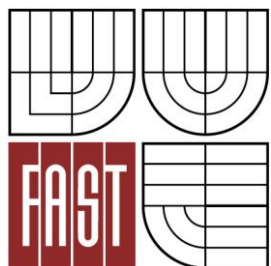




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

MIKROSIMULACE DOPRAVNÍHO PROUDU PŘI LINIOVÉM ŘÍZENÍ.

TRAFFIC FLOW MICROSIMULATION IN LINE MANAGEMENT.

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. IVANA MLČKOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. JIŘÍ APELTAUER

BRNO 2016



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 pozemních komunikací |

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

| | |
|--|--|
| Diplomant | Bc. Ivana Mlčková |
| Název | Mikrosimulace dopravního proudu při liniovém řízení. |
| Vedoucí diplomové práce | Ing. Jiří Apeltauer |
| Datum zadání diplomové práce | 31. 3. 2015 |
| Datum odevzdání diplomové práce | 15. 1. 2016 |

V Brně dne 31. 3. 2015

.....
doc. Dr. Ing. Michal Varaus
Vedoucí ústavu

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

Podklady a literatura

ČSN 736101, 736110

TP 135, 188, 189, 234

Celostátní sčítání dopravy 2010 - ŘSD

Dokumentace softwaru Aimsun

Další odborná literatura a články relevantní danému tématu

Zásady pro vypracování

Vypracujte mikrosimulační model komunikace I/43 v úseku křižovatek Hradecká x Sportovní a I/42 x II/379 včetně klíčových napojení na město Kuřim. Stávající stav zkalibrujte a následně proveďte návrhy variant liniového řízení (s případným doplněním SSZ na křižovatkách) s cílem harmonizace dopravy na zmíněném úseku.

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

.....

Ing. Jiří Apeltauer
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Diplomová práce má za úkol ověřit účinnost liniového řízení na daném úseku komunikace. To bylo provedeno pomocí dopravního modelu vytvořeného v programu Aimsun pro dopravní mikrosimulaci. Data získaná z radarových měření byla zpracována a vložena do modelu, kde byly změněny některé parametry, aby model odpovídal stávajícímu stavu na daných komunikacích. Následně v tomtéž modelu bylo navrženo více řešení pomocí liniového řízení a vyhodnocena efektivnost jednotlivých řešení.

KLÍČOVÁ SLOVA

Aimsun, Simulace, Mikrosimulace, Model, Křižovatka, Křižovatka řízená světelnou signalizací, Návrh, Kuřim, Lipůvka

ABSTRACT

The main task of this thesis is to verify the line management of traffic. A microsimulation model of traffic was made in program for traffic simulation called Aimsun. The data from radar measuring have been processed and then put into the model. Some of parameters in model were adapted to meet the reality on the road. Finally, there have been suggested more suggestions in this model and the efficiency of the solutions was evaluated.

KEYWORDS

Aimsun, Sumulation, Microsimulation, Model, Crossroad, Crossroad junction controlled by traffic lights, Suggestion, Kurim, Lipuvka

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MLČKOVÁ, I. *Mikrosimulace dopravního proudu při liniovém řízení*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2016. 70 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jiří Apeltauer.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Jiřího Apeltauera a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 12. ledna 2016

.....

Ivana Mlčková

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala svému vedoucímu Ing. Jiřímu Apeltauerovi za pomoc a cenné rady při zpracování mé bakalářské práce a také mojí rodině a příteli za podporu a trpělivost, kterou mi poskytovali po celou dobu studia.

OBSAH

| | |
|---|----|
| Úvod | 9 |
| 1 Dopravní průzkum stávajícího stavu | 10 |
| 1.1 Úvod..... | 10 |
| 1.2 Grafy pro vyhodnocení dat ze stanovišť radarů..... | 12 |
| 1.3 Zpracování radarových dat | 13 |
| 2 Dopravní model v programu aimsun | 16 |
| 2.1 Úvod..... | 16 |
| 2.2 Car-following model..... | 17 |
| 2.3 Zpracování naměřených dat..... | 19 |
| 2.3.1 Analýza a volba období simulace | 19 |
| 2.3.2 Matice přepravních vztahů | 19 |
| 2.4 Editace modelu | 22 |
| 2.4.1 Podklad a geometrické uspořádání | 22 |
| 2.4.2 Zadání dopravního zatížení a uvedení simulace do chodu | 31 |
| 2.5 Kalibrace modelu, přibližování se skutečnosti | 31 |
| 2.5.1 Předpoklady pro správné fungování modelu | 31 |
| 2.5.2 Nastavení parametrů | 32 |
| 2.5.3 Kalibrace modelu..... | 33 |
| 2.6 Návrh řešení | 35 |
| 2.6.1 Liniové řízení dopravy..... | 35 |
| 2.6.2 Návrh řešení v modelu města Kuřimi..... | 37 |
| 2.6.3 Nastavení liniového řízení | 37 |
| 2.6.4 Návrhy řešení..... | 44 |
| 2.6.5 Model spotřeby paliva | 52 |
| 2.6.6 Model emisního znečištění | 54 |
| 2.6.7 Porovnání emisí a spotřeby paliva u jednotlivých řešení | 55 |
| 2.6.8 Možné úspory ročně u navrhovaných variant řešení | 57 |
| Závěr..... | 61 |
| Seznam obrázků..... | 64 |
| Seznam tabulek..... | 66 |
| Seznam příloh | 67 |
| Seznam modelů v programu aimsun přiložených na cd | 70 |

ÚVOD

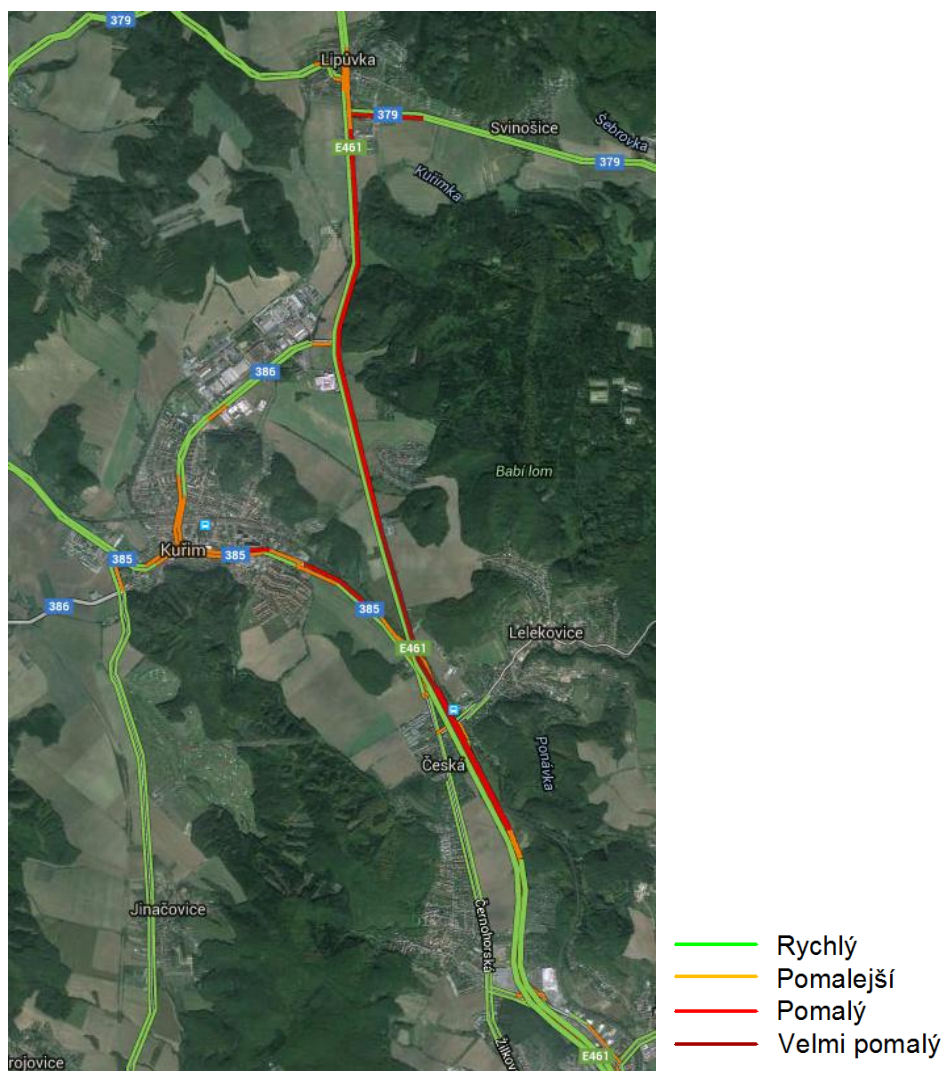
Již dlouhou dobu se křižovatky I/43 / II/386, I/43 / II/379 a II/385 / II/386 potýkají s dopravními problémy, a to s tvorbou několikakilometrových kolon vedoucích od těchto křižujících se komunikací. Všechny tři křižovatky jsou stykové. Problémem obou křižovatek na silnici I/43 je levé odbočení z vedlejší komunikace, kde vozidla musejí čekat dlouhou dobu, než mohou odbočit, tento děj se odehrává ve všední dny v odpoledních hodinách. Další komplikací je křižovatka II/385 / II/386, od které se tvoří směrem z Brna do Tišnova dlouhá kolona procházející celým městem Kuřim a končí až za okružní křižovatkou. Zejména v pátek mezi 15. – 18. hodinou je situace nejhorší. Tato křižovatka je řízena světelnou signalizací. Nachází se zde i přechod pro chodce, který je řízen na základě výzvy.

Cílem práce bylo ověřit, zda by zmíněné dopravní situaci pomohlo liniové řízení, které by bylo umístěno na ulici Hradecké v Brně. Toto řízení by zpomalovalo vozidla už několik kilometrů před těmito problémovými úseky a bylo by sepnuto na základě detektoru, který by byl umístěn před křižovatkou se světelnou signalizací v obci Kuřim. Detektor by byl spuštěn při splnění daných kritérií. Ověření liniového řízení bylo provedeno pomocí softwaru pro mikro-simulační modely dopravního proudu v programu Aimsun. Proces prozkoumání se sestává z měření a analýzy charakteristik dopravního proudu, na jejichž základě byl zkompletován model stávajícího a nového stavu.

1 DOPRAVNÍ PRŮZKUM STÁVAJÍCÍHO STAVU

1.1 Úvod

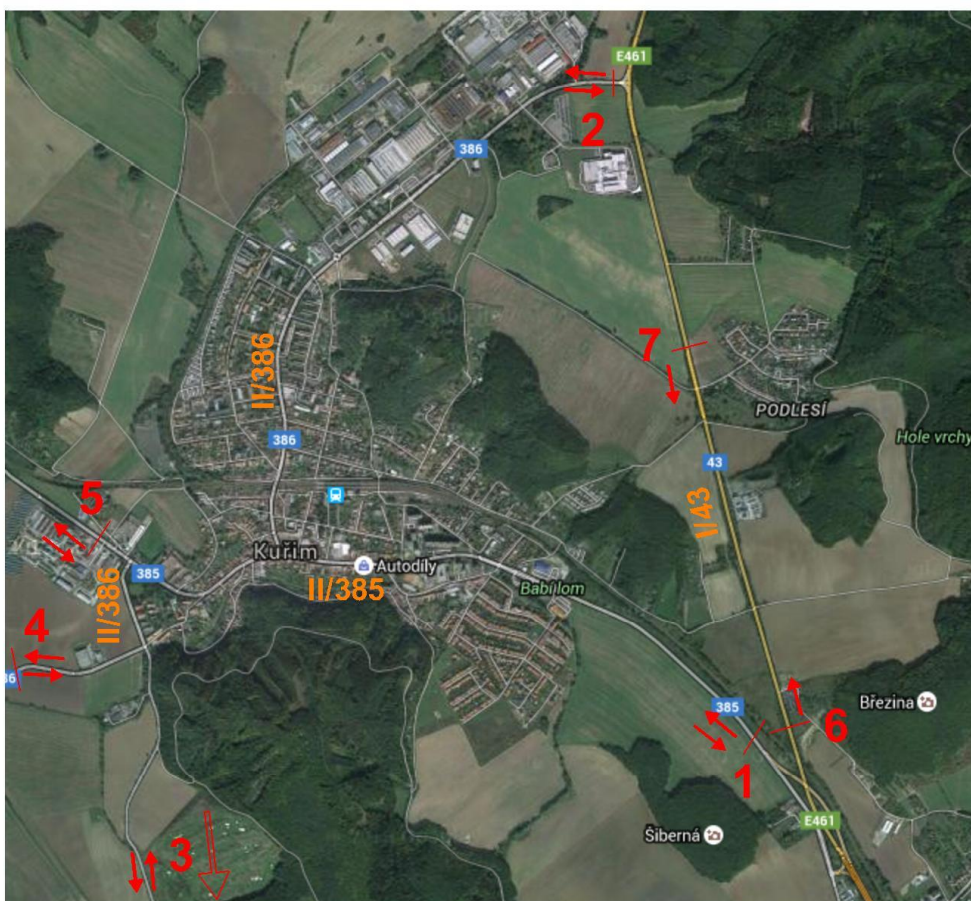
Jak již bylo zmíněno, problémem v dané oblasti jsou dlouhé kolony, které se tvoří především v pátek odpoledne, což můžeme vidět na obrázku 1. Je to obrázek z map společnosti Google, kde je možné si zobrazit provoz na silnicích. Provoz je zde zobrazen pomocí barev. Je možné vidět červené úseky především na silnici I/43 a II/385, kde bývá situace nejhorší.



Obrázek 1: Provoz v dané oblasti v pátek okolo 16. hodiny

Pro zjištění doby nejvyšších intenzit byla použita data změřená pomocí radarů v jednotlivých profilech. Toto vyhodnocování bylo prováděno již v bakalářské práci. Radary byly umístěny v profilech po dobu jednoho týdne. Rozmístění radarů je uvedeno na obrázku 2

níže. Červeně jsou zaznamenány stanoviště pro radarová měření a oranžově čísla komunikací. K měření bylo použito sedm stanovišť. Stanoviště 1 bylo umístěno na komunikaci II/385 za připojením sjezdu na Kuřim z rychlostní silnice., 2. stanoviště bylo ve směru na Lipůvku na silnici II/386. Další stanoviště číslo 3 bylo umístěno asi o 500 m blíže k Jinačovicím také na silnici II/386. 4. stanoviště se nacházelo ve směru na Veverskou Bítýšku, stanoviště 5 bylo umístěno směrem na Tišnov na komunikaci II/385. Poslední dvě stanoviště byla na silnici I/43 a bylo zde měřeno pouze v jednom směru a to na 6. stanovišti směrem na Lipůvku a na 7. v opačném směru na Brno. Na ostatních stanovištích byly umístěny radary pro měření v obou dopravních směrech. Ze získaných dat na jednotlivých stanovištích byly vytvořeny grafy, které jsou uvedeny v další kapitole.



Obrázek 2: Rozmístění radarů pro zjištění nejvyšších intenzit a nejnižších rychlostí

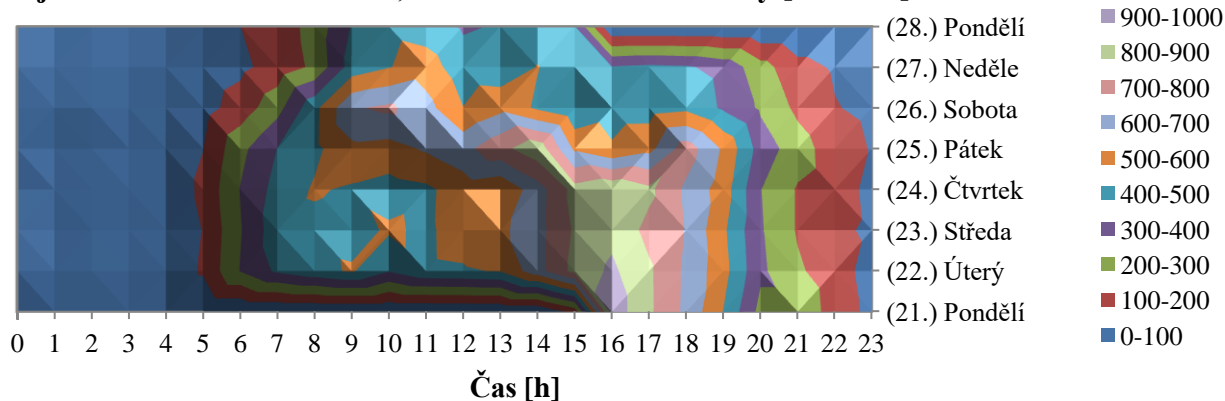
1.2 GRAFY PRO VYHODNOCENÍ DAT ZE STANOVIŠŤ RADARŮ

Z dat získaných na jednotlivých stanovištích, byly vytvořeny grafy rychlostí a intenzit. Na prvním grafu jsou vyobrazeny denní a hodinové intenzity vozidel v závislosti na čase. Na druhém grafu lze vidět závislost rychlostí na čase. Tento graf byl vytvořen pomocí klouzavého průměru, což je spojnice trendu k vyrovnání kolísavosti dat ke srozumitelnějšímu průběhu nebo trendu. Pro výpočet tohoto klouzavého průměru je vypočítán průměr z určitého počtu datových bodů. Tento počet se zadává jako období (ve všech těchto grafech byla použita hodnota 40) a první bod pro spojnici trendu je počítán jako průměr z prvních 40 bodů. Po výpočet je použit vzorec:

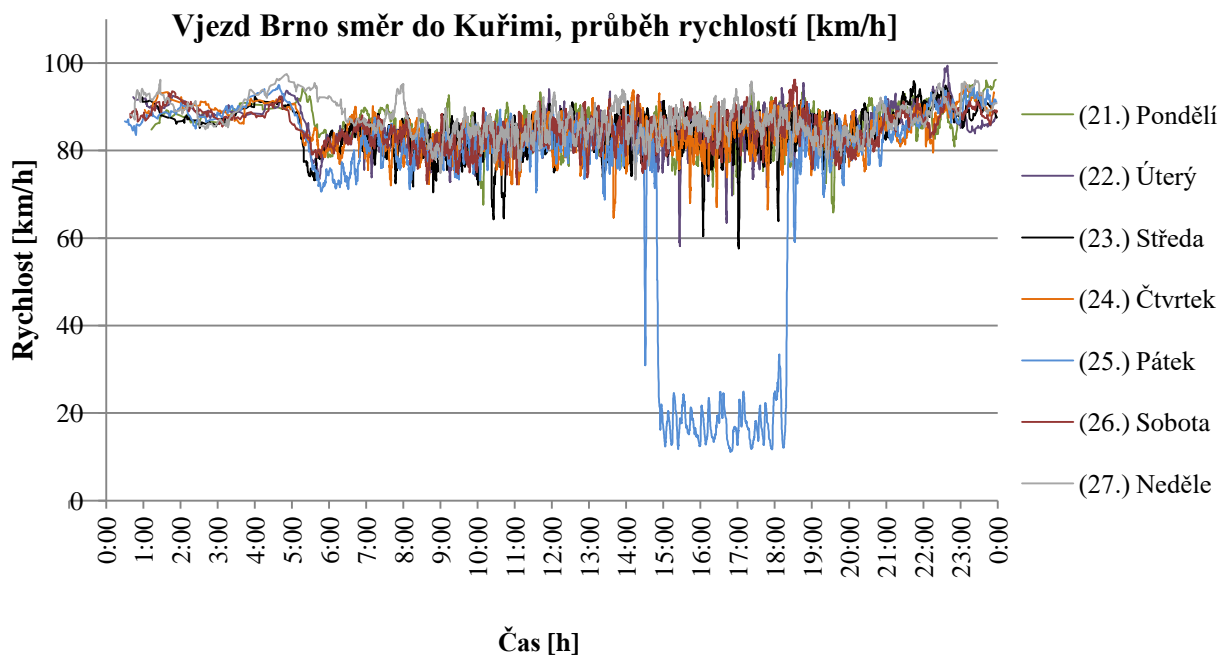
$$F_t = (A_t + A_{t-1} + \dots + A_{t-n+1})/n \quad (1.1)$$

Pro názornost jsou na obrázku 3 a 4 tyto grafy uvedeny, zbylé grafy jsou uvedeny v elektronické příloze. Následující grafy jsou ze stanoviště číslo 1 ve směru do Kuřimi. Radar na tomto stanovišti byl umístěn od 21. do 28. 9. 2009. Graf intenzit je prostorový a je z něj tedy lépe patrné, kdy byly intenzity vyšší a kdy nižší. Je tedy patrné, že nejvíce vozidel (800–1000 voz/h) se zde vyskytovalo od pondělí do čtvrtka mezi 15. a 17. hodinou. Na grafu rychlostí lze pozorovat výraznější pokles rychlostí v pátek mezi 15. – 18. hodinou. V tuto dobu je možné pozorovat v městě Kuřimi ve směru z Brna do Tišnova kolonu, která začíná na křižovatce II/385 / II/386 se signalizačním zařízením a končí až za okružní křižovatkou směrem na Brno. S poklesem rychlostí je možné pozorovat snížení intenzit, které s tímto souvisí.

Vjezd Brno směr do Kuřimi, denní a hodinové intenzity [voz/hod]



Obrázek 3: Graf intenzit v závislosti na čase ze stanoviště číslo 1 ve směru do Kuřimi



Obrázek 4: Graf rychlostí v závislosti na čase ze stanoviště číslo 1 ve směru do Kuřimi

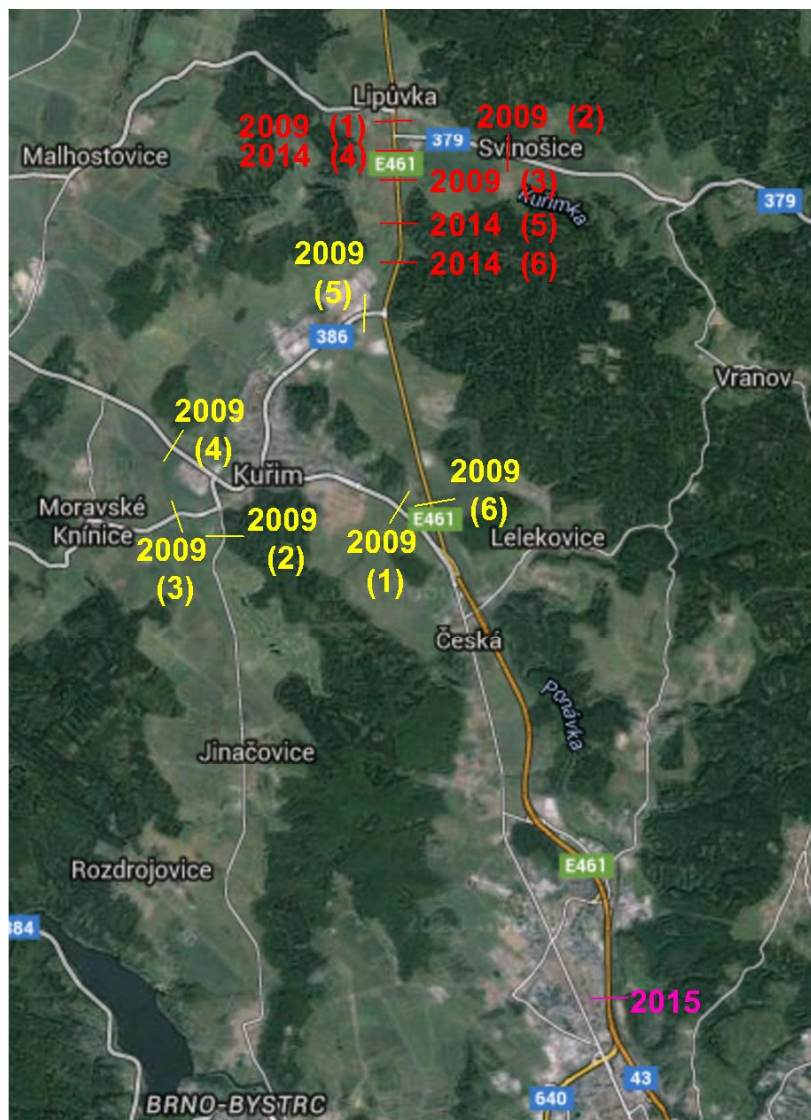
Na základě všech zpracovaných grafů byla vybrána doba s největší kongescí a to pátek mezi 16. a 17. hodinou.

1.3 ZPRACOVÁNÍ RADAROVÝCH DAT

Jak již bylo dříve zmíněno, byla použita data z týdenních radarových měření. Z těchto dat byly vyhodnoceny intenzity vozidel v jednotlivých dnech pro každou hodinu a následně rychlosti vozidel v jednotlivých dnech v závislosti na denní době. Jelikož se zvětšila řešená oblast, musela být použita data z více radarů. Umístění těchto radarů je uvedeno na obrázku 5, kde žlutě jsou znázorněny radary, které byly již použity v bakalářské práci pro obec Kuřim a červeně jsou znázorněny radary použité pro úsek Hradecká – Lipůvka. Radarová měření byla prováděna v různých letech, a to v roce 2009, 2013 a 2014. Intenzita v jednom profilu byla zjištěna ze sčítání dopravy ŘSD v roce 2010. Intenzity vozidel musely být tedy přepočítány do stejného roku, a to do roku 2014. Data byla přepočítána pomocí koeficientů, získaných podělením počtů vozidel, které byly naměřeny ve stejném profilu v jednotlivých letech.

Měření na komunikaci I/43 před sjezdem na obec Kuřim chybělo, muselo být tedy dodatečně provedeno. Toto měření probíhalo na ulici Hradecká, jak je uvedeno na obrázku 5 růžovou barvou. Měření probíhalo v pátek 12. 6. 2015 ve směru z Brna na Lipůvku. Byla

měřena intenzita v obou pružích vozidel osobních, nákladních a kamionů. Také byla v tomto profilu spočítána průměrná rychlost vozidel, která vyšla 85,5 km/h.



Obrázek 5: Stanoviště pro měření radarem

Intenzity vozidel naměřené radary na jednotlivých stanovištích mezi 16. a 17. hodinou v daném roce jsou uvedeny v tabulce 1 a to podle čísel jednotlivých stanovišť, které jsou uvedeny v závorkách na obrázku výše. Intenzity jsou rozděleny podle směru jízdy vozidel. Pro upřesnění, stanoviště 6 vyznačené žlutě přiřazené v tabulce ve směru do Kuřimi je myšlen dopravní směr na Brno a směrem z Kuřimi v tabulce je míněn směr do Lipůvky.

Tabulka 1: Intenzity vozidel na jednotlivých stanovištích změřené radarem

| stanoviště vyznačená žlutě | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|-------------|-----|-----|-----|-----|----------------|---------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| směr do Kuřimi | | | | | | | směr z Kuřimi | | | | | |
| čísla stanovišť | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| intenzita voz/h | 512 | 463 | 109 | 412 | 262 | 738 | 477 | 228 | 182 | 539 | 273 | 733 |
| stanoviště vyznačená červeně | | | | | | | | | | | | |
| směr do Lipůvky | | | | | | směr z Lipůvky | | | | | | |
| čísla stanovišť | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 1 | 2 | 3 | | | |
| intenzita voz/h | 728 | 262 | 859 | 883 | 847 | 929 | 725 | 273 | 670 | | | |
| ul. Hradecká | směr z Brna | | | | | | | | | | | |
| intenzita voz/h | 2634 | | | | | | | | | | | |

2 DOPRAVNÍ MODEL V PROGRAMU AIMSUN

2.1 Úvod

Modelování dopravy se používá v oboru dopravního inženýrství a stavitelství. S jeho pomocí je možné řešit složité úlohy a problémy. Tato disciplína vešla u nás do povědomí širší odborné veřejnosti v 80. letech 20. Století. Dnes existuje řada programů, ve kterých lze dopravní simulace provádět. Jednu takovou aplikaci vytvořila španělská společnost TSS, její program se jmenuje AIMSUN. Program umožňuje jednoduché ovládání, je umožněn i přístup k podrobným nastavením a modelování ve velkém rozsahu. Poskytuje možnost modelovat jeden jízdní pruh ale i celý region. Program AIMSUN umožňuje modelovat statickou i dynamickou dopravu v makroskopickém, mezoskopickém i mikroskopickém rozlišení. V této diplomové práci bylo využito mikroskopické rozlišení. Tento program je velmi účinným nástrojem dopravního inženýrství, lze v něm řešit složité dopravní sítě, ve kterých by se mohlo analytickými výpočty udělat spoustu chyb. Během poměrně krátké doby je možné vymodelovat složité dopravní sítě, kde se mohou navrhovat různé dopravní změny a zkusit různá řešení pro zlepšení dopravní situace. Další výhodou je porovnání výsledků, které lze získat z modelu ve velmi krátké době. Na základě výše vyjmenovaných předností byl program AIMSUN zvolen pro tvorbu modelu mé bakalářské a následně i diplomové práce, která na bakalářskou práci navazuje. Dopravní simulace má předejít špatným úsudkům nebo výpočtům, díky kterým se na zlepšení dopravní situace mohou investovat nemalé peněžní částky.

Tato příloha má popsat postupnou tvorbu dopravního modelu od zpracování dat, přes ladění modelu pro stávající stav, až po návrh řešení. V tomto případě se jedná o vliv liniového řízení na tvorbu několikakilometrových kolon vozidel. Pro simulaci byly vytvořeny 3 křižovatky na silnici II/385, mimoúrovňová křižovatka a 2 křižovatky na silnici I/43. V následujících kapitolách se pokusím popsat jednotlivé fáze modelování. Nejdříve je v každé podkapitole popsána tvorba modelu obce Kuřimi, ta byla prováděna již v bakalářské práci, ale musela být provedena znovu v novější verzi programu a následně propojení s komunikací I/43. Tvorba modelu byla provedena v programu AIMSUN verze 8.0.8. V další podkapitole je popsán Car-Following model, tedy model následujícího vozidla, pro stručné objasnění fungování modelu.

2.2 CAR-FOLLOWING MODEL

Model následujícího vozidla je založen na Gippsově modelu. Ten může být pro tento případ považován k vývoji empirického modelu, ve kterém parametry modelu nejsou globální, ale určují vliv lokálních parametrů v závislosti na „typu řidiče“ (respektování rychlostních limitů vozidla), geometrii komunikace (omezení rychlosti v úseku, omezení rychlosti ve směrových obloucích, atd.), vlivu vozidel v sousedních pružích, atd. (Aimsun 8 Users' Manual, July 2014)

V podstatě se tento model skládá ze dvou komponentů, z akcelerace a decelerace. Akcelerace představuje záměr vozidla dosáhnout požadované rychlosti, zatímco decelerace představuje omezení vyplývající z předcházejícího vozidla, když se snaží jet požadovanou rychlostí. (Aimsun 8 Users' Manual, July 2014)

Tento model uvádí, že maximální rychlost, kterou vozidlo (n) může akcelarovat během časové periody (t, t + T) je dáno vztahem:

$$V_a(n, t + T) = V(n, t) + 2.5a(n)T \left(1 - \frac{V(n, t)}{V^*(n)} \right) \sqrt{0.025 + \frac{V(n, t)}{V^*(n)}} \quad (2.1)$$

kde: $V(n, t)$ je rychlost vozidla n v čase t

$V^*(n)$ je požadovanou rychlostí vozidla (n) pro dopravní proud sekce

$a(n)$ je maximální akcelerace vozidla n

T je doba reakce

Na druhé straně maximální rychlost, které může to stejné vozidlo (n) dosáhnout během stejného časového intervalu (t, t + T), podle jeho charakteristik a omezení vyplývajících z přítomnosti vedoucího vozidla (vozidlo n - 1) je:

$$V_b(n, t + T) = d(n)T + \sqrt{d(n)^2 T^2 - d(n) \left[2\{x(n-1, t) - s(n-1) - x(n, t)\} - V(n, t)T - \frac{V(n-1, t)^2}{d'(n-1)} \right]} \quad (2.2)$$

Kde:

$d(n)$ (< 0) je maximální decelerace požadovaná vozidlem n

$x(n, t)$ je pozice vozidla n v čase t

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

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

$d'(n - 1)$ je odhad vozidla $(n - 1)$, které požaduje zpomalení

V každém případě definitivní rychlost vozidla n během časového intervalu $(t, t + T)$ je minimum z těchto předem definovaných rychlostí:

$$V(n, t + T) = \min \{V_a(n, t + T), V_b(n, t + T)\} \quad (2.3)$$

Potom poloha vozidla n v jízdním pruhu je aktualizována při této rychlosti do pohybové rovnice:

$$x(n, t + T) = x(n, t) + V(n, t + T)T \quad (2.4)$$

Odhad decelerace vedoucího vozidla je funkcí parametru a definovaného podle typu vozidla, s názvem „Faktor citlivosti“ a potom model je:

$$d'(n - 1) = d(n - 1) * a \quad (2.5)$$

Když a je menší než 1, vozidlo podceňuje zpomalení vedoucího vozidla a v důsledku toho se stává více agresivním, zmenšuje se tedy mezera s následujícím vozidlem. Pokud je a větší než 1, vozidlo přeceňuje deceleraci vedoucího vozidla a následkem toho se vozidlo stává více opatrným a tím se zvětšuje mezera mezi ním a vedoucím vozidlem. (Aimsun 8 Users' Manual, July 2014)

Model zahrnuje i minimální mezeru mezi vedoucím vozidlem a jemu následujícím jako složka omezující deceleraci. Toto omezení je použito před aktualizací polohy a rychlosti vozidla, to znamená před aplikací rovnice (2.4).

Omezení minimální časové mezery (headway) je definováno jako:

$$\text{Když } x(n - 1, t + T) - [x(n, t) + V(n, t + T)T] < V(n, t + T) \text{ MinHW}(n)$$

$$\text{potom } V(n, t + T) = (x(n - 1, t + T) - x(n, t)) / (\text{MinHW}(n) + T)$$

kde: $x(n, t)$ je pozice vozidla n v čase t

$$x(n - 1, t) \text{ je pozice předcházejícího vozidla } (n - 1) \text{ v čase } t$$

MinHW(n) je minimální časová mezera vozidla (n) pokud jde o vozidlo následující. (Aimsun 8 Users' Manual, July 2014)

2.3 ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH DAT

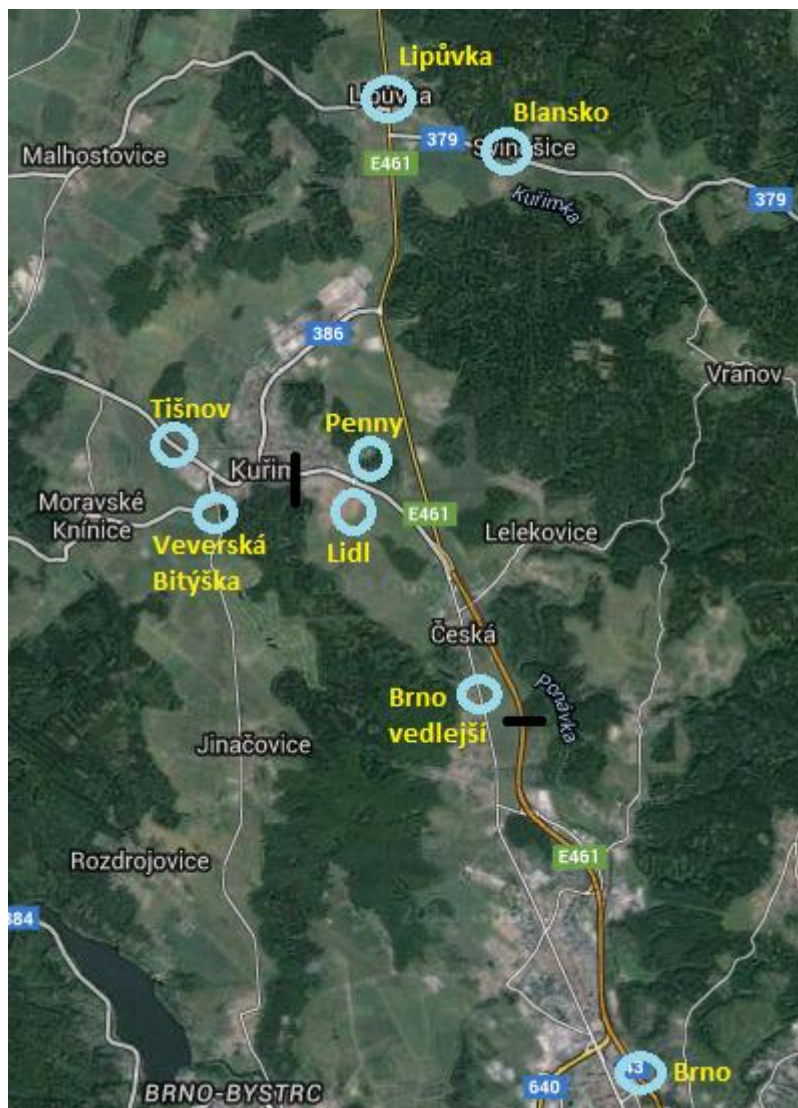
2.3.1 ANALÝZA A VOLBA OBDOBÍ SIMULACE

Pokud chceme přesnější dopravní simulaci, potřebujeme k tomu přesná vstupní data a jejich vyhodnocení. Důležité jsou také okrajové podmínky. Získání dat pro stávající stav je popsáno v předchozí kapitole a je zde i podrobněji rozebráno. Nyní se tedy podívejme na data z hlediska modelování.

Z grafů zpracovaných z radarových dat je patrné, že ve sledovaném území jsou dvě kritická časová období. První doba je v pondělí ráno a druhá v pátek odpoledne. V pátek mezi 15. a 18. hodinou se tvoří dlouhé kolony ve směru z Brna od sjezdu na Kuřim ve směru na Lipůvku a také v obci Kuřim od světelně řízené křižovatky (II/385 / II/386) až za okružní křižovatku. V pondělí se kolona tvoří mezi 7. a 8. hodinou v obci Kuřim ve směru z Tišnova do Brna. Jelikož v pátek jsou kolony vozidel nejdelší a trvají déle než v pondělí, byl zvolen pátek odpoledne pro vytváření simulace. Nyní musíme přistoupit k zvolení časového rozmezí, kdy bude simulace probíhat. Časové rozmezí je důležitým parametrem pro vytváření simulace. V tomto případě byla vybrána špičková hodinová intenzita a to v pátek od 16. do 17. hodiny. Hodinová simulace pro ověření funkčnosti liniového řešení postačí. Další potřebnou věcí k vytvoření modelu byla matice přepravních vztahů popsanou níže.

2.3.2 MATICE PŘEPRAVNÍCH VZTAHŮ

Bylo modelováno několik křižovatek, a jelikož dopravní síť byla složitá, nebylo možné použít procentuální počet odbočujících vozidel na jednotlivých křižovatkách. Bylo tedy nutné do modelu zadat matici pro celý model. Pro odhad matice byly použity intenzity vozidel přepočtené v jednotlivých profilech do roku 2014. Tímto byly získány počty vozidel v jednotlivých profilech a koncových uzlech. Rozmístění koncových a počátečních uzlů je zobrazeno pomocí modrých kroužků na obrázku 6, jsou zde žlutě zobrazeny i dopravní směry.



Obrázek 6: Centroidy a dopravní směry

Následně byl sestaven odhad matice přepravních vztahů na základě známého procentuálního počtu odbočujících vozidel na jednotlivých křižovatkách. Byl porovnán počet vozidel naměřených a odhadovaných v jednotlivých profilech, kde kritériem byla desetiprocentní odchylka. Toto kritérium jsem si zvolila a je odvislé od kvality vstupních dat. V případě, že byl procentuální rozdíl větší než dané kritérium, přerozdělila jsem vozidla v jednotlivých směrech. Celkový počet vozidel zůstal tedy stejný, protože jsem nepřidávala vozidla nová. Kritérium se mi podařilo splnit u všech dopravních směrů kromě jednoho, a to ve směru z Brna. Dílčí součty v tomto směru se vešly do požadovaného kritéria, pouze celkový součet vozidel ve směru z Brna byl menší, než měl být podle daného desetiprocentního kritéria. Bylo to způsobeno tím, že byly provedeny směrové a profilové dopravní průzkumy. Pro větší přesnost by bylo potřeba udělat průzkumy typu „zdroj-cíl“, které by bylo

provedeno ve stejný rok, ale v rámci diplomové práce toto není možné realizovat. Matice je tedy zatížena chybou, ale pro účel ověření liniového řízení to je postačující. Do počtu vozidel jsou zahrnuta i nákladní vozidla a kamiony. Matice byla poté rozdělena v poměru takovém, že 93% byla vozidla osobní, 5% nákladní vozidla a 2% kamiony. Toto procentuální rozdělení bylo stanoveno na základě sčítání, které jsem prováděla v roce 2014 v obci Kuřim a podle měření v roce 2015 na ulici Hradecká.

Tabulka 2: Matice přepravních vztahů

| | Tišnov | Vev. Bit. | Penny | Lidl | Brno | Brno,vedl. | Blansko | Lipůvka | Suma | Procenta |
|---|--------|-----------|-------|------|------|------------|---------|---------|------|----------|
| Tišnov | | 70 | 26 | 65 | 210 | 128 | 33 | 51 | 583 | 10% |
| Vev. Bit. | 50 | | 7 | 21 | 41 | 24 | 22 | 25 | 190 | 10% |
| Penny | 27 | 18 | | 11 | 25 | 6 | 2 | 6 | 95 | -5% |
| Lidl | 30 | 17 | 26 | | 37 | 34 | 3 | 6 | 153 | -3% |
| Brno | 403 | 205 | 45 | 113 | | 0 | 196 | 806 | 1768 | -16% |
| Brno,vedl. | 140 | 70 | 15 | 22 | 0 | | 20 | 25 | 292 | -3% |
| Blansko | 28 | 7 | 1 | 3 | 159 | 10 | | 105 | 313 | -7% |
| Lipůvka | 84 | 32 | 3 | 4 | 720 | 33 | 110 | | 986 | 4% |
| Součet | 762 | 419 | 123 | 239 | 1192 | 235 | 386 | 1024 | 4380 | |
| Procentuální rozdíl oproti skutečnému počtu | 10% | 10% | 3% | 2% | -8% | -10% | 10% | 10% | | |

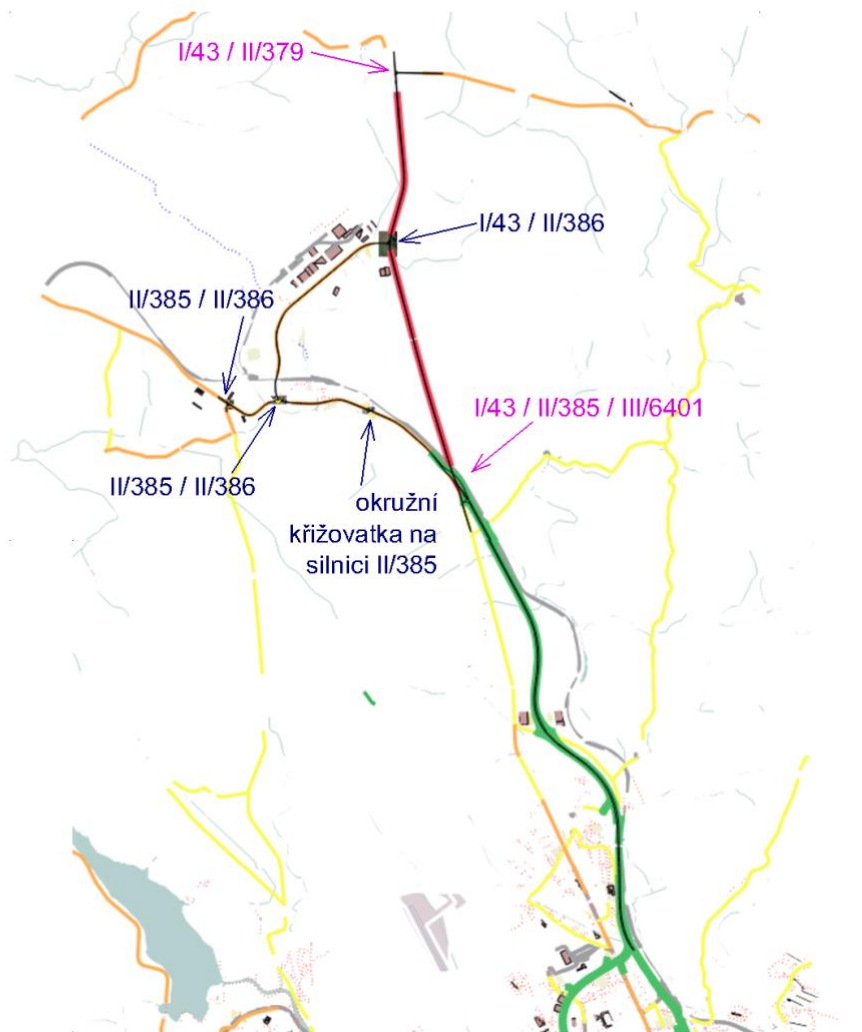
Poněvadž se v modelované oblasti nachází 2 přechody pro chodce, které mají na dopravu největší vliv. Tyto přechody se nachází v Kuřimi. Bylo tedy provedeno sčítání chodců, kteří zde mezi 16. a 17. hodinou projdou. Z těchto dat byla vytvořena matice a také vložena do modelu. Bylo spočítáno i roční průměr denních intenzit, který byl 8 197 voz/den. Odchylka tohoto výpočtu je 30 %.

Získáním těchto všech dat jsem mohla přistoupit k vlastní tvorbě modelu v programu AIMSUN.

2.4 EDITACE MODELU

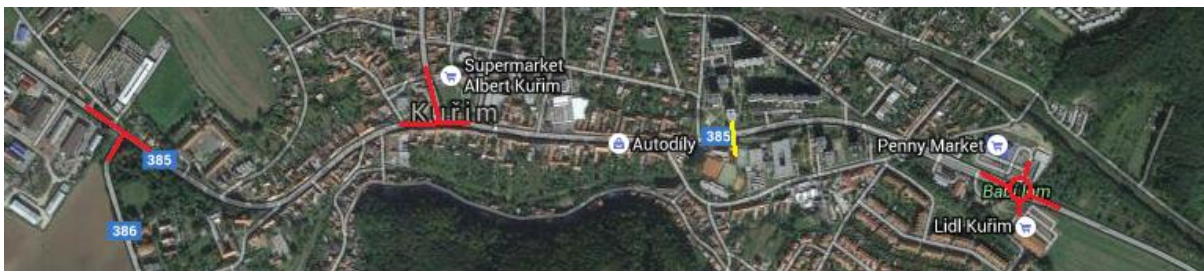
2.4.1 PODKLAD A GEOMETRICKÉ USPOŘÁDÁNÍ

Při tvorbě bakalářské práce byl model města Kuřimi vytvářen ve starší verzi programu a to v Aimsunu 6.1. Na diplomovou práci byla k dispozici novější verze Aimsunu 8.0.8, ve které musel být model znovu vytvořen a zkalibrován, a následně byla dopravní síť rozšířena, což bude podrobněji vysvětleno dále. Pro editaci modelu je možné použít více způsobů. Prvním způsobem je pomocí výkresu ve formátu dwg, druhým způsobem je editace nad obrázkem a třetí způsob je pomocí OpenStreetMap. Z důvodu velkého rozsahu modelu nebylo možné použít editaci pomocí obrázku. Aby byla přijatelná kvalita podkladního obrázku, musel by mít velké rozlišení, to ale vedlo k nepřiměřeným nárokům na výpočetní výkon programu. Musela jsem tedy přistoupit k editaci pomocí OpenStreetMap. Na těchto internetových stránkách jsem vyexportovala svou požadovanou oblast a následně ji vložila jako podklad do modelu. Část tohoto podkladu je zobrazena na obrázku 7. Je to síť, kde jsou zobrazeny pozemní komunikace, železnice, domy, lesy, vodní toky apod. Bylo využito i obrázkového podkladu a to v místě křížení komunikací pro větší přehlednost, tyto křižovatky jsou zaznačeny v obrázku modře. Fialově jsou značeny křižovatky bez obrázkového podkladu, ale i tyto křižovatky byly detailně vymodelovány. Jednotlivé křižovatky budou vyobrazeny níže. Jelikož se mi nepodařilo získat stávající stav křižovatky I/43 / II/379 z ortofotomap, ponechala jsem zde pouze podklad z OpenStreetMap. Tyto obrázky se musely vkládat pomocí toho, kolik pixelů připadá na jeden metr, aby byl podklad vložen ve správném měřítku.



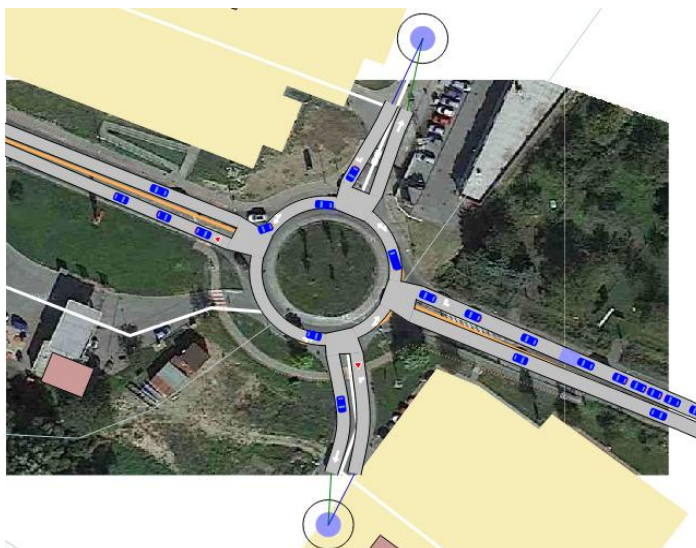
Obrázek 7: Část podkladu modelu- začátek Hradecké

Program AIMSUN umožňuje zadávat základní prvky, s pomocí nichž lze poskládat výsledný model. Mezi základní prvky patří sekce (sections), křižovatky (nodes) a zdroje a cíle dopravních cest (centroids). V rámci uzlů byly editovány jednotlivé trasy vozidel, přednosti, případné stop čáry a také rychlost vozidel v jednotlivých úsecích. Všechny odbočovací a připojovací pruhy byly provedeny ve skutečné délce zjištěné z map anebo přímo z terénu, pokud uspořádání na mapách nebylo aktuální. V bakalářské práci byly vytvořeny tři křižovatky v obci Kuřim, ty jsou vyznačeny na následujícím obrázku 8 červeně a jeden světelný přechod pro chodce, jehož umístění je znázorněno žlutou čarou. Jak již bylo zmíněno, bylo zapotřebí tyto křižovatky i se spojujícími komunikace vytvořit znovu v novější verzi programu. První křižovatka byla okružní a další dvě byly stykové.



Obrázek 8: Kuřim s vyznačeným křížením komunikací a světelným přechodem modelované v bakalářské práci

Kruhový objezd byl vytvořen se čtyřmi vjezdy, jeden vjezd k čerpací stanici byl zanedbán, jelikož oproti ostatním intenzitám byl tento počet vozidel zanedbatelný (2,5% počtu vozidel ze všech vjezdů na kruhový objezd).

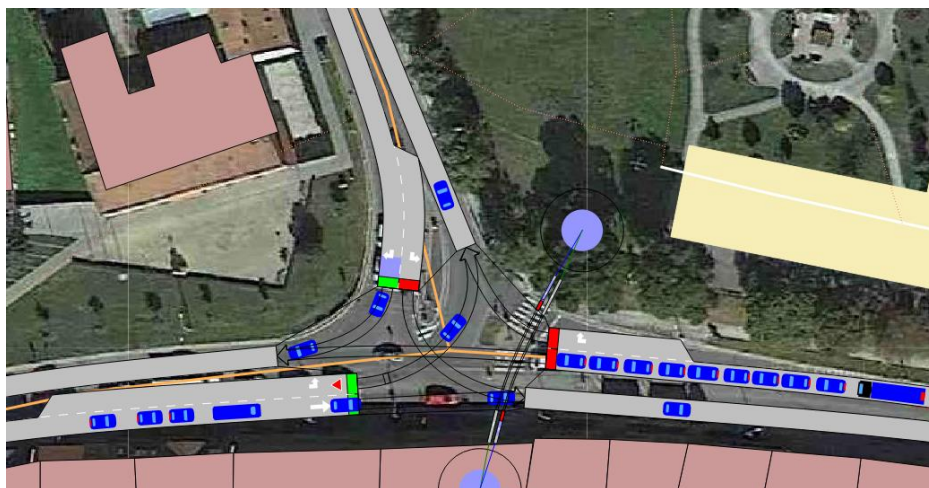


Obrázek 9: Model okružní křižovatky II/385



Obrázek 10: Pohled na okružní křižovatku v Kuřimi z jízdního pruhu ve směru z Tišnova

Dále byla modelována styková křižovatka II/385 / II/386 řízená světelnou signalizací. Je zde zadán dynamický signální plán, z důvodu přechodu pro chodce, který je řízen na základě výzvy chodců. Pokud nejsou chodci přítomni, prodlužuje se čas zelené pro vozidla a je tedy dosaženo větší kapacity křižovatky.

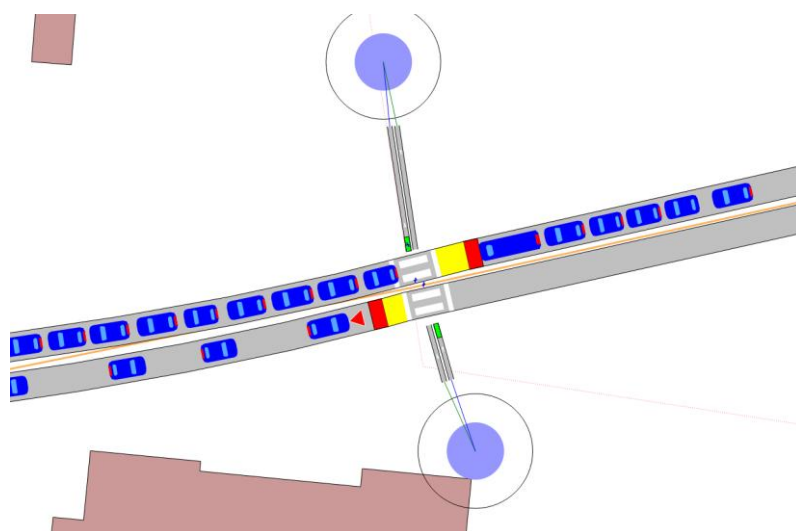


Obrázek 11: Model křižovatky II/385 / II/386 se světelnou signalizací



Obrázek 12: Pohled na světelně řízenou křižovatku II/385 II/386 v Kuřimi ve směru z Tišnova

Mezi dvěma výše zmíněnými křižovatkami se nachází světelný přechod pro chodce, který je také řízen pouze na základě poptávky chodců. Tento přechod byl považován za pravděpodobnou příčinu vzniku kolon, což se ale nepotvrdilo.

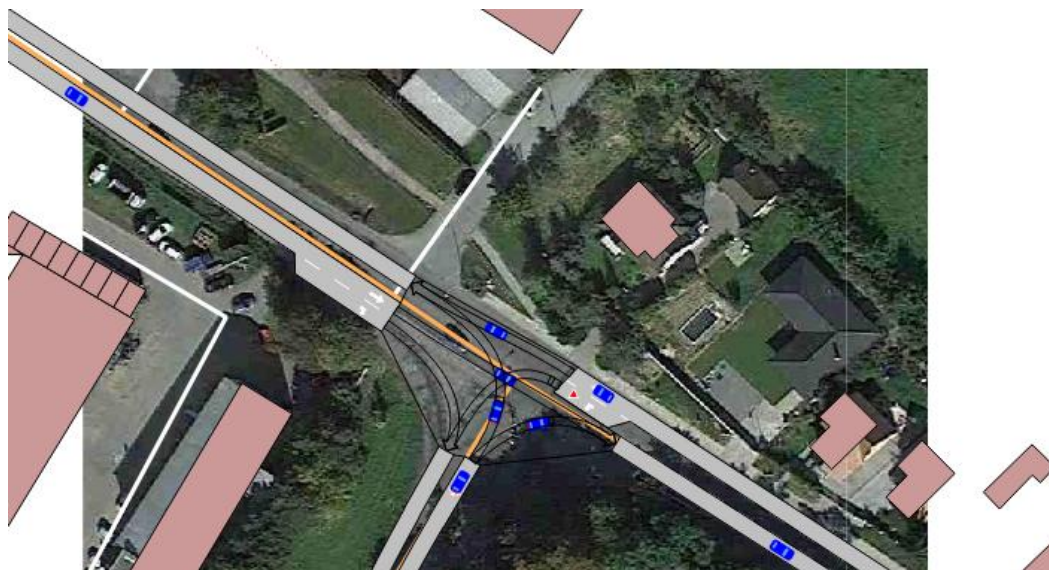


Obrázek 13: Model přechodu pro chodce řízený světelnou signalizací na silnici II/385



Obrázek 14: Pohled na světelný přechod pro chodce v obci Kuřim

Poslední modelované křížení komunikací v Kuřimi je křižovatka II/385 / II/386 ve směru na Tišnov a Veverskou Bitýšku. Silnice II/385 při odbočování na Veverskou Bitýšku směrem z Kuřimi je rozšířená a řidiči tohoto rozšíření využívají jako odbočovací pruhu a průběžného pruhu. Z tohoto důvodu jsem zřídila odbočovací pruh v tomto místě.



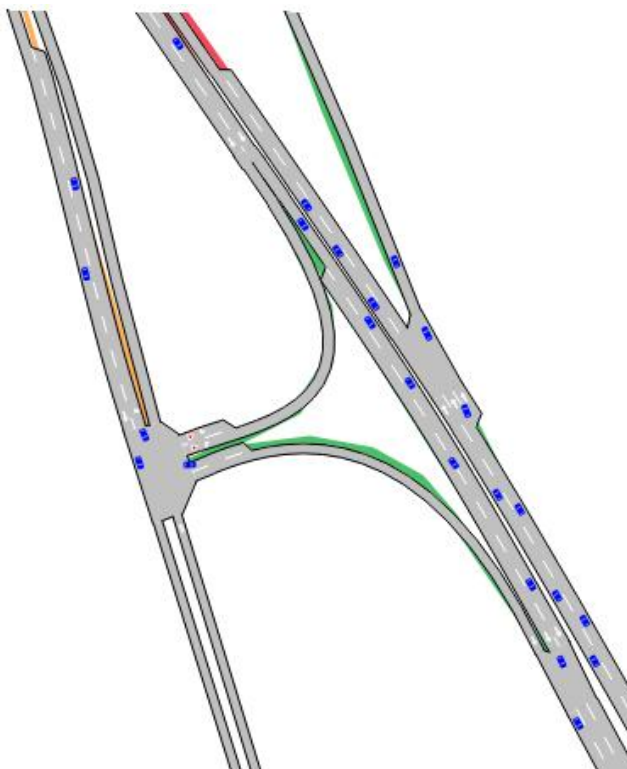
Obrázek 15: Model křižovatky II/385 / II/386 ve směru na Veverskou Bítýšku a Tišnov



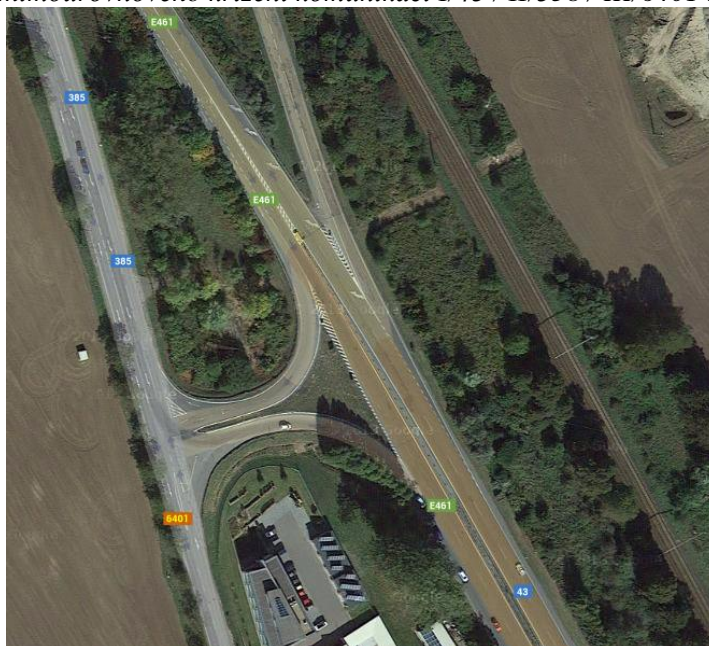
Obrázek 16: Křižovatka II/385 / II/386 ve směru z Tišnova

Jak již bylo řečeno, ve své diplomové práci tuto oblast rozšiřuji a to o další tři křižovatky, z nichž jedna je mimoúrovňová. První křižovatka, která je mimoúrovňová, se skládá z jedné stykové křižovatky, dvou odpojovacích pruhů a jednoho připojovacího pruhu. Část komunikace I/43, která je rychlostní komunikací, je vedena ve dvou jízdnicích v obou směrech, dopravní pásy jsou od sebe směrově odděleny. Styková křižovatka byla vymodelována v místě, kde se stýkají silnice II/385, III/6401 a na tyto silnice se napojuje I/43, ta slouží pro sjezd z rychlostní komunikace a najezd na rychlostní komunikaci. Na sjezdu z této komunikace jsou zřízeny odbočovací pruhy pro levé i pravé odbočení. Připojovací pruh byl přidán i na silnici II/385 pro levé odbočení a následně i pro připojení na najezdovou

rampu na komunikaci I/43, což je vidět na obrázku 17 níže. Sjezd, který je v pravé části obrázku, vede do obce Kuřim a je křížen mimoúrovňově se silnicí I/43. Přibližně 250 m před odpojovacím pruhem tohoto sjezdu je ukončená rychlostní komunikace. A 100 m za tímto sjezdem je komunikace zúžena do jednoho jízdního pruhu.



Obrázek 17: Model mimoúrovňového křížení komunikací I/43 / II/358 / III/6401 mezi Brnem a Kuřimí

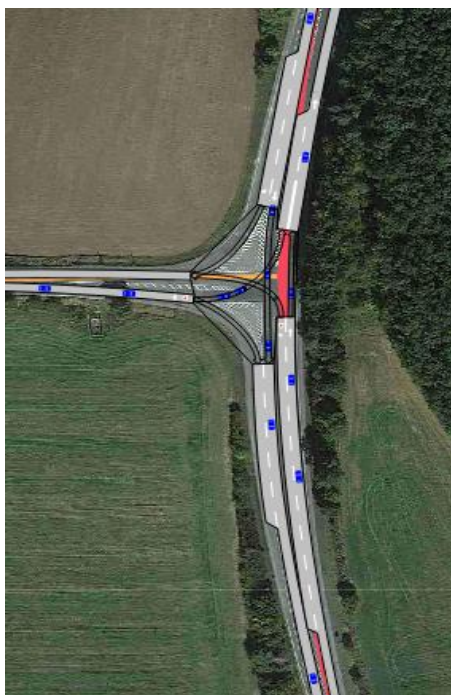


Obrázek 18: Mimoúrovňová křižovatka před obcí Kuřim

Další modelovaná křižovatka je styková a nachází se mezi Kuřimí a Lipůvkou. Je to křížení komunikací II/386 / I/43, kde je v současné době upravené značení svislé i vodorovné. Před křižovatkou je snížena rychlost nejprve na 70 km/h a poté na 50 km/h a to v obou směrech. Také je nově zřízen přípojovací pruh na hlavní komunikaci I/43 při levém odbočení z vedlejší silnice II/386. Tento přípojovací pruh je oddělen po obou stranách pruhu směrovacími deskami (č. Z 4e), které znemožňují přejetí do jiného pruhu. Po pravé straně přípojovacího pruhu byly tyto značky pouze na krátkém úseku, což je vidět na obrázku 19. V modelu jsem toto značení nahradila plnou čarou pro znemožnění přejetí do pravého pruhu.



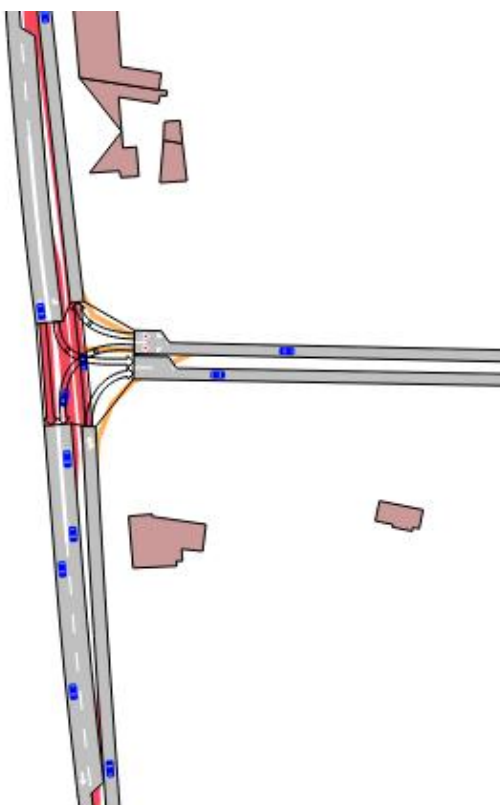
Obrázek 19: Nová úprava křižovatky I/43 / II/386



Obrázek 20: Model křižovatky I/43 / II/386

Dále byly na hlavní komunikaci I/43 zřízeny odbočovací pruhy pro levé a pravé odbočení. A také přípojovací pruh ve směru z Lipůvky na Brno. Přípojovací pruh ve směru na Lipůvku slouží k rychlejšímu odbočení vozidel z vedlejší komunikace. Jelikož vozidla nemusí čekat, až se objeví potřebná časová mezera na hlavní silnici v obou směrech pro možnost zařazení se vozidla na hlavní silnici. Postačí, když se tato časová mezera objeví pouze v jednom dopravním směru.

Poslední modelovanou křižovatkou byla styková křižovatka v Lipůvce, kde se kříží komunikace I/43 / II/379. Na hlavní komunikaci I/43 ve směru na Brno je vybudován pruh pro levé odbočení, který je od průběžného pruhu oddělen betonovými svodidly, což je v modelu znázorněno plnou čarou mezi těmito dvěma jízdními pruhy. Stejně je tomu tak u připojovacího pruhu ve směru na Brno, kde jsou také betonová svodidla. Na vedlejší komunikaci II/379 jsou odbočovací pruhy pro levé i pravé odbočení a je zde také vybudován krátký připojovací pruh pro vozidla, která odbočují doleva z hlavní komunikace.



Obrázek 21: Model křižovatky I/43 / II/379



Obrázek 22: Křižovatka I/43 / II/379 v Lipůvce ve směru z Brna

Tímto byla dotvořena kostra modelu, kdy jsou všechna nastavení ve výchozí podobě. Úprava vlastností bude následovat u ladění modelu, kdy bude žádoucí se co nejvíce přiblížit stávajícímu stavu. Nyní je třeba zatížit vymodelované silnice dopravním provozem.

2.4.2 ZADÁNÍ DOPRAVNÍHO ZATÍŽENÍ A UVEDENÍ SIMULACE DO CHODU

Nejprve musí být vytvořeny tzv. centroidy, což jsou zdroje a cíle dopravy, jejich rozmístění je na obrázku 6. Nyní musí být do matice zadáno dopravní zatížení, které bude v tomto případě vloženo pomocí matice přepravních vztahů, která je podrobněji popsána v dřívější kapitole.

V bakalářské práci byla zadána také matice pro chodce, kteří se pohybovali po přechodech se světelnou signalizací. Přechod pro chodce mezi křižovatkou II/385 / II/386 a okružní křižovatkou je řízen na základě výzvy chodců. Bylo nutné provést sčítání intenzit mezi 15. a 16. hodinou. Na základě zjištění kolikrát byla do hodiny zelená na signalizačním zařízení pro chodce, byly vytvořeny desetiminutové intervaly, během nichž byla pro chodce pětkrát zelená. Dále byl zadán dynamický signální plán na stykové křižovatce II/385 / II/386, kde se nachází i přechod pro chodce řízený na základě výzvy chodců. Což bylo do modelu zadáno pomocí detektoru umístěného na chodníku před přechodem pro chodce.

V rámci diplomové práce byla následně zadána matice pro vozidla, pohybující se celým modelem mezi jednotlivými centroidy. Tímto bylo zadáno dopravní zatížení. Následně bylo ještě třeba zadat některé parametry, zejména rychlosti, a simulace mohla být spuštěna a pozorováno chování vozidel. To je ale popsáno v následující kapitole.

2.5 KALIBRACE MODELU, PŘIBLIŽOVÁNÍ SE SKUTEČNOSTI

2.5.1 PŘEDPOKLADY PRO SPRÁVNÉ FUNGOVÁNÍ MODELU

Je nutné si nejdříve vytyčit cíle, ke kterým má být směřováno, pro správnou kalibraci modelu. Největším problémem je páteční odpoledne, kdy se tvoří kolony téměř přes celou obec Kuřim. Bylo tedy třeba model nastavit, tak aby se pokud možno co nejvíce blížil skutečnosti. Musely být změněny některé parametry v modelu. Pro ladění modelu bylo

použito měření rychlostí v místech zakreslených na obrázku 6 černými značkami. Při ladění modelu se může stát, že přenastavováním parametrů ve snaze přiblížit se skutečnému stavu, se v některých parametrech od skutečnosti odlišuje. Byla snaha o úpravu parametrů takovým způsobem, aby se pokud možno co nejvíce blížil skutečnosti.

2.5.2 NASTAVENÍ PARAMETRŮ

Před samotnou kalibrací modelu bylo nutné nastavit některé parametry. Bylo použito více typů komunikací (Road Type) a to ulice (street), silnice (road) a dálnice (freeway). Tyto jednotlivé typy komunikací se od sebe liší nastavením parametrů např. maximální rychlostí (Maximum Speed), šířkou jízdního pruhu (Lane Width), kapacitou jízdního pruhu (Capacity per lane). Pro silnice typu dálnice musela být zvýšena maximální rychlost vozidel na 130 km/h, která je na rychlostním úseku silnice I/43. Dále byly nastaveny rychlosti na jednotlivých úsecích silnice I/43, jelikož tato rychlostní komunikace prochází městem je zde rychlost snížena na 80 km/h, na konci města Brna se rychlost zvyšuje na 130 km/h a před sjezdem na Kuřim, kdy končí rychlostní komunikace, je rychlost opět snížena a to na 90 km/h. Před křižovatkou I/43 / II/386, která je nyní upravena, je rychlost snížena nejprve na 70 km/h a následně na 50 km/h. Nastavování rychlostí v jednotlivých úsecích bylo prováděno v nastavení každé vytvořené sekce (section) v záložce jízdní pruhu (Lanes), kde je možné nastavit rychlost v každém segmentu sekce. Tímto byly nastaveny všechny rychlosti tak, aby odpovídaly skutečnosti.

Jelikož byly vytvořeny matice přepravních vztahů pro osobní vozidla, nákladní automobily a kamiony a ve verzi Aimsunu 8.0.8 nebyla definována nákladní vozidla, musel být tedy tento typ vozidla vytvořen. Při tomto definování bylo vycházeno z parametrů osobního vozidla, kde byla zvětšena délka vozidla, snížena rychlost, zvětšena minimální vzdálenost mezi vozidly, prodloužen čas pro dání přednosti v jízdě, snížena maximální akcelerace a decelerace.

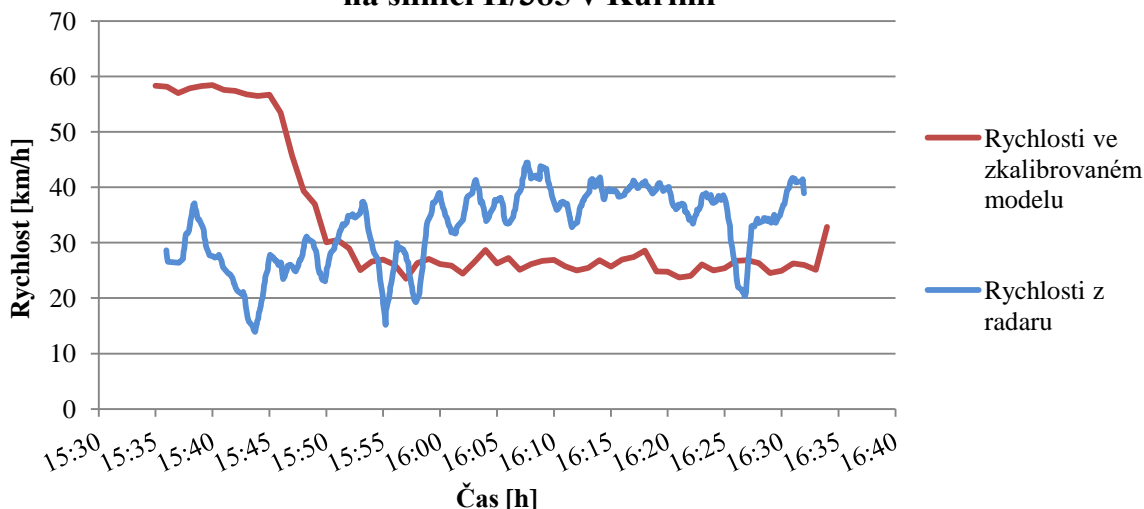
Po nastavení těchto parametrů mohla být simulace spuštěna. Následovala vizuální kontrola, která je prvotním krokem pro přiblížení se chování vozidel v modelu jako ve skutečnosti. Bylo vyzorováno, že vozidla na křižovatkách I/43 / II/386 ve směru na Lipůvku a I/43 / II/379 směrem na Brno se z průběžného pruhu zařazovala do připojovacího

pruhu místo toho aby pokračovala v jízdě průběžným pruhem. Musel být u připojovacích změn typ silnic z typu Street na On/Off Ramp. On/Off Ramp má upravené nastavení tak, aby se vozidla řadila buďto z připojovacího pruhu do průběžného anebo z průběžného pruhu do odbočovacího. Tímto přenastavením se vozidla již nepřerazovala z průběžného pruhu do připojovacího a chovala se tak jako vozidla ve skutečnosti. Jelikož poté vozidla jezdila bez dalších vyzorovaných komplikací, mohlo být přistoupeno ke kalibraci modelu.

2.5.3 KALIBRACE MODELU

Aby bylo možné navrhovat řešení dané dopravní situace, je třeba nejdříve vytvořit model odpovídající stávajícímu stavu. Což bude provedeno pomocí kalibrace modelu. Nejdříve byla provedena kalibrace obce Kuřimi, která byla provedena jako první. Tato kalibraci byla již prováděna v bakalářské práci, ale nyní bylo zapotřebí ji udělat v novější verzi programu. Některé parametry byly převzaty z kalibrace modelu ve starší verzi Aimsunu, některé parametry ale musely být ještě upraveny. V modelu se tvořila kolona ve směru z Brna na Tišnov od stykové křižovatky se světelnou signalizací, tak jak tomu bylo ve skutečnosti, ale délka této kolony byla v modelu větší. Vozidla v modelu se také pohybovala menší rychlostí. Byla tedy zvýšena rychlost v parametrech jednotlivých komunikací na 60 km/h. Některá vozidla jezdí i o 10 km/h rychleji než je povoleno. Dále byla v dynamickém experimentu zvýšena reakční doba vozidel z 1,35 sekundy na 1,5 sekundy, což odpovídá skutečné reakci řidičů na neočekávanou situaci. Byla snížena doba simulačního kroku. Dále byla upravena reakční doba při zastavení vozidla a reakční doba na semaforu na 1,5 vteřiny. Reakční doba při zastavení vozidla je doba, kterou trvá vozidlu zareagovat na zrychlení vozidla před ním. Reakční doba na semaforu je doba, kterou trvá prvnímu stojícímu vozidlu zareagovat na změnu z červené na zelenou. Byly zmenšeny minimální rozestupy mezi vozidly o 1 metr. Po těchto úpravách se rychlost zvýšila a délka kolony zmenšila. Model se choval obdobně jako vozidla ve skutečnosti. Porovnání rychlostí ze zkalibrovaného modelu Kuřimi a z měření radarem je zobrazeno v grafu na obrázku 23. Křivky rychlostí mají téměř stejný tvar, liší se pouze v některých místech. To je způsobeno jiným chováním vozidel modelu oproti skutečnosti.

**Graf skutečné rychlosti a rychlosti ze zkalibrovaného modelu
na silnici II/385 v Kuřimi**

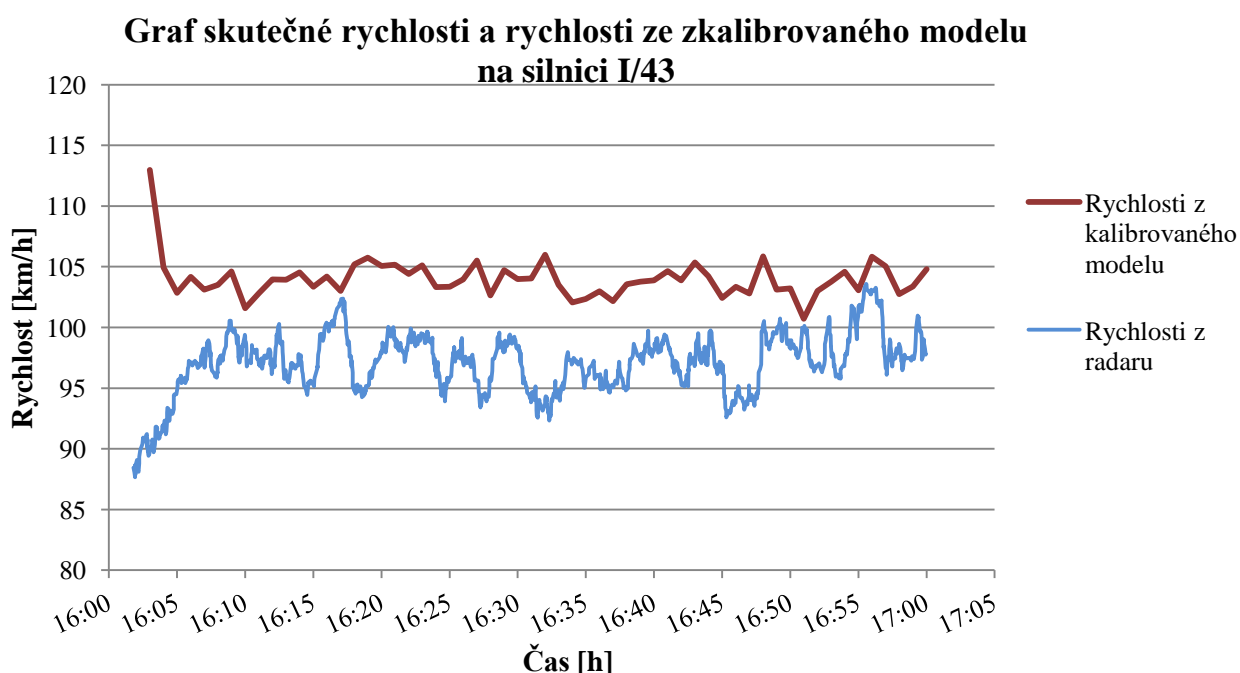


Obrázek 23: Graf rychlostí z radarového měření a ze zkalibrovaného modelu

Po rozšíření již kalibrované dopravní sítě, musela být provedena kalibrace znovu a tentokrát ve větším měřítku, aby byla celá síť sjednocena. Po prvním spuštění modelu bylo vyzorováno špatné zařazování se vozidel z průběžných pruhů do přípojovacích, jak již bylo výše zmíněno. Další nepřesností v modelu bylo, že vozidla jedoucí z vedlejších komunikací na křižovatky s dáním přednosti v jízdě, nečekala dostatečně dlouhou dobu, až se pro ně uvolní dostačující mezera na hlavní komunikaci pro jejich zařazení. Byla tedy u vozidel zkušebně prodloužena maximální doba pro dání přednosti v jízdě. Dále byla také zkrácena rozhledová vzdálenost. K tomu ale bylo potřeba vytvořit nový typ komunikace a tento typ silnice nastavit na vedlejších komunikacích křižovatky I/43 / II/386 a I/43 / II/379, což mělo pozitivní výsledky na chování vozidel v modelu. Ten ale stále zcela neodpovídal realitě, jelikož se vozidla v něm pohybovala vyšší rychlostí, než je tomu ve skutečnosti. Musely být tedy měněny další parametry. Byl zvýšen faktor variace zrychlení na některých sekcích. Tímto se vozidla zpomalila, ale z důvodu dodržení rozestupu mezi vozidly při tomto nastavení se při větším počtu vozidel téměř každé vozidlo zastavilo při přechodu na takto přenastavený úsek. Byly tedy upraveny jiné hodnoty. V nastavení vozidel se prodloužila reakční doba při zastavení, snížila odchylku od dovolené rychlosti, díky čemuž vozidla začala využívat nižší hodnoty rychlostí. A zmenšila se minimální vzdálenost mezi vozidly. Po opětovném spuštění simulace byla zjištěna rychlost vozidel, která byla stále vyšší. Model byl tedy dále upravován. Opět v parametrech vozidel se zvětšil koeficient citlivosti, který využívají

vozidla k odhadu zpomalení vedoucího vozidla. Byl také zvětšen minimální časový odstup mezi vozidly a sníženy rychlosti na dvou křižovatkách ležících na komunikace I/43.

Po těchto úpravách byla zjištěna průměrná rychlost vozidel v modelu. Tato rychlost byla 101 km/h a byla pouze o 4 km/h větší než průměrná rychlost, která byla v tomto místě naměřena radarem na silnici I/43. Z grafu na obrázku 24 je vidět průběh rychlostí ze zkalibrovaného modelu a radarového měření. Rychlosti se liší přibližně o 5 km/h, čímž je v modelu dosaženo rychlostí téměř totožných s realitou.



Obrázek 24: Průběh rychlostí z kalibrovaného modelu a měření radarem na I/43

2.6 NÁVRH ŘEŠENÍ

2.6.1 LINIOVÉ ŘÍZENÍ DOPRAVY

V současné době se začínají využívat telematické aplikace, do nichž patří i liniové řízení dopravy. Tento systém je možné uplatnit zejména na dálnicích, rychlostních silnicích a přístupových komunikacích do měst nebo vjezdech do tunelů. Liniové řízení dopravy je soubor telematických prvků, které jsou umístěny na pozemní komunikaci a jsou automaticky řízeny. Je umožněn i přímý zásah obsluhujícího personálu. Systém liniového řízení je schopen automaticky postupně snižovat rychlost nebo měnit organizaci provozu v jízdních pružích

podle aktuálního stavu na komunikaci. Aplikací liniového řízení dopravy získáme zvýšení bezpečnosti a plynulosti dopravy, zvýšení propustnosti komunikace a omezení dopravních kongescí. V případě dopravní nehody je schopen systém včas informovat řidiče, je také schopen informovat i o dojezdových dobách do cílových destinací nebo o nepříznivých klimatických podmínkách. Liniové řízení slouží pro zvýšení kapacity komunikace, snížení rizika dopravní nehody, eliminaci rizika druhotné nehody, zkrácení jízdních časů a zvýšení plynulosti provozu a také ke snížení negativních vlivů dopravy na životní prostředí.



Obrázek 25: Portál pro liniové řízení dopravy

Funkčnost systému pro liniové řízení spočívá v řízení rychlosti vozidel pomocí příkazových a zákazových dopravních značek (PDZ). Značky pro toto řízení se umísťují na portály nad jednotlivé jízdní pruhy, jak je uvedeno na obrázku 25 výše. Případně je možné umísťovat tyto značky i na sloupy vedle vozovky. Pro dynamické řízení se získávají data pomocí dopravních detektorů a meteo detektorů. Dopravní data jsou detekována na všech jízdních pruzích u každého portálu. Pomocí detektorů se sleduje hustota provozu, jeho intenzita, průměrná rychlost, klasifikace dopravního proudu, teplota vzduchu a vozovky, stav vozovky (zda je mokrá, suchá či namrzlá), směr i rychlost větru, viditelnost atd. Tyto data se vyhodnocují automaticky s pomocí předdefinovaných algoritmů v gantryserverech, které řídí jednotlivé portály a posílají informace sousedním gantryserverům a nadřazené dopravní

ústředně. Dispečeri z dopravních ústředí mohou posílat příkazy do gantryserverů v případě mimořádných dopravních situací.

2.6.2 NÁVRH ŘEŠENÍ V MODELU MĚSTA KUŘIMI

V bakalářské práci byla navržena řešení pro kolony v obci Kuřimi tvořící se na silnici II/385 ve směru na Tišnov. Bylo navrženo více variant řešení, kde se měnil signální plán, prodlužovaly se odbočovací pruhy a přidávaly detektory na křižovatce II/385 / II/386 se světelnou signalizací. Účinnost jednotlivých řešení byla posuzována na základě dob zdržení a délce kolon. Bylo navrženo 6 řešení, které byly pojmenovány A-F. Signální plány pro jednotlivé varianty jsou vyobrazeny v příloze II. V tabulce 3 lze vidět průměrné doby zdržení na hlavní komunikaci II/385 a vedlejší II/386 a jejich součet, podle kterého lze vyhodnotit jako nejlepší variantu tu, která má nejkratší dobu zdržení. Což je v tomto případě řešení F.

Tabulka 3: Výpis dob zdržení u jednotlivých navrhovaných řešení

| | Hlavní s. | Vedlejší s. | Součet |
|-----------|-----------|-------------|--------|
| Kalibrace | 348,4 | 142,8 | 491,2 |
| A | 310,97 | 131,56 | 442,53 |
| B | 50,48 | 126,29 | 176,77 |
| C | 35,27 | 157,04 | 192,31 |
| D | 173,68 | 26,14 | 199,82 |
| E | 114,49 | 28,77 | 143,26 |
| F | 113,48 | 19,84 | 133,32 |

2.6.3 NASTAVENÍ LINIOVÉHO ŘÍZENÍ

Úkolem této práce je ověřit účinnost liniového řízení na páteční dopravní situaci v obci Kuřim. Systém liniového řízení bude umístěn na ulici Hradecké v Brně v podobě 3 portálů. Jednotlivé portály budou od sebe vzdáleny 2 km. Jejich rozmístění je zakresleno na obrázku 26 a pod ním jsou vyobrazeny detailní umístění panelů. Liniové řízení bude ovládáno na základě detektoru, který bude umístěn v Kuřimi 500 m za křižovatkou II/385 / II/386 se světelnou signalizací. Tato vzdálenost byla zvolena z důvodu snadnějšího napojení detektoru k přechodu, kde je světelná signalizace.

Bylo třeba nastavit detektor, aby spínal a vypínal liniové řízení ve správnou dobu. Pro sepnutí a vypnutí detektoru byly vybrány dva parametry a to časová mezera mezi vozidly a rychlost vozidel. Pro správné nastavení musela být ověřena nejdříve účinnost sepnutí liniového řízení. Nejdříve se zkoušela nastavit časová mezera mezi vozidly, která byla nejdříve nastavena na menší než 2 sekundy. Při tomto nastavení se liniové řízení nespustilo.



Obrázek 26: Rozmístění panelů pro liniové řízení



Obrázek 27: Umístění prvního panelu pro liniové řízení na ulici Hradecké



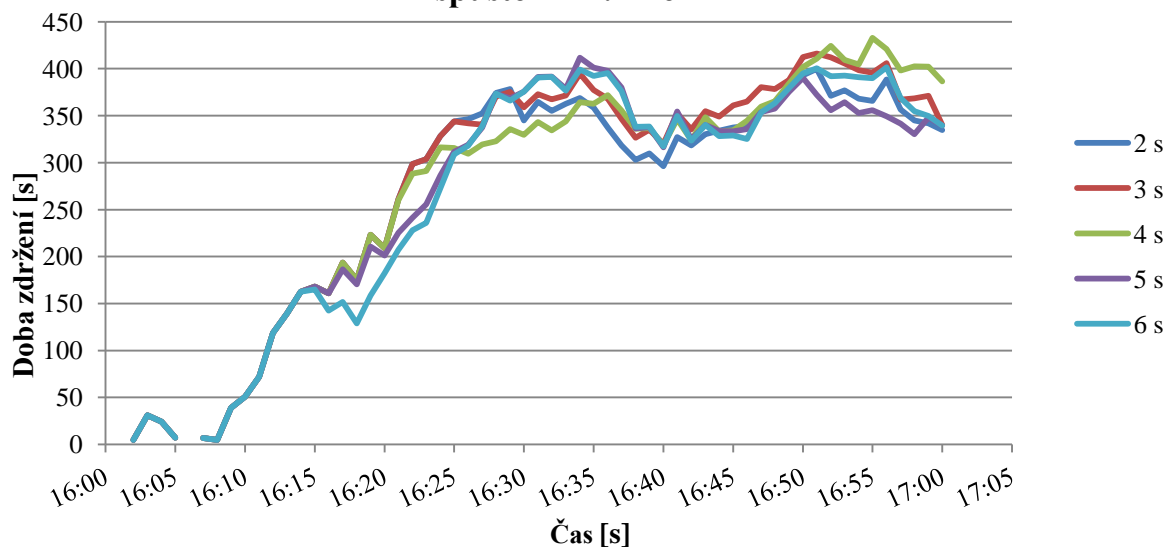
Obrázek 28: Umístění druhého panelu pro liniové řízení na ulici Hradecké



Obrázek 29: Umístění třetího panelu pro liniové řízení na ulici Hradecké

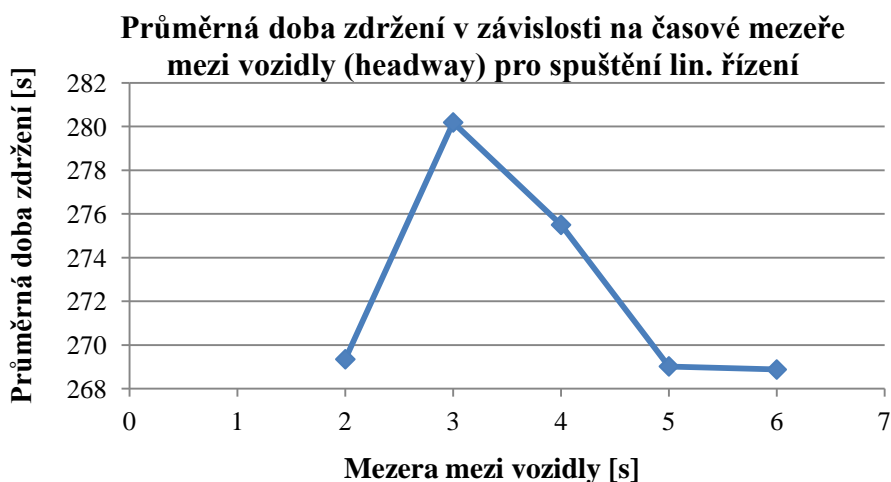
Byly zkoušeny i větší časové mezery a to 3, 4, 5 a 6 vteřin. Aby bylo možné porovnat účinnost těchto nastavení, musely být sestaveny grafy pro dobu zdržení pro jednotlivé časy. Doba zdržení byla vybrána pro porovnání, jelikož TP 235 pracuje také s dobou zdržení. Z grafu na obrázku 30 je patrné, že se doby zdržení jsou většinou téměř totožné. Více viditelné rozdíly jsou patrné z grafu na obrázku 31, kde na svislé ose byly vykresleny hodnoty průměrné doby zdržení za hodinu a na vodorovné ose délka časové mezery mezi vozidly.

Doba zdržení podle časové mezery mezi vozidly (headway) pro spuštění lin. řízení



Obrázek 30: Doby zdržení na silnici II/385 pro spuštění liniového řízení

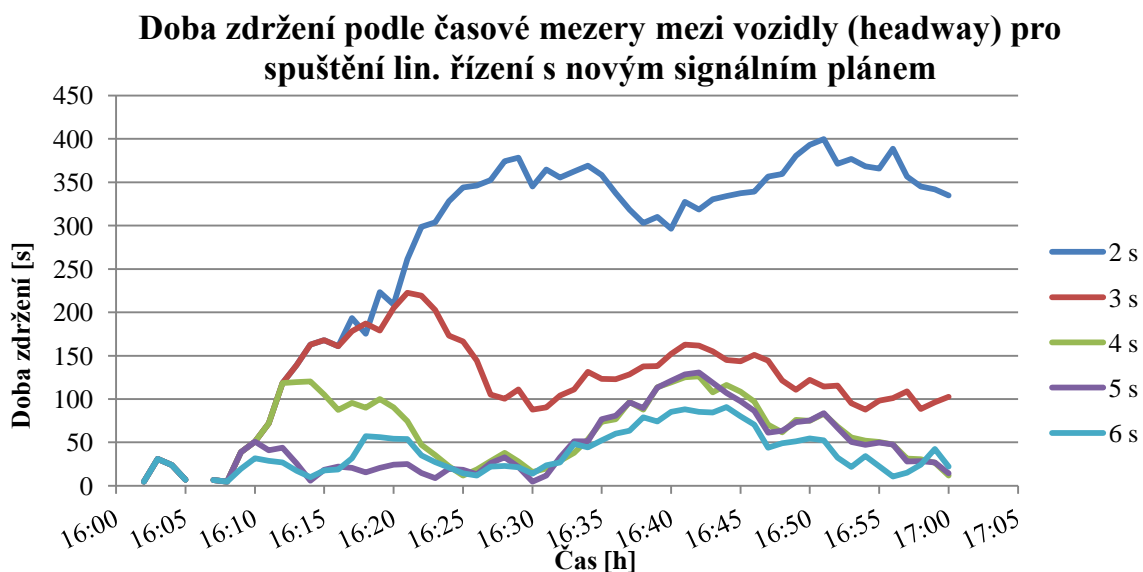
Při mezeře 3, 4 a 5 vteřin se průměrná doba zdržení zkracovala, ale při 6 vteřinách byla už téměř totožná jako u 5 vteřinami.



Obrázek 31: Graf průměrné doby zdržení na silnici II/385 pro spuštění liniového řízení

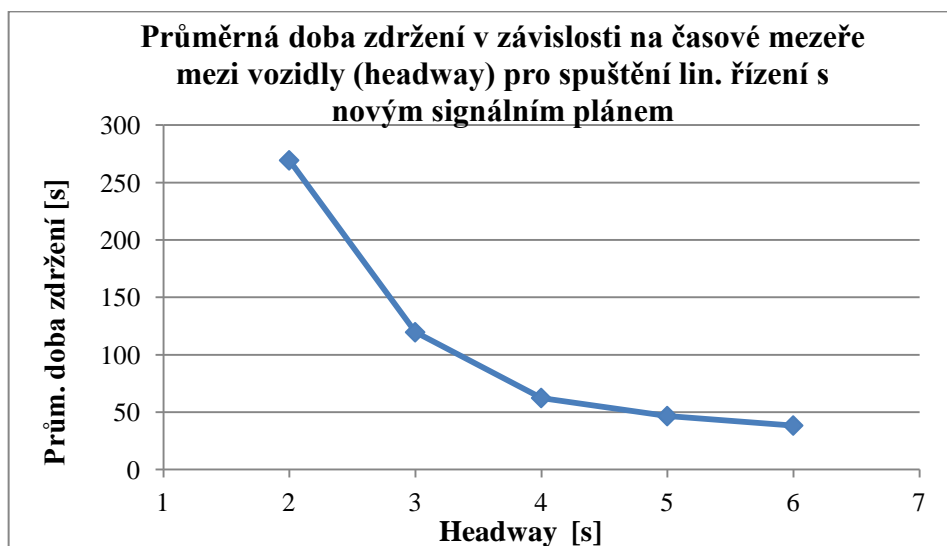
Jako první varianta bylo použito liniové řízení na ulici Hradecké a stávající signální plán na stykové křižovatce ve městě Kuřimi. V druhé variantě bylo použito také liniové řízení a byl změněn signální plán v Kuřimi. Jako nový signální plán byl použit signální plán a detektory z varianty F z bakalářské práce. Na grafu níže (obrázek 32) je doba zdržení s novým signálním plánem pro časové mezery 2 až 6 sekund, kde jsou již více patrné rozdíly v době

zdržení. Při časové mezeře menší než 2 sekundy se liniové řízení opět nespustilo. Při mezeře 5 a 6 vteřin byla doba zdržení téměř stejná.



Obrázek 32: Doby zdržení na silnici II/385 pro spuštění liniového řízení s novým signálním plánem

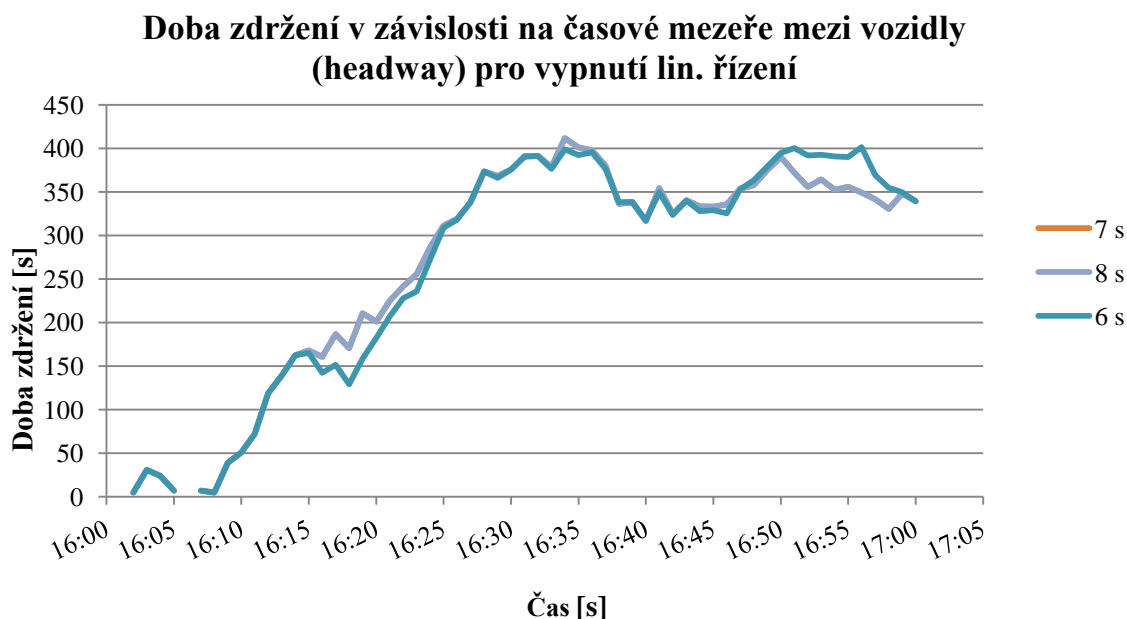
Graf s průměrnou dobou zdržení je možné vidět na obrázku 33, z něhož je také vidět, že při časové mezeře do 5 vteřin doba zdržení klesá, ale při 6 vteřinách je doba zdržení již téměř stejná jako při 5 vteřinách.



Obrázek 33: Graf průměrné doby zdržení na silnici II/385 pro spuštění liniového řízení s novým signálním plánem

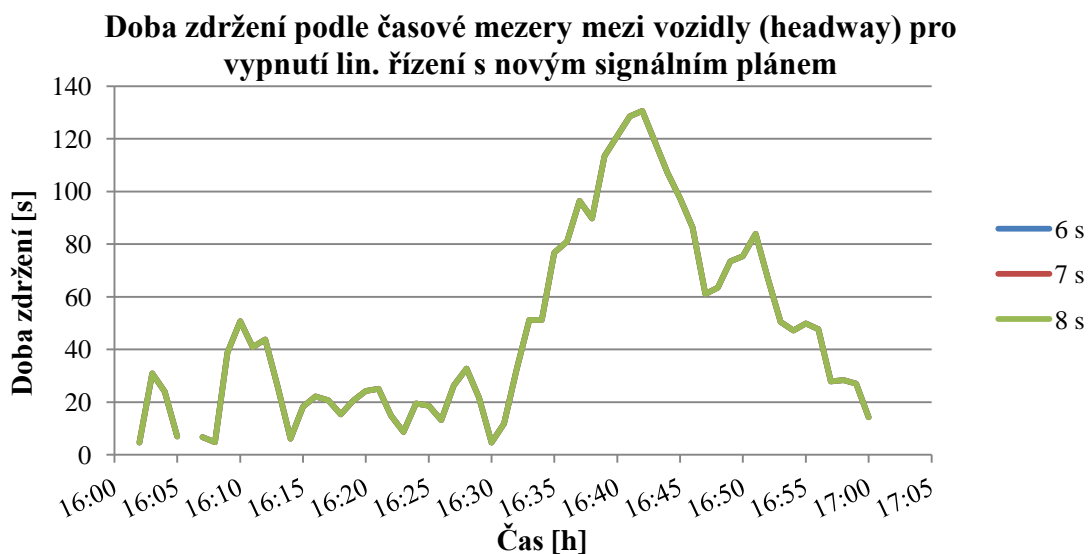
Jelikož zdržení se stávajícím i novým signálním plánem bylo u 5 a 6 vteřin téměř totožné, byla tedy použita časová mezera 5 sekund pro spuštění liniového řízení.

Dále bylo nutné zjistit při jaké časové mezeře vypnout liniové řízení. Opět to bylo zkoušeno na modelu se stávajícím a novým signálním plánem a bylo nastaveno zapnutí liniového řízení při časové mezeře menší než 5 vteřin. A byla zkoušena efektivnost při vypnutí liniového řízení pro časovou mezeru 7, 8 a 9 sekund. Na grafu níže (obrázek 34) je zobrazen graf pro dobu zdržení při stávajícím signálním plánu, kdy je patrný rozdíl pouze mezi šesti a sedmi vteřinami.



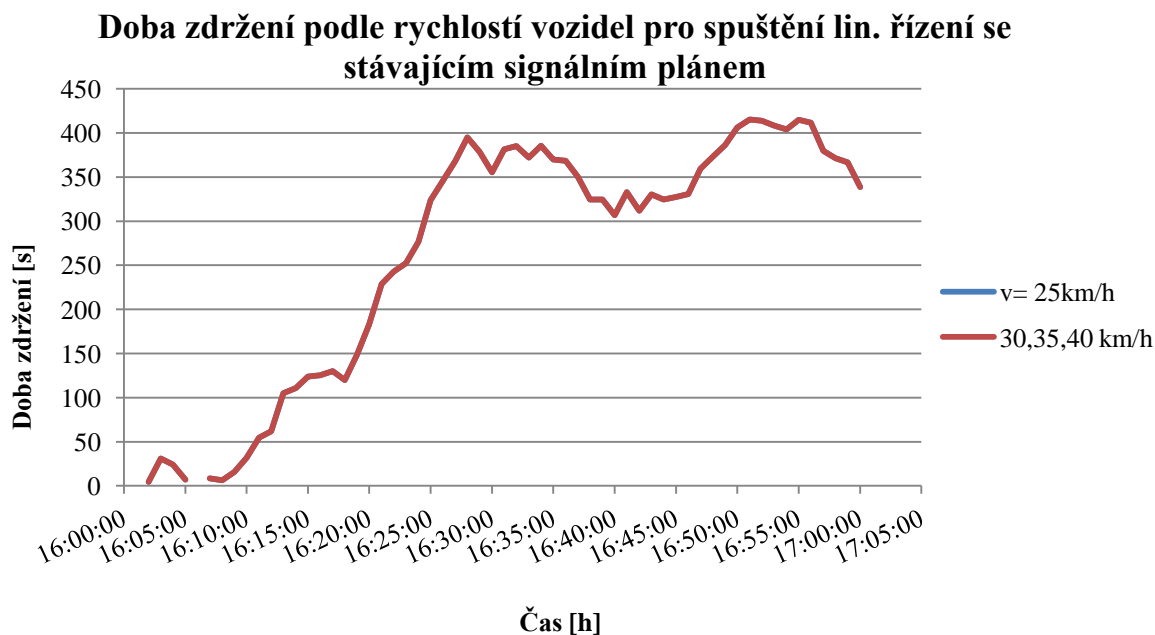
Obrázek 34: Doby zdržení na silnici II/385 pro vypnutí liniového se stávajícím signálním plánem

V grafu na obrázku 35 jsou doby zdržení při jednotlivých mezerách stejné. Pro vypnutí liniového řízení byla zvolena mezeru mezi vozidly větší než 6 vteřin, jelikož průměrná doba zdržení byla u navrhovaných časových odstupů vozidel stejná



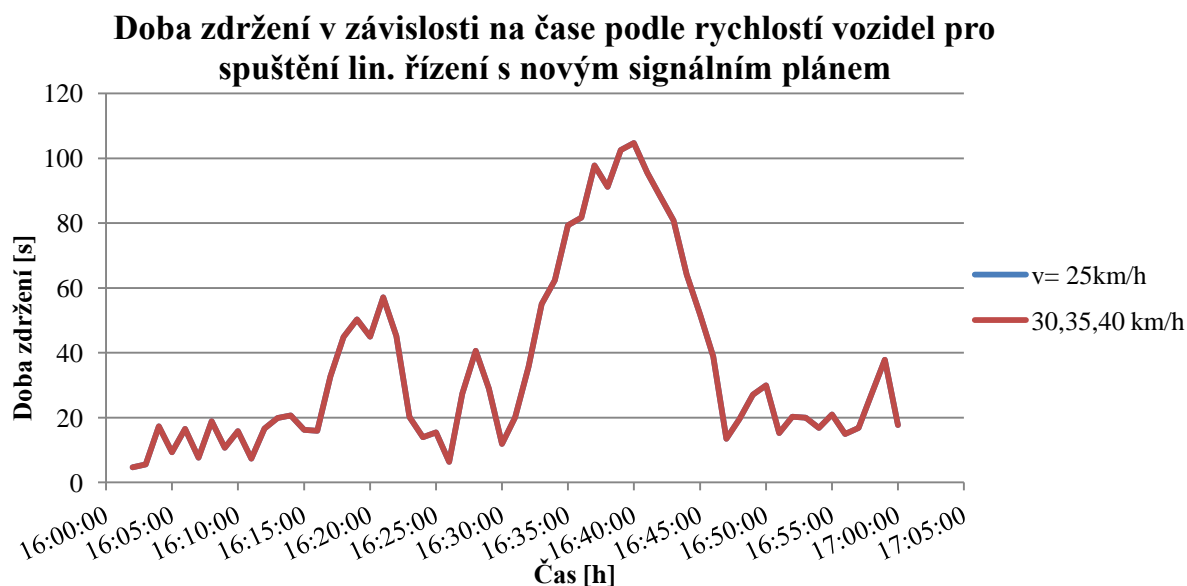
Obrázek 35: Graf pro dobu zdržení v na silnici II/385 pro vypnutí liniového řízení při novém signálním plánu

Druhým rozhodujícím faktorem pro spuštění a vypnutí liniového řízení byla rychlost vozidel. Pro spuštění byly zadány rychlosti 25, 30, 35 a 40 km/h, liniové řízení bylo sepnuto, když rychlost vozidel na detektoru byla menší než zadaná. Při stávajícím signálním plánu byly doby zdržení pro zadané rychlosti stejné, což je možné vidět na grafu níže. Nebyla nastavena časová mezera, byla nastavena pouze rychlost vozidel na detektoru.



Obrázek 36: Graf doby zdržení na silnici II/385 pro spuštění liniového řízení podle rychlostí vozidel

Stejné rychlosti byly zkoušeny i pro nový signální plán, kde byla nastavena také rychlost pouze pro zapnutí jako u stávajícího signálního plánu. Doby zdržení pro jednotlivé rychlosti byly opět totožné jak je vidět na obrázku 37.



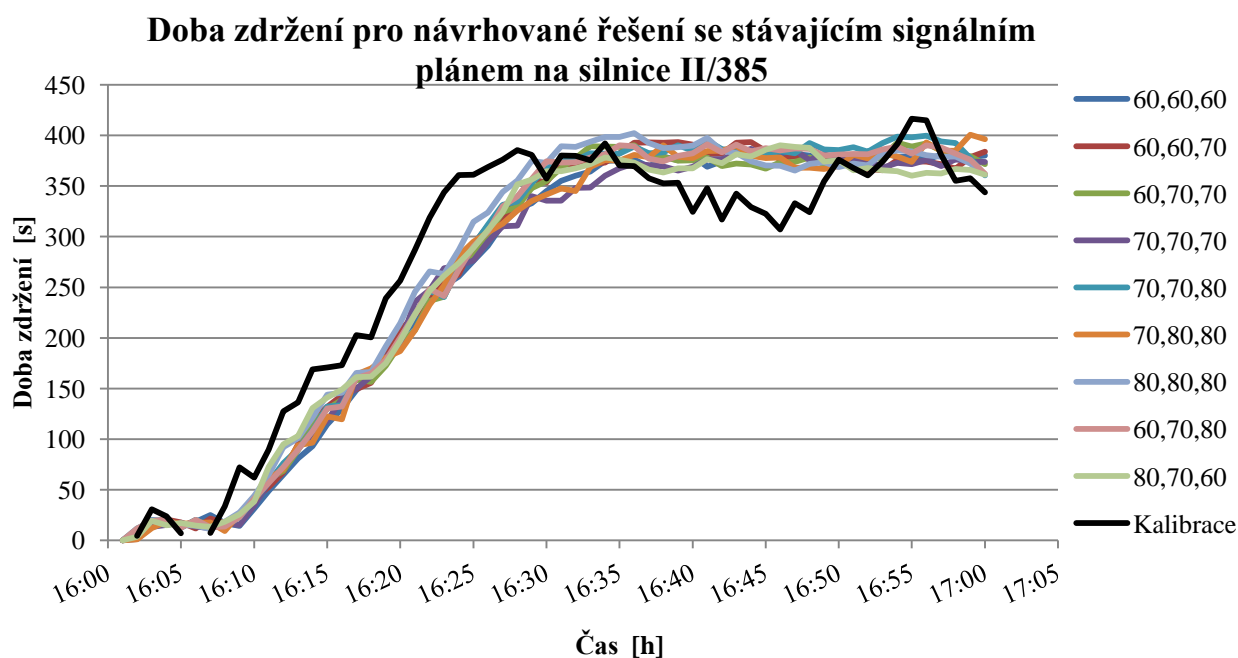
Obrázek 37: Graf doby zdržení silnici II/385 pro spuštění liniového řízení podle rychlostí vozidel s novým signálním plánem

Jelikož některá vozidla jezdí pomaleji a to rychlostí i kolem 40 km/h, byla nastavena rychlost 35 km/h pro zapnutí liniového řízení, protože při takto nízké rychlosti detekují kolony. Při rychlosti vozidel větší než 50 km/h bylo liniové řízení vypnuto, protože vozidla jezdí rychleji, než je dovolená rychlost. Do modelu byla nastavena kritéria rychlosti a časové mezery mezi vozidly tak, že stačí, aby bylo splněno jedno ze dvou kritérií, a liniové řízení se zapne nebo naopak vypne.

2.6.4 NÁVRHY ŘEŠENÍ

Po nastavení detektoru k ovládání liniového řízení se mohlo přistoupit k samotnému návrhu řešení pomocí nastavení různých variant rychlostí na ulici Hradecké. Kombinace těchto rychlostí byly porovnány vzájemně na základě doby zdržení a počtu vozidel v koloně na úseku komunikace II/385 v Kuřimi před křižovatkou se světelnou signalizací ve směru z Brna. Počet vozidel v koloně znamená, kolik vozidel v daný okamžik stojí na daném úseku komunikace v koloně. Tento parametr se neurčuje podle délky kolony, ale podle rychlosti vozidel, která je nastavena v dynamickém experimentu. Rychlost vozidla pro vstup do kolony

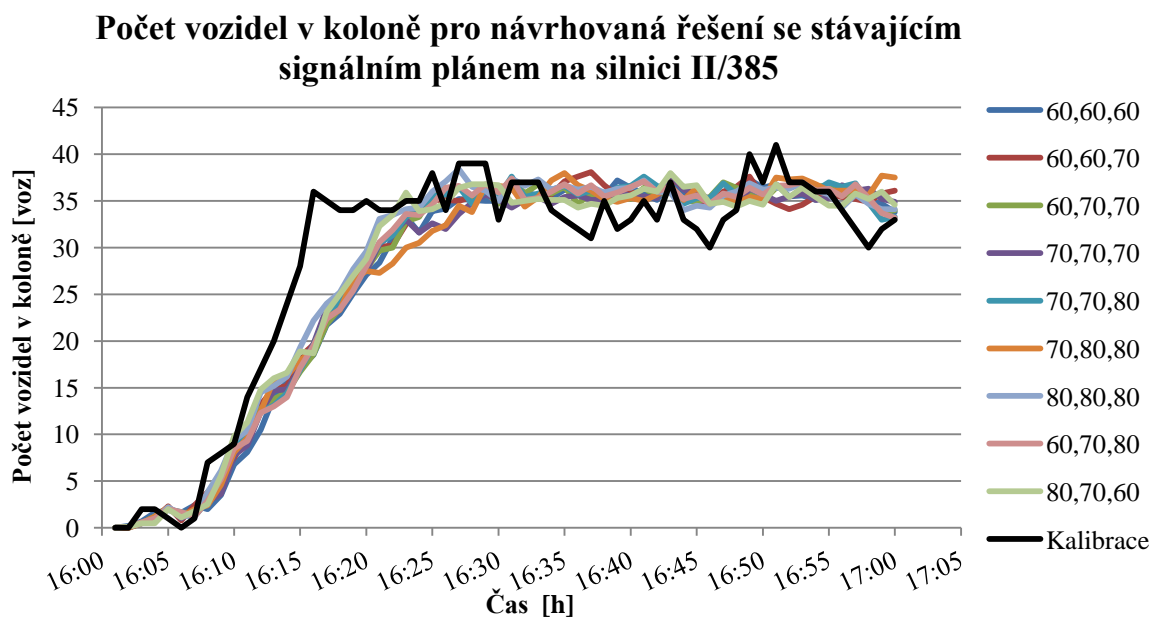
je při 1 m/s a rychlost vozidla, která již je považována za plynulou jízdu, je 4 m/s. Všechny následující grafy vychází z vypočtených 10 replikací v modelu, tento počet replikací zvyšuje náhodnost chování modelu, jelikož jsou vozidla rozdělena pokaždé trochu jinak. Replikace je objekt určený k simulaci. Na obrázku 38 je graf, kde jsou vykresleny tyto doby zdržení pro jednotlivé varianty návrhu řešení a stávající stav (kalibraci), aby bylo možné porovnat, zda se situace zlepšila nebo zhoršila. Kombinace čísel např. 60, 60, 70 znamená rychlosti v jednotlivých úsecích liniového řízení ve směru od Brna, což znamená, že na prvním panelu bude rychlost 60 km/h, na druhém panelu bude také rychlost 60 km/h a na třetím bude 70 km/h. Rozdělení těchto úseků a rozmístění jednotlivých panelů pro liniové řízení je na obrázku 26 v předchozí kapitole. Z grafu níže je vidět doby zdržení pro jednotlivé návrhy řešení, tyto doby nejsou příliš odlišné a průměrná doba zdržení se pohybuje kolem 260 sekund, což je zlepšení oproti stávajícímu stavu, kde je toto zdržení 282 sekund. Největší zdržení je u kombinace rychlostí 80, 80, 80 km/h, doba zdržení je 270 sekund, ale pořád je to kratší doba zdržení než ve stávajícím stavu.



Obrázek 38: Doba zdržení pro navrhovaná řešení se stávajícím signálním plánem

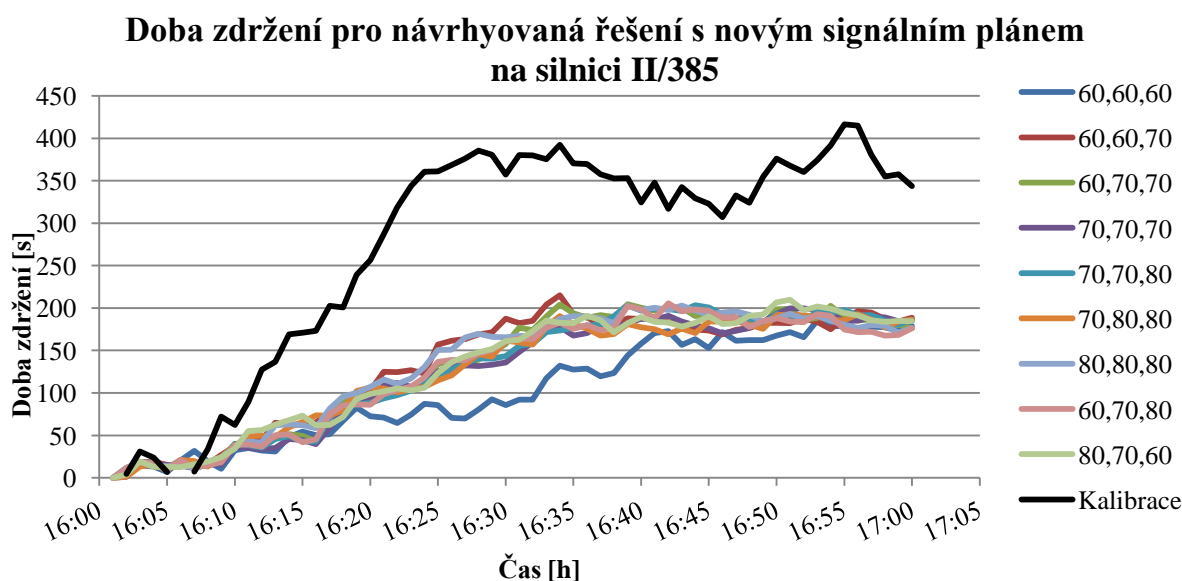
Na obrázku 39 lze vidět počet vozidel v koloně v závislosti na čase. Průměrně se pohybuje počet vozidel v koloně okolo 26 vozidel, u stávajícího stavu je to 32 vozidel. Bohužel ani v tomto grafu nejsou patrné výrazné zlepšení u navrhovaných řešení oproti stávajícímu stavu.

K liniovému řízení byla tedy přidána změna signálního plánu, který byl zmíněn už dříve, a byly opět navzájem porovnány jednotlivé kombinace rychlostí.



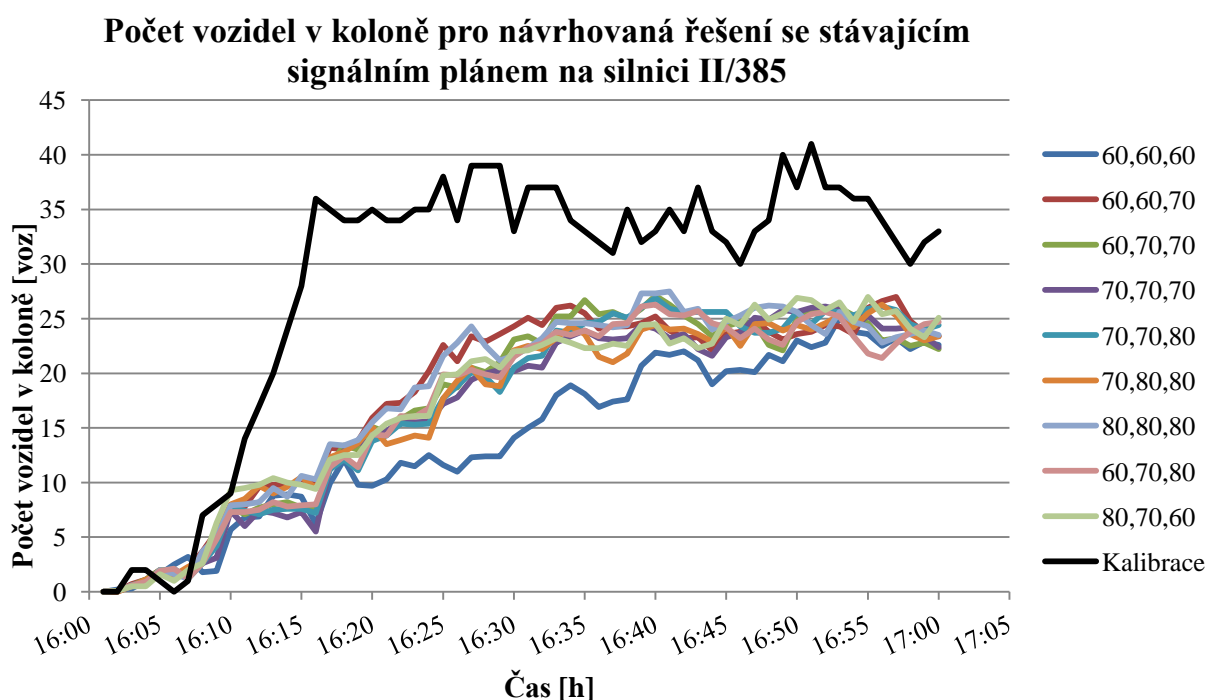
Obrázek 39: Počet vozidel v koloně pro návrhovaná řešení se stávajícím signálním plánem

U řešení s novým signálním plánem na obrázku 40 jsou již patrné rozdíly u jednotlivých dob zdržení a především i rozdíl oproti stávajícímu stavu. Jako nejúčinnější řešení vzhledem ke zdržení se z tohoto grafu jeví kombinace rychlostí 60, 60, 60 km/h, kde byla průměrná doba zdržení 102 sekund. U ostatních řešení je průměrná doba zdržení kolem 125 sekund, to je více než o polovinu méně oproti stávající situaci, tedy o 157 sekund méně.



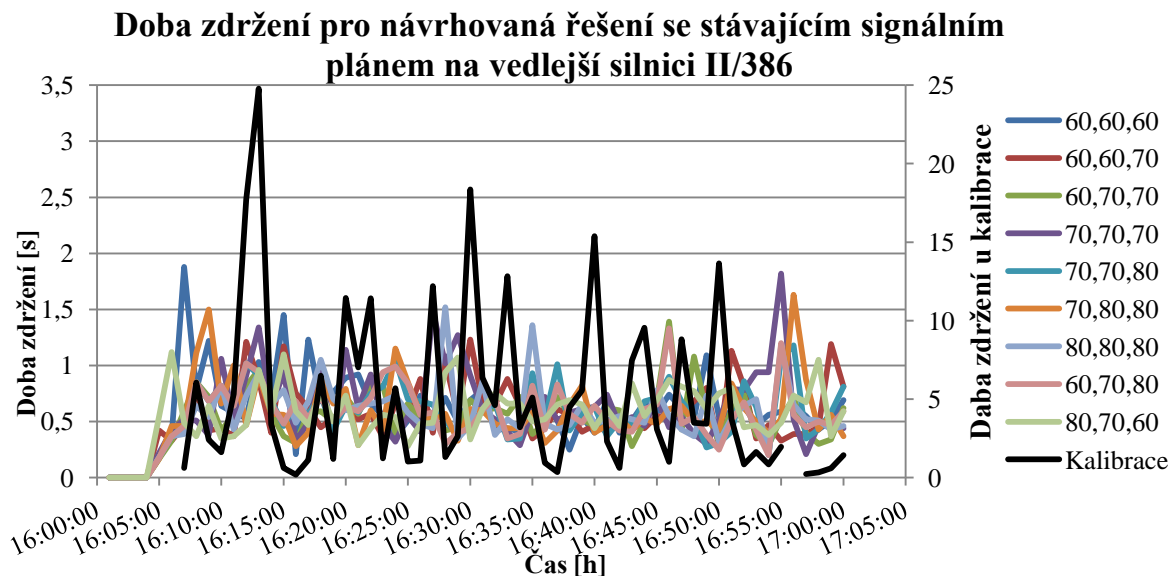
Obrázek 40: Doba zdržení pro návrhovaná řešení se stávajícím signálním plánem

Druhým grafem (obrázek 41) je počet vozidel v koloně, kde opět jednotlivé návrhy řešení vedou ke zlepšení stávajícího stavu tudíž ke zmenšení kolon. Nejméně vozidel v koloně je u kombinace 60, 60, 60 km/h, kde je průměrný počet vozidel v koloně kolem 14 vozidel, kdežto u ostatních řešení je to okolo 17 vozidel. Což je polovina vozidel oproti stávajícímu stavu, kde je průměrný počet vozidel v koloně 32.

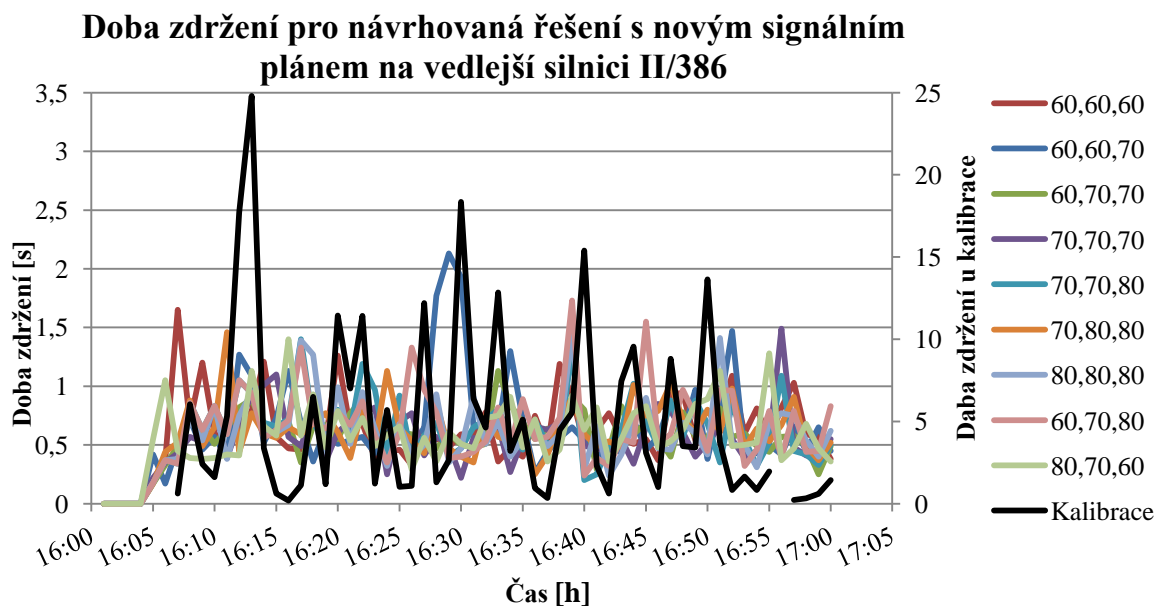


Obrázek 41: Počet vozidel v koloně pro navrhovaná řešení s novým signálním plánem

Byl pozorován i vliv těchto navrhovaných řešení u vedlejších komunikací na křižovatkách I/43 / II/386 a I/43 / II/379. Jednotlivé varianty byly porovnávány na základě dob zdržení, u kterých bylo použito liniové řízení a dva různé signální plány. Obrázek 42 znázorňuje graf z komunikace II/386 (na křižovatce II/386 / I/43) se stávajícím signálním plánem, kde je pro větší přehlednost vpravo druhá svislá osa pro kalibrovaný stav. Je možné vidět, že doba zdržení se oproti stávajícímu stavu výrazně zkrátila a to v řádu desítek vteřin. Jednotlivé hodnoty řešení se vzájemně prolínají, nelze tedy jednoznačně říci, která varianta by byla lepší či horší. Obdobně je tomu i u dalšího grafu na obrázku 43, kde je znázorněna opět doba zdržení na vedlejší komunikaci II/386, ale tentokrát s novým signálním plánem. Zdržení pro stávající stav je zase na druhé svislé ose. Zdržení u jednotlivých řešení se od sebe příliš neliší, liší se pouze oproti kalibrovanému stavu.

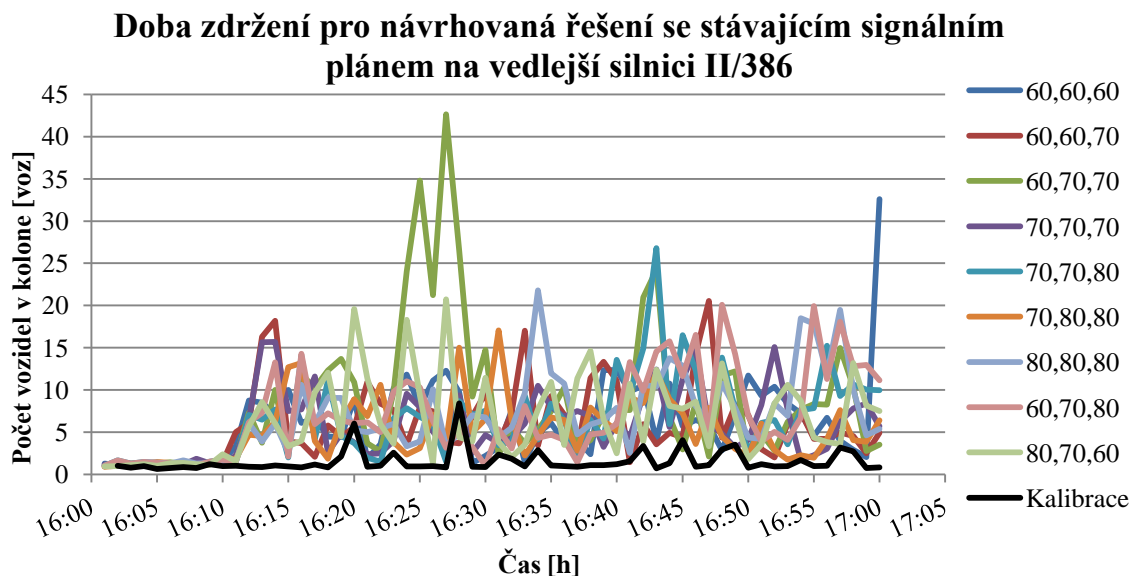


Obrázek 42: Doba zdržení na vedlejší silnici II/386 ve směru z Kuřimi se stávajícím signálním plánem

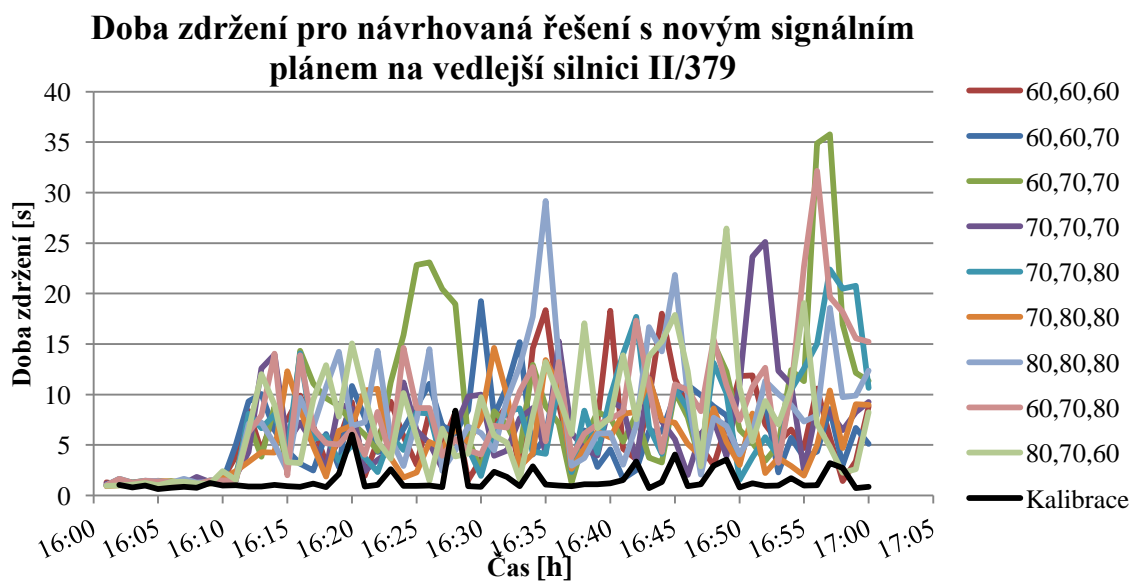


Obrázek 43: Doba zdržení na vedlejší silnici II/386 ve směru z Kuřimi s novým signálním plánem

Druhou vedlejší komunikací na výše zmíněné křižovatce je silnice II/379 ve směru do Lipůvky. Zde bylo porovnáváno zdržení se stávajícím a s novým signálním plánem. Doby zdržení se nějak výrazně nemění. Lze tedy říci, že na této komunikaci nepřineslo liniové řízení výrazné zlepšení.



Obrázek 44: Doba zdržení na vedlejší silnici II/386 ve směru z Kuřimi se stávajícím signálním plánem

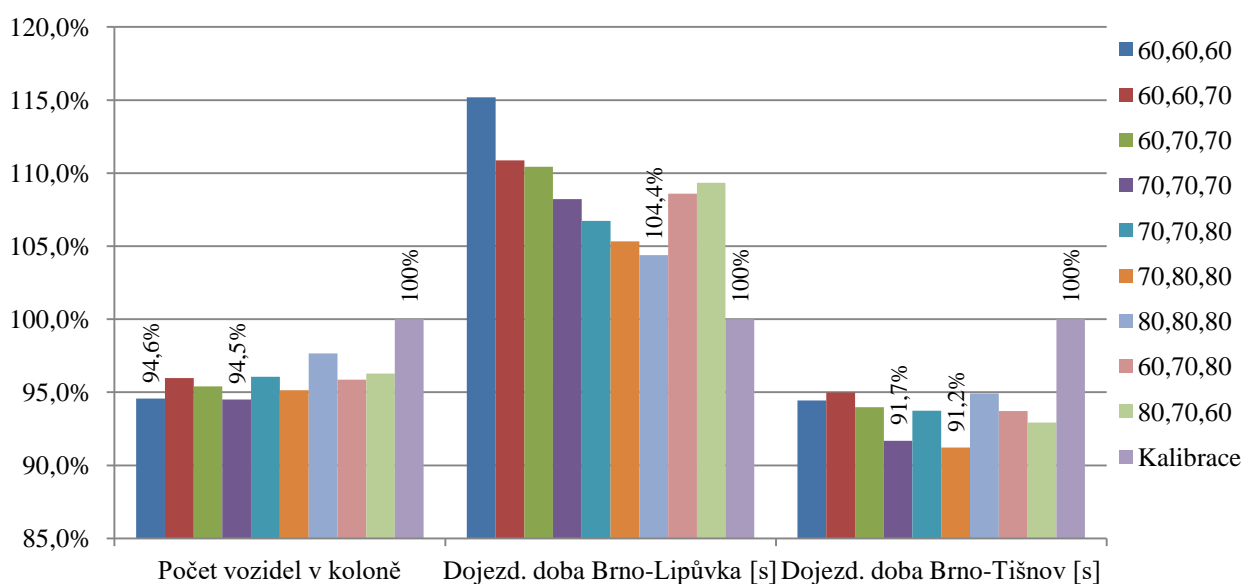


Obrázek 45: Doba zdržení na vedlejší silnici II/386 ve směru z Kuřimi s novým signálním plánem

U jednotlivých řešení byla měřena i dojezdová doba z Brna do Lipůvky a z Brna na Tišnov přes Kuřim. Porovnání dojezdových dob a součet vozidel v koloně za celou hodinu u jednotlivých variant je uvedeno v následujících sloupcových grafech. Na obrázku 46 je graf, kde jsou porovnány jednotlivé varianty se stávajícím signálním plánem. Graf je vyjádřen v procentech, aby bylo možné jednotlivé varianty mezi sebou lépe porovnat. Jako 100 % jsou

uvedeny hodnoty kalibrace, to znamená, že pokud jsou hodnoty u jednotlivých řešení menší než sto procent, varianta přináší zlepšení oproti stávajícímu stavu. U stávajícího stavu byl počet vozidel v koloně za hodinu 1700, průměrná dojezdová doba z Brna do Lipůvky 574,1 sekund a z Brna do Kuřimi směrem na Tišnov 1059,4 sekund. Nejméně vozidel v koloně za simulovanou hodinu je u kombinace rychlostí 70, 70, 70 km/h a to 94,5 % vozidel. O jednu desetinu vozidel více je u varianty 60, 60, 60 km/h. Tyto varianty mají delší dojezdovou dobu z Brna do Lipůvky a kombinace 60, 60, 60 km/h dokonce nejdelší. Nejkratší tato dojezdová doba je u kalibrovaného stavu a druhá nejkratší 104,4 % je u varianty s rychlostmi 80, 80, 80 km/h. Obě tyto kombinace rychlostí ale mají dlouhou dojezdovou dobu z Brna na Tišnov. 91,7 % je dojezdová doba u varianty 70, 70, 70 km/h, ale nejkratší doba je 91,2 % u rychlostí 70, 80, 80 km/h. Jen jedna varianta má u vyhodnocovaných dat jedny z nejmenších hodnot, je to varianta s rychlostmi 70 km/h ve všech třech úsecích.

Porovnání procentuálních výsledků jednotlivých řešení se stávajícím signálním plánem

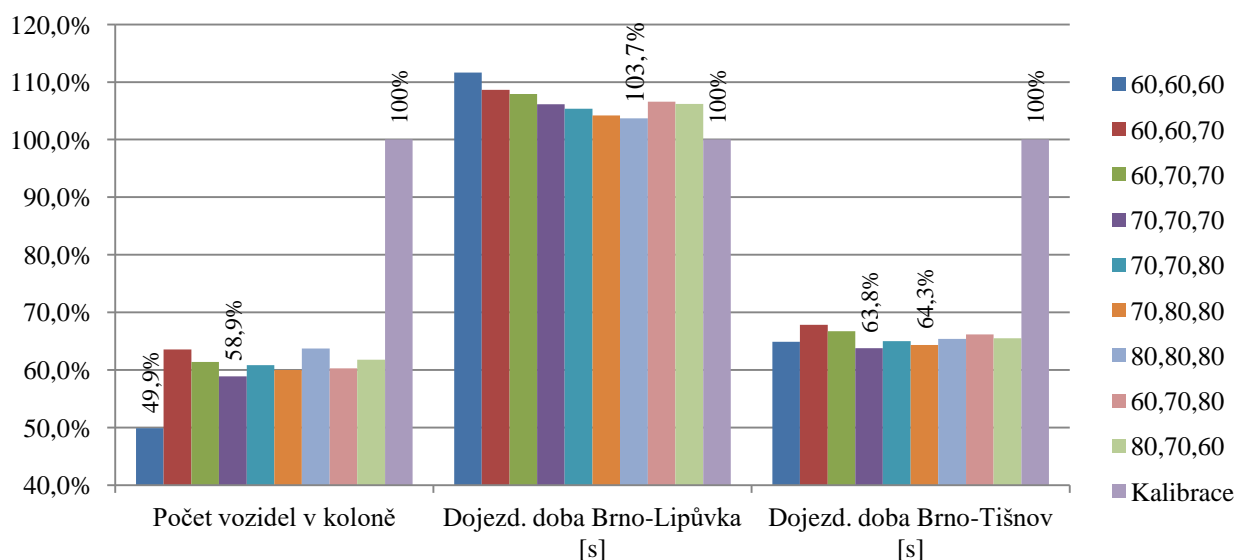


Obrázek 46: Sloupcový graf vyjádřený v procentech pro srovnání jednotlivých řešení se stávajícím signálním plánem

Z dalšího grafu na obrázku 47 lze vidět srovnání jednotlivých řešení s novým signálním plánem. Tento graf je opět vyjádřen v procentech, kde sto procent jsou hodnoty stávajícího stavu, jim odpovídající hodnoty jsou uvedeny v předchozím odstavci. Při rychlosti 60 km/h ve všech třech úsecích na ulici Hradecké je na silnici II/385 v Kuřimi nejméně vozidel za celou

hodinu v koloně a to 49,9 % vozidel. U varianty 70, 70, 70 km/h je 58,9 % vozidel v koloně oproti stávajícím stavu, u této varianty není ale nejkratší dojezdová doba z Brna do Lipůvky. Ta je u stávajícího stavu a následně u kombinace rychlostí 80, 80, 80 km/h a to 103,7 %, ale není u těchto variant nejkratší dojezdová doba z Brna na Tišnov. Ta je u varianty 70, 80, 80 km/h a je to pouze 64,3 % kalibrace. Nejkratší dojezdovou dobu má ale varianta s rychlostmi 70 km/h ve všech třech úsecích a je to pouze 63,8 %. U žádné varianty nejsou nejnižší všechny tři hodnoty zároveň, pouze u varianty s rychlostí 70 km/h jsou dvě kritéria nejnižší.

Porovnání procentuálních výsledků jednotlivých řešení s novým signálním plánem



Obrázek 47: Sloupcový graf vyjádřený v procentech pro srovnání jednotlivých řešení s novým signálním plánem

Výsledná kritéria jednotlivých variant z úseku silnice před křižovatkou II/385 / II/386 se světelnou signalizací ve směru z Brna na Tišnov, týkající se počtu vozidel v koloně a doby zdržení, byla vložena do tabulky 4, kde lze mezi sebou lépe jednotlivé varianty porovnat vzhledem k času potřebného na dojezd z Brna do Lipůvku nebo směrem na Tišnov přes Kuřim, průměrného počtu vozidel v koloně a průměrné době zdržení. Pro další srovnání variant řešení byla použita další kritéria a to spotřeba paliva a emisní znečištění ovzduší. Tyto kritéria patří k environmentálním modelům a budou popsány následně.

Tabulka 4: Porovnání kritérií jednotlivých řešení

| Rychlost [km/h] | | | Stávající signální plán | | | | Nový signální plán | | | |
|-----------------|---------|---------|------------------------------|---------------------------|---------------------------------|--------------------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| 1. úsek | 2. úsek | 3. úsek | Průměrný počet voz. v koloně | Průměrná doba zdržení [s] | Doba jízdy Hradecká-Lipůvka [s] | Doba jízdy Hradecká-Tišnov [s] | Průměrný počet voz. v koloně | Průměrná doba zdržení [s] | Doba jízdy Hradecká-Lipůvka [s] | Doba jízdy Hradecká-Tišnov [s] |
| 60 | 60 | 60 | 27 | 258,9 | 661,3 | 1000,6 | 15 | 101,8 | 641 | 687,3 |
| 60 | 60 | 70 | 28 | 263,5 | 636,5 | 1006,3 | 18 | 132,4 | 623,7 | 718,4 |
| 60 | 70 | 70 | 27 | 261,9 | 633,9 | 995,6 | 18 | 129,6 | 619,7 | 706,7 |
| 70 | 70 | 70 | 27 | 257,5 | 621,3 | 971,2 | 17 | 123 | 609,4 | 675,8 |
| 70 | 70 | 80 | 28 | 266,9 | 612,7 | 993,1 | 18 | 126,5 | 605 | 688,8 |
| 70 | 80 | 80 | 27 | 260,8 | 604,7 | 966,4 | 17 | 125 | 598,4 | 681,4 |
| 80 | 80 | 80 | 28 | 269,7 | 599,3 | 1005,5 | 19 | 132,2 | 595,5 | 692,5 |
| 60 | 70 | 80 | 28 | 265,3 | 623,5 | 992,8 | 17 | 125,8 | 611,9 | 700,9 |
| 80 | 70 | 60 | 28 | 261,6 | 627,7 | 984,4 | 18 | 129,1 | 609,8 | 694,2 |
| kalibrace | | | 32 | 281,3 | 562,2 | 985,3 | | | | |

2.6.5 MODEL SPOTŘEBY PALIVA

Jelikož spousta lidí se snaží ušetřit peníze a palivo tvoří nedílnou peněžní položku při cestování, byla jako další ukazatel zvolena spotřeba paliva při použití jednotlivých variant řešení. Pro lepší pochopení fungování modelu spotřeby paliva je popsán postup výpočtu, který Aimsun používá. Model spotřeby paliva předpokládá, že každé vozidlo je buďto ve volnoběhu, jede konstantní rychlostí, zrychluje anebo zpomaluje. Podle stavu každého vozidla používá model příslušný vzorec pro výpočet spotřeby paliva pro daný stav vozidla. Volnoběh a decelerace vozidel, která je uváděna v jednotkách ml/s, může být předpokládána jako konstantní. Pro akcelerující vozidla je dán vzorec:

$$F_a = (c_1 + c_2 * a * v) \quad (2.6)$$

Kde c_1 a c_2 jsou konstanty, a je akcelerace vozidla a v je rychlost vozidla. Následující rovnice spotřeby paliva pro vozidlo pohybující se rychlostí v , obsahuje 3 konstanty: k_1 , k_2 a v_m , které musí být empiricky stanoveny pro každý typ vozidla. v_m je rychlost při které je spotřeba paliva na kilometr minimální. Obvykle to je při rychlosti kolem 50 km/h. (Aimsun 8 Users' Manual, July 2014)

Spotřeba paliva se uvádí v litrech na 100 km u vozidel pohybujících se rychlostí 90 km/h a 120 km/h. Tyto hodnoty mohou být použity k určení konstant k_1 a k_2 uvedených výše. Když F_1 a F_2 jsou spotřeby paliva v litrech při 100 km/h pro vozidla jedoucí konstantní rychlostí v_1 a v_2 , potom:

$$k_1 = \frac{(F_1 - F_2)v_1v_2v_m^3}{180(2v_2v_m^3 - 2v_1v_m^3 + v_2v_1^3 - v_1v_2^3)}$$

$$k_2 = \frac{2F_2v_2v_m^3 - 2F_1v_1v_m^3 + F_2v_2v_1^3 - F_1v_1v_2^3}{360(2v_2v_m^3 - 2v_1v_m^3 + v_2v_1^3 - v_1v_2^3)} \quad (2.7, 2.8)$$

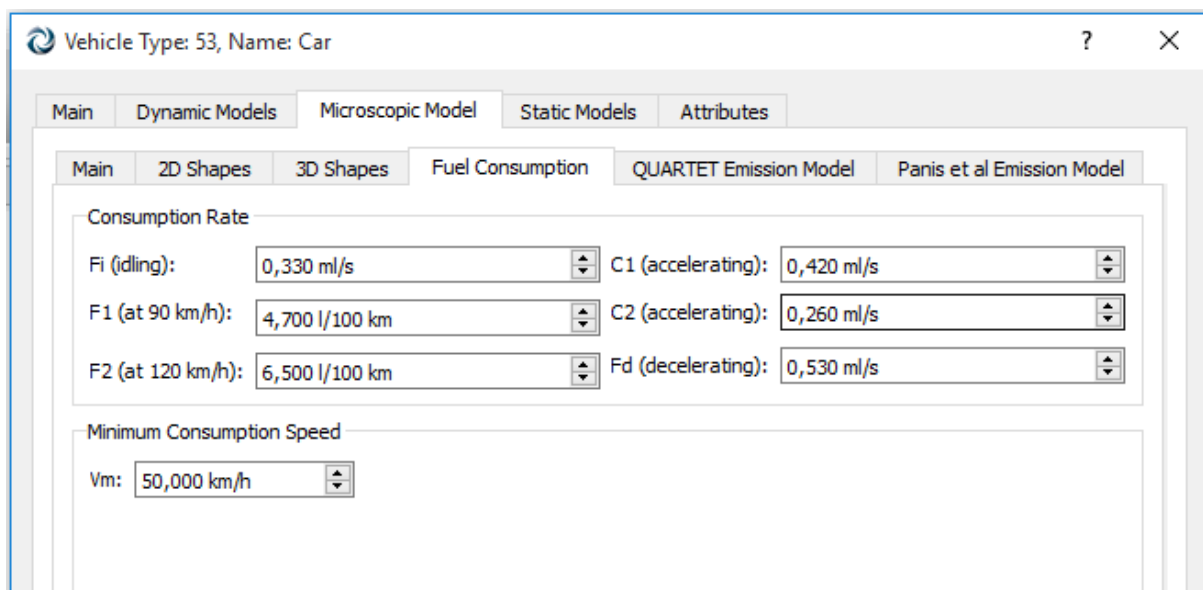
Pro každý časový krok v simulaci bude určen stav vozidla buď jako volnoběh, akcelerace, konstantní rychlost nebo decelerace. Palivo spotřebované během simulačního kroku Δt se tedy vypočítá pro každé vozidlo vzhledem k jeho stavu pomocí vzorců uvedených na obrázku 48.

| Vehicle State | Fuel Consumed (ml) during Δt |
|--|---|
| Idling | $F_i \Delta t$ |
| Accelerating with acceleration a (m/s/s) and speed v (m/s) | $(c_1 + c_2 av) \Delta t$ |
| Cruising at speed v (m/s) | $(k_1(1 + (\frac{v}{2v_m})^3) + k_2v) \Delta t$ |
| Decelerating | $F_d \Delta t$ |

Obrázek 48: Vzorce pro výpočet spotřeby paliva

Kde F_i a F_d jsou spotřeby paliva v ml/s pro volnoběh (idling) a deceleraci vozidel a konstanty c_1 a c_2 musí být kalibrovány. (Aimsun 8 Users' Manual, July 2014)

V programu Aimsun jsou u jednotlivých typů vozidel pod záložkou mikroskopický model (Microscopic Model) definovány hodnoty pro spotřebu paliva, jak lze vidět z obrázku níže.



Obrázek 49: Parametry pro výpočet spotřeby paliva u osobního vozidla

Jednotlivé hodnoty jsou vysvětleny výše v textu, pouze je nutné upřesnit konstanty c_1 a c_2 , které znamenají v rovnici pro míru spotřeby paliva akcelerujícího vozidla F_a v ml/s.

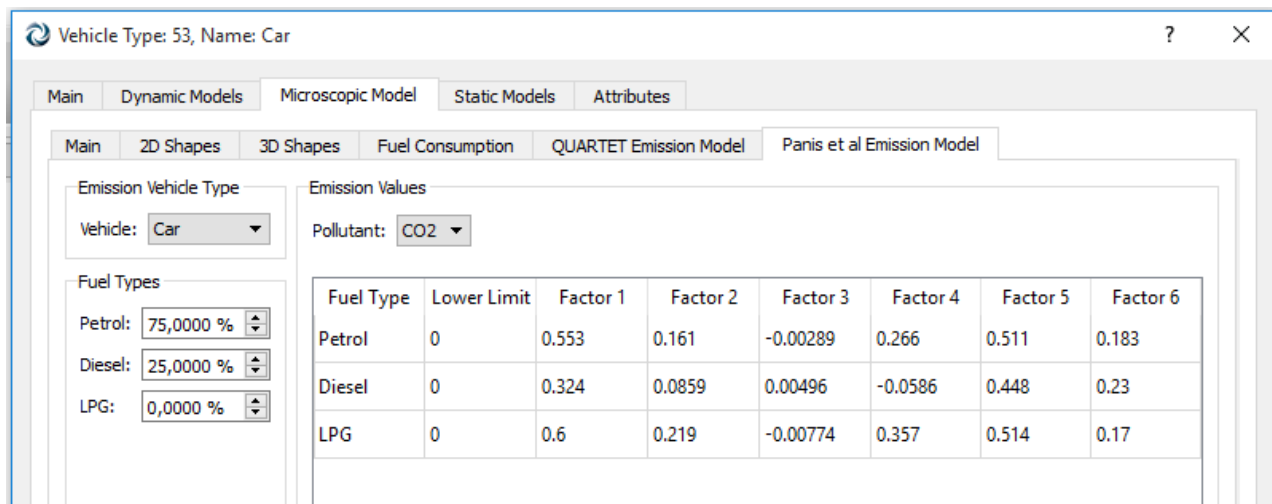
Jako výstup z modelu spotřeby paliva byla použita agregace na úrovni daného úseku silnice, kde byla vyhodnocena spotřeba paliva v litrech pro všechna vozidla, která po tomto úseku projela. (Aimsun 8 Users' Manual, July 2014)

2.6.6 MODEL EMISNÍHO ZNEČIŠTĚNÍ

Ukazatelem pro životní prostředí je množství vypouštěných spalin do ovzduší. Toto kritérium je důležité zejména v obydlených oblastech, kde je žádoucí mít co nejméně znečištěné ovzduší. Proto se uvažovalo i s emisemi, ty byly modelem spočítány pro jednotlivé navrhované řešení. Postup jakým program Aimsun vyhodnocuje a počítá tato data je popsán následně.

Aimsun může modelovat okamžité znečištění emisemi způsobené akcelerací/decelerací a rychlostí všech vozidel v simulaci. Každý simulační krok měří emise pro každou znečišťující látku s použitím stejného vzorce, ale s ohledem na rozdílné hodnoty faktoru podle typu vozidla, typu paliva a okamžité měřené akcelerace/decelerace. Model okamžitého znečištění emisemi zahrnuje oxid uhličitý (CO_2), oxidy dusíku (NO_x), těkavé organické látky (VOC) a pevné částice (PM). (Aimsun 8 Users' Manual, July 2014)

Je důležité mít v modelu definované vstupní parametry. Každý typ vozidla, který je zahrnutý v simulaci musí mít definované parametry okamžité emise. Tyto hodnoty jsou zadány v editoru pro jednotlivé typy vozidel, jak je vidět na obrázku 50.



Obrázek 50: Parametry pro výpočet emisí u osobního vozidla

Lze si všimnout, že model předpokládá autobusy a těžká nákladní vozidla jako vozidla používající naftu. Pokud uživatel nastaví procenta v kolonkách Petrol (benzín) nebo LPG větší než nula, bude model počítat pouze hodnoty znečištění pro vozidla na naftu.

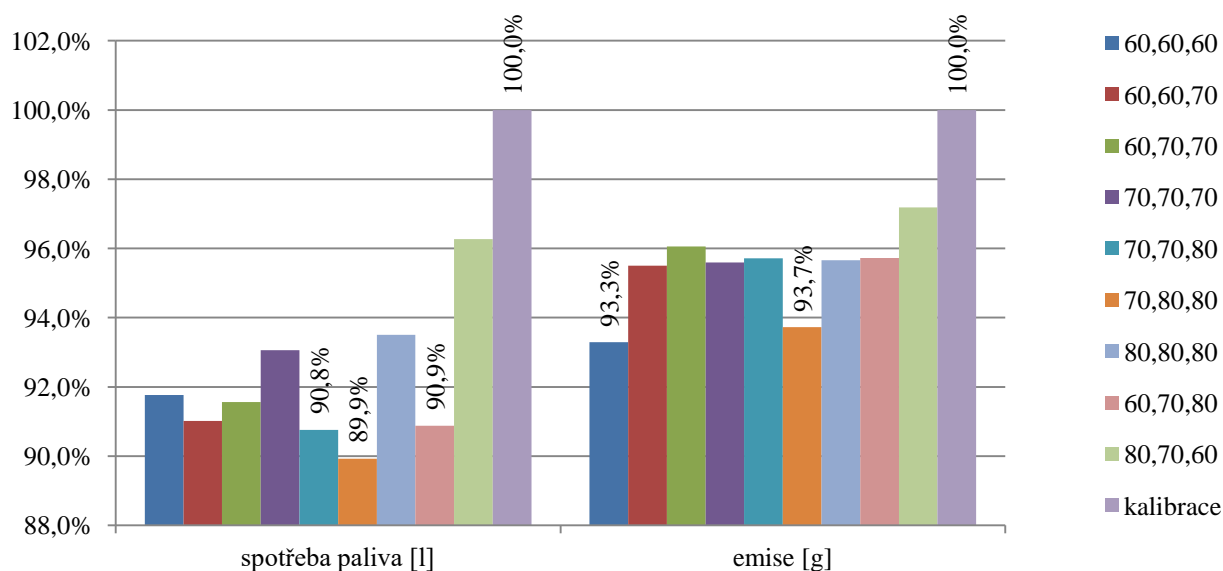
Po spuštění simulace přibude 8 časových řad (time series) k sekcím, uzlům a replikacím, dvě pro každý druh znečištění (CO₂, NO_x, PM a VOC) s hodnotami v g nebo g/km. (Aimsun 8 Users' Manual, July 2014)

2.6.7 POROVNÁNÍ EMISÍ A SPOTŘEBY PALIVA U JEDNOTLIVÝCH ŘEŠENÍ

Jelikož výpočet emisí a spotřeba paliva není v modelu běžně počítána, musela být v dynamickém scénáři (Dynamic Scenario) v záložce výstupy, detaily zaškrtnut environmentální model a v něm spotřeba paliva a znečištění emisemi. Data byla získána opět z deseti simulací a byla zpracována do sloupcových grafů z důvodu lepšího porovnání. Jelikož spotřeba paliva je programem spočítána v litrech a emise v gramech, byly hodnoty vyjádřeny v procentech. Sto procenty je míněna kalibrace, kde průměrná spotřeba paliva je 2,58 litru a průměrné emise 5617,8 gramů. Nejdříve je uveden graf se stávajícím signálním plánem. U spotřeby paliva jsou tři nejmenší hodnoty dosti blízko sobě. U řešení s rychlostmi 60, 70, 80

km/h je to 90,9 %, varianta 70, 70, 80 km/h má spotřebu jen o jednu desetinu procenta nižší a nejmenší spotřeba paliva je u kombinace rychlostí 70, 80, 80 km/h, ta činí 89,9 %. Z těchto tří variant má ale pouze jedna také nejnižší hodnoty u emisí, je to řešení 70, 80, 80 km/h, kde emise tvoří 93,7 % emisí kalibrace. Největší rozdíl v emisích oproti kalibraci má řešení s rychlostmi 60, 60, 60 km/h a to 93,3 %. Porovnáním jednotlivých variant lze říci, že nejnižší hodnoty má řešení 70, 80, 80 km/h.

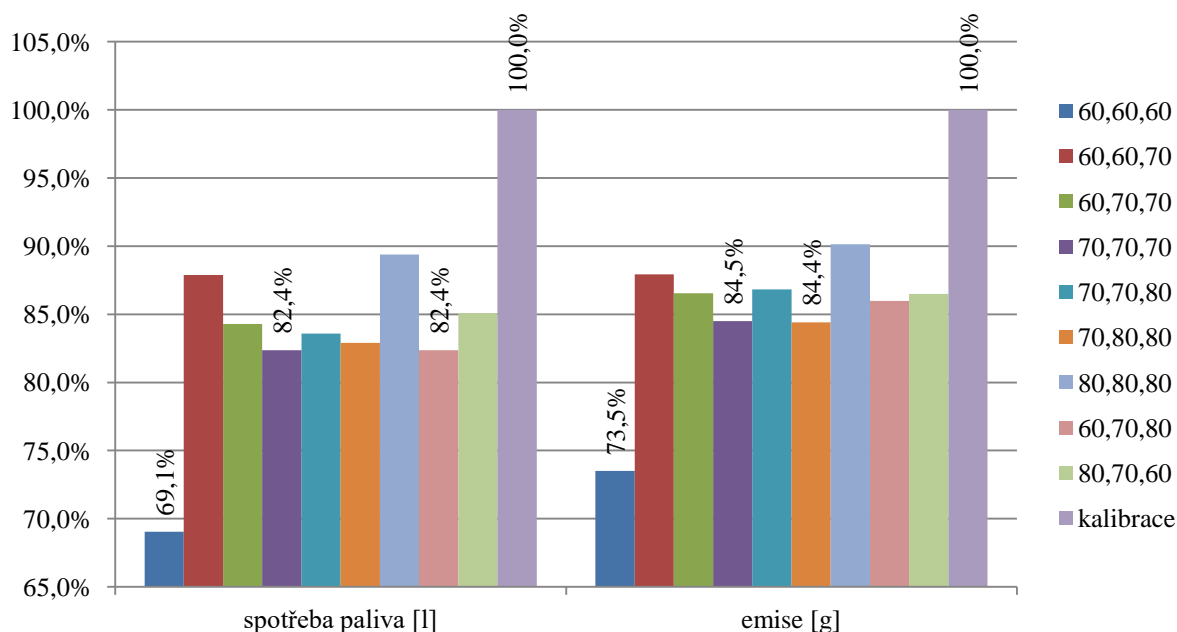
Procentuální srovnání emisí a spotřeby paliva vzhledem k jednotlivým navrženým řešením se stávajícím signálním plánem



Obrázek 51: Sloupcový graf v procentech pro porovnání jednotlivých variant se stávajícím signálním plánem

Další graf na obrázku 52 je již s novým signálním plánem. Jsou v něm rozdíly oproti kalibraci ještě zhruba o deset procent větší než v předchozím grafu. U spotřeby paliva měly dvě varianty stejné hodnoty. 82,4 % dosáhlo řešení 60, 70, 80 km/h i řešení s rychlostí 70 km/h ve všech třech úsecích. Varianta s rychlostmi 70 km/h měla i nízké emise a to 84,5 %. O jednu desetinu méně mělo ale řešení 70, 80, 80 km/h. Úplně nejnižších hodnot však dosáhla varianta s rychlostí 60 km/h, která měla spotřebu paliva pouhých 69,1 % a emise 73,5 %, což jsou hodnoty odpovídající dvěma třetinám stávajícího stavu. Jako nejlepší varianta při novém signálním plánu je zde řešení s 60 km/h ve všech úsecích pro liniové řízení.

Procentuální srovnání emisí a spotřeby paliva vzhledem k jednotlivým navrženým řešením s novým signálním plánem



Obrázek 52: Sloupcový graf v procentech pro porovnání jednotlivých variant se stávajícím signálním plánem

Na základě předchozích vyhodnocení bude dále uveden výpočet úspory paliva, emisí a ocenění času stráveného v kolonách.

2.6.8 MOŽNÉ ÚSPORY ROČNĚ U NAVRHOVANÝCH VARIANT ŘEŠENÍ

Výpočet úspory paliva byl z průměrné spotřeby paliva za simulovanou hodinu. Spotřeba paliva je udávána v litrech. Díky hodnotám z Aimsunu byly získány údaje o spotřebě paliva za danou hodinu a to v každé minutě simulace, součtem těchto hodnot byla získána spotřeba paliva všech vozidel, která byla na daném úseku za hodinu simulace. Tato hodnota byla přepočítána na spotřebu paliva za rok. Spotřebou za rok je myšlena simulovaná hodina po 48 pátků v roce, jelikož rok má 52 pátků a jsou od nich odečteny 4 pátky, což je předpokládáno jako dovolená, která je 4 týdny. Byla vyhledána průměrná cena paliva v roce 2014, ta byla 35,45 Kč/l paliva. Touto cenou byla vynásobena spotřeba paliva za rok a získána tak útrata na palivu. Aby bylo lépe poznat, jakou úsporu peněz přinese daná varianta, byla od kalibrace odečtena hodnota peněz dané varianty a výsledkem byla úspora peněz za

palivo oproti stávajícím stavu. Tento postup výpočtu byl aplikován pro řešení se stávajícím signálním plánem i s novým signálním plánem.

Dále byly z programu získány hodnoty vyprodukovaného CO₂ do ovzduší, toto množství je udáváno v gramech. Součtem gramů CO₂ vyprodukovaných každou minutu na daném úseku komunikace byly získány gramy CO₂ za hodinu, a jelikož to byla poměrně velká čísla, byly výsledky převedeny na tuny za hodinu. Tato hodnota byla vynásobena 48, což je počet pátků v roce, jak je uvedeno výše. Dále byla od výsledku kalibrace odečtena hodnota jednotlivých variant, aby bylo lépe vidět o kolik CO₂ by bylo ovzduší ušetřeno. Tento postup se aplikoval na řešení se stávajícím i novým signálním plánem.

Peněžní ztráty při stání vozidel v koloně se vypočetli pomocí ocenění času cestujících. Byla k tomu potřeba průměrná doba zdržení (v sekundách) u jednotlivých návrhů řešení a počet vozidel v koloně za celou hodinu. Tyto hodnoty se vzájemně vynásobily a výsledek se převedl na hodiny, tím se získal celkový čas strávený v koloně pro všechny vozidla. Podle TP 20, které pojednává o HDM-4 modelu, je průměrná cena času na člověka 272 Kč a průměrná obsazenost osobních vozidel je 1,9. Jelikož tato obsazenost osobního vozidla se zdála být příliš vysoká, byla hodnota obsazenosti vozidla brána podle Ročenky dopravy Praha 2013, kde je uvedena hodnota 1,3. Celkový čas strávený v koloně byl vynásoben cenou času na člověka a obsazeností vozidla. Tímto se získala finanční ztráta za jednu hodinu a pro ztrátu v pátku za celý rok byla vynásobena 48. Tyto jednotlivé výsledky byly odečteny od kalibrace, aby bylo zřejmé, kolik financí se ušetří oproti stávající situaci, a to jak se stávajícím tak s novým signálním plánem.

V tabulce 5 jsou uvedeny hodnoty, jejichž výpočet je uveden v předchozích odstavcích, jsou to tedy rozdílné hodnoty oproti kalibraci, to znamená, kolik se danou variantou ušetří peněz nebo škodlivých zplodin. Výsledné hodnoty jsou rozděleny pro stávající a nový signální plán. V prvním sloupci jsou peníze ušetřené za palivo pro všechna vozidla, druhý sloupec udává částku ušetřenou za palivo pro jedno vozidlo. V dalším sloupci je množství emisí, o které je ušetřeno ovzduší. Následuje sloupec s financemi, které lze ušetřit za cestující čekající v koloně ve všech vozidlech za hodinu a v posledním sloupci je tato částka ale jen pro jedno vozidlo. Nejvíce se ušetří peněz i emisí u varianty s rychlostí 60 km/h ve všech třech úsecích u nového signálního plánu, u stávajícího signálního plánu jsou tyto hodnoty také nejmenší kromě ušetření za palivo, to je největší u varianty 70, 80, 80 km/h.

Tabulka 5: Porovnání jednotlivých řešení v rámci finanční a emisní úspory

| Rychlost [km/h] | | | Stávající signální plán | | | | | Nový signální plán | | | | |
|-----------------|---------|---------|--------------------------------|---|------------------------------|-----------------------------------|---|--------------------------------|---|------------------------------|-----------------------------------|---|
| 1. úsek | 2. úsek | 3. úsek | ušetřená částka za palivo [Kč] | ušetřená částka za palivo na vozidlo [Kč/voz] | hodnota ušetřených emisí [t] | ušetřená částka za cestující [Kč] | ušetřená částka za cestující v 1 vozidle [Kč/voz] | ušetřená částka za palivo [Kč] | ušetřená částka za palivo na vozidlo [Kč/voz] | hodnota ušetřených emisí [t] | ušetřená částka za cestující [Kč] | ušetřená částka za cestující v 1 vozidle [Kč/voz] |
| 60 | 60 | 60 | 21 661,40 | 13,47 | 1,085 | 292 536,20 | 181,93 | 81 421,60 | 96,02 | 4,288 | 1 848 161,21 | 2179,44 |
| 60 | 60 | 70 | 23 635,20 | 14,48 | 0,727 | 263 245,68 | 161,30 | 31 905 | 29,51 | 1,954 | 1 580 421,52 | 1462,00 |
| 60 | 70 | 70 | 22 205,90 | 13,69 | 0,638 | 239 814,16 | 147,85 | 41 348,90 | 39,61 | 2,179 | 1 617 095,78 | 1548,94 |
| 70 | 70 | 70 | 18 258,20 | 11,36 | 0,713 | 270 345,35 | 168,23 | 46 385,60 | 46,29 | 2,507 | 1 673 795,96 | 1670,46 |
| 70 | 70 | 80 | 24 315,90 | 14,89 | 0,693 | 272 649,93 | 166,96 | 43 186,60 | 41,73 | 2,13 | 1 637 868,36 | 1582,48 |
| 70 | 80 | 80 | 26 510,90 | 16,40 | 1,015 | 219 953,44 | 136,03 | 44 990,30 | 44,11 | 2,523 | 1 654 073,85 | 1621,64 |
| 80 | 80 | 80 | 17 084,10 | 10,29 | 0,703 | 213 733,76 | 128,76 | 27 940,30 | 25,80 | 1,595 | 1 579 939,35 | 1458,85 |
| 60 | 70 | 80 | 23 992,60 | 14,72 | 0,692 | 182 074,77 | 111,70 | 46 419,70 | 45,29 | 2,27 | 1 646 923,82 | 1606,75 |
| 80 | 70 | 60 | 9 818,20 | 6,00 | 0,455 | 207 208,61 | 126,58 | 39 221,90 | 37,35 | 2,186 | 1 616 003,86 | 1539,05 |

Součet peněz ušetřených ročně v pátky mezi 16. a 17. hodinou pro všechna vozidla je uveden ke každému řešení v tabulce 6. Částky jsou v tabulce seřazeny od nejvyšší částky, tedy od nejvíce ušetřených financí, po nejmenší a k nim jsou přiřazeny příslušné varianty řešení. Tyto obnosy jsou sečteny pro varianty se stávajícím signálním plánem a novým signálním plánem zvlášť. Jsou patrné velké rozdíly mezi částkami se stávajícím a novým signálním plánem, kde se finance pohybují v řádech milionů. Největší suma je hned u první varianty s rychlostí 60 km/h a to u obou signálních plánů pouze s tím rozdílem, že pro stávající plán je to 314 198 Kč a pro nový signální plán téměř dva miliony korun. Druhý největší obnos je pro stávající signální plán řešení s rychlostmi 70, 70, 80 km/h, kde lze ušetřit až 296 966 Kč. U nového signálního plánu je druhá nejlevnější varianta s rychlostí 70 km/h, kde lze ušetřit 1 720 182 Kč. Pokud budeme hodnotit varianty po finanční stránce, tak nejlepší variantou je řešení s rychlostmi 60 km/h ve všech třech úsecích a s novým signálním plánem.

Tabulka 6: Součet ušetřených částek za palivo a cestování cestujících

| Rychlost [km/h] | | | stávající signální plán | Rychlost [km/h] | | | nový signální plán |
|-----------------|---------|---------|---|-----------------|---------|---------|---|
| 1. úsek | 2. úsek | 3. úsek | součet ušetřených peněz pro danou variantu [Kč] | 1. úsek | 2. úsek | 3. úsek | součet ušetřených peněz pro danou variantu [Kč] |
| 60 | 60 | 60 | 314 197,60 | 60 | 60 | 60 | 1 929 582,81 |
| 70 | 70 | 80 | 296 965,83 | 70 | 70 | 70 | 1 720 181,56 |
| 70 | 70 | 70 | 288 603,55 | 70 | 80 | 80 | 1 699 064,15 |
| 60 | 60 | 70 | 286 880,88 | 60 | 70 | 80 | 1 693 343,52 |
| 60 | 70 | 70 | 262 020,06 | 70 | 70 | 80 | 1 681 054,96 |
| 70 | 80 | 80 | 246 464,34 | 60 | 70 | 70 | 1 658 444,68 |
| 80 | 80 | 80 | 230 817,86 | 80 | 70 | 60 | 1 655 225,76 |
| 80 | 70 | 60 | 217 026,81 | 60 | 60 | 70 | 1 612 326,52 |
| 60 | 70 | 80 | 206 067,37 | 80 | 80 | 80 | 1 607 879,65 |

Nejdražší položkou navrhovaných řešení je liniové řízení, na němž nejvíce stojí konstrukce, na které jsou umístěny značky pro liniové řízení. Pokud by se značky umístily na mostní konstrukci, nebylo by nutné pořizovat podpůrnou konstrukci pro portál. Značky na jeden portál stojí okolo 3 miliony korun a podpůrná konstrukce, její zabudování atd. vychází na částku kolem 8 milionů korun. Těchto 8 milionů by bylo možné ušetřit na dvou portálech, jelikož jejich umístění uvedené výše se nachází v blízkosti mostních konstrukcí. Po stránce legislativy toto umístění není možné, ale kdyby bylo možné, mohlo by být ušetřeno přibližně 16 milionů korun.

ZÁVĚR

Simulační programy dopravy jsou velmi účinným nástrojem pro dopravní inženýrství. Jsou vhodné pro ověření účinnosti navrhovaných řešení. Lze i s jejich pomocí zjistit, zda nebude investice do změn bezvýznamná či bude mít dobrou návratnost.

Navrhované řešení, které vyšlo nejlépe, s rychlostí 60km/h ve všech úsecích ulice Hradecké bylo zkoušeno na výhledové intenzity vozidel za 30 let. Bohužel toto řešení na dané intenzity nevyhovělo. Liniové řízení by tedy v tomto případě sloužilo pro informování řidičů o koloně, sloužilo by tedy pro bezpečnost daných úseků komunikací. Návratnost investice do třech portálů liniového řízení by byla po 20 letech. Cena za změnu signálního plánu v porovnání s cenou za portály liniového řízení je zanedbatelná, řešení pomocí liniového řízení se tedy ukázalo jako nevhodné. Je zřejmé, že vzhledem k výhledovým intenzitám je stávající situace neudržitelná a na základě výsledků diplomové práce lze tvrdit, že její řešení se neobejde bez stavebních úprav.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] Microsimulator and Mesosimulator Aimsun 8.0 User's Manual. TSS- Transport Simulation System, S.L. 2014
- [2] *TP 189: Stanovení intenzit dopravy na pozemních komunikacích*. II. vydání Plzeň: EDIP s.r.o., 2007
- [3] *TP 225: Prognóza intenzit automobilové dopravy*. II. vydání. Plzeň: EDIP s.r.o., 2012.
- [4] *TP 235: Posuzování kapacity řízených křižovatek*. I. vydání. Plzeň: EDIP s.r.o., 2011.
- [5] *TP 81: Navrhování signalizačních zařízení pro řízení silničního provozu*. Centrum dopravního výzkumu Brno, 1996.
- [6] *TP 20: Applying the HDM-4 Model to Strategic Planning of Road Works*. The International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank. Washington, DC, 2008.
- [7] PŘIBYL, CSC., Prof. Ing. Pavel a Ing. Martin KŇÁKAL. *Roční zpráva 2010: Závěrečná zpráva projektu INEP*. 2011, 29.
- [8] PŘIBYL, CSC., Prof. Ing. Pavel, Ing. Dušan KRAJČÍR a DiS., Bc. Jan PŘIKRYL. *Výzkumná zpráva projektu DALPO: Závěrečná výzkumná zpráva projektu DALPO za rok 2010*. 2010, 30.
- [9] Dopravní značení na pozemní komunikace. *Besip* [online]. [cit. 2016-01-11]. Dostupné z: <http://www.ibesip.cz/cz/aktivity/archiv-kampani/bezpecna-obec/dopravni-inzenyrstvi/dopravni-znaceni-na-pozemnich-komunikacich>
- [10] Modelování dopravy na pozemních komunikacích. *VŠB - Ostrava* [online]. [cit. 2016-01-11]. Dostupné z: <http://projekt150.ha-vel.cz/node/94>
- [11] MLČKOVÁ, Ivana, *Mikrosimulační model silnice II/385 ve městě Kuřim*. Brno, 2014, 42 s., Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební. Vedoucí práce doc. Ing. Petr Holcner, Ph.D.
- [12] *OpenStreetMap* [online]. [cit. 2016-01-11]. Dostupné z: <https://www.openstreetmap.org/export#map=12/49.2882/16.5808>
- [13] *Mapy Google* [online]. [cit. 2016-01-11]. Dostupné z: <https://www.google.cz/maps/@49.2708851,16.4540202,13z>
- [14] *Ročenka dopravy Praha 2013* [online]., 95 [cit. 2016-01-11]. Dostupné z: <http://www.tsk-praha.cz/static/udi-rocenka-2013-cz.pdf>
- [15] Vývoj cen pohonných hmot: Průměrné ceny benzínu a nafty za posledních 12 měsíců. *CCS* [online]. [cit. 2016-01-11]. Dostupné z: <http://www.ccs.cz/phm>
- [16] *Systémy pro silniční dopravu: Liniové řízení* [online]. [cit. 2016-01-11]. Dostupné z: <http://www.azd.cz/admin/files/Dokumenty/pdf/Produkty/Silnicni/Liniove-rizeni.pdf>

- [17] *Silniční okruh kolem Prahy: Telematické technologie a vyhodnocování dopravních dat* [online]. [cit. 2016-01-11]. Dostupné z: http://k612.fd.cvut.cz/ruzne/seminare/knakal-telematika_sop.pdf
- [18] *TSS-Transport Simulation Systems: Aimsun* [online]. [cit. 2016-01-11]. Dostupné z: <https://www.aimsun.com/wp/>

SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|---|----|
| Obrázek 1: Provoz v dané oblasti v pátek okolo 16. hodiny | 10 |
| Obrázek 2: Rozmístění radarů pro zjištění nejvyšších intenzit a nejnižších rychlostí | 11 |
| Obrázek 3: Graf intenzit v závislosti na čase ze stanoviště číslo 1 ve směru do Kuřimi | 12 |
| Obrázek 4: Graf rychlostí v závislosti na čase ze stanoviště číslo 1 ve směru do Kuřimi | 13 |
| Obrázek 5: Stanoviště pro měření radarem | 14 |
| Obrázek 6: Centroidy a dopravní směry | 20 |
| Obrázek 7: Část podkladu modelu- začátek Hradecké | 23 |
| Obrázek 8: Kuřim s vyznačeným křížením komunikací a světelným přechodem modelované v bakalářské práci | 24 |
| Obrázek 9: Model okružní křižovatky II/385 | 24 |
| Obrázek 10: Pohled na okružní křižovatku v Kuřimi z jízdního pruhu ve směru z Tišnova ... | 24 |
| Obrázek 11: Model křižovatky II/385 / II/386 se světelnou signalizací..... | 25 |
| Obrázek 12: Pohled na světelně řízenou křižovatku II/385 II/386 v Kuřimi ve směru z Tišnova | 25 |
| Obrázek 13: Model přechodu pro chodce řízený světelnou signalizací na silnici II/385 | 26 |
| Obrázek 14: Pohled na světelný přechod pro chodce v obci Kuřim | 26 |
| Obrázek 15: Model křižovatky II/385 / II/386 ve směru na Veverskou Bítýšku a Tišnov | 27 |
| Obrázek 16: Křižovatka II/385 / II/386 ve směru z Tišnova | 27 |
| Obrázek 17: Model mimoúrovňového křížení komunikací I/43 / II/358 / III/6401 mezi Brnem a Kuřimí..... | 28 |
| Obrázek 18: Mimoúrovňová křižovatka před obcí Kuřim | 28 |
| Obrázek 19: Nová úprava křižovatky I/43 / II/386..... | 29 |
| Obrázek 20: Model křižovatky I/43 / II/386..... | 29 |
| Obrázek 21: Model křižovatky I/43 / II/379..... | 30 |
| Obrázek 22: Křižovatka I/43 / II/379 v Lipůvce ve směru z Brna | 30 |
| Obrázek 23: Graf rychlostí z radarového měření a ze zkalibrovaného modelu | 34 |
| Obrázek 24: Průběh rychlostí z kalibrovaného modelu a měření radarem na I/43 | 35 |
| Obrázek 25: Portál pro liniové řízení dopravy | 36 |
| Obrázek 26: Rozmístění panelů pro liniové řízení | 38 |
| Obrázek 27: Umístění prvního panelu pro liniové řízení na ulici Hradecké | 38 |
| Obrázek 28: Umístění druhého panelu pro liniové řízení na ulici Hradecké | 39 |
| Obrázek 29: Umístění třetího panelu pro liniové řízení na ulici Hradecké..... | 39 |
| Obrázek 30: Doby zdržení na silnici II/385 pro spuštění liniového řízení..... | 40 |
| Obrázek 31: Graf průměrné doby zdržení na silnici II/385 pro spuštění liniového řízení | 40 |

| | |
|---|----|
| Obrázek 32: Doby zdržení na silnici II/385 pro spuštění liniového řízení s novým signálním plánem | 41 |
| Obrázek 33: Graf průměrné doby zdržení na silnici II/385 pro spuštění liniového řízení s novým signálním plánem | 41 |
| Obrázek 34: Doby zdržení na silnici II/385 pro vypnutí liniového se stávajícím signálním plánem | 42 |
| Obrázek 35: Graf pro dobu zdržení v na silnici II/385 pro vypnutí liniového řízení při novém signálním plánu | 43 |
| Obrázek 36: Graf doby zdržení na silnici II/385 pro spuštění liniového řízení podle rychlostí vozidel | 43 |
| Obrázek 37: Graf doby zdržení silnici II/385 pro spuštění liniového řízení podle rychlostí vozidel s novým signálním plánem | 44 |
| Obrázek 38: Doba zdržení pro navrhovaná řešení se stávajícím signálním plánem | 45 |
| Obrázek 39: Počet vozidel v koloně pro navrhovaná řešení se stávajícím signálním plánem | 46 |
| Obrázek 40: Doba zdržení pro navrhovaná řešení se stávajícím signálním plánem | 46 |
| Obrázek 41: Počet vozidel v koloně pro navrhovaná řešení s novým signálním plánem | 47 |
| Obrázek 42: Doba zdržení na vedlejší silnici II/386 ve směru z Kuřimi se stávajícím signálním plánem..... | 48 |
| Obrázek 43: Doba zdržení na vedlejší silnici II/386 ve směru z Kuřimi s novým signálním plánem | 48 |
| Obrázek 44: Doba zdržení na vedlejší silnici II/386 ve směru z Kuřimi se stávajícím signálním plánem..... | 49 |
| Obrázek 45: Doba zdržení na vedlejší silnici II/386 ve směru z Kuřimi s novým signálním plánem | 49 |
| Obrázek 46: Sloupcový graf vyjádřený v procentech pro srovnání jednotlivých řešení se stávajícím signálním plánem | 50 |
| Obrázek 47: Sloupcový graf vyjádřený v procentech pro srovnání jednotlivých řešení s novým signálním plánem..... | 51 |
| Obrázek 48: Vzorce pro výpočet spotřeby paliva | 53 |
| Obrázek 49: Parametry pro výpočet spotřeby paliva u osobního vozidla | 54 |
| Obrázek 50: Parametry pro výpočet emisí u osobního vozidla | 55 |
| Obrázek 51: Sloupcový graf v procentech pro porovnání jednotlivých variant se stávajícím signálním plánem..... | 56 |
| Obrázek 52: Sloupcový graf v procentech pro porovnání jednotlivých variant se stávajícím signálním plánem..... | 57 |

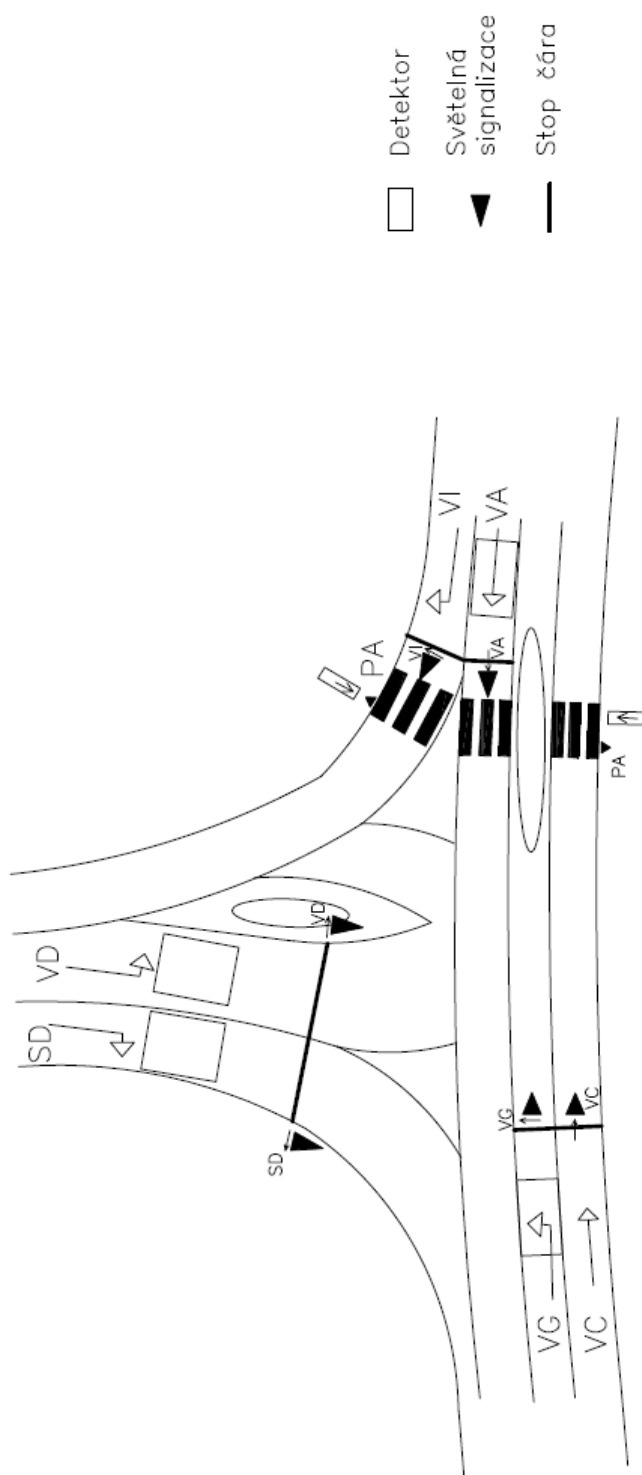
SEZNAM TABULEK

| | |
|---|----|
| Tabulka 1: Intenzity vozidel na jednotlivých stanovištích změřené radarem | 15 |
| Tabulka 2: Matice přepravních vztahů | 21 |
| Tabulka 3: Výpis dob zdržení u jednotlivých navrhovaných řešení | 37 |
| Tabulka 4: Porovnání kritérií jednotlivých řešení | 52 |
| Tabulka 5: Porovnání jednotlivých řešení v rámci finanční a emisní úspory | 59 |
| Tabulka 6: Součet ušetřených částek za palivo a cestování cestujících | 60 |

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha I Schéma označení směrů k signálnímu plánu a umístění signalizačních zařízení
- Příloha II Signální plány stávajícího stavu a navrhovaných řešení

Příloha I



SEZNAM MODELŮ V PROGRAMU AIMSUN PŘILOŽENÝCH NA CD

Stávající stav - kalibrace

Návrh liniového řízení s rychlostmi 60, 60, 60 km/h

Návrh liniového řízení s rychlostmi 60, 60, 70 km/h

Návrh liniového řízení s rychlostmi 60, 70, 70 km/h

Návrh liniového řízení s rychlostmi 70, 70, 70 km/h

Návrh liniového řízení s rychlostmi 70, 70, 80 km/h

Návrh liniového řízení s rychlostmi 70, 80, 80 km/h

Návrh liniového řízení s rychlostmi 80, 80, 80 km/h

Návrh liniového řízení s rychlostmi 60, 70, 80 km/h

Návrh liniového řízení s rychlostmi 80, 70, 60 km/h

Návrh liniového řízení s novým signálním plánem s rychlostmi 60, 60, 60 km/h

Návrh liniového řízení s novým signálním plánem s rychlostmi 60, 60, 70 km/h

Návrh liniového řízení s novým signálním plánem s rychlostmi 60, 70, 70 km/h

Návrh liniového řízení s novým signálním plánem s rychlostmi 70, 70, 70 km/h

Návrh liniového řízení s novým signálním plánem s rychlostmi 70, 70, 80 km/h

Návrh liniového řízení s novým signálním plánem s rychlostmi 70, 80, 80 km/h

Návrh liniového řízení s novým signálním plánem s rychlostmi 80, 80, 80 km/h

Návrh liniového řízení s novým signálním plánem s rychlostmi 60, 70, 80 km/h

Návrh liniového řízení s novým signálním plánem s rychlostmi 80, 70, 60 km/h