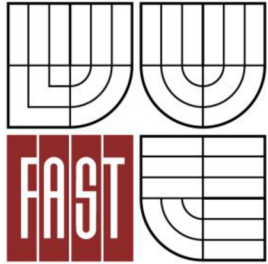




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ**

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

MIKROSIMULAČNÍ MODEL SILNICE II/385 VE MĚSTĚ KUŘIM

MICROSIMULATION MODEL OF THE ROAD II/385 IN KUŘIM

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

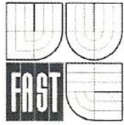
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

IVANA MLČKOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. PETR HOLCNER, Ph.D.

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor 3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště Ústav pozemních komunikací

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student Ivana Mičková

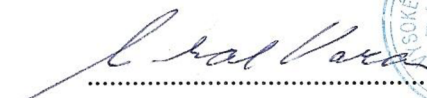
Název Mikrosimulační model silnice II/385 ve městě Kuřim

Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Petr Holcner, Ph.D.

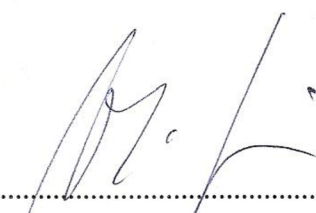
Datum zadání bakalářské práce 30. 11. 2013

Datum odevzdání bakalářské práce 30. 5. 2014

V Brně dne 30. 11. 2013


.....
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

Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

Vypracujte modely silnice II/385 ve městě Kuřim, včetně OK křižovatky u Penny Marketu, světelné křižovatky s ulicí Legionářská, a křižovatky s ulicí Zámecká. Jako první vypracujte model stávajícího stavu, který posléze kalibrujte a validujte na základě výsledků dopravního průzkumu. Navrhněte řešení, která optimalizují průjezd vozidel městem Kuřim. Zvolte více variant řešení a zpracujte je formou modelů. Výstupy z modelů případně doplňte dalšími potřebnými podklady (finanční rozvaha, prostorová studie...) a jednotlivá řešení porovnejte.

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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



doc. Ing. Petr Holcner, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá návrhem dopravního řešení za pomoci modelování dopravního proudu. Dopravní data získána měřením z terénu byla následně zpracována v programu Aimsun a byl vytvořen model stávajícího stavu tak, aby se co nejvíce podobal realitě. Za stejného dopravního zatížení se navrhuje možná řešení a jejich porovnáním jednotlivých variant se vybere nejefektivnější řešení.

KLÍČOVÁ SLOVA

Simulace, Mikrosimulace, Aimsun, Modelování, Návrh, Křižovatka řízená světelnými signály, Kuřim

ABSTRACT

Bachelor thesis solves several issues of traffic solution with using microsimulation of traffic flow. Traffic dates, which were obtained during the fielding, were used for creating model of existing state in Aimsun. This simulation is supposed to be as close to reality as possible. Several solutions were suggested and the most effective was chosen.

KEYWORDS

Simulation, Microsimulation, Aimsun, Modelling, Suggestion, Crossroad junction controlled by traffic lights, Kurim

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Ivana Mlčková *Mikrosimulační model silnice II/385 ve městě Kuřim*. Brno, 2014. 42 s., 3 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce doc. Ing. Petr Holcner, Ph.D.

Prohlášení:

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

V Brně dne 28. 5. 2014

.....
podpis autora

Ivana Mlčková

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych ráda poděkovala Ing. Jiřímu Apeltauerovi za pomoc a cenné rady při vypracování mé bakalářské práce. Dále chci poděkovat svojí rodině za podporu ve studiu.

OBSAH

Úvod	10
1 Stávající stav	11
1.1 Úvod	11
1.2 Stanoviště 1	12
1.2.1 Směr Kuřim	12
1.2.2 Směr Brno	13
1.3 Stanoviště 2	14
1.3.1 Směr Kuřim	14
1.3.2 Směr Blansko	15
1.4 Stanoviště 3	16
1.4.1 Směr Kuřim	16
1.4.2 Směr Jinačovice	17
1.5 Stanoviště 4	18
1.5.1 Směr Kuřim	18
1.5.2 Směr Veverská Bítýška	19
1.6 Stanoviště 5	20
1.6.1 Směr Kuřim	20
1.6.2 Směr Tišnov	21
1.7 Závěr	22
2 Model dopravy v programu AIMSUN	24
2.1 Úvod	24
2.2 Zpracování naměřených dat	24
2.2.1 Analýza dat a volba období simulace	24
2.2.2 Matice přepravních vztahů	25
2.3 Editace modelu	26

2.3.1	Podklad a geometrické uspořádání	26
2.3.2	Zadání dopravního zatížení	29
2.4	Kalibrace modelu	29
2.4.1	Přiblížení se skutečnosti	29
2.4.2	Kalibrace modelu.....	30
2.5	Návrh řešení	31
	Závěr.....	35
	Seznam příloh.....	37
	Seznam obrázků.....	41
	Seznam tabulek.....	41
	Seznam modelů vytvořených v programu aimsun	42

ÚVOD

Ve stávajícím stavu je komplikací 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. Křižovatka II/385 / II/386 je styková a řízená světelnou signalizací. Nachází se zde i přechod pro chodce, který je řízen na základě výzvy.

Cílem práce je navrhnout úpravy na zmíněné stykové křižovatce za pomoci softwaru pro mikrosimulační modelování dopravního proudu. K vytvoření modelu stávajícího stavu byl potřebný průzkum stávajícího stavu. K tomuto průzkumu patří i světelný přechod mezi křižovatkou II/385 / II/386 a okružní křižovatkou a také změření rychlostí pro kalibraci v profilu, jehož umístění je uvedeno v příloze. Následně z modelu stávajícího stavu byl navržen stav nový.

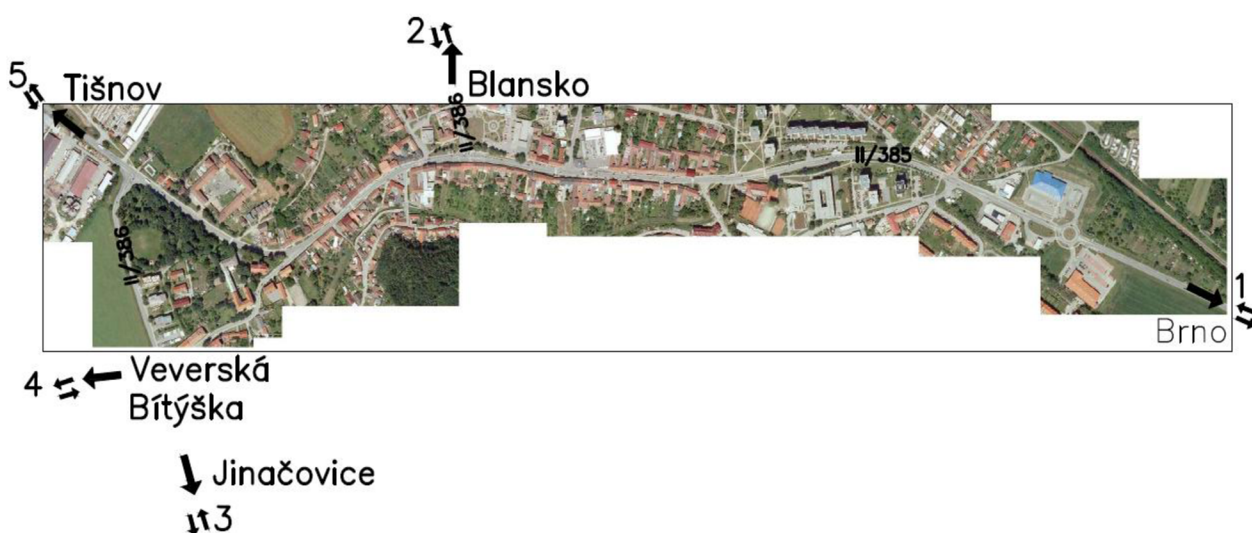
1 STÁVAJÍCÍ STAV

1.1 Úvod

Pro zjištění největších intenzit byla použita dlouhodobá měření, probíhající celý týden, pomocí radarů, které byly umístěny na 5 stanovištích, jak je vidět z následujícího obrázku 1. Stanoviště 1 bylo zhruba o 500 m dále směrem na Brno na silnici II/385, stanoviště 2 o 1km dále směrem na Blansko na silnici II/386 a stanoviště 3 asi o 1km blíže k Jinačovicím také na silnici II/386. Z těchto měření byly změřeny intenzity a rychlost vozidel, tato data byla zpracována do grafů. Graf na obrázku 2. nahoře vyjadřuje denní a hodinové intenzity vozidel a dolní graf na obr. 2. závislosti rychlosti vozidel na čase, který byl proveden pomocí klouzavého průměru. Klouzavý průměr je spojnice trendu k vyrovnání kolísání dat ke srozumitelnějšímu průběhu nebo trendu. Při vytvoření klouzavého průměru je vypočítán průměr z určitého počtu datových bodů, které se zadávají jako období (ve všech grafech je použita hodnota 40), první bod ve spojnici trendu je průměr z prvních 40 bodů. Pro výpočet se používá vzorec:

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

V následujících kapitolách si porovnáme grafy z jednotlivých stanovišť.

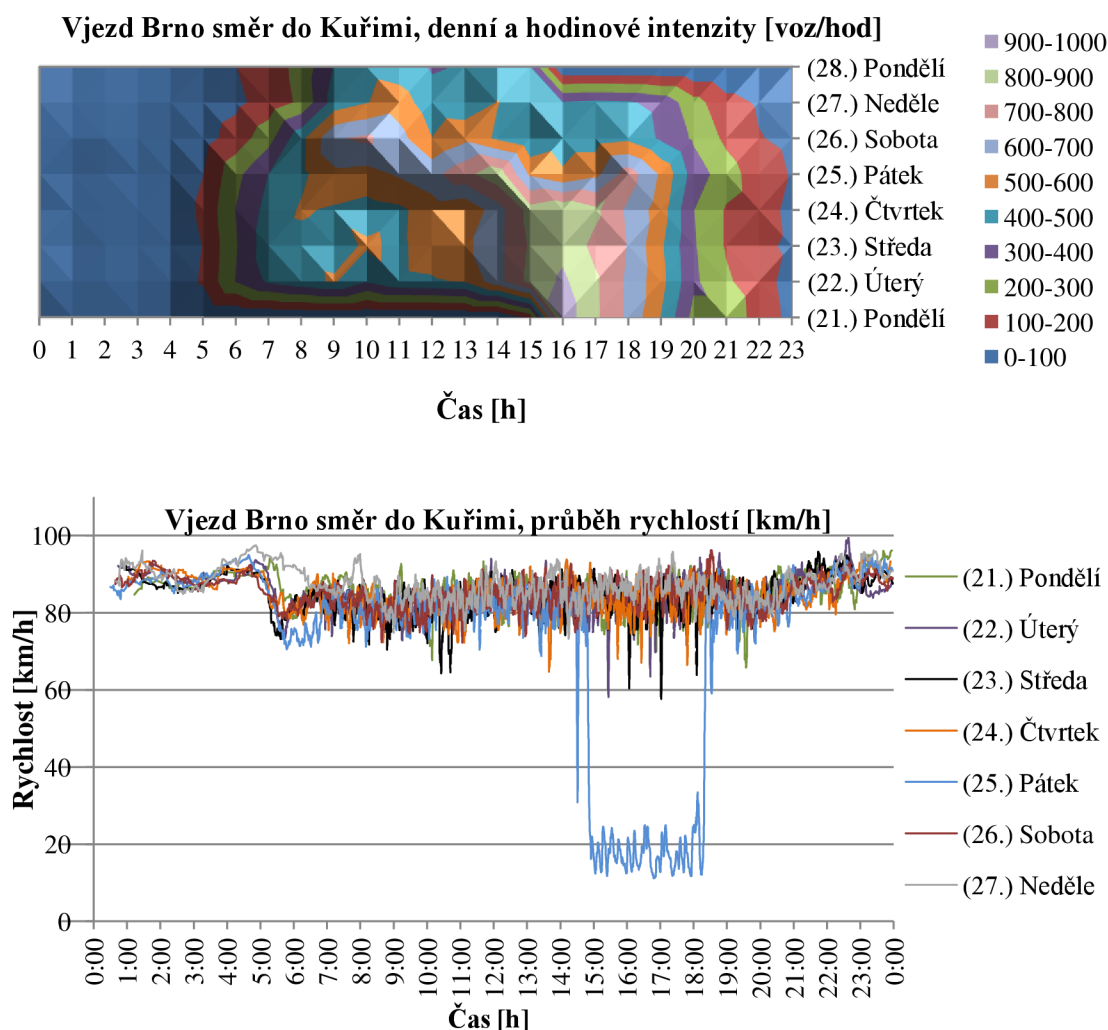


Obrázek 1: Stanoviště

1.2 STANOVIŠTĚ 1

1.2.1 SMĚR KUŘIM

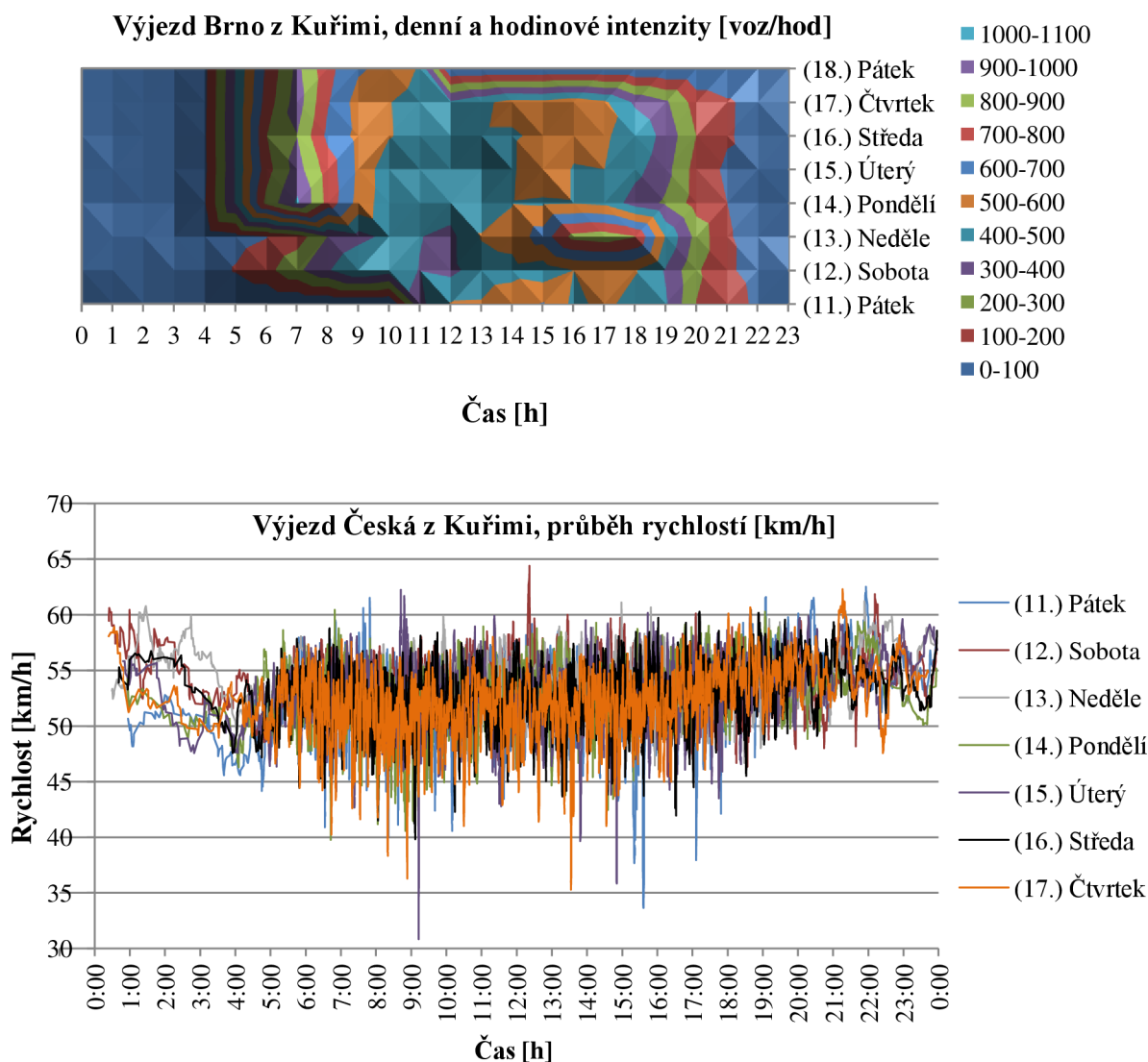
Na tomto stanovišti byl umístěn radar ve dnech od 21. do 28. 9. 2009. Z následujícího grafu intenzit je patrné, že nejvíce vozidel se pohybuje po komunikaci mezi 15. až 17. hodinou (800-1000 voz/hod) zejména od čtvrtka do pondělí. Z druhého grafu jsou patrné mírné výkyvy rychlostí způsobeny umístěním radaru v místě přípojovacího pruhu. Nejzajímavější je výrazný pokles rychlostí mezi 15. - 18. hodinou v pátek, kdy se tvoří dlouhá kolona procházející městem Kuřim po silnici II/385 od světelné křižovatky na náměstí 1. května a končící asi 1 km za obcí Kuřim. S propadem rychlostí koresponduje pokles intenzit. Tato práce se má zabývat zejména tímto dopravním problémem a navrhnout jeho řešení.



Obrázek 2: Grafy intenzit a rychlostí na stanovišti 1 ve směru do Kuřimi

1.2.2 SMĚR BRNO

Radar byl umístěn na stejném místě jako u předchozího směru v období od 11. do 18. 9. 2009. Jelikož tento dopravní pruh směřuje na Brno, tak je nejvíce zatížený v ranních hodinách mezi 6. – 8. hodinou. Intenzita vozidel se pohybuje kolem 900 voz/hod. Během dne dochází k poklesům rychlostí, je to zejména v době, kdy se na komunikaci vyskytuje větší počet vozidel. Nedaleko radaru se nachází odbočovací pruh, kde vozidla zpomalují, kvůli zařazení do jiného jízdního pruhu a při větších intenzitách se zpomalí celý dopravní proud, dochází tedy k poklesům rychlostí.

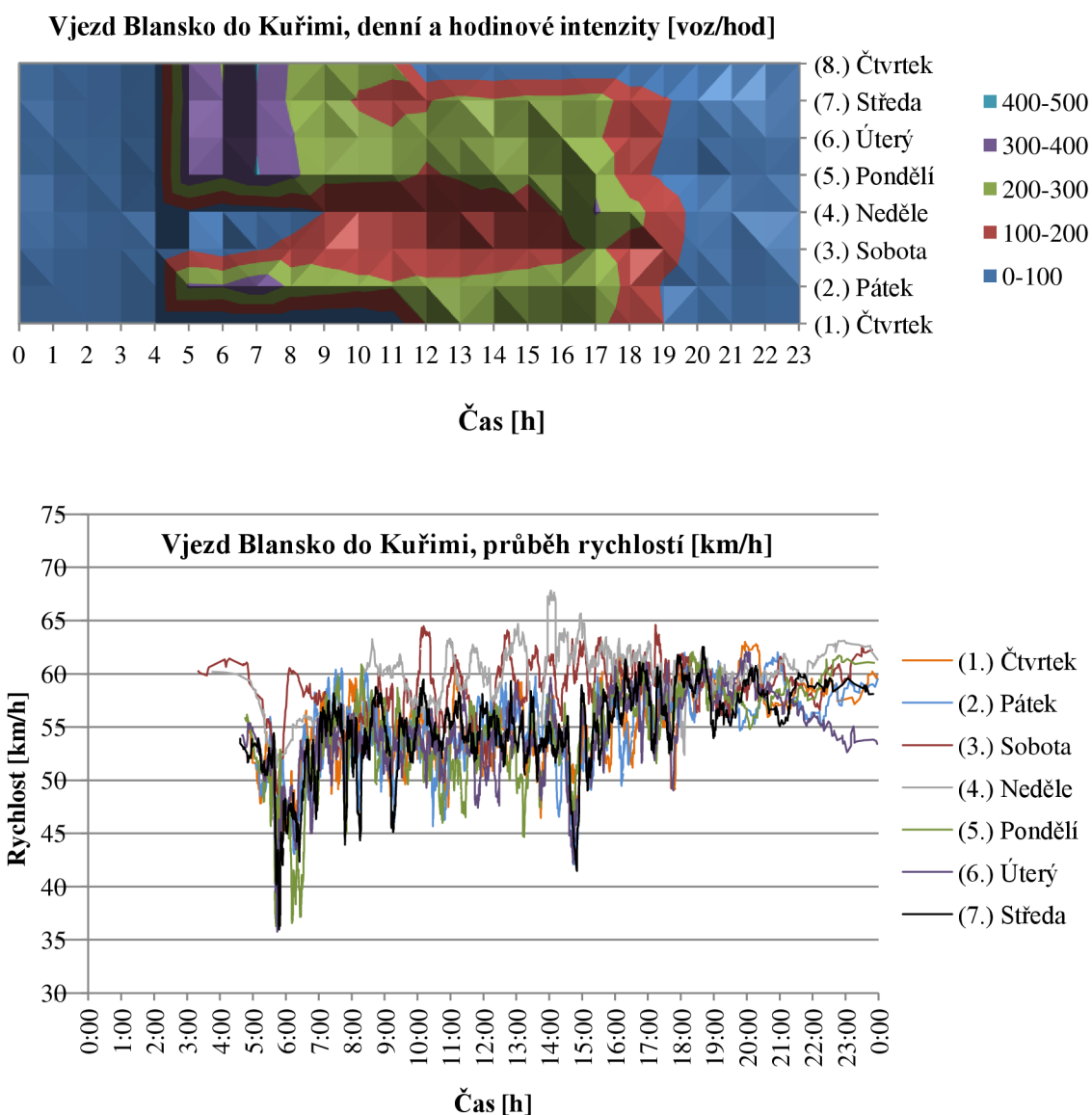


Obrázek 3: Grafy intenzit a rychlostí na stanovišti 1 ve směru na Brno

1.3 STANOVIŠTĚ 2

1.3.1 SMĚR KUŘIM

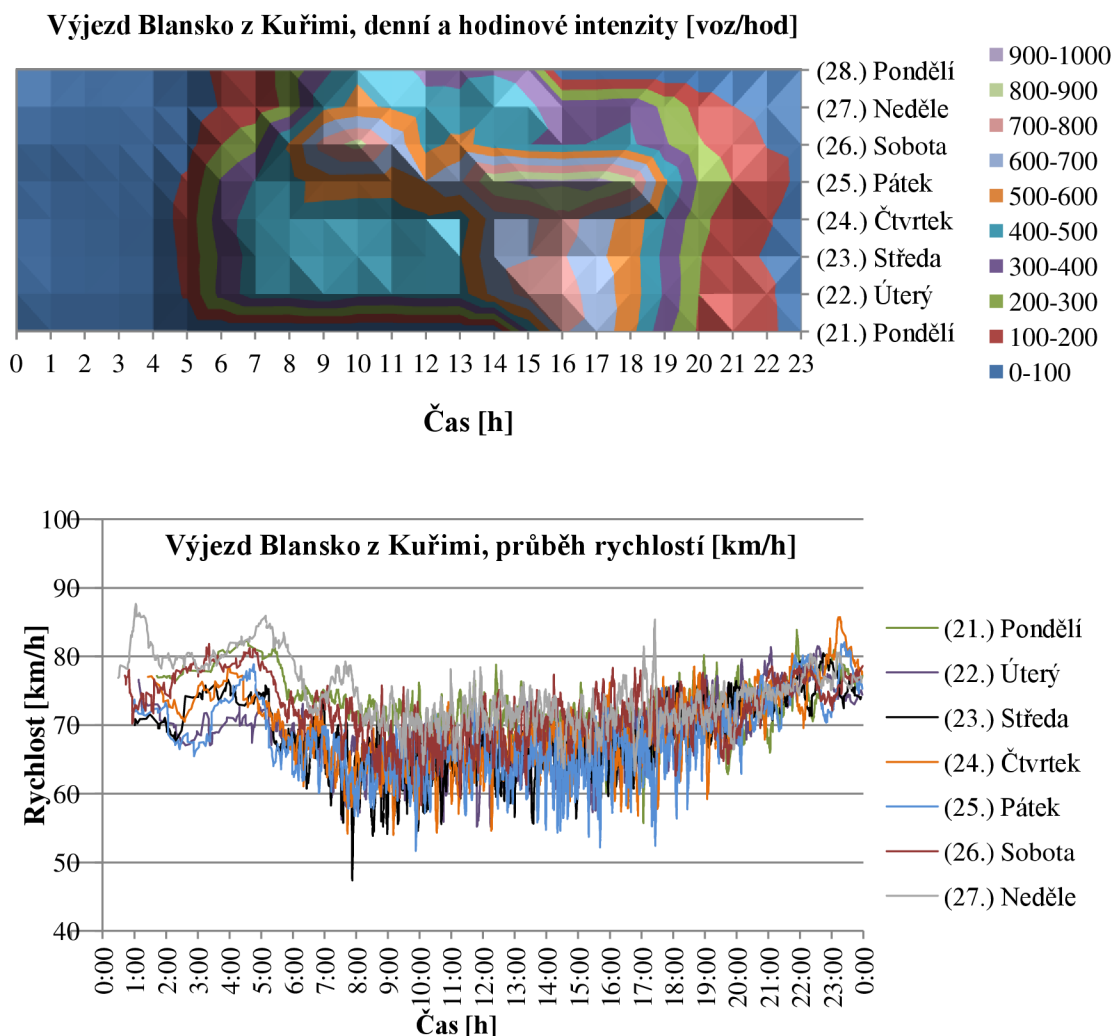
Ve dnech od 1. do 8. 10. 2009 byl radar umístěn v blízkosti vjezdu do obce Kuřim na silnici II/386. Na tomto vjezdu nebyly naměřeny příliš vysoké intenzity. Nejvíce vozidel se zde pohybuje mezi 5. a 8. hodinou ráno (okolo 400 voz/hod). Rychlost je zde rozmanitější, jelikož se toto místo nachází za křižovatkou a vozidla se zde rozjíždí.



Obrázek 4: Grafy intenzit a rychlostí na stanovišti 2 ve směru do Kuřimi

1.3.2 SMĚR BLANSKO

Měření na tomto stanovišti, které se nachází v blízkosti křížení této měřené komunikace s hlavní komunikací směřující do Lipůvky, probíhalo od 21. do 28. 9. 2009. Dle očekávání jsou z grafu patrné největší intenzity v odpoledních hodinách mezi 14. a 18. hodinou, kdy se lidé vrací z práce. Tyto intenzity jsou oproti druhému dopravnímu směru jednou tak velké (kolem 800 až 900 voz/hod). Z grafu rychlostí jsou patrné drobné kongesce vznikající v ranních i odpoledních hodinách, což je způsobeno dáváním přednosti v jízdě vozidlům na hlavní komunikaci I/43. V pátek jsou tyto kongesce delší a trvalejší, což je způsobeno kolonou na hlavní komunikaci ve směru na Lipůvku, kde se v pátek odpoledne tvoří velmi dlouhé kolony. Vozidla odbočující vlevo mají neúnosně dlouhou dobu čekání a dost často se musí spoléhat na to, že je řidiči na hlavní komunikaci pustí.

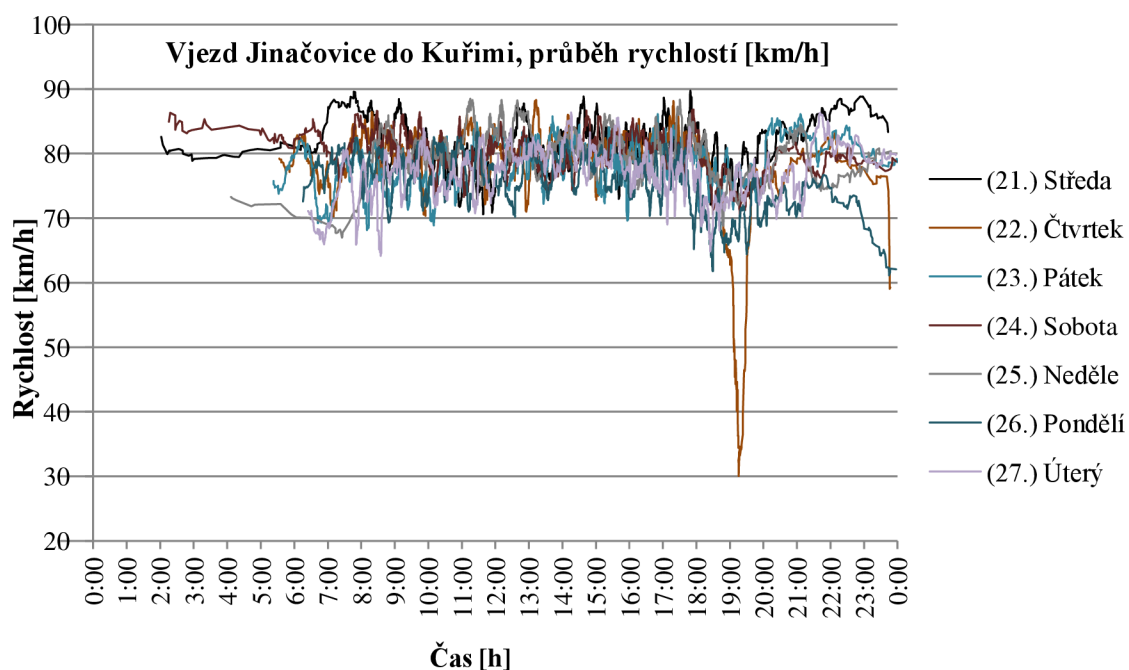
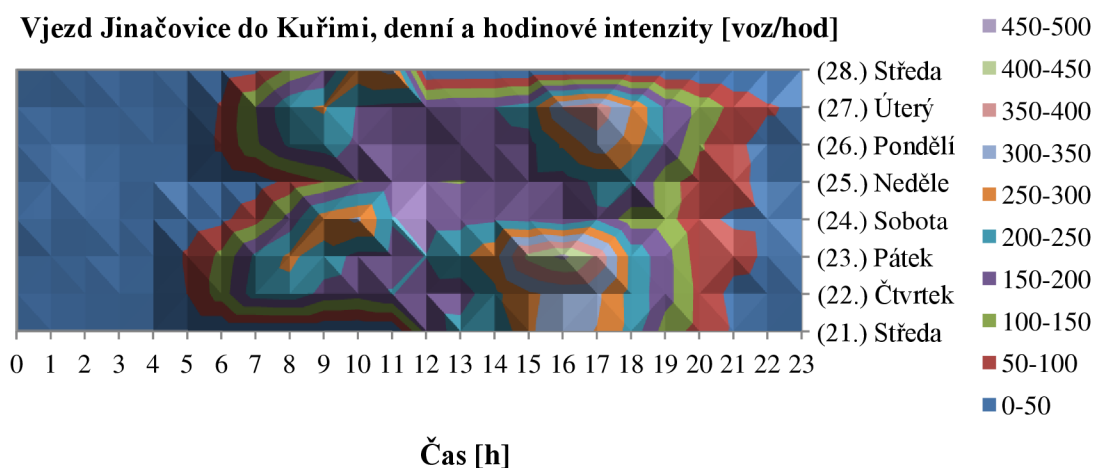


Obrázek 5: Grafy intenzit a rychlostí na stanovišti 2 ve směru na Blansko

1.4 STANOVIŠTĚ 3

1.4.1 SMĚR KUŘIM

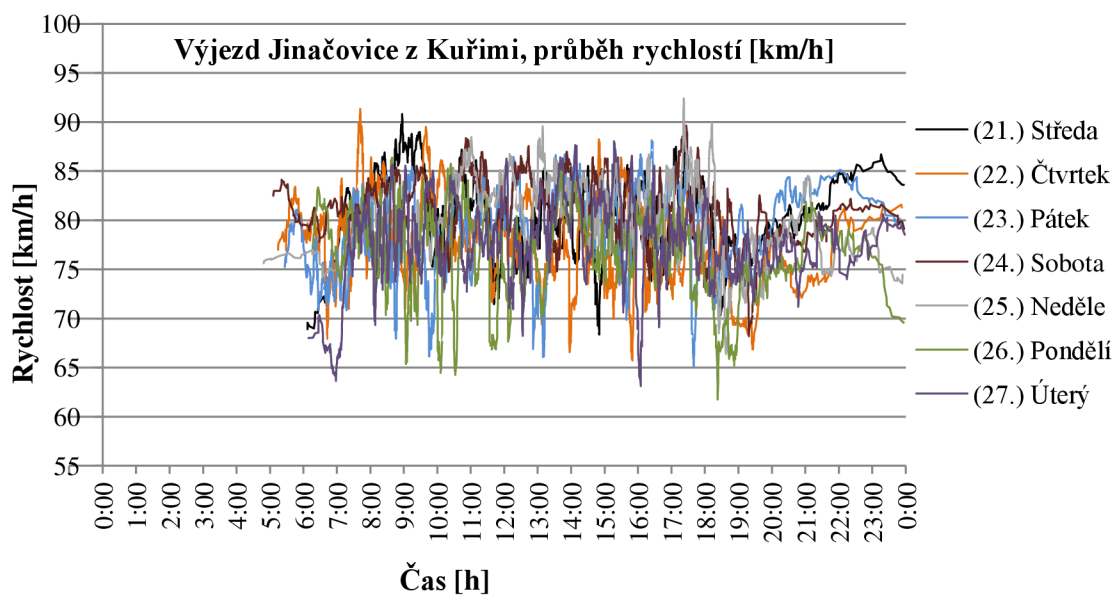
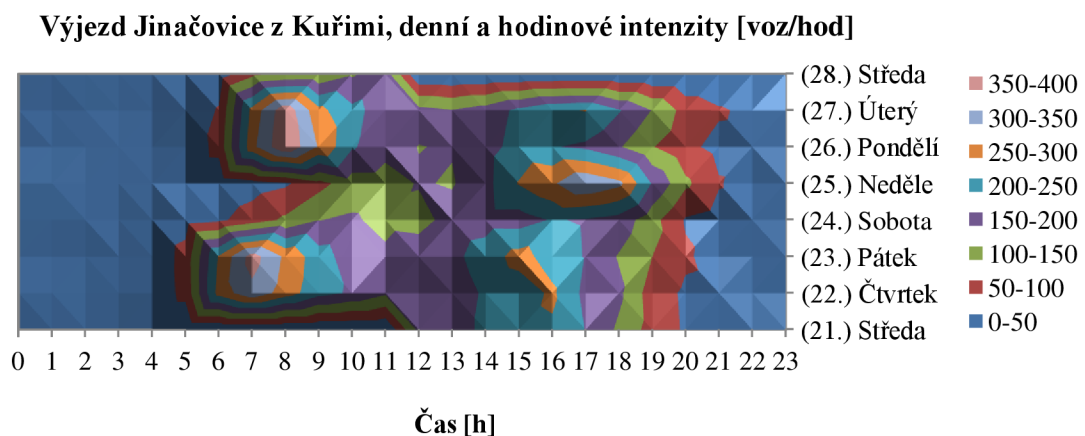
V tomto směru byl radar umístěn ve dnech od 21. do 28. 10. 2009. Intenzita vozidel zde není tak vysoká, pohybuje se kolem 400 voz/hod a je především mezi 15. až 17. hodinou.



Obrázek 6: Grafy intenzit a rychlostí na stanovišti 3 ve směru do Kuřimi

1.4.2 SMĚR JINAČOVICE

Tento směr byl měřen ve stejné době jako předchozí směr. Intenzity zde nejsou opět velmi vysoké, jedná se okolo 300-350 voz/hod zejména v ranních hodinách mezi 7. a 9. hodinou. Z grafu rychlostí vyplývá, že vozidla se průběh rychlostí je plynulý až na některé menší rychlosti, které způsobují pomalejší vozidla.

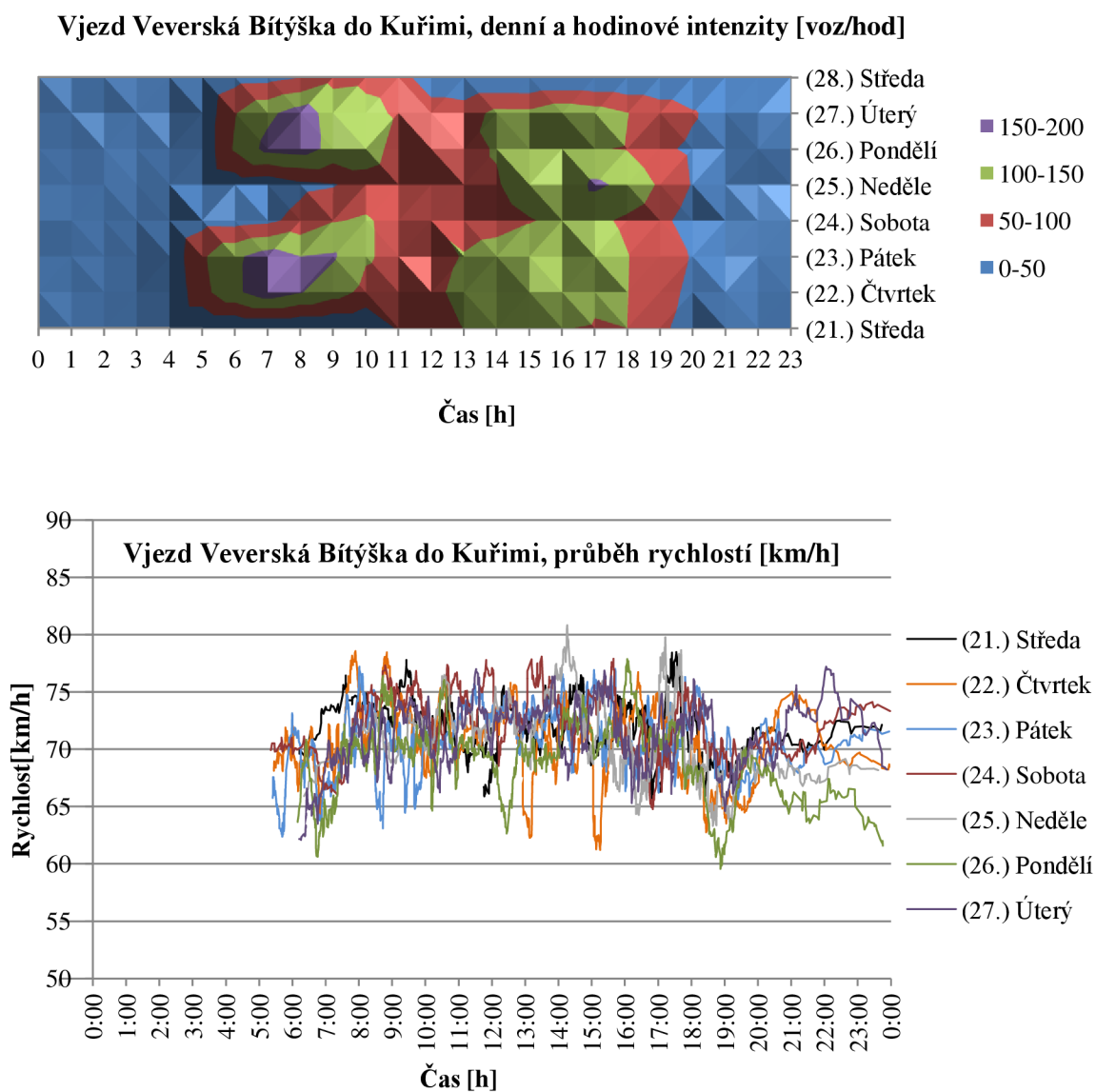


Obrázek 7: Grafy intenzit a rychlostí na stanovišti 3 ve směru na Jinačovice

1.5 STANOVIŠTĚ 4

1.5.1 SMĚR KUŘIM

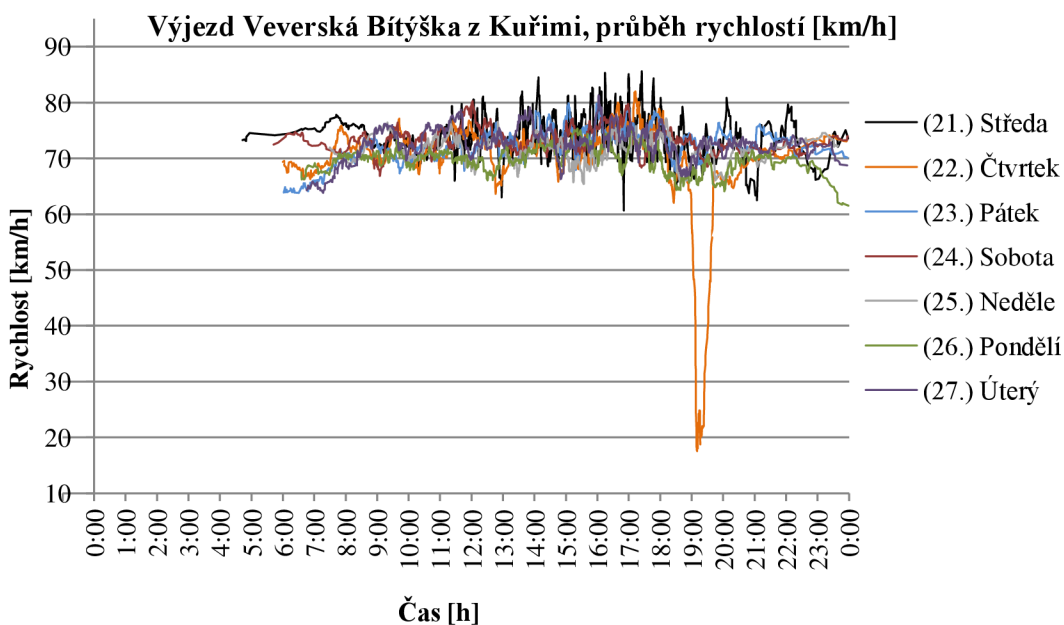
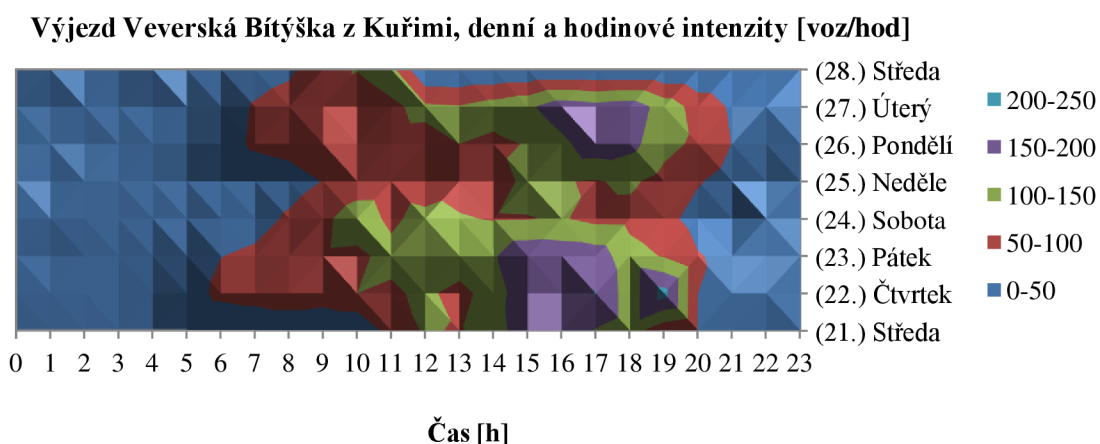
Měření bylo provedeno 21. až 28. 10. 2009, od středy do úterý. Z následujícího grafu vyplývá, že největší intenzita vozidel je ve čtvrtek mezi 6. až 9. hodinou ranní (kolem 170 voz/h). V této době je komunikace zatížena lidmi, kteří dojíždějí do práce do Brna. Z grafu rychlostí je patrný pokles rychlostí během celého dne bez ohledu na intenzity. Místo měření nacházelo u směrového oblouku, což dle mého názoru ovlivňuje rychlosti vozidel. Dopravní proud je tedy v tomto místě pomalejší.



Obrázek 8: Grafy intenzit a rychlostí na stanovišti 4 ve směru do Kuřimi

1.5.2 SMĚR VEVERSKÁ BÍTÝŠKA

Měření probíhalo 21. až 28. 10. 2009, od středy do úterý. Z následujícího grafu vyplývá, že největší intenzita vozidel, která zde není moc vysoká, se dle očekávání přesunula do odpoledních hodin mezi 14. a 20. hodinu (intenzita je kolem 200 voz/h). Oproti ranní špičce v opačném směru je rozprostřena do delšího časového úseku. Z grafu rychlostí je patrný pokles rychlostí především ve čtvrtek kolem 19. hodiny, což je způsobeno pomalejšími vozidly.

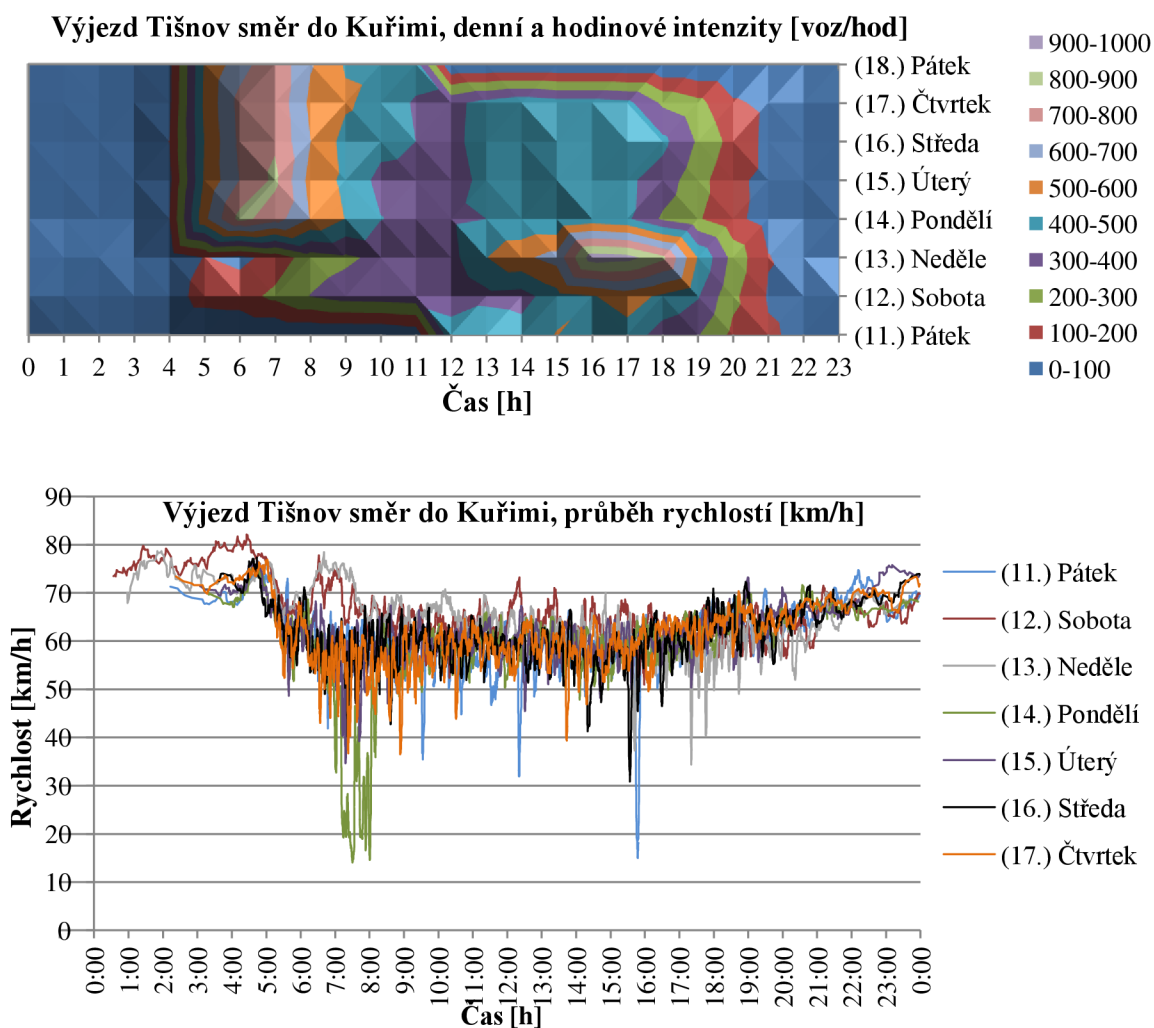


Obrázek 9: Grafy intenzit a rychlostí na stanovišti 4 ve směru na Veverskou Bítýšku

1.6 STANOVIŠTĚ 5

1.6.1 SMĚR KUŘIM

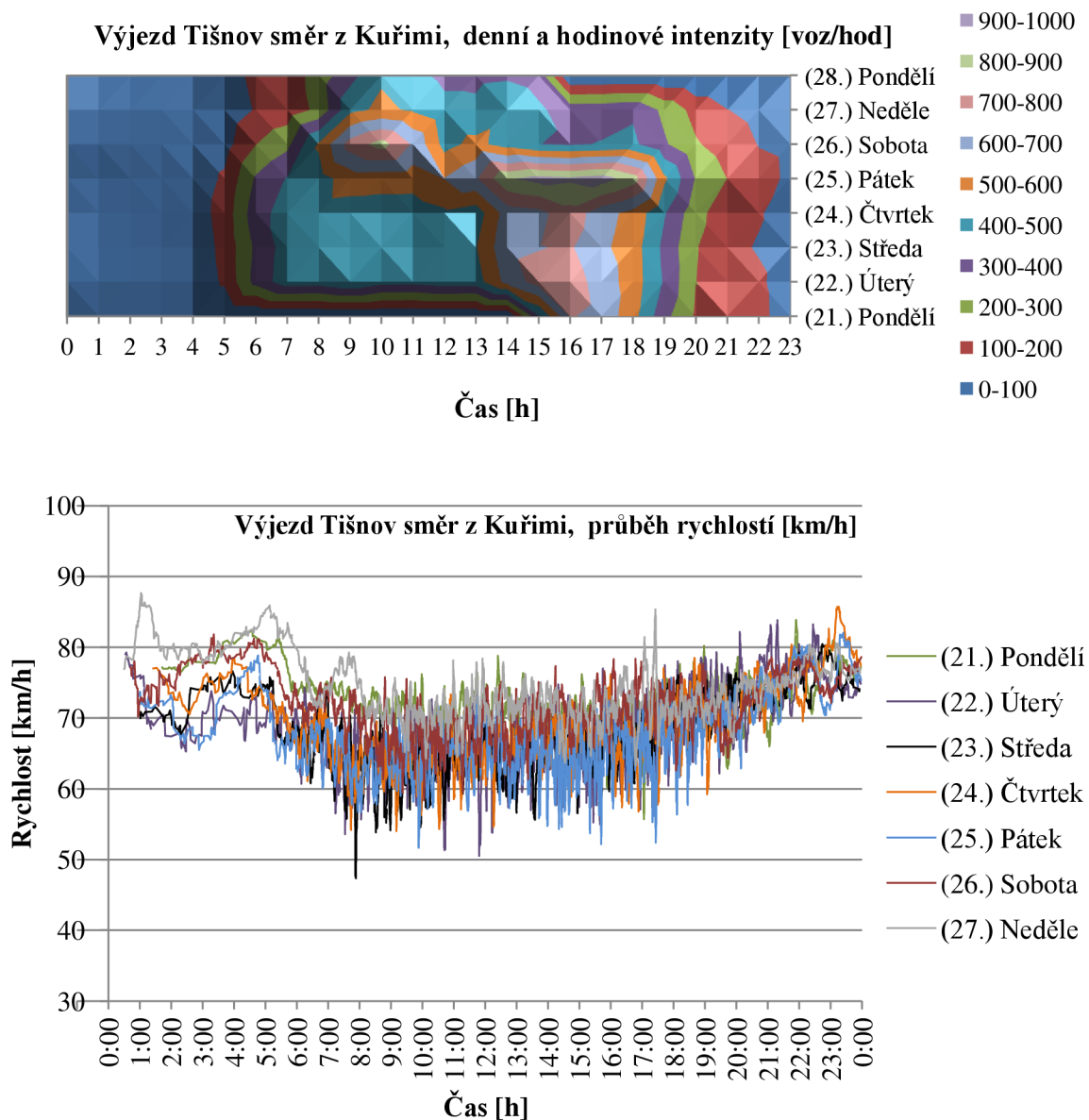
Měření na tomto stanovišti probíhalo 11. až 18. 9. 2009, od pátku do čtvrtka. Z grafu je patrné, že největší intenzita vozidel je v ranních hodinách mezi 6. a 8. hodinou a odpoledne mezi 15. a 18. hodinou. Intenzita vozidel je mnohem větší než na předchozím stanovišti (asi 900voz/h). Vysoká intenzita vozidel v odpoledních hodinách je v neděli, lze tedy předpokládat, že se lidé vrací z víkendových pobytů. Kongesce vznikají v ranních hodinách z důvodu většího množství lidí dojíždějících za prací. Z grafu rychlostí je patrný pokles především v pondělí mezi 7. a 8. hodinou, který je zřejmě způsobený křižovatkou řízenou světelnou signalizací na náměstí 1. května a přechodem pro chodce řízeným signalizací, kde především ráno chodí děti do školy, která je poblíž.



Obrázek 10: Grafy intenzit a rychlostí na stanovišti 5 ve směru do Kuřimi

1.6.2 SMĚR TIŠNOV

Radar byl umístěn na tomto stanovišti 21. až 28. 9. 2009, od pondělí do neděle. Největší intenzita vozidel je dle očekávání odpoledne mezi 14. a 18. hodinou. Intenzita vozidel se pohybuje kolem 900 voz/h. Rychlost vozidel během dne je téměř stejná, drobné výkyvy jsou způsobeny pomalejšími vozidly.



Obrázek 11: Grafy intenzit a rychlostí na stanovišti 5 ve směru na Tišnov

1.7 ZÁVĚR

Na základě naměřených dat jsem došla k následujícím závěrům. Porovnáním grafů byla zjištěna kongesce v pátek od 15. do 18. hodiny ve směru z Brna do Kuřimi. V této době vzniká kolona, která má počátky na křižovatce řízené světelnou signalizací a je dlouhá kolem 1,5 km. Pro upřesnění těchto výsledků bylo provedeno nové měření v nejintenzivnějších hodinách v pátek 8. 11. 2013 od 16. do 17. hodin na 3 křižovatkách (viz. obr. 12) a to na kruhovém objezdu u obchodů Lidl a Penny, na stykové křižovatce na náměstí 1. května a na stykové křižovatce, kde se stýká ulice Zámecká s ulicí Tišnovská.



Obrázek 12: Nová stanoviště

Z tohoto měření byly spočteny intenzity vozidel v jednotlivých směrech a podle směru jejich cíle (viz. tab. 1 -3). Ve sloupci jsou uvedeny směry, ze kterých vozidla jela, a v řádku kam vozidla jela.

Tabulka 1: Stanoviště 1- kruhový objez

	Brno	Lidl	Tišnov	Penny	Suma
Brno	-	74	835	48	957
Lidl	57	-	90	26	173
Tišnov	607	162	-	48	860
Penny	14	6	96	-	116
Suma	678	242	1064	122	2106

Tabulka 2: Stanoviště 2- křižovatka řízená světelnou signalizací

	Brno	Blansko	Tišnov	suma
Brno	-	82	799	881
Blansko	180	-	262	442
Tišnov	583	202	-	785
suma	763	284	1061	2108

Tabulka 3: Stanoviště 3- styková křižovatka Veverská Bítýška- Tišnov

	Brno	Tišnov	Veverská Bít.	suma
Brno	-	882	233	1115
Tišnov	534	-	128	662
Veverská Bítýška	47	115	-	162
suma	581	997	361	1939

Je patrné, že nejvíce vozidel jezdí z Brna, jak již vyplynulo z předchozích grafů. Z hodnot v tabulkách byla vytvořena matice přepravních vztahů, která je popsána v následující kapitole. Tyto data byla dále zpracovávána do modelu v programu Aimsun.

2 MODEL DOPRAVY V PROGRAMU AIMSUN

2.1 ÚVOD

Modelování dopravy se používá už několik desetiletí, ale k jejich rozvoji došlo až v posledním době s rozvojem počítačové techniky. V současnosti se již objevují aplikace, které umožňují přístup i širší odborné veřejnosti. Jednou z těchto aplikací je od španělské firmy TSS program AIMSUN. Tento program má poměrně jednoduché ovládání s přístupem i k podrobným nastavením. Umožňuje velmi rozsáhlé modelování od jednoho autobusového pruhu až po celý region. Je možné v něm modelovat statickou i dynamickou dopravu v makroskopickém, mezoskopickém a mikroskopickém rozlišení. Tento program je pro dopravní inženýrství velmi dobrým nástrojem, který dokáže řešit i situace, které není možné řešit analyticky. Během krátké doby lze vymodelovat i složité dopravní sítě, v nichž je možné experimentovat s možným řešením a ihned porovnávat výsledky. Na základě těchto předností byl zvolen program AIMSUN k vypracování modelu mé bakalářské práce. Cílem dopravní simulace je předejít špatným úsudkům nebo výpočtům, na základě kterých se realizují řešení za nemalé částky peněz. Pro zpracování simulace byly zvoleny 3 křižení komunikací na silnici II/385. Příloha má popsat postup od zpracování dat, přes ladění modelu stávajícího stavu, až po hledání řešení.

V následujících kapitolách se pokusím popsat jednotlivé fáze modelování, které je provedeno v programu AIMSUN verze 6.1.

2.2 ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH DAT

2.2.1 ANALÝZA DAT A VOLBA OBDOBÍ SIMULACE

Pro přesnější dopravní simulaci je důležitá přesnost vstupních dat a jejich správné vyhodnocení. Předchozí kapitola se zabývá tím, jak byla získána data stávajícího stavu a jsou zde i podrobněji rozebrána. Nyní se budeme zabývat daty z hlediska modelování.

Ze zpracovaných hodnot vyplývá, že ve sledovaném území jsou dvě kritická časová období. Jedná se o pondělí ráno a pátek odpoledne, kde zejména v pátek vznikají dlouhé kolony, jak je popsáno v kapitole stávající stav. V pondělí mezi 7. a 8. hodinou se tvoří kolony ve směru na Brno a v pátek mezi 15. a 18. hodinou v opačném směru. Jelikož v pátek

jsou kongesce největší a trvají déle, než v pondělí byl zvolen pátek odpoledne pro vytváření simulace. Kolony začínají na křižovatce II/385 s II/386 a končí až za okružní křižovatkou. Dalším důležitým parametrem je časové rozmezí. Musíme vzít v úvahu délku simulace, kdy s každou hodinou navíc musíme počítat s delším časem stráveným u ladění modelu a hledání řešení dané situace. Z těchto důvodů byla zvolena doba mezi 16. a 17. hodinou. Následně byla vypracována matice přepravních vztahů, která je popsána níže. Tato matice byla vytvořena na základě podrobnějšího měření, které bylo provedeno od 16. do 17. hodin na okružní křižovatce a na křižovatkách silnice II/385 s II/386.

2.2.2 MATICE PŘEPRAVNÍCH VZTAHŮ

Intenzitu je možné zadávat do programu Aimsun dvěma způsoby. Buďto pomocí intenzit na vstupních sekcích v modelu a směrových procent v křižovatkách, anebo maticí přepravních vztahů. Pouze druhý způsob je vhodný pro okružní křižovatky, musela jsem tedy použít k zadání intenzit matici přepravních vztahů (viz. tab. 4). Odhad matice byl vytvořen pomocí procent naměřených v jednotlivých profilech. Porovnáním počtu vozidel v jednotlivých profilech naměřených a odhadovaných, kde byla kritériem desetiprocentní odchylka. 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. Do počtu vozidel jsou zahrnuta i nákladní vozidla a kamiony. Jejich procentuálním podílem jsem sestrojila matice i pro tyto vozidla. Po získání všech těchto dat jsem mohla přistoupit k modelování v programu Aimsun.

Tabulka 4: Matice přepravních vztahů

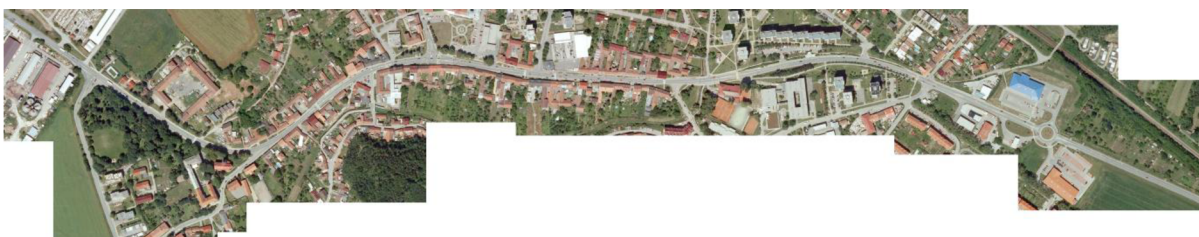
	Blansko	Vev. Bítýška	Tišnov	Brno	Lidl	Penny
Brno	130	184	718	-	99	55
Tišnov	149	71	-	332	89	26
Veverská Bítýška	9	-	100	42	7	2
Blansko	-	62	175	152	34	10
Lidl	7	16	60	65	-	26
Penny	7	17	60	26	6	-
suma	303	349	1113	617	235	119
procenta	94%	103%	90%	110%	103%	102%

2.3 EDITACE MODELU

2.3.1 PODKLAD A GEOMETRICKÉ USPOŘÁDÁNÍ

Editace modelu v programu je možná dvěma způsoby. První způsob je na výkrese ve formátu dwg a druhý způsob, který jsem zvolila, je editace nad obrázkem. Tento podklad jsem vytvořila z ortofotomapy, což přináší nepřesnosti, ty jsou však zanedbatelné.

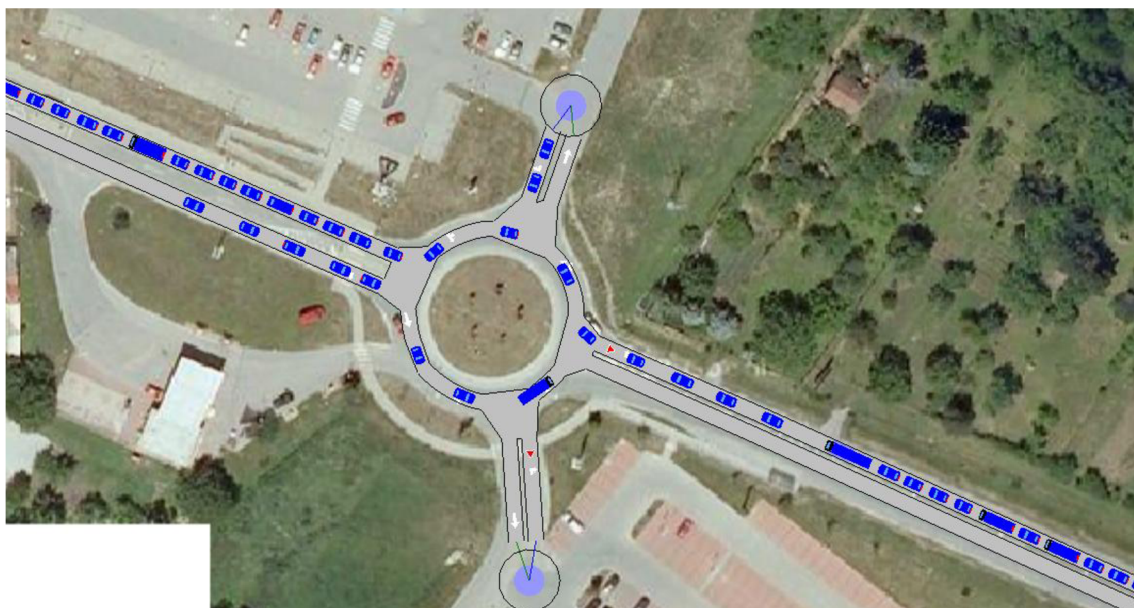
Můj postup byl následující: na mapách společnosti Google jsem si nasnímala ve stejném měřítku několik obrázků za sebou a poskládala jsem z nich celou situaci, jež je vidět na následujícím obrázku.



Obrázek 13: Podklad z ortofotomapy

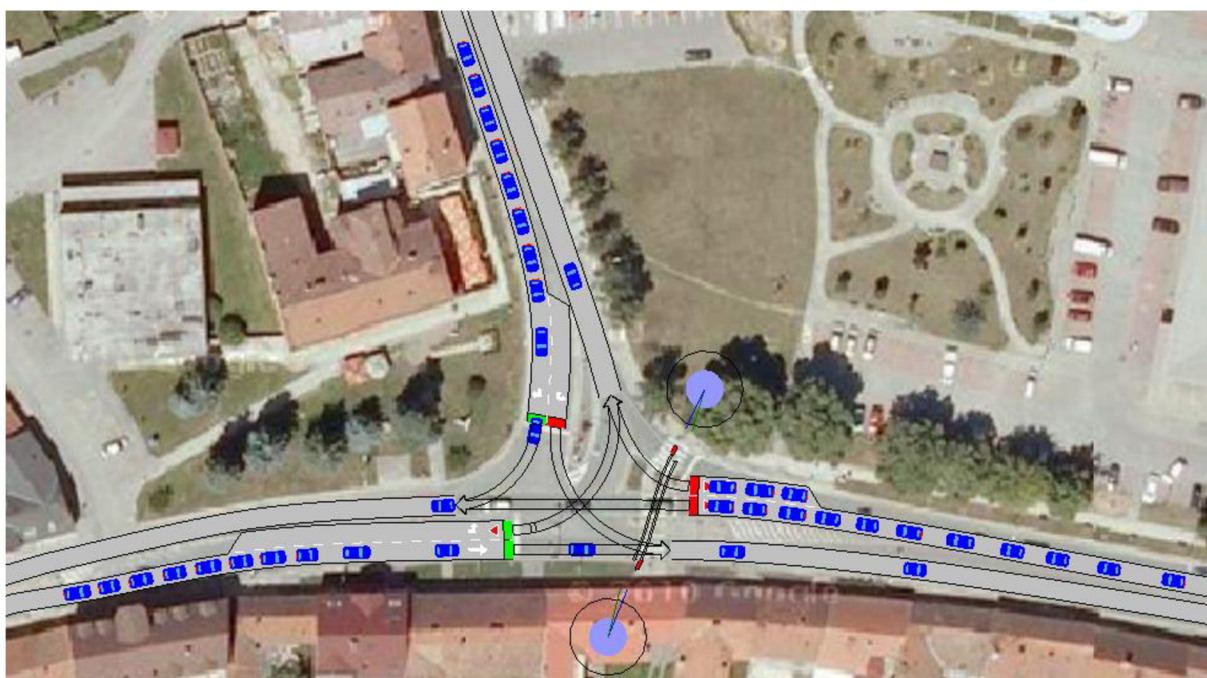
Dále bylo potřeba v grafickém editoru, ve kterém jsem skládala jednotlivé snímky dohromady, podle měřítká na obrázku si spočítat kolik pixelů připadá na jeden metr. Protože při vkládání do programu je nutné tuto hodnotu zadat. Tímto vznikl podklad s dostačující přesností. Po zhotovení podkladu jsem přistoupila k vlastnímu modelování.

V programu Aimsun se zadávají základní prvky, pomocí kterých lze poskládat výsledný model. Jedná se o sekce (sections), křižovatky (nodes) a zdrojů a cílů dopravních cest (centroids). Modelovala jsem tedy jednotlivé křižovatky. Kruhový objezd má 4 vjezdy. Měl by zde být ještě pátý, který vede od čerpací stanice, ale počet vozidel vyjíždějících od pumpy je oproti ostatním intenzitám zanedbatelný (2,5% počtu vozidel z vjezdů na kruhový objezd). Tento vjezd byl tedy zanedbán.



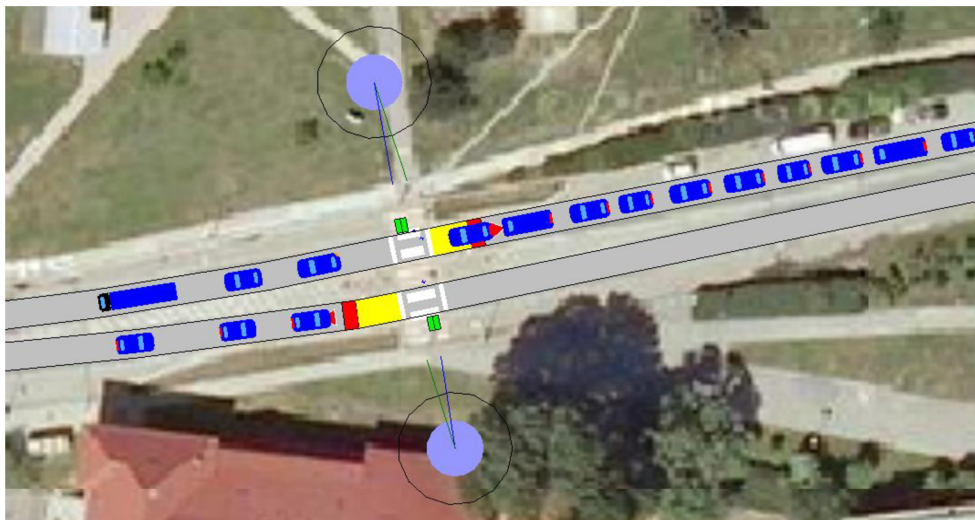
Obrázek 14: Model okružní křižovatky II/385

Složitější bylo v programu definovat stykovou křižovatku řízenou světelnou signalizací ve směru na Blansko, která je řízena dynamickým signálním plánem, jelikož je zde i světelný přechod pro chodce řízený podle poptávky chodeckými tlačítky. Díky tomuto řízení signálního plánu, pokud nejsou přítomni chodci, se prodlužuje čas zelené pro vozidla a je tím tedy dosaženo větší kapacity v křižovatce.



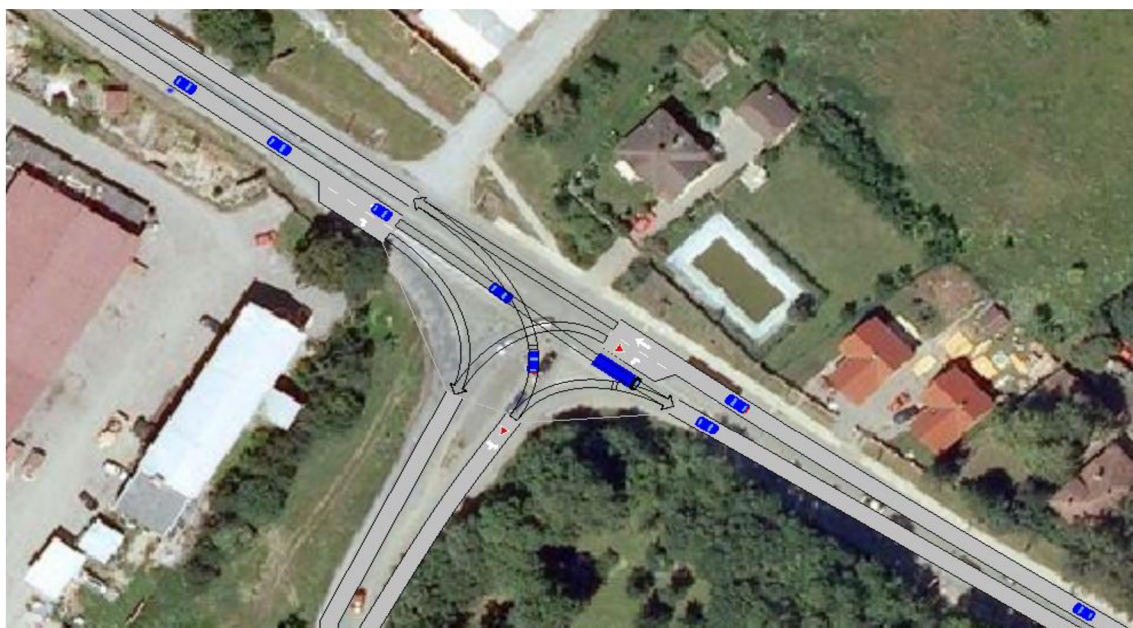
Obrázek 15: Model světelné křižovatky II/385 s II/386

Uprostřed vzdálenosti mezi světelnou křižovatkou a kruhovým objezdem se nachází světelný přechod pro chodce, který je řízený také pouze na základě poptávky. Tento přechod by mohl mít na vznikající kolony vliv. Zelená je zde mezi 16. a 17. hodinou asi 29 krát.



Obrázek 16: Model světelného přechodu pro chodce na II/385

Jako poslední jsem modelovala stykovou křižovatku ve směru na Veverskou Bítýšku a Tišnov. Ve směru z Kuřimi na Veverskou Bítýšku je komunikace rozšířená a vozidla toto rozšíření využívají jako odbočovací pruh a pruh průběžný. Zřídila jsem tedy odbočovací pruh v tomto směru.



Obrázek 17: Model křižovatky II/385 s II/386 ve směru na Veverskou Bítýšku

Takto byla vytvořena kostra modelu. Nyní je potřeba zadat dopravní zatížení a uvést simulaci do chodu.

2.3.2 ZADÁNÍ DOPRAVNÍHO ZATÍŽENÍ

Nyní vložíme do modelu matici přepravních vztahů. Tu zadáme pomocí centroidů (zdrojů a cílů dopravy), které je potřeba napojit na již vytvořenou kostru. Cesta z jednoho bodu do druhého je pevně definována. Byl definován i dynamický signální plán na stykové křižovatce II/385 / II/386, kde byl umístěn detektor na přechodu pro chodce. Přechod je tedy řízen výzvou chodců. Dále byl definován přechod pro chodce řízený světelnou signalizací mezi křižovatkou II/385 / II/386 a kruhovým objezdem. Provedla jsem zjištění intenzity chodců mezi 15. - 16. hodinou. Na základě počtu zelených pro chodce během této hodiny, jsem vytvořila desetiminutový interval, během kterého mají chodci průměrně pětkrát zelenou. Tímto jsem dokončila fázi hrubé editace. V tuto chvíli jsem mohla simulaci spustit a pozorovat chování modelu. Musela jsem měnit jednotlivé parametry, podle toho jak se model podobal reálnému stavu. Postupně jsem dospěla k očekávaným výsledkům.

2.4 KALIBRACE MODELU

2.4.1 PŘIBLÍŽENÍ SE SKUTEČNOSTI

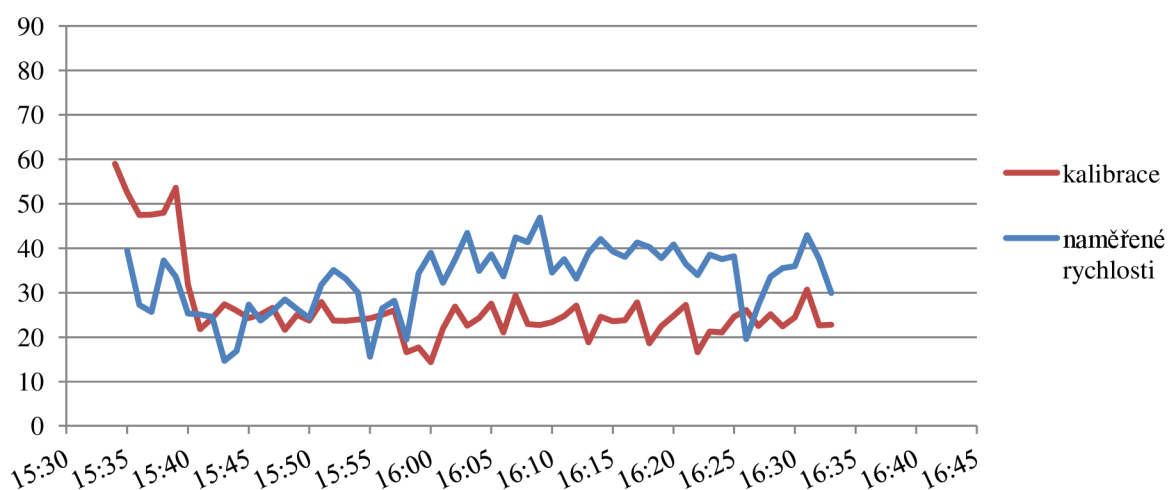
Jak již bylo zmíněno, největším problémem je pátek odpoledne. V této fázi modelování bylo potřeba nastavit dopravní simulaci tak, aby se svým chováním co nejvíce přibližoval skutečnosti. Bylo potřeba nastavit některé parametry v modelu. Zejména parametry komunikací, vozidel a parametry v experimentu. Pro toto ladění modelu bylo provedeno měření rychlostí v profilu (viz příloha I), které posloužilo pro kalibraci. Často se stává při snaze přiblížit se skutečnému stavu, že se v jedné oblasti oddálíme od reality v jiných parametrech. Snažila jsem se upravit parametry v modelu tak, aby odpovídaly skutečnosti a zároveň abych se přiblížila skutečné rychlosti vozidel.

2.4.2 KALIBRACE MODELU

Při prvotním spuštění modelu po základním nastavení jsem pozorovala, jak se budou vozidla chovat. Zpočátku byl provoz plynulý, ale se vzrůstajícím počtem vozidel se začala tvořit kolona od světelné křižovatky až po vjezd do Kuřimi ve směru od Brna. Tato kolona byla větší než ve skutečnosti a rychlost vozidel pomalejší. Bylo tedy potřeba upravit parametry v modelu. Nejdříve jsem změnila maximální rychlost vozidel v parametrech komunikace na 60 km/hod, jelikož některá vozidla jezdí o 10 km/hod rychleji než je povoleno. Původně zde bylo nastaveno 50 km/hod pro komunikace typu street. Tato změna vedla k vzrůstu průměrné rychlosti, ale pořád to nebylo dostačující. Dále jsem měnila viditelnou vzdálenost ke křižovatce (visibility distance). Tento parametr se projevil pouze na silnici v úseku od světelného přechodu ke křižovatce, kde je tato viditelnost vyšší než v jiných směrech. Na ostatních komunikacích jsem ji tedy ponechala původní. Rychlost opět vzrostla.

Zkoušela jsem měnit i chování dopravního proudu (Car following model). V programu Aimsun je možné si volit ze 3 možností, které závisí na deceleraci. Leader deceleration uvažuje náhlé a rychlé zpomalení vedoucího vozidla, což může způsobit, že následující vozidla pojedou blízko vedoucího. Avg of follower and leader deceleration je model, kde se bere odhad zpomalení vedoucího vozidla jako průměr zpomalení mezi vedoucím vozidlem a následujícími vozidly. Sensitivity factor model počítá s minimálním intervalem mezi vedoucím vozidlem a následujícím jako s novým omezením zpomalující složky. První dva modely vedly ke zpomalení jízdního proudu, ponechala jsem tedy model Sensity factor.

Zvýšila jsem reakční dobu řidičů z 1,35 sekundy na 1,5 sekundy, tato hodnota odpovídá skutečné reakci řidičů na neočekávanou situaci. Reakční dobu jsem ponechala fixní, variabilní totiž nebyla vhodná, zpomalovala rychlost vozidel. Tímto se model více přiblížil reálnému chování vozidel, ale rychlost proudu nebyla stále dostačující. Usoudila jsem, že by bylo vhodné zmenšit minimální rozestupy mezi vozidly. V parametrech vozidel jsem zadala minimální hodnotu 0,5 m a maximální 1,5 m. Po těchto úpravách se model již choval obdobně realitě a může být tedy považován za přijatelný. Porovnání skutečných rychlostí s rychlostmi v modelu po kalibraci je znázorněno na obr. 18. Křivky rychlostí mají stejný tvar, liší se pouze v některých místech. Tyto odchylky jsou způsobeny jiným chováním vozidel v modelu než ve skutečnosti. Rychlosti v modelu jsou o málo nižší než ve skutečnosti, ale tvary křivek jsou totožné.



Obrázek 18: Graf skutečných rychlostí a rychlostí v modelu

2.5 NÁVRH ŘEŠENÍ

Cílem řešení bylo především zkrátit kolonu, která se tvoří na silnici II/385 ve směru z Brna do Tišnova. Pro návrh řešení jsem vytvořila více variant, kde jsem se zabývala především změnou signálního plánu, prodloužením odbočovacích pruhů a přidáním detektorů na křižovatce řízené světelnou signalizací na náměstí 1. května. Abych zjistila, jestli navrhané řešení vede ke zlepšení stávajícího stavu, porovnávala jsem délky kolon a časy zdržení vozidel (delay time) stávajícího stavu a navrhaného řešení. Jednotlivé změny v navrhaných řešeních jsem shrnula do tabulky (tab. 5). Změny v navrhaných řešeních jsem vztahovala ke kalibrovanému stavu. Navrhaných řešení je 6, pro větší přehlednost je pojmenuji A-F.

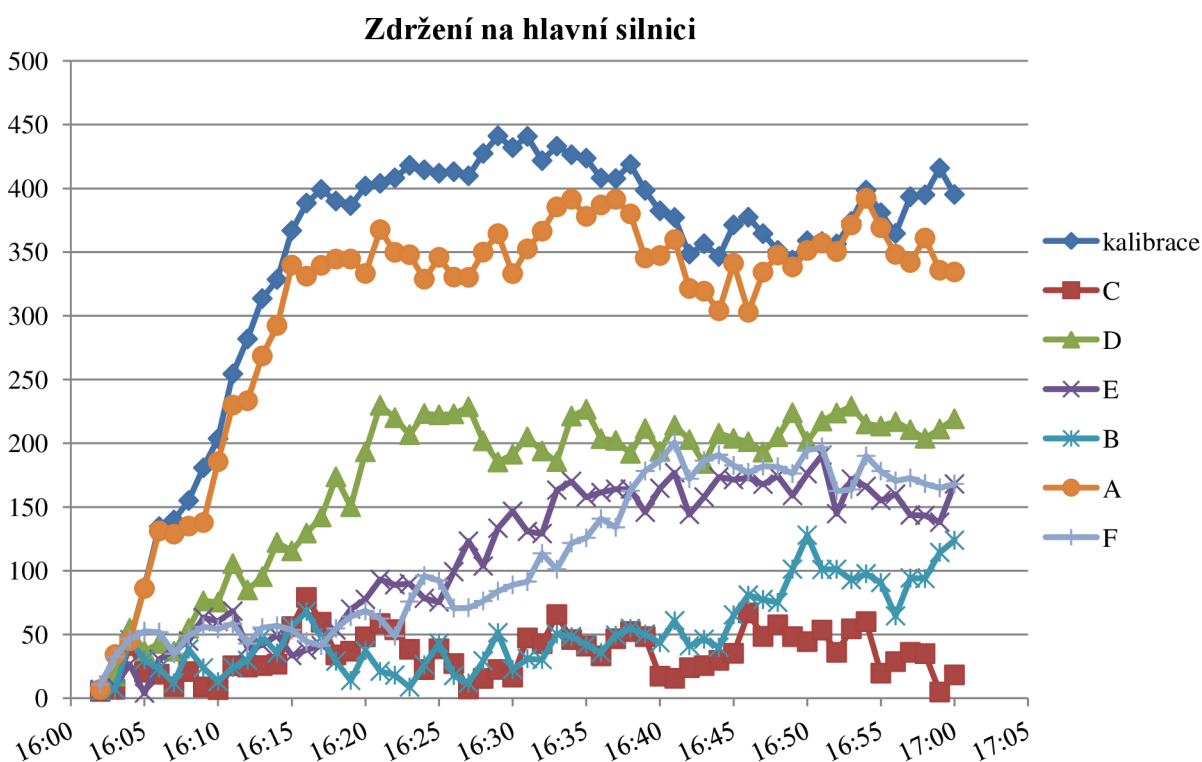
- A - ponechání signálního plánu, prodloužení odbočovacích pruhů
- B – nový signální plán, prodloužen cyklus o 9 s (délka cyklu 80 s)
- C – signální plán stejný jako v B, prodloužení odbočovacích pruhů
- D – nový signální plán, délka cyklu 80 s, prodloužení odbočovacích pruhů
- E – nový signální plán, délka cyklu 80 s, prodloužení odbočovacích pruhů
- F – změna signálního plánu, přidání detektorů, prodloužení odbočovacích pruhů

Tabulka 5: Upřesnění jednotlivých návrhů řešení vztažených ke kalibrovanému stavu

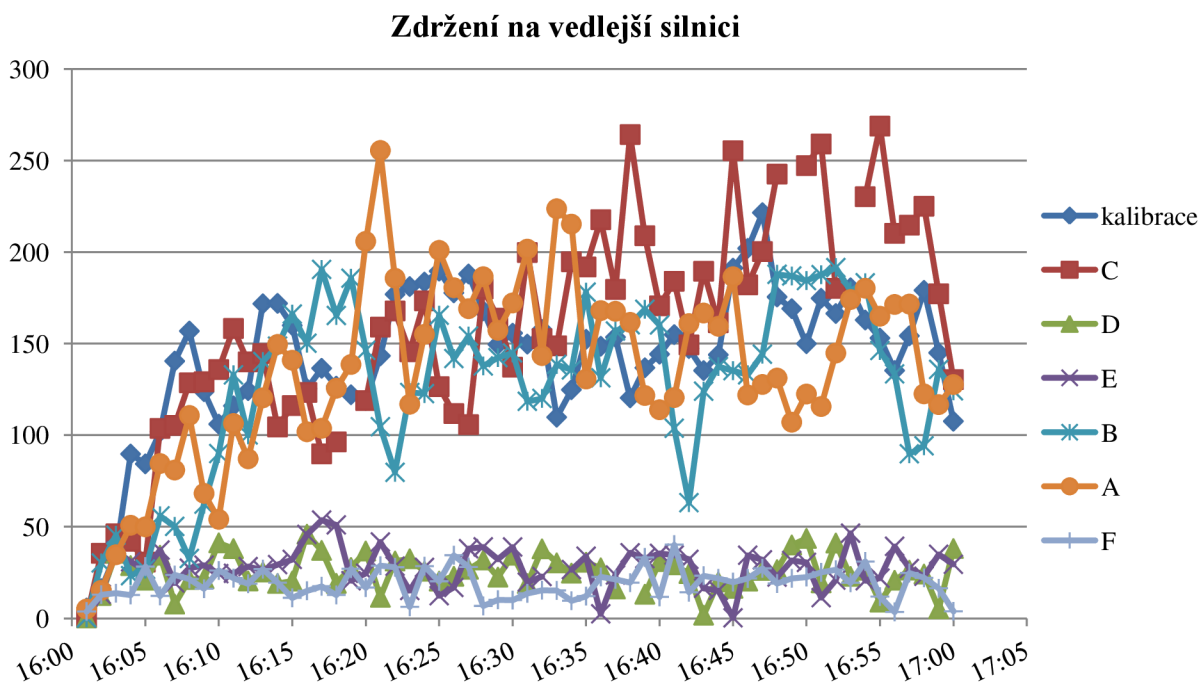
		Tišnov	Blansko	Brno	Přechod	Poznámky
KALIBRACE	Brno	Zelená 2 s na začátku cyklu, poté od 51. s do 71. s	Zelená 2 s na začátku cyklu, Poté od 53. s do 71. s		Umístěny detektory, zelená na přechodu na základě výzvy od 7. s do 25. s	Délky cyklu 71 s, Příloha č. III, signální plán kalibrace
	Tišnov		Zelená 37. s až 51. s	Zelená 37. s až 71. s		
	Blansko	Zelená od 39. s do 45. s		Zelená od 7. s do 33. s, Současně s přechodem pro chodce		
A	Brno	Zelená 2 s na začátku cyklu, poté od 51. s do 71. s	Zelená 2 s na začátku cyklu, Poté od 53. s do 71. s, prodloužení odbočovacího pruhu		Umístěny detektory, zelená na přechodu na základě výzvy od 7. s do 25. s	Délka cyklu 71 s, Příloha č. III, signální plán A
	Tišnov		Zelená 37. s až 51. s, délka zelené 14 s	Zelená 37. s až 71. s, délka zelené 34 s		
	Blansko	Zelená od 39. s do 45. s		Zelená od 7. s do 33. s, Současně s přechodem pro chodce, prodloužení odbočovacího pruhu		
B	Brno	Zelená na začátku cyklu o 3 s déle, poté zelená začíná o 14 s dříve (od 37. s) a končí o 9 s později	Zelená začíná o 27 s dříve (od 26. s) a končí o 9 s později		Umístěny detektory, zelená na přechodu na základě výzvy, začíná o 1 s později a končí o 3 s dříve	Délka cyklu 80 s, Příloha č. III, signální plán B
	Tišnov		Zelená začíná o 29 s dříve a končí o 31 s dříve, současně s přechodem pro chodce	Zelená začíná ve stejnou dobu a končí o 9 s později		
	Blansko	Zelená začíná o 31 s dříve a končí o 14 s dříve, zelená současně s přechodem pro chodce		Zelená začíná o 18 s později a končí o 1 s dříve		
C	Brno	Zelená na začátku cyklu o 3 s déle, poté zelená začíná o 14 s dříve (od 37. s) a končí o 9 s později	Zelená začíná o 27 s dříve a končí o 9 s později, prodloužení odbočovacího pruhu		Umístěny detektory, zelená na přechodu na základě výzvy, začíná o 1 s později a končí o 3 s dříve	Délka cyklu 80 s, Příloha č. III, signální plán C
	Tišnov		Zelená začíná o 29 s dříve a končí o 31 s dříve, současně s přechodem pro chodce	Zelená začíná ve stejnou dobu a končí o 9 s později		
	Blansko	Zelená začíná o 31 s dříve a končí o 14 s dříve, zelená současně s přechodem pro chodce		Zelená začíná o 18 s později a končí o 1 s dříve, prodloužení odbočovacího pruhu		
D	Brno	Zelená na začátku cyklu o 3 s déle, poté o 7 s dříve (od 44. s) a končí o 9 s později	Zelená začíná o 22 s dříve (od 31. s) a končí o 9 s později, prodloužení odbočovacího pruhu		Umístěny detektory, zelená na přechodu na základě výzvy, začíná o 1 s později a končí o 3 s dříve	Délka cyklu 80 s, Příloha č. III, signální plán D
	Tišnov		Zelená začíná o 29 s dříve a končí o 29 s dříve, zelená současně s přechodem pro chodce	Zelená začíná o 7 s později a končí o 9 s později		
	Blansko	Zelená začíná o 25 s dříve a končí o 1 s později, zelená současně s přechodem pro chodce		Zelená začíná o 18 s později a končí o 8 s později, prodloužení odbočovacího pruhu		
E	Brno	Zelená na začátku cyklu trvá o 3 s déle, poté začíná zelená o 12 s dříve (od 39. s) a končí o 9 s později	Zelená začíná o 29 s dříve (od 29. s) a končí o 9 s později, prodloužení odbočovacího pruhu		Umístěny detektory, zelená na přechodu na základě výzvy, začíná o 1 s později a končí o 5 s dříve	Délka cyklu 80 s, Příloha č. III, signální plán E
	Tišnov		Zelená začíná o 29 s dříve a končí o 29 s dříve, zelená současně s přechodem pro chodce	Zelená začíná o 2 s později a končí o 9 s později		
	Blansko	Zelená začíná o 31 s dříve a končí o 10 s dříve, zelená současně s přechodem pro chodce		Zelená začíná o 18 s později a končí o 3 s později, prodloužení odbočovacího pruhu		
F	Brno	Umístěn detektor, minimální doba zelené je 1 s, pokud neprojde vozidlo déle než 1 s za posledním vozidlem spustí se minimální zelená, Zelená začíná o 11 s dříve (od 40. s) a končí o 2 s později	Zelená na začátku cyklu je o 2 s delší a poté začíná o 13 s dříve (od 40. s) a končí stejně		Umístěny detektory, zelená na přechodu na základě výzvy, začíná stejně a končí o 3 s dříve	Délka cyklu 71 s, Příloha č. III, signální plán F
	Tišnov		Zelená začíná o 12 s dříve a končí o 11 s dříve	Zelená začíná o 11 s dříve a končí stejně		
	Blansko	Umístěn detektor, minimální délka zelené je 10 s, pokud neprojde vozidlo déle než 2 s za posledním vozidlem spustí se minimální zelená, zelená začíná o 32 s dříve a končí o 6 s dříve, zelená současně s přechodem pro chodce		Umístěn detektor, minimální délka zelené je 10 s, mezera mezi vozidly 2 s, zelená začíná ve stejnou dobu a končí o 11 s dříve, zelená současně s přechodem pro chodce		

Signální plán stávajícího stavu a kalibrace se liší v délce cyklu (viz. příloha III). Je to z důvodu chování modelu, které je jiné než ve skutečnosti a také z důvodu kalibrace. Aby se model choval stejně jako vozidla ve skutečnosti, byl do modelu vložen signální plán jako dynamický a byla zvolena délka cyklu z rozmezí skutečného signálního plánu.

Délky zdržení na hlavní (silnice II/385) a vedlejší (silnice II/386) komunikaci jsou uvedeny v grafech na obr. 19 a 20. Některá řešení vedla ke snížení zdržení na hlavní i vedlejší komunikaci, některá jen ke snížení zdržení na hlavní komunikaci a na vedlejší komunikaci spíše ke zhoršení nebo bylo zdržení stejné se stávajícím stavem.



Obrázek 19: Grafy zdržení jednotlivých řešení na hlavní silnici



Obrázek 20: Grafy zdržení jednotlivých řešení na vedlejší silnici

Časy zdržení na komunikacích pro jednotlivá řešení jsem uvedla do tabulky 6. Ze součtového sloupce lze vyhodnotit, které řešení způsobí nejmenší zdržení. V jednotlivých řešeních má zdržení sestupné tendence a jako nejlepší varianta s nejmenším zdržením je řešení F pomocí detektorů. Kolona v tomto řešení byla nejmenší. Můžeme tedy toto řešení prohlásit za nejvíce optimální.

Tabulka 6: Součty zdržení 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

ZÁVĚR

Programy pro simulování dopravního proudu jsou velmi účinným nástrojem v oblasti dopravního inženýrství. V současných finančně problematických obdobích je možné si jednotlivé situace pomocí těchto programů vymodelovat a zjistit, zda navrhované řešení přinese zlepšení stávajícího stavu či nikoliv.

Cílem mé práce bylo navrhnout řešení, které zlepší dopravní situaci ve městě Kuřim. Na základě dopravního průzkumu stávajícího stavu byl vytvořen model stávajícího stavu. Ten byl kalibrován pomocí rychlostí naměřených v daném profilu na silnici II/385. Následně bylo navrženo několik variant řešení, z nichž jako nejlepší řešení vyplynulo poslední řešení s detektory, změnou signálního plánu a prodloužením odbočovacích pruhů. Toto řešení mělo nejkratší dobu zdržení na hlavní a vedlejší komunikaci. Kolona byla oproti stávajícímu stavu kratší a plynule popojíždějící. Řešení bylo navrženo tak, aby nenarušilo stávající zástavbu a okolní prostředí v místě křižovatky.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] Microsimulator and Mesosimulator Aimsun 6.1 User's Manual December 2010, 1997-2010 TSS-Transport Simulation Systems
- [2] ČSN 73 6102 ed.2. Projektování křižovatek pozemních komunikací. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [3] Ing. J. GROHMANN, Ing. E. BAŤKOVÁ, Ing. O. VOHRADSKÝ, Koordinace řízení – zelená vlna, SVSMP-ÚKDI
- [4] Ing. Bc. M. SEMELA, Ph.D., Analýza silničních nehod I, Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, 2012
- [5] Aimsun: Traffic modelling without boundaries. [online]. [cit. 2014-05-24]. Dostupné z: http://www.aimsun.com/wp/?page_id=21

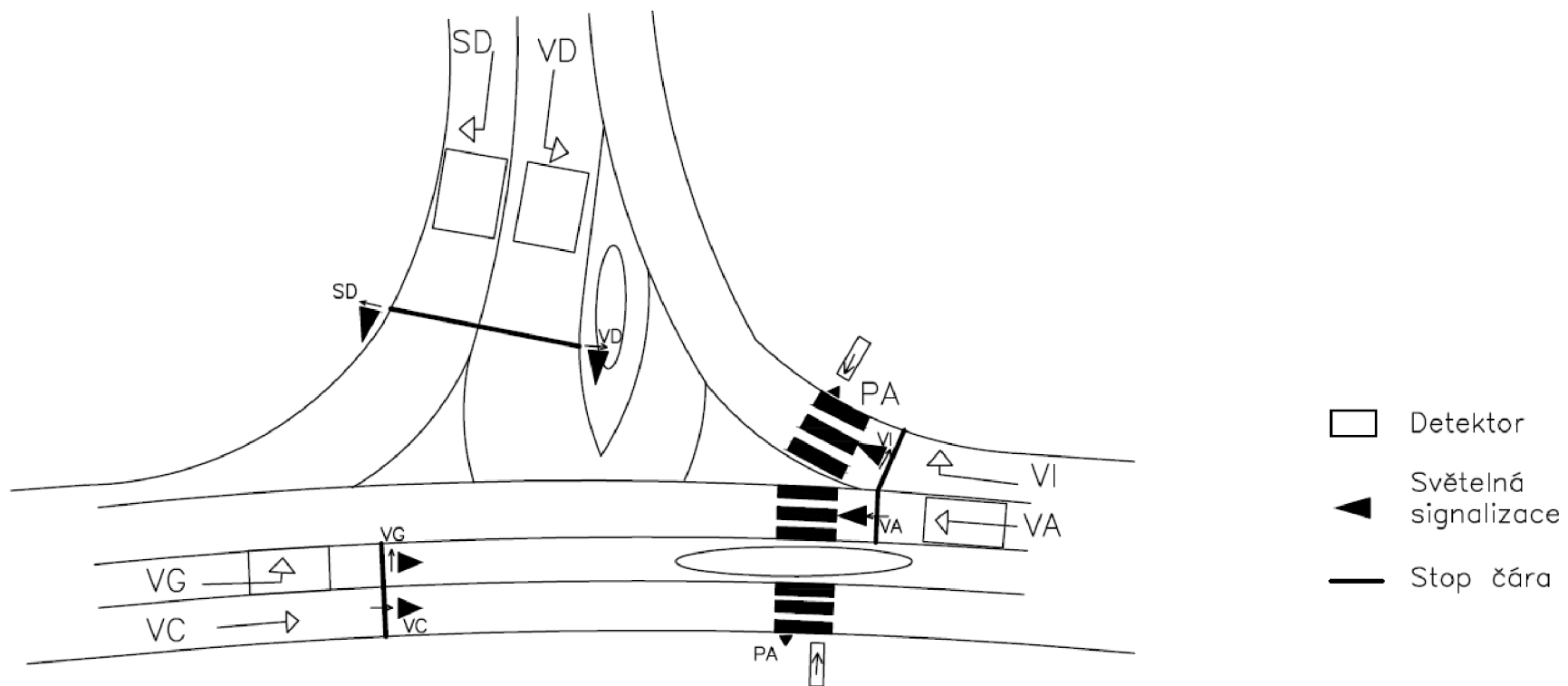
SEZNAM PŘÍLOH

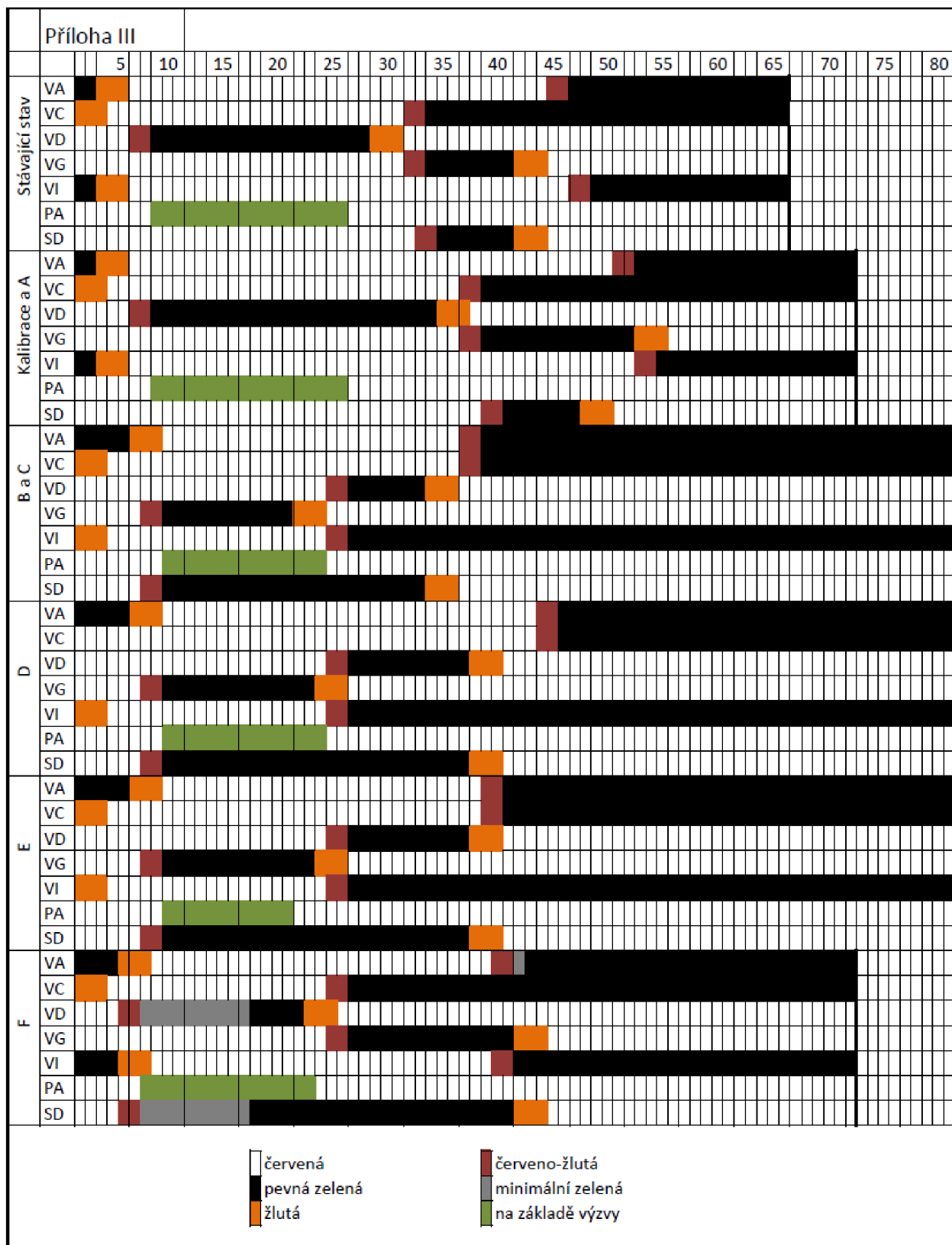
- Příloha I Mapa s vyznačenými stanovišti
- Příloha II Schéma označení směrů k signálnímu plánu a umístění signalizačních zařízení
- Příloha III Signální plány stávajícího stavu a navrhovaných řešení

Příloha I



Příloha II





SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Stanoviště.....	11
Obrázek 2: Grafy intenzit a rychlostí na stanovišti 1 ve směru do Kuřimi	12
Obrázek 3: Grafy intenzit a rychlostí na stanovišti 1 ve směru na Brno	13
Obrázek 4: Grafy intenzit a rychlostí na stanovišti 2 ve směru do Kuřimi	14
Obrázek 5: Grafy intenzit a rychlostí na stanovišti 2 ve směru na Blansko.....	15
Obrázek 6: Grafy intenzit a rychlostí na stanovišti 3 ve směru do Kuřimi	16
Obrázek 7: Grafy intenzit a rychlostí na stanovišti 3 ve směru na Jinačovice	17
Obrázek 8: Grafy intenzit a rychlostí na stanovišti 4 ve směru do Kuřimi	18
Obrázek 9: Grafy intenzit a rychlostí na stanovišti 4 ve směru na Veverskou Bítýšku	19
Obrázek 10: Grafy intenzit a rychlostí na stanovišti 5 ve směru do Kuřimi	20
Obrázek 11: Grafy intenzit a rychlostí na stanovišti 5 ve směru na Tišnov	21
Obrázek 12: Nová stanoviště.....	22
Obrázek 13: Podklad z ortofotomapy	26
Obrázek 14: Model okružní křižovatky II/385	27
Obrázek 15: Model světelné křižovatky II/385 s II/386.....	27
Obrázek 16: Model světelného přechodu pro chodce na II/385	28
Obrázek 17: Model křižovatky II/385 s II/386 ve směru na Veverskou Bítýšku.....	28
Obrázek 18: Graf skutečných rychlostí a rychlostí v modelu	31
Obrázek 19: Grafy zdržení jednotlivých řešení na hlavní silnici	33
Obrázek 20: Grafy zdržení jednotlivých řešení na vedlejší silnici	34

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Stanoviště 1- kruhový objez	22
Tabulka 2: Stanoviště 2- křižovatka řízená světelnou signalizací	23
Tabulka 3: Stanoviště 3- styková křižovatka Veverská Bítýška- Tišnov	23
Tabulka 4: Matice přepravních vztahů	25
Tabulka 5: Upřesnění jednotlivých návrhů řešení vztažených ke kalibrovanému stavu.....	32
Tabulka 6: Součty zdržení jednotlivých navrhovaných řešení	34

SEZNAM MODELŮ VYTVOŘENÝCH V PROGRAMU AIMSUN

Na přiloženém disku CD se nachází následující modely:

Navrhované řešení A

Navrhované řešení B

Navrhované řešení C

Navrhované řešení D

Navrhované řešení E

Navrhované řešení F

Stávající stav - kalibrace