlostí nebo se jí snaží dosáhnout. Pokud se začne hustota na pozemní komunikace zvyšovat, musí nastat stav, kdy se vozidlo určitou rychlostí přibližuje k pomalejšímu vozidlu. Po krátkém zpoždění daném fyziologickou reakcí začne decelerovat a snaží se přizpůsobit svoji rychlost a vzdálenost předcházejícímu vozidlu. Následuje stav, kdy vozidlo následující, sleduje vozidlo předcházející a snaží se kopírovat jeho styl jízdy jak hodnotou rychlosti, tak udržením konstantní vzdálenosti mezi vozidly. Vedoucí vozidlo se ovšem může dostat do stavu, kdy je nutno náhle zpomalit. V tomto okamžiku záleží na čase reakční doby řidiče. Při rychlém zareagování pouze sníží dosavadní vzdálenost mezi vozidly, při špatné reakci může dojít až ke kolizi.

2.3.2.2 Gippsův model

Základy modelu se objevily v roce 1981. Princip spočívá v předpokladu, že každý řidič je omezen maximální akcelerací a decelerací, které jsou stejné v celém rozsahu rychlostí, vzdáleností mezi vozidly a relativních rychlostí. Dalším předpokladem je snaha řidiče udržet jak rychlost, tak vzdálenost od předchozího vozidla v rozumných mezích.

Základním pravidlem Gippsova modelu je zavedení omezení rychlosti, aby nemohlo dojít ke srážce. Vozidlo tak nikdy nepřekročí svoji maximální rychlost a jeho zrychlení by mělo za volné dopravy z maximální hodnoty klesat k nule.

Na základě kalibrace experimentálních dat plovoucích vozidel pohybujících se v reálném čase dopravním proudem sestavil tento vztah pro rychlost, který se týká osamocенého vozidla, které je omezeno pouze svoji maximální rychlostí:

$$v_n(t + \tau) \leq v_n(t) + 2,5a_n\tau * \left(1 - \frac{v_n(t)}{V_n}\right) * \sqrt{\left(0,025 + \frac{v_n(t)}{V_n}\right)} \quad (2.4)$$

V tomto komplikovaném vzorci vyjadřuje a_n maximální akceleraci vozidla, V_n je cílová hodnota vozidla odpovídající volné dopravě bez omezení, $v_n(t)$ je rychlost vozidla v čase t a τ je reakční doba řidiče.

Gippsův model byl prvním skutečným realistickým modelem dopravního proudu, především díky jeho schopnosti reprodukovat reálné charakteristiky dopravního proudu bez nutnosti zavádění parametrů, které s vlastnostmi řidiče nesouvisí.

2.3.2.3 Model inteligentního řidiče (IDM)

Model vznikl v roce 2000 pod vedením Martina Treibera a Dirka Helbinga na univerzitě v Drážďanech. Jádrem modelu je stanovení závislosti akcelerace, odstupu předcházejícího vozidla a relativní rychlosti sledovaného a předcházejícího vozidla.

Model lze považovat za interpolaci dvou členů pro akceleraci a deceleraci:

$$a_i = a_{acc} + a_{dec} \quad (2.5)$$

Klíčový vztah modelu inteligentního řidiče má tvar:

$$a_i(s_i, v_i, \Delta v_i) = a_{i0} \left[1 - \left(\frac{v}{v_{i0}} \right)^\delta - \left(\frac{s_{opt}(v_i, \Delta v_i)}{s_i} \right)^2 \right] \quad (2.6)$$

Z výše uvedených vztahů (2.5) a (2.6) vyplývá, že zrychlení při volném dopravním proudu, kdy odstup mezi vozidly inklinuje k nekonečnu, můžeme vyjádřit:

$$a_{i,acc}(v) = a_{i0} \left[1 - \left(\frac{v}{v_{i0}} \right)^\delta \right] \quad (2.7)$$

Parametr a_{i0} nazýváme tzv. komfortním zrychlení a v_{i0} cílovou rychlostí vozidla. Součinitel δ má za úkol zachytit realističnost akcelerace sledovaného vozidla. Hodnoty tohoto parametru se teoreticky mohou pohybovat od 1 do nekonečna. Experimentálně byla však tato hodnota stanovena na $\delta \approx 4$.

Ze vztahu (2.6) můžeme dále určit člen deceleraci:

$$a_{i,dec}(s_i, v_i, \Delta v_i) = -a_{i0} \left[\left(\frac{s_{opt}(v_i, \Delta v_i)}{s_i} \right)^2 \right] \quad (2.8)$$

Efektivní optimální vzdálenost vozidel je definována jako:

$$s_{opt}(v_i, \Delta v_i) = s_{i0} + v_i * T + \frac{v_i * \Delta v_i}{2 * \sqrt{a_{i0} * b_{i0}}} \quad (2.9)$$

Parametr s_i je definován jako okamžitá vzdálenost od přecházejícího vozidla a parametr s_{i0} představuje minimální vzdálenost „nárazník-nárazník“ při zcela statické dopravě. Druhý člen představuje bezpečnou vzdálenost, kde T je zvolený časový odstup v nekolabující dopravě. Poslední část vzorce představuje tzv. inteligentní prvek, který vyplývá ze strategie brzdění. Opět se zde vyskytuje komfortní zrychlení a_{i0} a jeho obdoba pro zpomalení b_{i0} . Parametr komfortního zpomalení je pro bezkolizní model nezbytný.

Výhodou tohoto modelu je nízký počet parametrů, které navíc mají intuitivní charakter, a proto je možné je určit smysluplným uvažováním.

Tabulka 2: Přehled typických hodnot pro parametry v IDM

Parametr modelu IDM	Typická hodnota	Smysluplná hodnota
Maximální rychlost v_{i0} (km/h)	120	50 - 200
Bezpečný časový odstup T (s)	1,5	0,9 - 3,0
Minimální vzdálenost s_{i0} (m)	2,0	1,0 - 5,0
Komfortní zrychlení a_{i0} (m/s ²)	1,4	0,3 – 3,0
Komfortní zpomalení b_{i0} (m/s ²)	2,0	0,5 - 3,0

2.4 Průběh simulační studie

Simulační proces je složen ze dvou základních etap a jedné doplňkové. Součástí první části je návrh a tvorba simulačního modelu. Tato etapa obnáší sběr a vyhodnocení dat, které jsou pak v konkrétním modelu použity. Během druhé etapy pak na vytvořeném a ověřeném modelu probíhají simulační procesy. Třetí doplňkovou etapou je realizace simulovaného záměru. Tato práce už nepatří k úkolu projektanta, ten pomocí simulace pouze naznačí směr, kterým by se měl zadavatel projektu ubírat, aby byl problém vyřešen. Celý proces je rozdělen do 11 základních kroků.

2.4.1 Formulace dopravního problému

První krokem je specifikace řešeného problému. Je nutné správně a srozumitelně definovat řešený problém a rozhodnout, zda je možné pomocí aplikace simulačních technik nalézt vhodné řešení. Dále se v této fázi volí nejlepší možný dopravní model, tedy, jestli je lepší makroskopický nebo mikroskopický.

2.4.2 Stanovení cílů a celkového plánu simulačního procesu

V tomto kroku určíme základní cíle, na které se během modelování zaměříme. Volí se základní časový plán simulační studie, popřípadě stanovení okruhu spolupracovníků, kteří se budou podílet na sběru dat nebo kteří budou provádět experimenty. Je nutné zvolit vhodný typ hardwaru a softwaru finanční krytí jednotlivých kroků ze strany zadavatele zakázky.

2.4.3 Vytvoření koncepce modelu

Obsahem této fáze je výběr správné metodiky pro tvorbu modelu a stanovení míry abstrakce zkoumaného objektu. Obecně je doporučeno začít s jednoduchým modelem a postupně jej obohacovat o další prvky (cyklistická doprava, městská hromadná doprava). Zároveň je nutno si uvědomit, že nadměrně rozsáhlý model může obsahovat drobné chyby, které při takovém objemu dat mohou být špatně dohledatelné a navíc je podrobný model časově a finančně náročnější.

2.4.4 Sběr a analýza dat

Charakter dat a způsob sběru je určen na základě stanovení cíle a účelu celého procesu. Data mohou být buď údaje popisující vlastnosti jednotlivých prvků reálného prostředí (geometrické uspořádání dopravní sítě), data o vstupech prvků z okolí do systému (dopravní intenzity) nebo údaje o rozhodovacích pravidlech pro řešení konfliktů ve zkoumaném systému (údaje o signalizačním světelném zařízení).

2.4.5 Vytvoření simulačního modelu

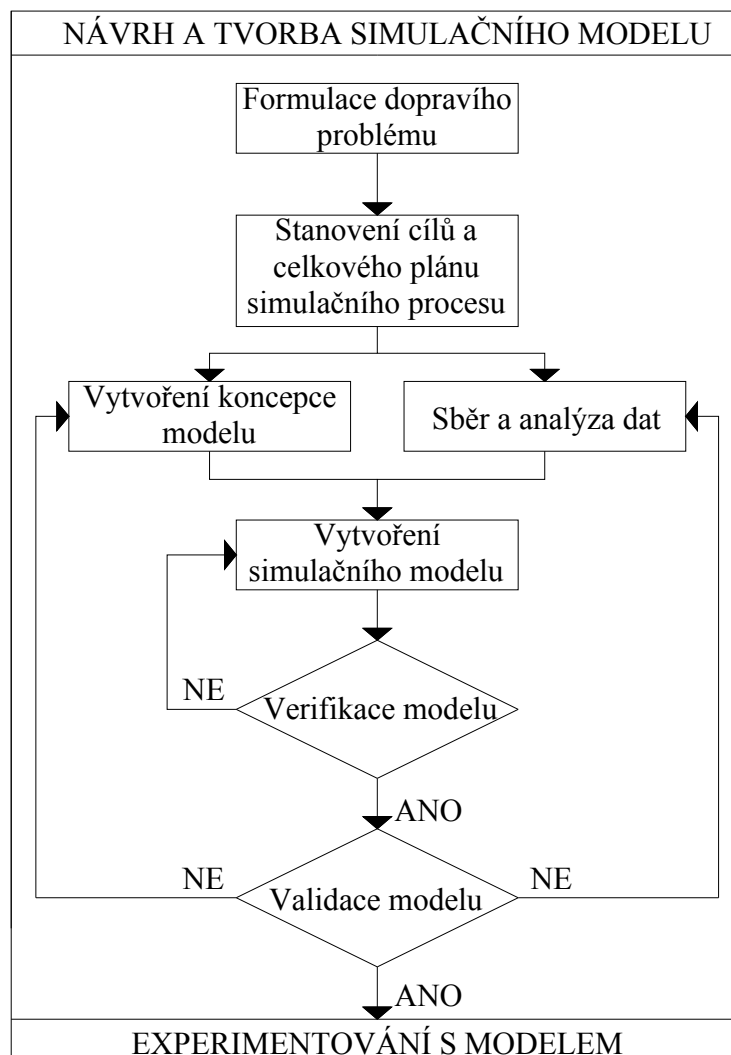
V tomto kroku je z konceptuálního modelu vytvořen model počítačový, na kterém jsou následně prováděny experimenty. Práce na modelu je nutné věnovat velkou pozornost, jelikož počítačový model je základ všech simulačních procesů.

2.4.6 Verifikace modelu

Pod pojmem verifikace rozumíme kontrolu a ověření funkčnosti modelu. Model je považován za správný, jestliže průběh vytvořené simulace odpovídá představám, které byly formulovány při tvorbě koncepce modelu. Během verifikace se testují hlavně funkční charakteristiky modelu a jejich správnost, dodržování fyzikálních zákonů nebo korektnost generovaných vstupů.

2.4.7 Validace modelu

Validace je proces, při kterém se potvrzuje fakt, že vytvořený model odpovídá reálné předloze a poskytuje a reálné výsledky s požadovanou mírou přesnosti pro daný účel simulační studie. Metodami validace může být například porovnání dat s reálným systémem, jiným modelem nebo použití statistických metod.



Obrázek 12: Průběh simulační studie – I.fáze

2.4.8 Návrh simulačního procesu

V této fázi se vytváří plán simulačních experimentů, kdy je nutno stanovit počet pokusů, délku a způsob provádění, aby se mohl být získán potřebný počet kvalitních dat.

2.4.9 Provedení a analýza simulace

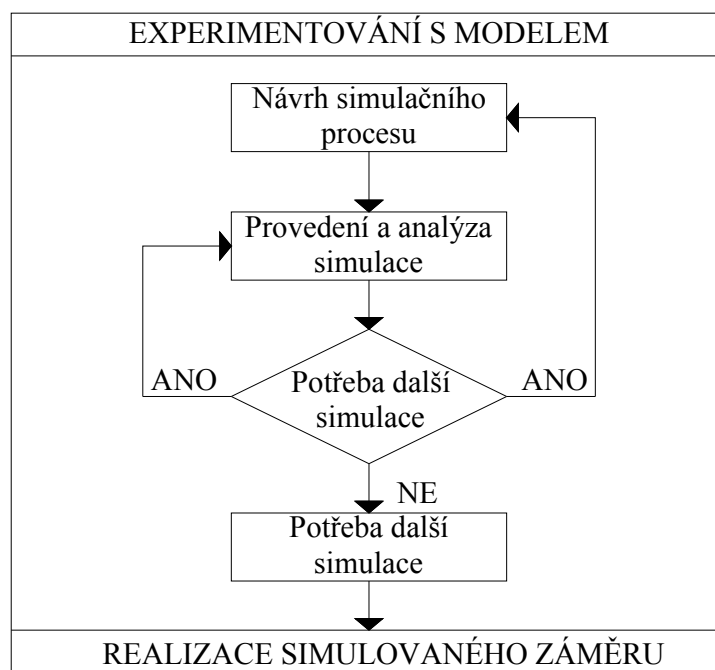
Podstatou tohoto kroku je provádění simulačních experimentů s následným vyhodnocením získaných dat.

2.4.10 Potřeba další simulace

Tato fáze nastává v případě, že se při experimentování objevily problémy nebo nové skutečnosti, které je třeba v simulačním modelu opravit nebo zohlednit. Tento krok vůbec nemusí nastat, pokud je vytvoření prvního simulačního modelu správné.

2.4.11 Sestavení závěrečné zprávy

Závěrečná dokumentace musí obsahovat popis simulačních experimentů, jejich vyhodnocení i porovnání případných variantních řešení. Výsledky simulací musí být prezentovány jasně a srozumitelně formou protokolů, statistického zpracování nebo jiných výstupů, adekvátních účelu simulační studie.



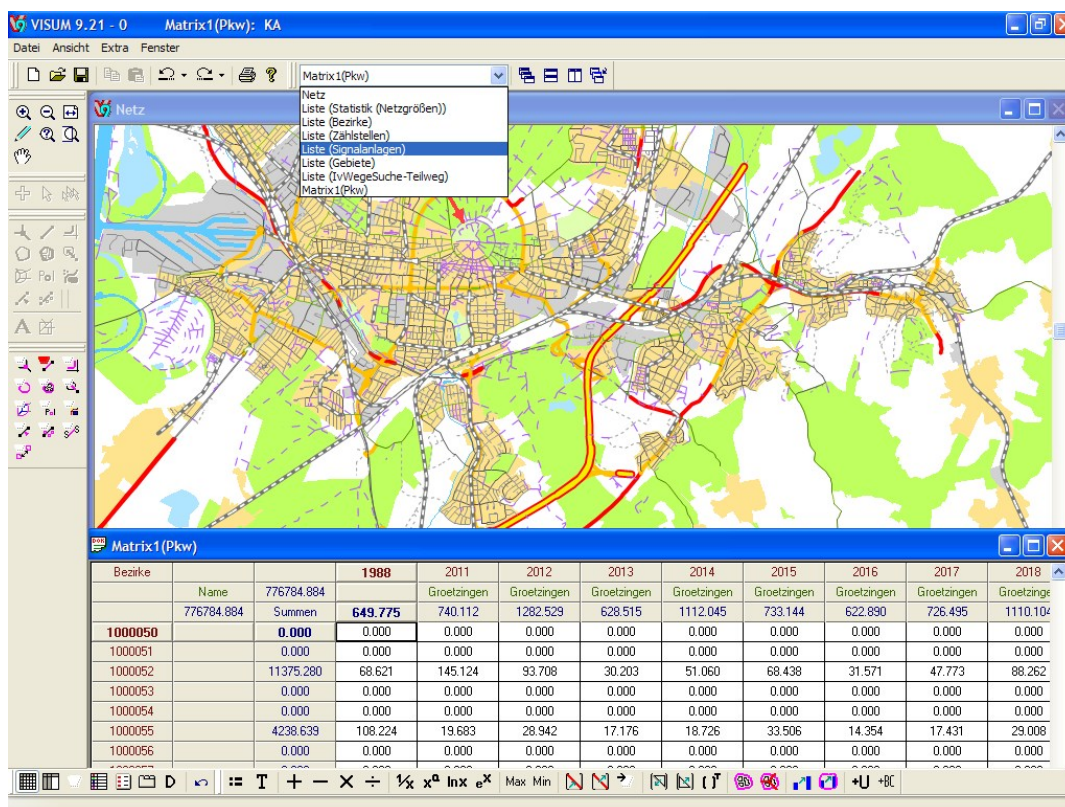
Obrázek 13: Průběh simulační studie – II.fáze

2.5 Nejpužívanější simulační nástroje

Makroskopické dopravní simulační nástroje se zakládají na vztahu mezi intenzitou, rychlostí a hustotou dopravního proudu a jsou určeny pro modelování rozsáhlých dopravních sítí. Jejich rozlišovací úroveň je obecně nižší a popisují především celkové chování dopravního proudu. Tyto modely jsou také méně náročné na výpočetní techniku. Využívají se především k řešení dlouhodobého strategického plánování, k environmentálnímu posouzení, k simulování veřejné hromadné dopravy nebo k řešení

parkování. Mezi nejznámější softwary se řadí především VISUM, OmniTRANS a EMME. Za ostatní lze zmínit FREFLO, KRONOS, METACOR, QUESTOR a český software AUTO.

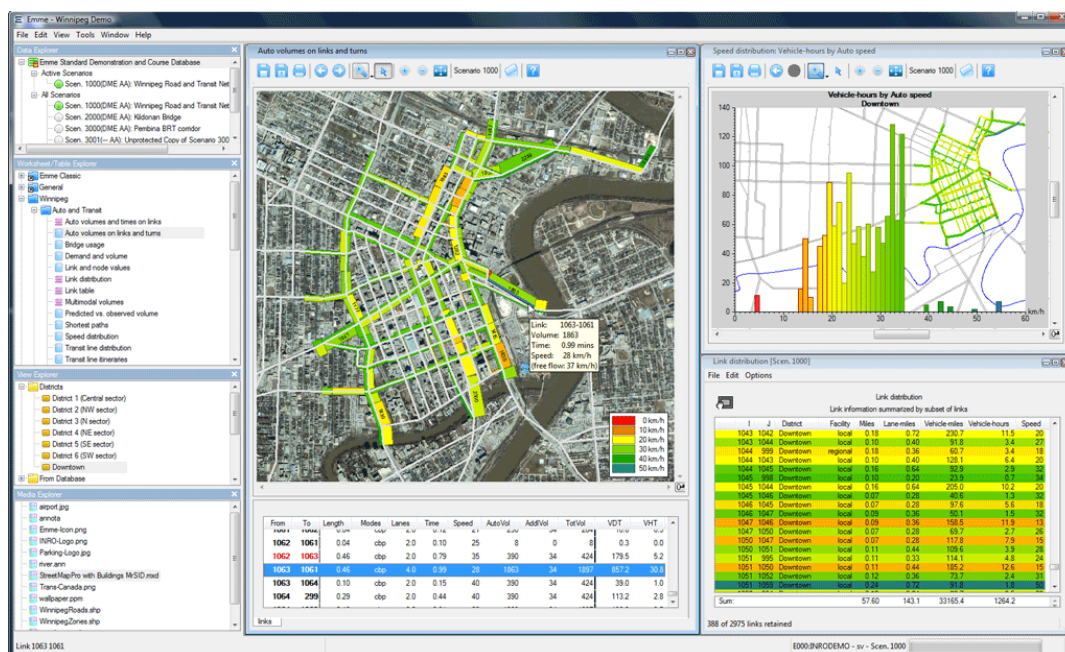
Program VISUM byl vyvinut v Německu a je aplikovatelný na městské, regionální i celostátní systémy. Specializuje se především na dopravní plánování, modelování poptávky a správu údajů ze sítě. Zahrnuje všechny druhy dopravy a je schopen spolupracovat s GIS aplikacemi. Obsahuje také model pro prognózu dopravy, který je založen na vzorech aktivit homogenně se chovajících se skupin obyvatel, a lze pomocí něj určovat objemy dopravy mezi vybranými zónami.



Obrázek 14: Software VISUM

Software OmniTRANS pochází z Nizozemí a slouží pro dopravní plánování a modelování středních i velkých dopravních sítí. Model je multimodální a zahrnuje drážní vozidla, osobní a nákladní automobily, autobusy, cyklisty i chodce. Dopravní poptávka i nabídka může být prováděna jak staticky tak dynamicky.

V neposlední řadě je používán software EMME/2 nebo EMME/3. Byl vyvinut v Kanadě a je vhodný především pro rozsáhlé dopravní simulace, kde uplatňuje důraz na socioekonomické vazby. Součástí celkového modelu je i rovnovážný model nabídky a poptávky, kdy je poptávka reprezentována pomocí matice vztahů a nabídka pak modelovanou dopravní sítí.

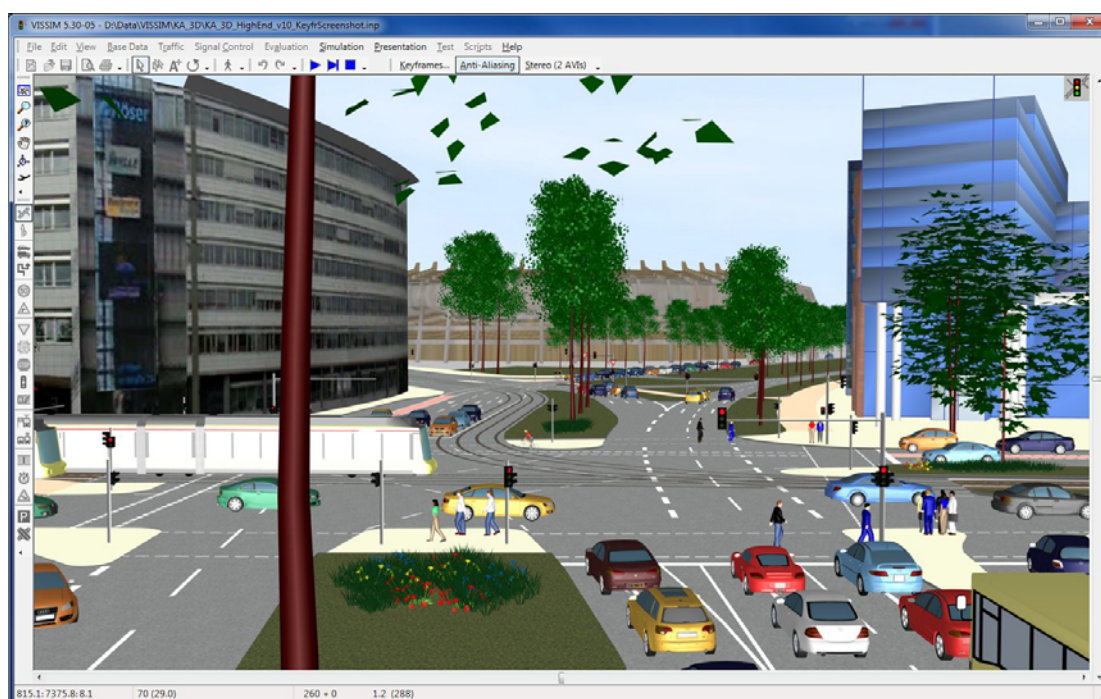


Obrázek 15: Software EMME

Mesoskopické simulační nástroje pracují na principu kombinace makroskopických a mikroskopických modelů. Mezi nejrozšířenější software patří DYNASMART, který byl vytvořen ve Spojených státech. Je využíván k simulacím středně velkých sítí, modelování vlivu chování řidičů nebo vlivu dopravních nehod na stav dopravy. Dalším programem je CONTRAM, který je používán na modelaci proměnného dopravního toku a umožňuje simulovat kongesce nebo vlivy dopravní nehody na dopravní proud. Tento software také obsahuje emisní model, který umožňuje nasimulovat spotřebu paliva dle typu vozidel.

Principy mikroskopických simulací zohledňují všechny dostupné parametry dopravní sítě, vozidel nebo chování řidičů. Každé vozidlo je v modelu zadáno specifickými vlastnostmi a je tedy unikátní. Tyto simulace jsou velice náročné na hardware. K nejznámějším představitelům mikroskopických simulačních nástrojů se řadí VISSIM, PARAMICS a AIMSUN. Dalšími jsou například CORSIM, MITSIM, DRACULA, MICROSIM nebo TRAFFICWARE.

VISSIM je program stejné firmy jako VISUM. Je určený především pro modelování multimodálních proudů a jeho podstatou je „car-following“ model. Nejčastěji se VISSIM používá k posouzení návrhů dopravní infrastruktury, návrhu řízení dopravy na pozemních komunikacích, analýzy ITS a simulace chování telematiky v řízení dopravního provozu nebo simulace hromadné dopravy. Výhodou tohoto softwaru je možnost zadávání různých vstupních parametrů, které umožňují vytvoření kvalitních simulací i ve 3D animaci. Nevýhody jsou pak vysoká pořizovací cena a nemožnost zadávat dopravní síť pomocí oblouků a křivek, což je velký nedostatek především v modelaci křižovatek.



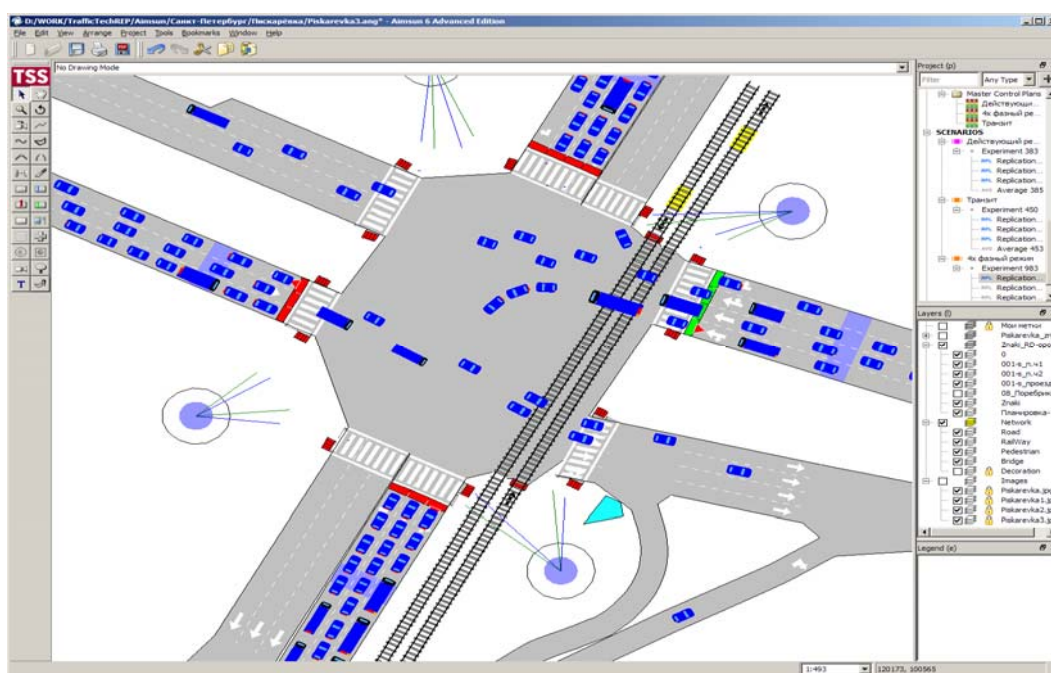
Obrázek 16: Software VISSIM

Dalším často používaným softwarem je PARAMICS. Využívá se především k modelování signalizovaných, nesignalizovaných a okružních křižovatek, modelování dopravy ve městech a umožňuje simulovat její řízení pomocí ITS nebo proměnného dopravního značení. Výhodou oproti VISSIM je přímá implementace funkce okružní křižovatky, kdy odpadá nutnost složitého modelování, a možnost zadávání přesně definovaných oblouků a křivek.



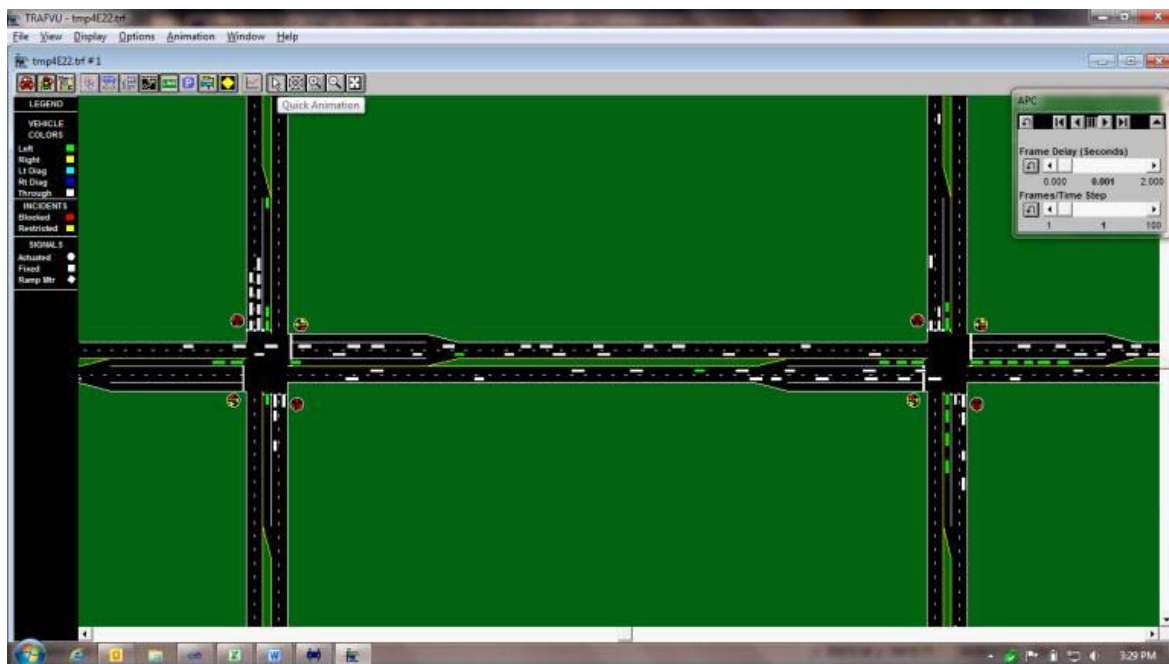
Obrázek 17: Software PARAMICS

AIMSUN je mikroskopický simulační model, který byl vyvinut v Barceloně v 90. letech. Jeho název se skládá z počátečních písmen originálního názvu Advanced Interactive Micro-Simulation for Urban and Non-Urban Networks. Software rozlišuje různé typy a vlastnosti vozidel a řidičů. Největší výhodou je poměrně snadné ovládání. Toho je však docíleno na úkor množství ovlivnitelných parametrů. Nevýhodou je nemožnost definovat okružní křižovatky, oblouky a křivky.



Obrázek 18: Software AIMSUN

Nanoskopické simulační nástroje se používají pouze zřídka, jelikož jsou velice náročné na výpočetní techniku a vyžadují velké množství vstupních parametrů. Nejznámější softwary jsou REAMACS, CORSIM, AUTOBAHN a MIXIC.



Obrázek 19: Software CORSIM

3 INTELIGENTNÍ DOPRAVNÍ SYSTÉMY

Dopravní telematika je často nazývaná také jako inteligentní dopravní systémy (ITS – Intelligent Transport Systems). Jednou z možných definic dopravní telematiky je, integrace informačních a telekomunikačních technologií s dopravním inženýrstvím za podpory ostatních souvisejících vědních oborů (ekonomika, teorie dopravy, systémové inženýrství atd.) tak, aby se při dané infrastruktuře zvýšily přepravní výkony a efektivita dopravy, stoupla bezpečnost a zvýšil se komfort přepravy.

Počátky inteligentních dopravních systémů lze datovat do 60. a 70. let 20. století. Prvním projektem, který vznikl v Japonsku, byl CACS (Comprehensive Automobile Traffic Control System), jehož základním úkolem bylo dynamicky řídit provoz na komunikacích. Dalšího rozmachu se ITS dočkaly s nástupem výkonných výpočetních a telekomunikačních systémů na konci minulého století.

Dopravní telematika má za úkol především poskytovat služby následujícím uživatelům:

- **Služby pro cestující a řidiče** – informace o dopravních cestách, informace o dopravních spojích prezentované řidičům prostřednictvím informačních systémů na dálnicích, dopravní informace prezentované prostřednictvím rádia, televize a internetu, informace zasílané řidičům přímo do vozidel.
- **Služby pro správce infrastruktury** – sledování kvality dopravních cest, řízení údržby infrastruktury, sledování a řízení bezpečnosti dopravního provozu, ekonomika dopravních cest.
- **Služby pro provozovatele dopravy** – volba dopravních cest a nejvýhodnějších tras, řízení oběhu vozidlového parku, údržba vozidel, diagnostika vozidel, dodávka náhradních dílů.
- **Služby pro státní a veřejnou právu** – napojení systémů dopravní telematiky na veřejný informační systém UVIS (Úřad pro veřejné informační systémy), sledování a vyhodnocování přepravy osob a nákladů, řešení financování dopravní infrastruktury (fond dopravy), nástroje pro výkon dopravní politiky měst, regionů a států.
- **Služby pro bezpečnostní a záchranný systém** – propojení systémů dopravní telematiky na integrovaný záchranný systém a bezpečnostní

systémy státu, zabezpečení lepšího organizování prací při likvidaci havárií, nehod, zvýšení prevence proti vzniku mimořádných událostí s ekologickými důsledky.

Ve výsledku je dokáže spojit do jednoho výsledného systému, který tvoří nadstavbu nad dopravou, která umožňuje optimalizovat dopravní tok. Dopravní telematika je tedy účelným nástrojem pro zlepšení dopravní situace bez dalšího rozšiřování komunikační sítě.

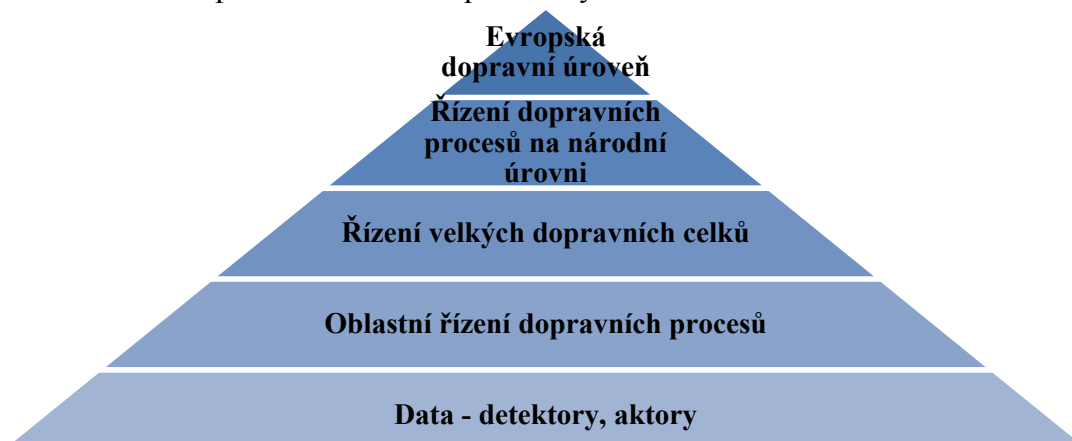
3.1 Hierarchická struktura ITS

Dopravní telematika má definovaných pět základních úrovní, které mezi sebou musí navzájem komunikovat. První úroveň, reprezentuje detektory a výkonné prvky, které se podílí na sběru statistický a dynamických dat o dopravní cestě, dopravních prostředcích nebo dopravních terminálech. Tato úroveň vyžaduje nejvyšší nároky na bezpečnost, spolehlivost a dostupnost přenosu informací.

Druhá úroveň představuje operativní řízení menších úseků dopravních cest nebo jednotlivých terminálů. Do této vrstvy patří oblastní ústředny velkých měst, ústředny tunelů a řízení pomocí dispečinku jako jsou například MHD nebo TAXI.

Další úroveň je ucelená dopravní síť velkých měst a urbanistických celků. Integruje především řídicí systémy druhé úrovně a vytváří jim centrální řízení.

Pod čtvrtou úrovní si můžeme představit dopravní systém celého státu. Je zde zahrnuto plánování a financování dopravní infrastruktury nebo výběr dálničních poplatků. Poslední úroveň je na Evropské úrovni a integruje dopravní politiky jednotlivých států do jednoho velkého celku. Je zde zahrnuto přerozdělování dotací do jednotlivých regionů či států i financování a plánování cest evropského významu.



Obrázek 20: Hierarchie ITS

3.2 Technické zařízení používané v ITS

Hlavní podmínkou pro správné fungování inteligentního systému je sběr a přenos informací a po jejich vyhodnocení zpětný přenos k uživatelům. Pro tuto činnost slouží detektory a aktory. Detektory zaznamenávají především dopravní nebo meteorologické parametry a aktory působí na účastníky dopravního provozu.

3.2.1 Dopravní detektory

Měření detektory probíhá pomocí čidel, které se nazývají senzory. Umisťují se buď vedle komunikace, nad komunikací, do vozovky nebo na povrch vozovky.

Základními parametry, které jsou zjišťovány pomocí detektorů, jsou:

- Okamžitá rychlost vozidla
- Řazení vozidla do dopravního pruhu
- Klasifikace vozidla
- Rozvor náprav
- Celková hmotnost vozidla
- Nápravové zatížení vozovky
- Identifikace tvorby kolony
- Identifikace nehody
- Identifikace vozidla podle registračního čísla

Doplňkovými údaji, které lze posléze odvodit z naměřených veličin, jsou:

- Intenzita dopravního proudu
- Skladba dopravního proudu
- Hustota dopravního proudu
- Průměrná úseková rychlost vozidel

Detektory můžeme dělit na stacionární, které mají pevné umístění, na mobilní a na ty, které jsou součástí jiných zařízení, například mýtných bran. Dalším způsobem dělení je dle principu detekce, což nám dává detektory dotykové, ultrazvukové, elektromagnetické se stacionárním polem nebo elektromagnetické se světelným polem. Poslední dělení je podle instalačního postupu na destruktivní, které zasahují do konstrukce vozovky a nedestruktivní, ty v poslední době s nástupem výpočetní techniky výrazně převládají.

Mezi nejvyužívanější typy detektorů patří indukční smyčky, které se řadí k destruktivním elektromagnetickým detektorům se stacionárním polem a umísťují se pod povrch vozovky. V hloubce 30-60 mm je umístěn kabelový vodič, kolem kterého je vytvořeno magnetické pole a při jeho narušení je vytvořen záznam. Výhodou tohoto detektoru je především snadná instalace a dostatečná přesnost a spolehlivost. Za nevýhodu se považují vyšší náklady na odstranění poruchy a náchylnost k přetržení vlivem těžké dopravy.



Obrázek 21: Indukční smyčka ve vozovce

Dalším typem detektoru, který pracuje na principu nedestruktivních detektorů je pneumatický detektor. Ten se umísťuje především na povrch vozovky a je založen na podstatě zvýšeného tlaku v uzavřené trubici, který je vyvolán průjezdem vozidla. Mohou být využívány k měření intenzit, obsazenosti, rychlosti nebo klasifikaci. Výhodou je rychlá instalace a nízká pořizovací cena, nevýhodou je pak náchylnost na teplotní změny. Dnes je jejich využití pouze ojedinělé.

Piezoelektrické detektory se využívají hlavně u vážení vozidel za jízdy a u mobilních sčítačů dopravy. Senzory jsou teplotně, elektricky i mechanicky stabilní a umísťující se pod povrch vozovky. Zatížení je vyhodnoceno díky elektrickému napětí, které bylo vyvozeno na kabel tlakem kol.

Ultrazvukový detektor se využívá pro měření dopravního parametru, jako je počet vozidel, jejich výška a délka. Jedná se o nedestruktivní metodu detekce, založenou na vysílání zvukové vlny a měření času, za který se vlna vrátí zpět. Nevýhodou je poměrně nízká přesnost a lehká ovlivnitelnost špatným počasím. Výhodou je, že nenarušují povrch vozovky.

Pro měření rychlosti se nejčastěji využívají mikrovlnné detektory. Vyznačují se nedestruktivním způsobem měření a používají se pro měření více veličin současně. Paprsek vysílaný prostřednictvím parabolické antény se odráží od karoserie projíždějících vozidel a zpět k detektoru. Umisťují se nad jízdní pruh proti pohybu dopravního proudu.



Obrázek 22: Mikrovlnný detektor

Další skupinou detektorů jsou infračervené detektory. Ty můžeme dále rozdělit na aktivní, které vysílají nízkooenergetické vlny a přijímají jejich odraz a na pasivní, které pracují pouze na principu zaznamenávání změny tepla vyzářenou při průjezdu vozidla. Nevýhodou těchto detektorů je především lehká ovlivnitelnost mlhou, deštěm nebo sněžením.

Jako poslední jmenuji videodetekci, která je založena na digitalizaci statického obrazu, kdy průjezd vozidla změní hodnoty barev a jasu, což je pak signál pro jeho detekci a identifikaci. Jedná se o nedestruktivní, mobilní i stacionární typ.



Obrázek 23: Kamerový systém na měření rychlosti

3.2.2 Dopravní aktory

Dopravní aktory jsou výkonná zařízení systému dopravní telematiky. Hlavní funkcí je zprostředkování informací a to buď vizuálně, nebo pomocí audio techniky.

Mezi tři nejdůležitější patří proměnné dopravní značení, informační tabule a světelné signalizační zařízení. Proměnné dopravní značení se používá k řízení dopravního proudu nebo pro jeho ovlivňování. Zobrazují se nejčastěji zákazové značky, které omezují rychlost nebo vjezd. Můžeme je rozdělit na reflexní a emitující. Reflexní značky jsou vybaveny trojbokými hranoly, které jsou schopny zobrazovat maximálně tři symboly a dále posuvné nebo překlápěcí různého technického provedení. Emitující značky jsou tabule vybaveny LED diodami nebo světelnými vlákny a lze na nich zobrazit větší množství dopravních značek.



Obrázek 24: Proměnné dopravní značení a zařízení pro provozní informace

Informační tabule mají funkci informační, především o dopravních omezeních, uzavírkách, nehodách nebo povětrnostních vlivech. Zobrazovací schopnost musí být jednoduchá, aby příliš neodváděla pozornost řidiče od řízení, ale zároveň aby byla schopna poskytnout potřebnou informaci. Pro zobrazování zpráv se používají především alfanumerické znaky nebo jednoduché piktogramy. Opět existují dvě základní provedení a to bistabilní, kde je značka překlápěna z aktivní polohy do pasivní a provedení s LED diodami, jež mají vyšší energetickou náročnost, ale jsou viditelnější.

Světelná signalizační zařízení jsou nejčastějším typem aktoru, který lze v běžném provozu vidět. Zobrazují barevné světelné signály a slouží k přímému ovlivňování dopravního proudu.

3.3 Využití ITS aplikací v silniční dopravě

Silniční infrastruktura v současnosti nestačí pokrýt tempem nárůstu intenzit a objemů dopravy, proto je se jeví jako výhodné doplnit systém dopravní sítě o nový prvek a to inteligentní dopravní systémy, které mohou pomáhat ovlivňovat nebo řídit dopravní proud.

Existují tři hlavní kategorie, které může telematika ovlivňovat. Jedná se o pozemní komunikace, individuální vozidla a dopravní procesy.

3.3.1 Pozemní komunikace

Hlavní využití v oblasti pozemní komunikace je především ve sledování technického stavu vozovky, přítomnost nerovností, výtluků a lokálních opotřebení. Data jsou následně využívána k plánování údržby. ITS se také velice významně uplatňují ve sledování vybraných silničních objektů, jako jsou tunely nebo mosty, a slouží k identifikaci dopravních nehod, požárů, kouře v tunelu, nebezpečného větru na mostech atd.

Dále se ITS uplatňují při sledování klimatických a povětrnostních podmínek. Především při sledování námrazy nebo ledovky se může předejít mnoha dopravním nehodám. Pomocí těchto systémů se mohou také monitorovat dopady na životní prostředí, např. hluk, emise či smog.

Pro správně řízený provozu je nezbytné kontrolovat přenos dat o dopravní zátěži, stav dopravních značek nebo funkčnost detektorů, které pak následně mohou ovlivnit řízení provozu prostřednictvím proměnlivého dopravního značení nebo signalizační světelné zařízení.

ITS se takové využívá k plánování nových komunikací nebo křižovatek. Pomocí vhodných aplikací lze variantně posuzovat budoucí uspořádání i s uvažování prognóz směrových poptávek nebo nehodovosti. Význam dopravní telematiky se projevuje i ve sledování obsazení parkovišť, při monitoringu dopravních terminálů, jako jsou například parkovací garáže nebo autobusová nádraží.



Obrázek 25: Silniční meteorologická stanice

3.3.1.1 Individuální vozidla

Jednotlivé telematické aplikace mohou být přímo implementovány ve vozidle a slouží řidičům informacemi o stavu dopravního provozu nebo ho informují o uzavírkách a nehodách.

Existují dva základní úkoly, které inteligentní systémy dokážou vyřešit. Prvním je zhodnocení a predikce možných krizových situací s automatickým zabráněním nehodě a s řešením veškerých manévru automobilu. Tyto systémy mohou být schopny rozpoznat překážku, což je velice výhodné především za snížené viditelnosti. Následně mohou řidiče upozornit prostřednictvím signálů nebo mohou přímo omezit rychlost. Součástí systému je i vedení vozidla, které je schopno monitorovat odstup od ostatních vozidel nebo vodicích proužků, případně rozpoznávat dopravní značení a pak na něj automaticky reagovat.

Druhou funkcí je přinést novou kvalitu řízení s využitím pokročilých navigačních systémů. Vozidlo by pomocí zařízení přijímalo informace z centrálního zdroje o dopravní situaci (RDS/TMC), využívalo by navigační systémy, které by přinášely informace o kongescích a upravovaly by optimální cestu.

3.3.1.2 Dopravní procesy

Sledování dopravních procesů zahrnuje především zjišťování intenzit a rychlostí dopravního proudu a slouží k jeho následnému řízení nebo ovlivňování. Informace jsou získávány z detektorů, kterou jsou instalovány v blízkosti komunikace nebo přímo ve vozovce.

Pro ovlivňování dopravního proudu existují tři způsoby. Prvním je informování řidičů prostřednictvím proměnného dopravního značení, zpráv na displeji rozhlasového přijímače nebo navigace a informační tabule na pozemní komunikaci. Zprávy mohou vypovídat o stavu provozu, o dojezdových vzdálenostech, o výskytu nehod, o objízdných trasách nebo o meteorologických informacích. Důležitým je potom psychický stav řidiče, který ovlivňuje přijetí a reakci na tuto zprávu.

Dalším metodou ovlivnění je zastavování dopravního proudu, které se děje především prostřednictvím světelně signalizačního zařízení, občas pak díky použití proměnného dopravního značení nebo mechanických zábran.

A poslední možností je změna jízdních parametrů například mobilním nebo stacionárním značením a proměnným dopravním značením. Zařízení dokážou konkrétně reagovat na dopravní situaci a regulovat provoz podle potřeby.

Konkrétní způsoby řízení dopravního proudu:

- Řízení pomocí proměnných dopravních značek
- Uzavírání dopravních pruhů
- Vyhrazování pruhů pro různé třídy vozidel
- Liniové řízení dopravního proudu
- Řízení ramp na dálnicích a rychlostních komunikacích
- Řízení „přilivových“ pruhů na komunikacích
- Řízení nehod na komunikacích
- Lokální adaptivní řízení na křižovatkách
- Centrální dynamické řízení na křižovatkách



Obrázek 26: Liniové řízení dopravy

4 DOPRAVNÍ PROUD V MÍSTECH S DOPRAVNÍM OMEZENÍM

Na území České republiky se podle posledních údajů k 1. 7. 2012 nachází 751,2 km dálnic a 435,4 km rychlostních silnic. Dálnici dle zákona definujeme jako pozemní komunikaci určenou pro rychlou dálkovou mezistátní dopravu silničními motorovými vozidly, která je budována bez úroňových křížení, s oddělenými místy napojení pro vjezd a výjezd a která má směrově oddělené jízdní pásy a je přípustná pouze vozidlům, jejichž nejvyšší povolená rychlost není nižší než 80 km/h. Rychlostní silnice je silnice I. třídy, která je určena pro rychlou dopravu a je přístupná pouze silničním motorovým vozidlům, jejichž nejvyšší povolená rychlost není nižší než 80 km/h.

Intenzita dálnic a rychlostních silnic se v České republice v posledních letech blíží k maximálním hodnotám, tedy k jejich kapacitě. Ta je normou definována jako největší intenzita dopravního proudu, která odpovídá stupni E úrovně kvality dopravy. Skladba dopravního proudu na dálnicích je 73% osobních vozidel, 26,7% těžkých vozidel a 0,3% motocyklů. Právě především podíl těžkých vozidel má velký vliv na poškození povrchu vozovek.

Vzhledem k vyčerpávání kapacity pozemních komunikací a navíc jejich poničení díky dlouhodobému používání jsou nutné opravy, rekonstrukce a modernizace. Následně na těchto místech vznikají úzká hrdla, která omezují propustnost, což je maximální počet dopravních prostředků, které mohou ve stanoveném čase projet určitým úsekem cesty. Právě tato zúžení jsou hlavním impulsem ke vzniku kongescí. Další příčinou vzniku dopravních kolon mohou být například dopravní nehody. Právě v těchto případech se jako dobré řešení jeví efektivní řízení dopravního proudu.

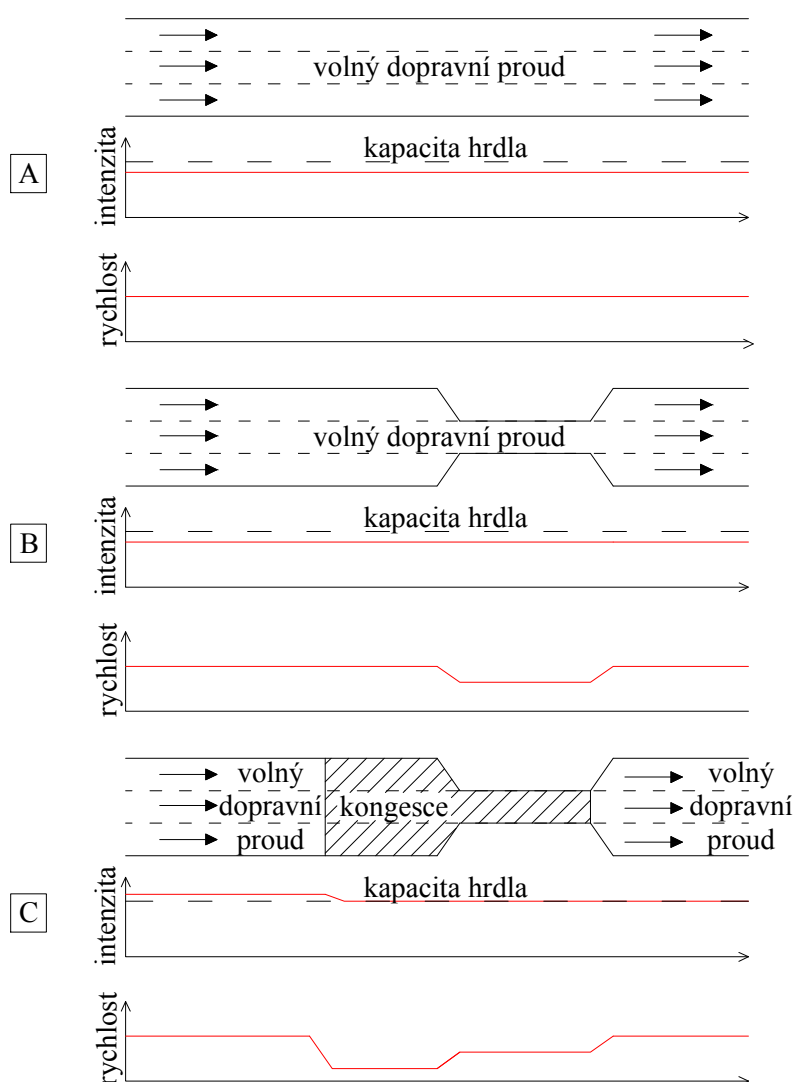
V zahraničí jsou už delší dobu k tomuto účelu používány inteligentní dopravní systémy (ITS). Výsledky prokazatelně poukazují na vysoké procento zvýšení propustnosti stávajících komunikací, snížení rizika nehod a snížení stresu řidičů v dopravních zácpách, který je způsobován neinformovaností o aktuální situaci. V posledních letech je i u nás vidět snaha tyto systémy implementovat do dopravní sítě a je podporováno mnoho projektů vědy a výzkumu zabývajících se telematickými aplikacemi.

4.1 Charakteristika kongescí

V pracovních zónách vznikají úzká hrdla, což jsou místa na pozemních komunikacích, která omezují volný dopravní proud.

V takových místech pak mohou vzniknout tři stavy dopravního toku:

- Intenzita dopravního proudu < Kapacita hrdla
- Intenzita dopravního proudu = Kapacita hrdla
- Intenzita dopravního proudu > Kapacita hrdla



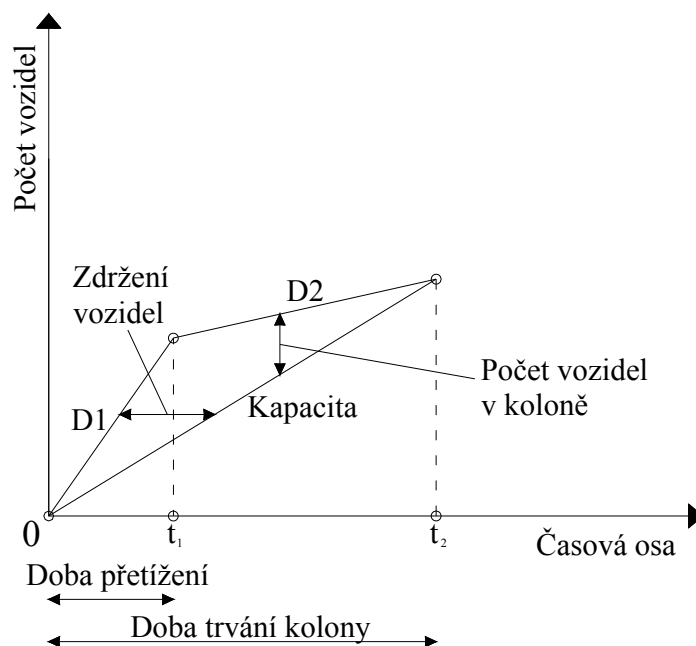
Obrázek 27: Stavy dopravního toku v místě úzkých hrdel

Na obrázku 27 vidíme graficky znázorněné stavy dopravního toku v místě úzkých hrdel. První část obrázku s označením A znázorňuje pozemní komunikaci za běžných podmínek bez dopravního omezení a dopravní tok v takovém místě nazýváme volný

dopravní proud. Druhý scénář s označením B odpovídá prvním dvěma stavům, tedy že je kapacita úzkého hrdla větší nebo rovna intenzitě v onom místě. Vozidla pořád mohou jet volným dopravním proudem, pouze v místě hrdla musí snížit rychlost. V posledním scénáři C intenzita před úzkým hrdlem přesahuje jeho kapacitu a vozidla jsou donucena snížit rychlost případně úplně zastavit. Kapacita úzkého hrdla je v tomto případě zcela vyčerpaná.

Právě při třetím stavu dopravního toku vznikají kongesce. Kongesce neboli dopravní zácpa je definována technickými podmínkami jako mimořádný dopravní stav, vyznačující se kritickým zpomalením dopravního proudu až jeho zastavením a tvorbou kolony vozidel. Kolona z hlediska vzájemného ovlivňování počíná u 2 vozidel. Z hlediska hodnocení kongescí se jedná o kolonu 20 a více vozidel. Stojící kolonu nazýváme frontou.

Obecnou příčinou vzniku kongescí je skutečnost, že se poptávka přiblíží nebo překročí nabídku. Dopravní poptávka je požadavek na přemístění určitého množství osob, nákladů nebo vozidel, vyplývající z potřeb obyvatel a návštěvníků nebo podnikatelských subjektů na určitém území. Dopravní nabídka je pak možnost vykonání určitého počtu jízd vozidel, daná výkonností komunikací na určitém území a v daném období. Čím větší je rozdíl nabídky a poptávky, tím jsou větší stojící nebo popojíždějící kolony. Tyto zákonitosti můžeme vidět na obrázku 28.



Obrázek 28: Grafické znázornění tvorby kolony

Poptávka po dopravním toku je znázorněna přímkami $D1$ a $D2$. V určitém bodě převyší poptávka $D1$ kapacitu (určeno sklony přímek) a podél časové osy se začne tvořit kolona. V bodě t_1 se poptávka sníží na poptávku $D2$, která už je nižší než kapacita komunikace a kolona se začíná rozpouštět. Zcela se rozpustí v bodě t_2 .

Rozlišujeme dva druhy zácp:

- **Opakující se**, jež jsou způsobeny předvídatelnými jevy, například špičková intenzita pozemní komunikace
- **Neopakující se**, jež vznikají jako důsledek nehod, neopakujících se incidentů, akutních stavebních omezení nebo ztížené sjízdnosti

4.1.1 Základní charakteristiky kongescí

Hlavní hlediska, kterými se hodnotí kongesce, jsou rychlost (v), hustota (H) a její ekvivalent obsazenost (O). První dva parametry byly definovány v první kapitole. Obsazenost je technickým podmínkami definována jako podíl z doby měření, po který je měřicí senzor obsazen vozidly. Normou je pak předepsána jako stanovení poměru skutečně zjištěné přítomnosti vozidel k maximální možné době přítomnosti vozidel. Jednotkou obsazenosti jsou procenta.

Jednou z dalších hodnocení kongesce může být takzvaný index kongesce, který vyplývá z cestovní doby. Pod cestovní dobou si můžeme představit čas nezbytný k přesunu po trase mezi dvěma libovolnými body zájmu.

$$t_c = \int_0^x \frac{1}{v(t, x)} dx \quad (4.1)$$

Pro danou cestu do bodu x je pak možno vypočítat index kongesce:

$$I_k = \frac{\sum_1^N d_k + t_c}{\sum_1^N t_c} \geq 1 \quad (4.2)$$

Do vzorce zasahuje přídavný cestovní čas d_k , který převyšuje volný a kongescemi neomezený cestovní čas t_c na cestu a zohledňuje přítomnost dalších vozidel. Porovnáním měrné spotřeby času t_c na cestu po trase nezatížené vozidly s úhrnem spotřeby času $d_k + t_c$ na stejnou cestu s kongescí získáme index kongesce I_k .

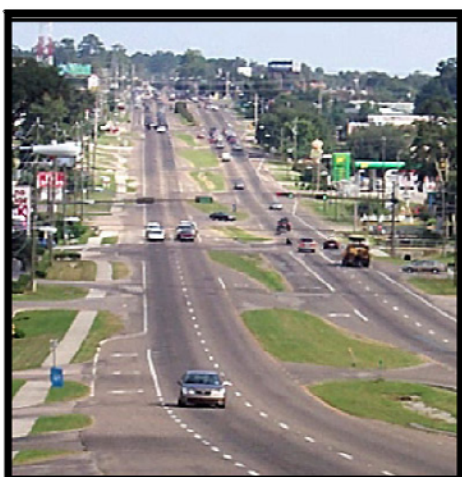
Jedním z nejdůležitějších ukazatelů hodnotící kvalitu dopravního proudu je stupeň kvality (LoS). Tento parametr je definován v HCM (Highway Capacity Manual) a určuje šest stupňů kvality dopravních podmínek na komunikacích. Stupeň kvality odpovídá nejen rychlosti, ale zejména volnosti manévrování a vzájemným odstupům vozidel.

Bylo stanoveno těchto šest stupňů kvality:

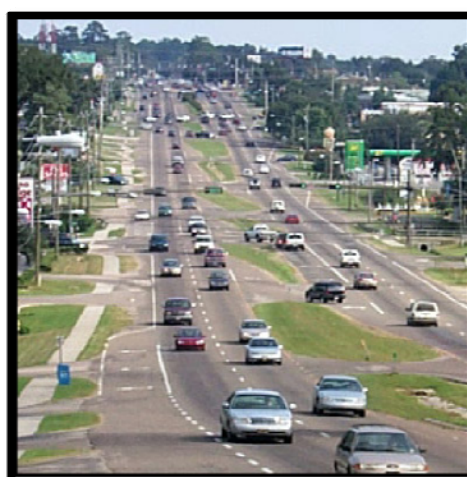
- **Stupeň kvality A** – Zcela nerušené dopravní podmínky. Žádné vozidlo není významně ovlivněno jinými vozidly na komunikaci. Řidiči mají úplnou volnost manévrování. Průměrná rychlost je velmi blízká volné nebo referenční rychlosti. Referenční rychlost je rychlost, která je pro daný úsek stanovena a ve většině případů je průměrná rychlost souboru řidičů menší než tato hranice.
- **Stupeň kvality B** – Volné a nerušené dopravní podmínky, ale je již nutno začít brát ohled na ostatní vozidla. Nepravidelnost ve způsobu jízdy jsou snadno absorbovány bez vlivu na dopravní proud.
- **Stupeň kvality C** – Popisuje dopravní podmínky, při kterých vozidla užívající komunikaci se již zjevně ovlivňují ve volnosti manévrování. Malé rušení proudu je stále snadno absorbováno, větší však má již za následek okamžité vytváření kolon.
- **Stupeň kvality D** – Shluky vozidel začínají výrazně omezovat jízdní rychlost a volnost manévrů. Střední turbulence v proudu vozidel mohou vést až ke stupni kvality F, neboť hustota vozidel již neumožňuje jejich vstřebávání.
- **Stupeň kvality E** – Popisuje dopravní podmínky v okolí meze stability dopravního proudu. Někde je takový stav nazývaný saturovaným tokem. Jakékoliv nepravidelnosti vedou ke stupni kvality F.
- **Stupeň kvality F** – Zhroucení nezávislé rychlosti do závislosti na hustotě znamená kongesce. Kritická místa vznikají, buď díky stávající geometrii komunikací, nebo mimořádnou událostí vytvářející vzduť dopravního proudu, vedoucí ke vzniku dopravní zácpy. Proud vozidel je přerušovaný, vozidla pouze popojíždějí. Počet přijíždějících vozidel je větší, než počet vozidel schopných projet vzniklým hrdlem.

Tabulka 3: Hodnoty typické pro konkrétní stupně kvality

Stupeň kvality	Maximální hustota (voz/km/pruh)	Poměr minimální a referenční (volné) rychlosti	Poměr intenzity a kapacity (osobní vozidla)
A	6	1,0	0,24-0,29
B	10	1,0	0,39-0,47
C	15	0,96-1,0	0,59-0,68
D	20	0,87-1,0	0,78-0,85
E	28	0,72-0,89	1,0
F	> 28	< 0,72	< 1,0



Obrázek 29: Stupeň kvality A/B



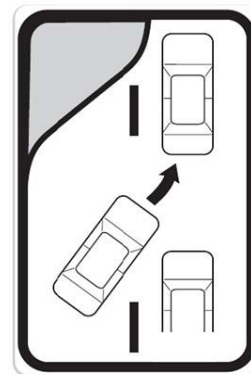
Obrázek 30: Stupeň kvality C/D



Obrázek 31: Stupeň kvality E/F

4.2 Problematika pravidla ZIP

V pracovních zónách nebo místech, kde se snižuje počet jízdních pruhů, jsou řidiči nuceni řadit se do jednoho průběžného pruhu. Mnoho výzkumů a modelů prokázalo, že nejideálnějším způsobem řazení v místech úzkých hrdel je ZIP. Pravidlo ZIPu znamená, že se řidiči z neprůběžného pruhu střídavě řadí mezi řidiče v průběžném pruhu. Pokud se ovšem v dopravním proudu vyskytne byť jen jeden nezkušený nebo agresivní řidič, který řazení naruší, ovlivní tak negativně dopravní proud. Při vysoké hustotě může i malá chyba spustit tvorbu kolon. Především na dálnicích a rychlostních komunikacích, kde je rychlost dopravního proudu poměrně vysoká, jsou kongesce velmi nebezpečné, jelikož vozidla dojíždějící kolonu musí náhle zpomalit a hrozí zvýšené riziko nehod.



Obrázek 32:

Dopravní značka pro
střídavé řazení

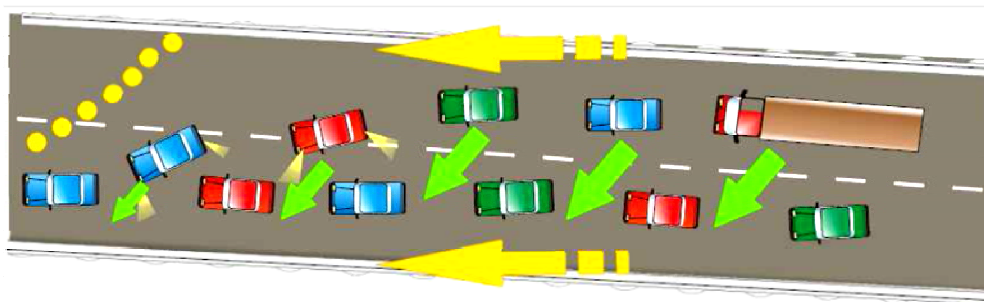
Hlavně v České republice je problematika ZIPu velký problém. Legislativně je zde zažitý systém z minulosti, kdy bylo pravidlo řazení definováno vyhláškou č. 100/1975 Sb., o pravidlech silničního provozu a znělo takto:

„Tam, kde se dva jízdní pruhy sbíhají v jeden, aniž by bylo jasné, který z nich je průběžný, nesmí řidič jedoucí v levém jízdním pruhu ohrozit řidiče jedoucího v pravém jízdním pruhu. Průběžným jízdním pruhem se rozumí ten, ve kterém řidič pokračuje v jízdě, aniž by změnil směr.“

Tato vyhláška však již neplatí a pravidlo střídavého řazení bylo definováno v zákoně č. 361/2001 Sb., o provozu na pozemních komunikacích:

„Při souběžné jízdě umožní řidiči vozidel jedoucích v průběžném pruhu řidičům vozidel do tohoto pruhu přejíždějících z pruhu, který přestal být průběžným, vjet tak, aby se vozidla jedoucí v průběžném pruhu a vozidla do něho přejíždějící mohla řadit střídavě po jednom do jízdního průběžného pruhu. Tam, kde se dva jízdní pruhy sbíhají v jeden, aniž by bylo zřejmé, který z nich je průběžný, nesmí řidič jedoucí v levém jízdním pruhu ohrozit řidiče jedoucího v pravém jízdním pruhu.“

Tato formulace ovšem není příliš vhodná. Jelikož má pouze doporučující charakter. Ovšem stále se jeví jako největším problémem pravidla ZIP chování řidičů. Přesto, že pravidlo střídavého řazení působí jednoduše, nezkušenost, neomalenost a neznalost českých řidičů způsobuje rozsáhlé kongesce.



Obrázek 33: Grafické znázornění střídavého řazení

4.2.1 Teorie hustotní vlny

Bylo napsáno a vymyšleno mnoho matematických teorií, které jsou v pozadí vzniku kongescí. Již před více než 15 lety bylo dokázáno, že se dopravní zácpy mohou objevit bez zjevného důvodu při rychlostech volného dopravního proudu, kde intenzita dosahovala kapacitních limitů. V těchto případech je prvotním spouštěčem chyba i jediného řidiče. Stačí, když zabrzdí první vozidlo a tím donutí zpomalit i druhé vozidlo. Tento efekt se šíří dále dopravním proudem a způsobuje řetězovou reakci, která v konečném důsledku vytvoří hustotní vlnu.

V roce 2005 byla v Japonsku provedena modelová situace, která jasně dokázala, že nejvýznamnější prvkem při tvorbě kongescí je lidský faktor. Na kruhovém obvodu bylo postaveno 22 vozidel v pravidelných rozestupech. Jejich povinností bylo udržovat konstantní rychlost na 30 km/h. Na začátku pokusu jela vozidla s nastavenými mezerami mezi vozidly. Po určité chvíli se odstupy začaly zmenšovat a začaly se tvořit shluky vozidel. Bylo zřejmé, že vozidla přenášejí hustotní vlnu za sebe. A přestože se někteří řidiči pokusili dojet vozidla před nimi a zrychlili, opět museli dobrzďovat, když dojeli zadní část utvořené vlny.

4.2.2 Lidský faktor

Jak již bylo výše zmíněno, největší podíl na tvorbě kolon, mají sami řidiči. Nejčastější chyby jsou nedodržení bezpečného odstupu, agresivní způsob jízdy a nezkušenost nebo nepozornost.

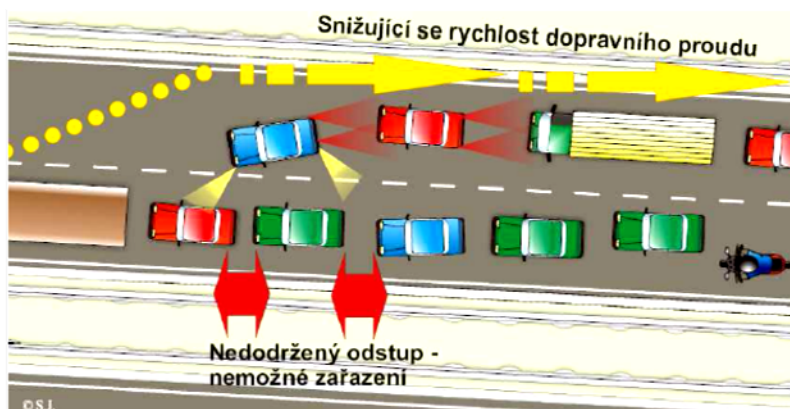
4.2.2.1 Nedodržení bezpečného odstupu

Pro dobře fungující zařazování je dostatečný bezpečnostní odstup hlavní prioritou. Právě na českých silnicích se bezpečnostní odstup příliš nedodrжуje. Pokud řidiči neprůběžného jízdního pruhu, kteří se řadí do pruhu průběžného, nemají dostatečnou mezeru pro zařazení, jsou nuceni výrazně zpomalit nebo přímo zastavit. Následně pak musí čekat, až se jim v průběžném pruhu uvolní dostatečné místo pro vjezd a oni se budou moci zařadit. Ovšem tím, že se rozjíždí z malé rychlosti, a manévrování jim tedy trvá delší dobu, tak zpomalí i průběžný pruh.

Při dodržování dostatečného odstupu je nutno počítat i s přítomností kamiónů, které díky svoji délce a horším manévrovacím schopnostem potřebují větší rozestupy.

Existují dvě metody, jak si ověřit bezpečnou vzdálenost vozidel:

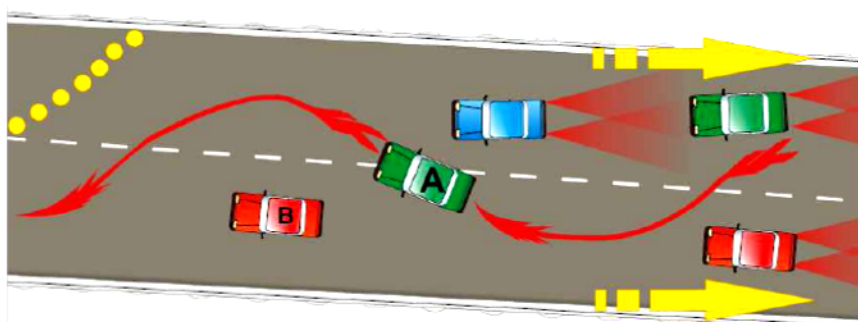
- Bezpečná vzdálenost závisí na rychlosti. Teorie vychází z toho, že na každé zvýšení rychlosti o 10 km/h by se měl odstup zvětšit o 5 metrů, což odpovídá délce běžného osobního automobilu.
- Bezpečná vzdálenost závisí na časovém odstupu. Teorie vychází z odhadu času řidiče, který by si měl zvolit pevnou překážku a následně od okamžiku, kdy vozidlo jedoucí před ním bod mine dodržet, odstup 2-3 sekund.



Obrázek 34: Nedodržení bezpečnostního odstupu

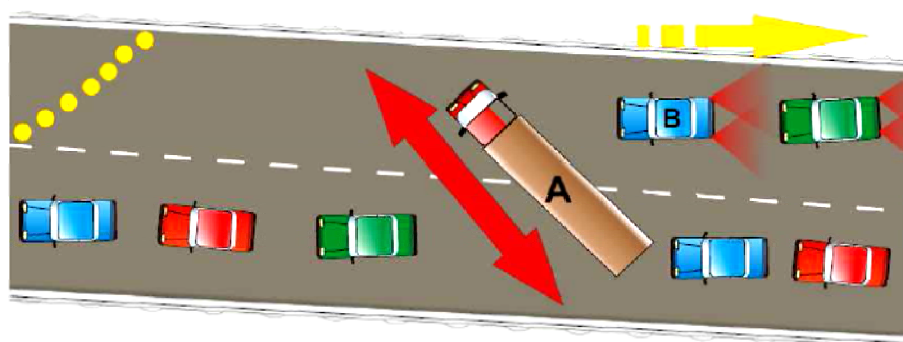
4.2.2.2 Agresivní způsob jízdy

Agresivním řidičem se rozumí ten, který ve svém spěchu a agresivitě mění rychlostní pruhy v domnění ušetření cestovního času. Tento efekt však nutí ostatní řidiče brzdit, a tím spouští řetězovou reakci. Agresivním způsobem jízdy rozumíme i nerespektování svislých dopravních značek upravujících rychlost, kdy díky rozdílu rychlostí okolních vozidel je těžké předvídat správný okamžik pro zařazení do průběžného pruhu.



Obrázek 35: Agresivní způsob jízdy

Další způsobem je i neumožnění předjetí vozidel z neprůběžného pruhu. V tomto případě řidiči z průběžného pruhu blokují sousední vozidla v domnění, že se chtějí vměstnat před ně. Tato auta však jen správně využívají kapacity neprůběžného pruhu.



Obrázek 36: Nedovolení předjetí

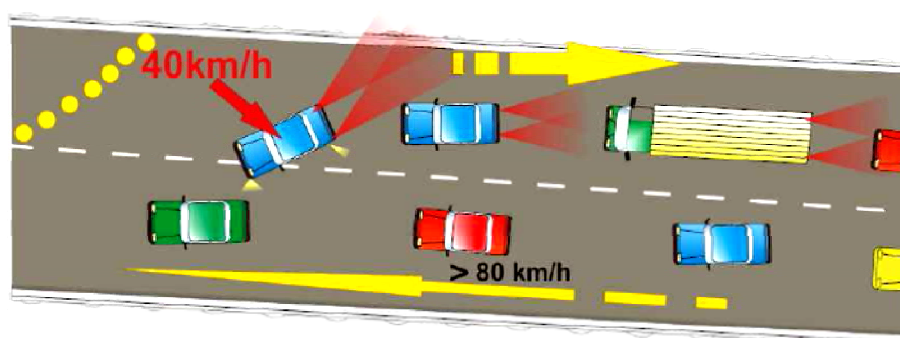
Výzkum odborníků z ČVUT, Policie a Besipu ukázal, že agresivního řidiče můžeme potkat na každém šestnáctém kilometru a každou čtvrtou nehodu způsobuje právě agresivní či netolerantní řidič.

4.2.2.3 Nezkušenost a nepozornost řidičů

Pokud se v dopravním proudu objeví nezkušený nebo nepozorný řidič, které není schopen využít správného momentu zařazení, pak může zbrzdí celý neprůběžný pruh.

Každé další vozidlo pak bude mít složitější situaci při řazení, jelikož je nuceno manévrovat z nízké rychlosti. Mezi nezkušené řidiče řadíme mladé lidi nebo řidiče s nízkým počtem najetých kilometrů. Nepozornost může u řidičů vyvolat únava, stres nebo přehlédnutí vozidla v mrtvém úhlu.

Do nezkušenosti řidičů s pravidlem ZIP lze přiřadit i příliš brzké řazení do průběžného pruhu. Kdy řidiči už při první informaci o zúžení mají snahu zařadit se do průběžného pruhu a není tak zcela využita kapacita neprůběžného pruhu až do místa před pracovní zónou.



Obrázek 37: Nezkušenost řidičů s řazením

4.2.3 Systémy pro řízení dopravního proudu před pracovní zónou

Jak bylo uvedeno výše, hlavní spouštěčem kongescí jsou chyby řidičů. Proto byly vyvinuty telematické aplikace, jejichž účelem je informovat řidiče v reálném čase o situaci před nimi a řídit dopravní proud. Tyto aplikace jsou využívány především v USA.

Využívání telematických prostředků patří k jednomu z nejefektivnějších možností, jak ovlivňovat chování řidiče. Proměnné dopravní značení a zařízení pro dopravní informace jsou jedním z prvků, které mají dlouhodobé vynikající výsledky s prací s řidiči. Jejich výhoda nespočívá jen ve variabilitě zobrazení, ale také v lepší viditelnosti proti klasickým plechovým značkám a jejich přizpůsobení podle aktuální situace.

Dynamický systém má pomocí dat, získaných přímo v místě pracovní zóny, vyhodnotit stav dopravního proudu a na základě výsledků harmonizovat dopravní proud při vjezdu a v průběhu pracovní zóny, ukázat řidičům vhodné místo k zařazení, snížit délku tvořících se kolon a omezit agresivní chování řidičů.

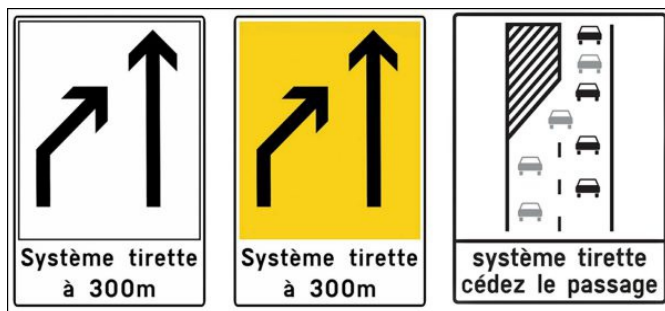
Na základě stanovení intenzity bude systém informovat řidiče o tom, zda by měli setrvat v neprůběžném pruhu a využít tak jeho plnou kapacitu až do těsného místa před zúžením nebo zda se mohou plynule řadit do průběžného pruhu.

4.2.4 Zahraniční modely střídavého řazení

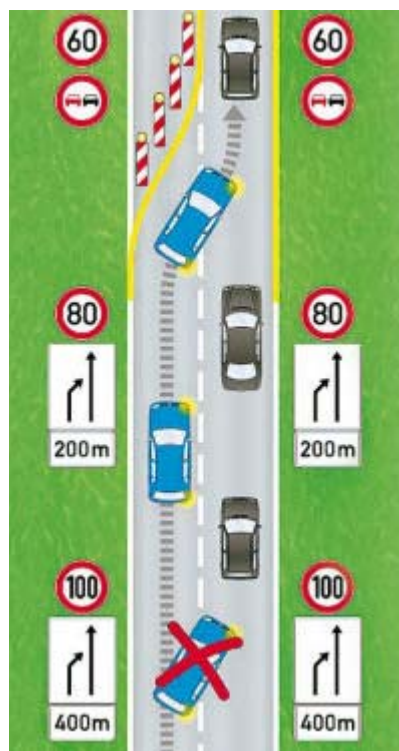
V Německu a Francii je používán podobný systém jako u nás. Řízení dopravy je upraveno statickou dopravní značkou zobrazující správný způsob řazení na konci zavírajícího se pruhu. Dopravní značky před koncem jízdního pruhu udávají vzdálenost, za kterou dopravní proud končí. V tomto se mnohé země liší.



Obrázek 38: Značení střídavého řazení v Německu



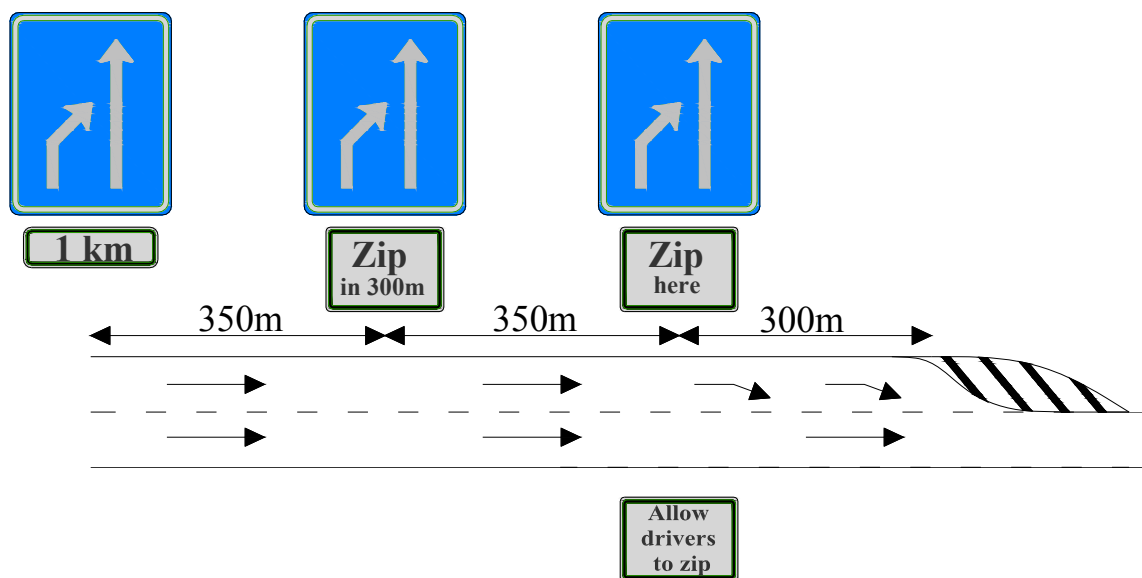
Obrázek 40: Značení střídavého řazení ve Francii



Obrázek 39: Schéma ZIPu v Německu

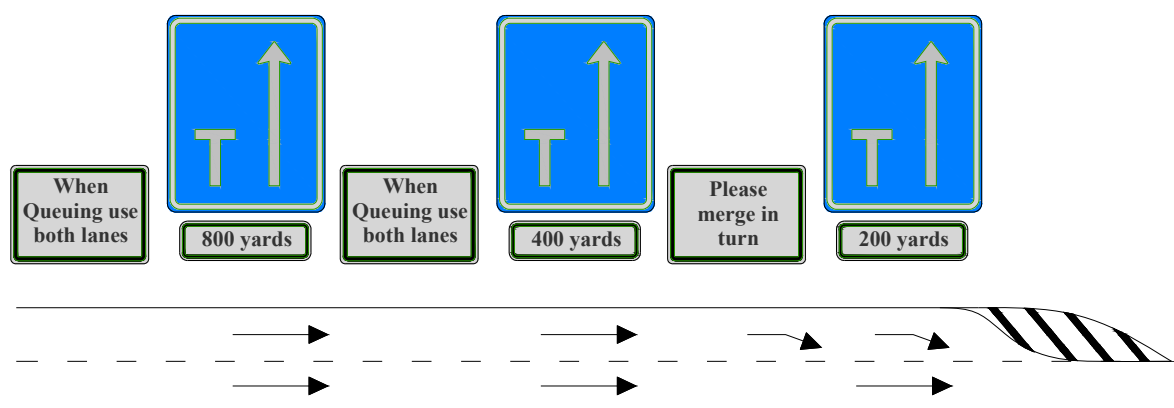
V Nizozemsku řidiči v místě úzkých hrdel nesmí měnit svůj jízdní pruh do té doby, než dosáhnou vymezené vzdálenosti od místa, kde dopravní proud zaniká. V tomto místě musí zařazující se vozidlo dát přednost jednomu vozidlu z nekončícího pruhu. Schéma obsahuje tři základní statické svislé dopravní značky. První značka je umístěna 1 km od místa ZIPu a obsahuje informaci pro řidiče, za jak dlouho dojde k zúžení. Další značka je umístěna 650 m a informuje, za jak dlouho se může řidič zařadit do průběžného pruhu. Poslední dopravní značka je 300 m od konce jízdního pruhu a nabádá řidiče k zařazení do

plynulého dopravního proudu. V tomto profilu je umístěna také značka pro řidiče v průběžném jízdním pruhu a oznamuje jim, aby umožnili střídavé řazení.



Obrázek 41: Schéma střídavého řazení v Nizozemsku

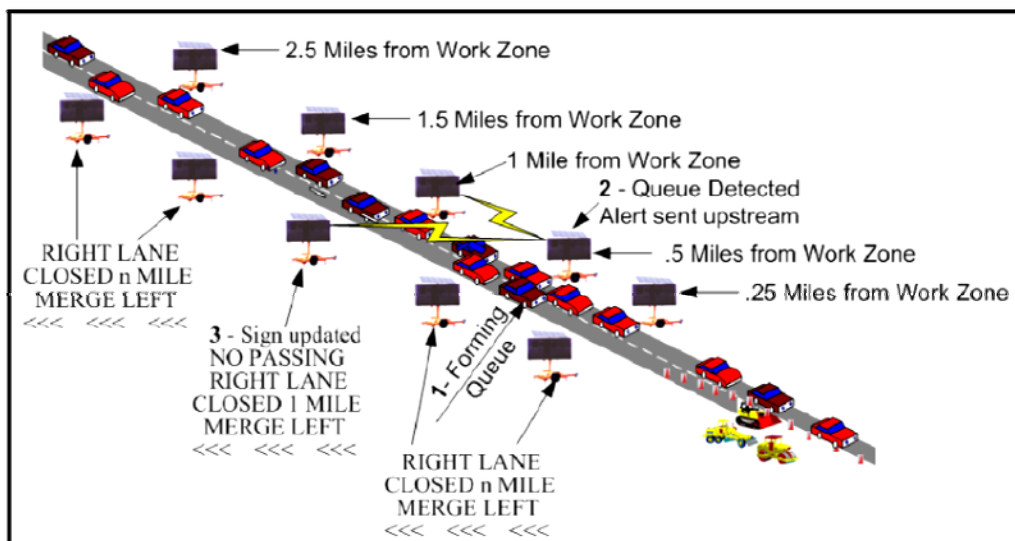
Ve Velké Británii je systém obdobný jako v Nizozemsku. Pouze druhé dopravní značení nese informace, že při tvorbě kolon mají být využívány oba pruhy. Výsledky výzkumu v této zemi ukázaly, že propustnost úzkého hrdla nebyla zvýšena, ale řazení vozidel bylo efektivnější a tvořili se menší kolony. Další poznatek dokazoval menší frustrování řidičů.



Obrázek 42: Schéma střídavého řazení ve Velké Británii

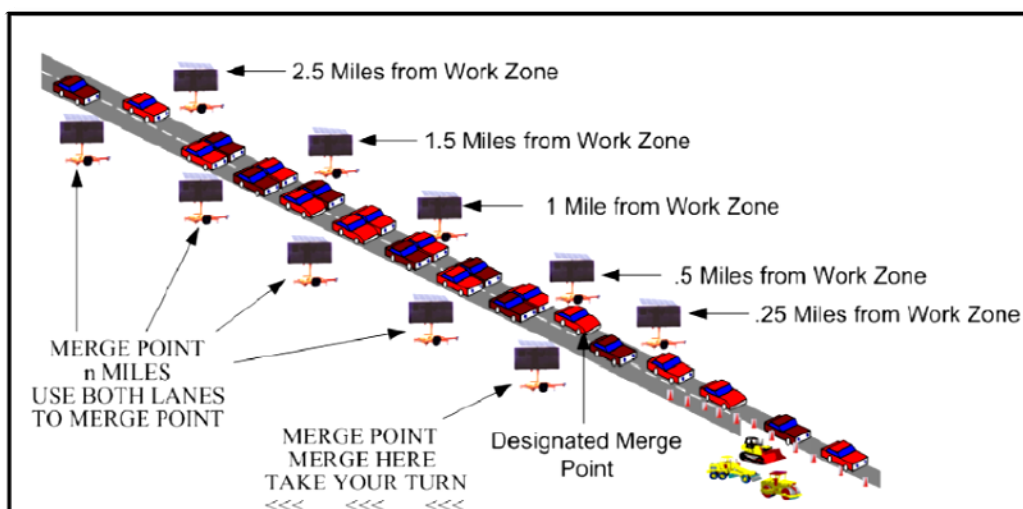
Ve Spojených státech amerických jsou využívány dva systémy. Jedním je systém pro brzké řazení, který je složen z několika svislých dopravních značení, které v místě 1km až po konec pruhu zakazují předjíždění a nabádají řidiče k okamžitému zařazení. V dynamické formě tento systém funguje pouze, pokud je vysoká intenzita provozu a

svislá dopravní značka je opatřena blikáči a nápisem, který říká, že pokud světlo bliká, je zakázáno předjíždění.



Obrázek 43: Systém brzkého řazení

Druhým je systém pozdního řazení, kdy jsou v dynamické formě použity detektory zjišťující aktuální stav dopravního proudu a pomocí zobrazovacího zařízení vedou řidiče až na konec jízdního pruhu, kde dostanou pokyn k zařazení. Zobrazovací zařízení jsou vzdálena minimálně 300m od sebe a poskytují řidiči informace o zpoždění a o používání obou pruhů. Výzkum potvrdil, že systém pro brzké řazení je vhodný do míst s nízkou nebo střední intenzitou a systém pro řazení pozdní je vhodný na pozemní komunikace s vysokou intenzitou. Dále přinesl informace, že v průměrné špičkové hodině bylo dosaženo 30% zkrácení cestovního času a počet agresivních manévřů klesl o 50-70%.



Obrázek 44: Systém pozdního řazení

5 TVORBA MODELU DOPRAVNÍHO PROUDU

Prvním úkolem praktické části je vytvoření parametrické studie, která zkoumá chování a vliv různých parametrů, definovaných v programu Aimsun, na dopravní proud. Následně budou zjištěné hodnoty parametrů použity k vytvoření simulace dopravního modelu a bude ověřeno jejich správné nastavení. Tento model bude sestaven na základě videozáznamu, který zachycuje začátek pracovní zóny a tvorbu kongesce v tomto místě. Z videa jsou odečteny intenzity, rychlost a skladba dopravního proudu v průběžném a neprůběžném dopravním pruhu. Jako software bude použit Aimsun 6.1.

5.1 Základní údaje

Video bylo pořízeno na mostě přes dálnici D1 mezi obcemi Tvarožná a Blažovice s pohledem směrem na Brno za deštivého počasí. Záznam byl pořízen Ing. Martinem Smělým ve čtvrtek 21.7.2011 od 6:41 hodin v trvání 23 minut. Pro simulaci dopravního proudu bude použito 15 minut, kdy se tvoří kongesce.



Obrázek 45: Lokace místa natáčení



Obrázek 46: Ukázka z videozáznamu

Na začátku videozáznamu je dopravní proud před pracovní zónou volný a vozidla výrazně zpomalují až přímo v místě úzkého hrdla, kdy dojíždí vozidla nahromaděná v úzkém hrdle. Na konci první minuty se před pracovní zónou vytvoří řada asi 8 vozidel a rychlost dopravního proudu klesne. Už na začátku druhé minuty je dopravní proud zase plynulý a rychlost stoupá. Až do páté minuty nejsou v dopravním proudu vidět výrazné změny.

Ovšem mezi pátou a šestou minutou se v neprůběžném pruhu objeví větší množství vozidel, které mají snahu zařadit se až těsně před pracovní zónou. Díky malým mezerám mezi vozidly v průběžném pruhu je dodržení střídavého řazení velmi problematické a průběžný pruh je zpomalen. Problém nastává v polovině sedmé minuty, kdy se chce na konci neprůběžného jízdního pruhu zařadit lehké nákladní vozidlo. Několik vozidel neumožní zařazení a vozidlo musí zastavit a čekat okolo 8 sekund. Při jeho pouštění do hlavního proudu pak musel dopravní proud zpomalit a vytvořila se kongesce asi 13 vozidel.

V následujících dvou minutách opět proud trochu zrychlil, ale dojíždějící vozidla podporují nárůst kolony. Na začátku 9 minuty nastává situace, kdy díky malým odstupům mezi vozidly se při každém pokusu o zařazení musí průběžný dopravní proud téměř zastavit a vytvořit mezeru. Na začátku 11 minuty tak kolona obsahuje už okolo 40 vozidel.

Jelikož se od 11 do 13 minuty řadí z neprůběžného pruhu pouze malé množství aut, kolona se z počátku zmenšuje, ale díky malé rychlosti dopravního proudu je neustále dojížděna dalšími vozidly, kterými je délka opětovně zvyšována. Efekt s nedostatečnou mezerou pro zařazení a následné zastavení a rozjíždění průběžného pruhu se opakuje až do konce videozáznamu.

5.1.1 Skladba vozidel

Pro určení skladby dopravního proudu byly určeny čtyři základní skupiny vozidel, které se na vybrané pozemní komunikaci vyskytly. Tyto základní kategorie odpovídá příloze zákona č. 56/2001 Sb.

Skladba vozidel:

- Kategorie M1 (osobní automobily)
- Kategorie N1 (lehké nákladní automobily)

- Kategorie N2 a N3 (těžké nákladní automobily)
- Kategorie M2 a M3 (autobusy)

Kategorii M1 odpovídají motorová vozidla, která mají nejméně čtyři kola a nejvýše osm míst k přepravě osob (nepočítaje místo řidiče) a víceúčelová vozidla. Kategorii M2 a M3 zahrnuje motorová vozidla, která mají nejméně čtyři kola a mají více než osm míst k přepravě osob (nepočítaje místo řidiče) a nejvyšší přípustná hmotnost nepřevyšuje 5 000 kg (M2) nebo nejvyšší přípustná hmotnost převyšuje 5 000 kg (M3).

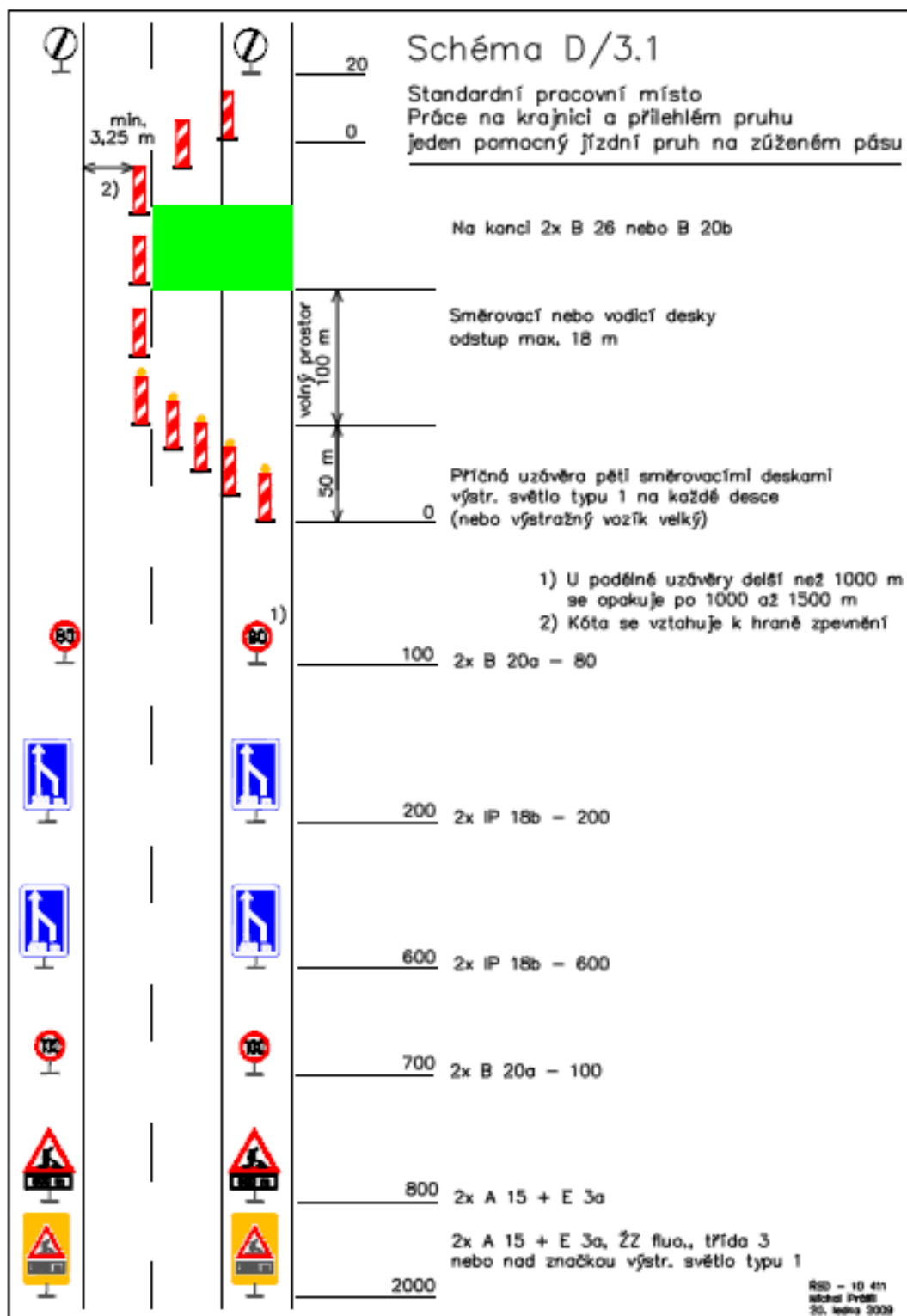
Kategorie vozidel N1 označuje vozidla, jejichž nejvyšší přípustná hmotnost nepřevyšuje 3 500 kg. Kategorie N2 značí vozidla, jejichž nejvyšší přípustná hmotnost nepřevyšuje 3 500 kg, ale nepřevyšuje 12 000 kg a konečně kategorie N3 označuje vozidla, jejichž nejvyšší přípustná hmotnost převyšuje 12 000 kg.

V programu Aimsun jsou předem definovány čtyři kategorie vozidel osobní automobil (Car), který odpovídá kategorii M1, autobus (Bus), který odpovídá kategorii M2 a M3, nákladní automobil (Truck), který se nejvíce blíží kategorii N2 a N3 a dodávka (Van), která má charakteristiky nejbližší ke kategorii N1.

5.1.2 Charakteristika pozemní komunikace

Intenzity byly měřeny na dálnici D1, kde je podle platných zákonů maximální dovolená rychlost 130 km/h. Pracovní místo bylo dle Technických podmínek TP 66 značeno schématem D/3.1, tedy značení pro standardní pracovní místo, kde je zřízen jeden pomocný jízdní pruh na zúženém pásu.

Na pracovní zónu je upozorněno 2 kilometry předem výstražnou dopravní značkou „Práce“ (A15) a značkou „Vzdálenost“ (E3a). Stejné schéma se opakovaně vyskytuje i 800m před místem zúžení. Omezení rychlosti ze 130 km/h na 100 km/h je přikázáno dopravní značkou „Nejvyšší dovolená rychlost“ (B20a) 700m před pracovní zónou. Dále jsou zde umístěny informativní provozní značky „Snížení počtu jízdních pruhů“ (IP19b) 600m a 200m před místem uzavření jízdního pruhu. Konečné omezení rychlosti na 80 km/h, které je požadováno po celou dobu zúžení, je přikázáno 100m před pracovní zónou dopravní značkou „Nejvyšší povolená rychlost“ (B20a).



Obrázek 47: Schéma označení pracovní zóny

5.1.3 Intenzity dopravního proudu

Z videozáznamu byly v určitém profilu, který se nachází okolo 200 m před pracovní zónou, odečteny intenzity dopravního proudu pro průběžný i neprůběžný pruh zvlášť. Intenzity byly měřeny po minutových intervalech a pro čtyři základní kategorie vozidel.

Tabulka 4: Počet vozidel odečtených z videozáznamu v průběžném pruhu

Začátek	Konec	Počet vozidel - průběžný pruh								
		Osobní vozidlo		Lehké nákladní vozidlo		Těžké nákladní vozidlo		Autobusy		Celkem
		VOZ	%	VOZ	%	VOZ	%	VOZ	%	
0:00:00	0:01:00	16	84,2	2	10,5	1	5,3	0	0,0	19
0:01:00	0:02:00	17	73,9	5	21,7	0	0,0	1	4,3	23
0:02:00	0:03:00	17	89,5	2	10,5	0	0,0	0	0,0	19
0:03:00	0:04:00	27	96,4	1	3,6	0	0,0	0	0,0	28
0:04:00	0:05:00	21	80,8	4	15,4	1	3,8	0	0,0	26
0:05:00	0:06:00	19	100,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	19
0:06:00	0:07:00	20	83,3	4	16,7	0	0,0	0	0,0	24
0:07:00	0:08:00	21	91,3	2	8,7	0	0,0	0	0,0	23
0:08:00	0:09:00	14	70,0	3	15,0	3	15,0	0	0,0	20
0:09:00	0:10:00	16	80,0	3	15,0	1	5,0	0	0,0	20
0:10:00	0:11:00	17	89,5	2	10,5	0	0,0	0	0,0	19
0:11:00	0:12:00	10	83,3	2	16,7	0	0,0	0	0,0	12
0:12:00	0:13:00	9	75,0	3	25,0	0	0,0	0	0,0	12
0:13:00	0:14:00	9	75,0	3	25,0	0	0,0	0	0,0	12
0:14:00	0:15:00	8	72,7	3	27,3	0	0,0	0	0,0	11

Tabulka 5: Počet vozidel odečtených z videozáznamu v neprůběžném pruhu

Začátek	Konec	Počet vozidel - neprůběžný pruh								
		Osobní vozidlo		Lehké nákladní vozidlo		Těžké nákladní vozidlo		Autobusy		Celkem
		VOZ	%	VOZ	%	VOZ	%	VOZ	%	
0:00:00	0:01:00	3	60,0	1	20,0	1	20,0	0	0,0	5
0:01:00	0:02:00	6	100,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	6
0:02:00	0:03:00	4	57,1	1	14,3	2	28,6	0	0,0	7
0:03:00	0:04:00	3	75,0	1	25,0	0	0,0	0	0,0	4
0:04:00	0:05:00	2	50,0	2	50,0	0	0,0	0	0,0	4
0:05:00	0:06:00	11	91,7	0	0,0	1	8,3	0	0,0	12
0:06:00	0:07:00	4	57,1	2	28,6	1	14,3	0	0,0	7
0:07:00	0:08:00	2	40,0	1	20,0	1	20,0	1	20,0	5
0:08:00	0:09:00	12	85,7	2	14,3	0	0,0	0	0,0	14
0:09:00	0:10:00	8	66,7	4	33,3	0	0,0	0	0,0	12
0:10:00	0:11:00	7	77,8	1	11,1	0	0,0	1	11,1	9
0:11:00	0:12:00	5	83,3	1	16,7	0	0,0	0	0,0	6
0:12:00	0:13:00	4	66,7	2	33,3	0	0,0	0	0,0	6
0:13:00	0:14:00	5	50,0	3	30,0	1	10,0	1	10,0	10
0:14:00	0:15:00	6	100,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	6

Tabulka 6: Celková bilance vozidel zjištěná z videozáznamu

Celkový počet vozidel	Osobní vozidlo		Lehké nákladní vozidlo		Těžké nákladní vozidlo		Autobusy	
	voz	%	voz	%	voz	%	voz	%
Průběžný pruh	241	84,0	39	13,6	6	2,1	1	0,3
Neprůběžný pruh	82	72,6	21	18,6	7	6,2	3	2,7

5.1.4 Rychlost dopravního proudu

Z videozáznamu byl odečten čas, který musí vozidlo urazit mezi dvěma záchytnými body, které jsou v určité vzdálenosti. Jako záchytné body byly určeny dva směrové sloupky, které by dle normy měly být vzdáleny 50 metrů od sebe. Tato délka byla ověřena i podle vodorovného dopravního značení dle Technických podmínek TP 133. Na dálnicích se pro oddělení jízdních pruhů používá podélná přerušovaná čára (V2a), kde jsou bílé pruhy o délce 6 metrů od sebe vzdáleny 12 metrů.

Rychlost pak byla dopočítána dle vzorce:

$$v \text{ (km/h)} = \frac{\text{délka úseku (km)}}{\text{čas (h)}} \quad (5.1)$$

Rychlost byla změřena u reprezentativního vzorku tří vozidel, v odstupech 20 sekund v každé minutě. A následně byl z těchto tří rychlostí udělán průměr.

Tabulka 7: Rychlosti dopravního proudu z videozáznamu

Začátek	Konec	Čas (s)	Délka (m)	Rychlost (m/s)	Rychlost km/h	Průměrná rychlost (km/h)
0:00:00	0:01:00	2,4	50	20,8	75,0	72,1
		2,6		19,2	69,2	
		2,5		20,0	72,0	
0:01:00	0:02:00	3,5	50	14,3	51,4	54,7
		2,7		18,5	66,7	
		3,9		12,8	46,2	
0:02:00	0:03:00	2,8	50	17,9	64,3	75,4
		2,0		25,0	90,0	
		2,5		20,0	72,0	
0:03:00	0:04:00	2,5	50	20,0	72,0	73,0
		2,5		20,0	72,0	
		2,4		20,8	75,0	
0:04:00	0:05:00	2,5	50	20,0	72,0	70,2
		2,7		18,5	66,7	
		2,5		20,0	72,0	
0:05:00	0:06:00	1,8	50	27,8	100,0	77,1
		2,4		20,8	75,0	
		3,2		15,6	56,3	
0:06:00	0:07:00	3,4	50	14,7	52,9	37,6
		4,3		11,6	41,9	
		10,0		5,0	18,0	
0:07:00	0:08:00	12,0	50	4,2	15,0	17,9
		9,1		5,5	19,8	
		9,5		5,3	18,9	
0:08:00	0:09:00	6,3	50	7,9	28,6	25,7
		6,8		7,4	26,5	
		8,2		6,1	22,0	
0:09:00	0:10:00	6,5	50	7,7	27,7	24,5
		8,1		6,2	22,2	
		7,6		6,6	23,7	
0:10:00	0:11:00	9,9	50	5,1	18,2	14,7
		13,0		3,8	13,8	
		15,0		3,3	12,0	
0:11:00	0:12:00	13,6	50	3,7	13,2	13,2
		14,5		3,4	12,4	
		12,9		3,9	14,0	
0:12:00	0:13:00	20,0	50	2,5	9,0	11,7
		13,5		3,7	13,3	
		14,1		3,5	12,8	
0:13:00	0:14:00	12,4	50	4,0	14,5	10,5
		16,3		3,1	11,0	
		30,0		1,7	6,0	
0:14:00	0:15:00	14,2	50	3,5	12,7	12,4
		16,3		3,1	11,0	
		13,5		3,7	13,3	

5.2 Studie parametrů dopravního modelu

Pro sestavení dopravní simulace je třeba správně nastavit vstupní hodnoty modelu tak, aby co nejvíce odpovídaly skutečné situaci. Pro zjištění těchto hodnot a jak tyto parametry ovlivňují danou simulaci, bude vypracováno parametrické srovnání. V modelu bude měnit pouze vždy jeden parametr nebo parametry, které spolu úzce souvisí, aby bylo ovlivnění zřejmé. Jako hlavní charakteristiku dopravního proudu, kterou použijeme při srovnávání, bude hustota, jelikož ta nejlépe v době vzniku kongescí reprezentuje reálný stav dopravního proudu. Jako doplňková charakteristika bude udávána i rychlost. Veličiny budou udávány v minutových intervalech, aby případný vznik kongesce či její rozpuštění byly patrné. Jako model pro Car-following model bude použita verze 1 Leader deceleration (viz dále).

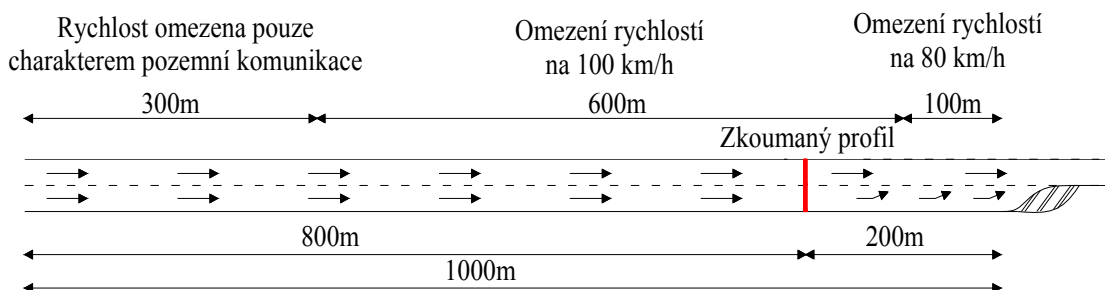
Model pozemní komunikace je zadán v kilometrovém úseku před pracovní zónou, aby mohla vozidla plynule měnit svou rychlost. Vzhledem k tomu, že je model zaměřen na místo těsně před dopravní zónou a intenzity i rychlost byly měřeny pro každý jízdní pruh zvlášť, bude od počátku modelové komunikace až po zkoumaný profil zamezeno předjíždění.

Jelikož jsou intenzity měřeny v době tvorby kongesce, kdy se výrazně snižuje rychlost dopravního proudu a zvyšuje hustota, je počet vozidel, které projedou určitým profilem, nižší než reálné hodinové intenzity v jízdním pruhu. Což je důvod proč by zadání změřených intenzit do simulace žádnou kongesci nevytvořilo. Proto budou do simulace pro zkoumání parametrů zadány vyšší intenzity, aby se vliv parametrů výrazněji projevil. Do průběžného jízdního pruhu bude zadána intenzita 1500 voz/h a do neprůběžného pruhu 600 voz/h. Poměr intenzit v jízdních pruzích a poměr kategorií vozidel zůstane zachován jako v reálném stavu.

Tabulka 8: Intenzity pro parametrickou studii

Intenzity pro simulaci	Osobní vozidlo		Lehké nákladní vozidlo		Těžké nákladní vozidlo		Autobusy		Celková intenzita
	voz/h	%	voz/h	%	voz/h	%	voz/h	%	
Průběžný pruh	1260	84,0	204	13,6	31	2,1	5	0,3	1500
Neprůběžný pruh	435	72,6	112	18,6	37	6,2	16	2,7	600

Pomocí funkce „řízení dopravy“ (Traffic Management) bylo zadána strategie, která omezuje rychlosti daných úseků dle schématu pracovní zóny (obrázek 47). Ve vzdálenosti 200m před zúžením, což odpovídá měřenému profilu, byly umístěny dva detektory, které budou měřit charakteristiky dopravního proudu. Detektor měří hodnoty pro každý jízdní pruh zvlášť.



Obrázek 48: Schéma modelu v programu Aimsun

5.2.1 Modely chování v programu Aimsun použité v simulaci

Program Aimsun disponuje přednastavenými modely ovlivňujícími chování dopravního proudu. Chování obou modelů pracuje na základě Gippsova modelu.

Na náš model budou aplikovány:

- Car-following model
- Lane-changing model

5.2.1.1 Car-following model

Tento model určuje rychlost, zrychlení a zpomalení vozidla v závislosti na okolním prostředí. Skládá se ze dvou komponentů a to akceleračního a deceleračního. První představuje záměr vozidla dosáhnout určité požadované rychlosti (maximální rychlosti) a druhý je ovlivněn omezením, které zde představuje předchozí vozidlo.

První komponent vyjadřuje maximální rychlost, na kterou může vozidlo zrychlit za určitý časový úsek a je definován takto:

$$V_a(n, t + T) = V(n, t) + 2,5a(n)T * \left(1 - \frac{V(n, t)}{V^*(n)}\right) \sqrt{0,025 + \frac{V(n, t)}{V^*(n)}} \quad (5.2)$$

$V(n, t)$ rychlost vozidla n v čase t

$V^*(n)$ maximální rychlost vozidla v konkrétním úseku

$a(n)$ maximální akcelerace vozidla n

T reakční doba

Druhý komponent, vyjadřuje maximální rychlost stejného vozidla při stejném časovém intervalu, které je ovšem ovlivněno vlastními charakteristikami vozidla předchozího ($n-1$).

Rychlost je vyjádřena vzorcem:

$$V_b(n, t + T) =$$

$$= d(n) * T + \sqrt{d(n)^2 T^2 - d(n) \left[2 * \{x(n-1, t) - s(n-1) - x(n, t)\} - V(n, t) * T - \frac{V(n-1, t)^2}{d^*(n-1)} \right]}$$
(5.3)

$V(n, t)$ rychlost vozidla n v čase t

$V(n-1, t)$ rychlost vozidla $n-1$ v čase t

$d(n)$ maximální decelerace vozidla n

T reakční doba

$x(n, t)$ pozice vozidla n v čase t

$x(n-1, t)$ pozice vozidla $n-1$ v čase t

$s(n-1)$ efektivní délka vozidla ($n-1$)

$d^*(n-1)$ odhadovaná decelerace vozidla ($n-1$)

Jako rychlost vozidla n během časového intervalu ($t, t+T$) je následně bráno minimum z těchto dvou rychlostí:

$$V(n, t + T) = \min\{V_a(n, t + T), V_b(n, t + T)\}$$
(5.4)

V simulátoru Aimsun jsou definovány tři různé verze pro výpočet odhadované decelerace vozidla $d^*(n-1)$.

- Leader deceleration
- Avg of Follower and Leader decelerations
- Sensitivity factor

První verze bere hodnotu odhadované decelerace jako hodnotu skutečné decelerace vedoucího vozidla.

$$d^*(n-1) = d(n-1)$$
(5.5)

V případě, že je rozdíl mezi zpomaleními dvou vozidl příliš velký, hodnota deceleračního komponentu může způsobit, že se následující vozidlo nachází příliš blízko k vedoucímu vozidlu.

V druhé verzi je odhadovaná decelerace rovna průměru decelerace vedoucího a následujícího vozidla. Tento model je vhodný pro sítě, kde jsou velké rozdíly mezi deceleracemi vozidel.

$$d^*(n-1) = \frac{d(n-1) + d(n)}{2} \quad (5.6)$$

V třetí verzi je zaveden parametr faktor citlivosti a (Sensitivity factor), který vstupuje do vzorce pro odhadovanou deceleraci:

$$d^*(n-1) = d(n-1) * a \quad (5.7)$$

Pokud je citlivost než 1, vozidla podceňují deceleraci vedoucího vozidla a snižují odstup mezi vozidly. Pokud je citlivost větší než 1, vozidla přeceňují zpomalení, stávají se opatrnější a mezeru zvětšují. Pokud je minimální odstup nastaven na hodnotě 0 sekund a citlivost na hodnotě 1. Funguje model stejně jako verze první.

5.2.1.2 Lane-Changing model

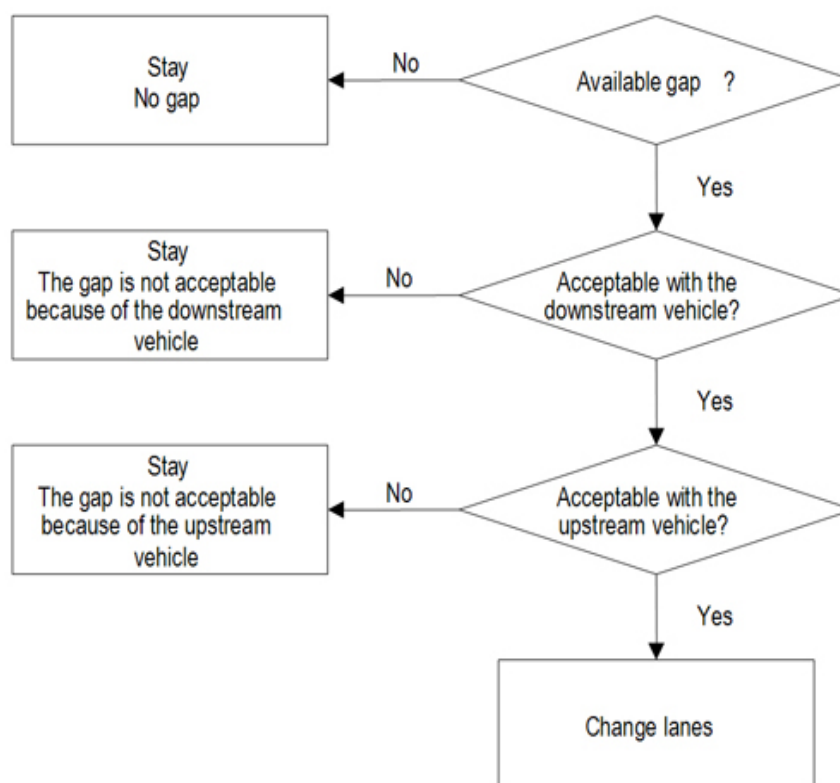
Tento model je aplikován při změně jízdního pruhu, z vedlejšího jízdního pruhu do hlavního. Součástí je i podmodel Gap-acceptance model.

Lane-Changing model je model založený na rozhodnutích, které jsou definovány chováním řidiče a jeho zvyky. První fází je položení otázky: Je nutné změnit jízdní pruh? (Is it necessary to change lanes?). Vozidlo se snaží změnit jízdní pruh například, když vozidlo před ním jede malou rychlostí, pokud se chce zařadit na vjezd do křižovatky, pokud se zařazuje z odbočujícího pruhu.

Pokud je na tuto otázku odpovězeno kladně, vyvstává otázka: Je žádoucí změnit pruh? (Is it desirable to change lanes?). Zde zkoumáme, zda je to pro nás výhodné. Posouzení se stanovuje na základě rychlosti a vzdálenosti. Například jestli je budoucí pruh v porovnání se současným pruhem o tolik rychlejší, aby mělo přecházení smysl nebo jestli je kolona dostatečně krátká. Roli zde hraje vzdálenost definovaných zón (Distance

zone 1, Distance zone 2). Poslední otázkou je, jestli je možné změnit jízdní pruh (Is it possible to change lanes?). Hlavní úlohu zde hraje Gap-acceptance model.

Podmodel zavádí algoritmus, který rozhoduje, zda v hlavním proudu vozidel je dostatečná mezera pro zařazení vozidla z vedlejšího proudu. Hlavními parametry tohoto modelu jsou rychlost, zrychlení, čas pro dání přednosti v jízdě (Give Way Time), neobežretná změna jízdního pruhu (Imprudent Lane Changing Cases) a její citlivost.



Obrázek 49: Schéma modelu Gap-acceptance model

5.2.2 Vstupní parametry pozemní komunikace

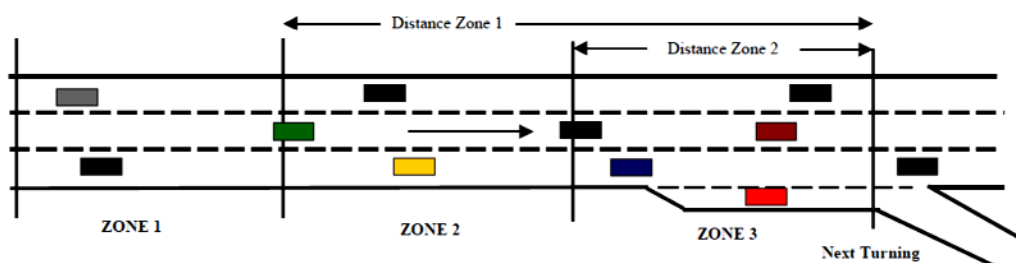
V programu Aimsun byla sestavena pozemní komunikace s charakterem dálnice (Freeway). Šířka jízdního pruhu byla nastavena na 3,5m, přednastavená hodnota maximální rychlosti (Maximum Speed) byla změněna ze 120 km/h na 130 km/h dle platných předpisů. Dalším parametrem, který byl změněn, je kapacita jízdního pásu (Capacity) v jednotkových vozidlech. Tato hodnota je pro dálnice a rychlostní komunikace s návrhovou rychlostí 120 km/h a požadovanou rychlostí 80 km/h v extravilánu stanovena na 2900 voz/h.

Dalšími požadovanými parametry pro mikroskopické modely jsou:

- vzdálenost zóny 1 (Distance Zone 1)
- vzdálenost zóny 2 (Distance Zone 2)

Podle příslušnosti zóny mění vozidlo své chování v dopravním proudu. V zóně 1, která se nachází nejdál od zařazovacího místa, ještě vozidlo nebere v úvahu sdružování pruhu. V zóně 2 mají vozidla tendenci řadit se ke kraji jízdního pruhu, kam chtějí přejet a hledají vhodnou mezeru, do které se budou moci zařadit, bez ohrožení chování dopravního proudu v příslušném pruhu. V zóně 3, která je pak nejbližší k místu zařazení, se výrazně mění chování vozidel. Projevuje se zde snížení rychlosti, možné je až zastavení. Vyskytuje se zde snaha o zařazení i při ohrožení chování dopravního proudu průběžného pruhu. Vzdálenosti jsou definovány v sekundách a jsou převáděny na délkové jednotky podle příslušné rychlosti vozidla v daném místě.

Vzdálenost zóny 1 je určena od konce zóny 1 až po místo, kde je vykonán odbočovací manévr. Zahrnuje tedy zóny 2 a 3. Vzdálenost zóny 2 je definována jako vzdálenost od konce zóny 2 po místo odbočení, je tedy rovna zóně 3. Grafické znázornění lze vidět na obrázku.



Obrázek 50: Grafické znázornění zón v modelu

Jelikož v tomto modelu je pozornost zaměřena až na místo těsně před pracovní zónou předpokládáme, že snahu se zařadit projevují již všechna vozidla. Vzdálenost zóny 1 tedy ponecháme na defaultní hodnotě 20 sekund. Aby se zóna 1 vyskytla na sledovaném úseku, musela by rychlost dopravního proudu klesnout pod 36 km/h. Můžeme ovšem předpokládat, že takový pokles rychlosti v neprůběžném jízdním pruhu, kde je intenzita menší, nastane pouze ve chvíli, kdy se vozidla z neprůběžného pruhu nebudou moci zařadit do průběžného z důvodu velké hustoty. V takovém případě budou mít vozidla snahu pokračovat až na konec jízdního pruhu a zařadit se až v zóně 2 nebo 3.

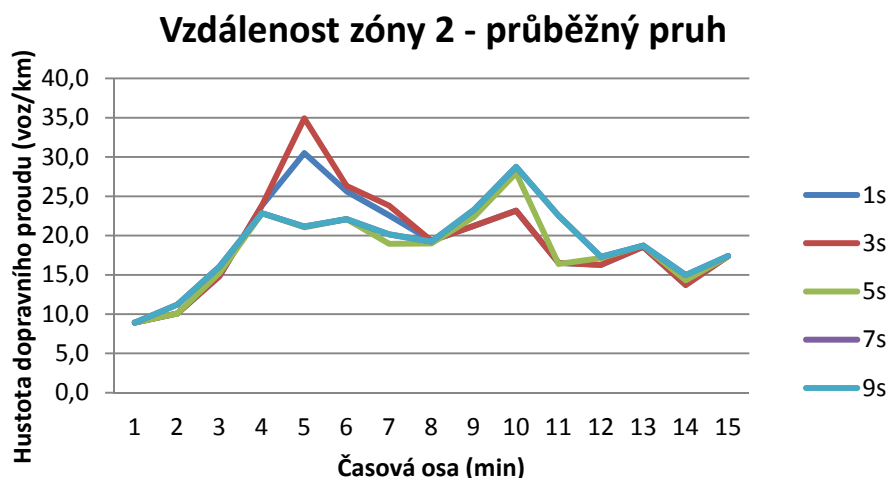
Vzdálenost zóny 2, které reprezentuje zároveň délku zóny 3, je defaultně nastavena na 3 sekundy. V následující tabulce je vidět vliv tohoto parametru na hustotu.

Tabulka 9: Ovlivnění dopravního proudu vzdáleností zóny 2 – průběžný pruh

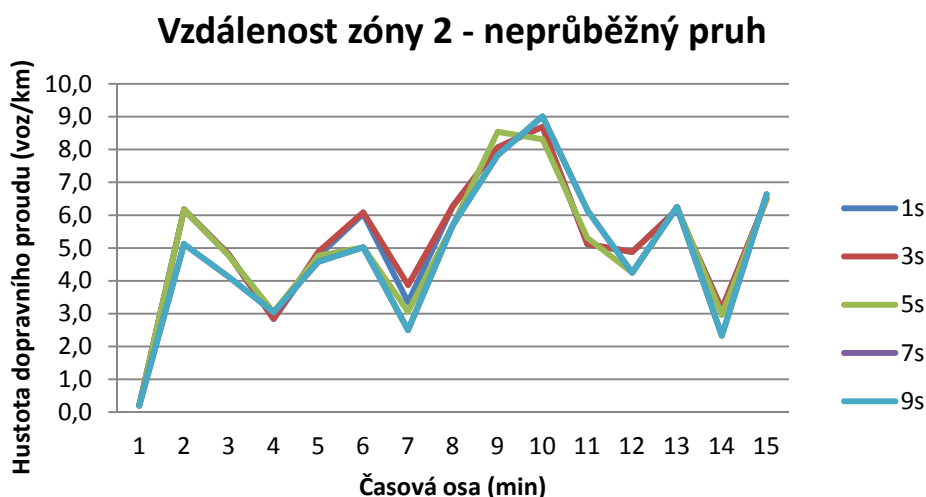
Distance zone 2 "vzdálenost zóny 2" (s)											
Začátek	Konec	Průběžný jízdní pruh									
		Hustota (voz/km)					Rychlost (km/h)				
		1s	3s	5s	7s	9s	1s	3s	5s	7s	9s
0:00:00	0:01:00	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	93,6	93,6	93,6	93,6	93,6
0:01:00	0:02:00	10,1	10,1	10,1	11,2	11,2	87,0	87,0	87,0	85,9	85,9
0:02:00	0:03:00	14,8	14,8	15,3	16,1	16,1	92,5	92,5	92,5	91,4	91,4
0:03:00	0:04:00	23,8	23,8	22,8	22,8	22,8	81,4	81,6	84,7	84,7	84,7
0:04:00	0:05:00	30,5	34,9	21,1	21,2	21,2	64,2	55,4	89,2	89,4	89,4
0:05:00	0:06:00	25,6	26,3	22,1	22,1	22,1	70,7	70,0	88,1	88,1	88,1
0:06:00	0:07:00	22,6	23,8	19,0	20,2	20,2	78,2	75,9	87,9	86,2	86,2
0:07:00	0:08:00	19,3	19,3	19,0	19,2	19,2	79,8	79,8	82,0	81,0	81,0
0:08:00	0:09:00	21,2	21,2	22,4	23,3	23,3	79,3	79,3	76,4	76,6	76,6
0:09:00	0:10:00	23,2	23,2	28,0	28,8	28,8	78,8	78,8	67,9	61,8	61,8
0:10:00	0:11:00	16,5	16,5	16,4	22,5	22,5	89,5	89,5	90,6	71,1	71,1
0:11:00	0:12:00	16,3	16,3	17,1	17,3	17,3	89,6	89,6	88,3	88,7	88,7
0:12:00	0:13:00	18,6	18,6	18,7	18,7	18,7	89,2	89,2	88,5	88,5	88,5
0:13:00	0:14:00	13,7	13,7	14,3	15,0	15,0	93,4	93,4	93,0	92,9	92,9
0:14:00	0:15:00	17,4	17,4	17,4	17,4	17,4	93,9	93,9	94,0	92,3	92,3
Průměrná hodnota		18,8	19,3	18,2	19,0	19,0	84,1	83,3	86,9	84,8	84,8

Tabulka 10: Ovlivnění dopravního proudu vzdáleností zóny 2 – neprůběžný pruh

Distance zone 2 "vzdálenost zóny 2" (s)											
Začátek	Konec	Neprůběžný jízdní pruh									
		Hustota (voz/km)					Rychlost (km/h)				
		1s	3s	5s	7s	9s	1s	3s	5s	7s	9s
0:00:00	0:01:00	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	85,8	85,8	85,8	85,8	85,8
0:01:00	0:02:00	6,2	6,2	6,2	5,1	5,1	95,5	95,5	95,5	97,4	97,4
0:02:00	0:03:00	4,8	4,8	4,8	4,1	4,1	100,1	100,1	99,2	100,3	100,3
0:03:00	0:04:00	2,8	2,8	3,0	3,0	3,0	85,2	85,2	83,1	83,0	83,0
0:04:00	0:05:00	4,8	4,9	4,8	4,6	4,6	102,7	101,2	102,5	102,4	102,4
0:05:00	0:06:00	6,0	6,1	5,0	5,0	5,0	84,0	82,5	85,5	85,5	85,5
0:06:00	0:07:00	3,4	3,9	3,1	2,5	2,5	90,6	90,6	90,6	90,6	90,6
0:07:00	0:08:00	6,3	6,3	5,7	5,7	5,7	96,4	96,4	96,0	96,0	96,0
0:08:00	0:09:00	8,1	8,1	8,5	7,8	7,8	92,1	92,1	90,5	92,0	92,0
0:09:00	0:10:00	8,7	8,7	8,3	9,0	9,0	95,4	95,4	94,0	93,6	93,6
0:10:00	0:11:00	5,1	5,1	5,3	6,2	6,2	99,7	99,7	96,5	94,1	94,1
0:11:00	0:12:00	4,9	4,9	4,3	4,3	4,3	94,9	94,9	94,9	94,9	94,9
0:12:00	0:13:00	6,2	6,2	6,3	6,3	6,3	95,1	95,1	94,6	94,6	94,6
0:13:00	0:14:00	3,1	3,1	3,0	2,3	2,3	96,6	96,6	91,1	90,5	90,5
0:14:00	0:15:00	6,5	6,5	6,5	6,6	6,6	94,2	94,2	94,2	94,3	94,3
Průměrná hodnota		5,1	5,2	5,0	4,8	4,8	93,9	93,7	92,9	93,0	93,0



Graf 1: Vliv parametru vzdálenost zóny 2 – průběžný pruh



Graf 2: Vliv parametru vzdálenost zóny 2 – neprůběžný pruh

V tabulkách jde vidět, že parametr vzdálenost zóny 2 nemá příliš velký vliv na hustotu dopravního proudu. Drobná změna od ostatních hodnot je vidět v průběžném pruhu při hodnotách 1 sekund a 3 sekund, kde se objevují nejvyšší hodnoty intenzity mezi 4-5 minutou. V neprůběžném pruhu jsou díky malé intenzitě zaznamenány poměrně velké rychlosti pohybující se od 70 km/h do 100 km/h. Při takových rychlostech se začátek zóny 3 nachází od 60m do 85m od koncem končícího pruhu. Čím více se pak vozidlo blíží ke konci jízdního pruhu (zóna 3 se zmenšuje), tím více zpomaluje a jeho následný zařazovací manévř je složitější a trvá déle. Díky tomu se zpomaluje průběžný dopravní proud a hustota se zvětšuje.

Z videozáznamu lze vidět, že se vozidla intenzivněji snaží zařadit až v druhé polovině úseku. Proto ponecháme vzdálenost zóny 2 na defaultních 3 sekundách.

Dalšími parametry úseku, které by ovlivňovaly danou simulaci je součinitel reakčního času (Reaction Time Variation) a přídavek či ubytek k parametru dání přednosti v jízdě (Max. Give Way Time Variation).

Součinitel reakčního času slouží ke zvýšení nebo snížení reakční doby v daném úseku dle následujícího vzorce:

$$\text{Celková reakční doba} = \text{Reakční doba} + \text{součinitel} * \text{simulační krok} \quad (5.8)$$

Druhý parametr definuje hodnotu v sekundách, o kterou je lokálně zvýšen nebo snížen parametr dání přednosti v jízdě (Give Way Time). Tento parametr určuje čas, v kterém je řidič ochoten dát přednost vozidlům v průběžném jízdním pruhu, aniž by se zvyšovala jeho agresivita a ztrácel toleranci k odstupu mezi vozidly.

Oba tyto parametry by sice ovlivnily dopravní model, ale vzhledem k malému rozsahu dopravní sítě, budou tyto hodnoty zadány v parametrech vozidla. Tyto hodnoty se většinou mění až při rozsáhlejších dopravních sítích, kdy je třeba mít různé charakteristiky pro různé úseky.

5.2.3 Vstupní parametry vozidel

Hlavními charakteristikami vozidel v programu Aimsun, které budou mít vliv na dopravní simulaci, jsou:

- délka vozidla (Length)
- šířka vozidla (Width)
- maximální rychlost vozidla (Max Desired Speed)
- maximální akcelerace (Max Acceleration)
- normální decelerace (Normal Deceleration)
- maximální decelerace (Max Deceleration)
- dodržení rychlosti (Speed Acceptance)
- minimální vzdálenost mezi vozidly (Min Distance Veh)
- čas pro dání přednosti v jízdě (Give Way Time)
- faktor citlivosti (Sensitivity Factor)

- minimální časový odstup mezi hlavním a následujícím vozidlem (Minimum Headway)
- neobezřetná změna jízdního pruhu (Imprudent Lane Changing Cases)
- citlivost na neobezřetnou změnu jízdního pruhu (Sensitivity for Imprudent Lane Changing)
- koeficient pro přepočítání na jednotkové vozidlo (PCUs)
- reakční doba (Reaction time)
- reakční doba při zastavení (Reaction time at stop)

5.2.3.1 Rozměry vozidla

Především délka vozidel má velký vliv na střídavé řazení, díky nutnosti dodržet potřebnou mezeru mezi vozidly v průběžném pruhu, aby se vozidla z neprůběžného pruhu mohla zařadit. Přednastavené hodnoty v programu Aimsun neodpovídají rozměrům vozidel v českých podmínkách. Především délka osobních a těžkých nákladních vozidel je značně podhodnocena.

Pro zjištění délky a šířky vozidel v České republice byl použit výzkum, který si nechalo udělat Ředitelství silnic a dálnic v roce 2010. Výzkum nesl název „Zjištění aktuální dynamické skladby vozového parku na silniční síti ČR a jeho emisních parametrů v roce 2010“. Vozidla jsou rozdělena do čtyř základních kategorií, stejných jak bylo uvedeno výše, a je určena jejich tovární značka a typ. Bylo nutné provést menší opravu u rozdělení vozidel dle kategorií, jelikož pod lehká nákladní vozidla byla zařazena i vozidla osobní (Škoda Octavia, Škoda Fabia), která jsou v registru vozidel zaregistrována jako lehké nákladní automobily z důvodu možnosti odpočtu DPH při pořízení vozidla pro podnikatelské účely. Tyto automobily byly přerazeny do tabulky pro osobní automobily.

Ke každé značce automobilu byly přiřazeny orientační rozměry délky a šířky uváděné výrobcem. Pomocí uváděného počtu vozidel při měření byl spočítán vážený průměr obou rozměrů. Rozměry délek budou zaokrouhleny na 0,5 metrů nahoru a rozměry šířek na desetiny nahoru.

Tabulka 11: Orientační rozměry osobních vozidel

Osobní vozidla (M1)						
Pořadí	Tovární značka	Typ	Počet	Podíl (%)	Délka (m)	Šířka (m)
1	Škoda	Octavia	6267	12,91*	4,572	1,769
2	Škoda	Fabia	5113	11,09*	3,96	1,646
3	Škoda	Felicia	2527	6,18	3,855	1,635
4	Volkswagen	Passat	1182	2,89	4,774	1,820
5	Renault	Megane	1109	2,71	4,559	1,804
6	Ford	Mondeo	922	2,25	4,671	1,751
7	Ford	Focus	919	2,25	4,465	1,702
8	Volkswagen	Golf	913	2,23	4,199	1,779
9	Opel	Astra	822	2,01	4,419	1,814
10	Škoda	Superb	698	1,71	4,803	1,765
Vážený průměr					4,326	1,725

* Hodnoty před přičtením vozidel zaregistrovaných jako lehké nákladní automobily

Tabulka 12: Orientační rozměry lehkých nákladních automobilů

Lehké nákladní automobily (N1)						
Pořadí	Tovární značka	Typ	Počet	Podíl (%)	Délka (m)	Šířka (m)
1	Ford	Transit	1487	12,49	5,230	1,974
2	Volkswagen	Transporter	598	5,02	4,890	1,904
3	Fiat	Ducato	408	3,43	5,500	2,000
4	Iveco	Daily	356	2,99	5,477	2,000
5	Peugeot	Boxer	341	2,87	6,363	2,050
6	Renault	Master	338	2,84	5,994	1,990
7	Citroen	Berlingo	326	2,74	4,135	1,820
8	Volkswagen	Caddy	265	2,23	4,876	1,794
9	Peugeot	Partner	230	1,93	4,380	1,810
10	Citroen	Jumper	222	1,87	4,963	2,050
Vážený průměr					5,216	1,950

Tabulka 13: Orientační rozměry těžkých nákladních automobilů

Těžké nákladní automobily (N2, N3)						
Pořadí	Tovární značka	Typ	Počet	Podíl (%)	Délka (m)	Šířka (m)
1	Man	TGA	322	6,02	15,500	2,550
2	Daf	FT	315	5,89	14,600	2,480
3	Iveco	Eurocargo	274	5,12	10,600	2,400
4	Daf	FA	236	4,41	10,500	2,300
5	Volvo	FH12	226	4,22	15,100	2,490
6	Scania	R420	192	3,59	9,150	2,550
7	Renault	Midlum	164	3,07	10,182	2,550
8	Mercedes-Benz	Sprinter	161	3,01	7,345	1,993
9	Renault	Premium	150	2,08	9,880	2,550
10	Mercedes-Benz	Actros	148	2,77	10,070	2,550
Vážený průměr					11,868	2,447

Tabulka 14: Orientační rozměry autobusů

Autobusy (M2, M3)						
Pořadí	Tovární značka	Typ	Počet	Podíl (%)	Délka (m)	Šířka (m)
1	Sor	C	61	13,65	10,780	2,525
2	Karosa	C	58	12,98	11,990	2,500
3	Karosa	B	31	6,94	11,320	2,500
4	Karosa	LC	22	4,92	11,990	2,500
5	Beulas	Aura	20	4,47	14,000	2,500
6	Ford	Transit	19	4,25	7,400	2,500
7	Sor	Ekobus	17	3,80	7,500	2,480
8	Bova	FHD	13	2,91	12,750	2,490
9	Irisbus	SFR160	13	2,91	12,755	2,550
10	Karosa	734	9	2,01	11,055	2,500
Vážený průměr					11,205	2,506

Tabulka 15: Délka vozidla

Název v programu	Kategorie vozidel		Délka vozidla (m)			
			Střední hodnota	Odchylka	Minimum	Maximum
Car	Osobní vozidlo	Defaultní	4,00	0,50	3,40	4,60
		Nové	4,50	0,50	3,90	5,20
Van	Lehké nákladní vozidlo	Defaultní	6,00	1,00	5,00	7,00
		Nové	5,50	0,50	4,80	6,30
Truck	Těžké nákladní vozidlo	Defaultní	7,50	2,00	6,00	10,00
		Nové	12,00	1,00	10,00	15,00
Bus	Autobus	Defaultní	12,00	2,00	9,00	15,00
		Nové	11,50	1,00	10,00	13,00

Tabulka 16: Šířka vozidel

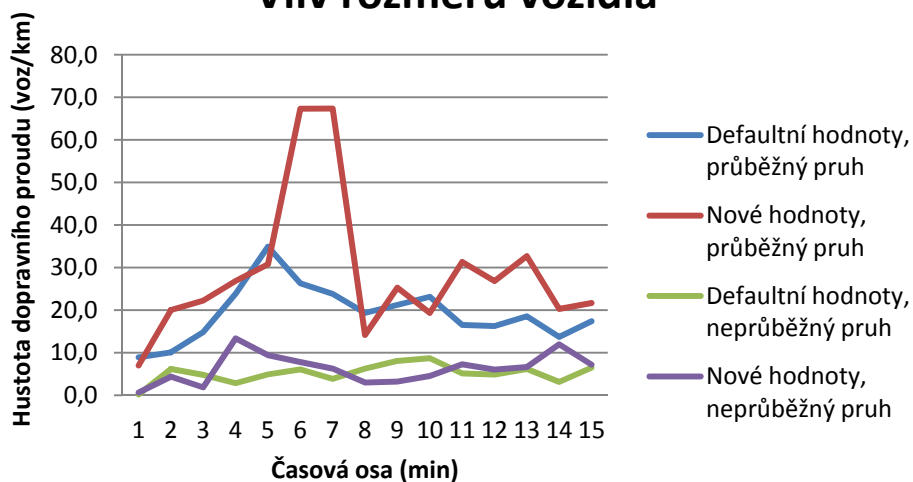
Název v programu	Kategorie vozidel		Šířka vozidla (m)			
			Střední hodnota	Odchylka	Minimum	Maximum
Car	Osobní vozidlo	Defaultní	2,00	0,00	2,00	2,00
		Nové	1,80	0,10	1,60	2,00
Van	Lehké nákladní vozidlo	Defaultní	2,00	0,00	2,00	2,00
		Nové	2,00	0,10	1,80	2,10
Truck	Těžké nákladní vozidlo	Defaultní	2,30	0,50	1,90	3,00
		Nové	2,50	0,10	2,30	2,55
Bus	Autobus	Defaultní	2,30	0,50	1,90	3,00
		Nové	2,50	0,10	2,30	2,55

Po změně šířky a délky vozidel se hustota dopravního proudu výrazně zvýšila, jak je možné vidět v následující tabulce a grafu:

Tabulka 17: Ovlivnění dopravního proudu rozměry vozidel

Rozměry vozidel (m)									
Začátek	Konec	Hustota (voz/km)				Rychlost (km/h)			
		Průběžný pruh		Neprůběžný pruh		Průběžný pruh		Neprůběžný pruh	
		Defaultní hodnoty	Nové hodnoty	Defaultní hodnoty	Nové hodnoty	Defaultní hodnoty	Nové hodnoty	Defaultní hodnoty	Nové hodnoty
0:00:00	0:01:00	8,9	7,0	0,2	0,7	93,6	95,3	85,8	92,1
0:01:00	0:02:00	10,1	20,0	6,2	4,4	87,0	90,3	95,5	96,9
0:02:00	0:03:00	14,8	22,2	4,8	1,9	92,5	87,0	100,1	98,3
0:03:00	0:04:00	23,8	26,9	2,8	13,4	81,6	68,4	85,2	76,6
0:04:00	0:05:00	34,9	30,8	4,9	9,4	55,4	53,2	101,2	83,5
0:05:00	0:06:00	26,3	67,3	6,1	7,8	70,0	26,1	82,5	90,4
0:06:00	0:07:00	23,8	67,4	3,9	6,3	75,9	30,9	90,6	85,8
0:07:00	0:08:00	19,3	14,2	6,3	3,0	79,8	91,1	96,4	100,6
0:08:00	0:09:00	21,2	25,3	8,1	3,2	79,3	80,2	92,1	95,0
0:09:00	0:10:00	23,2	19,4	8,7	4,5	78,8	88,5	95,4	93,9
0:10:00	0:11:00	16,5	31,4	5,1	7,3	89,5	65,2	99,7	94,2
0:11:00	0:12:00	16,3	26,8	4,9	6,1	89,6	62,3	94,9	97,5
0:12:00	0:13:00	18,6	32,7	6,2	6,6	89,2	56,3	95,1	84,9
0:13:00	0:14:00	13,7	20,3	3,1	12,0	93,4	68,2	96,6	79,1
0:14:00	0:15:00	17,4	21,7	6,5	7,2	93,9	80,4	94,2	96,7
Průměrná hodnota		19,3	28,9	5,2	6,2	83,3	69,6	93,7	91,0

Vliv rozměrů vozidla



Graf 3: Vliv rozměrů vozidla

5.2.3.2 Maximální rychlost vozidla a míra dodržení rychlosti

Parametr maximální rychlost vozidla (Maximum desired speed) je definována pomocí střední hodnoty, směrodatné odchylky a minimální a maximální hodnoty. Určuje se pro různé kategorie vozidel zvlášť s ohledem na jejich konstrukční možnosti.

Parametr dodržení rychlosti (Speed Acceptance) reprezentuje jakousi „poctivost“ řidiče dodržovat dané rychlostní limity. Je to bezrozměrný parametr, který je definován střední hodnotou, odchylkou, maximální a minimální hodnotou. Pokud je hodnota větší než 1, znamená to, že program bude brát maximální rychlost vozidla větší než rychlostní limit. Pokud je hodnota menší než 1 bude vozidlo maximální rychlost komunikace dodržovat.

Pomocí obou těchto parametrů pak můžeme vyjádřit maximální rychlost vozidla v daném úseku:

$$s_{lim,\theta}(n, s) = S_{lim}(s) * \theta(n) \quad (5.9)$$

Vzorec (5.9) vyjadřuje ovlivnění rychlostního limitu daného úseku mírou dodržení rychlosti vozidla. Parametr $S_{lim}(n)$ vyjadřuje maximální dovolenou rychlost a parametr θ reprezentuje dodržení rychlosti pro dané vozidlo.

Maximální rychlost vozidla na daném úseku je pak minimální hodnota z upraveného rychlostního limitu $s_{lim,\theta}(n, s)$ a maximální rychlosti vozidla $v_{max}(n)$ (Maximum desired speed):

$$V_{max}(n, s) = \min [s_{lim,\theta}(n, s), v_{max}(n)] \quad (5.10)$$

Parametr $V_{max}(n, s)$ následně vystupuje v Car-Following Modelu jako $V^*(n)$.

Tabulka 18: Defaultní hodnoty maximálních rychlostí vozidel

Název v programu	Kategorie vozidel	Maximální rychlost vozidla (km/h)			
		Střední hodnota	Odchylka	Minimum	Maximum
Car	Osobní vozidlo	110	10	80	150
Van	Lehké nákladní vozidlo	100	10	80	120
Truck	Těžké nákladní vozidlo	85	10	70	100
Bus	Autobus	90	10	80	120

Z nalezených zdrojů vyplývá, že většina hodnot odpovídá realitě a proto budou ponechány nezměněny. Jediná hodnota, která bude upravena, je maximální rychlost autobusů, která je díky konstrukci brzdného systému pouze 100 km/h a ne uváděných 120 km/h.

Tabulka 19: Defaultní hodnoty dodržení rychlosti

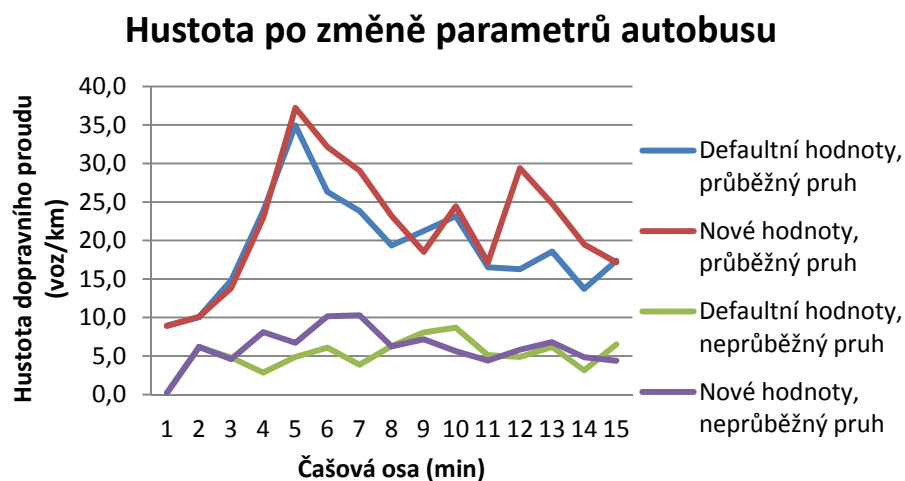
Název v programu	Kategorie vozidel	Dodržení rychlosti			
		Střední hodnota	Odchylka	Minimum	Maximum
Car	Osobní vozidlo	1,10	0,10	0,90	1,30
Van	Lehké nákladní vozidlo	1,00	0,10	0,90	1,15
Truck	Těžké nákladní vozidlo	1,00	0,00	1,00	1,00
Bus	Autobus	1,00	0,10	0,90	1,10

V tabulce 19 je přehled přednastavených hodnot míry dodržení rychlosti. I tyto hodnoty jsou nastavené velmi reálně a není důvod je výrazně měnit. Pouze pokud je, z důvodu nainstalování tachografu ve vozidle, předpokládáno dodržování rychlosti těžkých nákladních vozidel, měl by být tento předpoklad aplikován i na autobusy, jejichž rychlost je také hlídána. Hodnoty autobusu budou tedy nastaveny na hodnotu 1,0.

Tabulka 20: Změna hustoty po opravě parametrů u autobusu

Začátek	Konec	Hustota (voz/km)			
		Průběžný pruh		Neprůběžný pruh	
		Defaultní hodnoty	Nové hodnoty	Defaultní hodnoty	Nové hodnoty
0:00:00	0:01:00	8,9	8,9	0,2	0,2
0:01:00	0:02:00	10,1	10,0	6,2	6,1
0:02:00	0:03:00	14,8	13,8	4,8	4,5
0:03:00	0:04:00	23,8	22,9	2,8	8,1
0:04:00	0:05:00	34,9	37,2	4,9	6,7
0:05:00	0:06:00	26,3	32,1	6,1	10,1
0:06:00	0:07:00	23,8	29,0	3,9	10,2
0:07:00	0:08:00	19,3	23,1	6,3	6,2
0:08:00	0:09:00	21,2	18,5	8,1	7,1
0:09:00	0:10:00	23,2	24,4	8,7	5,6
0:10:00	0:11:00	16,5	17,1	5,1	4,4
0:11:00	0:12:00	16,3	29,3	4,9	5,8
0:12:00	0:13:00	18,6	24,8	6,2	6,7
0:13:00	0:14:00	13,7	19,5	3,1	4,8
0:14:00	0:15:00	17,4	17,1	6,5	4,3
Průměrná hodnota		19,3	21,9	5,2	6,1

Tabulka 20 ukazuje změnu hustoty dopravního proudu, po změně parametrů autobusu. Z tabulky lze vyčíst, že i přes malý podíl autobusů na celkové intenzitě se hodnoty změní. Hlavní roli zde hraje především parametr míry dodržení rychlosti, kdyby byla změněna pouze maximální rychlost, vliv by se neprojevil vůbec.

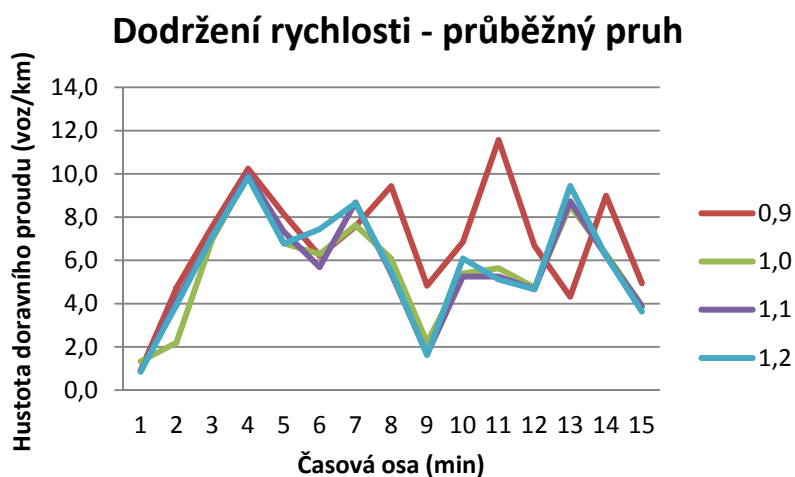


Graf 4: Změna hustot při opravě rychlostních charakteristik autobusu

Po změně hodnot u autobusů, provedeme analýzu pro parametr dodržení rychlosti. Hodnoty maximálních rychlostí zůstanou stejné a hodnota míry dodržení se bude měnit krokem 0,1 v intervalu od 0,8 do 1,2. Hodnoty budou definovány střední hodnotou a budou měněny pouze u kategorie vozidel osobní vozidlo a lehké nákladní vozidlo, jelikož u zbylých dvou kategorií lze předpokládat kontrolu rychlosti tachografem.

Tabulka 21: Vliv míry dodržení rychlosti na dopravní proud – průběžný pruh

Speed acceptance "dodržení rychlosti" (-)											
Začátek	Konec	Průběžný jízdní pruh									
		Hustota (voz/km)					Rychlost (km/h)				
		0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
0:00:00	0:01:00	5,6	6,6	6,1	6,5	6,5	80,0	90,0	96,0	100,4	101,3
0:01:00	0:02:00	25,7	21,3	22,3	20,9	19,8	76,3	87,6	93,1	90,8	95,7
0:02:00	0:03:00	25,4	27,3	25,5	23,6	23,8	72,7	70,5	73,7	76,4	76,0
0:03:00	0:04:00	28,5	31,5	27,6	27,6	27,6	55,7	64,4	76,0	72,3	76,2
0:04:00	0:05:00	30,7	42,3	46,1	25,3	42,9	53,1	41,9	39,3	64,9	37,5
0:05:00	0:06:00	31,1	22,3	22,0	22,2	27,0	61,8	77,6	80,8	83,1	66,8
0:06:00	0:07:00	20,8	32,2	22,2	23,7	25,1	74,8	61,0	73,2	69,0	65,5
0:07:00	0:08:00	40,7	29,6	22,7	23,0	22,8	58,4	59,4	76,6	78,4	78,8
0:08:00	0:09:00	27,4	20,8	13,4	13,4	13,3	66,0	79,0	95,9	99,0	99,5
0:09:00	0:10:00	26,4	16,1	19,6	20,0	19,6	74,4	83,1	89,9	91,1	90,1
0:10:00	0:11:00	30,5	21,7	18,3	17,6	17,8	63,0	71,9	90,1	91,9	91,4
0:11:00	0:12:00	23,1	19,8	27,9	27,7	27,6	74,7	82,9	67,8	68,3	68,4
0:12:00	0:13:00	23,0	17,1	37,3	40,7	36,5	71,9	86,1	56,2	47,1	53,3
0:13:00	0:14:00	22,7	19,0	70,1	43,5	64,0	69,3	76,5	24,9	41,9	35,9
0:14:00	0:15:00	19,7	21,0	34,8	22,1	83,3	77,0	75,5	43,7	62,2	19,8
Průměrná hodnota		25,4	23,3	27,7	23,8	30,5	68,6	73,8	71,8	75,8	70,4

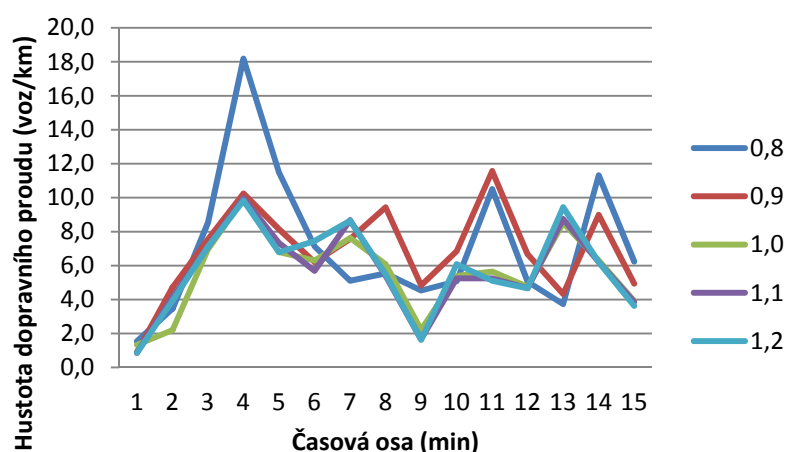


Graf 5: Vliv parametru dodržení rychlost – průběžný pruh

Tabulka 22: Vliv míry dodržení rychlosti na dopravní proud – neprůběžný pruh

Speed acceptance "dodržení rychlosti" (-)											
Začátek	Konec	Neprůběžný jízdní pruh									
		Hustota (voz/km)					Rychlost (km/h)				
		0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
0:00:00	0:01:00	1,5	0,9	1,3	0,9	0,9	80,0	87,9	90,5	90,5	90,5
0:01:00	0:02:00	3,5	4,7	2,2	4,1	3,9	80,0	90,0	96,8	102,6	105,0
0:02:00	0:03:00	8,6	7,6	7,0	7,1	7,1	79,3	87,5	93,0	96,0	95,4
0:03:00	0:04:00	18,2	10,2	9,9	10,0	9,8	59,1	84,1	86,7	88,3	89,7
0:04:00	0:05:00	11,5	8,1	6,8	7,3	6,8	76,9	71,0	84,8	79,2	82,4
0:05:00	0:06:00	7,1	6,2	6,3	5,7	7,4	77,4	88,3	95,6	96,3	90,3
0:06:00	0:07:00	5,1	7,6	7,6	8,7	8,6	77,0	82,5	84,3	80,6	81,0
0:07:00	0:08:00	5,5	9,4	6,1	5,4	5,5	77,7	71,7	84,0	84,4	83,1
0:08:00	0:09:00	4,5	4,8	2,2	1,7	1,6	83,0	89,3	94,8	100,0	101,7
0:09:00	0:10:00	5,1	6,9	5,4	5,3	6,1	79,3	80,4	92,3	93,0	91,6
0:10:00	0:11:00	10,5	11,6	5,6	5,3	5,1	75,7	84,3	91,4	95,0	95,8
0:11:00	0:12:00	5,1	6,7	4,8	4,7	4,7	80,9	87,7	90,5	93,3	93,2
0:12:00	0:13:00	3,7	4,3	8,5	8,7	9,4	77,4	90,8	84,4	83,8	78,8
0:13:00	0:14:00	11,3	9,0	6,3	6,2	6,2	72,0	86,0	96,8	98,7	99,2
0:14:00	0:15:00	6,2	4,9	3,9	3,9	3,6	72,8	88,1	93,0	97,4	102,6
Průměrná hodnota		7,2	6,9	5,6	5,7	5,8	76,6	84,6	90,6	91,9	92,0

Dodržení rychlosti - neprůběžný pruh



Graf 6: Vliv parametru dodržení rychlosti – neprůběžný pruh

Následující analýza ukazuje, že míra dodržování rychlosti nepůsobí na dopravní proud nijak pravidelně. Důvod nejvyšší hustoty u nejvyšší míry dodržení rychlosti (1,2) můžeme vysvětlit tak, že při vyšších rychlostech průběžného proudu je zařazení do něj složitější. Řidiči v neprůběžném proudu se chovají opatrněji a více si vybírají interval zařazení, díky tomu jsou nuceni zpomalit a vyčkat. Následné zařazení z malé rychlosti pak brzdí i průběžný proud.

5.2.3.3 Akcelerace a deceleraci vozidla

Akcelerace neboli zrychlení je charakteristika, kterou popisujeme, jak se mění rychlost tělesa v čase. Pohyb vozidla je při použití akcelerace nazýván pohybem zrychleným. Zrychlení lze vypočítat jako první derivaci rychlosti podle času. Akcelerace vozidla je závislá především na vlastní rychlosti vozidla, rozdílu rychlosti vozidla a předcházejícího vozidla a vzdálenosti mezi vozidly. V programu Aimsun je uváděná maximální hodnota akcelerace (Maximum acceleration) s jednotkou m/s^2 .

Opakem akcelerace je decelerace neboli zpomalení, má opačný směr a ve výpočtech opačné znaménko. Pohybem zpomaleným u vozidla je především brzdění. Brzdné zpomalení je vyvoláno dosažitelnou silou tření pneumatik a povrchu vozovky. Pro deceleraci se obecně uvádějí dvě hodnoty a to hodnota normálního zpomalení (Normal deceleration), která se používá při normální jízdě a hodnota maximálního zpomalení (Maximum deceleration), kterou vozidlo může použít v extrémních případech, například při hrozcí kolizi.

V programu Aimsun jsou všechny tyto hodnoty zadány pomocí střední hodnoty, odchylky a maxima a minima. Dle nalezených zdrojů, především z oboru soudního inženýrství, defaultní hodnoty odpovídají těm reálným a proto budou pro reálný dopravní model střídavého řízení ponechány.

Tabulka 23: Defaultní hodnoty maximální akcelerace

Název v programu	Kategorie vozidel	Maximální akcelerace (m/s^2)			
		Střední hodnota	Odchylka	Minimum	Maximum
Car	Osobní vozidlo	3,00	0,20	2,60	3,40
Van	Lehké nákladní vozidlo	2,50	0,20	2,00	3,00
Truck	Těžké nákladní vozidlo	1,00	0,50	0,60	1,80
Bus	Autobus	1,00	0,30	0,80	1,80

Tabulka 24: Defaultní hodnoty normální decelerace

Název v programu	Kategorie vozidel	Normální decelerace (m/s^2)			
		Střední hodnota	Odchylka	Minimum	Maximum
Car	Osobní vozidlo	4,00	0,25	3,50	4,50
Van	Lehké nákladní vozidlo	3,50	0,20	3,00	4,00
Truck	Těžké nákladní vozidlo	3,50	1,00	2,50	4,80
Bus	Autobus	2,00	2,00	1,50	4,80

Tabulka 25: Defaultní hodnoty maximální decelerace

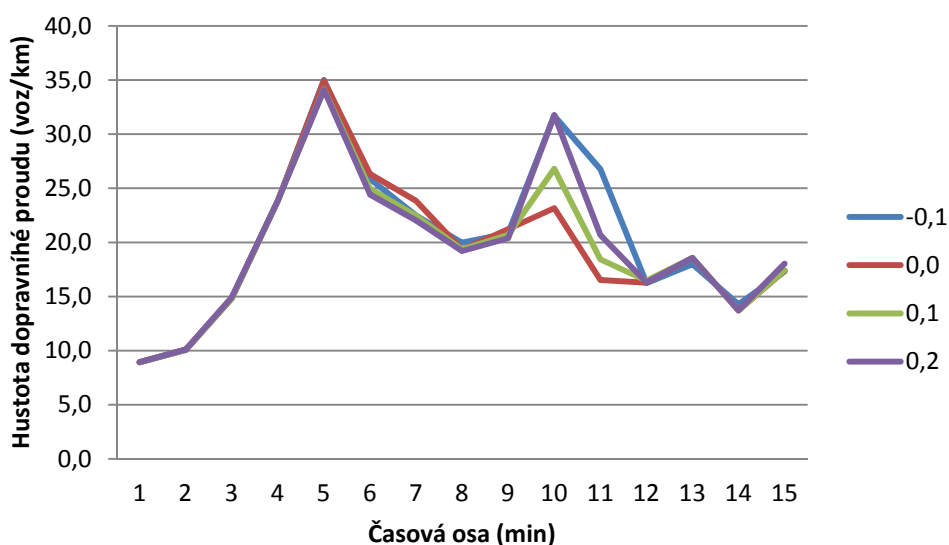
Název v programu	Kategorie vozidel	Maximální decelerace (m/s^2)			
		Střední hodnota	Odchylka	Minimum	Maximum
Car	Osobní vozidlo	6,00	0,50	5,00	7,00
Van	Lehké nákladní vozidlo	5,50	0,50	4,50	6,50
Truck	Těžké nákladní vozidlo	5,00	0,50	4,00	6,00
Bus	Autobus	5,00	2,00	4,50	8,00

Při parametrické studii se zaměříme na maximální akceleraci a normální deceleraci a budeme je měnit u všech kategorií vozidel. U parametrů budeme měnit střední hodnotu, při kroku $0,1 \text{ m/s}^2$, a zbylé hodnoty normálního rozdělení zůstanou ve stejných intervalech jako přednastavené v programu.

Tabulka 26: Vliv akcelerace na dopravní proud – průběžný proud

Maximum acceleration "maximální akcelerace" (m/s ²)									
Začátek	Konec	Průběžný pruh							
		Hustota (voz/km)				Rychlost (km/h)			
		-0,1	0,0	0,1	0,2	-0,1	0,0	0,1	0,2
0:00:00	0:01:00	8,9	8,9	8,9	8,9	93,6	93,6	93,6	93,6
0:01:00	0:02:00	10,1	10,1	10,1	10,1	86,9	87,0	87,0	87,0
0:02:00	0:03:00	14,8	14,8	14,8	14,9	92,4	92,5	92,7	92,0
0:03:00	0:04:00	23,8	23,8	23,9	23,8	81,5	81,6	81,6	81,6
0:04:00	0:05:00	35,0	34,9	34,2	34,1	75,2	55,4	59,7	70,9
0:05:00	0:06:00	25,9	26,3	23,6	24,4	78,9	70,0	77,5	79,6
0:06:00	0:07:00	22,5	23,8	21,3	22,0	79,5	75,9	81,7	82,4
0:07:00	0:08:00	20,0	19,3	19,4	19,2	80,4	79,8	79,7	79,7
0:08:00	0:09:00	20,8	21,2	21,4	20,4	78,5	79,3	79,0	73,3
0:09:00	0:10:00	31,7	23,2	26,2	31,8	45,7	78,8	71,3	45,7
0:10:00	0:11:00	26,8	16,5	16,7	20,7	70,2	89,5	89,4	53,5
0:11:00	0:12:00	16,3	16,3	16,3	16,3	88,5	89,6	89,7	86,4
0:12:00	0:13:00	18,0	18,6	18,6	18,6	55,0	89,2	89,1	89,2
0:13:00	0:14:00	14,3	13,7	13,7	13,7	87,3	93,4	93,4	93,4
0:14:00	0:15:00	17,3	17,4	17,4	18,0	93,9	93,9	93,9	94,3
Průměrná hodnota		20,4	19,3	19,4	19,8	79,1	83,3	83,9	80,2

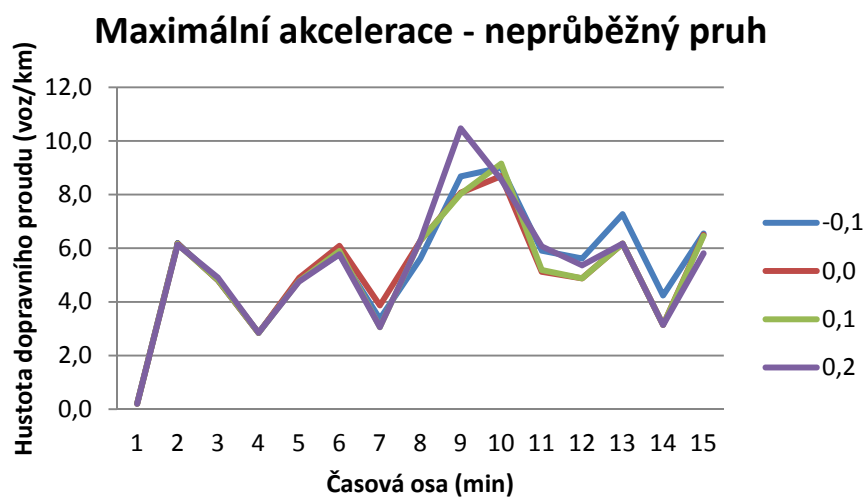
Maximální akcelerace - průběžný pruh



Graf 7: Vliv parametru maximální akcelerace – průběžný pruh

Tabulka 27: Vliv akcelerace na dopravní proud – neprůběžný proud

Maximum acceleration "maximální akcelerace" (m/s ²)									
Začátek	Konec	Neprůběžný pruh							
		Hustota (voz/km)				Rychlost (km/h)			
		-0,1	0,0	0,1	0,2	-0,1	0,0	0,1	0,2
0:00:00	0:01:00	0,2	0,2	0,2	0,2	85,8	85,8	85,8	85,8
0:01:00	0:02:00	6,2	6,2	6,2	6,1	95,5	95,5	95,5	95,5
0:02:00	0:03:00	4,8	4,8	4,8	4,9	100,1	100,1	100,2	99,9
0:03:00	0:04:00	2,8	2,8	2,8	2,9	85,3	85,2	85,3	85,1
0:04:00	0:05:00	4,8	4,9	4,8	4,8	101,7	101,2	102,4	103,1
0:05:00	0:06:00	5,8	6,1	5,9	5,8	86,1	82,5	84,9	86,2
0:06:00	0:07:00	3,4	3,9	3,1	3,1	90,2	90,6	90,6	90,6
0:07:00	0:08:00	5,6	6,3	6,3	6,3	96,8	96,4	96,4	96,3
0:08:00	0:09:00	8,7	8,1	8,0	10,5	92,5	92,1	92,5	88,0
0:09:00	0:10:00	9,0	8,7	9,2	8,6	93,6	95,4	92,6	95,2
0:10:00	0:11:00	5,9	5,1	5,2	6,1	96,8	99,7	98,3	96,5
0:11:00	0:12:00	5,6	4,9	4,9	5,4	97,7	94,9	94,9	94,7
0:12:00	0:13:00	7,3	6,2	6,2	6,2	87,2	95,1	95,1	95,1
0:13:00	0:14:00	4,2	3,1	3,1	3,1	67,4	96,6	96,6	96,5
0:14:00	0:15:00	6,6	6,5	6,5	5,8	94,2	94,2	94,2	94,2
Průměrná hodnota		5,4	5,2	5,1	5,3	91,4	93,7	93,7	93,5

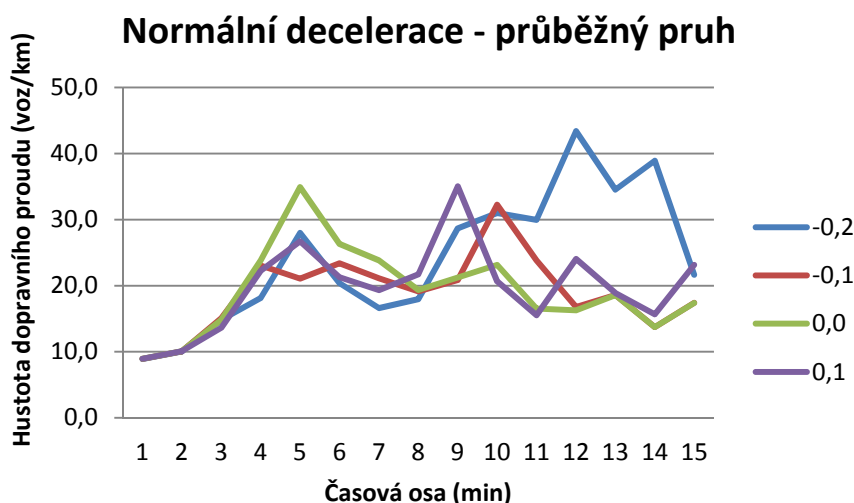


Graf 8: Vliv parametru maximální akcelerace – neprůběžný pruh

Parametr akcelerace nevytváří maximální hodnoty hustoty dopravního proudu ovšem má vliv na rychlost rozpuštění většího shluku vozidel. Tento efekt lze na vrcholech grafu v průběžném pruh, kdy se hustotní vrchol rozpouští jinak rychle, což je prezentováno sklonem grafu. Při vyšší akceleraci je vozidlo schopno rychleji se rozjet, hustota dopravního proudu rychleji klesá a sklon přímky je tedy větší. Zatímco při nízké hodnotě akcelerace se vozidlo rozjíždí pomaleji a sklon přímky je menší.

Tabulka 28: Vliv decelerace na dopravní proud – průběžný pruh

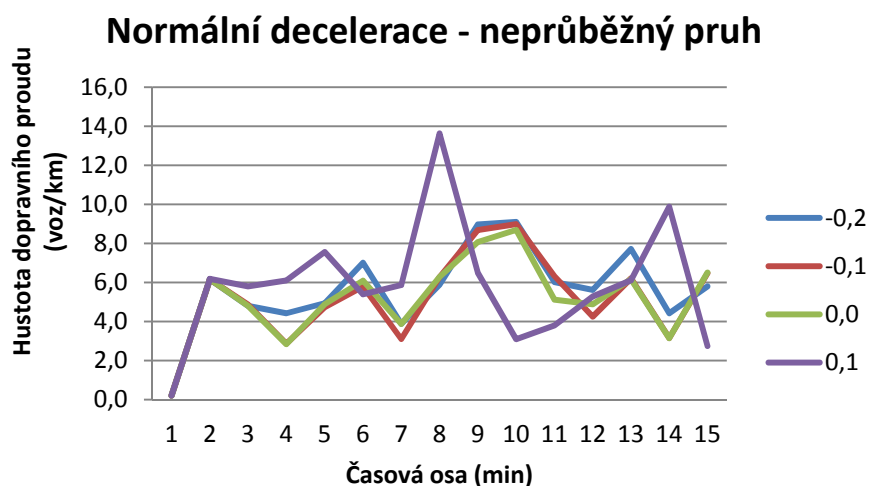
Normal deceleration "normální decelerace" (m/s ²)									
Začátek	Konec	Průběžný pruh							
		Hustota (voz/km)				Rychlost (km/h)			
		-0,2	-0,1	0,0	0,1	-0,2	-0,1	0,0	0,1
0:00:00	0:01:00	8,9	8,9	8,9	8,9	93,8	93,7	93,6	93,5
0:01:00	0:02:00	10,0	10,1	10,1	10,1	87,2	87,1	87,0	86,8
0:02:00	0:03:00	14,8	15,1	14,8	13,6	92,7	91,7	92,5	92,1
0:03:00	0:04:00	18,1	23,1	23,8	22,3	90,1	84,4	81,6	88,4
0:04:00	0:05:00	28,0	21,1	34,9	26,7	76,6	89,0	55,4	70,0
0:05:00	0:06:00	20,4	23,4	26,3	21,3	69,6	78,4	70,0	87,1
0:06:00	0:07:00	16,6	21,1	23,8	19,3	92,4	82,4	75,9	84,3
0:07:00	0:08:00	18,0	19,1	19,3	21,7	89,0	80,8	79,8	79,2
0:08:00	0:09:00	28,7	20,9	21,2	35,1	68,5	78,4	79,3	56,3
0:09:00	0:10:00	31,0	32,3	23,2	20,7	50,2	53,3	78,8	78,7
0:10:00	0:11:00	30,0	23,8	16,5	15,5	54,3	69,9	89,5	90,3
0:11:00	0:12:00	43,4	16,8	16,3	24,1	41,1	90,1	89,6	78,9
0:12:00	0:13:00	34,5	18,6	18,6	18,9	55,3	89,0	89,2	85,9
0:13:00	0:14:00	38,9	13,7	13,7	15,7	47,5	93,4	93,4	75,5
0:14:00	0:15:00	21,7	17,4	17,4	23,2	68,2	93,9	93,9	78,3
Průměrná hodnota		24,2	19,0	19,3	19,8	71,8	83,7	83,3	81,7



Graf 9: Vliv normální decelerace – průběžný pruh

Tabulka 29: Vliv decelerace na dopravní proud – neprůběžný pruh

Normal deceleration "normální decelerace" (m/s ²)									
Začátek	Konec	Neprůběžný pruh							
		Hustota (voz/km)				Rychlost (km/h)			
		-0,2	-0,1	0,0	0,1	-0,2	-0,1	0,0	0,1
0:00:00	0:01:00	0,2	0,2	0,2	0,2	85,8	85,8	85,8	85,8
0:01:00	0:02:00	6,2	6,2	6,2	6,2	95,7	95,6	95,5	95,4
0:02:00	0:03:00	4,8	4,9	4,8	5,8	100,6	99,5	100,1	99,3
0:03:00	0:04:00	4,4	2,9	2,8	6,1	81,9	84,7	85,2	89,2
0:04:00	0:05:00	4,9	4,7	4,9	7,6	98,8	102,8	101,2	83,9
0:05:00	0:06:00	7,0	5,8	6,1	5,4	81,5	86,0	82,5	102,9
0:06:00	0:07:00	3,9	3,1	3,9	5,9	89,5	90,6	90,6	92,0
0:07:00	0:08:00	5,9	6,3	6,3	13,6	92,7	96,4	96,4	69,5
0:08:00	0:09:00	9,0	8,7	8,1	6,5	85,2	92,5	92,1	87,8
0:09:00	0:10:00	9,1	9,0	8,7	3,4	92,6	92,9	95,4	92,7
0:10:00	0:11:00	6,0	6,3	5,1	3,9	95,3	93,0	99,7	101,0
0:11:00	0:12:00	5,6	4,3	4,9	5,7	97,4	95,0	94,9	99,7
0:12:00	0:13:00	9,1	6,2	6,2	6,3	88,6	94,6	95,1	97,4
0:13:00	0:14:00	5,0	3,2	3,1	10,7	67,9	96,3	96,6	76,4
0:14:00	0:15:00	9,6	6,5	6,5	4,9	84,9	94,2	94,2	90,3
Průměrná hodnota		6,1	5,2	5,2	6,1	89,2	93,3	93,7	90,9



Graf 10: Vliv normální decelerace – neprůběžný pruh

Díky zadání hodnot pomocí normálního rozdělení, nelze přímo vidět vliv tohoto parametru na chování modelu, jelikož model přiděluje hodnoty vozidlům náhodně ze

zvoleného intervalu. Ovšem lze předpokládat, díky deceleračnímu komponentu, že se zvyšující se decelerací, klesá rychlost a tím by se měla při zachování stejné intenzity hustota zvyšovat.

5.2.3.4 Minimální vzdálenost mezi vozidly

Minimální vzdálenost mezi vozidly (Minimum distance between vehicle) je délka mezi zadní částí vedoucího vozidla a přední částí následujícího vozidla a je dodržena vždy, když vozidla zastaví. Její jednotkou je metr a je určena pro každou kategorii vozidla zvlášť. Tento parametr neovlivňuje model sám o sobě, ale pomocí něj a délky vozidla se vypočítává efektivní délka, která je součástí vzorce pro výpočet rychlosti.

V tabulce lze vidět, že čím má vozidlo větší rozměry tím se zvětšuje i vzdálenost, kterou udržuje mezi vozidly. Hodnoty ponecháme beze změny.

Tabulka 30: Defaultní hodnoty minimální vzdálenosti mezi vozidly

Název v programu	Kategorie vozidel	Minimální vzdálenost mezi vozidly (m)			
		Střední hodnota	Odchylka	Minimum	Maximum
Car	Osobní vozidlo	1,00	0,30	0,50	1,50
Van	Lehké nákladní vozidlo	1,50	0,30	1,00	2,00
Truck	Těžké nákladní vozidlo	1,50	0,50	1,00	2,50
Bus	Autobus	1,50	0,50	1,00	2,50

5.2.3.5 Čas pro dání přednosti v jízdě

Parametr čas pro dání přednosti v jízdě (Give Way Time) definuje dobu v sekundách, po jejíž uplynutí, řidič dávající přednost v jízdě začíná být netrpělivý. Tento atribut hraje velkou roli v Lane-Changing modelu, jelikož definuje čas, při kterém vozidlo ještě čeká na bezpečnou mezeru. Po uplynutí stanovené doby se zredukuje omezení pro zařazení vozidla do hlavní proudu. Hodnoty jsou zadány pomocí střední hodnoty, odchylky, a maximální a minimální hodnoty pro každé vozidlo zvlášť.

Tabulka 31: Defaultní hodnoty času pro dání přednosti v jízdě

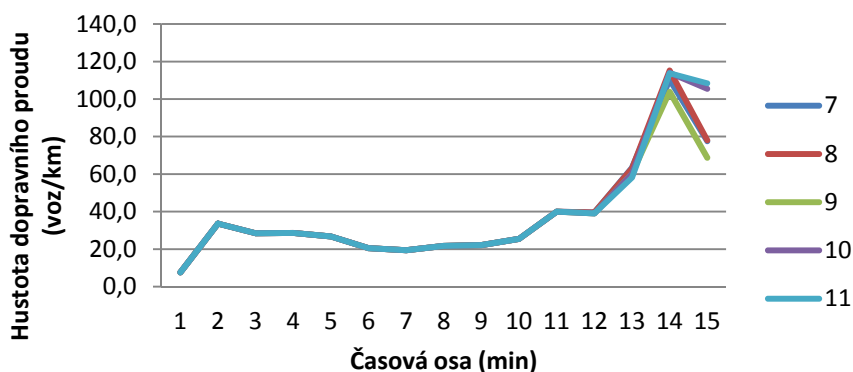
Název v programu	Kategorie vozidel	Čas pro dání přednosti v jízdě (s)			
		Střední hodnota	Odchylka	Minimum	Maximum
Car	Osobní vozidlo	10,0	2,5	5,0	15,0
Van	Lehké nákladní vozidlo	30,0	10,0	20,0	40,0
Truck	Těžké nákladní vozidlo	50,0	20,0	30,0	80,0
Bus	Autobus	50,0	20,0	30,0	80,0

Důvodem velkých rozdílů mezi osobním vozidlem a ostatními kategoriemi vozidel je ten, že delší vozidla jsou nucena čekat v průběžném dopravním proudu na větší mezeru a tedy jejich tolerance je větší. Tyto hodnoty nebudou v reálném modelu měněny. Časový interval byl měněn po sekundě v intervalu od 7 do 11 sekund a byl zadán pouze střední hodnotou.

Tabulka 32: Vliv času pro dání přednosti dopravní proud – průběžný pruh

Give Way Time "čas pro dání přednosti v jízdě" (s)											
Začátek	Konec	Průběžný pruh									
		Hustota (voz/km)					Rychlost (km/h)				
		7	8	9	10	11	7	8	9	10	11
0:00:00	0:01:00	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	95,0	95,0	95,0	95,0	95,0
0:01:00	0:02:00	33,6	33,6	33,6	33,6	33,6	71,0	71,0	71,0	71,0	71,0
0:02:00	0:03:00	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5
0:03:00	0:04:00	28,6	28,6	28,6	28,6	28,6	66,6	66,6	66,6	66,6	66,6
0:04:00	0:05:00	26,7	26,7	26,7	26,7	26,7	60,2	60,2	60,2	60,2	60,2
0:05:00	0:06:00	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	77,8	77,8	77,8	77,8	77,8
0:06:00	0:07:00	19,4	19,4	19,4	19,4	19,4	91,1	91,1	91,1	91,1	91,1
0:07:00	0:08:00	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	78,0	78,0	78,0	78,0	78,0
0:08:00	0:09:00	22,1	22,1	22,1	22,1	22,1	71,2	71,2	71,2	71,2	71,2
0:09:00	0:10:00	25,5	25,5	25,5	25,5	25,5	70,4	70,4	70,4	70,4	70,4
0:10:00	0:11:00	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	55,9	55,9	55,9	55,9	55,9
0:11:00	0:12:00	39,5	39,5	39,0	39,0	39,0	43,6	43,6	44,0	44,0	44,0
0:12:00	0:13:00	63,5	63,0	60,2	60,2	58,2	23,3	24,1	27,3	27,3	28,1
0:13:00	0:14:00	110,2	115,2	103,9	114,0	113,8	12,7	9,9	17,8	10,6	10,3
0:14:00	0:15:00	77,5	78,1	68,7	105,4	108,4	25,1	29,6	28,2	14,6	13,2
Průměrná hodnota		37,7	38,0	36,4	39,5	39,6	60,2	60,3	61,0	59,6	59,6

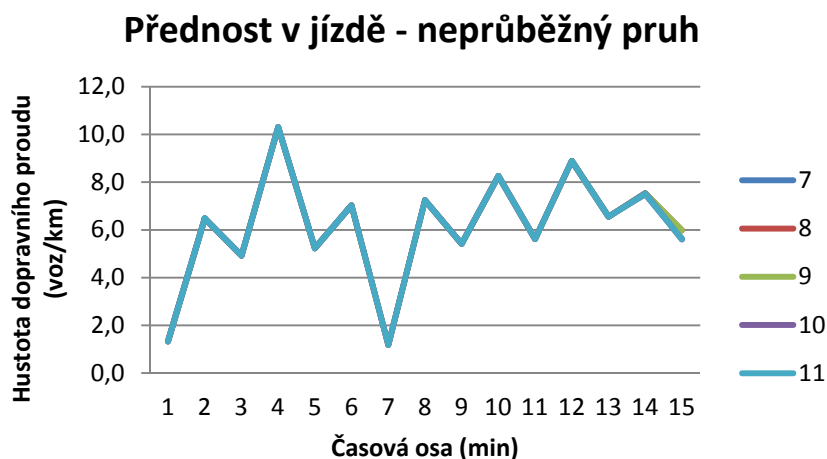
Přednost v jízdě - průběžný pruh



Graf 11: Vliv času pro dání přednosti – průběžný pruh

Tabulka 33: Vliv času pro dání přednosti dopravní proud – neprůběžný pruh

Give Way Time "čas pro dání přednosti v jízdě" (s)											
Začátek	Konec	Neprůběžný pruh									
		Hustota (voz/km)					Rychlost (km/h)				
		7	8	9	10	11	7	8	9	10	11
0:00:00	0:01:00	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	90,5	90,5	90,5	90,5	90,5
0:01:00	0:02:00	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	93,3	93,3	93,3	93,3	93,3
0:02:00	0:03:00	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	96,7	96,7	96,7	96,7	96,7
0:03:00	0:04:00	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	92,7	92,7	92,7	92,7	92,7
0:04:00	0:05:00	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	94,1	94,1	94,1	94,1	94,1
0:05:00	0:06:00	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	87,0	87,0	87,0	87,0	87,0
0:06:00	0:07:00	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	102,7	102,7	102,7	102,7	102,7
0:07:00	0:08:00	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	79,1	79,1	79,1	79,1	79,1
0:08:00	0:09:00	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	90,8	90,8	90,8	90,8	90,8
0:09:00	0:10:00	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	88,2	88,2	88,2	88,2	88,2
0:10:00	0:11:00	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	99,6	99,6	99,6	99,6	99,6
0:11:00	0:12:00	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	79,6	79,6	79,6	79,6	79,6
0:12:00	0:13:00	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6	93,2	93,2	93,2	93,2	93,3
0:13:00	0:14:00	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	89,3	89,0	89,0	88,9	89,1
0:14:00	0:15:00	5,6	6,0	6,0	5,6	5,6	97,0	94,9	94,9	97,6	97,3
Průměrná hodnota		6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	91,6	91,4	91,4	91,6	91,6



Graf 12: Vliv času pro dání přednosti – neprůběžný pruh

Ovlivnění parametrem lze vidět až ve vrcholu hustoty dopravního proudu, který se objevuje na konci simulace. S vrůstající hodnotou parametru se doba, po kterou trvá

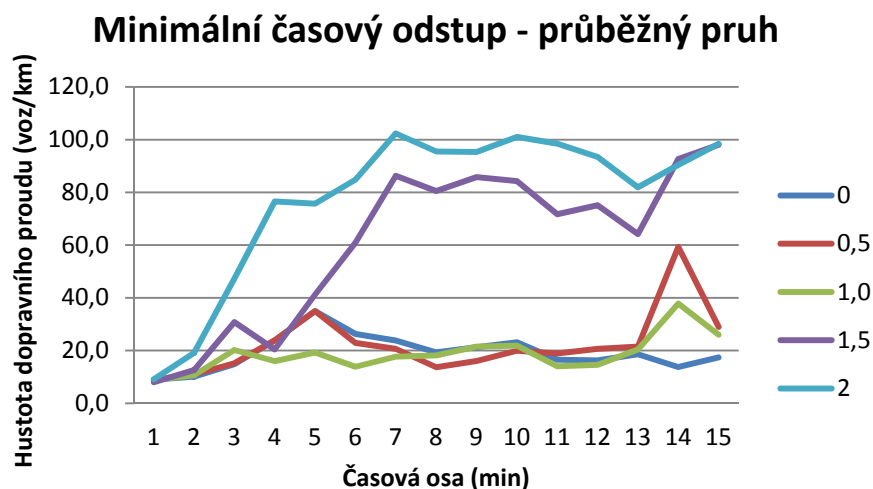
kolona, zvětšuje. Pokud se totiž vozidlo nemůže zařadit do průběžného proudu, předpokládáme, že je tento proud zahuštěn a vozidlo tedy musí čekat. Čím déle tvá jeho tolerance, tím více vozidel dojíždí kongesci v průběžném pruhu. Při následném zařazovacím manévru je následně zbrzděno více vozidel a hustota je tedy větší.

5.2.3.6 Minimální časový odstup

Minimální odstup (Minimum Headway) je vzdálenost mezi vedoucím a následujícím vozidlem, která je definována v sekundách. Princip spočívá v tom, že následující vozidlo má po celou dobu snahu zachovávat minimální časový odstup od vozidla před sebou. Odstup je definován v časových jednotkách a vypočítává se tedy pro příslušnou rychlost. V programu Aimsun lze zvolit, jestli se bude v dané verzi Car-following modelu parametru uvažovat či nebude.

Tabulka 34: Vliv časového odstupu na dopravní proud – průběžný pruh

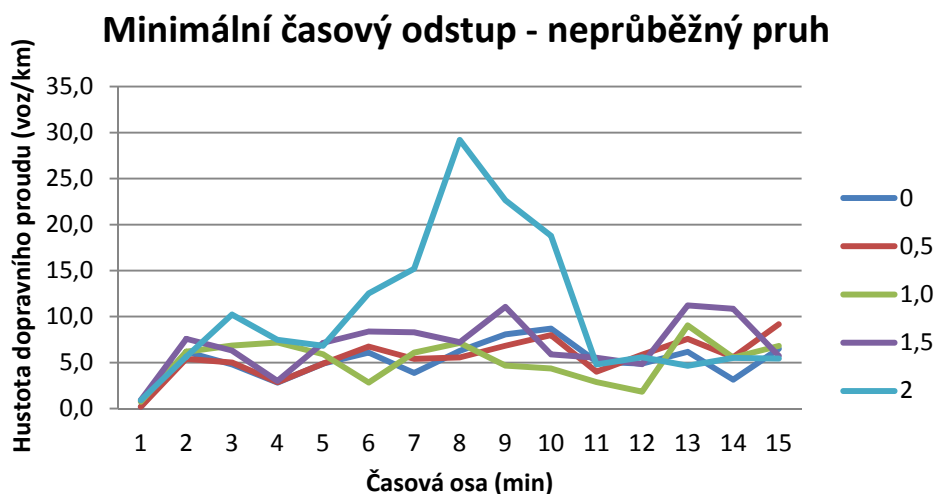
Minimum Headway "minimální časový odstup" (s)											
Začátek	Konec	Průběžný pruh									
		Hustota (voz/km)					Rychlost (km/h)				
		0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0
0:00:00	0:01:00	8,9	8,9	8,8	8,0	9,1	93,6	93,6	90,9	89,5	85,5
0:01:00	0:02:00	10,1	10,9	10,6	12,6	19,1	87,0	85,5	84,3	85,3	67,7
0:02:00	0:03:00	14,8	15,2	20,2	30,8	47,3	92,5	91,5	84,4	52,2	28,6
0:03:00	0:04:00	23,8	23,8	16,0	20,4	76,6	81,6	81,6	88,1	76,9	15,0
0:04:00	0:05:00	34,9	35,0	19,2	41,2	75,7	55,4	55,3	81,0	47,6	14,0
0:05:00	0:06:00	26,3	22,9	13,9	60,9	84,8	70,0	72,6	89,2	26,4	11,2
0:06:00	0:07:00	23,8	20,7	17,7	86,3	102,4	75,9	85,3	90,0	16,2	8,6
0:07:00	0:08:00	19,3	13,6	18,2	80,5	95,5	79,8	98,1	82,2	15,3	8,7
0:08:00	0:09:00	21,2	16,0	21,5	85,8	95,3	79,3	84,1	74,8	15,0	9,2
0:09:00	0:10:00	23,2	19,9	21,9	84,3	101,1	78,8	86,5	75,4	14,7	8,2
0:10:00	0:11:00	16,5	18,9	14,0	71,7	98,5	89,5	89,3	94,0	21,0	8,8
0:11:00	0:12:00	16,3	20,7	14,6	75,1	93,4	89,6	77,7	94,5	19,0	10,2
0:12:00	0:13:00	18,6	21,5	20,4	64,2	81,9	89,2	77,7	81,4	24,0	12,4
0:13:00	0:14:00	13,7	59,3	37,9	92,7	90,4	93,4	35,7	53,1	12,9	8,9
0:14:00	0:15:00	17,4	29,0	26,0	98,1	98,4	93,9	59,2	65,4	12,1	8,4
Průměrná hodnota		19,3	22,4	18,7	60,8	78,0	83,3	78,2	81,9	35,2	20,3



Graf 13: Vliv minimálního časového odstavu – průběžný pruh

Tabulka 35: Vliv časového odstavu na dopravní proud – neprůběžný pruh

Minimum Headway "minimální časový odstup" (s)											
Začátek	Konec	Neprůběžný pruh									
		Hustota (voz/km)					Rychlost (km/h)				
		0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0
0:00:00	0:01:00	0,2	0,2	0,8	0,9	0,9	85,8	85,8	85,8	85,8	85,8
0:01:00	0:02:00	6,2	5,4	6,2	7,6	5,7	95,5	97,4	95,3	90,0	93,8
0:02:00	0:03:00	4,8	5,0	6,9	6,3	10,2	100,1	99,1	94,2	91,4	84,1
0:03:00	0:04:00	2,8	2,9	7,2	3,0	7,5	85,2	84,4	84,2	97,8	76,9
0:04:00	0:05:00	4,9	4,9	5,9	7,1	6,8	101,2	101,2	93,2	87,6	90,1
0:05:00	0:06:00	6,1	6,7	2,8	8,4	12,5	82,6	83,9	111,5	87,4	79,9
0:06:00	0:07:00	3,9	5,4	6,1	8,3	15,2	90,6	86,3	93,9	88,5	59,9
0:07:00	0:08:00	6,3	5,6	7,2	7,2	29,2	96,4	95,9	94,6	94,0	39,0
0:08:00	0:09:00	8,1	6,8	4,7	11,1	22,7	92,1	93,4	98,4	78,9	37,3
0:09:00	0:10:00	8,7	8,0	4,4	5,9	18,8	95,4	94,6	83,6	93,2	36,6
0:10:00	0:11:00	5,1	4,0	2,9	5,5	4,8	99,7	101,4	91,1	95,2	88,4
0:11:00	0:12:00	4,9	5,9	1,9	4,8	5,6	94,9	94,5	99,0	93,3	90,0
0:12:00	0:13:00	6,2	7,6	9,1	11,2	4,7	95,1	90,6	91,3	82,8	91,6
0:13:00	0:14:00	3,1	5,6	5,6	10,9	5,5	96,6	72,9	86,6	74,4	90,4
0:14:00	0:15:00	6,5	9,2	6,8	5,7	5,5	94,2	87,5	85,0	95,8	101,4
Průměrná hodnota		5,2	5,5	5,2	6,9	10,4	93,7	91,3	92,5	89,1	76,3



Graf 14: Vliv minimálního časového odstupu – neprůběžný pruh

Na modelu vidíme, že s rostoucí hodnotou časového odstupu se hustota zvyšuje a při odstupu 2 sekund se vytvoří rozsáhlá kolona. Přesto, že by se dalo předpokládat, že čím větší jsou rozestupy mezi vozidly, tím bude pro vozidla z neprůběžného pruhu lehčí se zařadit, model toto nepotvrzuje. Při velkém časovém odstupu se vytváří souvislý dopravní proud se stejnými mezerami, jelikož se vozidla dojíždí. Při modelu s menším časovým odstupem, ale stejným počtem vozidel, jsou sice mezery mezi určitými skupinami vozidel menší, ovšem vozidla jsou více rozdělena po úseku a mezery mezi shluky jsou tedy větší. Těchto větších mezer lze poté využít pro zařazení.

Dalším projevem modelu je, že pokud se všechna vozidla striktně řídí tím, že musí dodržet časový odstup, při zpomalení průběžného pruhu se odstup sníží natolik, že mezery mezi vozidly nebudou dostatečně velké pro zařazení. Toto snížení rychlosti může vyvolat jediné vozidlo, pokud se například po dlouhém čekání na vhodnou mezeru, zařadí do nedostatečné mezery a vozidlo v průběžném pruhu je nuceno zpomalit. Díky výše zmíněné „nahuštěnosti“ vozidel, pak při zpomalení proudu hustota v průběžném jízdním pruhu roste. Pokud se na konkrétní simulaci podíváme podrobně, lze vidět, že tato situace nastala při řazení jiných než osobních vozidel, které mají větší délku a potřebují větší mezeru.

Z výše uvedeného chování se ukázalo, že není vhodné do modelu zadávat minimální časový odstup konkrétní hodnotou. Navíc by to neodpovídalo skutečnosti, jelikož se dodržování minimálního odstupu je u řidičů velmi individuální.

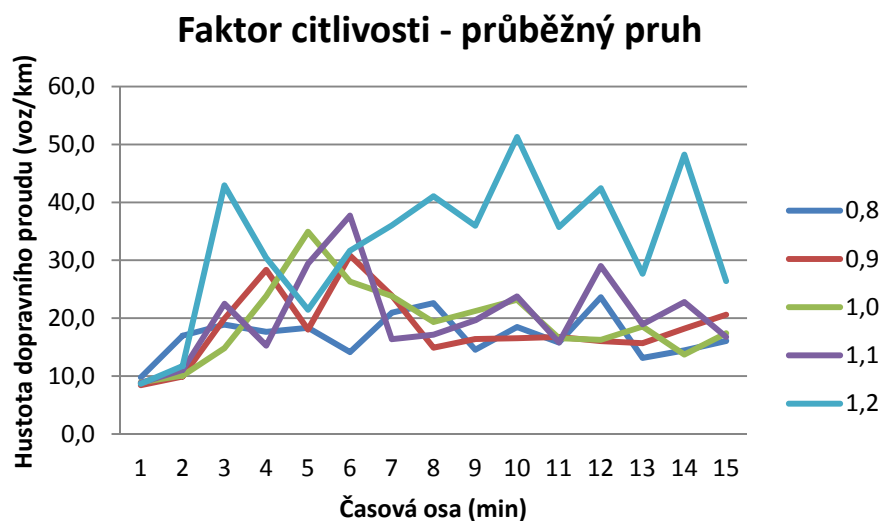
Z výzkumu Fakulty stavební ČVUT vyplývá, že téměř 40 % řidičů dodržuje mezeru s předcházejícím vozidlem menší než 2 sekund. Ovšem toto procento bylo zjištěno z výzkumu prováděného bez omezení dopravního proudu za vysokých rychlostí. Bylo také prokázáno, že se vrůstající hustotou se časový odstup výrazně zmenšuje. S ohledem na naši situaci vysokých hustot dopravního proudu a po optickém zkoumání minimálních časových odstupů na videozáznamu, bude zadán minimální časový odstup střední hodnotou 1 sekunda a odchylkou 0,5 sekund. Minimální hodnota pak bude nastavena na 0 sekund a maximální na 2 sekundy.

5.2.3.7 Faktor citlivosti

Faktor citlivosti (Sensitivity factor) je parametr, který zasahuje do třetí verze Car-following modelu a jeho princip byl vysvětlen výše. Srovnání jeho vlivu bude provedeno po kroku 0,1 v intervalu od 0,8 do 1,2.

Tabulka 36: Vliv faktoru citlivosti na dopravní proud – průběžný pruh

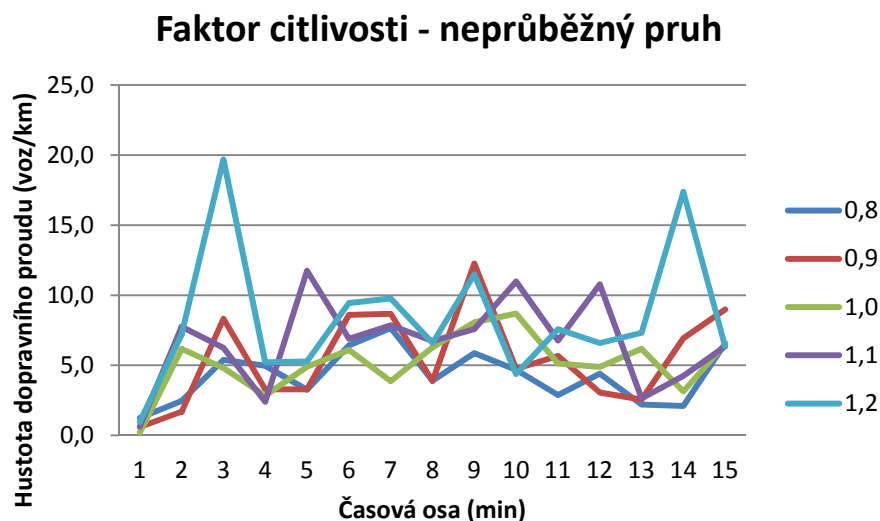
Sensitivity factor "faktor citlivosti" (-)											
Začátek	Konec	Průběžný pruh									
		Hustota (voz/km)					Rychlost (km/h)				
		0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
0:00:00	0:01:00	9,8	8,4	8,9	8,8	8,7	102,9	96,3	93,6	91,3	87,9
0:01:00	0:02:00	17,0	9,9	10,1	11,1	11,7	94,8	93,9	87,0	87,2	88,0
0:02:00	0:03:00	18,9	19,9	14,8	22,5	42,9	100,0	89,7	92,5	76,4	41,6
0:03:00	0:04:00	17,6	28,4	23,8	15,3	30,4	98,5	67,2	81,6	92,0	49,8
0:04:00	0:05:00	18,3	18,0	34,9	29,4	21,5	93,8	96,2	55,4	62,2	61,2
0:05:00	0:06:00	14,1	30,8	26,3	37,7	31,7	99,4	77,8	70,0	49,2	59,1
0:06:00	0:07:00	20,9	23,9	23,8	16,4	36,0	93,2	79,9	75,9	81,6	43,3
0:07:00	0:08:00	22,6	14,9	19,3	17,2	41,1	88,7	93,9	79,8	81,1	38,3
0:08:00	0:09:00	14,6	16,4	21,2	19,6	36,0	94,5	96,4	79,3	77,1	47,3
0:09:00	0:10:00	18,5	16,5	23,2	23,8	51,3	90,0	90,5	78,8	68,6	31,9
0:10:00	0:11:00	15,8	16,8	16,5	15,8	35,8	95,8	91,1	89,5	76,1	46,4
0:11:00	0:12:00	23,6	16,0	16,3	29,0	42,4	86,6	97,5	89,6	58,9	42,1
0:12:00	0:13:00	13,2	15,7	18,6	19,0	27,7	96,2	94,4	89,2	75,5	55,0
0:13:00	0:14:00	14,4	18,2	13,7	22,8	48,3	97,2	90,7	93,4	79,1	34,1
0:14:00	0:15:00	16,1	20,6	17,4	16,8	26,4	94,8	74,1	93,9	86,4	57,8
Průměrná hodnota		17,0	18,3	19,3	20,3	32,8	95,1	88,6	83,3	76,2	52,2



Graf 15: Vliv faktoru citlivosti – průběžný pruh

Tabulka 37: Vliv faktoru citlivosti na dopravní proud – neprůběžný pruh

Sensitivity factor "faktor citlivosti" (-)											
Začátek	Konec	Neprůběžný pruh									
		Hustota (voz/km)					Rychlost (km/h)				
		0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
0:00:00	0:01:00	1,2	0,6	0,2	0,6	1,0	84,5	85,8	85,8	85,8	83,5
0:01:00	0:02:00	2,5	1,7	6,2	7,8	7,2	99,7	97,3	95,5	95,6	92,6
0:02:00	0:03:00	5,4	8,3	4,8	6,2	19,7	96,1	88,3	100,1	92,4	58,3
0:03:00	0:04:00	5,0	3,3	2,8	2,4	5,2	98,4	93,2	85,2	100,8	82,9
0:04:00	0:05:00	3,3	3,3	4,9	11,8	5,3	93,8	96,6	101,2	76,6	94,3
0:05:00	0:06:00	6,4	8,6	6,1	6,9	9,4	103,1	79,7	82,6	91,8	81,1
0:06:00	0:07:00	7,7	8,7	3,9	7,9	9,8	83,4	89,3	90,6	94,4	79,9
0:07:00	0:08:00	3,9	3,9	6,3	6,7	6,6	103,3	98,5	96,4	80,3	93,1
0:08:00	0:09:00	5,9	12,3	8,1	7,6	11,5	92,9	91,0	92,1	83,9	86,9
0:09:00	0:10:00	4,7	4,8	8,7	11,0	4,4	91,5	89,1	95,4	85,1	97,5
0:10:00	0:11:00	2,9	5,7	5,1	6,8	7,6	97,3	90,4	99,7	80,6	77,8
0:11:00	0:12:00	4,4	3,1	4,9	10,8	6,6	99,8	99,5	94,9	70,6	92,7
0:12:00	0:13:00	2,2	2,6	6,2	2,6	7,3	92,6	100,7	95,1	101,6	86,6
0:13:00	0:14:00	2,1	6,9	3,1	4,2	17,4	108,0	94,5	96,6	101,3	57,7
0:14:00	0:15:00	6,6	9,0	6,5	6,3	6,3	87,1	86,4	94,2	98,1	93,8
Průměrná hodnota		4,3	5,5	5,2	6,6	8,3	95,4	92,0	93,7	89,3	83,9



Graf 16: Vliv faktoru citlivosti – neprůběžný pruh

Při změně citlivosti k vyšším hodnotám si můžeme všimnout, že vozidla se chovají mnohem opatrněji a dodržují větší rozestupy. Nastává tak stejný efekt jako při zvyšujícím se minimálním časovém odstupu.

Jako při časovém odstupu je citlivost řidiče na deceleraci předchozího vozidla opět velmi individuální. Bude do modelu zadána pomocí střední hodnoty 1,0 s odchylkou 0,2 a při maximální hodnotě 1,2 a minimální hodnotě 0,8.

5.2.3.8 Neobezřetná změna jízdního pruhu a její citlivost

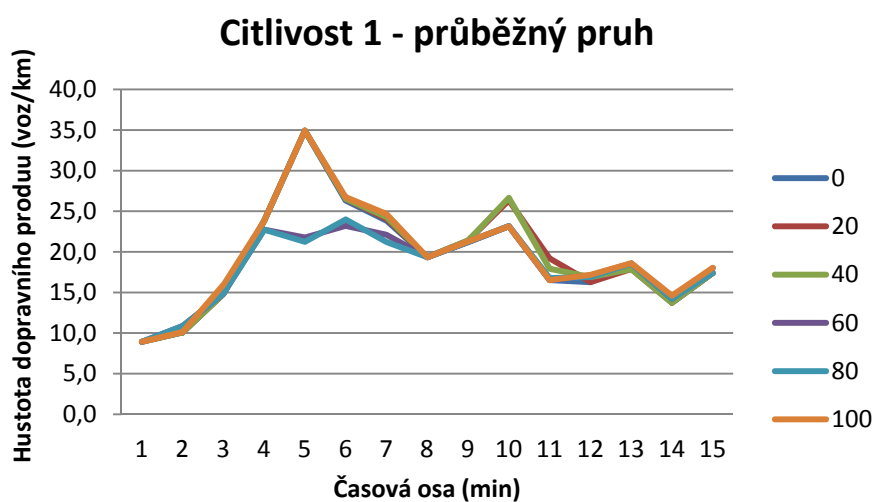
Parametr neobezřetná změna jízdního pruhu (Imprudent Lane Changing Cases) definuje pravděpodobnost jednoho vozidla použít při změně jízdního pruhu nedostatečně bezpečnou mezeru mezi vozidly. Určuje se v procentech.

S tímto parametrem úzce souvisí citlivost (Sensitivity for Imprudent Lane Changing Cases), která upravuje odhadovanou deceleraci vozidla v hlavním proudu, díky ní pak může zařazující se vozidlo posoudit nezbytnou mezeru pro zařazení. Defaultní nastavení je na hodnotě 1. Pokud je hodnota vyšší než 1, je zpomalení vozidla přeceňováno a zařazující vozidlo si dovolí využít i více nebezpečnější mezeru než při hodnotě 1.

Parametrické srovnání provedeme pro tři citlivosti 1, 3 a 5. A krok pravděpodobnosti, že řidič použije nebezpečnou mezeru, bude 20%.

Tabulka 38: Vliv nebezpečné změny jízdního pruhu při citlivosti 1 na hustotu

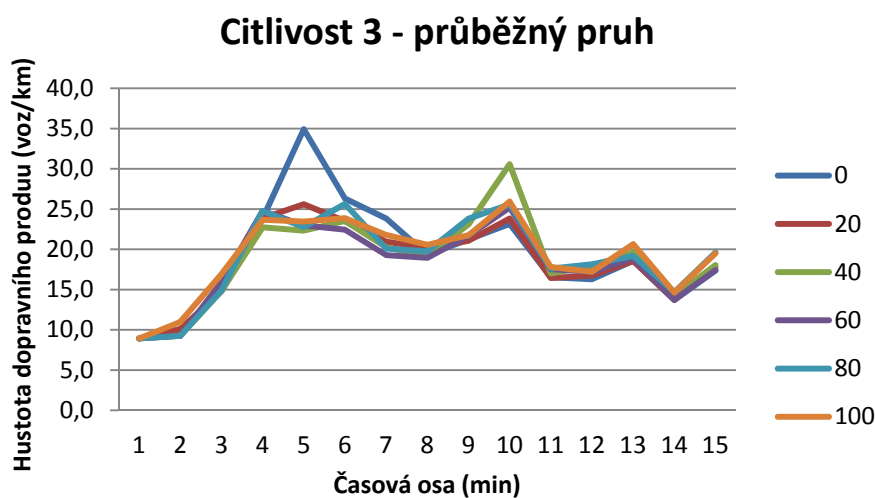
Imprudent Lane Changing Cases "nebezpečná změna jízdního pruhu" (%)							
Citlivost 1		Hustota (voz/km)					
Začátek	Konec	Průběžný pruh					
		0	20	40	60	80	100
0:00:00	0:01:00	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9
0:01:00	0:02:00	10,1	10,1	10,1	10,9	10,9	10,1
0:02:00	0:03:00	14,8	14,8	14,8	14,9	14,9	15,9
0:03:00	0:04:00	23,8	23,8	23,8	22,7	22,7	23,8
0:04:00	0:05:00	34,9	34,9	34,9	21,8	21,2	34,9
0:05:00	0:06:00	26,3	26,5	26,5	23,2	24,0	26,7
0:06:00	0:07:00	23,8	24,1	24,3	22,1	21,2	24,7
0:07:00	0:08:00	19,3	19,3	19,3	19,3	19,3	19,3
0:08:00	0:09:00	21,2	21,4	21,4	21,2	21,2	21,3
0:09:00	0:10:00	23,2	26,3	26,7	23,1	23,2	23,1
0:10:00	0:11:00	16,5	19,2	17,9	16,5	16,8	16,5
0:11:00	0:12:00	16,3	16,3	16,9	17,1	16,9	17,2
0:12:00	0:13:00	18,6	17,9	17,9	18,6	18,6	18,6
0:13:00	0:14:00	13,7	13,7	13,7	14,2	14,2	14,6
0:14:00	0:15:00	17,4	17,4	17,4	18,0	17,4	18,0
Průměrná hodnota		19,3	19,6	19,6	18,2	18,1	19,6



Graf 17 Vliv nebezpečné změny jízdního pruhu při citlivosti 1 – průběžný pruh

Tabulka 39: Vliv nebezpečné změny jízdního pruhu při citlivosti 3 na hustotu

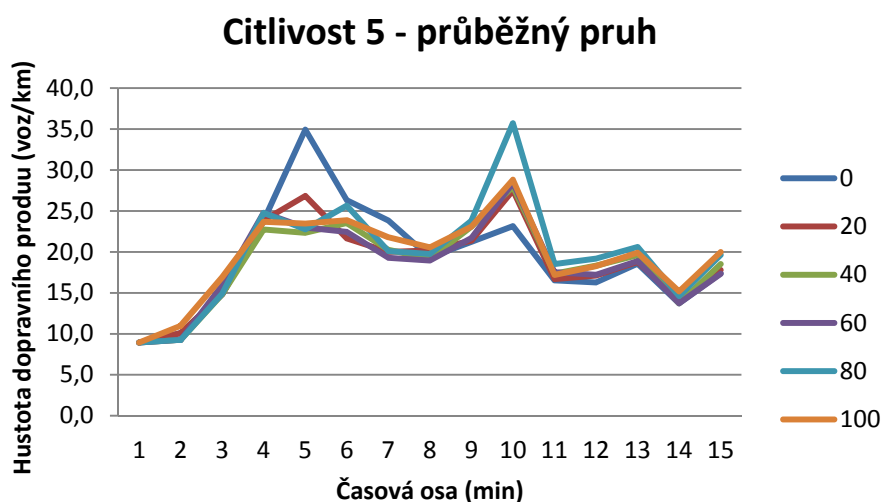
Imprudent Lane Changing Cases "nebezpečná změna jízdního pruhu" (%)							
Citlivost 3		Hustota (voz/km)					
Začátek	Konec	Průběžný pruh					
		0	20	40	60	80	100
0:00:00	0:01:00	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9
0:01:00	0:02:00	10,1	10,1	9,3	9,3	9,3	11,0
0:02:00	0:03:00	14,8	14,8	14,8	15,9	14,9	16,9
0:03:00	0:04:00	23,8	23,9	22,7	24,8	24,8	23,7
0:04:00	0:05:00	34,9	25,6	22,3	23,0	22,8	23,5
0:05:00	0:06:00	26,3	23,5	23,5	22,5	25,7	23,9
0:06:00	0:07:00	23,8	21,0	20,3	19,3	20,1	21,8
0:07:00	0:08:00	19,3	20,2	19,2	19,0	19,8	20,6
0:08:00	0:09:00	21,2	21,1	23,1	21,7	23,8	21,7
0:09:00	0:10:00	23,2	23,8	30,6	25,2	25,6	25,9
0:10:00	0:11:00	16,5	16,4	17,0	17,5	17,6	17,8
0:11:00	0:12:00	16,3	16,7	17,9	17,2	18,1	17,2
0:12:00	0:13:00	18,6	18,6	19,6	18,9	19,2	20,7
0:13:00	0:14:00	13,7	13,7	14,2	13,7	14,7	14,6
0:14:00	0:15:00	17,4	17,8	18,0	17,4	19,6	19,5
Průměrná hodnota		19,3	18,4	18,8	18,3	19,0	19,2



Graf 18: Vliv nebezpečné změny jízdního pruhu při citlivosti 3 – průběžný pruh

Tabulka 40: Vliv nebezpečné změny jízdního pruhu při citlivosti 5 na hustotu

Imprudent Lane Changing Cases "nebezpečná změna jízdního pruhu" (%)							
Citlivost 5		Hustota (voz/km)					
Začátek	Konec	Průběžný pruh					
		0	20	40	60	80	100
0:00:00	0:01:00	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9
0:01:00	0:02:00	10,1	10,1	9,3	9,3	9,3	11,0
0:02:00	0:03:00	14,8	14,8	14,8	15,9	14,9	16,9
0:03:00	0:04:00	23,8	23,9	22,7	24,8	24,8	23,7
0:04:00	0:05:00	34,9	26,9	22,3	23,0	22,8	23,5
0:05:00	0:06:00	26,3	21,7	23,5	22,5	25,7	23,9
0:06:00	0:07:00	23,8	20,0	20,3	19,3	20,1	21,8
0:07:00	0:08:00	19,3	20,2	19,2	19,0	19,8	20,6
0:08:00	0:09:00	21,2	21,4	23,1	21,7	23,8	23,1
0:09:00	0:10:00	23,2	27,5	27,9	28,4	35,7	28,8
0:10:00	0:11:00	16,5	16,7	17,4	17,5	18,5	17,2
0:11:00	0:12:00	16,3	17,1	18,3	17,2	19,2	18,3
0:12:00	0:13:00	18,6	18,8	19,6	18,9	20,6	19,9
0:13:00	0:14:00	13,7	14,1	13,7	13,7	14,6	15,2
0:14:00	0:15:00	17,4	17,8	18,5	17,3	19,6	20,0
Průměrná hodnota		19,3	18,6	18,6	18,5	19,9	19,5



Graf 19: Vliv nebezpečné změny jízdního pruhu při citlivosti 5 – průběžný pruh

Z analýzy vyplývá, že parametr celkově hustotu dopravního proudu příliš neovlivňuje. Projevuje se pouze lokálně v místech, kdy vozidlo využije nebezpečné mezery a zpomalí průběžný dopravní proud. Lze předpokládat, že při vyšších hustotách se tento parametr projeví více, jelikož budou mít vozidla mezi sebou menší mezery.

Pro reálný model budeme předpokládat, že u řidiče bude 40% pravděpodobnost, že využije nedostatečně bezpečnou mezeru. Citlivost bude nastavena na hodnotu 1.

5.2.3.9 Koeficient pro přepočet na jednotkové vozidlo

Díky změně délkových rozměrů automobilu se mění i koeficient pro přepočet na jednotkové vozidlo (PCUs). Ten vyjadřuje poměr určitého referenčního vozidla, které je obecně považováno svými vlastnostmi za typické, ke druhému vozidlu. Parametr dopravní model nijak neovlivní.

Vzorec pro výpočet koeficientu:

$$PCUs = \frac{\text{délka posuzovaného vozidla}}{\text{délka referenčního (osobního) vozidla}} \quad (5.11)$$

Tabulka 41: Koeficient pro přepočet na jednotkové vozidlo

Kategorie vozidla	Délka vozidla	Referenční délka (m)	PCUs
Osobní vozidlo	4,500	4,500	1,0
Lehké nákladní vozidlo	5,500		1,2
Těžké nákladní vozidlo	12,000		2,7
Autobus	11,500		2,6

5.2.3.10 Reakční doba

Reakční dobou lze definovat jako dobu, která je nutná k tomu, aby zareagoval jeho biologický systém na vjem v jeho zorném poli, a to i v případě, kdy jde o podnět náhlý a neočekávaný.

Při technických analýzách se pod pojmem reakční doba rozumí subsystém „řidič + vozidlo“, jež předpokládá, že se reakční doba skládá ze dvou základních časových úseků a to reakční doby řidiče a odezvy automobilu. Reakční doba řidiče je vlastností lidského faktoru a závisí na mnoha okolnostech. Jedná se například o fyzický a psychický stav řidiče, na věku nebo praxi s řízením vozidla.

Skládá se ze tří částí:

- Optická reakce - řidič vidí, rozpozná a identifikuje podnět
- Psychická reakce - informace o podnětu je zpracována mozkem a vyhodnocena
- Svalová reakce - mozek vysílá podnět k aktivaci svalstva, chodidlo nebo ruka uvádí v činnost zařízení naučeným způsobem

Odezva automobilu pak závisí především na druhu a typu vozidla, které je určitým řidičem ovládáno.

Skládá se ze dvou částí:

- Prodleva brzd – od dotyku pedálu po první dotek třecích ploch brzd
- Náběh brzdného účinku – od prvního dotyku třecích ploch brzd po začátek zanechání stop pneumatik na vozovce

Obecně uváděné hodnoty různých fází reakční doby:

Tabulka 42: Přehled reakčních dob pro vozidlo za jízdy

Časové úseky	Doba trvání (s)		
	Spodní hranice	Průměr	Horní hranice
Reakční doba řidiče			
1. Optická reakce - při úhlu pohledu na objekt do 5°	0,32	0,48	0,55
2. Optická reakce - při úhlu pohledu na objekt nad 5°	0,41	0,61	0,7
Psychická reakce	0,22	0,45	0,58
Svalová reakce	0,15	0,19	0,21
Odezva vozidla			
Prodleva brzd	0,03	0,05	0,06
Náběh brzdného účinku	0,07	0,15	0,49
Celkem (1.)	0,79	1,32	1,89
Celkem (2.)	0,88	1,45	2,04

Rozmezí reakční doby se tedy pohybu při úhlu pohledu do 5° mezi 0,69-1,34 sekundami a při úhlu pohledu nad 5° mezi 0,78-1,49 sekundami.

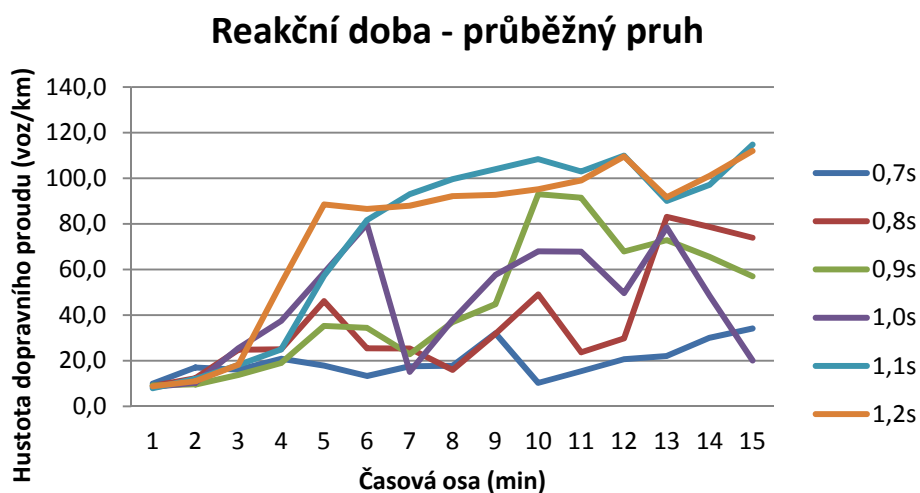
Software definuje dva pojmy. Prvním je reakční doba (Reaction time), která je 0,75 sekund a reakční dobu při zastavení (Reaction time at stop), která je 1,35 sekund. První údaj je normální reakční doba pro vozidla v pohybu a druhý údaj je použit pro vozidla, která vycházejí ze stavu zastavení a jsou nucena reagovat na akceleraci předchozího vozidla.

Vliv na reakční dobu má nastavení simulačního kroku modelu (Simulation step). Simulační krok značí interval, v kterém jsou aktualizovány všechny charakteristiky v systému. V programu Aimsun existují dvě nastavení a to buď fixní, kdy je hodnota simulačního kroku stejná jako reakční doba nebo variabilní. Při variabilní nastavení je možné pro každý typ vozidla nastavit jinou reakční dobu. Simulační krok pak musí být roven nebo menší než nejmenší reakční době a musí být společným dělitelem všech těchto reakční dob, aby byl výsledek celé číslo. Pro náš dopravní model použijeme fixní nastavení.

Reakční doba bude zkoumána v rozmezí od 0,7 sekund do 1,2 sekund. Reakční krok bude 0,1 sekund. Reakční doba při zastavení bude ponechána po celou dobu defaultně nastavená na hodnotu 1,35 sekund.

Tabulka 43: Vliv reakční doby - průběžný pruh

Reaction time "reakční doba" (s)													
Začátek	Konec	Průběžný pruh											
		Hustota (voz/km)						Rychlost (km/h)					
		0,7s	0,8s	0,9s	1,0s	1,1s	1,2s	0,7s	0,8s	0,9s	1,0s	1,1s	1,2s
0:00:00	0:01:00	9,9	9,0	9,1	8,4	8,0	8,7	98,6	92,9	91,2	92,3	90,7	88,6
0:01:00	0:02:00	17,0	12,4	9,6	10,3	12,0	11,0	96,4	85,4	92,6	89,1	89,5	81,8
0:02:00	0:03:00	16,1	24,8	13,8	25,5	18,1	18,3	88,4	76,8	85,5	63,2	74,7	73,7
0:03:00	0:04:00	20,9	25,0	19,0	37,4	24,9	53,9	85,5	64,4	88,0	47,8	62,4	29,6
0:04:00	0:05:00	17,9	46,2	35,3	58,7	57,2	88,5	96,8	42,7	50,6	27,7	27,6	12,4
0:05:00	0:06:00	13,3	25,4	34,5	79,9	81,6	86,5	87,3	57,9	44,8	18,3	16,5	13,2
0:06:00	0:07:00	17,6	25,3	22,8	15,2	93,0	88,0	94,7	75,7	72,2	80,4	13,4	13,3
0:07:00	0:08:00	17,8	16,0	37,0	37,8	99,6	92,2	87,2	82,3	56,1	47,1	9,5	12,7
0:08:00	0:09:00	32,1	31,8	44,8	57,6	104,0	92,7	65,8	64,0	38,3	29,0	8,4	11,0
0:09:00	0:10:00	10,3	49,1	93,0	68,0	108,4	95,2	94,7	31,7	15,9	22,2	9,0	11,0
0:10:00	0:11:00	15,4	23,7	91,5	67,8	103,0	99,1	91,2	65,5	17,1	24,5	7,8	10,6
0:11:00	0:12:00	20,7	29,8	67,9	49,7	110,0	109,6	85,1	66,2	27,4	32,5	7,6	7,9
0:12:00	0:13:00	22,1	83,1	72,9	78,4	90,1	91,7	81,0	21,1	22,8	16,4	13,8	13,3
0:13:00	0:14:00	30,1	78,7	65,5	48,4	97,1	101,1	64,9	23,1	28,1	30,7	12,7	9,7
0:14:00	0:15:00	34,1	73,9	57,0	20,1	114,8	112,0	62,6	25,1	30,9	68,8	7,9	8,4
Průměrná hodnota		19,7	36,9	44,9	44,2	74,8	76,6	85,3	58,3	50,8	46,0	30,1	26,5

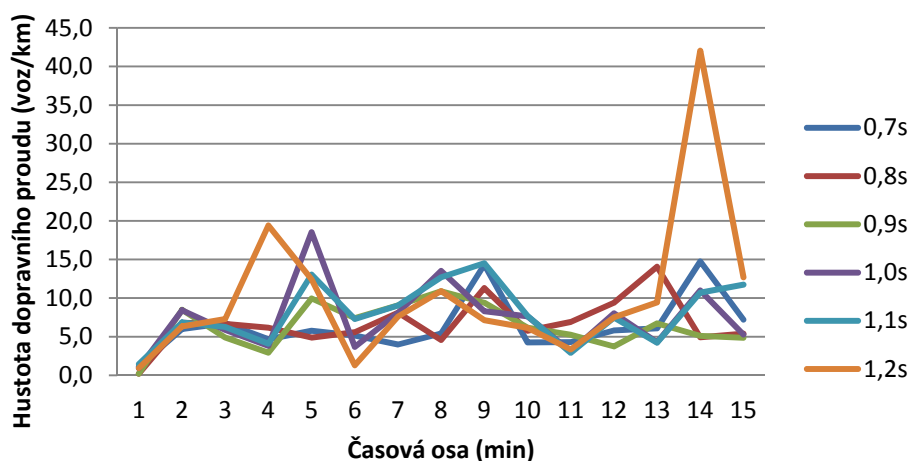


Graf 20: Vliv reakční doby – průběžný pruh

Tabulka 44: Vliv reakční doby - neprůběžný pruh

Reaction time "reakční doba" (s)													
Začátek	Konec	Neprůběžný pruh											
		Hustota (voz/km)						Rychlost (km/h)					
		0,7s	0,8s	0,9s	1,0s	1,1s	1,2s	0,7s	0,8s	0,9s	1,0s	1,1s	1,2s
0:00:00	0:01:00	1,1	0,2	0,2	0,9	1,5	0,9	85,8	85,8	85,8	85,8	82,5	85,8
0:01:00	0:02:00	6,0	6,8	8,5	8,4	6,8	6,3	100,7	93,9	95,0	94,0	91,1	94,1
0:02:00	0:03:00	6,7	6,7	4,9	5,9	6,3	7,3	94,4	93,4	101,5	94,8	92,3	91,4
0:03:00	0:04:00	4,7	6,2	2,9	3,8	4,1	19,4	94,4	77,1	95,0	97,0	94,1	60,9
0:04:00	0:05:00	5,8	4,9	10,0	18,5	13,0	12,4	97,2	87,0	82,9	71,1	75,5	71,0
0:05:00	0:06:00	5,1	5,6	7,4	3,7	7,3	1,3	105,0	100,0	91,3	99,0	90,2	94,3
0:06:00	0:07:00	4,0	8,1	9,1	8,1	9,1	7,6	93,7	85,6	80,0	84,6	88,1	95,5
0:07:00	0:08:00	5,4	4,6	10,9	13,5	12,7	10,9	86,1	92,6	72,7	75,2	74,0	78,8
0:08:00	0:09:00	14,3	11,3	9,4	8,3	14,5	7,1	86,5	79,9	82,2	95,9	67,4	85,9
0:09:00	0:10:00	4,3	5,8	6,2	7,6	7,7	6,2	85,2	94,2	98,8	90,6	71,6	91,5
0:10:00	0:11:00	4,3	6,9	5,2	3,1	2,9	3,3	97,1	89,1	92,7	98,8	64,1	90,4
0:11:00	0:12:00	5,8	9,4	3,7	8,0	7,5	7,5	99,5	81,3	97,8	90,8	89,9	83,2
0:12:00	0:13:00	6,1	14,1	6,7	4,3	4,2	9,4	99,2	73,8	91,3	89,6	90,0	80,3
0:13:00	0:14:00	14,7	4,9	5,1	11,0	10,7	42,1	59,7	99,6	96,2	83,0	73,2	39,2
0:14:00	0:15:00	7,2	5,4	4,9	5,3	11,7	12,7	78,2	101,2	101,1	84,5	65,5	45,4
Průměrná hodnota		6,4	6,7	6,3	7,4	8,0	10,3	90,8	89,0	91,0	89,0	80,6	79,2

Reakční doba - neprůběžný pruh



Graf 21: Vliv reakční doby – neprůběžný pruh

Jak se předpokládalo, reakční doba projevila velký vliv na stav dopravního proudu. Zatímco při hodnotě 0,7 sekund je dopravní proud v průběžném pruhu plynulý a rychlost dopravního proudu neklesne pod 60 km/h, při každém dalším zvýšení reakční doby o 0,1 sekund se situace zhoršuje. V hodnotách od 0,8-1,0 sekund se lokálně objevuje zpomalení dopravního proudu a potenciální tvorba zácp, které se ovšem v krátkém časovém úseku rozplynou. Největší skok je mezi reakční dobou 1,0 sekund a 1,1 sekund, kdy se průměrná hodnota v námi sledovaném úseku zvýší bezmála o 30 vozidel na kilometr. Od 1,1 sekundy, kdy hodnoty hustoty převyšují 100 voz/km, se tvoří rozsáhlé kongesce a rychlost dopravního proudu klesne pod 10 km/h. Při dalším navýšení reakční doby si lze všimnout, že se průměrná hodnota hustoty zvětšuje pouze mírně, ale začátek tvorby kongesce se posunuje směrem k začátku simulace.

V neprůběžném pruhu se díky malé intenzitě změna reakčních dob příliš neprojeví až do změny na hodnotu 1,2 sekund, kdy se díky koloně v průběžném dopravním pruhu a nemožnosti se zařadit nahromadí v neprůběžném pruhu kolona až 15 vozidel.

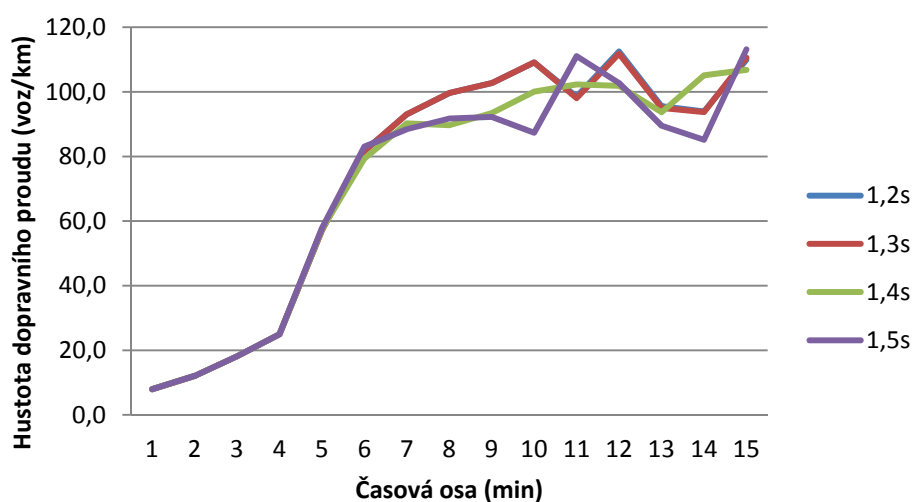
Při dalším experimentálním zjišťování se prokázalo, že pro hodnoty reakčních časů 0,7-1,0 nehraje parametr reakční doby při zastavení žádnou roli a na hustotě dopravního proudu se pro vůbec neprojeví. Tento fakt lze vysvětlit, tím že v těchto případech nebyl nucen dopravní proud úplně zastavit a proto tento parametr vůbec nebyl brán do úvahy.

Tento parametr tedy bude zkoumán pro fixní hodnotu reakčního času 1,1 sekundu v intervalu od 1,2 do 1,5 sekund.

Tabulka 45: Vliv reakční doby při zastavení – průběžný pruh

Reaction time at stop "reakční čas při zastavení" (s)									
Začátek	Konec	Průběžný pruh							
		Hustota (voz/km)				Rychlost (km/h)			
		1,2s	1,3s	1,4s	1,5s	1,2s	1,3s	1,4s	1,5s
0:00:00	0:01:00	8,0	8,0	8,0	8,0	90,7	90,7	90,7	90,7
0:01:00	0:02:00	12,0	12,0	12,0	12,0	89,5	89,5	89,5	89,5
0:02:00	0:03:00	18,1	18,1	18,1	18,1	74,7	74,7	74,7	74,7
0:03:00	0:04:00	24,9	24,9	24,9	24,9	62,4	62,4	62,4	62,4
0:04:00	0:05:00	57,1	57,2	57,4	57,8	27,6	27,6	27,4	27,6
0:05:00	0:06:00	81,6	81,6	79,3	83,1	16,5	16,5	17,7	16,9
0:06:00	0:07:00	93,0	93,0	90,2	88,4	13,4	13,4	16,1	15,9
0:07:00	0:08:00	99,6	99,6	89,7	91,7	9,5	9,5	12,9	12,6
0:08:00	0:09:00	102,7	102,7	93,4	92,3	9,4	9,4	12,2	13,0
0:09:00	0:10:00	109,1	109,2	100,1	87,4	9,5	9,3	10,0	13,0
0:10:00	0:11:00	98,5	98,0	102,3	111,1	8,7	9,3	9,4	8,1
0:11:00	0:12:00	112,5	111,8	101,8	102,7	7,3	7,3	10,7	9,3
0:12:00	0:13:00	95,5	95,0	93,7	89,5	11,5	12,0	11,2	17,6
0:13:00	0:14:00	94,0	93,7	105,1	85,2	13,4	13,1	10,6	16,5
0:14:00	0:15:00	110,0	110,6	106,8	113,2	9,3	9,1	8,7	8,3
Průměrná hodnota		74,4	74,4	72,2	71,0	30,2	30,3	31,0	31,7

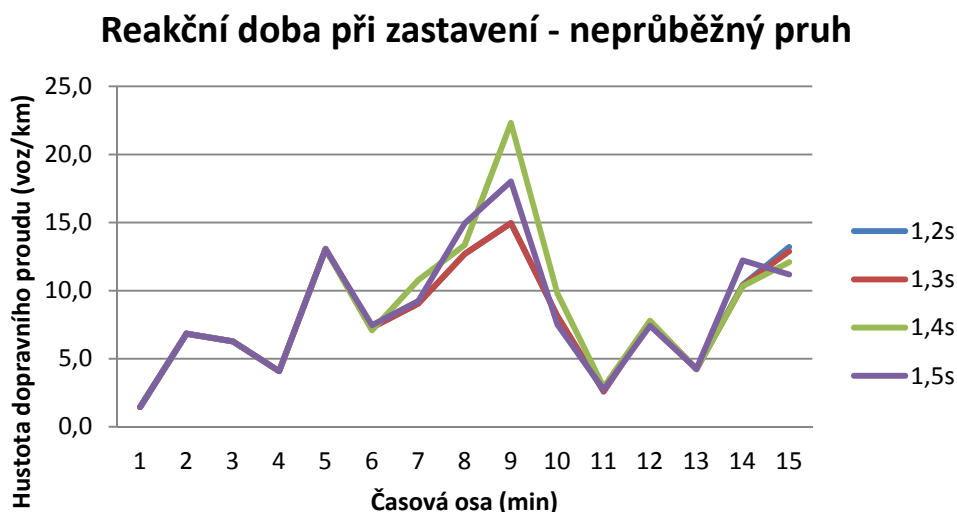
Reakční doba při zastavení - průběžný pruh



Graf 22: Vliv reakční doby při zastavení – průběžný pruh

Tabulka 46: Vliv reakční doby při zastavení – neprůběžný pruh

Reaction time at stop "reakční čas při zastavení" (s)									
Začátek	Konec	Neprůběžný pruh							
		Hustota (voz/km)				Rychlost (km/h)			
		1,2s	1,3s	1,4s	1,5s	1,2s	1,3s	1,4s	1,5s
0:00:00	0:01:00	1,5	1,5	1,5	1,5	82,5	82,5	82,5	82,5
0:01:00	0:02:00	6,8	6,8	6,8	6,8	91,1	91,1	91,1	91,1
0:02:00	0:03:00	6,3	6,3	6,3	6,3	92,3	92,3	92,3	92,3
0:03:00	0:04:00	4,1	4,1	4,1	4,1	94,1	94,1	94,1	94,1
0:04:00	0:05:00	13,1	13,1	13,0	13,0	75,3	75,3	75,5	75,5
0:05:00	0:06:00	7,3	7,3	7,1	7,5	90,2	90,2	94,0	90,4
0:06:00	0:07:00	9,1	9,1	10,8	9,2	88,1	88,1	79,8	87,2
0:07:00	0:08:00	12,7	12,7	13,4	14,9	74,1	74,1	71,0	66,7
0:08:00	0:09:00	15,0	15,0	22,3	18,0	64,4	64,4	48,4	56,0
0:09:00	0:10:00	8,1	8,1	9,8	7,5	71,1	71,0	57,2	72,6
0:10:00	0:11:00	2,6	2,6	2,9	2,7	79,6	80,0	65,2	68,9
0:11:00	0:12:00	7,6	7,7	7,8	7,4	88,5	88,0	87,1	90,4
0:12:00	0:13:00	4,3	4,2	4,2	4,2	89,0	89,5	89,9	89,9
0:13:00	0:14:00	10,4	10,4	10,3	12,2	74,0	74,5	74,8	68,9
0:14:00	0:15:00	13,2	12,9	12,1	11,2	58,7	60,2	63,3	67,4
Průměrná hodnota		8,1	8,1	8,8	8,4	80,9	81,0	77,7	79,6



Graf 23: Vliv reakční doby při zastavení – neprůběžný pruh

Až do tvorby kongesce okolo 5 minuty se dle předpokladu parametr vůbec neprojeví. Poté mírně ovlivňuje hodnoty, ale průměrné hustoty zůstávají téměř stejné.

Určení správné hodnoty reakční doby je velmi obtížné, jelikož závisí na mnoha okolnostech a každý řidič má reakční dobu jinou. Velkou roli zde hraje především míra očekávání a právě tento fakt ovlivňuje hodnoty výzkumných měření, kdy jsou testování řidiči připraveni na určitý podnět. Řidiči při pokusným měřením mají reakční dobu zhruba mezi 0,3-0,5 sekundami a profesionální závodníci formule 1 dokonce reagují s prodlevou 0,25-0,3 sekund. Ovšem na pozemních komunikacích v reálné situaci jsou hodnoty podstatně vyšší.

Norma ČSN 73 6110 pro projektování místních komunikací pracuje s hodnotou 1,0 sekund a norma ČSN 73 6101 pro projektování silnic a dálnic uvádí hodnotu 1,5 sekund. Na rozdílnosti těchto dvou čísel je vidět, že vliv má i charakter komunikace. Předpokládá se, že na místních komunikacích, kde se nachází více křižovatek a chodců, je pozornost řidiče větší než například na dálnicích, kde je jízda vozidla do jisté míry kontinuální. V oboru soudního inženýrství je už od roku 1920 ustálena hodnota 1,0 sekundy. Tuto hodnotu uvádí i mnoho zahraničních zdrojů. Proto bude pro tento simulační model použita hodnota pro reakční dobu 1,0 sekunda a hodnota reakční doby při zastavení 1,5 sekund.

V následujících tabulkách jsou uvedeny hodnoty hlavních charakteristik vozidel. Červeně jsou vyznačeny hodnoty, které byly změněny oproti defaultnímu nastavení.

Tabulka 47: Parametry osobního vozidla

Osobní vozidlo				
Parametr	Střední hodnota	Odchylka	Minimum	Maximum
Délka (m)	4,5	0,5	3,9	5,2
Šířka (m)	1,8	0,1	1,6	2,0
Maximální rychlost (km/h)	110	10	80	150
Maximální akcelerace (m/s ²)	3,0	0,2	2,6	3,4
Normální decelerace (m/s ²)	4,0	0,3	3,5	4,5
Maximální decelerace (m/s ²)	6,0	0,5	5,0	7,0
Dodržení rychlosti	1,1	0,1	0,9	1,3
Minimální vzdálenosti mezi vozidly (m)	1,0	0,3	0,5	1,5
Čas pro dání přednosti v jízdě (s)	10,0	2,5	5,0	15,0
Faktor citlivosti	1	0,2	0,8	1,2
Minimální časový odstup mezi vozidlem a následujícím vozidlem (s)	1	0,5	0	2
Nebezpečná změna jízdního pruhu (%)			40	
Citlivost na nebezpečnou změnu jízdního pruhu			1	
Koeficient pro přepočítání na jednotkové vozidlo			1,0	
Reakční doba (s)			1,0	
Reakční doba při zastavení (s)			1,5	

Tabulka 48: Parametry lehkého nákladního vozidla

Lehké nákladní vozidlo				
Parametr	Střední hodnota	Odchylka	Minimum	Maximum
Délka (m)	5,5	0,5	4,8	6,3
Šířka (m)	2,0	0,1	1,8	2,1
Maximální rychlost (km/h)	100	10	80	120
Maximální akcelerace (m/s ²)	2,5	0,2	2,0	3,0
Normální decelerace (m/s ²)	3,5	0,2	3,0	4,0
Maximální decelerace (m/s ²)	5,5	0,5	4,5	6,5
Dodržení rychlosti	1,0	0,1	0,9	1,2
Minimální vzdálenosti mezi vozidly (m)	1,5	0,3	1,0	2,0
Čas pro dání přednosti v jízdě (s)	30	10	20	40
Faktor citlivosti	1	0,2	0,8	1,2
Minimální časový odstup mezi vozidlem a následujícím vozidlem (s)	1	0,5	0	2
Nebezpečná změna jízdního pruhu (%)			40	
Citlivost na nebezpečnou změnu jízdního pruhu			1	
Koeficient pro přepočítání na jednotkové vozidlo			1,2	
Reakční doba (s)			1,0	
Reakční doba při zastavení (s)			1,5	

Tabulka 49: Parametry těžkého nákladního vozidla

Těžké nákladní vozidlo				
Parametr	Střední hodnota	Odchylka	Minimum	Maximum
Délka (m)	12,0	1,0	10,0	15,0
Šířka (m)	2,5	0,1	2,3	2,55
Maximální rychlost (km/h)	85	10	70	100
Maximální akcelerace (m/s^2)	1,0	0,5	0,6	1,8
Normální decelerace (m/s^2)	3,5	1,0	2,5	4,8
Maximální decelerace (m/s^2)	5,0	0,5	4,0	6,0
Dodržení rychlosti	1,0	0,0	1,0	1,0
Minimální vzdálenosti mezi vozidly (m)	1,5	0,5	1,0	2,5
Čas pro dání přednosti v jízdě (s)	50	20	30	80
Faktor citlivosti	1	0,2	0,8	1,2
Minimální časový odstup mezi vozidlem a následujícím vozidlem (s)	1	0,5	0	2
Nebezpečná změna jízdního pruhu (%)			40	
Citlivost na nebezpečnou změnu jízdního pruhu			1	
Koeficient pro přepočítání na jednotkové vozidlo			2,7	
Reakční doba (s)			1,0	
Reakční doba při zastavení (s)			1,5	

Tabulka 50: Parametry autobusu

Autobus				
Parametr	Střední hodnota	Odchylka	Minimum	Maximum
Délka (m)	11,5	1,0	10,0	13,0
Šířka (m)	2,5	0,1	2,3	2,55
Maximální rychlost (km/h)	90	10	80	100
Maximální akcelerace (m/s^2)	1,0	0,3	0,8	1,8
Normální decelerace (m/s^2)	2,0	2,0	1,5	4,8
Maximální decelerace (m/s^2)	5,0	2,0	4,5	8,0
Dodržení rychlosti	1,0	0	1,0	1,0
Minimální vzdálenosti mezi vozidly (m)	1,5	0,5	1,0	2,5
Čas pro dání přednosti v jízdě (s)	50	20	30	80
Faktor citlivosti	1	0,2	0,8	1,2
Minimální časový odstup mezi vozidlem a následujícím vozidlem (s)	1	0,5	0	2
Nebezpečná změna jízdního pruhu (%)			40	
Citlivost na nebezpečnou změnu jízdního pruhu			1	
Koeficient pro přepočítání na jednotkové vozidlo			2,6	
Reakční doba (s)			1,0	
Reakční doba při zastavení (s)			1,5	

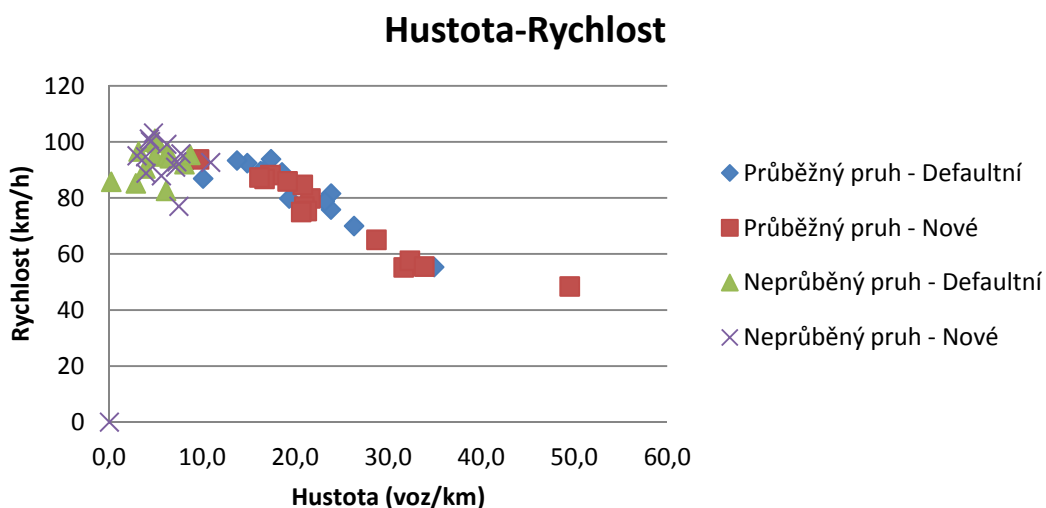
Po změně všech parametrů se charakteristiky dopravního modelu změní následovně:

Tabulka 51: Charakteristiky dopravního proudu po změně – průběžný pruh

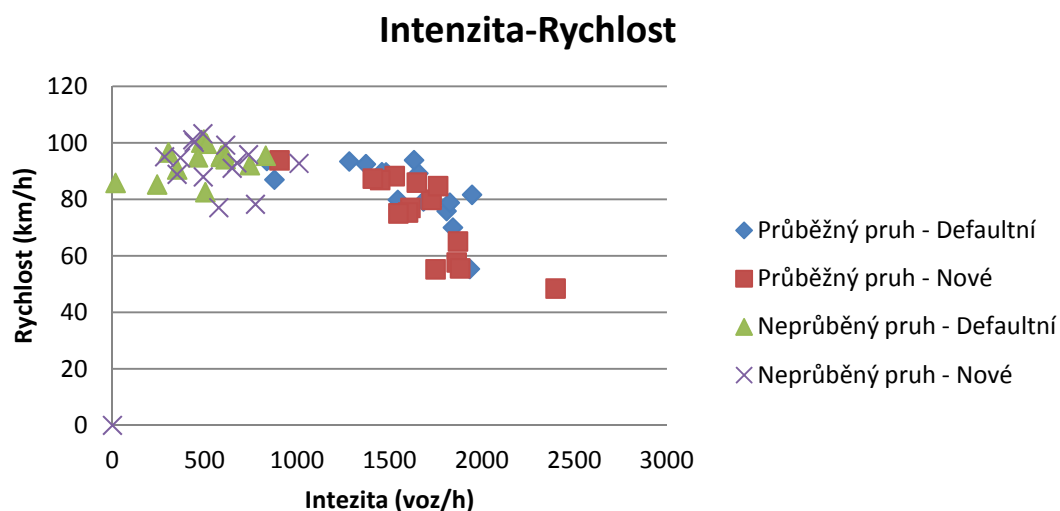
Průběžný pruh							
Začátek	Konec	Hustota (voz/km)		Rychlost (km/h)		Intenzita (voz/h)	
		Defaultní hodnoty	Nové hodnoty	Defaultní hodnoty	Nové hodnoty	Defaultní hodnoty	Nové hodnoty
0:00:00	0:01:00	8,9	9,6	93,6	93,8	836	904
0:01:00	0:02:00	10,1	17,3	87,0	88,2	876	1527
0:02:00	0:03:00	14,8	21,6	92,5	79,8	1371	1726
0:03:00	0:04:00	23,8	16,7	81,6	86,8	1945	1448
0:04:00	0:05:00	34,9	20,8	55,4	84,7	1934	1762
0:05:00	0:06:00	26,3	21,0	70,0	77,0	1842	1612
0:06:00	0:07:00	23,8	21,2	75,9	75,4	1808	1599
0:07:00	0:08:00	19,3	28,7	79,8	65,1	1544	1869
0:08:00	0:09:00	21,2	20,6	79,3	75,0	1683	1547
0:09:00	0:10:00	23,2	16,1	78,8	87,3	1825	1409
0:10:00	0:11:00	16,5	19,2	89,5	85,9	1480	1647
0:11:00	0:12:00	16,3	49,5	89,6	48,4	1458	2397
0:12:00	0:13:00	18,6	31,7	89,2	55,2	1655	1748
0:13:00	0:14:00	13,7	32,3	93,4	57,7	1281	1863
0:14:00	0:15:00	17,4	33,9	93,9	55,6	1632	1881
Průměrná hodnota		19,3	24,0	83,3	74,4	1545	1663

Tabulka 52: Charakteristiky dopravního proudu po změně – neprůběžný pruh

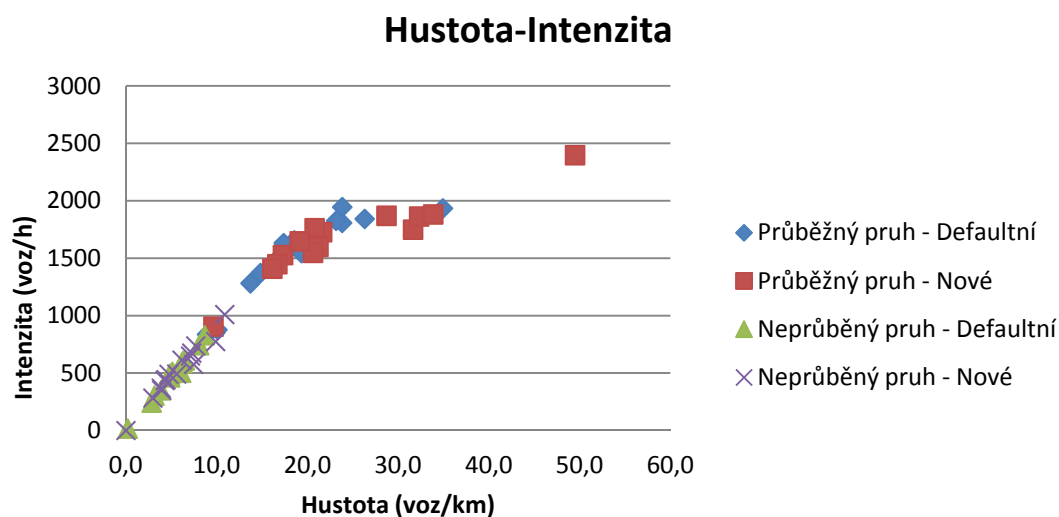
Neprůběžný pruh							
Začátek	Konec	Hustota (voz/km)		Rychlost (km/h)		Intenzita (voz/h)	
		Defaultní hodnoty	Nové hodnoty	Defaultní hodnoty	Nové hodnoty	Defaultní hodnoty	Nové hodnoty
0:00:00	0:01:00	0,2	0,0	85,8	0,0	17	0
0:01:00	0:02:00	6,2	3,0	95,5	95,1	589	282
0:02:00	0:03:00	4,8	4,4	100,1	100,2	480	443
0:03:00	0:04:00	2,8	3,9	85,2	94,7	242	368
0:04:00	0:05:00	4,9	7,1	101,2	91,0	495	648
0:05:00	0:06:00	6,1	7,3	82,5	92,9	503	674
0:06:00	0:07:00	3,9	5,6	90,6	87,9	350	492
0:07:00	0:08:00	6,3	7,7	96,4	95,8	605	737
0:08:00	0:09:00	8,1	4,3	92,1	101,1	743	435
0:09:00	0:10:00	8,7	3,9	95,4	88,8	829	350
0:10:00	0:11:00	5,1	4,7	99,7	103,2	510	489
0:11:00	0:12:00	4,9	10,9	94,9	92,7	463	1010
0:12:00	0:13:00	6,2	6,2	95,1	99,2	587	613
0:13:00	0:14:00	3,1	7,5	96,6	77,0	303	575
0:14:00	0:15:00	6,5	9,9	94,2	78,3	612	774
Průměrná hodnota		5,2	5,8	93,7	86,5	489	526



Graf 24: Fundamentální diagram hustota-rychlost



Graf 26 Fundamentální diagram intenzita-rychlost



Graf 25: Fundamentální diagram hustota-intenzita

Z aktualizovaných hodnot charakteristik dopravního proudu vidíme, že se hustota dopravního proudu zvětšila a rychlost zmenšila. Z vyhodnocení parametrické studie můžeme říct, že největší vliv na tuto změnu měly dva atributy a to reakční doba a rozměry vozidla.

Ve fundamentálním diagramu znázorňujícím vztah intenzita-rychlost vidíme, že se všechny hodnoty drží v horní části křivky, která byla vysvětlena v první kapitole a v které se kongesce netvoří. Ovšem hodnoty průběžného pruhu se nacházejí v oblasti C-D, kde je dopravní proud nestabilní a chyba jediného řidiče může způsobit tvorbu kolon.

5.3 Simulace dopravního proudu

Abychom mohli říci, že jsou hodnoty parametrů nastaveny správně, musíme vytvořit mikrosimulaci odpovídající videozáznamu. Pokud se budou hodnoty ze simulace a z reálné situace do přijatelné míry shodovat, můžeme potvrdit jejich správnost.

Dopravní model bude modelován na pozemní komunikaci s parametry popsány v kapitole 5.2.2 a parametry vozidel budou nastaveny podle kapitoly 5.2.3.

Vzhledem k tomu, že při tvorbě kongescí jsou velmi důležité reakce řidičů na předcházející vozidla, bude simulace vytvářena pro všechny tři verze Car-following modelu v programu Aimsun. Každá verze bude kalibrována s uvažováním minimálního časového odstupu i bez něj. Z programu Aimsun budou použity počty vozidel, hustota a rychlost dopravního proudu. Intenzita bude dopočítána dle vzorce (1.1).

Počty vozidel odečtených z videozáznamu budou vynásobeny koeficientem pro jednotkové vozidlo a bude tak vypočítán celkový počet jednotkových vozidel dle vzorce:

$$I \text{ (jvoz/min)} = 1,0 * I_{OV} + 1,2 * I_{LNV} + 2,7 * I_{TNV} + 2,6 * I_{BUS} \quad (5.12)$$

5.3.1 Leader deceleration

V první verzi Car-following modelu je decelerace předchozího vozidla odhadována jako jeho skutečná decelerace. Druhý model, v kterém je uvažován i minimální časový odstup, se v místě, kde se tvoří kongesce, značně liší od skutečného stavu. Tato situace nastala díky tomu, že vozidla v simulaci dodržují mezery mezi vozidly, zatímco ve skutečnosti tomu tak není. Přesto, že profilem projede více vozidel, díky mezerám mezi nimi je hustota menší a tím pádem se zvětšuje rychlost.

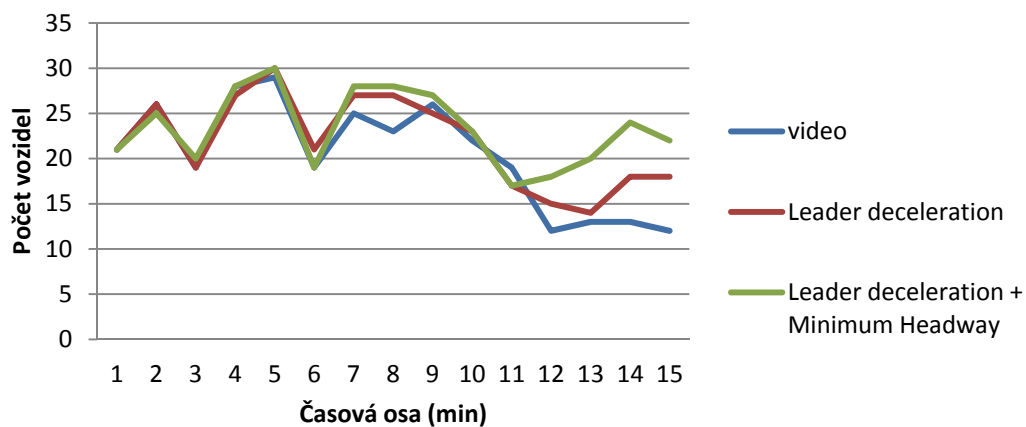
Tabulka 53: Leader deceleration

Leader deceleration									
Začátek	Konec	Průběžný pruh				Neprůběžný pruh			
		Počet vozidel	Hustota (voz/km)	Rychlost (km/h)	Intenzita (voz/h)	Počet vozidel	Hustota (voz/km)	Rychlost (km/h)	Intenzita (voz/h)
0:00:00	0:01:00	21	15,5	85,1	1324	7	4,2	101,4	429
0:01:00	0:02:00	26	37,2	44,1	1645	6	4,3	88,7	379
0:02:00	0:03:00	19	17,5	77,0	1354	12	7,5	96,0	722
0:03:00	0:04:00	27	20,9	77,4	1622	4	2,5	97,7	242
0:04:00	0:05:00	30	25,2	73,1	1850	4	2,4	101,7	242
0:05:00	0:06:00	21	14,9	87,0	1304	14	9,0	90,7	816
0:06:00	0:07:00	27	48,5	36,8	1787	10	8,0	84,3	677
0:07:00	0:08:00	27	61,7	25,9	1604	8	4,3	103,6	442
0:08:00	0:09:00	25	70,2	22,4	1574	14	10,2	89,3	908
0:09:00	0:10:00	23	79,1	17,6	1396	13	8,1	93,2	753
0:10:00	0:11:00	17	102,5	10,6	1093	11	7,9	89,6	710
0:11:00	0:12:00	15	113,1	7,6	870	6	3,9	93,7	363
0:12:00	0:13:00	14	110,1	7,0	775	7	4,4	96,0	425
0:13:00	0:14:00	18	104,9	10,7	1127	16	11,3	88,1	994
0:14:00	0:15:00	18	87,7	20,3	1787	5	3,2	95,0	302

Tabulka 54: Leader deceleration + Minimum Headway

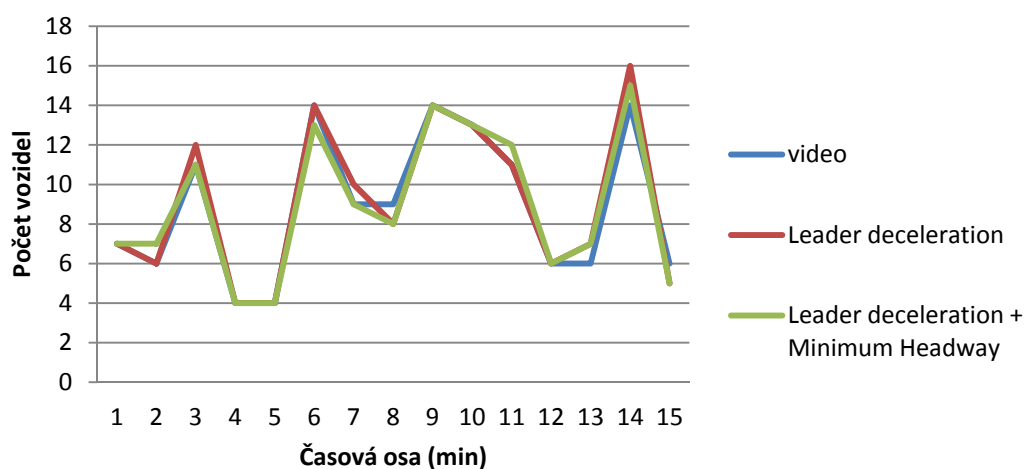
Leader deceleration + Minimum Headway									
Začátek	Konec	Průběžný pruh				Neprůběžný pruh			
		Počet vozidel	Hustota (voz/km)	Rychlost (km/h)	Intenzita (voz/h)	Počet vozidel	Hustota (voz/km)	Rychlost (km/h)	Intenzita (voz/h)
0:00:00	0:01:00	21	21,3	69,3	1477	7	4,8	91,0	436
0:01:00	0:02:00	25	27,7	61,8	1709	7	4,1	104,5	424
0:02:00	0:03:00	20	18,7	68,0	1270	11	7,1	96,0	679
0:03:00	0:04:00	28	22,5	77,0	1729	4	2,4	103,0	246
0:04:00	0:05:00	30	22,1	82,9	1833	4	2,5	98,4	243
0:05:00	0:06:00	19	18,1	71,4	1294	13	8,3	81,3	671
0:06:00	0:07:00	28	30,4	59,6	1808	9	6,1	93,8	570
0:07:00	0:08:00	28	40,5	43,3	1754	8	4,7	104,6	488
0:08:00	0:09:00	27	56,9	31,4	1788	14	12,7	75,0	949
0:09:00	0:10:00	23	75,3	21,0	1582	13	8,9	90,7	802
0:10:00	0:11:00	17	103,8	10,0	1041	12	8,4	88,5	741
0:11:00	0:12:00	18	99,5	10,7	1066	6	4,0	91,5	364
0:12:00	0:13:00	20	90,6	14,0	1272	7	4,1	104,3	424
0:13:00	0:14:00	24	69,7	22,0	1535	15	11,0	85,4	940
0:14:00	0:15:00	22	82,8	17,6	1459	5	3,2	93,3	301

Leader deceleration - průběžný pruh



Graf 27: Leader deceleration – průběžný pruh

Leader deceleration - neprůběžný pruh



Graf 28: Leader deceleration – neprůběžný pruh

5.3.2 Avg of Follower and Leader decelerations

V druhé verzi Car-following modelu je decelerace vedoucího a následujícího vozidla zprůměrována. Opět se opakuje situace z předchozího modelu, kdy se díky zohlednění časového odstupeu snižuje hodnota hustoty přesto, že profilem projede více vozidel. Oproti první verzi se hodnoty videozáznamu od hodnot modelu liší více.

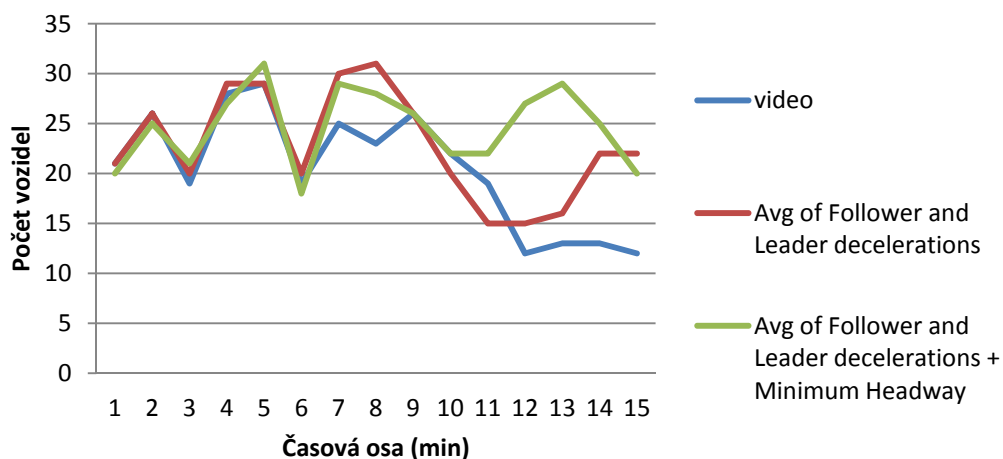
Tabulka 55: Avg of Follower and Leader decelerations

Avg of Follower and Leader decelerations									
Začátek	Konec	Průběžný pruh				Neprůběžný pruh			
		Počet vozidel	Hustota (voz/km)	Rychlost (km/h)	Intenzita (voz/h)	Počet vozidel	Hustota (voz/km)	Rychlost (km/h)	Intenzita (voz/h)
0:00:00	0:01:00	21	14,8	88,7	1311	7	4,2	101,5	427
0:01:00	0:02:00	26	52,0	35,8	1861	6	4,9	82,0	399
0:02:00	0:03:00	20	26,2	54,1	1416	11	5,7	91,9	524
0:03:00	0:04:00	29	19,7	89,7	1768	4	2,4	100,4	245
0:04:00	0:05:00	29	22,4	78,4	1757	4	2,3	105,3	243
0:05:00	0:06:00	20	14,1	93,6	1320	13	7,6	90,5	691
0:06:00	0:07:00	30	27,6	67,8	1868	8	4,8	101,6	488
0:07:00	0:08:00	31	39,8	47,7	1896	10	6,1	99,4	609
0:08:00	0:09:00	26	59,3	29,3	1735	16	12,1	82,5	996
0:09:00	0:10:00	20	89,8	15,2	1368	11	7,9	89,6	703
0:10:00	0:11:00	15	110,3	7,7	847	11	8,2	82,8	676
0:11:00	0:12:00	15	111,9	8,5	956	7	4,4	99,3	433
0:12:00	0:13:00	16	110,1	8,2	903	7	4,4	96,5	423
0:13:00	0:14:00	22	88,5	15,8	1397	15	10,2	90,7	922
0:14:00	0:15:00	22	84,2	16,1	1357	5	3,3	94,3	307

Tabulka 56: Avg of Follower and Leader decelerations + Minimum Headway

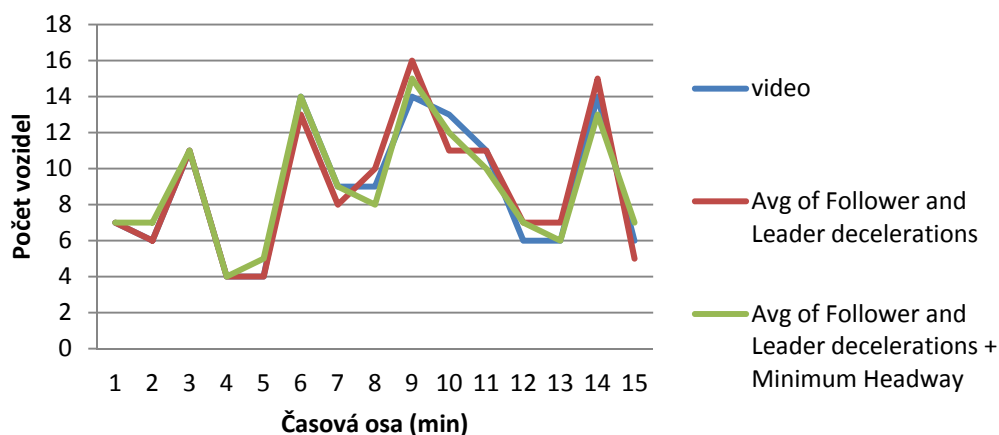
Avg of Follower and Leader decelerations + Minimum Headway									
Začátek	Konec	Průběžný pruh				Neprůběžný pruh			
		Počet vozidel	Hustota (voz/km)	Rychlost (km/h)	Intenzita (voz/h)	Počet vozidel	Hustota (voz/km)	Rychlost (km/h)	Intenzita (voz/h)
0:00:00	0:01:00	20	18,3	71,4	1306	7	5,4	85,5	461
0:01:00	0:02:00	25	46,1	34,1	1573	7	4,7	93,1	434
0:02:00	0:03:00	21	29,6	45,4	1343	11	7,9	86,6	680
0:03:00	0:04:00	27	29,1	58,4	1697	4	2,6	98,7	252
0:04:00	0:05:00	31	28,1	67,5	1893	5	3,0	101,0	305
0:05:00	0:06:00	18	18,5	67,9	1253	14	7,7	90,1	697
0:06:00	0:07:00	29	34,5	53,9	1860	9	6,6	84,6	558
0:07:00	0:08:00	28	51,0	35,5	1808	8	8,0	69,5	555
0:08:00	0:09:00	26	59,6	30,1	1796	15	13,2	77,2	1019
0:09:00	0:10:00	22	81,7	16,6	1352	12	7,6	97,0	733
0:10:00	0:11:00	22	79,1	17,9	1411	10	6,5	94,0	613
0:11:00	0:12:00	27	61,4	27,0	1659	7	4,3	100,8	437
0:12:00	0:13:00	29	46,5	37,8	1759	6	3,5	104,1	367
0:13:00	0:14:00	25	60,0	26,2	1572	13	8,5	93,8	792
0:14:00	0:15:00	20	89,4	14,2	1272	7	4,9	87,7	427

Avg of Follower and Leader decelerations -
průběžný pruh



Graf 29: Avg of Follower and Leader decelerations – průběžný pruh

Avg of Follower and Leader decelerations - neprůběžný pruh



Graf 30: Avg of Follower and Leader decelerations – neprůběžný pruh

5.3.3 Sensitivity factor

V třetí verzi byl zohledněn parametr citlivosti při nastavení střední hodnoty na 1 a odchylky na 0,2. Zatímco v předchozích dvou verzích se od sebe modely s uvažováním časového odstupu v místě tvorby kolony značně liší, v tomto modelu jsou si modely hodně podobné. Hlavní roli zde tedy má faktor citlivosti a ne časové mezera.

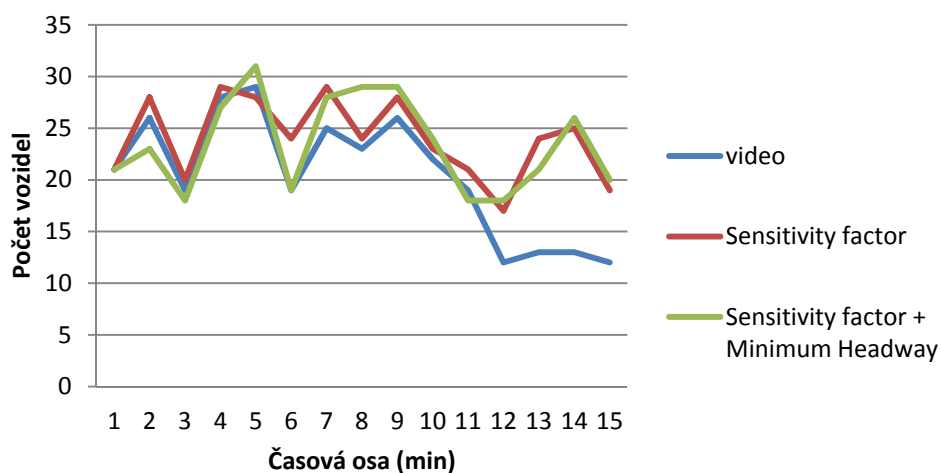
Tabulka 57: Sensitivity factor

Sensitivity factor									
Začátek	Konec	Průběžný pruh				Neprůběžný pruh			
		Počet vozidel	Hustota (voz/km)	Rychlost (km/h)	Intenzita (voz/h)	Počet vozidel	Hustota (voz/km)	Rychlost (km/h)	Intenzita (voz/h)
0:00:00	0:01:00	21	16,0	84,3	1348	7	4,0	99,9	397
0:01:00	0:02:00	28	20,1	84,2	1690	6	3,3	102,5	335
0:02:00	0:03:00	20	22,5	67,5	1521	12	8,5	91,5	780
0:03:00	0:04:00	29	19,3	91,9	1772	2	0,9	103,1	94
0:04:00	0:05:00	28	20,4	84,5	1728	4	2,5	100,2	248
0:05:00	0:06:00	24	18,7	81,5	1523	14	9,0	93,9	845
0:06:00	0:07:00	29	44,3	41,1	1820	8	5,2	94,5	489
0:07:00	0:08:00	24	71,0	22,8	1615	10	8,6	72,3	622
0:08:00	0:09:00	28	64,2	28,6	1834	14	8,5	93,1	793
0:09:00	0:10:00	23	83,4	18,6	1554	13	10,2	87,4	888
0:10:00	0:11:00	21	85,1	17,7	1509	10	6,1	95,0	577
0:11:00	0:12:00	17	107,8	9,2	992	7	4,7	96,5	452
0:12:00	0:13:00	24	79,8	23,2	1851	6	3,2	106,0	335
0:13:00	0:14:00	25	71,5	22,5	1605	14	9,8	91,1	892
0:14:00	0:15:00	19	96,3	13,4	1291	7	4,2	101,0	427

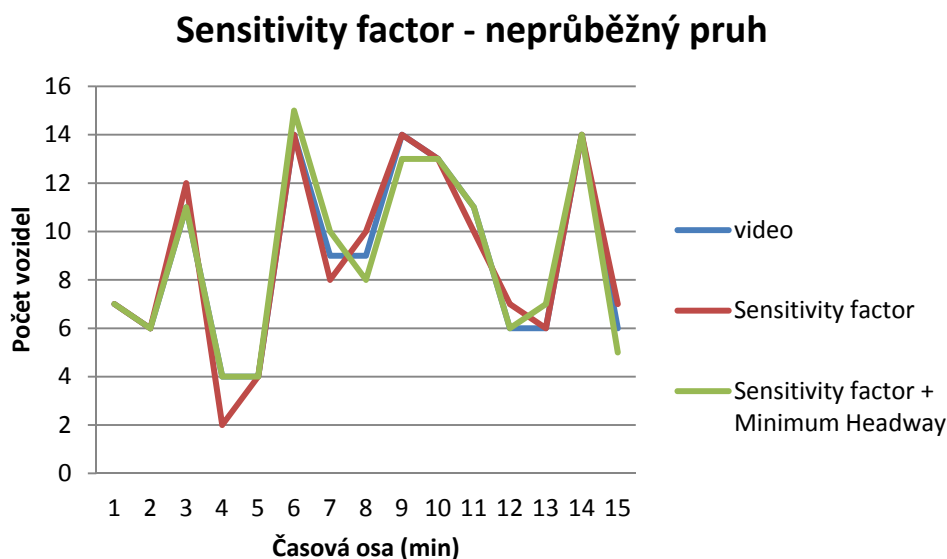
Tabulka 58: Sensitivity factor + Minimum Headway

Sensitivity factor + Minimum Headway									
Začátek	Konec	Průběžný pruh				Neprůběžný pruh			
		Počet vozidel	Hustota (voz/km)	Rychlost (km/h)	Intenzita (voz/h)	Počet vozidel	Hustota (voz/km)	Rychlost (km/h)	Intenzita (voz/h)
0:00:00	0:01:00	21	21,6	63,4	1371	7	4,4	97,3	424
0:01:00	0:02:00	23	55,0	27,8	1526	6	4,3	91,5	389
0:02:00	0:03:00	18	29,1	46,6	1356	11	6,2	99,3	616
0:03:00	0:04:00	27	48,9	42,8	2092	4	2,5	95,2	237
0:04:00	0:05:00	31	44,0	42,5	1868	4	2,3	103,0	240
0:05:00	0:06:00	19	24,7	51,8	1278	15	9,6	89,7	860
0:06:00	0:07:00	28	27,5	62,9	1728	10	6,8	92,0	625
0:07:00	0:08:00	29	44,4	41,4	1836	8	7,0	81,9	576
0:08:00	0:09:00	29	49,9	36,4	1818	13	8,5	95,0	802
0:09:00	0:10:00	24	77,5	18,8	1459	13	8,5	92,5	786
0:10:00	0:11:00	18	100,9	11,7	1181	11	7,0	97,2	677
0:11:00	0:12:00	18	103,8	10,1	1051	6	3,6	102,1	364
0:12:00	0:13:00	21	89,1	16,3	1453	7	4,1	102,5	423
0:13:00	0:14:00	26	68,1	22,8	1553	14	9,5	90,6	858
0:14:00	0:15:00	20	87,6	15,7	1376	5	3,0	100,3	301

Sensitivity factor - průběžný pruh



Graf 31: Sensitivity factor – průběžný pruh



Graf 32: Sensitivity factor – neprůběžný pruh

5.3.4 Validace modelu

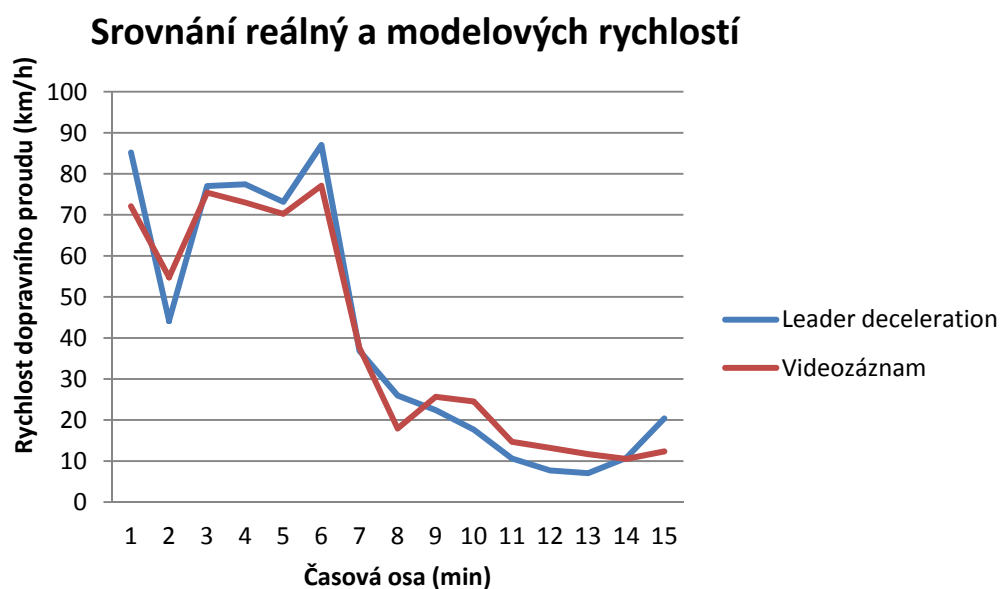
Po srovnání počtu vozidel se jako nejlepší varianta Car-following modelu jeví první verze, která bere do úvahy pouze deceleraci vedoucího vozidla. V neprůběžném pruhu se verze téměř shodovala s reálným stavem a v průběžném pruhu se verze od skutečného stavu mírně liší, ovšem v porovnání s jinými verzemi je rozdíl nejmenší a i přes větší počet vozidel v simulaci než ve skutečném stavu se rychlost pohybuje ve stejných hodnotách.

Hlavním validačním parametrem pro ověření správnosti modelu a správného nastavení parametrů bude hodnota rychlosti zjištěná z videozáznamu.

Jak lze vidět na grafu, rychlost dopravního proudu v simulaci a skutečného dopravního proudu se přibližně shoduje a můžeme tedy model považovat za validovaný. Díky ověření modelu můžeme prohlásit, že naši simulaci řazení nejlépe přibližuje skutečnosti verze Car-following modelu Leader deceleration bez uvažování minimální časového odstupu a příslušné nastavení parametrů pozemní komunikace a vozidla.

Tabulka 59: Srovnání reálných a modelových rychlostí

Začátek	Konec	Rychlost (km/h)		
		Videozáznam	Dopravní simulace	Rozdíl
0:00:00	0:01:00	72,1	85,2	-13,1
0:01:00	0:02:00	54,7	44,1	10,6
0:02:00	0:03:00	75,4	77,0	-1,6
0:03:00	0:04:00	73,0	77,4	-4,4
0:04:00	0:05:00	70,2	73,2	-2,9
0:05:00	0:06:00	77,1	87,0	-9,9
0:06:00	0:07:00	37,6	36,8	0,8
0:07:00	0:08:00	17,9	26,0	-8,1
0:08:00	0:09:00	25,7	22,4	3,3
0:09:00	0:10:00	24,5	17,6	6,9
0:10:00	0:11:00	14,7	10,6	4,1
0:11:00	0:12:00	13,2	7,7	5,5
0:12:00	0:13:00	11,7	7,0	4,7
0:13:00	0:14:00	10,5	10,7	-0,2
0:14:00	0:15:00	12,4	20,4	-8,0



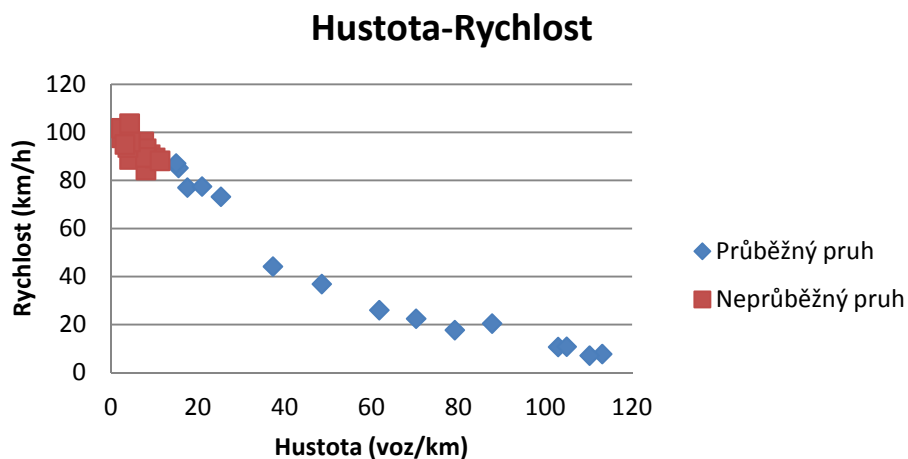
Graf 33: Srovnání reálných a modelových rychlostí

5.3.5 Fundamentální diagramy dopravní simulace

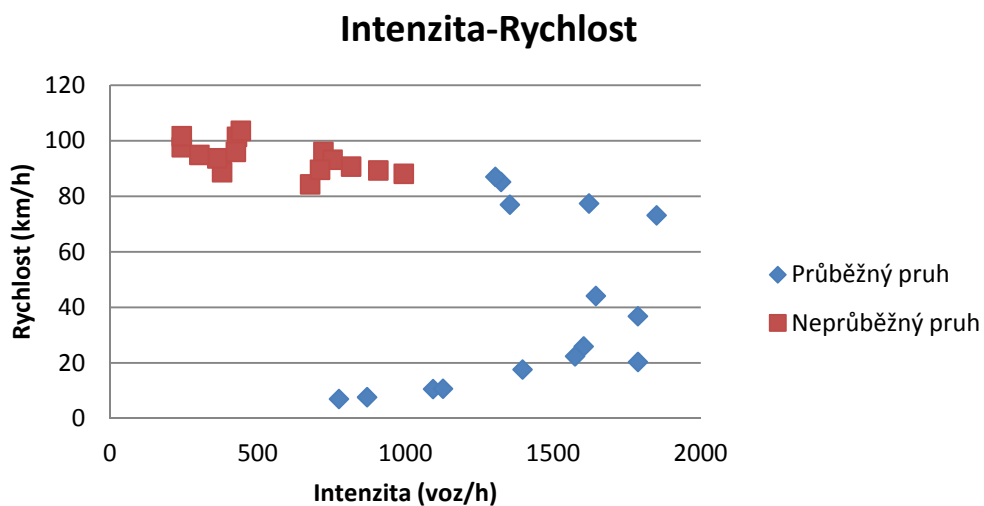
Z fundamentálních diagramů lze určit, kdy vzniká kongesce pomocí pravidel definovaných v první kapitole. Je to zřejmé především z grafu intenzita-rychlost, kdy se body pod hranicí rychlosti 40 km/h nacházejí ve spodní části křivky vykreslené v obrázku 4. Tato část určuje oblast tvorby zácp. Tato oblast je definována hodnotami v 6-7 minutě simulace a shoduje se s videozáznamem.

Tabulka 60: Charakteristiky dopravního proudu validované simulace

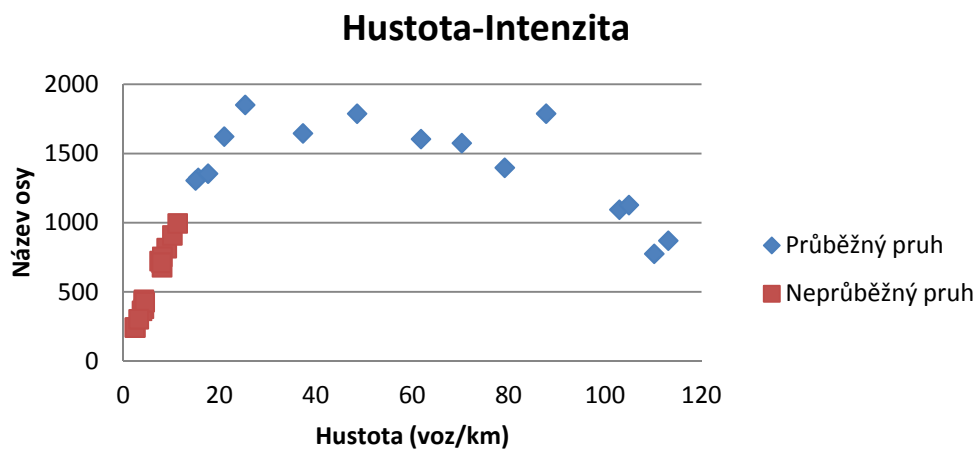
Dopravní simulace									
Začátek	Konec	Průběžný pruh				Neprůběžný pruh			
		Počet vozidel	Hustota (voz/km)	Rychlost (km/h)	Intenzita (voz/h)	Počet vozidel	Hustota (voz/km)	Rychlost (km/h)	Intenzita (voz/h)
0:00:00	0:01:00	21	15,5	85,1	1324	7	4,2	101,4	429
0:01:00	0:02:00	26	37,2	44,1	1645	6	4,3	88,7	379
0:02:00	0:03:00	19	17,5	77,0	1354	12	7,5	96,0	722
0:03:00	0:04:00	27	20,9	77,4	1622	4	2,5	97,7	242
0:04:00	0:05:00	30	25,2	73,1	1850	4	2,4	101,7	242
0:05:00	0:06:00	21	14,9	87,0	1304	14	9,0	90,7	816
0:06:00	0:07:00	27	48,5	36,8	1787	10	8,0	84,3	677
0:07:00	0:08:00	27	61,7	25,9	1604	8	4,3	103,6	442
0:08:00	0:09:00	25	70,2	22,4	1574	14	10,2	89,3	908
0:09:00	0:10:00	23	79,1	17,6	1396	13	8,1	93,2	753
0:10:00	0:11:00	17	102,5	10,6	1093	11	7,9	89,6	710
0:11:00	0:12:00	15	113,1	7,6	870	6	3,9	93,7	363
0:12:00	0:13:00	14	110,1	7,0	775	7	4,4	96,0	425
0:13:00	0:14:00	18	104,9	10,7	1127	16	11,3	88,1	994
0:14:00	0:15:00	18	87,7	20,3	1787	5	3,2	95,0	302



Graf 34: Vztah hustota-rychlost ve validované dopravní simulaci



Graf 35: Vztah intenzita-rychlost ve validované simulaci

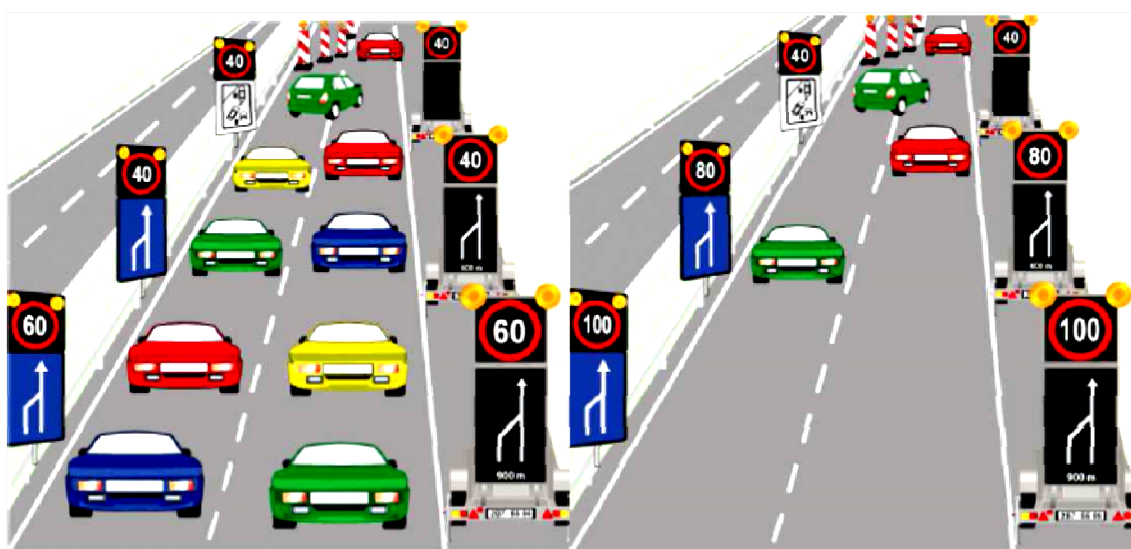


Graf 36: Vztah hustota-intenzita ve validované simulaci

6 ZVÝŠENÍ PROPUSTNOSTI ÚZKÝCH HRDEL

Po kalibraci a validaci dopravního modelu můžeme ověřené hodnoty použít pro sestavení simulace, ve které bude dynamicky řízen dopravní proud.

Princip dynamického řízení spočívá v tom, že se na základě určité charakteristiky dopravního proudu mění proměnné dopravní značení a značení pro provozní informace a aktuálně je tak reagováno na stávající situaci na pozemní komunikaci.



Obrázek 51: Dynamické řízení dopravního proudu v místě pracovní zóny

6.1 Vstupní parametry

Dopravní modely budou sestaveny pro 3 různé hodnoty intenzit:

- Intenzita = 1500 voz/h (průměrná intenzita provozu na D1)
- Intenzita = 1900 voz/h (vyšší intenzita provozu na D1)
- Intenzita = 2100 voz/h (vysoká intenzita provozu na D1)

Skladba dopravního proudu bude zvolena dle intenzity z videozáznamu a bude přepočítána pro výše zmíněné intenzity jak je vidět v následující tabulce.

Tabulka 61: Intenzity pro dynamické řízení dopravního proudu

Intenzity pro simulaci	Osobní vozidlo		Lehké nákladní vozidlo		Těžké nákladní vozidlo		Autobusy		Celková intenzita
	voz/h	%	voz/h	%	voz/h	%	voz/h	%	
Videozáznam	1292	81	240	15	52	3	16	1	1600
Verze 1	1211	81	225	15	49	3	15	1	1500
Verze 2	1534	81	285	15	62	3	19	1	1900
Verze 3	1696	81	315	15	68	3	21	1	2100

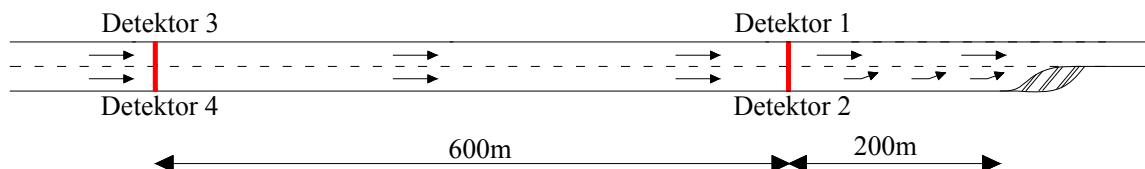
Parametry vozidel budou zadány dle tabulek 47-50 a parametry komunikace dle kapitoly 5.2.2. Pouze hodnota vzdálenost zóny 1 bude zmenšena na 10 sekund. Touto změnou docílíme toho, že se vozidla budou chtít zařadit až 10 sekund před koncem končícího pruhu, což při rychlostech 80-100 km/h odpovídá 280-220m. Dle schémat ze zahraničí je to vzdálenost, do které se umísťuje dopravní značka prikazující řidičům změnu jízdního pruhu („Zip here“, „Please merge in turn“). V dynamickém řízení jsou řidiči nabádáni používat oba dopravní pruhy pomocí značení pro provozní informace.

Hlavními údaji pro zhodnocení vývoje dopravního proudu bude rychlost dopravního proudu (Speed), střední hodnota délky kolony (Mean Queue Length) a maximální hodnota délky kolony (Maximum Queue Length). Poslední dva parametry se vyjadřují v počtech vozidel, které jsou nuceny stát v koloně. Za vozidla tvořící kolonu se považují ta, co mají rychlost menší než 1 m/s a za vozidla opouštějící kolonu ta, co přesáhnou rychlost 4 m/s. Hodnoty jsou definované softwarem.

6.2 Schémata dynamického řízení dopravního proudu

Hlavním charakteristikou dopravního proudu pro dynamické řízení bude rychlost dopravního proudu. Bude měřena v pětiminutových intervalech. Předpokládáme, že před pracovní zónou bude menší rychlost v průběžném pruhu a aktivační detektor (detektor 1) bude tedy umístěn zde ve vzdálenosti 200m před místem zúžení. Spouštěčem pro aktivaci systému bude rychlost pod 40 km/h, která byla určena z fundamentálního diagramu (Graf 35). Jako rozhodující rychlost pro návrat k původnímu schématu, budou vypracovány dvě varianty a to 50 km/h a 55 km/h.

Na pozemní komunikaci budou umístěny 4 detektory, které budou měřit dopravní charakteristiky pro každý pruh zvlášť. Budou vzdáleny 200m a 800m před pracovní zónou.



Obrázek 52: Označení a rozmístění detektorů

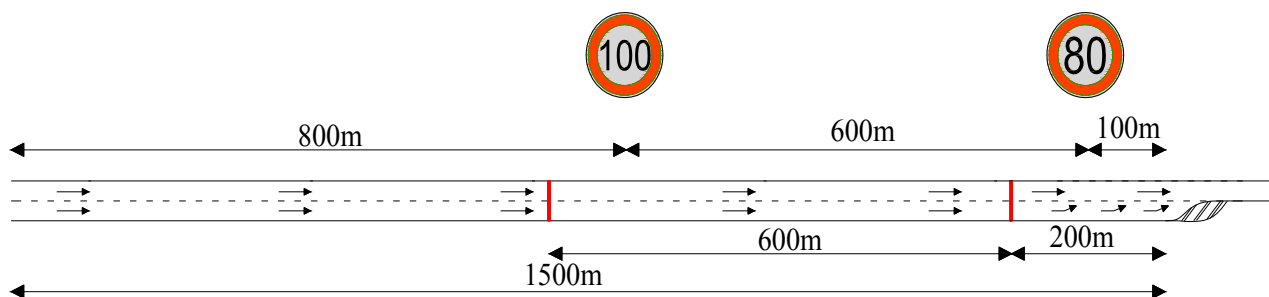
Dle technických podmínek se snižování hranice nejvyšší dovolené rychlosti značkou provádí postupně, zpravidla po 20 km/h, nejvýše po 30 km/h.

Základním schéma omezení rychlosti bude stanoveno na základě technických podmínky, tedy snížení rychlosti ze 130 km/h na 100 km/h 700m před pracovní zónou a snížení rychlosti ze 100 km/h na 80 km/h 100m před pracovní zónou. Toto schéma si vyžaduje pouze dvě proměnné dopravní značky na každé straně.

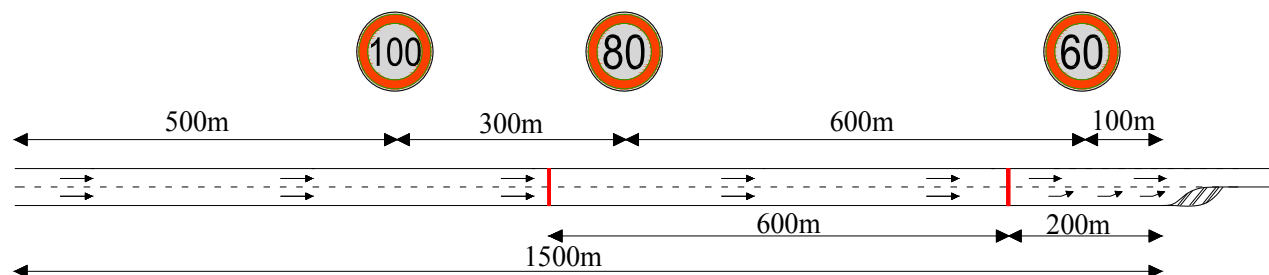
První dopravní schéma má první rychlostní omezení 1000m před zúžením na 100 km/h, další je ve vzdálenosti 700m před pracovní zónou s hodnotou 80 km/h a poslední je 100m před zúžením s rychlostí 60 km/h. Toto schéma vyžaduje tři proměnné dopravní značení na každé straně.

Druhé schéma má první omezení už 1500m před zúžením na 100 km/h. Snížení z rychlosti 100 km/h na 80 km/h je značeno ve vzdálenosti 700m před pracovní zónou a omezení na 60 km/h 100m před pracovní zónou. Pro toto schéma jsou potřeba tři dopravní proměnné značky na obou stranách.

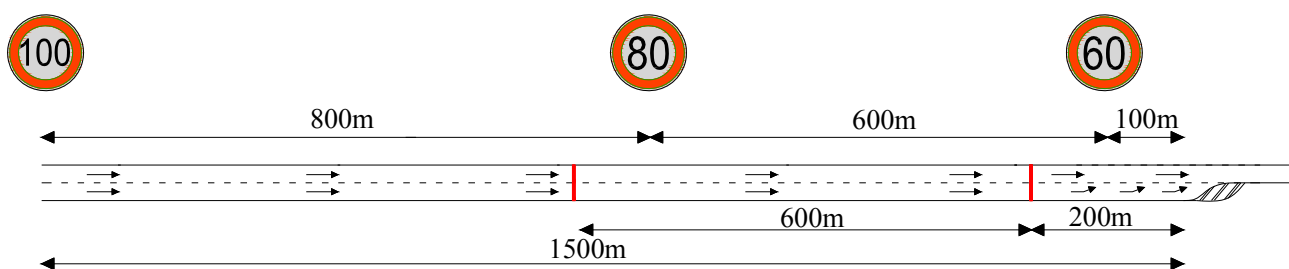
Poslední schéma má stejné rozdělení jako druhá varianta. Pouze značka 80 km/h rychlosti se posune do větší vzdálenosti od pracovní zóny, konkrétně 1000m. Ovšem díky tomu, že musí být zachována značka i pro základní profil ve vzdálenosti 700m před pracovní zónou jsou třeba 4 dopravní proměnné značky na každé straně.



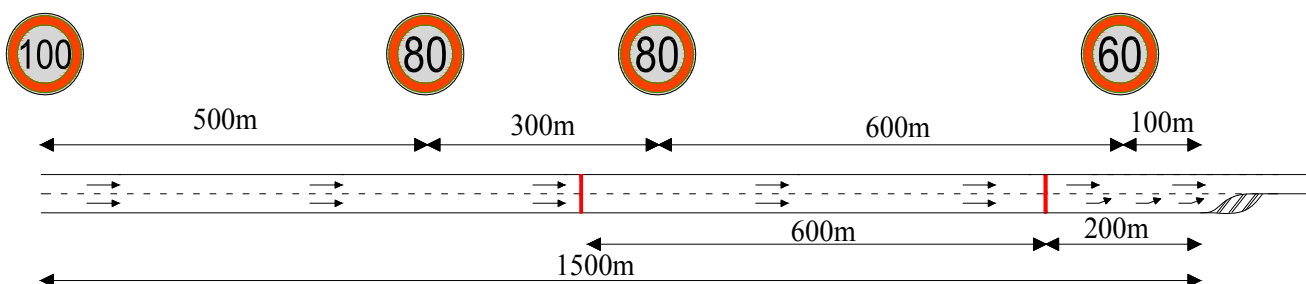
Obrázek 53: Základní schéma



Obrázek 56: Schéma 1 (100-80-60)



Obrázek 54: Schéma 2 (100-100-80-60)



Obrázek 55: Schéma 3 (100-80-80-60)

6.3 Řízení dopravního proudu

Prvním úkolem bude vytvoření dopravní modelů, které jsou řízeny statickým řízením dopravy, pro časový úsek 5 hodin. Pro každou intenzitu bude vytvořeno 5 simulací, čímž bude zohledněna náhodnost jevů. Následně bude z těchto simulací vytvořena průměrná hodnota.

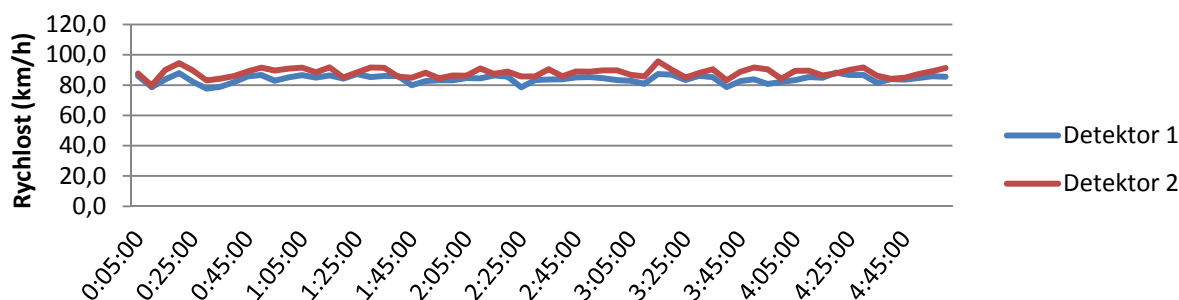
6.3.1 Základní schéma – intenzita 1500 voz/h

Z grafů a tabulky můžeme vidět, že rychlost nikdy pod hranici 40 km/h neklesne. Z tohoto důvodu počítat, že se kolona nevytvoří a dynamické řízení dopravního proudu tedy nebude aktivováno. Proto se modely pro tuto intenzitu nebudeme více zabývat.

Tabulka 62: Základní schéma – intenzita 1500 voz/h (rychlost)

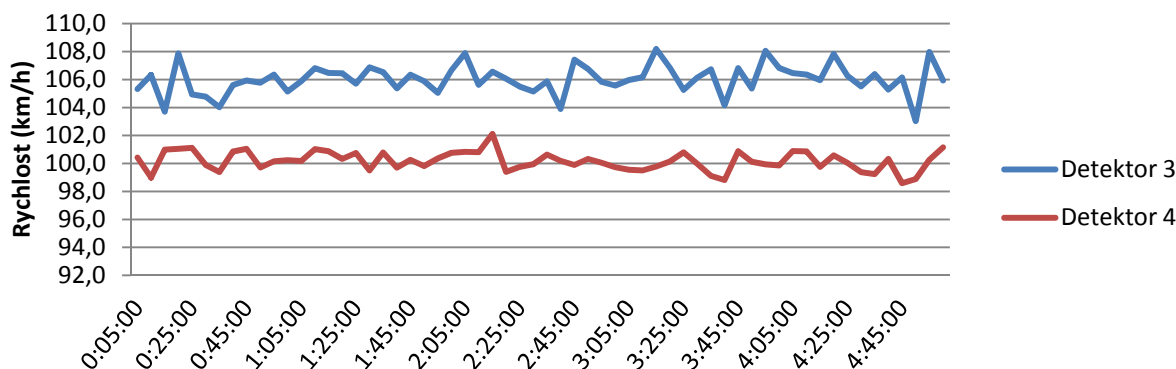
Rychlost (km/h)									
Čas	Označení detektoru				Čas	Označení detektoru			
	1	2	3	4		1	2	3	4
0:05:00	86,0	87,7	105,3	100,4	2:35:00	83,8	90,5	105,9	100,6
0:10:00	78,7	79,7	106,3	99,0	2:40:00	83,8	85,8	103,9	100,2
0:15:00	83,9	90,1	103,7	101,0	2:45:00	85,1	89,0	107,4	99,9
0:20:00	88,0	94,5	107,9	101,0	2:50:00	85,3	88,9	106,8	100,3
0:25:00	82,2	89,7	104,9	101,1	2:55:00	84,6	89,8	105,8	100,1
0:30:00	77,7	83,1	104,8	99,9	3:00:00	83,3	89,7	105,6	99,7
0:35:00	78,8	84,2	104,0	99,4	3:05:00	82,9	86,8	106,0	99,5
0:40:00	82,0	86,0	105,6	100,9	3:10:00	80,8	85,7	106,2	99,5
0:45:00	85,7	89,0	105,9	101,0	3:15:00	87,4	95,6	108,2	99,8
0:50:00	86,6	91,5	105,8	99,7	3:20:00	86,9	90,1	106,8	100,1
0:55:00	82,9	89,7	106,4	100,2	3:25:00	83,4	85,0	105,3	100,8
1:00:00	85,1	90,9	105,1	100,2	3:30:00	86,2	88,1	106,1	100,0
1:05:00	86,6	91,5	105,9	100,2	3:35:00	85,2	90,5	106,7	99,1
1:10:00	85,0	88,5	106,8	101,0	3:40:00	78,7	83,2	104,2	98,8
1:15:00	86,4	91,7	106,5	100,9	3:45:00	82,7	88,8	106,8	100,9
1:20:00	84,2	85,1	106,4	100,3	3:50:00	83,8	91,6	105,4	100,1
1:25:00	87,3	88,4	105,7	100,8	3:55:00	80,7	90,3	108,0	99,9
1:30:00	85,3	91,7	106,9	99,5	4:00:00	82,1	84,1	106,8	99,9
1:35:00	86,1	91,4	106,5	100,8	4:05:00	83,3	89,4	106,5	100,9
1:40:00	85,9	85,7	105,4	99,7	4:10:00	85,4	89,6	106,4	100,9
1:45:00	79,9	84,9	106,3	100,3	4:15:00	84,9	86,4	106,0	99,8
1:50:00	82,6	88,2	105,9	99,8	4:20:00	88,3	87,7	107,8	100,6
1:55:00	83,2	84,5	105,1	100,4	4:25:00	86,6	90,2	106,3	100,0
2:00:00	83,1	86,3	106,7	100,8	4:30:00	86,7	91,6	105,5	99,4
2:05:00	84,7	86,2	107,9	100,8	4:35:00	81,5	86,2	106,4	99,2
2:10:00	84,5	91,0	105,6	100,8	4:40:00	83,9	84,1	105,3	100,3
2:15:00	86,3	87,5	106,6	102,1	4:45:00	83,6	84,9	106,2	98,6
2:20:00	85,7	88,9	106,1	99,4	4:50:00	84,7	87,3	103,0	98,9
2:25:00	78,5	85,7	105,5	99,8	4:55:00	85,8	89,1	108,0	100,3
2:30:00	83,3	85,7	105,1	99,9	5:00:00	85,5	91,3	105,9	101,1

Rychlost v profilu 200m před zúžením



Graf 37: Intenzita 1500 voz/h – rychlost v profilu 200m před zúžením

Rychlost v profilu 800m před zúžením



Graf 38: Intenzita 1500 voz/h – rychlost v profilu 800m před zúžením

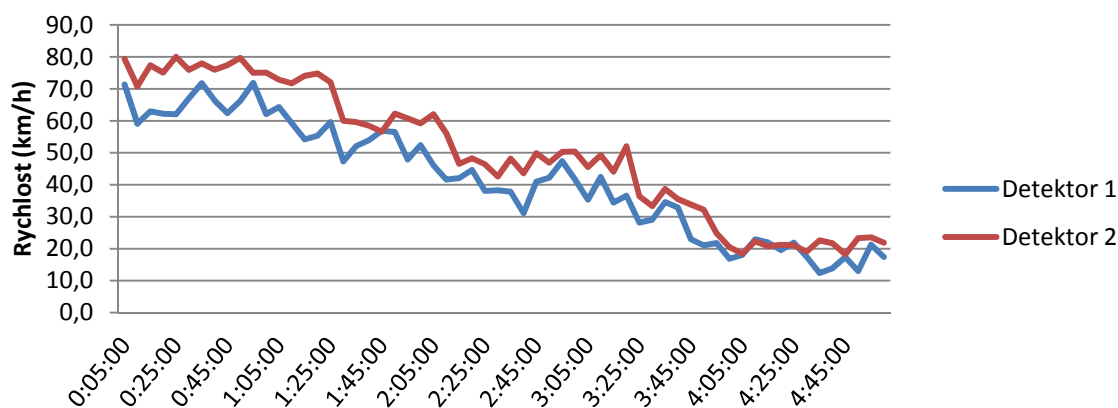
6.3.2 Základní schéma – intenzita 1900 voz/h

Při intenzitě 1900 voz/h v polovině simulace vidíme pokles rychlosti pod 40 km/h a následně další snižování rychlosti. Od této doby i stabilně roste průměrná hodnota délky kolony. Lze si povšimnout, že v profilu 200m před pracovní zónou je neprůběžný pruh rychlejší než průběžný. Způsobeno to je tím, že v neprůběžném pruhu je v oblasti detektoru méně vozidel a dovolí si jet vyšší rychlostí. Rozdíl se pak snižuje s narůstajícím časem, jelikož hustota dopravního proudu v obou jízdních pruzích roste.

Tabulka 63: Základní schéma – intenzita 1900 voz/h (rychlost)

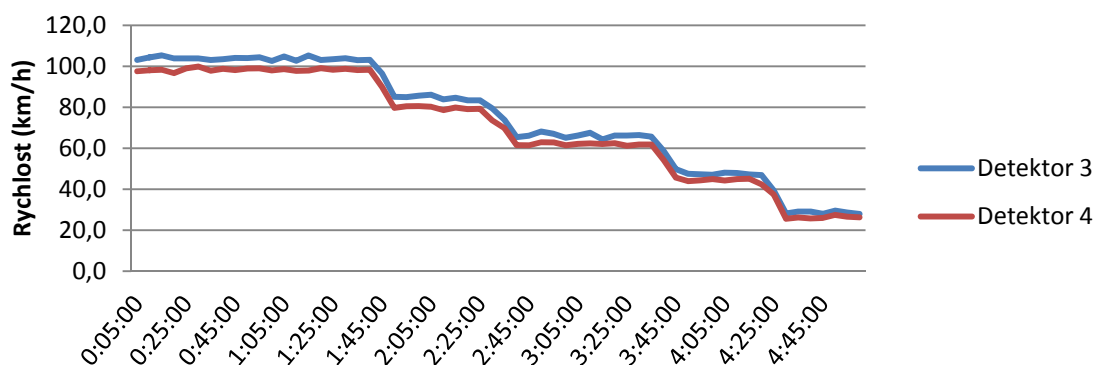
Rychlost (km/h)									
Čas	Označení detektoru				Čas	Označení detektoru			
	1	2	3	4		1	2	3	4
0:05:00	71,3	79,4	103,1	97,6	2:35:00	37,8	48,2	73,9	69,8
0:10:00	59,2	70,8	104,4	98,1	2:40:00	31,1	43,6	65,4	61,5
0:15:00	63,0	77,3	105,3	98,4	2:45:00	41,0	49,9	66,2	61,5
0:20:00	62,2	75,1	103,9	96,7	2:50:00	42,2	46,9	68,2	62,9
0:25:00	62,1	80,0	103,9	99,1	2:55:00	47,4	50,3	67,1	62,9
0:30:00	67,0	75,9	103,9	99,9	3:00:00	41,7	50,4	65,1	61,4
0:35:00	71,8	78,0	103,1	97,9	3:05:00	35,3	45,5	66,2	62,1
0:40:00	66,4	76,0	103,5	98,8	3:10:00	42,4	49,3	67,5	62,4
0:45:00	62,4	77,4	104,1	98,2	3:15:00	34,4	44,1	64,3	62,1
0:50:00	66,2	79,7	104,0	98,9	3:20:00	36,6	52,1	66,2	62,5
0:55:00	71,9	75,0	104,5	99,1	3:25:00	28,2	36,4	66,2	61,2
1:00:00	62,1	75,1	102,6	98,0	3:30:00	29,1	33,3	66,4	61,8
1:05:00	64,3	72,8	104,8	98,6	3:35:00	34,6	38,7	65,6	61,9
1:10:00	59,2	71,7	102,7	97,8	3:40:00	32,9	35,5	58,8	54,3
1:15:00	54,2	74,1	105,3	97,9	3:45:00	23,0	33,8	49,8	45,6
1:20:00	55,4	74,8	103,1	99,1	3:50:00	21,1	32,2	47,5	44,0
1:25:00	59,6	72,0	103,5	98,4	3:55:00	21,8	24,8	47,3	44,3
1:30:00	47,3	60,0	103,9	98,8	4:00:00	16,9	20,5	47,1	45,0
1:35:00	52,1	59,6	103,0	98,1	4:05:00	18,0	18,4	48,1	44,2
1:40:00	54,0	58,4	103,2	98,3	4:10:00	22,9	22,3	47,9	44,9
1:45:00	56,9	56,6	96,6	89,9	4:15:00	21,9	20,7	47,2	45,1
1:50:00	56,5	62,3	85,1	79,7	4:20:00	19,5	21,2	46,9	42,4
1:55:00	47,9	60,8	85,0	80,5	4:25:00	21,9	21,1	39,4	37,5
2:00:00	52,4	59,2	85,7	80,6	4:30:00	17,5	19,0	28,2	25,6
2:05:00	46,1	62,1	86,1	80,3	4:35:00	12,4	22,6	29,0	26,2
2:10:00	41,6	56,2	83,9	78,6	4:40:00	13,9	21,7	29,1	25,7
2:15:00	42,1	46,5	84,7	79,9	4:45:00	17,3	18,2	28,0	25,9
2:20:00	44,6	48,3	83,4	79,1	4:50:00	13,0	23,3	29,5	27,5
2:25:00	38,1	46,4	83,4	79,2	4:55:00	21,2	23,5	28,6	26,6
2:30:00	38,3	42,6	79,5	73,6	5:00:00	17,4	21,8	27,9	26,2

Rychlost v profilu 200m před zúžením



Graf 39: Intenzita 1900 voz/h – rychlost v profilu 200m před zúžením

Rychlost v profilu 800m před zúžením

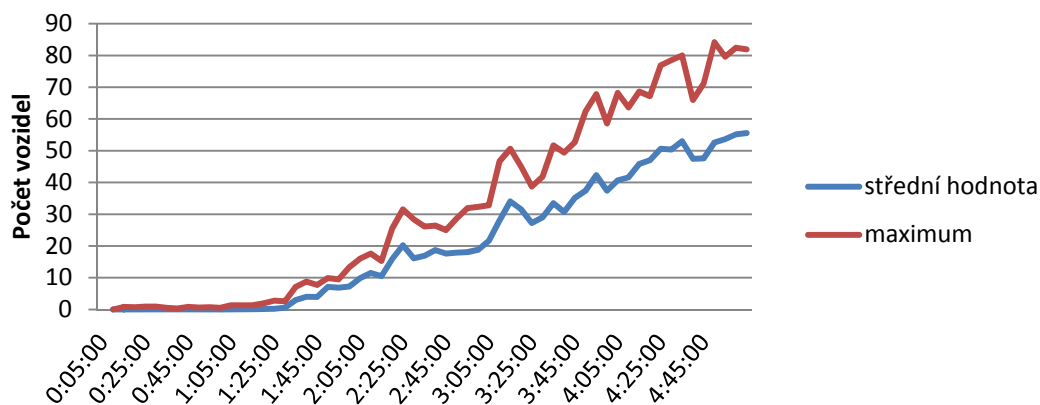


Graf 40: Intenzita 1900 voz/h – rychlost v profilu 800m před zúžením

Tabulka 64: Základní schéma – intenzita 1900 voz/h (délka kolony)

Délka kolony (počet vozidel)											
Čas	Střední hodnota	Max	Čas	Střední hodnota	Max	Čas	Střední hodnota	Max	Čas	Střední hodnota	Max
0:05:00	0,0	0,0	1:20:00	0,2	2,8	2:35:00	18,7	26,4	3:50:00	42,3	67,8
0:10:00	0,0	0,8	1:25:00	0,6	2,6	2:40:00	17,6	25,0	3:55:00	37,4	58,6
0:15:00	0,0	0,7	1:30:00	3,0	7,1	2:45:00	17,9	28,7	4:00:00	40,7	68,2
0:20:00	0,0	0,9	1:35:00	4,0	8,8	2:50:00	18,1	31,9	4:05:00	41,6	63,6
0:25:00	0,0	0,9	1:40:00	3,9	7,7	2:55:00	18,8	32,3	4:10:00	45,8	68,6
0:30:00	0,0	0,5	1:45:00	7,1	9,9	3:00:00	21,6	32,8	4:15:00	47,0	67,2
0:35:00	0,0	0,3	1:50:00	6,8	9,5	3:05:00	28,1	46,7	4:20:00	50,6	76,9
0:40:00	0,0	0,8	1:55:00	7,2	13,3	3:10:00	34,0	50,6	4:25:00	50,3	78,5
0:45:00	0,0	0,6	2:00:00	9,8	16,0	3:15:00	31,6	45,0	4:30:00	53,0	80,0
0:50:00	0,0	0,7	2:05:00	11,5	17,6	3:20:00	27,2	38,7	4:35:00	47,4	66,0
0:55:00	0,0	0,5	2:10:00	10,5	15,3	3:25:00	29,0	41,8	4:40:00	47,6	71,2
1:00:00	0,0	1,3	2:15:00	15,9	25,5	3:30:00	33,5	51,7	4:45:00	52,6	84,2
1:05:00	0,1	1,3	2:20:00	20,2	31,5	3:35:00	30,7	49,4	4:50:00	53,7	79,6
1:10:00	0,0	1,3	2:25:00	16,1	28,4	3:40:00	35,1	52,7	4:55:00	55,2	82,4
1:15:00	0,2	1,9	2:30:00	16,9	26,1	3:45:00	37,4	62,4	5:00:00	55,6	81,9

Délka kolony



Graf 41: Intenzita 1900 voz/h – délka kolony

6.3.3 Základní schéma – intenzita 2100 voz/h

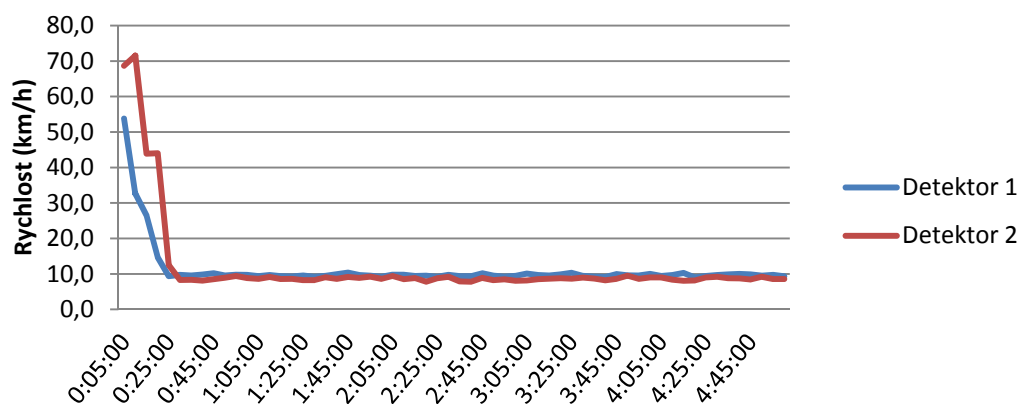
Při intenzitě dopravního proudu 2100 voz/h vzniká kongesce velmi rychle. Už od 20 minuty je v průběžném pruhu rychlost pouze 10 km/h. Na grafu znázorňující profil 200m vzdálený od pracovní zóny, vidíme, že po naplnění a zpomalení průběžného pruhu je rychlost stále v neprůběžném pruhu minimálně o 15 km/h vyšší. Tento stav se mění až po vyčerpání kapacity neprůběžného pruhu v 30 minutě, kdy je naopak rychlost průběžného pruhu vyšší než pruhu neprůběžného.

Nejvyšší střední hodnoty kolony bylo v modelu dosaženo v čase 1:00:00. Od této doby není vidět žádný výrazný pokles ani nárůst a hodnoty oscilují okolo 80 vozidel. Hodnoty maximálního počtu vozidel v koloně se pohybují okolo 120 vozidel.

Tabulka 65: Základní schéma – intenzita 2100 voz/h (rychlost)

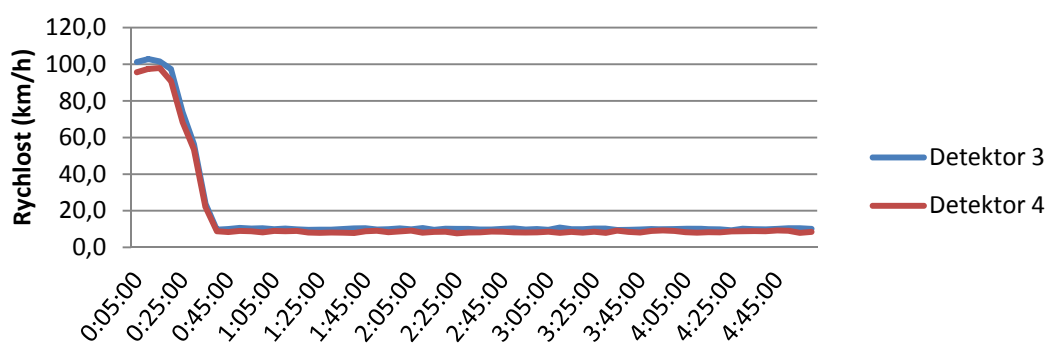
Rychlost (km/h)									
Čas	Označení detektoru				Čas	Označení detektoru			
	1	2	3	4		1	2	3	4
0:05:00	53,8	68,7	101,2	95,6	2:35:00	9,4	7,9	9,7	8,2
0:10:00	32,6	71,5	102,8	97,4	2:40:00	9,4	7,8	9,8	8,6
0:15:00	26,5	43,9	101,5	98,0	2:45:00	10,2	8,9	10,1	8,5
0:20:00	14,7	44,0	97,3	90,7	2:50:00	9,5	8,3	10,3	8,2
0:25:00	9,4	12,5	74,0	68,3	2:55:00	9,2	8,5	9,8	8,1
0:30:00	9,7	8,3	56,3	53,6	3:00:00	9,5	8,1	10,0	8,2
0:35:00	9,6	8,3	24,0	22,0	3:05:00	10,1	8,2	9,6	8,5
0:40:00	9,8	8,1	9,7	8,8	3:10:00	9,7	8,5	10,8	7,9
0:45:00	10,2	8,5	10,0	8,4	3:15:00	9,6	8,7	9,9	8,4
0:50:00	9,5	8,9	10,6	8,9	3:20:00	9,9	8,8	9,9	8,0
0:55:00	9,8	9,4	10,3	8,8	3:25:00	10,3	8,6	10,3	8,6
1:00:00	9,7	8,8	10,5	8,2	3:30:00	9,5	9,0	10,3	8,0
1:05:00	9,4	8,6	9,9	8,9	3:35:00	9,2	8,7	9,5	9,1
1:10:00	9,7	9,1	10,3	8,8	3:40:00	9,1	8,2	9,6	8,4
1:15:00	9,4	8,6	9,9	9,0	3:45:00	10,0	8,6	9,8	8,1
1:20:00	9,3	8,6	9,6	8,1	3:50:00	9,6	9,5	10,0	8,9
1:25:00	9,6	8,2	9,7	7,9	3:55:00	9,6	8,6	9,9	9,2
1:30:00	9,2	8,2	9,7	8,1	4:00:00	10,0	9,0	9,9	9,0
1:35:00	9,5	9,1	10,0	8,0	4:05:00	9,4	9,0	10,3	8,3
1:40:00	9,9	8,6	10,4	7,8	4:10:00	9,7	8,4	10,1	8,0
1:45:00	10,4	9,2	10,5	8,8	4:15:00	10,3	8,1	9,9	8,3
1:50:00	9,7	8,9	9,7	9,1	4:20:00	9,0	8,2	9,9	8,2
1:55:00	9,5	9,2	9,9	8,3	4:25:00	9,4	9,0	9,3	8,7
2:00:00	9,2	8,6	10,4	8,7	4:30:00	9,7	9,2	10,2	8,8
2:05:00	9,8	9,4	9,8	9,1	4:35:00	9,9	8,8	10,0	8,9
2:10:00	9,8	8,5	10,6	8,0	4:40:00	10,0	8,7	9,9	8,8
2:15:00	9,4	8,8	9,6	8,4	4:45:00	9,9	8,4	10,1	9,2
2:20:00	9,5	7,8	10,2	8,6	4:50:00	9,5	9,2	10,5	9,1
2:25:00	9,2	8,8	10,1	7,6	4:55:00	9,7	8,6	10,5	8,0
2:30:00	9,7	9,2	10,1	8,1	5:00:00	9,3	8,6	10,1	8,5

Rychlost v profilu 200m před zúžením



Graf 43: Intenzita 2100 voz/h – rychlost v profilu 200m před zúžením

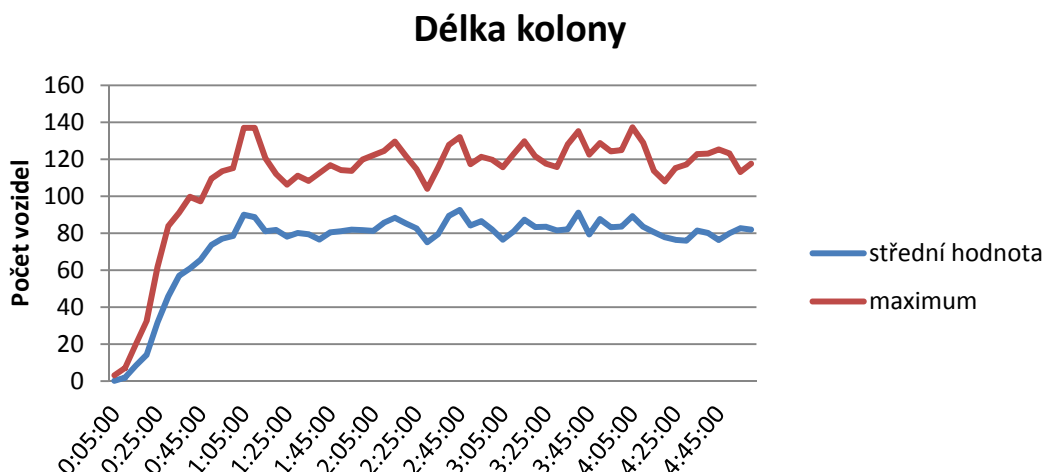
Rychlost v profilu 800m před zúžením



Graf 42: Intenzita 2100 voz/h – rychlost v profilu 800m před zúžením

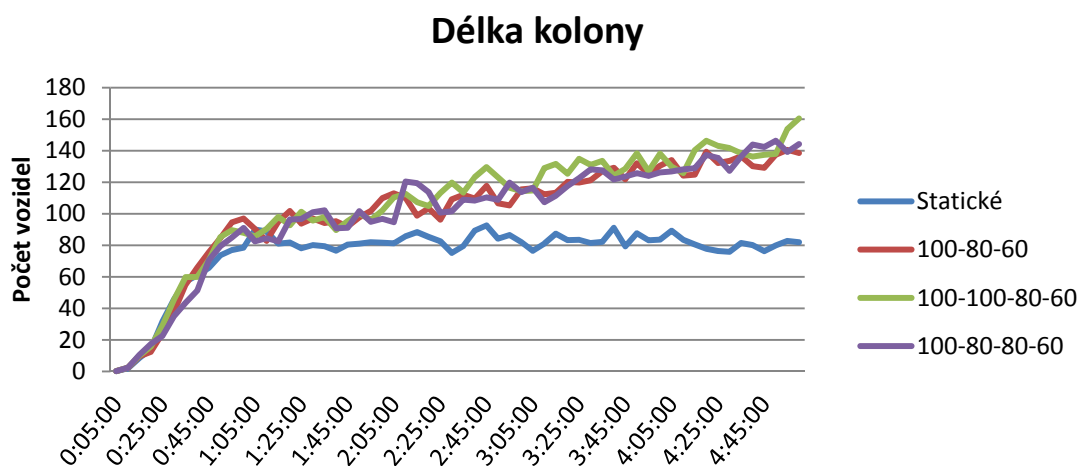
Tabulka 66: Základní schéma – intenzita 2100 voz/h (délka kolony)

Délka kolony											
Čas	Střední hodnota	Max	Čas	Střední hodnota	Max	Čas	Střední hodnota	Max	Čas	Střední hodnota	Max
0:05:00	0,2	3,1	1:20:00	81,8	112,0	2:35:00	79,6	115,6	3:50:00	87,7	128,8
0:10:00	1,9	7,1	1:25:00	78,2	106,3	2:40:00	89,4	127,8	3:55:00	83,2	124,3
0:15:00	8,5	20,1	1:30:00	80,2	111,1	2:45:00	92,6	132,0	4:00:00	83,6	125,0
0:20:00	14,3	32,5	1:35:00	79,5	108,3	2:50:00	84,2	117,4	4:05:00	89,3	137,3
0:25:00	31,7	61,8	1:40:00	76,6	112,5	2:55:00	86,5	121,4	4:10:00	83,6	129,0
0:30:00	45,8	83,9	1:45:00	80,5	116,9	3:00:00	82,1	119,8	4:15:00	80,6	113,7
0:35:00	57,0	91,1	1:50:00	81,1	114,2	3:05:00	76,5	115,7	4:20:00	77,8	108,0
0:40:00	61,0	99,7	1:55:00	82,0	113,7	3:10:00	81,0	122,9	4:25:00	76,4	115,3
0:45:00	65,7	97,3	2:00:00	81,7	119,9	3:15:00	87,3	129,8	4:30:00	76,0	117,2
0:50:00	73,7	109,6	2:05:00	81,3	122,2	3:20:00	83,3	121,6	4:35:00	81,4	122,8
0:55:00	77,1	113,6	2:10:00	85,8	124,6	3:25:00	83,5	117,6	4:40:00	80,2	123,1
1:00:00	78,5	115,2	2:15:00	88,4	129,6	3:30:00	81,5	115,8	4:45:00	76,3	125,3
1:05:00	90,0	137,0	2:20:00	85,4	121,9	3:35:00	82,2	128,0	4:50:00	79,9	123,2
1:10:00	88,8	137,0	2:25:00	82,6	114,7	3:40:00	91,2	135,2	4:55:00	82,8	113,1
1:15:00	81,1	120,6	2:30:00	75,2	104,0	3:45:00	79,4	122,6	5:00:00	82,0	117,6



Graf 44: Intenzita 2100 voz/h – délka kolony

Po dalším zkoumání dopravního modelu při této intenzitě vyšlo najevo, že ani jedno ze zkoumaných schémat dynamického řízení nemá na dopravní proud pozitivní vliv. Důkazem je graf střední hodnoty délky kolony, který ukazuje, že všechny zkoumané schémata zapříčinila ještě větší nárůst kolony než schéma statické.



Graf 45: Dynamické řízení – intenzita 2100 voz/h (délka kolony)

6.4 Dynamické řízení dopravního proudu

Jak již bylo výše uvedeno pro intenzitu 1500 voz/h nemá dynamické řízení smysl, jelikož hodnoty rychlosti neklesnou pod zvolených 40 km/h. Pro intenzitu 2100 voz/h se při testování dynamického řízení ukázalo, že zvolená schémata působí negativně a proto by další detailní testování nepřineslo žádné hodnotné výsledky. Zaměříme se tedy na aplikaci dynamického řízení dopravního proudu pro intenzitu 1900 voz/h.

6.4.1 Schéma 1 (100-80-60)

Na grafech, kde jsou znázorněny rychlosti pro detektory ve schématu 1, můžeme vidět, že pro deaktivací rychlost 55 km/h přichází zpomalení dopravního proud asi o hodinu rychleji než pro rychlost 50 km/h. Lze si toho všimnou především na křivkách pro detektor 3 a 4. Důkazem je i pozdější tvorba kolon, což vidíme na grafu 48. Pro rychlost 55 km/h je vidět vznik kolony dříve, ale nárůst je pomalejší. Pro náš časový interval končí hodnoty obou křivek téměř ve stejných hodnotách. Křivky pro detektor 1 a 2 jsou v obou variantách podobné.

Oproti statickému schématu nastává velké zlepšení, kdy je konečná rychlost přibližně o 15 km/h větší a počet vozidel v koloně o 15 vozidel menší při použití dynamického řízení než bez něj.

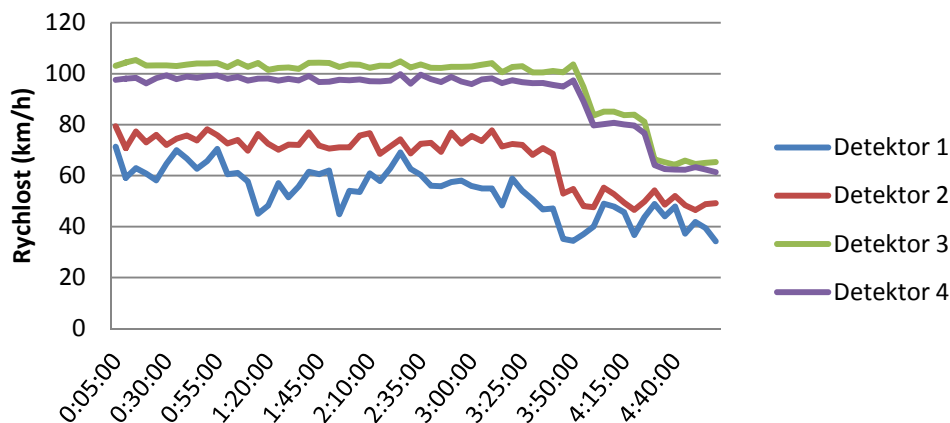
Tabulka 67: Schéma 1 (40-50) - rychlost

Rychlost (km/h)									
Čas	Označení detektoru				Čas	Označení detektoru			
	1	2	3	4		1	2	3	4
0:05:00	71,3	79,4	103,1	97,6	2:35:00	60,3	72,5	103,6	99,6
0:10:00	59,2	70,8	104,4	98,1	2:40:00	56,0	72,9	102,3	97,9
0:15:00	63,0	77,3	105,3	98,4	2:45:00	55,8	69,3	102,3	96,8
0:20:00	60,8	73,0	103,2	96,2	2:50:00	57,5	76,9	102,7	98,7
0:25:00	58,2	76,0	103,3	98,2	2:55:00	58,1	72,6	102,7	96,9
0:30:00	64,7	72,1	103,2	99,4	3:00:00	55,9	75,6	102,8	96,0
0:35:00	70,0	74,5	103,0	97,8	3:05:00	54,9	73,6	103,5	97,8
0:40:00	66,7	75,7	103,6	98,8	3:10:00	55,0	77,8	104,1	98,2
0:45:00	62,7	73,8	104,0	98,4	3:15:00	48,3	71,4	100,6	96,3
0:50:00	65,7	78,2	104,1	99,0	3:20:00	58,8	72,4	102,7	97,4
0:55:00	70,5	75,9	104,2	99,3	3:25:00	54,0	72,0	103,0	96,7
1:00:00	60,6	72,6	102,6	98,0	3:30:00	50,6	68,2	100,5	96,3
1:05:00	61,0	74,0	104,6	98,7	3:35:00	46,8	70,8	100,5	96,4
1:10:00	57,7	69,8	102,7	97,3	3:40:00	47,1	68,5	101,0	95,6
1:15:00	45,0	76,3	104,2	98,0	3:45:00	35,2	52,9	100,6	95,0
1:20:00	48,3	72,5	101,5	98,2	3:50:00	34,5	54,8	103,6	97,4
1:25:00	57,0	70,2	102,3	97,3	3:55:00	37,0	48,1	94,9	89,1
1:30:00	51,5	72,2	102,5	98,0	4:00:00	40,0	47,6	83,6	79,7
1:35:00	55,8	72,1	101,9	97,4	4:05:00	49,0	55,3	85,1	80,2
1:40:00	61,5	77,0	104,3	99,1	4:10:00	47,9	52,8	85,1	80,8
1:45:00	60,6	71,8	104,4	96,7	4:15:00	45,6	49,4	83,7	80,1
1:50:00	62,0	70,6	104,2	96,9	4:20:00	36,7	46,6	83,9	79,7
1:55:00	44,9	71,1	102,7	97,6	4:25:00	43,7	49,8	81,1	76,6
2:00:00	54,1	71,1	103,7	97,5	4:30:00	48,9	54,2	66,4	64,1
2:05:00	53,6	75,7	103,5	97,7	4:35:00	44,0	48,6	65,2	62,6
2:10:00	60,9	76,6	102,3	97,0	4:40:00	47,9	52,0	64,3	62,4
2:15:00	57,8	68,6	103,2	97,0	4:45:00	37,3	48,4	65,9	62,3
2:20:00	62,9	71,4	103,1	97,3	4:50:00	41,8	46,5	64,6	63,3
2:25:00	69,1	74,3	104,9	99,8	4:55:00	39,4	48,8	65,0	62,4
2:30:00	62,6	68,7	102,4	96,1	5:00:00	34,3	49,2	65,3	61,3

Tabulka 68: Schéma 1 (40-55) - rychlost

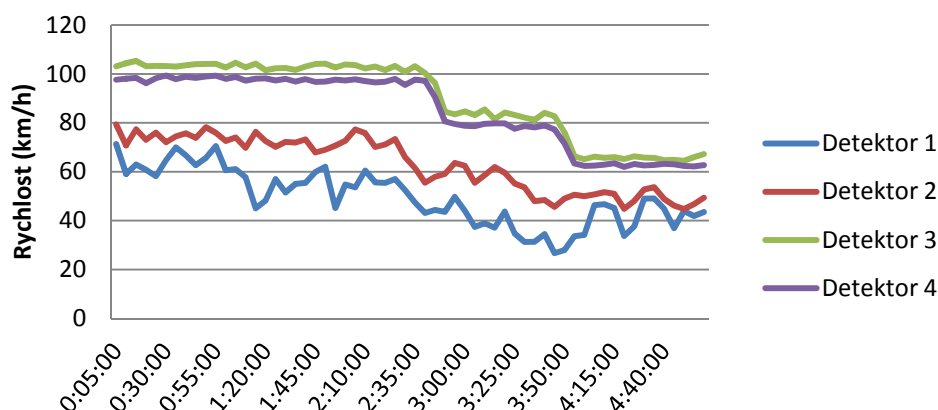
Rychlost (km/h)									
Čas	Označení detektoru				Čas	Označení detektoru			
	1	2	3	4		1	2	3	4
0:05:00	71,3	79,4	103,1	97,6	2:35:00	47,4	61,5	103,2	97,6
0:10:00	59,2	70,8	104,4	98,1	2:40:00	43,1	55,5	100,4	97,2
0:15:00	63,0	77,3	105,3	98,4	2:45:00	44,4	58,0	96,4	90,5
0:20:00	60,8	73,0	103,2	96,2	2:50:00	43,6	59,1	84,6	80,6
0:25:00	58,2	76,0	103,3	98,2	2:55:00	49,7	63,6	83,5	79,5
0:30:00	64,7	72,1	103,2	99,4	3:00:00	44,1	62,4	84,7	78,8
0:35:00	70,0	74,5	103,0	97,8	3:05:00	37,5	55,5	83,2	78,6
0:40:00	66,7	75,7	103,6	98,8	3:10:00	38,9	58,7	85,5	79,6
0:45:00	62,7	73,8	104,0	98,4	3:15:00	37,1	61,9	81,5	79,8
0:50:00	65,7	78,2	104,1	99,0	3:20:00	43,7	59,6	84,2	79,8
0:55:00	70,5	75,9	104,2	99,3	3:25:00	34,8	55,2	83,2	77,5
1:00:00	60,6	72,6	102,6	98,0	3:30:00	31,3	53,6	82,1	78,7
1:05:00	61,0	74,0	104,6	98,7	3:35:00	31,3	48,0	81,3	78,2
1:10:00	57,7	69,8	102,7	97,3	3:40:00	34,5	48,5	84,1	78,9
1:15:00	45,0	76,3	104,2	98,0	3:45:00	26,7	45,6	82,7	77,3
1:20:00	48,3	72,5	101,5	98,2	3:50:00	27,9	49,0	76,1	71,6
1:25:00	57,0	70,2	102,3	97,3	3:55:00	33,6	50,6	66,3	63,4
1:30:00	51,5	72,2	102,5	98,0	4:00:00	34,2	50,0	65,2	62,4
1:35:00	55,0	71,9	101,6	96,8	4:05:00	46,4	50,7	66,2	62,5
1:40:00	55,4	73,2	103,1	97,9	4:10:00	46,7	51,7	65,7	62,9
1:45:00	59,9	67,9	104,1	96,8	4:15:00	45,1	51,0	66,0	63,5
1:50:00	62,1	69,0	104,2	96,9	4:20:00	33,7	44,8	65,2	62,0
1:55:00	45,2	70,7	102,6	97,7	4:25:00	37,6	48,1	66,3	63,2
2:00:00	54,8	72,7	103,9	97,3	4:30:00	49,0	52,7	65,8	62,5
2:05:00	53,6	77,3	103,6	97,8	4:35:00	49,1	53,7	65,7	62,7
2:10:00	60,5	75,8	102,2	97,1	4:40:00	44,9	48,9	64,8	63,2
2:15:00	55,6	70,1	103,0	96,5	4:45:00	36,9	46,2	64,9	63,0
2:20:00	55,5	71,2	101,6	96,8	4:50:00	43,9	44,8	64,5	62,4
2:25:00	57,0	73,4	103,3	98,0	4:55:00	41,9	46,7	66,0	62,2
2:30:00	52,5	66,0	100,8	95,5	5:00:00	43,5	49,4	67,2	62,7

Schéma 1 (40-50) - rychlost



Graf 46: Schéma 1 (40-50) - rychlost

Schéma 1 (40-55) - rychlost



Graf 47: Schéma 1 (40-55) - rychlost

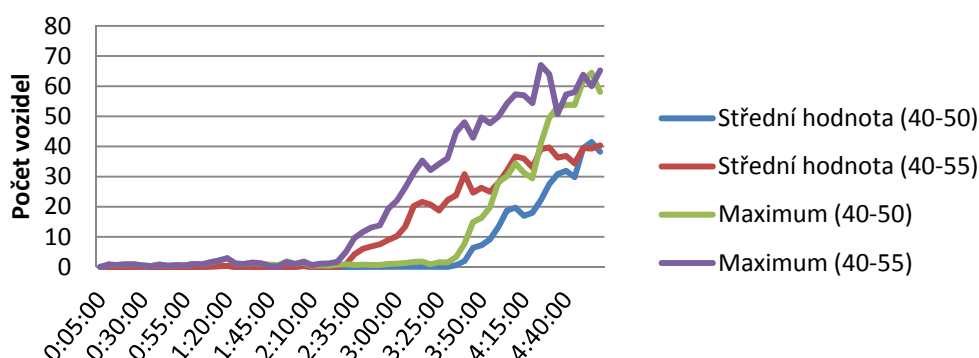
Tabulka 69: Schéma 1 (40-50) – délka kolony

Délka kolony											
Čas	Střední hodnota	Max	Čas	Střední hodnota	Max	Čas	Střední hodnota	Max	Čas	Střední hodnota	Max
0:05:00	0,0	0,0	1:20:00	0,4	2,9	2:35:00	0,0	0,7	3:50:00	7,2	16,3
0:10:00	0,0	0,8	1:25:00	0,0	1,1	2:40:00	0,0	0,8	3:55:00	9,2	19,8
0:15:00	0,0	0,7	1:30:00	0,0	1,0	2:45:00	0,0	0,7	4:00:00	13,3	28,2
0:20:00	0,0	0,9	1:35:00	0,0	1,3	2:50:00	0,0	0,7	4:05:00	18,7	30,1
0:25:00	0,0	0,9	1:40:00	0,0	1,1	2:55:00	0,0	1,0	4:10:00	19,7	34,4
0:30:00	0,0	0,5	1:45:00	0,0	0,8	3:00:00	0,1	1,1	4:15:00	17,0	31,3
0:35:00	0,0	0,3	1:50:00	0,0	0,6	3:05:00	0,0	1,3	4:20:00	18,0	29,4
0:40:00	0,0	0,8	1:55:00	0,1	1,9	3:10:00	0,1	1,7	4:25:00	22,2	41,0
0:45:00	0,0	0,4	2:00:00	0,0	1,0	3:15:00	0,1	1,8	4:30:00	27,4	49,5
0:50:00	0,0	0,6	2:05:00	0,3	1,6	3:20:00	0,0	0,9	4:35:00	30,9	53,2
0:55:00	0,0	0,5	2:10:00	0,0	0,4	3:25:00	0,1	1,6	4:40:00	31,9	53,8
1:00:00	0,0	1,0	2:15:00	0,0	0,5	3:30:00	0,1	1,5	4:45:00	29,8	53,8
1:05:00	0,0	0,9	2:20:00	0,0	0,4	3:35:00	0,6	3,3	4:50:00	39,5	61,7
1:10:00	0,0	1,6	2:25:00	0,0	0,8	3:40:00	2,0	7,7	4:55:00	41,5	64,5
1:15:00	0,2	2,1	2:30:00	0,0	0,9	3:45:00	6,4	14,9	5:00:00	38,2	58,1

Tabulka 70: Schéma 1 (40-55) – délka kolony

Délka kolony											
Čas	Střední hodnota	Max	Čas	Střední hodnota	Max	Čas	Střední hodnota	Max	Čas	Střední hodnota	Max
0:05:00	0,0	0,0	1:20:00	0,4	2,9	2:35:00	4,2	9,6	3:50:00	26,3	49,6
0:10:00	0,0	0,8	1:25:00	0,0	1,1	2:40:00	6,0	11,6	3:55:00	24,9	47,7
0:15:00	0,0	0,7	1:30:00	0,0	1,0	2:45:00	6,8	13,1	4:00:00	28,0	49,9
0:20:00	0,0	0,9	1:35:00	0,0	1,5	2:50:00	7,5	13,8	4:05:00	32,0	54,2
0:25:00	0,0	0,9	1:40:00	0,0	1,2	2:55:00	8,9	19,4	4:10:00	36,7	57,3
0:30:00	0,0	0,5	1:45:00	0,0	0,3	3:00:00	10,2	22,0	4:15:00	36,0	57,0
0:35:00	0,0	0,3	1:50:00	0,0	0,2	3:05:00	13,4	26,4	4:20:00	33,1	54,4
0:40:00	0,0	0,8	1:55:00	0,1	1,6	3:10:00	20,2	31,2	4:25:00	39,1	67,0
0:45:00	0,0	0,4	2:00:00	0,0	1,0	3:15:00	21,6	35,3	4:30:00	39,7	64,0
0:50:00	0,0	0,6	2:05:00	0,3	1,8	3:20:00	20,7	32,2	4:35:00	36,3	50,8
0:55:00	0,0	0,5	2:10:00	0,0	0,6	3:25:00	18,7	34,2	4:40:00	36,8	57,3
1:00:00	0,0	1,0	2:15:00	0,0	1,1	3:30:00	22,2	36,1	4:45:00	34,4	58,0
1:05:00	0,0	0,9	2:20:00	0,1	1,2	3:35:00	23,8	44,7	4:50:00	39,5	63,8
1:10:00	0,0	1,6	2:25:00	0,1	1,7	3:40:00	30,8	48,0	4:55:00	39,3	60,0
1:15:00	0,2	2,1	2:30:00	0,8	5,0	3:45:00	24,7	42,9	5:00:00	40,3	65,2

Schéma 1 - délka kolony



Graf 48: Schéma 1 – délka kolony

6.4.2 Schéma 2 (100-100-80-60)

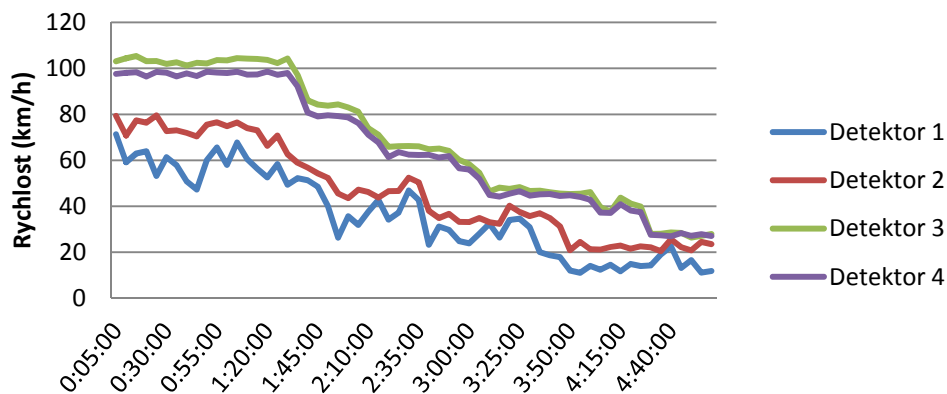
Ve druhém schématu jsou rozdíly mezi oběma variantami minimální. Menší rozdíl jde vidět snad jen v době tvorby kolon, kdy se pro rychlost 55 km/h tvoří kolona o pár minut dříve než pro druhou variantu.

Při srovnání se základním rozmístěním značek má toto dynamické řízení negativní vliv na dopravní proud. Dynamické řízení v některých místech snižuje rychlost dopravního proudu o více než 20 km/h oproti statickému řešení. Délka kolony se ve střední hodnotě liší o více než 30 vozidel a v maximální hodnotě o 60 vozidel.

Tabulka 71: Schéma 2 (40-50) - rychlost

Rychlost (km/h)									
Čas	Označení detektoru				Čas	Označení detektoru			
	1	2	3	4		1	2	3	4
0:05:00	71,3	79,4	103,1	97,6	2:35:00	42,7	50,4	66,0	62,3
0:10:00	59,2	70,8	104,4	98,1	2:40:00	23,2	38,0	64,8	62,4
0:15:00	63,0	77,3	105,3	98,4	2:45:00	31,2	34,9	65,1	61,2
0:20:00	63,9	76,4	103,1	96,5	2:50:00	29,7	36,7	64,0	61,8
0:25:00	53,2	79,5	103,2	98,5	2:55:00	24,8	33,2	60,1	56,5
0:30:00	61,3	72,7	101,9	98,1	3:00:00	23,8	33,1	58,3	56,0
0:35:00	57,9	73,0	102,7	96,5	3:05:00	28,1	34,8	54,6	52,0
0:40:00	50,8	71,9	101,2	97,8	3:10:00	32,3	33,1	46,4	44,9
0:45:00	47,2	70,4	102,5	96,7	3:15:00	26,4	32,3	48,1	44,2
0:50:00	60,1	75,5	102,1	98,5	3:20:00	34,0	40,2	47,6	45,5
0:55:00	65,6	76,5	103,6	98,2	3:25:00	34,6	37,5	48,3	46,5
1:00:00	58,0	74,8	103,5	98,0	3:30:00	30,9	35,7	46,6	44,6
1:05:00	67,7	76,4	104,4	98,6	3:35:00	20,0	37,0	46,8	45,2
1:10:00	60,5	74,0	104,3	97,3	3:40:00	18,6	34,9	46,1	45,3
1:15:00	56,4	73,0	104,1	97,3	3:45:00	17,9	31,3	45,5	44,5
1:20:00	52,6	66,2	103,7	98,6	3:50:00	12,0	20,9	45,3	44,8
1:25:00	58,4	70,7	102,3	97,2	3:55:00	11,0	24,5	45,5	44,1
1:30:00	49,4	62,7	104,3	98,0	4:00:00	14,1	21,3	46,1	42,8
1:35:00	52,2	58,9	97,1	92,1	4:05:00	12,4	21,1	39,7	37,2
1:40:00	51,3	56,8	86,0	80,7	4:10:00	14,5	22,2	37,6	37,1
1:45:00	48,5	54,3	84,2	79,1	4:15:00	11,7	22,9	43,7	40,9
1:50:00	40,1	52,4	83,8	79,6	4:20:00	14,9	21,5	41,2	38,2
1:55:00	26,3	45,5	84,3	79,2	4:25:00	14,0	22,5	39,9	37,4
2:00:00	35,7	43,5	83,0	78,6	4:30:00	14,2	22,1	28,0	27,6
2:05:00	31,9	47,2	81,1	76,2	4:35:00	19,0	20,4	28,0	27,3
2:10:00	37,7	46,2	73,9	71,1	4:40:00	22,5	25,6	28,6	26,9
2:15:00	42,8	43,8	71,1	67,7	4:45:00	13,2	22,2	28,4	28,3
2:20:00	34,2	46,6	65,9	61,4	4:50:00	16,6	20,8	26,4	27,1
2:25:00	37,3	46,6	66,2	63,5	4:55:00	11,1	24,5	27,2	27,9
2:30:00	46,8	52,4	66,2	62,4	5:00:00	11,8	23,5	27,9	27,1

Schéma 2 (40-50) - rychlost

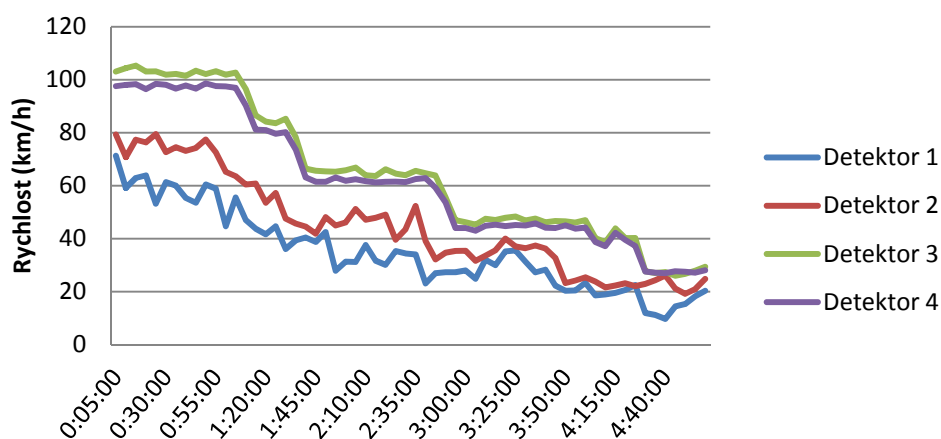


Graf 49: Schéma 2 (40-50) - rychlost

Tabulka 72: Schéma 2 (40-55) - rychlost

Rychlost (km/h)									
Čas	Označení detektoru				Čas	Označení detektoru			
	1	2	3	4		1	2	3	4
0:05:00	71,3	79,4	103,1	97,6	2:35:00	34,0	52,4	65,6	62,5
0:10:00	59,2	70,8	104,4	98,1	2:40:00	23,1	39,1	64,7	62,8
0:15:00	63,0	77,3	105,3	98,4	2:45:00	27,0	32,2	63,9	59,2
0:20:00	63,9	76,4	103,1	96,5	2:50:00	27,3	34,7	55,7	53,7
0:25:00	53,2	79,5	103,2	98,5	2:55:00	27,3	35,4	46,9	44,0
0:30:00	61,3	72,7	101,9	98,1	3:00:00	28,0	35,4	46,2	44,0
0:35:00	60,0	74,5	102,2	96,7	3:05:00	24,9	31,6	45,3	43,0
0:40:00	55,4	73,2	101,5	97,8	3:10:00	32,0	33,5	47,5	44,9
0:45:00	53,5	74,2	103,4	96,7	3:15:00	30,0	35,6	47,0	45,3
0:50:00	60,4	77,5	102,1	98,6	3:20:00	35,2	40,0	47,9	44,7
0:55:00	58,9	72,6	103,3	97,6	3:25:00	35,5	37,1	48,3	45,2
1:00:00	44,7	65,2	101,9	97,5	3:30:00	31,3	36,4	46,8	45,0
1:05:00	55,6	63,6	102,7	96,9	3:35:00	27,3	37,4	47,6	45,8
1:10:00	47,0	60,4	96,5	90,4	3:40:00	28,3	36,3	46,2	44,1
1:15:00	43,8	60,8	86,6	81,2	3:45:00	22,3	32,7	46,7	44,0
1:20:00	41,6	53,6	84,2	81,0	3:50:00	20,3	23,2	46,6	45,0
1:25:00	44,7	57,2	83,6	79,6	3:55:00	20,4	24,2	46,0	43,8
1:30:00	36,1	47,6	85,3	80,2	4:00:00	23,3	25,4	47,0	44,2
1:35:00	39,4	45,7	78,4	73,7	4:05:00	18,6	23,8	40,2	38,7
1:40:00	40,4	44,5	66,4	63,1	4:10:00	18,9	21,6	38,7	37,2
1:45:00	38,8	41,9	65,6	61,5	4:15:00	19,5	22,3	43,9	42,2
1:50:00	42,5	48,1	65,4	61,5	4:20:00	20,6	23,1	40,2	39,5
1:55:00	27,9	45,0	65,3	63,1	4:25:00	22,5	22,1	40,3	37,2
2:00:00	31,3	46,1	65,8	61,8	4:30:00	11,9	22,9	27,7	27,5
2:05:00	31,2	51,2	66,9	62,5	4:35:00	11,2	24,3	27,0	27,1
2:10:00	37,6	47,1	63,9	61,7	4:40:00	9,7	26,0	27,4	27,0
2:15:00	31,7	47,9	63,6	61,2	4:45:00	14,4	21,2	26,0	27,7
2:20:00	30,1	49,1	66,2	61,5	4:50:00	15,3	19,1	26,7	27,5
2:25:00	35,3	39,6	64,6	61,6	4:55:00	18,3	21,0	27,9	27,1
2:30:00	34,4	43,5	63,9	61,4	5:00:00	20,3	24,8	29,4	28,0

Schéma 2 (40-55) - rychlost



Graf 50: Schéma 2 (40-55) - rychlost

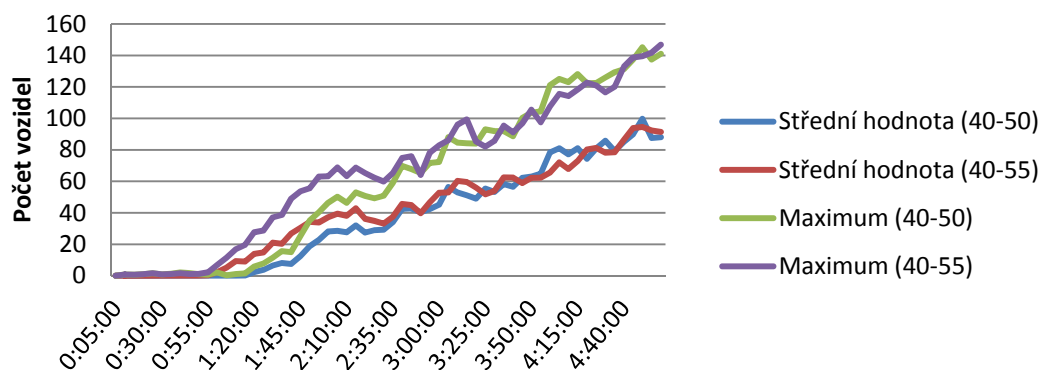
Tabulka 73: Schéma 2 (40-50) – délka kolony

Délka kolony											
Čas	Střední hodnota	Max	Čas	Střední hodnota	Max	Čas	Střední hodnota	Max	Čas	Střední hodnota	Max
0:05:00	0,0	0,0	1:20:00	2,3	5,9	2:35:00	34,0	59,0	3:50:00	63,0	103,6
0:10:00	0,0	0,8	1:25:00	3,7	7,8	2:40:00	42,5	69,8	3:55:00	64,8	104,4
0:15:00	0,0	0,7	1:30:00	6,5	11,5	2:45:00	42,8	67,8	4:00:00	78,4	121,1
0:20:00	0,0	1,0	1:35:00	8,1	15,6	2:50:00	40,3	65,3	4:05:00	81,0	125,1
0:25:00	0,1	1,6	1:40:00	7,5	15,0	2:55:00	42,4	71,7	4:10:00	77,1	123,0
0:30:00	0,0	0,9	1:45:00	12,4	25,2	3:00:00	45,1	72,3	4:15:00	81,0	128,1
0:35:00	0,0	1,3	1:50:00	18,8	35,2	3:05:00	56,4	88,1	4:20:00	74,3	122,3
0:40:00	0,1	2,1	1:55:00	22,8	40,4	3:10:00	52,9	84,6	4:25:00	80,9	122,5
0:45:00	0,1	1,7	2:00:00	28,1	46,3	3:15:00	51,1	84,2	4:30:00	85,8	126,0
0:50:00	0,0	1,0	2:05:00	28,5	50,2	3:20:00	49,0	84,0	4:35:00	79,3	129,4
0:55:00	0,0	0,7	2:10:00	27,6	46,4	3:25:00	55,4	93,0	4:40:00	85,1	131,3
1:00:00	0,2	2,1	2:15:00	32,0	53,0	3:30:00	53,2	91,9	4:45:00	89,9	137,4
1:05:00	0,0	0,3	2:20:00	27,4	50,7	3:35:00	58,2	91,9	4:50:00	99,8	145,2
1:10:00	0,0	1,1	2:25:00	29,0	49,2	3:40:00	56,6	88,7	4:55:00	87,5	137,4
1:15:00	0,2	1,5	2:30:00	29,2	50,8	3:45:00	62,2	100,3	5:00:00	88,1	141,1

Tabulka 74: Schéma 2 (40-55) – délka kolony

Délka kolony											
Čas	Střední hodnota	Max	Čas	Střední hodnota	Max	Čas	Střední hodnota	Max	Čas	Střední hodnota	Max
0:05:00	0,0	0,0	1:20:00	13,9	27,6	2:35:00	37,4	65,3	3:50:00	62,2	105,6
0:10:00	0,0	0,8	1:25:00	14,8	28,8	2:40:00	45,7	74,8	3:55:00	62,3	97,5
0:15:00	0,0	0,7	1:30:00	21,1	37,1	2:45:00	44,9	76,0	4:00:00	65,6	107,6
0:20:00	0,0	1,0	1:35:00	20,3	38,6	2:50:00	39,8	64,0	4:05:00	72,0	115,6
0:25:00	0,1	1,6	1:40:00	26,8	49,0	2:55:00	46,7	78,2	4:10:00	67,8	114,2
0:30:00	0,0	0,9	1:45:00	30,5	53,7	3:00:00	52,8	82,9	4:15:00	72,9	118,4
0:35:00	0,0	1,1	1:50:00	34,2	55,6	3:05:00	52,9	86,1	4:20:00	80,3	122,7
0:40:00	0,1	1,6	1:55:00	33,8	63,0	3:10:00	60,2	96,0	4:25:00	81,3	120,9
0:45:00	0,0	1,1	2:00:00	37,2	63,2	3:15:00	59,5	99,3	4:30:00	78,2	116,5
0:50:00	0,0	1,2	2:05:00	39,5	68,8	3:20:00	56,0	85,3	4:35:00	78,5	120,1
0:55:00	0,3	2,2	2:10:00	38,1	63,3	3:25:00	51,8	82,1	4:40:00	86,5	132,9
1:00:00	2,3	6,9	2:15:00	42,9	68,7	3:30:00	53,8	85,7	4:45:00	93,9	138,7
1:05:00	5,1	11,5	2:20:00	36,1	65,3	3:35:00	62,6	95,4	4:50:00	94,5	139,5
1:10:00	9,3	16,9	2:25:00	34,8	62,3	3:40:00	62,4	91,1	4:55:00	92,4	141,8
1:15:00	9,0	19,6	2:30:00	33,1	59,9	3:45:00	58,8	96,8	5:00:00	91,4	146,8

Schéma 2 - délka kolony



Graf 51: Schéma 2 – délka kolony

6.4.3 Schéma 3 (100-80-80-60)

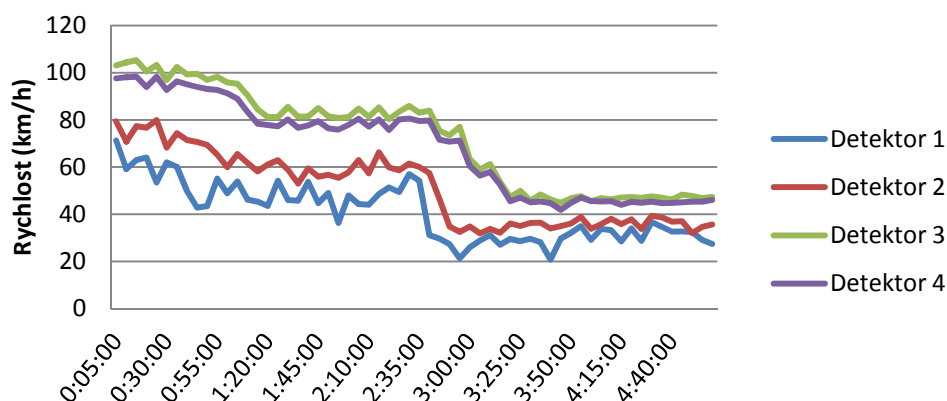
Ve třetím schématu můžeme opět vidět lepší chování pro deaktivační rychlost 50 km/h, kdy je konečná rychlost dopravního proudu okolo 30 km/h zatímco v druhé verzi je tato hodnota okolo 20 km/h. Tvorba délky kolony začíná ve stejný čas a rozdíl hodnot se pohybuje do 10 vozidel

Oproti statické verzi je střední hodnota délky kolony o 20 vozidel větší, ale rychlost dopravního proudu o 10 km/h větší. Čas zdržení jednotlivých vozidel tedy bude menší a kolona se rychleji rozplyne.

Tabulka 75: Schéma 3 (40-50) – rychlost

Rychlost (km/h)									
Čas	Označení detektoru				Čas	Označení detektoru			
	1	2	3	4		1	2	3	4
0:05:00	71,3	79,4	103,1	97,6	2:35:00	54,2	60,0	83,1	79,5
0:10:00	59,2	70,8	104,4	98,1	2:40:00	31,1	57,5	83,9	79,7
0:15:00	63,0	77,3	105,3	98,4	2:45:00	29,7	46,5	75,4	71,6
0:20:00	64,0	76,7	100,5	93,9	2:50:00	27,4	34,8	73,5	70,8
0:25:00	53,5	80,0	103,3	98,3	2:55:00	21,3	32,5	77,1	71,2
0:30:00	62,0	68,3	96,9	92,7	3:00:00	26,0	34,8	63,3	60,4
0:35:00	60,2	74,4	102,5	96,4	3:05:00	28,8	31,9	59,0	56,4
0:40:00	49,8	71,5	99,3	95,1	3:10:00	31,2	33,8	61,3	58,0
0:45:00	42,8	70,7	99,5	94,0	3:15:00	27,1	32,2	53,6	52,5
0:50:00	43,4	69,5	97,0	93,1	3:20:00	29,5	36,1	47,3	45,6
0:55:00	55,1	65,3	98,3	92,7	3:25:00	28,6	35,0	49,9	47,1
1:00:00	48,9	60,0	95,9	91,2	3:30:00	29,6	36,3	45,8	45,1
1:05:00	53,9	65,6	95,4	89,0	3:35:00	28,1	36,4	48,4	45,4
1:10:00	46,2	61,8	90,5	83,4	3:40:00	20,8	34,0	46,3	44,8
1:15:00	45,3	58,2	84,5	78,4	3:45:00	29,7	35,0	44,9	41,9
1:20:00	43,5	61,1	81,3	77,8	3:50:00	32,1	36,0	46,7	44,8
1:25:00	54,2	62,9	81,3	77,3	3:55:00	35,0	38,8	47,6	47,1
1:30:00	46,0	58,9	85,5	80,2	4:00:00	29,1	33,8	45,5	45,6
1:35:00	45,7	53,0	81,4	76,6	4:05:00	33,8	35,8	46,9	45,4
1:40:00	53,8	59,5	81,4	77,7	4:10:00	33,3	38,1	46,3	45,6
1:45:00	44,7	55,9	85,0	79,5	4:15:00	28,5	35,8	47,1	44,0
1:50:00	49,0	56,7	81,5	76,4	4:20:00	34,0	37,9	47,3	45,2
1:55:00	36,3	55,4	80,8	75,9	4:25:00	28,7	33,7	47,0	44,9
2:00:00	48,0	57,7	81,3	77,9	4:30:00	36,7	39,4	47,6	45,3
2:05:00	44,3	63,0	84,8	80,5	4:35:00	34,7	38,7	47,0	44,7
2:10:00	44,0	57,4	81,4	77,2	4:40:00	32,6	36,8	46,2	44,8
2:15:00	48,6	66,2	85,3	80,2	4:45:00	32,7	37,0	48,4	45,1
2:20:00	51,4	59,9	80,4	75,8	4:50:00	32,4	32,0	47,8	45,3
2:25:00	49,4	58,6	83,5	80,2	4:55:00	29,1	34,6	46,8	45,3
2:30:00	57,0	61,5	85,9	80,6	5:00:00	27,4	35,6	47,4	46,1

Schéma 3 (40-50) - rychlost

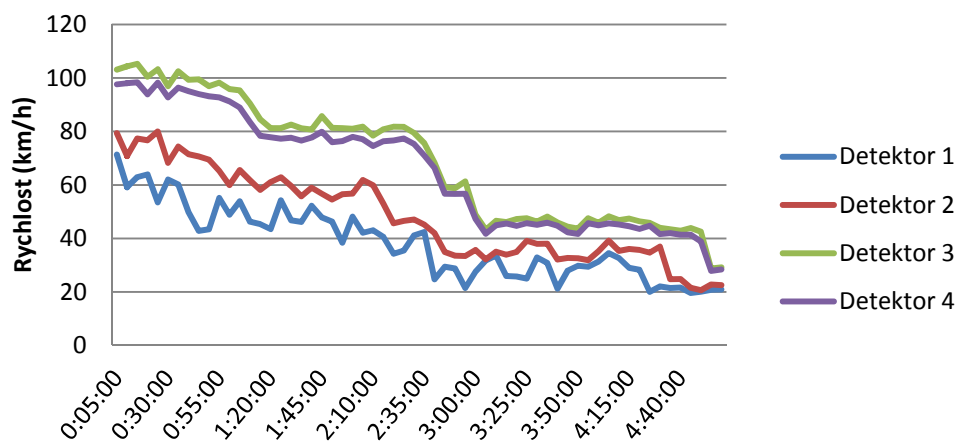


Graf 52: Schéma 3 (40-50) - rychlost

Tabulka 76: Schéma 3 (40-55) – rychlost

Rychlost (km/h)									
Čas	Označení detektoru				Čas	Označení detektoru			
	1	2	3	4		1	2	3	4
0:05:00	71,3	79,4	103,1	97,6	2:35:00	42,4	45,2	75,6	71,0
0:10:00	59,2	70,8	104,4	98,1	2:40:00	24,7	42,0	68,3	66,3
0:15:00	63,0	77,3	105,3	98,4	2:45:00	29,4	34,9	59,1	56,7
0:20:00	64,0	76,7	100,5	93,9	2:50:00	28,8	33,6	58,8	56,7
0:25:00	53,5	80,0	103,3	98,3	2:55:00	21,4	33,4	61,3	56,7
0:30:00	62,0	68,3	96,9	92,7	3:00:00	27,5	35,7	48,9	47,3
0:35:00	60,2	74,4	102,5	96,4	3:05:00	31,7	32,2	43,2	41,8
0:40:00	49,8	71,5	99,3	95,1	3:10:00	33,6	35,1	46,6	44,9
0:45:00	42,8	70,7	99,5	94,0	3:15:00	25,9	33,9	46,1	45,6
0:50:00	43,4	69,5	97,0	93,1	3:20:00	25,8	34,9	47,2	44,7
0:55:00	55,1	65,3	98,3	92,7	3:25:00	25,0	39,1	47,5	45,7
1:00:00	48,9	60,0	95,9	91,2	3:30:00	32,9	38,0	46,3	45,1
1:05:00	53,9	65,6	95,4	89,0	3:35:00	30,8	38,0	48,2	45,9
1:10:00	46,2	61,8	90,5	83,4	3:40:00	21,2	32,1	45,9	44,7
1:15:00	45,3	58,2	84,5	78,4	3:45:00	28,0	32,7	44,4	42,3
1:20:00	43,5	61,1	81,3	77,8	3:50:00	29,8	32,6	43,7	41,7
1:25:00	54,2	62,9	81,3	77,3	3:55:00	29,4	31,9	47,6	45,7
1:30:00	46,8	59,6	82,5	77,6	4:00:00	31,3	35,2	45,8	44,9
1:35:00	46,2	55,8	81,2	76,6	4:05:00	34,5	39,2	48,3	45,6
1:40:00	52,2	59,0	80,7	77,7	4:10:00	32,6	35,3	46,8	45,2
1:45:00	47,8	56,7	85,8	79,9	4:15:00	29,0	36,1	47,4	44,5
1:50:00	46,3	54,5	81,4	76,0	4:20:00	28,3	35,7	46,4	43,5
1:55:00	38,4	56,5	81,2	76,4	4:25:00	20,0	34,7	45,8	44,7
2:00:00	48,1	56,8	81,0	78,0	4:30:00	22,1	36,9	44,0	41,6
2:05:00	42,1	61,9	81,8	77,1	4:35:00	21,5	24,7	43,4	42,0
2:10:00	43,1	59,9	78,4	74,5	4:40:00	21,6	24,8	42,9	41,4
2:15:00	40,6	53,0	80,8	76,4	4:45:00	19,6	21,5	43,9	41,4
2:20:00	34,3	45,6	81,8	76,7	4:50:00	20,1	20,6	42,5	38,8
2:25:00	35,5	46,5	81,7	77,3	4:55:00	20,8	22,8	28,8	27,9
2:30:00	41,2	47,1	79,5	75,4	5:00:00	20,9	22,5	29,2	28,4

Schéma 3 (40-55) - rychlost



Graf 53: Schéma 3 (40-55) - rychlost

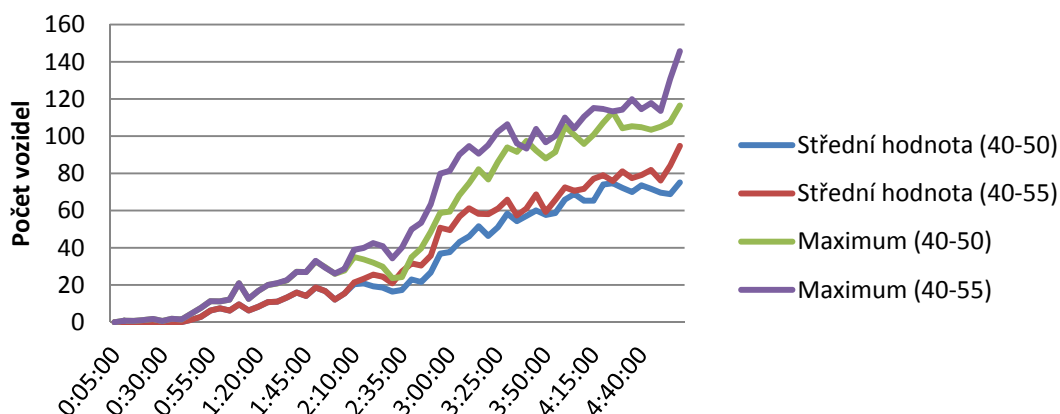
Tabulka 77: Schéma 3 (40-50) – délka kolony

Délka kolony											
Čas	Střední hodnota	Max	Čas	Střední hodnota	Max	Čas	Střední hodnota	Max	Čas	Střední hodnota	Max
0:05:00	0,0	0,0	1:20:00	8,3	16,8	2:35:00	17,3	24,3	3:50:00	57,7	88,0
0:10:00	0,0	0,8	1:25:00	10,7	20,0	2:40:00	23,0	34,9	3:55:00	58,7	91,5
0:15:00	0,0	0,7	1:30:00	11,0	20,8	2:45:00	21,6	39,7	4:00:00	65,9	105,3
0:20:00	0,0	1,1	1:35:00	13,3	22,5	2:50:00	26,8	48,5	4:05:00	68,9	100,6
0:25:00	0,1	1,7	1:40:00	15,9	27,1	2:55:00	36,8	58,8	4:10:00	65,3	95,9
0:30:00	0,0	0,6	1:45:00	14,1	26,9	3:00:00	37,7	59,5	4:15:00	65,3	100,8
0:35:00	0,1	1,8	1:50:00	18,6	32,5	3:05:00	43,0	68,3	4:20:00	74,1	107,2
0:40:00	0,0	1,5	1:55:00	16,7	29,5	3:10:00	46,1	74,7	4:25:00	74,7	113,0
0:45:00	1,2	4,6	2:00:00	12,2	26,0	3:15:00	51,5	82,2	4:30:00	72,2	104,3
0:50:00	2,8	7,6	2:05:00	15,4	27,8	3:20:00	46,4	76,8	4:35:00	69,9	105,3
0:55:00	6,2	11,3	2:10:00	20,4	35,0	3:25:00	51,0	86,1	4:40:00	73,6	104,8
1:00:00	7,4	11,2	2:15:00	20,8	33,7	3:30:00	58,3	94,0	4:45:00	71,7	103,4
1:05:00	6,2	12,1	2:20:00	19,3	32,0	3:35:00	54,3	91,6	4:50:00	69,6	105,1
1:10:00	9,6	20,9	2:25:00	18,6	29,8	3:40:00	57,2	97,4	4:55:00	68,9	107,6
1:15:00	6,3	12,6	2:30:00	16,5	23,7	3:45:00	60,0	92,3	5:00:00	75,2	116,4

Tabulka 78: Schéma 3 (40-55) – délka kolony

Délka kolony											
Čas	Střední hodnota	Max	Čas	Střední hodnota	Max	Čas	Střední hodnota	Max	Čas	Střední hodnota	Max
0:05:00	0,0	0,0	1:20:00	8,3	16,8	2:35:00	27,3	40,1	3:50:00	59,3	96,7
0:10:00	0,0	0,8	1:25:00	10,7	20,0	2:40:00	31,6	49,9	3:55:00	65,8	100,2
0:15:00	0,0	0,7	1:30:00	11,0	21,0	2:45:00	30,5	53,4	4:00:00	72,5	110,0
0:20:00	0,0	1,1	1:35:00	13,3	22,6	2:50:00	35,7	63,4	4:05:00	70,7	104,2
0:25:00	0,1	1,7	1:40:00	15,9	27,0	2:55:00	50,8	79,9	4:10:00	71,6	110,5
0:30:00	0,0	0,6	1:45:00	14,1	26,9	3:00:00	49,5	81,4	4:15:00	77,1	115,1
0:35:00	0,1	1,8	1:50:00	18,6	33,0	3:05:00	56,7	90,1	4:20:00	79,0	114,6
0:40:00	0,0	1,5	1:55:00	16,7	29,3	3:10:00	61,2	94,7	4:25:00	75,9	113,3
0:45:00	1,2	4,6	2:00:00	12,2	26,2	3:15:00	58,3	90,6	4:30:00	81,0	114,3
0:50:00	2,8	7,6	2:05:00	15,4	28,7	3:20:00	58,1	95,3	4:35:00	77,5	119,9
0:55:00	6,2	11,3	2:10:00	21,4	38,9	3:25:00	61,0	102,4	4:40:00	79,1	114,5
1:00:00	7,4	11,2	2:15:00	23,4	39,9	3:30:00	65,9	106,4	4:45:00	81,8	117,8
1:05:00	6,2	12,1	2:20:00	25,6	42,5	3:35:00	57,4	96,1	4:50:00	76,2	113,6
1:10:00	9,6	20,9	2:25:00	24,5	40,9	3:40:00	61,2	93,4	4:55:00	84,1	130,9
1:15:00	6,3	12,6	2:30:00	20,9	34,3	3:45:00	68,6	103,9	5:00:00	94,8	145,7

Schéma 3 - délka kolony



Graf 54: Schéma 3 – délka kolony

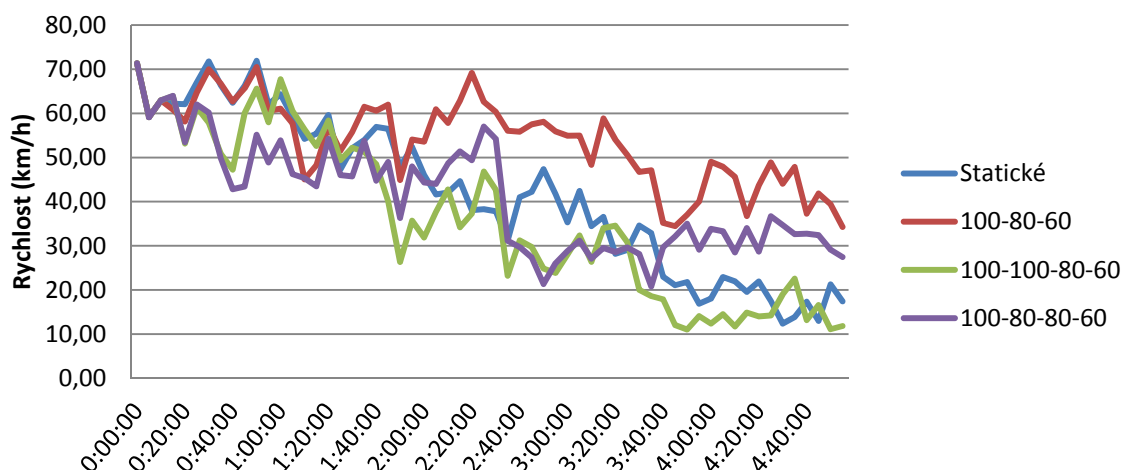
6.4.4 Zhodnocení

Z dopravních modelů vyplývá, že lépe funguje model, kdy je aktivační rychlost 40 km/h a deaktivací rychlost 50 km/h. Při menším rozdílu rychlostí dokáže aplikace lépe reagovat na proměnný dopravní proud. Je nutno podotknout, že interval rychlostí pro aktivaci a deaktivaci má velkou závislost na časovém intervalu pro dopravní charakteristiky. Modely by se tedy pro jiný interval než 5 minut mohly chovat jinak.

V následujících grafech jsou vynesena všechna schémata dynamického řízení dopravy a statické schéma. Modely jsou aplikovány na intenzitě 1900 voz/h a pro aktivaci rychlost 40 km/h a deaktivaci rychlost 50 km/h.

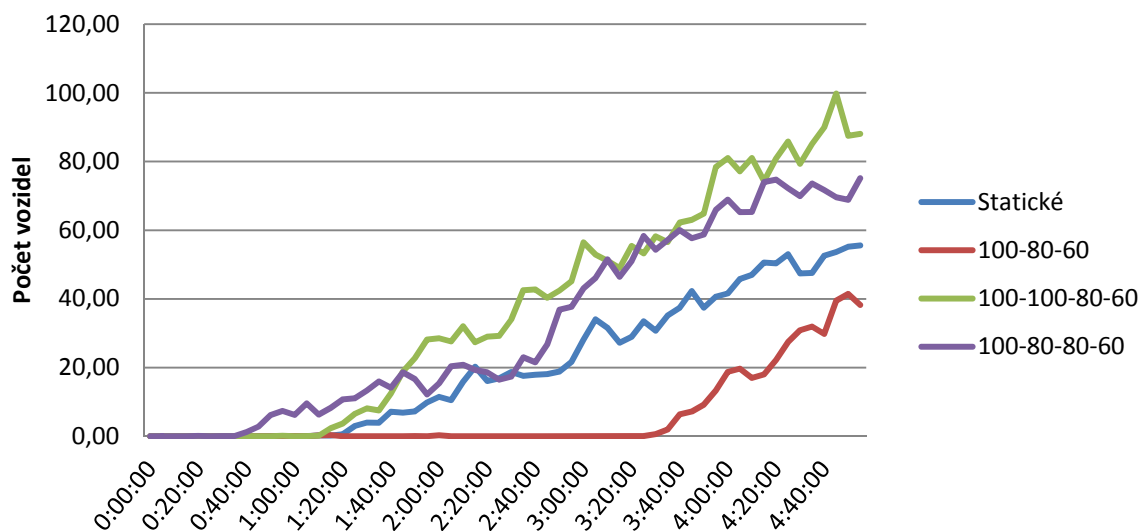
Jako nejlepší schéma dynamického řízení se jeví první schéma s rozdělením značek 100-80-60. Výrazně zvyšuje rychlost dopravního proudu a oddaluje začátek tvorby kolon a hodnoty počtu vozidel v koloně jsou menší. Přesto, že i třetí schéma má hodinu a půl před koncem simulace větší rychlost dopravního proudu než schéma statické, větším počtem vozidel stojících v koloně a větší technickou náročností díky čtyřem proměnným dopravním značkám toto schéma není tak výhodné.

Porovnání schémat - rychlost



Graf 55: Porovnání schémat – rychlost

Porovnání schémat - délky kolony



Graf 56: Porovnání schémat – délka kolony

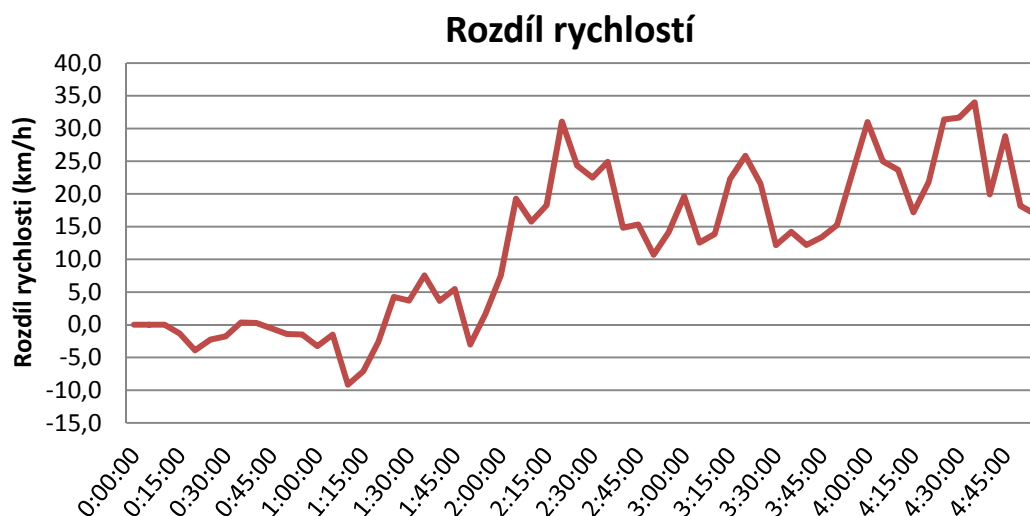
6.4.5 Vybrané schéma dynamického řízení dopravního proudu

Pro vybrané schéma provedeme podrobné srovnání se statickou verzí. V grafu pro rozdíly rychlosti dynamického řízení a statického řízení vidíme, že až do druhé hodiny simulace se dynamické řízení příliš neprojeví a hodnoty rozdílu oscilují kolem nuly nebo jdou do záporných hodnot. Po druhé hodině ovšem nastává zvrat, kdy je za pomoci dynamického řízení zvýšena rychlost dopravního proudu minimálně o 10 km/h a maximálně až o 34 km/h. V některých případech byla rychlost v dynamickém modelu zvýšena téměř o 90% rychlosti statickému modelu.

Velký rozdíl je vidět i na čase vzniku kolony, kdy je rozdíl mezi vznikem ve statickém schématu a dynamickém schématu dvě hodiny. Maximální hodnota, o kterou je snížena délka kolony, je až 33 vozidel.

Tabulka 79: Rozdíl rychlostí statického a dynamického modelu

Rychlost (km/h)							
Čas	Statické	100-80-60	Rozdíl	Čas	Statické	100-80-60	Rozdíl
0:05:00	71,3	71,3	0,0	2:35:00	37,8	60,3	22,5
0:10:00	59,2	59,2	0,0	2:40:00	31,1	56,0	24,9
0:15:00	63,0	63,0	0,0	2:45:00	41,0	55,8	14,8
0:20:00	62,2	60,8	-1,4	2:50:00	42,2	57,5	15,3
0:25:00	62,1	58,2	-3,9	2:55:00	47,4	58,1	10,7
0:30:00	67,0	64,7	-2,3	3:00:00	41,7	55,9	14,2
0:35:00	71,8	70,0	-1,8	3:05:00	35,3	54,9	19,6
0:40:00	66,4	66,7	0,3	3:10:00	42,4	55,0	12,6
0:45:00	62,4	62,7	0,3	3:15:00	34,4	48,3	13,9
0:50:00	66,2	65,7	-0,6	3:20:00	36,6	58,8	22,3
0:55:00	71,9	70,5	-1,4	3:25:00	28,2	54,0	25,8
1:00:00	62,1	60,6	-1,5	3:30:00	29,1	50,6	21,5
1:05:00	64,3	61,0	-3,3	3:35:00	34,6	46,8	12,2
1:10:00	59,2	57,7	-1,5	3:40:00	32,9	47,1	14,2
1:15:00	54,2	45,0	-9,2	3:45:00	23,0	35,2	12,2
1:20:00	55,4	48,3	-7,1	3:50:00	21,1	34,5	13,4
1:25:00	59,6	57,0	-2,6	3:55:00	21,8	37,0	15,2
1:30:00	47,3	51,5	4,2	4:00:00	16,9	40,0	23,2
1:35:00	52,1	55,8	3,7	4:05:00	18,0	49,0	31,0
1:40:00	54,0	61,5	7,6	4:10:00	22,9	47,9	25,0
1:45:00	56,9	60,6	3,7	4:15:00	21,9	45,6	23,7
1:50:00	56,5	62,0	5,5	4:20:00	19,5	36,7	17,2
1:55:00	47,9	44,9	-3,0	4:25:00	21,9	43,7	21,8
2:00:00	52,4	54,1	1,7	4:30:00	17,5	48,9	31,4
2:05:00	46,1	53,6	7,5	4:35:00	12,4	44,0	31,7
2:10:00	41,6	60,9	19,3	4:40:00	13,9	47,9	34,0
2:15:00	42,1	57,8	15,8	4:45:00	17,3	37,3	19,9
2:20:00	44,6	62,9	18,3	4:50:00	13,0	41,8	28,8
2:25:00	38,1	69,1	31,1	4:55:00	21,2	39,4	18,2
2:30:00	38,3	62,6	24,3	5:00:00	17,4	34,3	16,9



Graf 57: Rozdíl rychlostí statického a dynamického modelu

Tabulka 80: Rozdíl délky kolony statického a dynamického modelu

Délka kolony							
Čas	Statické	100-80-60	Rozdíl	Čas	Statické	100-80-60	Rozdíl
0:05:00	0,0	0,0	0,0	2:35:00	18,7	0,0	-18,7
0:10:00	0,0	0,0	0,0	2:40:00	17,6	0,0	-17,6
0:15:00	0,0	0,0	0,0	2:45:00	17,9	0,0	-17,9
0:20:00	0,0	0,0	0,0	2:50:00	18,1	0,0	-18,0
0:25:00	0,0	0,0	0,0	2:55:00	18,8	0,0	-18,8
0:30:00	0,0	0,0	0,0	3:00:00	21,6	0,1	-21,6
0:35:00	0,0	0,0	0,0	3:05:00	28,1	0,0	-28,1
0:40:00	0,0	0,0	0,0	3:10:00	34,0	0,1	-34,0
0:45:00	0,0	0,0	0,0	3:15:00	31,6	0,1	-31,5
0:50:00	0,0	0,0	0,0	3:20:00	27,2	0,0	-27,2
0:55:00	0,0	0,0	0,0	3:25:00	29,0	0,1	-28,9
1:00:00	0,0	0,0	0,0	3:30:00	33,5	0,1	-33,4
1:05:00	0,1	0,0	0,0	3:35:00	30,7	0,6	-30,1
1:10:00	0,0	0,0	0,0	3:40:00	35,1	2,0	-33,2
1:15:00	0,2	0,2	0,0	3:45:00	37,4	6,4	-31,0
1:20:00	0,2	0,4	0,1	3:50:00	42,3	7,2	-35,1
1:25:00	0,6	0,0	-0,5	3:55:00	37,4	9,2	-28,2
1:30:00	3,0	0,0	-3,0	4:00:00	40,7	13,3	-27,4
1:35:00	4,0	0,0	-4,0	4:05:00	41,6	18,7	-22,8
1:40:00	3,9	0,0	-3,9	4:10:00	45,8	19,7	-26,1
1:45:00	7,1	0,0	-7,1	4:15:00	47,0	17,0	-30,0
1:50:00	6,8	0,0	-6,8	4:20:00	50,6	18,0	-32,6
1:55:00	7,2	0,1	-7,2	4:25:00	50,3	22,2	-28,1
2:00:00	9,8	0,0	-9,8	4:30:00	53,0	27,4	-25,6
2:05:00	11,5	0,3	-11,2	4:35:00	47,4	30,9	-16,6
2:10:00	10,5	0,0	-10,5	4:40:00	47,6	31,9	-15,6
2:15:00	15,9	0,0	-15,9	4:45:00	52,6	29,8	-22,8
2:20:00	20,2	0,0	-20,2	4:50:00	53,7	39,5	-14,2
2:25:00	16,1	0,0	-16,1	4:55:00	55,2	41,5	-13,7
2:30:00	16,9	0,0	-16,9	5:00:00	55,6	38,2	-17,3

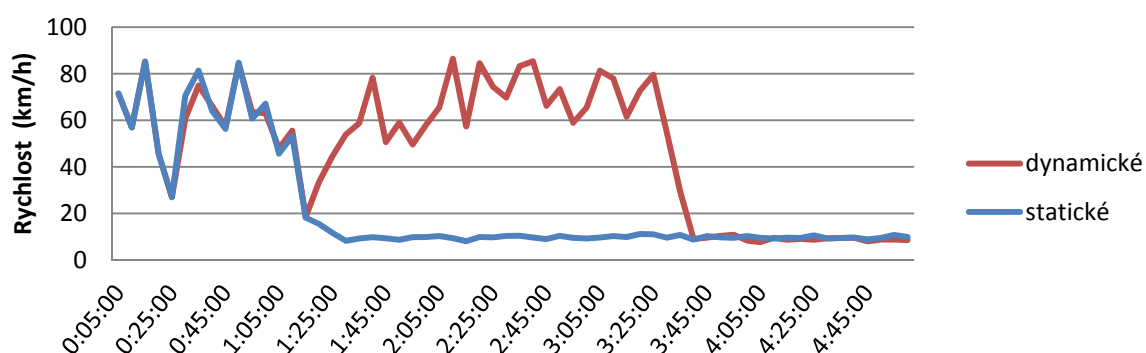
Rozdíl počtu vozidel v koloně



Graf 58: Rozdíl počtu vozidel v koloně pro statický a dynamický model

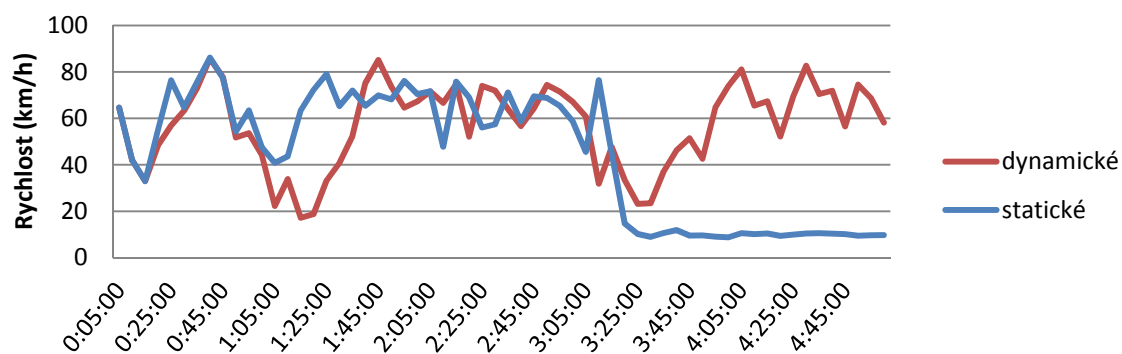
Jelikož jsou zatím všechny uváděné hodnoty pouze průměrem 5 simulací, nevidíme zde konkrétní vývoj rychlosti dopravního proudu. Zprůměrované hodnoty pouze ukázaly funkčnost systému, ale nedokazují, že kolona v dané situaci vůbec nevznikne nebo vznikne pouze v omezených úsecích. Proto pro tuto vybranou simulaci uvádím i vývoj rychlosti v jednotlivých simulacích.

Simulace 1



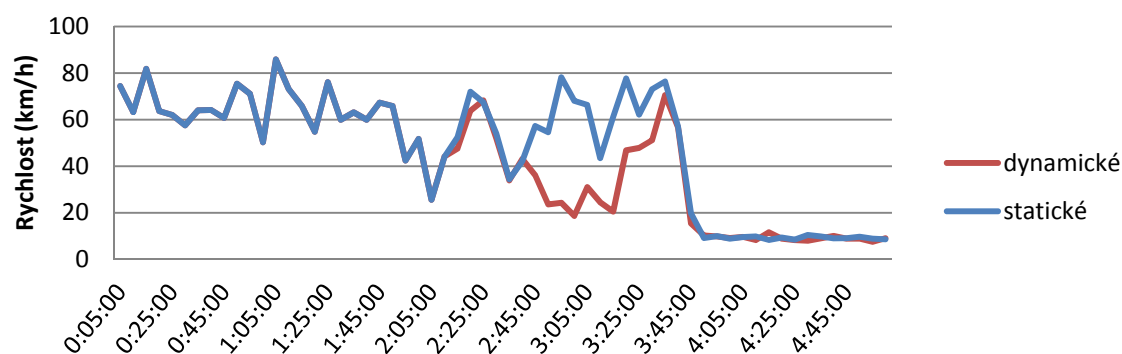
Graf 59: Simulace 1

Simulace 2



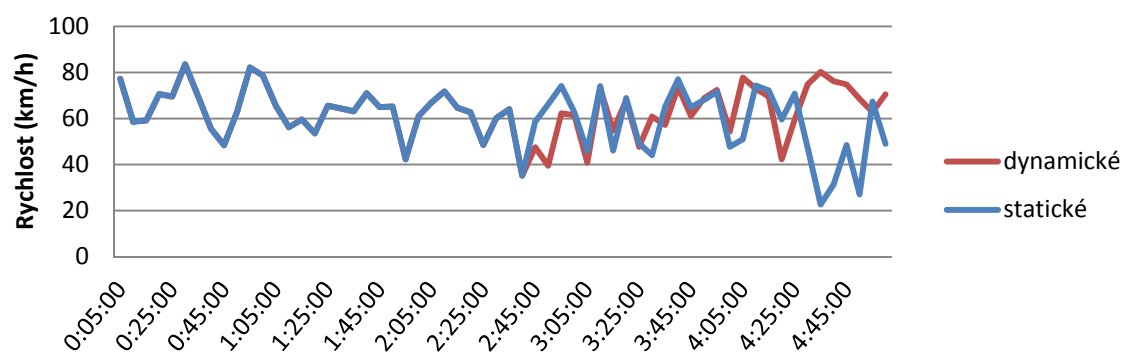
Graf 61: Simulace 2

Simulace 3

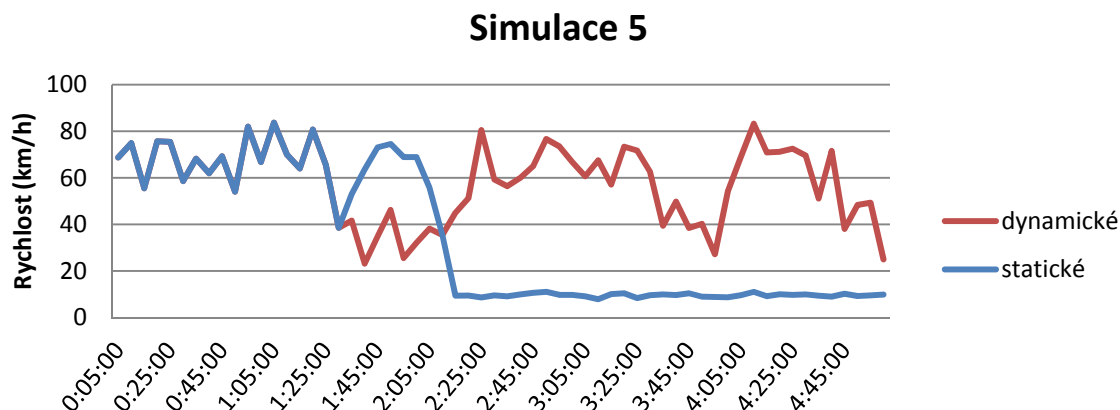


Graf 60: Simulace 3

Simulace 4



Graf 62: Simulace 4



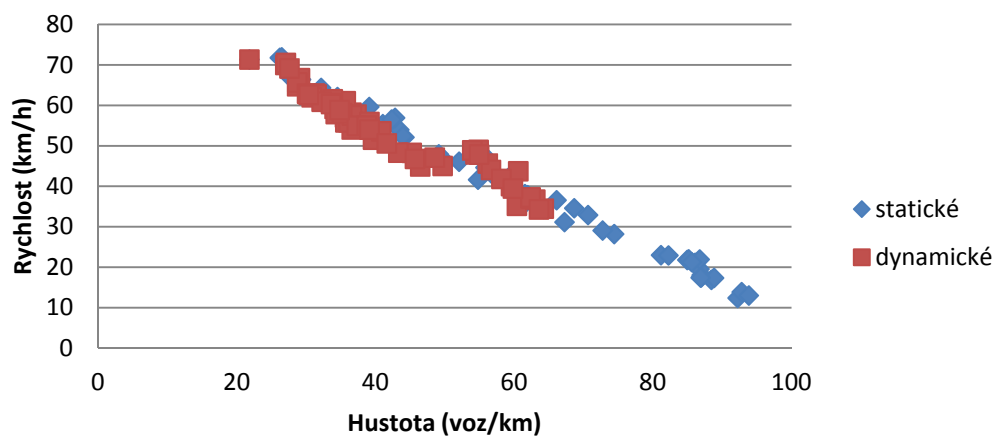
Graf 63: Simulace 5

Už v první simulaci lze vidět, že se kolona vytvoří v obou variantách, ale ve statické o více než dvě hodiny dříve než v dynamickém řízení. Oproti tomu v druhé a páté simulaci kolona nevzniká vůbec, ale objevují se zde i místa, kdy je v dynamickém řízení rychlost dopravního proudu menší než ve statickém řízení. V simulaci číslo 3 lze vidět negativní vliv dynamického řízení na dopravní proud, kdy se v úseku jedné hodiny výrazně snižuje rychlost dopravního proudu. V simulaci číslo 4 se dynamické řízení příliš neprojeví a hodnoty obou verzí jsou si podobné, což je zřejmě způsobeno překročením hranice rychlosti pro aktivaci dynamického řízení až za polovinou simulace a změny se tedy neprojevily.

V konečném důsledku vyznívá navržené schéma dynamického řízení dopravního proudu příznivě, jelikož pouze v jedné z pěti simulací mělo na rychlost dopravního proudu negativní vliv. Ovšem také se ukázalo, že pro určitý soubor náhodných jevů nemusí fungovat.

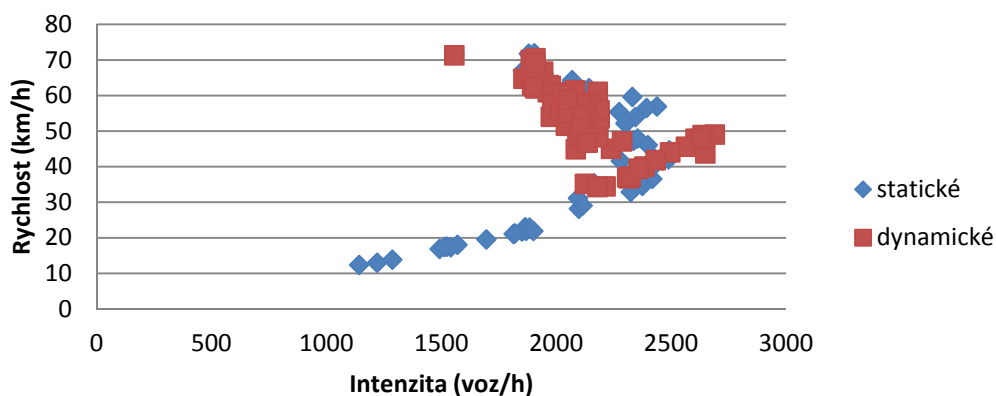
Posledním prvkem, který nám poslouží, pro vyhodnocení zlepšení stavu dopravního proudu budou fundamentální diagramy. Díky barevnému rozlišení bodů, vidíme, že se hodnoty dynamického schématu nacházejí ve stabilnějších částech křivek než body statického schématu. Stále však v grafu intenzita-rychlost vidíme, že se body nacházejí v části nestabilního pohybu dopravního proudu. Oproti statickému modelu jde však vidět výrazné zlepšení.

Hustota - Rychlost



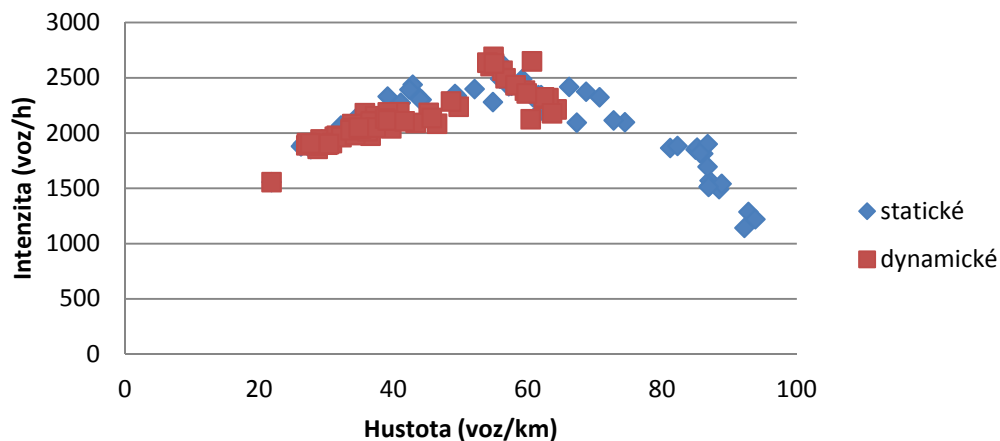
Graf 64: Dynamické řízení – vztah hustota-rychlost

Intenzita-Rychlost



Graf 66: Dynamické řízení – vztah intenzita-rychlost

Hustota-Intenzita



Graf 65: Dynamické řízení - vztah hustota-intenzita

ZÁVĚR

Na začátku teoretické části diplomové práce pojednávám o teorii dopravního proudu a vysvětluji hlavní charakteristiky, které určují vlastnosti dopravního proudu. V další kapitole píším o modelování dopravního proudu, kde rozebírám jeho základní principy a prvky, které je nutno definovat pro vytvoření simulace. Je zde také popsán průběh simulační studie a jsou uvedeny příklady simulačních softwarů. Třetí kapitola popisuje možnosti využití inteligentních dopravních systémů v dopravě a technická zařízení, která slouží jak ke sběru dat, tak i k přenosu informací k uživatelům. V poslední kapitole teoretické části se zabývám chováním dopravního proudu v místech úzkých hrdel způsobených dopravním omezením, konkrétně tvorbou kongescí a vlivem lidského faktoru. V této části jsou uvedena i zahraniční řešení pro řízení dopravního proudu před pracovní zónou.

Hlavním cílem diplomové práce bylo navržení schématu dynamického řízení dopravního proudu v pracovní zóně. Pro ověření funkčnosti schématu bylo třeba vytvořit simulaci dopravního proudu, která by odpovídala chování vozidel a řidičů na našem území. K tomuto účelu byla vypracována parametrická studie, která zkoumala vliv jednotlivých parametrů v programu Aimsun na vznik kongesce a stanovila hodnoty použité do dopravní simulace. Z analýzy vyplynulo, že největší nárůst hustoty oproti defaultním hodnotám vyvolala změna rozměrů vozidla a reakční doby řidiče. Právě tyto dva atributy jsou v softwaru značně podhodnoceny a neodpovídají reálným hodnotám.

Následně byl sestaven model, kde byly navržené hodnoty parametrů ověřeny dle reálné situace zaznamenané videozáznamem. Z vytvořených simulací se ukázalo, že pro náš případ nejlépe vystihuje skutečnost varianta Car-following modelu Leader deceleration. Po validaci modelu jsem ověřené hodnoty použila jako výchozí do simulace dynamického řízení dopravního proudu.

Při snaze zvýšit propustnost úzkých hrdel jsem stanovila tři schémata dynamického řízení a dva druhy deaktivčních rychlostí. Dopravní simulace byly sestaveny pro různé intenzity, které odpovídají průměrné, vyšší a vysoké intenzitě na dálnici D1. Při průměrné intenzitě se v místě pracovní zóny žádná kongesce nevytvořila. Při vyšší intenzitě se po experimentech ukázalo jako nejlepší schéma 100-80-60 s deaktivční rychlostí systému 50 km/h. Dynamické řízení oproti statickému značení oddálilo tvorbu kongesce o dvě hodiny

a zvýšilo rychlost dopravního proudu průměrně o 10 km/h a v extrémních hodnotách až o 30 km/h. Při vysoké intenzitě provozu působilo dynamické řízení na dopravní proud negativně, když oproti statickému značení zvýšilo délku kolony až o 60 vozidel.

Diplomová práce dokazuje, že použití inteligentních dopravních systémů může v místě pracovních zón zvýšit propustnost úzkých hrdel. Ovšem z práce také vyplynulo, že je velmi důležité zvolit správné schéma dynamického řízení, jelikož ne všechna navržená schémata působila na dopravní proud pozitivně, jak se ukázalo, například u vysokých intenzit. V takových případech by mohly být telematické aplikace použity k informování řidičů o dojezdnosti nebo pro navigaci vozidel na objízdné trasy.

Je ovšem třeba zdůraznit, že v reálném provozu dynamické řízení nefunguje samo o sobě. Je to systém spolupůsobení telematických aplikací a chování řidičů. Pokud řidiči nebudou ochotni dodržovat rychlostní limity a správný princip střídavého řazení, nebude zvýšení rychlosti ani omezení tvorby kolon dosaženo. Proto je nutné řidiče poučit o pravidlu zip a vyžadovat jeho dodržování.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] KŘIVDA, V., ŠKVAIN, V. *Městské komunikace a křižovatky* [online]. c2010 [cit. 2012-02-10]. Dostupné z: <http://www.mzcr.cz/dokumenty/regulacni-poplatky-ve-zdravotnictvi-funguji-ochrany-limit-pomaha-stale-vice-lidem_1070_870_1.html>
- [2] KOCOUREK, J. *Dopravní proud - jeho základní charakteristiky a vztahy mezi nimi* [online]. c2011 [cit. 2012-02-10]. Dostupné z: <<http://k612.fd.cvut.cz/predmety/12DOP/%281%29%20Prednasky/%2811%29%20Teorie%20dopravniho%20proudu.pdf>>
- [3] KŘIVDA, V., FRIČ, J. *Teorie dopravního proudu* [online]. c2005 [cit. 2012-02-10]. Dostupné z: <<http://kds.vsb.cz/ord/tdp-factory.htm>>
- [4] APELTAUER, T. *Modelování dopravního proudu*. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2007. 57s.
- [5] MEDELSKÁ, V. a kol. *Dopravné inženýrstvo*. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1991. 376s. ISBN 80-05-00737-X.
- [6] APELTAUER, T. *Romodis – rozvoj moderních dopravních inteligentních systémů (modul 8)* [online]. c2011 [cit. 2012-20-10]. Dostupné z: <<http://www.romodis.cz/detMod.php?kid=14&id=35>>
- [7] APELTAUER, T. *Modelování dopravního proudu*. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2007. 57s.
- [8] *Kapitola IV. Modelování dopravy na pozemních komunikacích (část 1)* [online]. c2009 [cit. 2012-15-10]. Dostupné z: <<http://projekt150.ha-vel.cz/node/94>>
- [9] *Kapitola IV. Modelování dopravy na pozemních komunikacích (část 2)* [online]. c2009 [cit. 2012-15-10]. Dostupné z: <<http://projekt150.ha-vel.cz/node/95>>
- [10] *Kapitola IV. Modelování dopravy na pozemních komunikacích (část 3)* [online]. c2009 [cit. 2012-15-10]. Dostupné z: <<http://projekt150.ha-vel.cz/node/96>>
- [11] KŘIVDA, V., ŠKVAIN, V. *Městské komunikace a křižovatky – Modelování a simulace dopravního proudu* [online]. c2010 [cit. 2012-15-10]. Dostupné z: <<http://kds.vsb.cz/mkk/modelovani-05.htm>>
- [12] KŘIVDA, V., ŠKVAIN, V. *Městské komunikace a křižovatky – Souhrn nedostupnějších simulačních nástrojů* [online]. c2010 [cit. 2012-15-10]. Dostupné z: <<http://kds.vsb.cz/mkk/modelovani-09.htm>>
- [13] *AIMSUN – mikroskopický simulátor* [online]. c2002 [cit. 2012-15-10]. Dostupné z: <<http://www.fd.cvut.cz/projects/k620x1pd/Pages/Aimsun.htm>>
- [14] MATOUŠEK, J. *Počátky modelování dopravního toku* [online]. c2011 [cit. 2012-30-10]. Dostupné z: <<http://kmlinux.fjfi.cvut.cz/~balkolub/Vyuka/leto2011/Matousek.pdf>>
- [15] MATHEW, T., KRISHNA, K. *Introduction to Transportation Engineering – Traffic stream models* [online]. c2006 [cit. 2012-30-10]. Dostupné z: <http://www.cdeep.iitb.ac.in/nptel/Civil%20Engineering/Transportation%20Engg%201/33-Ltexhtml/nptel_ceTEI_L33.pdf>
- [16] CHOWDRUHY, M., SADEK, A. *Intelligent Transportation Systems Planning*. 1. vyd. London: Artech House Publishers, 2003. 201s. ISBN 1-58053-160-1.
- [17] *Modelování dopravy* [online]. c2010 [cit. 2012-30-10]. Dostupné z: <<http://www.dfens-cz.com/view.php?cislocclanku=2010101707>>

- [18] *Dopravní simulace – ELTODO* [online]. c2005 [cit. 2012-30-10]. Dostupné z: <http://sim.eltodo.cz/teorie.html>
- [19] HARTMAN, D. *Modelování dopravní situace systému hromadné obsluhy*. Plzeň, 2003. 161s. Diplomová práce na Fakultě aplikovaných věd Západočeské univerzity v Plzni na katedře informatiky a výpočetní techniky.
- [20] TUMA, J. *Numerické modelování dopravního proudu*. Plzeň, 2011. 43s. Bakalářská práce na Fakultě aplikovaných věd Západočeské univerzity v Plzni na katedře matematiky.
- [21] KNOPP, M. *i4f-tss* [online]. c2010 [cit. 2012-30-10]. Dostupné z: <http://www.i4f.eu/tss.html>
- [22] APELTAUER, T., HOLCNER, P., MACURA, J. *Silnice a železnice: Ověření modelů dopravního proudu* [online]. c2009 [cit. 2012-30-10]. Dostupné z: <http://www.romodis.cz/files/237739517.pdf>
- [23] HOLCNER, P. *Stavební obzor: Bezpečná vzdálenost mezi vozidly a simulace dopravního proudu*. c2009 [cit. 2012-30-10]. Dostupné z: <http://217.11.236.196:888/protesis/objekty/dokumpdf/sobzor/so082009.pdf>
- [24] Wikipedia, the free encyclopedia: Intelligent driver model c2012 [cit. 2012-30-10]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Intelligent_driver_model
- [25] NI, D. *Equilibrium Traffic Flow Models* [online]. c2012 [cit. 2012-15-10]. Dostupné z: <http://people.umass.edu/ndh/TFT/Ch05%20Equilibrium.pdf>
- [26] *Bid document for the procurement of transport planning software* [online]. c2011 [cit. 2012-20-10]. Dostupné z: http://www.google.com/imgres?um=1&hl=cs&safe=off&client=firefox-a&tbo=d&rls=org.mozilla:cs:official&biw=1280&bih=597&tbm=isch&tbnid=jVDIFDLtHlFo-M:&imgrefurl=http://www.ltc.gop.pk/downloads/BDFPTPS.docx&docid=m_EHkOu713mhoM&imgurl=http://www.inro.ca/images/emme31/16/emme-desktop2_lg.png&w=1024&h=622&ei=RMv3UNzXKoTysgbznoDYCQ&zoom=1&iact=r&c&dur=470&sig=116470968480814008163&page=1&tbnh=111&tbnw=183&start=0&nds=1&ved=1t:429,r:1,s:0,i:84&tx=123&ty=62
- [27] OLSTAM, J., TAPANI, A. *Comparison of Car-following models*. 1. vyd. Linköping: Swedish National Road and Transport Research Institute, 2004. 45s.
- [28] *Základní definice dopravní telematiky* [online]. c2006 [cit. 2012-30-10]. Dostupné z: http://www.lt.fd.cvut.cz/its/rok_2001/definice.htm
- [29] *Kapitola III. Inteligentní dopravní systémy (část 1)* [online]. c2009 [cit. 2012-30-10]. Dostupné z: <http://projekt150.ha-vel.cz/node/92>
- [30] *Kapitola III. Inteligentní dopravní systémy (část 2)* [online]. c2009 [cit. 2012-30-10]. Dostupné z: <http://projekt150.ha-vel.cz/node/93>
- [31] *Ministerstvo dopravy: Inteligentní dopravní systémy v České republice* [online]. c2005 [cit. 2012-30-10]. Dostupné z: <http://www.mdcz.cz/NR/rdonlyres/CEF8732F-19F1-43CB-9A37-1D299EF10D21/0/PublikaceITSMDcesky.pdf>
- [32] *Dopravní Info – Proměnné dopravní značky a zařízení pro provozní informace* [online]. c2009 [cit. 2012-30-10]. Dostupné z: <http://www.dopravniinfo.cz/promenne-dopravni-znacky-a-zarizeni-pro-provozni-informace>
- [33] *Dopravní Info – Sčítání dopravy, stupně provozu a detekce provozu* [online]. c2009 [cit. 2012-30-10]. Dostupné z: <http://www.dopravniinfo.cz/scitani-dopravy-a-detekce-kolon>

- [34] ŠČERBA, M. DOUPAL, E., VĚCHET, S. *Romodis – rozvoj moderních dopravních inteligentních systémů (modul I)* [online]. c2011 [cit. 2012-30-10]. Dostupné z: <<http://www.romodis.cz/detModul.php?id=33>>
- [35] *TP 182 Dopravní telematika na pozemních komunikacích*. 1. vyd. Praha: EG, a.s., 2006. 107s. ISBN 80-239-8237-0
- [36] PŘIBYL, P., SVÍTEK, M. *Inteligentní dopravní systémy*. 1. vyd. Praha: Technická literatura Ben, 2001. 544s. ISBN 80-7300-029-6
- [37] LEDVINOVÁ, M. *Dopravní význam a kapacita pozemních komunikací* [online]. c2008 [cit. 2012-15-11]. Dostupné z: <http://pernerscontacts.upce.cz/11_2008/ledvinova.pdf>
- [38] *Ředitelství silnic a dálnic ČR: Celostátní sčítání dopravy 2010* [online]. c2012 [cit. 2012-15-11]. Dostupné z: <<http://www.rsd.cz/doc/Silnicni-a-dalnicni-sit/Intenzita-dopravy/celostatni-scitani-dopravy-2010>>
- [39] ŠČERBA, M., SMĚLÝ, M. *Řízení dopravního proudu v hrdlech na D a R pomocí ITS* [online]. c2008 [cit. 2012-15-11]. Dostupné z: <<http://www.cdv.cz/rizeni-dopravniho-proudu-v-hrdlech-na-d-a-r-pomoci-its/>>
- [40] *LOS-defined* [online]. c2004 [cit. 2012-15-11]. Dostupné z: <<http://www.virginiadot.org/projects/resources/LOS-defined.pdf>>
- [41] VIKTORA, A. *Agresivního řidiče potkáte každých šestnáct kilometrů, ukázal výzkum – idnes.cz* [online]. c2010 [cit. 2012-15-11]. Dostupné z: <http://zpravy.idnes.cz/agresivniho-ridice-potkate-kazdych-sestnact-kilometru-ukazal-vyzkum-1ec-/domaci.aspx?c=A100330_211903_domaci_vel>
- [42] ŠVEC, P. *Ani za 12 let se řidiči nenaučili pravidlo zipu – idnes.cz* [online]. c2012 [cit. 2012-15-11]. Dostupné z: <http://auto.idnes.cz/ani-za-12-let-se-ridici-nenaučili-pravidlo-zipu-fam-/automoto.aspx?c=A111208_1697523_ak_aktual_sko>
- [43] ANDERSON, L. *SMART Lane Merge* [online]. c2004 [cit. 2012-15-11]. Dostupné z: <<http://www.cotrip.org/its/ITS%20Guidelines%20Web%20New%20Format%202-05/Web%20Solutions%20Packages/ITS%20Solution%20Packages%20-%20Web%20Copy/Work%20Zone%20Safety/SMART%20Lane%20Merge.pdf>>
- [44] HARB, R., RADWAN, E., RAMASAMY, S. ABDEL-ATY, M. PANDE, A., SHAABAN, K. *Two simplified dynamic lane mening systém for short term work zone* [online]. c2009 [cit. 2012-15-11]. Dostupné z: <http://digitalcommons.calpoly.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1254&context=cenv_fac>
- [45] *LeasePlan – News: The zipper method is becoming compulsory with a 74 euro fine* [online]. c2012 [cit. 2012-15-11]. Dostupné z: <<http://www.leaseplan.lu/pu/en/index.jsp?newsId=news6480039&page=news&showNews=item>>
- [46] *Ratgeber Verkehrsrecht – autobild.de* [online]. c2009 [cit. 2012-15-11]. Dostupné z: <<http://www.autobild.de/artikel/ratgeber-verkehrsrecht-942690.html>>
- [47] *Le système de la tirette est très simple* [online]. c2012 [cit. 2012-15-11]. Dostupné z: <<http://www.lessentiel.lu/fr/news/luxembourg/story/Le-systeme-de-la-tirette-est-tres-simple--27711660>>
- [48] *Průběžná zpráva z řešení roku 2008: Možnosti efektivního řízení dopravního proudu při kongescích na D a R pomocí ITS*. Brno, 2008. 65s.
- [49] *Zvýšení propustnosti dopravy a průjezdní kapacity vozovky v místech s dočasným omezeným průjezdem vozidel na D a R pomocí mobilní kooperativních ITS systémů –*

- Mobilní liniové řízení provozu: Analýza systémů pro možnost efektivního řízení dopravního proudu v místech dopravních uzavírek.* Brno, 2012. 80s.
- [50] *Studie proveditelnosti: Mobilní telematický systém pro efektivní řízení dopravního proudu na D a R.* Brno, 2008. 44s.
- [51] *TP 123 Zjišťování kapacity pozemních komunikací a návrhy na odstranění kongescí.* 1. vyd. Praha: CityPlan spol. s r.o., 1999. 88s.
- [52] FIALÍK, O. *Řešení dopravní situace města Přerov ve vztahu ke stávající dopravní infrastruktuře.* Přerov, 2012. 161s. Bakalářská práce na Vysoké škole logistiky o.p.s.
- [53] NOLAND, R. *Relationships between highway capacity and induced vehicle travel* [online]. c1999 [cit. 2012-15-11]. Dostupné z: http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0CDoQFjAB&url=http%3A%2F%2Fciteseerx.ist.psu.edu%2Fviewdoc%2Fdownload%3Fdoi%3D10.1.1.180.7131%26rep%3Drep1%26type%3Dpdf&ei=A7_FUIeTPMLVtQa2tIDIAw&usg=AFQjCNHkz7kxwb709RJ50fJWRbGh3eeELA
- [54] *Highway capacity manual.* 1. vyd. Washington: National Research Council, 2000. 1207s. ISBN 0-309-06681-6
- [55] CALVERT, S. *A-Priori Travel Time Predictor for Long Term Roadworks on Motorways.* Delft, 2009. 153s. Diplomová práce na Delft University of Technology.
- [56] ČSN 73 6101 – Projektování silnic a dálnic
- [57] Zákon č. 13/1997 Sb. Zákon o pozemních komunikacích
- [58] Zákon č. 56/2001 Sb., o podmínkách provozu na pozemních komunikacích
- [59] *Microsimulator and Mesosimulator Aimsun 6.1 User's Manual.* TSS-Transport Simulation System, S.L. 2010. 390s.
- [60] BERAN, R. *Simulace silničního provozu v rámci průběžných křižovatek jako podpora dopravního inženýrství.* Pardubice, 2008. 149s. Bakalářská práce na Univerzitě Jana Pernera v Pardubicích na Dopravní fakultě.
- [61] KRBÁLEK, M. *Pokročilé softwarové nástroje ve stavebním inženýrství* [online]. c2012 [cit. 2012-20-12]. Dostupné z: http://www.krbalek.cz/For_students/mds/clanky/CM04-text_inovace_krbalek.pdf
- [62] *TP 66 Zásady pro označení pracovních míst na pozemních komunikacích.* 2. vyd. Praha: Ředitelství silnic a dálnice ČR., 2007. 127s.
- [63] *Označení pracovních míst na dálnicích a silnicích pro motorová vozidla.* 2. vyd. Praha: Ředitelství silnic a dálnice ČR., 2009. 51s.
- [64] *TP 133 Zásady pro vodorovné dopravní značení na pozemních komunikacích.* 2. vyd. Brno: Centrum dopravního výzkum, v.v.i., 2011. 71s.
- [65] KRYCHTÁLEK, Z. *Technický výklad vybraných pojmů z pravidel silničního provozu.* Brno, 2010. 60s. Bakalářská práce na Ústavu soudního inženýrství na Vysokém učení technickém v Brně.
- [66] KŘIVDA, V. *Problematika homogenizace dopravního proudu v silniční dopravě* [online]. c2008 [cit. 2012-20-12]. Dostupné z: http://pernerscontacts.upce.cz/10_2008/Krivda.pdf
- [67] TRIGGS, T., HARRIS, W. *Reaction time of drivers to road stimuli.* Victoria, 1982. 68s. Dostupné z: http://www.fd.cvut.cz/personal/burkejos/TEPR/zadani_ulohy_1/TEPR_1_cviceni_prezentace.pdf

- [68] AKCELIK, R. *The Relationship between Capacity and Driver Behaviour*. Victoria, 2008. 14s. Dostupné z: <http://www.teachamerica.com/rab08/RAB08_Papers/RAB08S2AAkcelik.pdf>
- [69] BARCELO, J., CASAS, J. *Dynamic Network Simulation with Aimsun*. Barcelona, 2011. 25s. Dostupné z: <http://www.aimsun.com/Yokohama_revised.pdf>
- [70] MAHDAL, J. *Optimalizace návrhových parametrů výškového řešení*. Brno, 2012. 70s. Bakalářská práce na Ústavu pozemních komunikací na Vysokém učení technickém v Brně.
- [71] PROKEŠ, S. *Prostorové nároky silniční dopravy* [online]. c2001 [cit. 2012-20-12]. Dostupné z: <http://www.uur.cz/images/publikace/uur/2001/2001-05/04_doprava.pdf>
- [72] *Microscopic Analysis of TFIW* [online]. c2012 [cit. 2012-20-12]. Dostupné z: <<http://ntl.bts.gov/lib/32000/32500/32539/sec5.htm>>
- [73] MIČUNEK, T., SMILEK, P. *Analýza dodržování bezpečného odstupu mezi vozidly* [online]. c2012 [cit. 2012-20-12]. Dostupné z: <<http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/analyza-dodrzovani-bezpecneho-odstupu-mezi-vozidly/>>
- [74] *Microsimulation standards* [online]. c2007 [cit. 2012-20-12]. Dostupné z: <www.arrb.com.au/admin/file/content2/c7/msim_tnote_2_Jun07.pdf>
- [75] *Desired speed* [online]. c1997 [cit. 2012-20-12]. Dostupné z: <<http://web.mit.edu/qiyang/www/thesis/node46.html>>
- [76] *Dopravní noviny: nejvyšší povolená rychlost autobusů se snižovat nebude* [online]. c2004 [cit. 2012-20-12]. Dostupné z: <<http://www.busportal.sk/modules.php?name=article&sid=982>>
- [77] *Truck – Pro ty, co to chtějí zkusit* [online]. c2011 [cit. 2012-20-12]. Dostupné z: <<http://www.truck-way.cz/mladym.html>>
- [78] VÉMOLA, A. *Úvod do soudního znaleství* [online]. c2010 [cit. 2012-20-12]. Dostupné z: <<http://opvk.cdvinfo.cz/file/dynamika-jizdy-vozidel/>>
- [79] PLÁNKOVÁ, D., HORA, J. *Teorie provozu na pozemních komunikacích* [online]. c2012 [cit. 2012-20-12]. Dostupné z: <http://www.fd.cvut.cz/personal/burkejos/TEPR/zadani_ulohy_1/TEPR_1_cviceni_prezentace.pdf>
- [80] KAPLÁNEK, A. *Analýza reakcí řidičů na složené podněty*. Brno, 2010. 34s. Zkrácená verze doktorské práce na Ústavu soudního inženýrství Vysokého učení technického v Brně.
- [81] PLCH, J. *Reakční doba řidiče*. Jablonec nad Nisou, 2010. 8s. Společnost pro rozvoj veřejného osvětlení.
- [82] PÍŠA, V. *Zjištění aktuální dynamické skladby vozového parku na silniční síti v ČR a jeho emisních parametrů v roce 2010*. Praha, 2010. 135s.
- [83] *Automobily – NI- pro podnikání* [online]. c2011 [cit. 2012-20-12]. Dostupné z: <http://ihned.cz/1-10008760-22788585-007000_d-f0>
- [84] *Ředitelství silnic a dálnic ČR – Jaká auta skutečně jezdí na českých silnicích* [online]. c2012 [cit. 2012-20-12]. Dostupné z: <<http://www.rsd.cz/doc/Technicke-predpisy/Ochrana-zivotniho-prostredi/jaka-auta-skutecne-jezdi-na-ceskych-silnicich>>
- [85] *Škoda Octavia Combi: první stručné srovnání – auto.cz* [online]. c2001 [cit. 2012-20-12]. Dostupné z: <<http://www.auto.cz/skoda-octavia-combi-prvni-strucne-srovnani-16727>>
- [86] *Felicia – Škoda techweb* [online]. c2012 [cit. 2012-20-12]. Dostupné z: <<http://skoda.panda.cz/clanek.php3?id=125>>

- [87] *Wikipedia, otevřená encyklopedie: Škoda Fabia*. c2012 [cit. 2012-20-12]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%A0koda_Fabia>
- [88] *Volkswagen Passat – autokataloge.cz*. c2011 [cit. 2012-20-12]. Dostupné z: <<http://auto.kataloge.cz/volkswagen-passat.php>>
- [89] *Renault Mégane Grandtour – auto.cz*. c2012 [cit. 2012-20-12]. Dostupné z: <<http://www.auto.cz/renault-megane-grandtour-4605>>
- [90] *Wikipedia, otevřená encyklopedie: Ford Focus*. c2012 [cit. 2012-20-12]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Ford_Focus>
- [91] *Wikipedia, otevřená encyklopedie: Škoda Superb*. c2012 [cit. 2012-20-12]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%A0koda_Superb>
- [92] *Opel Astra Insigniace – auto.cz*. c2012 [cit. 2012-20-12]. Dostupné z: <<http://www.auto.cz/opel-astra-insigniace-2143>>
- [93] *Karosérie - rozměry*. c2005 [cit. 2012-20-12]. Dostupné z: <<http://mondeo.fordclubs.org/karoserie/k-rozmary12.htm>>
- [94] *Diskuzní fórum - RybolovNorsko*. c2009 [cit. 2012-20-12]. Dostupné z: <<http://www.rybolovnorsko.cz/forum/index.php?id=961&sekce=vypis-tematu&nazevtematu=rozmary-a-vybava-vozu-ford-transit-bus-8+1>>
- [95] *VW Transporter 1.9 TDI – recenze aut a test – Autohit.cz*. c2011 [cit. 2012-20-12]. Dostupné z: <<http://www.autohit.cz/testy/recenze/vw-transporter-1-9-tdi>>
- [96] *Fiat Ducato*. c2012 [cit. 2012-20-12]. Dostupné z: <http://www.fajncar.cz/fiat_ducato.html>
- [97] *Iveco Daily – Aktuálně.cz*. c1999 [cit. 2012-20-12]. Dostupné z: <<http://wiki.aktualne.centrum.cz/auto/iveco-daily/>>
- [98] *Nový dopravní automobil Peugeot Boxer slouží v Rohatci – požáry.cz*. c2012 [cit. 2012-20-12]. Dostupné z: <<http://www.pozary.cz/clanek/59704-novy-dopravni-automobil-peugeot-boxer-slouzi-v-rohatci-nahradil-jiz-dosluhujici-avii/>>
- [99] *Brozura master combi a minimibus*. c2010 [cit. 2012-20-12]. Dostupné z: <http://www.renaultcentrum.cz/files/brozury/brozura_master_combi_a_minibus.pdf>
- [100] *Wikipedia, otevřená encyklopedie: Citroen Berlingo*. c2012 [cit. 2012-20-12]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Citro%C3%ABn_Berlingo>
- [101] *VW Caddy: První jízdní dojmy (užitkové)*. c2012 [cit. 2012-20-12]. Dostupné z: <<http://www.auto.cz/vw-caddy-prvni-jizdni-dojmy-uzitkove-51625>>
- [102] *Test Peugeot Partner Tepee 1,6 HDi vs. Renault Kangoo 1,5 dCi*. c2012 [cit. 2012-20-12]. Dostupné z: <<http://www.auto.cz/peugeot-partner-tepee-1-6-hdi-vs-renault-kangoo-1-5-dci-1797>>
- [103] *Hasičský záchranný sbor Jihomoravského kraje*. c2012 [cit. 2012-20-12]. Dostupné z: <<http://www.firebrno.cz/photo/vya-man-8x8>>
- [104] *Vozový park - Autotransport*. c2012 [cit. 2012-20-12]. Dostupné z: <<http://www.autotransport.cz/vozovy-park/>>
- [105] *Iveco EuroCargo ML 90E18 – AMACO Company*. c2012 [cit. 2012-20-12]. Dostupné z: <<http://www.amacoint.com/en/trucks/ivecoeurocargo/ml90e18/>>
- [106] *Self drive vehicle hire in Andover*. c2012 [cit. 2012-20-12]. Dostupné z: <http://www.andoverselfdrive.co.uk/fleet_list_NEW2.php?type=TRUCK>

- [107] *Rozměry ložné plochy*. c2008 [cit. 2012-20-12]. Dostupné z: <<http://www.macak-transport.cz/products/produkt-1/>>
- [108] *PHA 30/11000/1000 – S2Z Scania R420 CB 6x6 HHZ*. c2012 [cit. 2012-20-12]. Dostupné z: <<http://www.tht.cz/lang-cs/nase-nabidka/pha30-scania-R420-6x6-7041-75>>
- [109] *AUTOLINHART TRUCK a.s., koncesionář Renault, nové vozy*. c2012 [cit. 2012-20-12]. Dostupné z: <<http://www.autolinharttruck.cz/nove.php?typ=mid>>
- [110] *Mercedes-Benz Sprinter 315 CDI/XL – Dlouhý, vysoký a rychlý – auto.cz*. c2012 [cit. 2012-20-12]. Dostupné z: <<http://www.auto.cz/mercedes-benz-sprinter-315-cdi-xl-dlouhy-vysoky-a-rychly-9396>>
- [111] *Prodej: Renault premium DXI route – sig Czech – auto.cz*. c2005 [cit. 2012-20-12]. Dostupné z: <<http://www.sigczech.cz/clanky/prodej-renault-premium-dxi-route>>
- [112] *Mercedes-Benz ACTROS 3355 A 45 6x6 – auto.cz*. c2008 [cit. 2012-20-12]. Dostupné z: <<http://www.tht.cz/lang-cs/nase-nabidka/kha-32-mercedes-benz-actros--3355-a-45-6x6>>
- [113] *Diskuze K-report: Archiv diskuze Autobusy a trojbusy*. c2011 [cit. 2012-20-12]. Dostupné z: <<http://www.k-report.net/diskuse/archiv2011/2484/10867-archiv-1.html>>
- [114] *Wikipedia, otevřená encyklopedie: Karosa C954*. c2012 [cit. 2012-20-12]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Karosa_C_954>
- [115] *Karosa B952 a B952E*. c2004 [cit. 2012-20-12]. Dostupné z: <<http://prahamhd.vhd.cz/Busfoto/KarosaB952.htm>>
- [116] *Student agency – Beulas Aura 55 míst*. c2012 [cit. 2012-20-12]. Dostupné z: <<http://www.studentagency.cz/pronajem-autobusu/Beulas-aura-55mist/index.html>>
- [117] *Ford Transit XXL*. c2007 [cit. 2012-20-12]. Dostupné z: <<http://www.autoweb.cz/ford-transit-xxl/>>
- [118] *Národní podnik Vysoké Mýto*. c2006 [cit. 2012-20-12]. Dostupné z: <<http://static.bmhd.cz/data/bmhd-archiv/prospekty/docs/C734.pdf>>

Obrázky

- [1] KŘIVDA, V., ŠKVAJN, V. *Městské komunikace a křižovatky* [online]. c2010 [cit. 2012-02-10]. Dostupné z: <http://www.mzcr.cz/dokumenty/regulacni-poplatky-ve-zdravotnictvi-funguji-ochranny-limit-pomaha-stale-vice-lidem_1070_870_1.html>
- [2] MEDELSKÁ, V. a kol. *Dopravné inženýrstvo*. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1991. 376s. ISBN 80-05-00737-X.
- [3] APELTAUER, T. *Modelování dopravního proudu*. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2007. 57s.
- [4] MEDELSKÁ, V. a kol. *Dopravné inženýrstvo*. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1991. 376s. ISBN 80-05-00737-X.
- [5] MEDELSKÁ, V. a kol. *Dopravné inženýrstvo*. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1991. 376s. ISBN 80-05-00737-X.
- [6] *Kapitola IV. Modelování dopravy na pozemních komunikacích (část 1)* [online]. c2009 [cit. 2012-02-10]. Dostupné z: <<http://projekt150.ha-vel.cz/node/94>>
- [7] APELTAUER, T. *Modelování dopravního proudu*. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2007. 57s.
- [8] NI, D. *Equilibrium Traffic Flow Models* [online]. c2012 [cit. 2012-15-10]. Dostupné z: <<http://people.umass.edu/ndh/TFT/Ch05%20Equilibrium.pdf>>

- [9] NI, D. *Equilibrium Traffic Flow Models* [online]. c2012 [cit. 2012-15-10]. Dostupné z: <<http://people.umass.edu/ndh/TFT/Ch05%20Equilibrium.pdf>>
- [10] NI, D. *Equilibrium Traffic Flow Models* [online]. c2012 [cit. 2012-15-10]. Dostupné z: <<http://people.umass.edu/ndh/TFT/Ch05%20Equilibrium.pdf>>
- [11] APELTAUER, T., HOLCNER, P., MACURA, J. *Silnice a železnice: Ověření modelů dopravního proudu* [online]. c2009 [cit. 2012-15-10]. Dostupné z: <<http://www.romodis.cz/files/237739517.pdf>>
- [12] *Kapitola IV. Modelování dopravy na pozemních komunikacích (část 3)* [online]. c2009 [cit. 2012-15-10]. Dostupné z: <<http://projekt150.ha-vel.cz/node/96>>
- [13] *Kapitola IV. Modelování dopravy na pozemních komunikacích (část 3)* [online]. c2009 [cit. 2012-15-10]. Dostupné z: <<http://projekt150.ha-vel.cz/node/96>>
- [14] MOHRING, R. COGA Projects: *Traffic Signal Optimization* [online]. c2008 [cit. 2012-20-10]. Dostupné z: <<http://www3.math.tu-berlin.de/coga/projects/traffic/signaloptimization/>>
- [15] *Bid document for the procurement of transport planning software* [online]. c2011 [cit. 2012-20-10]. Dostupné z: <http://www.google.com/imgres?um=1&hl=cs&safe=off&client=firefox-a&tbo=d&rls=org.mozilla:cs:official&biw=1280&bih=597&tbm=isch&tbnid=jVDIFDLtHlFo-M:&imgrefurl=http://www.ltc.gop.pk/downloads/BDFPTPS.docx&docid=m_EHkOu713mhoM&imgurl=http://www.inro.ca/images/emme31/16/emme-desktop2_lg.png&w=1024&h=622&ei=RMMy3UNzXKoTysgbznoDYCQ&zoom=1&iact=r&c&dur=470&sig=116470968480814008163&page=1&tbnh=111&tbnw=183&start=0&ndsp=18&ved=1t:429,r:1,s:0,i:84&tx=123&ty=62>
- [16] *VISSIM Tips & Tricks* [online]. c2011 [cit. 2012-20-10]. Dostupné z: <<http://www.traffic-inside.com/wp-content/uploads/2011/05/070mm.jpg>>
- [17] *S-Paramics - Microsimulation* [online]. c2010 [cit. 2012-20-10]. Dostupné z: <<http://www.ilt.ie/services/trafficmodelling/s-paramics.html>>
- [18] *Saint Petersburg: integration of Aimsun microsimulation and SPEKTR controllers* [online]. c1997 [cit. 2012-20-10]. Dostupné z: <<http://www.aimsun.com/wp/?p=1790>>
- [19] *TSIS Next* [online]. c2012 [cit. 2012-20-10]. Dostupné z: <<http://mctrans.ce.ufl.edu/featured/tsis/version6/NewEditors.htm>>
- [20] *Kapitola III. Inteligentní dopravní systémy (část I)* [online]. c2009 [cit. 2012-20-10]. Dostupné z: <<http://projekt150.ha-vel.cz/node/92>>
- [21] *Dopravní Info – Sčítání dopravy, stupně provozu a detekce provozu* [online]. c2009 [cit. 2012-30-10]. Dostupné z: <<http://www.dopravniinfo.cz/scitani-dopravy-a-detekce-kolon>>
- [22] *EIS* [online]. c2012 [cit. 2012-30-10]. Dostupné z: <<http://www.blackhawkenterprises.com/eis.htm>>
- [23] *Jak se chránit před pokutami? - Business-Car.cz* [online]. c2002 [cit. 2012-30-10]. Dostupné z: <<http://www.business-car.cz/clanek/jak-se-chranit-pred-pokutami>>
- [24] *Dopravní Info – Proměnné dopravní značky a zařízení pro provozní informace* [online]. c2009 [cit. 2012-30-10]. Dostupné z: <<http://www.dopravniinfo.cz/promenne-dopravni-znacky-a-zarizeni-pro-provozni-informace>>
- [25] *CROSS Zlín – Road Traffic Technology* [online]. c2009 [cit. 2012-30-10]. Dostupné z: <<http://www.cross.cz/images/products/silnicni-meteorologicka-stanice-CrossMet.jpg>>

- [26] *Design and the Human Factor: Developments in road traffic management – carrots & sticks?* [online]. c2004 [cit. 2012-30-10]. Dostupné z: <<http://ccd-design.blogspot.cz/2010/11/developments-in-road-traffic-management.html>>
- [27] CALVERT, S. *A-Priori Travel Time Predictor for Long Term Roadworks on Motorways*. Delft, 2009. 153s. Diplomová práce na Delft University of Technology.
- [28] CALVERT, S. *A-Priori Travel Time Predictor for Long Term Roadworks on Motorways*. Delft, 2009. 153s. Diplomová práce na Delft University of Technology.
- [29] *Florida DOT Quality of Service Handbook* [online]. c2002 [cit. 2012-30-10]. Dostupné z: <http://www.ncdot.gov/doh/PRECONSTRUCT/tpb/shc/studies/us64/graphics/US64_LOS_Example.jpg>
- [30] *Florida DOT Quality of Service Handbook* [online]. c2002 [cit. 2012-30-10]. Dostupné z: <http://www.ncdot.gov/doh/PRECONSTRUCT/tpb/shc/studies/us64/graphics/US64_LOS_Example.jpg>
- [31] *Florida DOT Quality of Service Handbook* [online]. c2002 [cit. 2012-30-10]. Dostupné z: <http://www.ncdot.gov/doh/PRECONSTRUCT/tpb/shc/studies/us64/graphics/US64_LOS_Example.jpg>
- [32] ŠČERBA, M., SMĚLÝ, M. *Řízení dopravního proudu v hrdlech na D a R pomocí ITS* [online]. c2008 [cit. 2012-30-10]. Dostupné z: <<http://www.cdv.cz/rizeni-dopravniho-proudu-v-hrdlech-na-d-a-r-pomoci-its/>>
- [33] *Průběžná zpráva z řešení roku 2008: Možnosti efektivního řízení dopravního proudu při kongescích na D a R pomocí ITS*. Brno, 2008. 65s.
- [34] *Průběžná zpráva z řešení roku 2008: Možnosti efektivního řízení dopravního proudu při kongescích na D a R pomocí ITS*. Brno, 2008. 65s.
- [35] *Průběžná zpráva z řešení roku 2008: Možnosti efektivního řízení dopravního proudu při kongescích na D a R pomocí ITS*. Brno, 2008. 65s.
- [36] *Průběžná zpráva z řešení roku 2008: Možnosti efektivního řízení dopravního proudu při kongescích na D a R pomocí ITS*. Brno, 2008. 65s.
- [37] *Průběžná zpráva z řešení roku 2008: Možnosti efektivního řízení dopravního proudu při kongescích na D a R pomocí ITS*. Brno, 2008. 65s.
- [38] *Ratgeber Verkehrsrecht – autobild.de* [online]. c2009 [cit. 2012-15-11]. Dostupné z: <<http://www.autobild.de/artikel/ratgeber-verkehrsrecht-942690.html>>
- [39] *Ratgeber Verkehrsrecht – autobild.de* [online]. c2009 [cit. 2012-15-11]. Dostupné z: <<http://www.autobild.de/artikel/ratgeber-verkehrsrecht-942690.html>>
- [40] *Le système de la tirette est très simple* [online]. c2012 [cit. 2012-15-11]. Dostupné z: <<http://www.lessentiel.lu/fr/news/luxembourg/story/Le-systeme-de-la-tirette-est-tres-simple--27711660>>
- [41] *Průběžná zpráva z řešení roku 2008: Možnosti efektivního řízení dopravního proudu při kongescích na D a R pomocí ITS*. Brno, 2008. 65s.
- [42] *Průběžná zpráva z řešení roku 2008: Možnosti efektivního řízení dopravního proudu při kongescích na D a R pomocí ITS*. Brno, 2008. 65s.
- [43] ANDERSON, L. *SMART Lane Merge* [online]. c2004 [cit. 2012-15-11]. Dostupné z: <<http://www.cotrip.org/its/ITS%20Guidelines%20Web%20New%20Format%202005/Web%20Solutions%20Packages/ITS%20Solution%20Packages%20%20Web%20Copy/Work%20Zone%20Safety/SMART%20Lane%20Merge.pdf>>

- [44] ANDERSON, L. *SMART Lane Merge* [online]. c2004 [cit. 2012-15-11]. Dostupné z: <<http://www.cotrip.org/its/ITS%20Guidelines%20Web%20New%20Format%202-05/Web%20Solutions%20Packages/ITS%20Solution%20Packages%20-%20Web%20Copy/Work%20Zone%20Safety/SMART%20Lane%20Merge.pdf>>
- [45] www.mapy.cz [online]. c2011 [cit. 2012-15-12]. Dostupné z: <http://www.mapy.cz/#x=16.782593&y=49.180689&z=15&q=bedrichovice&qp=10.861871_48.573530_19.978533_50.881077_6&l=15>
- [46] Videozáznam
- [47] *Označení pracovních míst na dálnicích a silnicích pro motorová vozidla*. 2. vyd. Praha: Ředitelství silnic a dálnice ČR., 2007. 51s.
- [48] Vlastní zdroj
- [49] *Microscopic Analysis of TFIW* [online]. c2012 [cit. 2012-20-12]. Dostupné z: <<http://ntl.bts.gov/lib/32000/32500/32539/sec5.htm>>
- [50] *Microsimulator and Mesosimulator Aimsun 6.1 User's Manual*. TSS-Transport Simulation Sysstem, S.L. 2010. 390s.
- [51] *Studie proveditelnosti: Mobilní telematický systém pro efektivní řízení dopravního proudu na D a R*. Brno, 2008. 44s.

Tabulky

- [1] NI, D. *Equilibrium Traffic Flow Models* [online]. c2012 [cit. 2012-15-10]. Dostupné z: <<http://people.umass.edu/ndh/TFT/Ch05%20Equilibrium.pdf>>
- [2] APELTAUER, T. *Romodis – rozvoj moderních dopravních inteligentních systémů (modul 8)* [online]. c2011 [cit. 2012-20-10]. Dostupné z: <<http://www.romodis.cz/detMod.php?kid=14&id=35>>
- [3] *TP 123 Zjišťování kapacity pozemních komunikací a návrhy na odstranění kongescí*. 1. vyd. Praha: CityPlan spol. s.r.o., 1999. 88s.
- [42] KAPLÁNEK, A. *Analýza reakcí řidičů na složené podněty*. Brno, 2010. 34s. Zkrácená verze doktorské práce na Ústavu soudního inženýrství Vysokého učení technického v Brně.

SEZNAM OBRAZKŮ

Obrázek 1: Grafické schéma měření délkových a časových odstupů	7
Obrázek 2: Vztah mezi hustotou a rychlostí – lineární závislost	8
Obrázek 3: Vztah mezi hustotou a rychlostí – nelineární závislost.....	8
Obrázek 4: Vztah mezi intenzitou a rychlostí dopravního proudu	10
Obrázek 5: Vztah mezi hustotou a intenzitou dopravního proudu	12
Obrázek 6: Hierarchie modelů dle zobrazení detailu	16
Obrázek 7: Fundamentální diagramy podle Greenshieldse	20
Obrázek 8: Srovnání makroskopických modelů na vztahu hustota-rychlost.....	21
Obrázek 9: Srovnání makroskopických modelů na vztahu hustota-intenzita.....	22
Obrázek 10: Srovnání makroskopických modelů na vztahu intenzita-rychlost	22
Obrázek 11: Schéma Wiedemannova modelu.....	24
Obrázek 12: Průběh simulační studie – I.fáze	29
Obrázek 13: Průběh simulační studie – II.fáze.....	30
Obrázek 14: Software VISUM	31
Obrázek 15: Software EMME.....	32
Obrázek 16: Software VISSIM	33
Obrázek 17: Software PARAMICS	34
Obrázek 18: Software AIMSUN	34
Obrázek 19: Software CORSIM.....	35
Obrázek 20: Hierarchie ITS	37
Obrázek 21: Indukční smyčka ve vozovce.....	39
Obrázek 22: Mikrovlnný detektor	40
Obrázek 23: Kamerový systém na měření rychlosti.....	40
Obrázek 24: Proměnné dopravní značení a zařízení pro provozní informace.....	41
Obrázek 25: Silniční meteorologická stanice	42
Obrázek 26: Liniové řízení dopravy	44
Obrázek 27: Stavby dopravního toku v místě úzkých hrdel.....	46
Obrázek 28: Grafické znázornění tvorby kolon	47
Obrázek 29: Stupeň kvality A/B	50
Obrázek 30: Stupeň kvality C/D	50
Obrázek 31: Stupeň kvality E/F	50
Obrázek 32: Dopravní značka pro střídavé řazení	51
Obrázek 33: Grafické znázornění střídavého řazení.....	52
Obrázek 34: Nedodržení bezpečnostního odstupu	53

Obrázek 35: Agresivní způsob jízdy	54
Obrázek 36: Nedovolení předjetí	54
Obrázek 37: Nezkušenost řidičů s řazením	55
Obrázek 38: Značení střídavého řazení v Německu	56
Obrázek 39: Schéma ZIPu v Německu	56
Obrázek 40: Značení střídavého řazení ve Francii	56
Obrázek 41: Schéma střídavého řazení v Nizozemsku	57
Obrázek 42: Schéma střídavého řazení ve Velké Británii	57
Obrázek 43: Systém brzkého řazení	58
Obrázek 44: Systém pozdního řazení	58
Obrázek 45: Lokace místa natáčení	59
Obrázek 46: Ukázka z videozáznamu	59
Obrázek 47: Schéma označení pracovní zóny	62
Obrázek 48: Schéma modelu v programu Aimsun	67
Obrázek 49: Schéma modelu Gap-acceptance model	70
Obrázek 50: Grafické znázornění zón v modelu	71
Obrázek 51: Dynamické řízení dopravního proudu v místě pracovní zóny	128
Obrázek 52: Označení a rozmístění detektorů	130
Obrázek 53: Základní schéma	131
Obrázek 54: Schéma 1 (100-80-60)	131
Obrázek 55: Schéma 2 (100-100-80-60)	131
Obrázek 56: Schéma 3 (100-80-80-60)	131

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Srovnání makroskopických modelů	21
Tabulka 2: Přehled typických hodnot pro parametry v IDM.....	27
Tabulka 3: Hodnoty typické pro konkrétní stupně kvality	50
Tabulka 4: Počet vozidel odečtených z videozáznamu v průběžném pruhu	63
Tabulka 5: Počet vozidel odečtených z videozáznamu v neprůběžném pruhu	63
Tabulka 6: Celková bilance vozidel zjištěná z videozáznamu	64
Tabulka 7: Rychlosti dopravního proudu z videozáznamu	65
Tabulka 8: Intenzity pro parametrickou studii	66
Tabulka 9: Ovlivnění dopravního proudu vzdáleností zóny 2 – průběžný pruh	72
Tabulka 10: Ovlivnění dopravního proudu vzdáleností zóny 2 – neprůběžný pruh.....	72
Tabulka 11: Orientační rozměry osobních vozidel	76
Tabulka 12: Orientační rozměry lehkých nákladních automobilů	76
Tabulka 13: Orientační rozměry těžkých nákladních automobilů.....	77
Tabulka 14: Orientační rozměry autobusů	77
Tabulka 15: Délka vozidla	78
Tabulka 16: Šířka vozidel.....	78
Tabulka 17: Ovlivnění dopravního proudu rozměry vozidel	79
Tabulka 18: Defaultní hodnoty maximálních rychlostí vozidel	80
Tabulka 19: Defaultní hodnoty dodržení rychlosti.....	81
Tabulka 20: Změna hustoty po opravě parametrů u autobusu.....	81
Tabulka 21: Vliv míry dodržení rychlosti na dopravní proud – průběžný pruh.....	83
Tabulka 22: Vliv míry dodržení rychlosti na dopravní proud – neprůběžný pruh	84
Tabulka 23: Defaultní hodnoty maximální akcelerace.....	86
Tabulka 24: Defaultní hodnoty normální decelerace	86
Tabulka 25: Defaultní hodnoty maximální decelerace.....	86
Tabulka 26: Vliv akcelerace na dopravní proud – průběžný proud	87
Tabulka 27: Vliv akcelerace na dopravní proud – neprůběžný proud.....	88
Tabulka 28: Vliv decelerace na dopravní proud – průběžný pruh	89
Tabulka 29: Vliv decelerace na dopravní proud – neprůběžný pruh.....	90
Tabulka 30: Defaultní hodnoty minimální vzdálenosti mezi vozidly	91
Tabulka 31: Defaultní hodnoty času pro dání přednosti v jízdě.....	91
Tabulka 32: Vliv času pro dání přednosti dopravní proud – průběžný pruh.....	92
Tabulka 33: Vliv času pro dání přednosti dopravní proud – neprůběžný pruh	93
Tabulka 34: Vliv časového odstupu na dopravní proud – průběžný pruh.....	94

Tabulka 35: Vliv časového odstupu na dopravní proud – neprůběžný proud	95
Tabulka 36: Vliv faktoru citlivosti na dopravní proud – průběžný pruh	97
Tabulka 37: Vliv faktoru citlivosti na dopravní proud – neprůběžný pruh	98
Tabulka 38: Vliv nebezpečné změny jízdního pruhu při citlivosti 1 na hustotu	100
Tabulka 39: Vliv nebezpečné změny jízdního pruhu při citlivosti 3 na hustotu	101
Tabulka 40: Vliv nebezpečné změny jízdního pruhu při citlivosti 5 na hustotu	102
Tabulka 41: Koeficient pro přepočet na jednotkové vozidlo	103
Tabulka 42: Přehled reakčních dob pro vozidlo za jízdy	104
Tabulka 43: Vliv reakční doby - průběžný pruh	106
Tabulka 44: Vliv reakční doby - neprůběžný pruh	107
Tabulka 45: Vliv reakční doby při zastavení – průběžný pruh	109
Tabulka 46: Vliv reakční doby při zastavení – neprůběžný pruh	110
Tabulka 47: Parametry osobního vozidla	112
Tabulka 48: Parametry lehkého nákladního vozidla	112
Tabulka 49: Parametry těžkého nákladního vozidla	113
Tabulka 50: Parametry autobusu	113
Tabulka 51: Charakteristiky dopravního proudu po změně – průběžný pruh	114
Tabulka 52: Charakteristiky dopravního proudu po změně – neprůběžný pruh	115
Tabulka 53: Leader deceleration	118
Tabulka 54: Leader deceleration + Minimum Headway	118
Tabulka 55: Avg of Follower and Leader decelerations	120
Tabulka 56: Avg of Follower and Leader decelerations + Minimum Headway	121
Tabulka 57: Sensitivity factor	122
Tabulka 58: Sensitivity factor + Minimum Headway	123
Tabulka 59: Srovnání reálných a modelových rychlostí	125
Tabulka 60: Charakteristiky dopravního proudu validované simulace	126
Tabulka 61: Intenzity pro dynamické řízení dopravního proudu	129
Tabulka 62: Základní schéma – intenzita 1500 voz/h (rychlost)	132
Tabulka 63: Základní schéma – intenzita 1900 voz/h (rychlost)	134
Tabulka 64: Základní schéma – intenzita 1900 voz/h (délka kolony)	135
Tabulka 65: Základní schéma – intenzita 2100 voz/h (rychlost)	136
Tabulka 66: Základní schéma – intenzita 2100 voz/h (délka kolony)	137
Tabulka 67: Schéma 1 (40-50) - rychlost	139
Tabulka 68: Schéma 1 (40-55) - rychlost	140
Tabulka 69: Schéma 1 (40-50) – délka kolony	141

Tabulka 70: Schéma 1 (40-55) – délka kolony	142
Tabulka 71: Schéma 2 (40-50) - rychlost.....	143
Tabulka 72: Schéma 2 (40-55) - rychlost.....	144
Tabulka 73: Schéma 2 (40-50) – délka kolony	145
Tabulka 74: Schéma 2 (40-55) – délka kolony	145
Tabulka 75: Schéma 3 (40-50) – rychlost	146
Tabulka 76: Schéma 3 (40-55) – rychlost	147
Tabulka 77: Schéma 3 (40-50) – délka kolony	148
Tabulka 78: Schéma 3 (40-55) – délka kolony	149
Tabulka 79: Rozdíl rychlostí statického a dynamického modelu.....	151
Tabulka 80: Rozdíl délky kolony statického a dynamického modelu.....	152

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1: Vliv parametru vzdálenost zóny 2 – průběžný pruh	73
Graf 2: Vliv parametru vzdálenost zóny 2 – neprůběžný pruh.....	73
Graf 3: Vliv rozměrů vozidla	79
Graf 4: Změna hustot při opravě rychlostních charakteristik autobusu.....	82
Graf 5: Vliv parametru dodržení rychlost – průběžný pruh	83
Graf 6: Vliv parametru dodržení rychlost – neprůběžný pruh.....	84
Graf 7: Vliv parametru maximální akcelerace – průběžný pruh	87
Graf 8: Vliv parametru maximální akcelerace – neprůběžný pruh	88
Graf 9: Vliv normální decelerace – průběžný pruh	89
Graf 10: Vliv normální decelerace – neprůběžný pruh	90
Graf 11: Vliv času pro dání přednosti – průběžný pruh	92
Graf 12: Vliv času pro dání přednosti – neprůběžný pruh	93
Graf 13: Vliv minimálního časového odstupu – průběžný pruh	95
Graf 14: Vliv minimálního časového odstupu – neprůběžný pruh.....	96
Graf 15: Vliv faktoru citlivosti – průběžný pruh.....	98
Graf 16: Vliv faktoru citlivosti – neprůběžný pruh	99
Graf 17 Vliv neobežřetné změny jízdního pruhu při citlivosti 1 – průběžný pruh.....	100
Graf 18: Vliv neobežřetné změny jízdního pruhu při citlivosti 3 – průběžný pruh.....	101
Graf 19: Vliv neobežřetné změny jízdního pruhu při citlivosti 5 – průběžný pruh.....	102
Graf 20: Vliv reakční doby – průběžný pruh.....	106
Graf 21: Vliv reakční doby – neprůběžný pruh.....	107
Graf 22: Vliv reakční doby při zastavení – průběžný pruh	109
Graf 23: Vliv reakční doby při zastavení – neprůběžný pruh.....	110
Graf 24: Fundamentální diagram hustota-rychlost.....	115
Graf 25: Fundamentální diagram hustota-intenzita	116
Graf 26 Fundamentální diagram intenzita-rychlost.....	116
Graf 27: Leader deceleration – průběžný pruh.....	119
Graf 28: Leader deceleration – neprůběžný pruh	119
Graf 29: Avg of Follower and Leader decelerations – průběžný pruh	121
Graf 30: Avg of Follower and Leader decelerations – neprůběžný pruh	122
Graf 31: Sensitivity factor – průběžný pruh	123
Graf 32: Sensitivity factor – neprůběžný pruh	124
Graf 33: Srovnání reálných a modelových rychlostí	125
Graf 34: Vztah hustota-rychlost ve validované dopravní simulaci	127

Graf 35: Vztah intenzita-rychlost ve validované simulaci	127
Graf 36: Vztah hustota-intenzita ve validované simulaci.....	127
Graf 37: Intenzita 1500 voz/h – rychlost v profilu 200m před zúžením	133
Graf 38: Intenzita 1500 voz/h – rychlost v profilu 800m před zúžením	133
Graf 39: Intenzita 1900 voz/h – rychlost v profilu 200m před zúžením	134
Graf 40: Intenzita 1900 voz/h – rychlost v profilu 800m před zúžením	135
Graf 41: Intenzita 1900 voz/h – délka kolony	135
Graf 42: Intenzita 2100 voz/h – rychlost v profilu 200m před zúžením	137
Graf 43: Intenzita 2100 voz/h – rychlost v profilu 800m před zúžením	137
Graf 44: Intenzita 2100 voz/h – délka kolony	138
Graf 45: Dynamické řízení – intenzita 2100 voz/h (délka kolony)	138
Graf 46: Schéma 1 (40-50) - rychlost.....	140
Graf 47: Schéma 1 (40-55) - rychlost.....	141
Graf 48: Schéma 1 – délka kolony	142
Graf 49: Schéma 2 (40-50) - rychlost.....	143
Graf 50: Schéma 2 (40-55) - rychlost.....	144
Graf 51: Schéma 2 – délka kolony	145
Graf 52: Schéma 3 (40-50) - rychlost.....	147
Graf 53: Schéma 3 (40-55) - rychlost.....	148
Graf 54: Schéma 3 – délka kolony	149
Graf 55: Porovnání schémat – rychlost	150
Graf 56: Porovnání schémat – délka kolony	150
Graf 57: Rozdíl rychlostí statického a dynamického modelu.....	152
Graf 58: Rozdíl počtu vozidel v koloně pro statický a dynamický model	153
Graf 59: Simulace 1.....	153
Graf 60: Simulace 3.....	154
Graf 61: Simulace 2.....	154
Graf 62: Simulace 4.....	154
Graf 63: Simulace 5.....	155
Graf 64: Dynamické řízení – vztah hustota-rychlost.....	156
Graf 65: Dynamické řízení – vztah intenzita-rychlost.....	156
Graf 66: Dynamické řízení - vztah hustota-intenzita	156

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

ITS	Intelligent Transport Systems
OVM	Optimal Velocity Model
IDM	Intelligent Driver Model
GIS	Geographic Information Systém
CACS	Comprehesive Automobile Traffic Control System
ÚVIS	Úřad pro veřejné informační systémy
MHD	Městská hromadná doprava
LED	Light-Emitting Diode
RDS-TMC	Radio data system-Traffic Message Chanel
HCM	Highway Capacity Manual
LoS	Level of Services
ČVUT	České vysoké učení technické
TP	Technické podmínky
PCUs	Passenger car equivalent
DPH	Daň z přidané hodnoty

H	hustota dopravního proudu (voz/km)
v	rychlost dopravního proudu (km/h)
I	intenzita dopravního proudu (voz/h)
t	čas
x	pozice vozidla
a	délkový odstup (m)
b	časový odstup (s)
$v_{\max}$	maximální rychlost dopravního proudu (km/h)
v_{opt}	optimální rychlost dopravního proudu (km/h)
$H_{\max}$	maximální hustota dopravního proudu (voz/km)
H_{opt}	optimální hustota dopravního proudu (voz/km)
$I_{\max}$	maximální intenzita dopravního proudu (voz/h)
n	označení zkoumaného vozidla

n-1	označení vozidla před zkoumaným vozidlem
a	zrychlení (m/s^2)
d	zpomalení (m/s^2)
Δx	odstup od předcházejícího vozidla (m)
Δv	rozdíl rychlostí vedoucího a následujícího vozidla (m/s)
τ	reakční doba řidiče
a_n	maximální zrychlení vozidla (m/s^2)
V_n	rychlost vozidla odpovídající volné dopravě
a_{acc}	člen pro akceleraci v IDM
a_{dec}	člen pro deceleraci v IDM
a_{i0}	komfortní zrychlení (m/s^2)
v_{i0}	cílová rychlost vozidla (m/s)
δ	součinitel realističnosti akcelerace
s_{i0}	minimální vzdálenost při statické dopravě (m)
s_i	okamžitá vzdálenost mezi vozidly (m)
T	časový odstup v nekolabující dopravě (s)
O	obsazenost
I_k	index kongesce
d_k	přídavný cestovní čas (s)
t_c	cestovní doba (s)
V_a	akcelerační komponent Car-following modelu
V_b	decelerační komponent Car-following modelu
T	reakční doba
V^*	maximální rychlost vozidla v konkrétním úseku
V	rychlost určitého vozidla v určitém čase
s	efektivní délka vozidla (m)
d^*	odhadovaná decelerace vozidla (m/s^2)
S_{lim}	maximální dovolená rychlost (km/h)
θ	míra dodržení rychlosti
$S_{lim,\theta}$	rychlost ovlivněná mírou dodržení rychlosti (km/h)