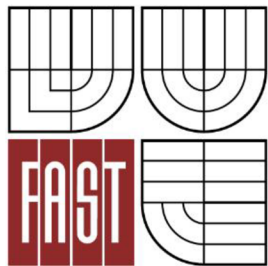




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
Ústav pozemních komunikací

Faculty Of Civil Engineering
Institute of Road Structures

MIKROSIMULAČNÍ MODEL SVĚTELNÉ KŘIŽOVATKY HLINKY/BAUEROVA

*MICROSIMULATION MODEL OF THE INTERSECTION OF STREETS HLINKY AND
BAUEROVA*

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

bachelor's thesis

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

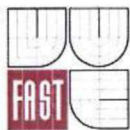
Jakub Kadlček

VEDOUČÍ PRÁCE

SUPERVISOR
BRNO 2016

Ing. JIŘÍ APELTAUER

BRNO 2016



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 Jakub Kadlček

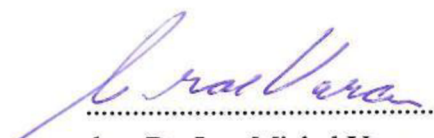
Název Mikrosimulační model světelné křižovatky
Hlinky/Bauerova

Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Apeltauer


**Datum zadání
bakalářské práce** 30. 11. 2015

**Datum odevzdání
bakalářské práce** 27. 5. 2016

V Brně dne 30. 11. 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

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

Proveďte měření na dané křižovatce v ranní a odpolední špičce za účelem zjištění směrových poměrů v křižovatce a intenzit dopravy. Následně sestavte model lokality a proveďte jeho kalibraci podle naměřených hodnot (zahrňte stávající signální plán). Navrhněte možné úpravy (změna signálního plánu, změna uspořádání jízdních pruhů atd.) které povedou ke zvýšení propustnosti křižovatky (prokažte modelem navrhovaného stavu).

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).

.....
Ing. Jiří Apeltauer
Vedoucí bakalářské práce

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá modelováním a posouzením dopravního řešení za pomoci modelování dopravního proudu. Dopravní data získána měřením z terénu byla zpracována v programu Aimsun. Vytvořený model stávajícího stavu má maximálně přiblížit reálný stav křižovatky. Posouzení dopravního řešení je provedeno pomocí TP 235 a TP 225.

Klíčová slova

Simulace, Mikrosimulace, Modelování, Aimsun, Návrh, Křižovatka řízená světelnou signalizací, Brno

Abstract

This bachelor thesis deals with modeling and assessment of transport solutions by traffic flow modeling. Traffic data obtained from the field measurements were processed in the Aimsun. The model of the current state is as close to the real state of the intersection. Assessment of the transport solution is performed using the TP 235 and TP 225th

Keywords

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

Bibliografická citace VŠKP

Jakub Kadlček, *Mikrosimulační model světelné křižovatky Hlinky/Bauerova*. Brno, 2016. 49 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav dopravní konstrukce a stavby. Vedoucí práce Ing. Jiří Apeltauer

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 26.5.2016

.....
podpis autora
Jakub Kadlček

Poděkování

Tímto děkuji mému vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Jiřímu Apeltauerovi za odborné vedení, neocenitelné rady a pomoc při zpracovávání mé bakalářské práce. Dále také rodině a přítelkyni v podpoře při zpracování této bakalářské práce.

Obsah

| | | |
|--------|--|----|
| 1. | Stávající stav | 10 |
| 1.1. | Ulice Hlinky | 11 |
| 1.2. | Ulice Bauerova..... | 13 |
| 1.3. | Ulice Pisárecká..... | 14 |
| 1.4. | Ulice Žabovřeská | 15 |
| 1.5. | Křižovatka Hlinky/Hroznová..... | 16 |
| 2. | Model dopravy v programu Aimsun 8..... | 17 |
| 2.1. | Tvorba modelu | 17 |
| 2.1.1. | Mapový podklad a geometrie modelu | 17 |
| 2.1.2. | Tvorba řídicího plánu | 21 |
| 2.1.3. | Zadání dopravního zatížení | 22 |
| 2.2. | Kalibrace modelu | 23 |
| 2.2.1. | Výpočet průměrných rychlostí | 23 |
| 2.2.2. | Kalibrace modelu | 23 |
| 2.2.3. | Vznik nepřehledných situací | 26 |
| 3. | Posouzení křižovatky dle TP 225 a TP 235 | 29 |
| 3.1. | Posouzení křižovatky | 29 |
| 3.2. | Postup výpočtu | 30 |
| 3.3. | Vzorce pro výpočet střední doby zdržení..... | 31 |
| 4. | Porovnání výsledků TP a modelových | 36 |
| 5. | Návrh řešení | 36 |

Úvod

V současné době je na křižovatce Hlinky – Bauerova v Brně velmi zhuštěný provoz, zejména v ranních hodinách. Dochází zde k tvorbám kolon ve směru do centra (ulice Hlinkova). Měřením provedeným v době mezi 6:50 až 7:50 bylo zjištěno, že je tvorba kolony úzce spjata se světelnou křižovatkou Hlinky – Hroznová, na níž se nachází přechod pro chodce. Zmíněný přechod pro chodce slouží v tomto časovém intervalu zejména k přechodu žáků přes ulici do nedaleké školy. Při vyhodnocování stávajícího stavu a výpočtu vývoje intenzity dopravy jsou použity TP 225 a TP 235. Práce je rozdělena na část modelovací a na část vycházející z TP 225 a TP 235.

Cílem práce je namodelovat, posoudit a navrhnout úpravu stávající křižovatky Hlinky – Bauerova pomocí softwaru pro mikrosimulační modelování dopravního proudu. Následně ze získaných dat posoudit kapacitu světelné křižovatky do maximální doby fungování.

1. Stávající stav

Data potřebná k vyhodnocení křižovatky zobrazené na Obrázek 1 byla získána jejím monitorováním dne 15. 10. 2015 v čase 6:50 až 7:50. Křižovatka byla rozdělena na jednotlivé části a vyhodnocením videozáznamu byla vytvořena světelná signalizace pro jednotlivé pruhy. Na základě videozáznamu byla vypočtena průměrná rychlost vybraných lehkých vozidel v křižovatce, zaznamenána trajektorie odbočení a přiřazení linií pro zastavení. Průměrná rychlost vozidel v křižovatce je zaznamenána v Tabulka 2. V přilehlém okolí křižovatky leží dva autobusové zálivy a křižovatka Hlinky/Hroznová.



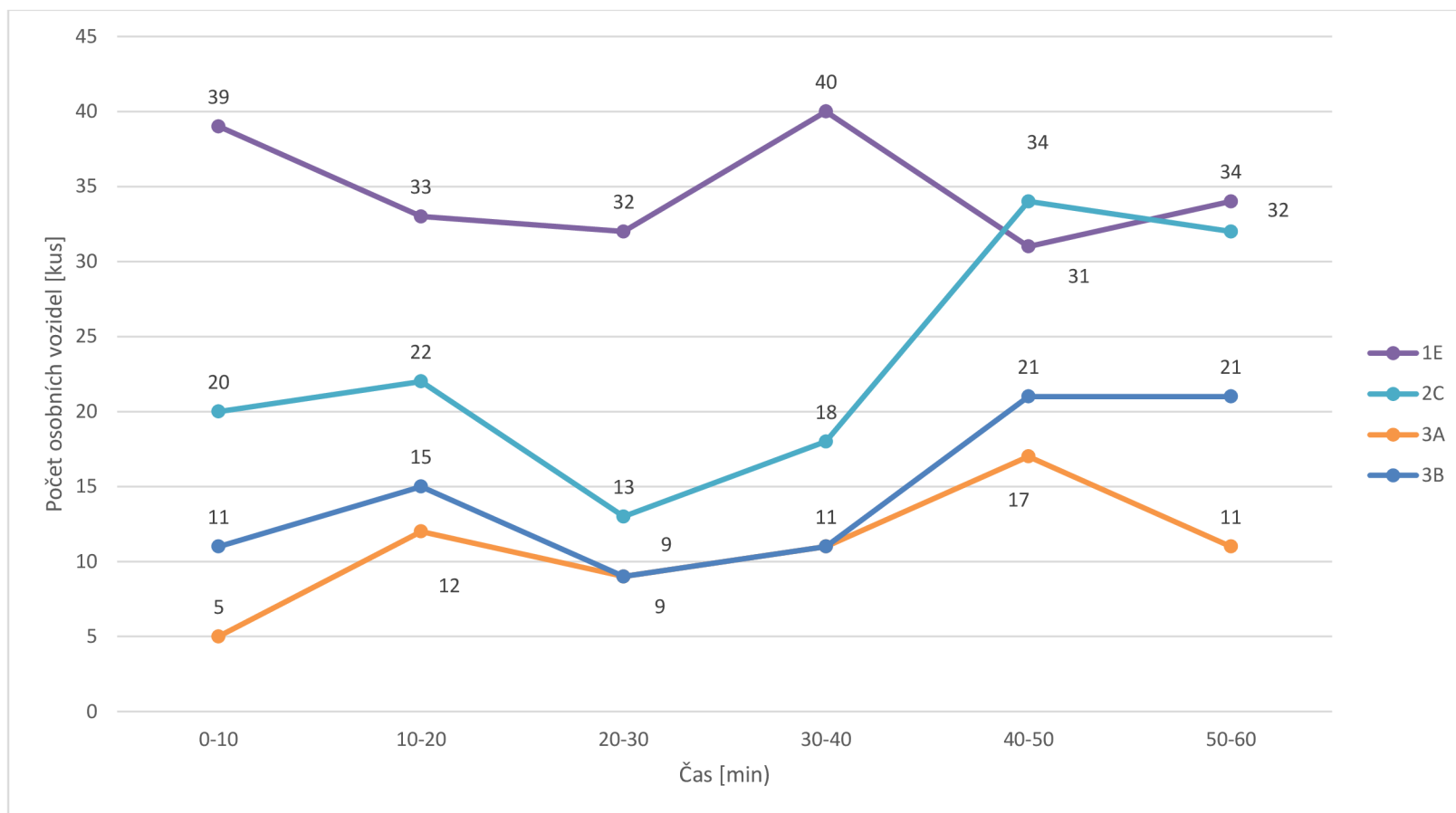
Obrázek 1: Křižovatka Hlinky/Bauerova. Zdroj: www.mapy.cz

1.1. Ulice Hlinky

Ulice Hlinky je tvořena čtyřmi pruhy. Označení pruhů dle navrhnutého schématu lze nalézt na Obrázek 14. Levý odbočovací pruh je zaznačen jako pruh č. 1 a je směřován do pruhu E, pruh E je vjezdovým pruhem do ulice Bauerova. Pravý odbočovací pruh je spojen s přímým pruhem a je značený číslem 3. Tento pruh se napojuje na pruhy A a B, přičemž pruh A je pravým odbočením z č. 3 ($r = 30\text{m}$). Pruhem č. 2 je zaznačen přímý pruh vedený do ulice Pisárky. Pruh D je vjezdovým pruhem z křižovatky do ulice Hlinky.

Ulice Hlinky je značena jako paprsek A. V měřeném čase na pruzích 2 a 3 nedochází k žádným potížím a ani ke zpomalení vozidel. Vozidla v pruhu 1E musí dávat přednost v jízdě protijedoucím vozidlům. Díky špatné viditelnosti, zakřivení vozovky a mírnému poloměru přímého pruhu dochází k situacím ohrožujícím plynulý provoz na komunikaci. Během měření došlo minimálně ke třem situacím, které mohly vést k dopravní nehodě. Čekací doba na tomto pruhu je závislá na zkušenostech a kvalitě řidiče. V průběhu měření se našli takoví řidiči, kteří vyčkávali natolik dlouho, že projely pouze dva nebo tři automobily na jednu signální fázi. Intenzitu dopravy na ulici Hlinky lze sledovat v Graf 1, který byl zpracován na základě monitoringu křižovatky v časovém intervalu od 6:50 do 7:50.

V této ulici se nachází také jeden autobusový záliv přímo ovlivňující křižovatku. Více podrobností bude probráno v modelovací kapitole. V Graf 1 znázorňujícím intenzitu dopravy na ulici Hlinky lze vidět vzrůstající intenzitu dopravy v čase, maxima provozu jsou mezi třicátou až padesátou minutou měření. Jednotlivé směry jízdy jsou uvedeny v legendě Graf 1.

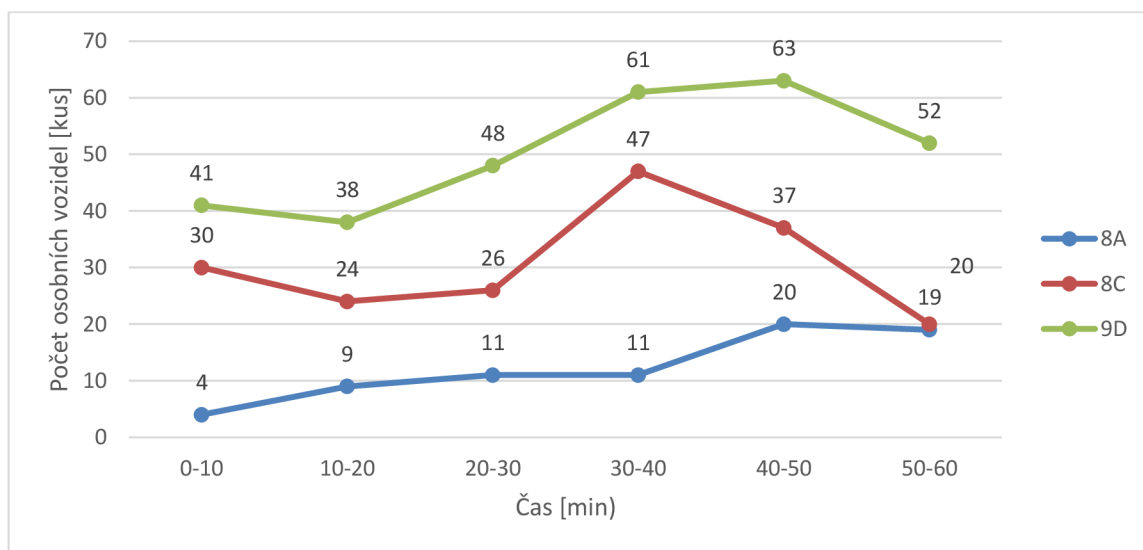


Graf 1: Intenzita dopravy na ulici Hlinky.

1.2. Ulice Bauerova

Ulice Bauerova je tvořena čtyřmi jízdními pruhy. Pravý odbočovací pruh je zaznačen číslem 9 a směřuje do ulice Hlinky (D). Pruh č. 8 je společným pruhem levého odbočení a přímé trasy. Levý odbočovací pruh 8C, vedoucí do ulice Pisárecká je tvořen obloukem o $r = 38\text{m}$. Poslední pruhy E a F jsou výjezdem z křižovatky směr ulice Bauerova

Během měření bylo zjištěno, že řidiči odbočující z ulice Bauerova do ulice Pisárecká jezdí plynule. I přestože je zde přednost v jízdě protijedoucím vozidlům, dobrý výhled dovoluje rychlou akceleraci a následné zařazení do pruhu C. Auta jedoucí rovně je mohou bez potíží objet, je zde dostatek prostoru. Nedochozí zde tak k zastavení dopravy či tvorbě kolony. Opačná situace nastává při odbočování vozidel do ulice Hlinky, kde se musí řidiči vyrovnat s možností zastavení dopravy z důvodu probíhající červené fáze na křižovatce Hlinky/Hroznová. Vozidla zde mají přednost před vozidly jedoucí z ulice Žabovřeská. V této části křižovatky se také nachází dva přechody pro chodce. V měřeném čase tyto přechody dopravu v křižovatce neovlivnily. Změřenou intenzitu dopravy lze pozorovat z Graf 2. V grafu intenzity dopravy na ulici Bauerova lze vidět vzrůstající intenzitu dopravy v čase, maxima jsou mezi třicátou až padesátou minutou měření. Jednotlivé směry jízdy jsou vypsány v legendě Graf 2.

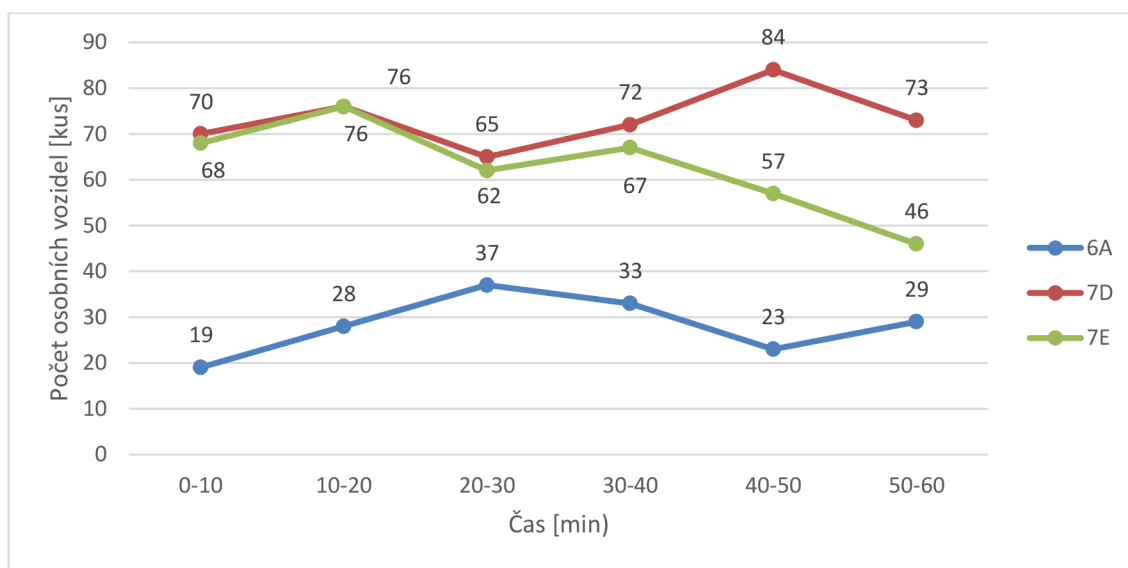


Graf 2: Graf intenzity dopravy na ulici Bauerova.

1.3. Ulice Pisárecká

Ulice Pisárecká je nejfrekventovanější komunikací v měřeném čase. Je tvořena čtyřmi pruhy. Pravý odbočovací a přímý pruh jsou značeny č. 7, levý odbočovací pruh č. 6. Dále jsou zde dva výjezdové pruhy z křižovatky B a C. Pruhem 7 projelo za měření 37% vozidel z celkového počtu. Tvoří se zde také nejdelší kolona. Díky špatné viditelnosti přes horizont vozidla projíždí křižovatkou velmi pomalu, a tím dochází ke snížení rychlosti provozu. Aktuální stav rychlosti provozu lze nalézt na stránkách dopravního informačního centra Brno.

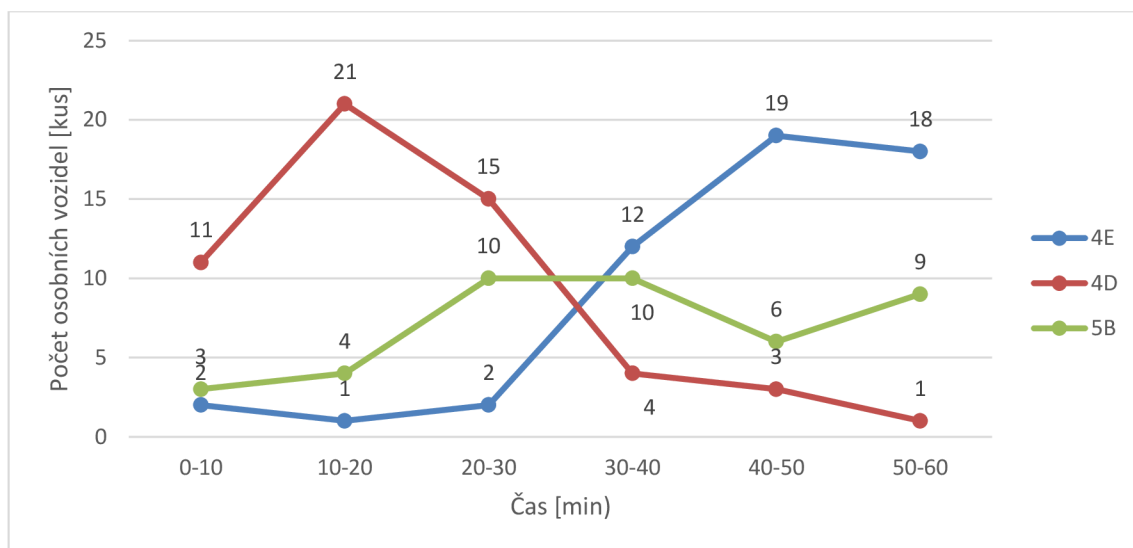
Pro pruh č. 6 nebyly nalezeny žádné faktory zpomalení dopravy. Čekací doba je zde krátká díky nízké intenzitě dopravy z protější ulice Hlinky a dlouhé zelené fázi. V grafu intenzity dopravy na Pisárecké ulici lze vidět vzrůstající intenzitu dopravy v čase. Maxima intenzity dopravy jsou patrná nejvíce v časovém intervalu mezi třicátou až padesátou minutou měření. Jednotlivé směry jízdy jsou vypsány v legendě Graf 3.



Graf 3: Intenzita dopravy na Pisárecké ulici.

1.4. Ulice Žabovřeská

Ulice Žabovřeská je tvořena dvěma jízdními pruhy a jedním odbočovacím pruhem délky 8m. Značení pruhů je zde indikováno čísly 5, 4 a A. Číslo 5 je pravý odbočovací pruh vedoucí do ulice Pisárecká. Pruh č. 4 je společným pruhem levého odbočovacího a přímého pruhu. Z ulice Žabovřeská v měřeném čase přijelo nejméně vozidel, díky tomu je zde nejkratší zpoždění vozidel na křižovatce. Vozidla jedoucí do ulice Hlinky byla v některých případech zpomalena díky tvořící se koloně. Nastala i situace, při které vozidla bránila provozu jiných pruhů kvůli neuváženému vjetí do křižovatky. Jednotlivé intenzity v čase jsou uvedeny v Graf 4.



Graf 4: Intenzita dopravy na ulici Žabovřeská

1.5. Křižovatka Hlinky/Hroznová

Křižovatka Hlinky/Hroznová se nachází 130 metrů od křižovatky Hlinky/Bauerova, je typu stykové křižovatky. Z ulice Hroznová vedou dva jednosměrné pruhy, pravý a levý odbočující pruh. Na videozáznamu tuto křižovatka nelze vidět, proto bylo provedeno další nezávislé sčítání vozidel a měření signálního plánu. Rychlost vozidel nebylo třeba zjišťovat. Na křižovatce se nachází dva přechody pro chodce, které jsou velmi frekventované. Jsou spojnicí přilehlých autobusových zastávek k Základní škole Hroznová 1. Do této části spadá jeden autobusový záliv, jenž nemá vliv na stav křižovatky Hlinky/Bauerova, proto také nebyl namodelován a autobusy byly nahrazeny těžkými vozidly.

Na základě naměřených dat byly vyvozeny následující závěry. V ranních hodinách míří nejvíce vozidel do centra z ulice Pisárecká do ulice Hlinky a Pisárecká do ulice Bauerova. Největší problém nastává při sepnutí světelné signalizace na křižovatce Hlinky/Hroznová. Vozidla jedoucí do centra rychle zablokují krátkou spojnicí mezi výše uvedenými křižovatkami a také díky frekventovanému autobusovému zálivu zde dochází ke komplikacím, které ovlivňují chod celé křižovatky.

2. Model dopravy v programu Aimsun 8

Modelování dopravy pomocí výpočetní techniky představuje účinnou pracovní metodu pro řešení složitých úloh. U nás se tato metoda používá od osmdesátých let dvacátého století. Je to tedy relativně nová metoda pro tvorbu modelů dopravy. Výhodou simulačních technik je, že dávají možnost náhlednou to stávajícího systému bez jeho narušení. Pro tuto bakalářskou práci byl zvolen program Aimsun. Jedná se o modelovací software od společnosti TSS, který umožňuje vytvoření modelu nejen křižovatky, ale i celého regionu. Tento program je uživatelsky přátelský pro osoby znalé problematiky a poskytuje hlubší pohled na dopravní situaci díky možnostem podrobného nastavení. Mezi jeho přednosti patří zejména nastavení velikosti chodce nebo volby barev vozidel. Program také uživateli umožňuje modelovat statický i dynamický model dopravy. Model dopravy lze zobrazit v makroskopickém, mezoskopickém a mikroskopickém rozlišení. Při modelování byla zvažena i možnost využití výběru typu kontrolního plánu. Mezi možnosti výběru kontrolního plánu patřily „*Actuated*“, „*External*“, „*Fixed*“ a „*Uncontrolled*“. Cílem dopravní simulace je předejít špatným rozhodnutím v úpravách konstrukcí a zamezit tak ke značným finančním ztrátám.

V předkládané bakalářské práci jsou zpracovány dva plány křižovatek.

2.1. Tvorba modelu

2.1.1. Mapový podklad a geometrie modelu

Vložení mapového podkladu se dá provést dvěma způsoby, z nichž prvním je vložení mapového podkladu ve formátu dwg. Druhým způsobem je vložení obrazového formátu jpg. Při tvorbě modelu bylo využito možnosti vložení obrazového formátu jpg. V programu Aimsun lze skládat vícero mapových podkladů do sebe, bohužel snímání satelitů není přesné, kvůli čemuž se mezi jednotlivými obrazy vyskytovaly odchylky a chyby. Proto byl mapový podklad vložen ve větším měřítku jako jeden obraz.

Aplikace mapového podkladu byla provedena na základě dvou mapových zdrojů. Prvním mapovým podkladem se staly mapy od společnosti Google, které jsou volně poskytovány k nekomerčním účelům. Dalším informačním serverem, ze kterého byly mapové podklady čerpány, se stal server www.mapy.cz. Mapy ze serveru www.mapy.cz byly na základě přesnosti podkladů vyhodnoceny jako kvalitnější a byly

využity k dalšímu zpracování v programu Aimsun. Metodou měření pomocí implementované funkce na www.mapy.cz byla změřena velikost vystřiženého modelu a na základě provedeného měření byly mapové podklady vloženy do aplikace Aimsun. Výše zmíněným způsobem bylo dosaženo dodržení měřítka mapy. Příklad připraveného náhledu na křižovatku lze nalézt na Obrázek 2.

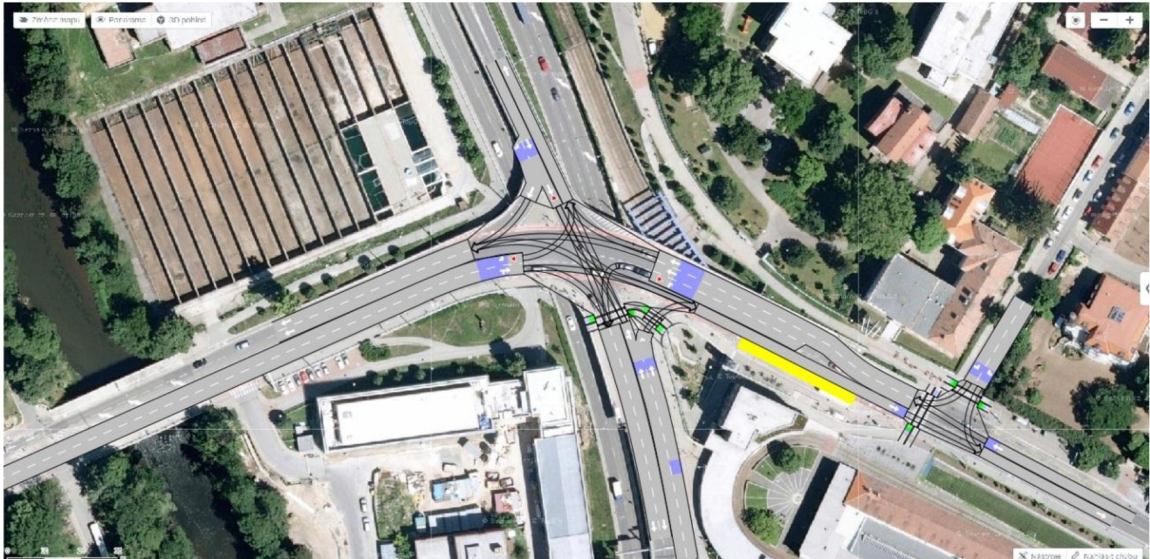


Obrázek 2: Skutečný pohled na křižovatku Hlinky/Bauerova s přilehlou křižovatkou Hlinky/Hroznová. Zdroj: www.mapy.cz

Tvorba geometrie modelu byla u křižovatky Hlinky/Bauerova poněkud složitější, jelikož softwarová verze Aimsun 8 nabízí pouze jeden typ odbočovacího pruhu. Tyto důvody vedly k přizpůsobení práce následujícím způsobem. Pruh silnice 1D byl zkrácen a zbylé pruhy 2 a 3 byly v rámci možností programu rozšířeny za mez komunikace. Pruh 5B byl upraven tak, aby nastínil reálný stav na komunikaci. Je zde totiž dostatek místa pro vozidla stojící vedle sebe.

Základními prvky byly sekce „sections“ a křižovatky „nodes“, které vytváří křižovatky na Obrázek 3. Z těchto dvou prvků byly vytvořeny komunikace a křižovatky. Z estetických důvodů bylo vytvořeno vícero menších křížení, které se napojují na hlavní křižovatku.

Křižovatka Hlinky/Hroznová je stykovou křižovatkou složenou z vedlejší a hlavní větve. Vedlejší větví je jednosměrná ulice Hroznová složená ze dvou pruhů. Hlavní větví je ulice Hlinky.

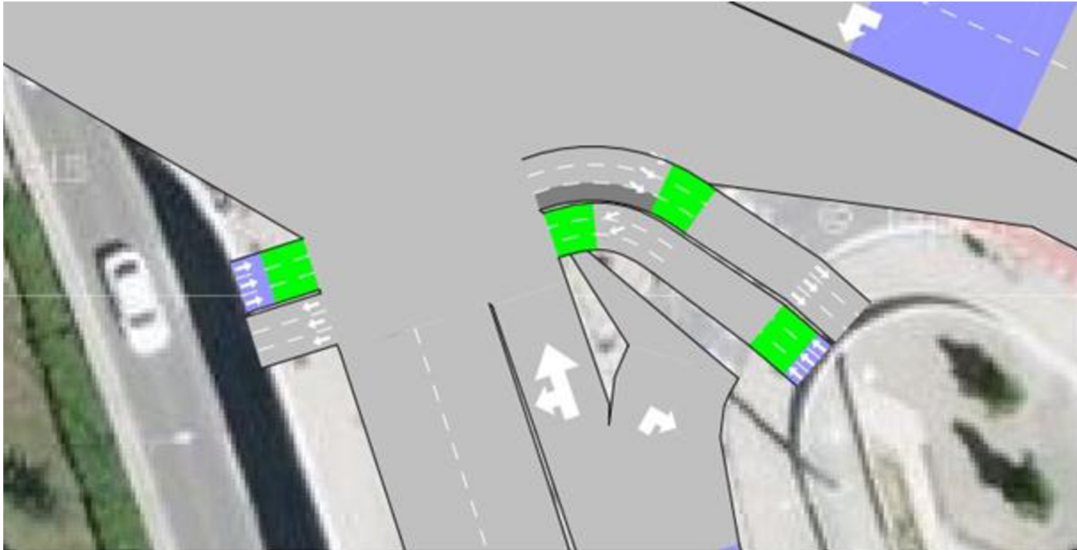


Obrázek 3: Modelový pohled na křižovatku Hlinky/Bauerova s přílehlou křižovatkou Hlinky/Hroznová. Zdroj. www.mapy.cz.

Při zpracování videozáznamu bylo zjištěno, že je křižovatka ovládána dynamicky dle potřeby vozidel a chodců. Polohu detektorů dopravní hustoty, které dávají příkazy signalizaci, nebylo možné přesně určit. Proto byl proveden přibližný odhad míst, na kterých by se detektory mohly nacházet. Součástí modelu křižovatky byly navrženy také trajektorie odbočujících vozidel, stop linie a přednosti v jízdě.

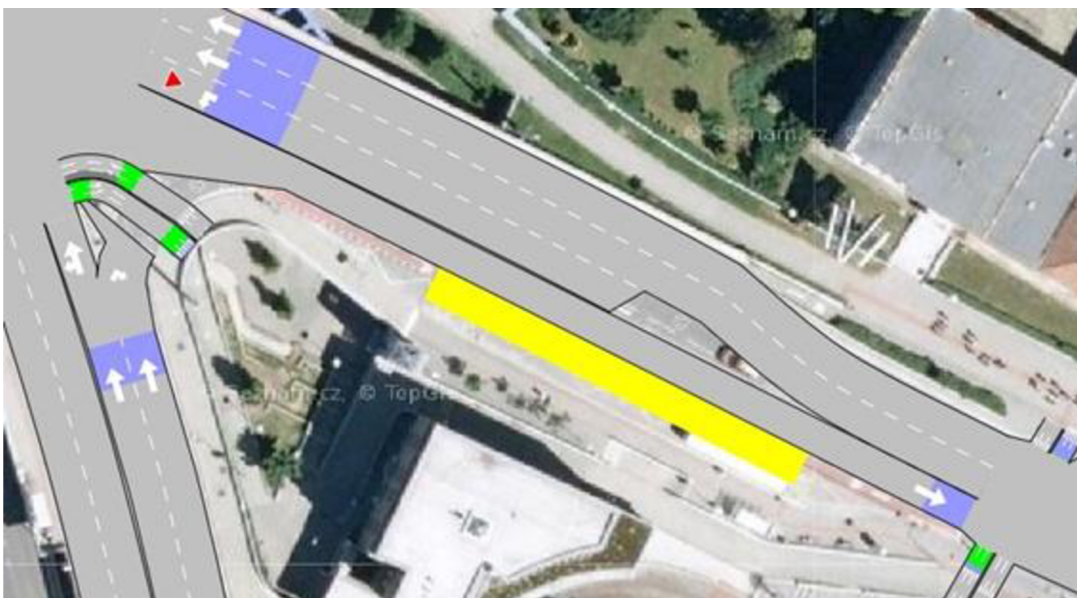
Na křižovatce Hlinky/Bauerova se nachází dva přechody. Tyto přechody se spínají podle poptávky chodců, avšak nejsou upřednostňovány. Také na křižovatce Hlinky/Hroznová se nachází dva přechody, které jsou spínány dle poptávky chodců. Pokud je zde požadavek od chodce, červená ve směru do centra trvá 18s. Pokud je požadavek od vozidel jedoucích z ulice Hroznová, červená trvá od 20s do 37s dle počtu jedoucích vozidel. Právě tyto přechody způsobují tvorbou kolon.

Model přechodů bylo možné vytvořit dvěma způsoby. Prvním způsobem bylo vytvoření sekcí a následné přiřazení k „*pedestrian area*“. Druhou možností bylo vložení přechodu přes tvorbu přechodu pro chodce. Tento přechod se však vždy automaticky vkládá na konec sekce, proto bylo využito možnosti první. Náhled na návrh sekcí a přiřazení k „*pedestrian area*“ lze vidět na Obrázek 4.



Obrázek 4: Pohled na přechody pro chodce na křižovatce Hlinky/Bauerova.

Dalším objektem detailnějšího modelování byl autobusový záliv. Autobusový záliv je možné vytvořit funkcí „*create public transport stop*“ a následnou změnou typu z normálního na tzv. „*bus bay*“. Pro tento záliv byly vytvořeny jízdní řády autobusové dopravy. Navazují zde na sebe 4 linky autobusové dopravy. Maximální délka autobusu byla nastavena podle délky využívaných souprav DPMB₁ na 17,8m. Délka zastavení autobusu v zálivu byla stanovena na 18s. Příklad autobusového zálivu je možné vidět na Obrázek 5.

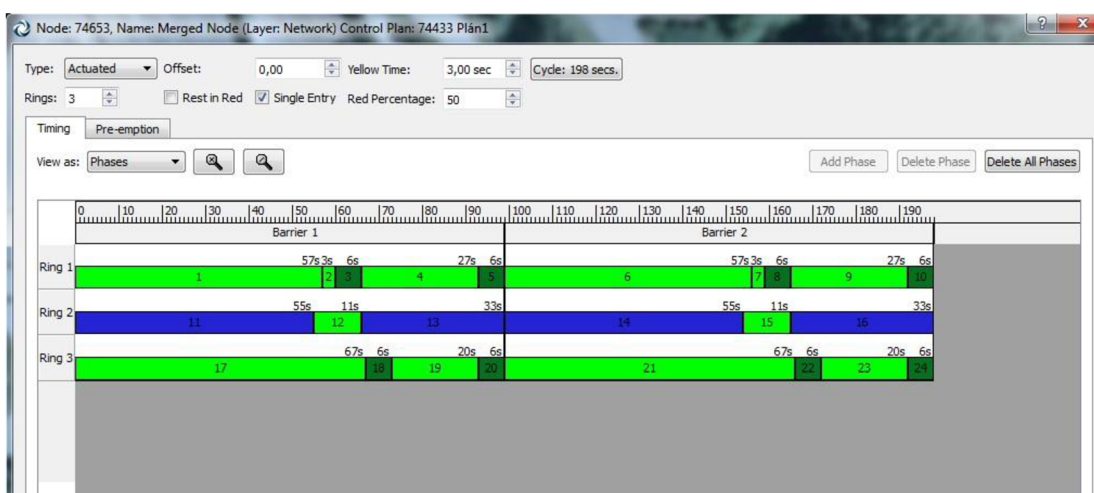


Obrázek 5: Autobusový záliv na ulici Hlinky.

¹ Dopravní podnik města Brna.

2.1.2. Tvorba řídicího plánu

Bylo vycházeno z úvahy, že křižovatky jsou řízeny dynamicky. Nejprve bylo potřeba spojením vybraných pruhů vytvořit vlastní kostru křižovatky a poté k těmto pruhům přiřadit signální skupiny. Následujícím krokem bylo možné přejít k samotné tvorbě řídicího plánu. Křižovatka je typu „*actuated*“, tzn. že jednotlivé fáze se skládají z minimálních, průměrných a maximálních dob zelené fáze. To vše je závislé na intenzitě a stavu dopravy v křižovatce. Intenzitu dopravy snímají detektory u nichž je vycházeno z předpokladu, že je každý pruh vybaven vlastním detektorem, který ovládá signalizaci. Během vytváření modelu křižovatky byl zjištěn další poznatek, který vnesl do tématu nejistotu, která dala podnět k dalšímu podrobnějšímu náhledu na situaci v křižovatce. Jeden z poznatků byl, že signalizace na křižovatce Hlinky/Hroznová není vůbec spínána, není-li k tomu dán požadavek. Pokud je zde požadavek na sepnutí fáze z ulice Hroznová či od chodců na přechodě, signalizace čeká do doby kdy je ve směrech 1,2,3,6,7 červená fáze, poté se sepne. Na Obrázek 6 lze vidět vlastní návrh signalizačního plánu a v Tabulka 1 jednotlivé časy spínání zelené na semaforech.



Obrázek 6: Signalizační plán křižovatek Hlinky/Bauerova a Hlinky/Hroznová. Zdroj:

Aimsun 8

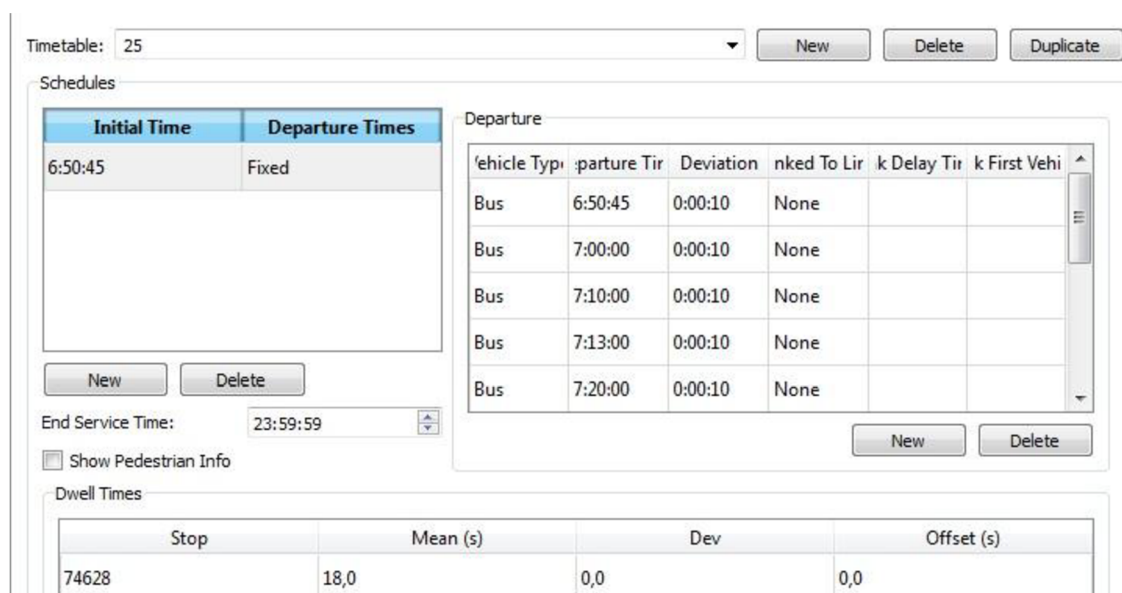
| | | | | | | | | | |
|---------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 8 | 9 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 6 | 7 |
| Průměrné časy | 0:00:27 | 0:00:27 | 0:00:27 | 0:00:27 | 0:01:00 | 0:01:00 | 0:01:00 | 0:00:57 | 0:00:57 |
| Maxima | 0:00:39 | 0:00:50 | 0:00:39 | 0:00:39 | 0:01:17 | 0:01:17 | 0:01:17 | 0:01:17 | 0:01:17 |
| Minima | 0:00:17 | 0:00:18 | 0:00:17 | 0:00:17 | 0:00:41 | 0:00:41 | 0:00:41 | 0:00:41 | 0:00:41 |

Tabulka 1: Jednotlivé časy zelených fází

2.1.3. Zadání dopravního zatížení

Dopravní zatížení bylo vloženo pomocí funkce „*Traffic states*“. Měření trvající jednu hodinu bylo rozděleno na desetimínutové intervaly, které byly následně vkládány do „*Traffic demand*“. Cesta z jednotlivých vjezdů je pevně dána. Pro autobusový záliv je vkládáno dopravní zatížení samostatně, nezávisle na „*traffic state*“, jak je patrné z Obrázek 7.

Prvním krokem pro simulaci dopravního zatížení bylo vytvoření dynamického scénáře, do kterého byly přiřazeny příslušné plány a dopravní zatížení („*public transport plan*“, „*master control plan*“ a „*traffic demand*“). Po vložení dopravního zatížení byla spuštěna samotná simulace.



Obrázek 7: Dopravní zatížení. Zdroj: Aimsun 8

2.2. Kalibrace modelu

2.2.1. Výpočet průměrných rychlostí

Průměrná rychlost vozidel byla vypočítána dle vzorce 1.

$$v = \frac{s}{t} \text{ [km/h]} \quad (1)$$

Pomocí funkce měření vzdáleností byly na interaktivní mapě serveru www.mapy.cz na základě videozáznamu změřeny dráhy vozidel potřebné pro výpočet rychlosti. Čas byl měřen pomocí serveru www.stopky.eu, který poskytoval funkci zapisování hodnot. Pro měření bylo zvoleno dvacet lehkých (osobních) vozidel z každého pruhu. Vozidla nesměla být nijak zpomalena a musel jim být umožněn volný průjezd křižovatkou. Zjištěné hodnoty zobrazuje Tabulka 2.

2.2.2. Kalibrace modelu

Samotná kalibrace a upravení světelné signalizace byla časově velmi náročná. Chování vozidel v simulaci nebylo odpovídající reálné situaci, bylo třeba upravit přednosti dané původní šablonou a stanovit rychlost vozidel projíždějících křižovatkou tak, aby odpovídaly naměřeným výsledkům. Základní hodnota v programu Aimsun 8 byla konstantně nastavena na 50km/h. Výpočtem skutečných rychlostí bylo dosaženo závěru, že je 50km/h pouze teoretická maximální rychlost v takto frekventované křižovatce. Proto byly rychlosti v parametrech modelu křižovatky upraveny podle reálně změřených rychlostí. Pozorováním trajektorií vozidel byly vytvořeny realitě nejbližší odpovídající směrové oblouky. Následně byly přiřazeny k jednotlivým směrům stop linie a také příkaz „*Dej přednost k jízdě*“. Tyto úpravy ovšem stále nekorespondovaly s reálným provozem a proto byly vyžadovány další kroky ke správnému výsledku simulace.

Reakční doby řidičů byly nastaveny na 0,8s, reakční čas na znamení stop byl nastaven 1,2s a reakční čas na vozidlo před vozidlem 1,6s. Tyto hodnoty odpovídají reakčním dobám řidiče. Uvedená úprava pomohla přiblížit model reálnému chování vozidel v křižovatce. Následně byly modifikovány rozestupy vozidel. Minimální hodnota pro vzdálenost vozidel byla nastavena na 0,5m a maximální vzdálenost vozidel na 1,5m.

Na základě porovnání reálných změřených rychlostí v křižovatce vůči rychlostem zadaným v modelu byla provedena výsledná kalibrace modelu tak, aby byly

výsledky co nejvíce relevantní a odchylka od naměřených hodnot co nejmenší. Absolutní chybu měření jsme vypočítali jako:

$$ch_{abs} = v_{real} - v_{mod} \quad (2)$$

kde ch_{abs} je absolutní chyba [km/h]

v_{real} reálná průměrná rychlost [km/h]

v_{mod} modelová průměrná rychlost [km/h]

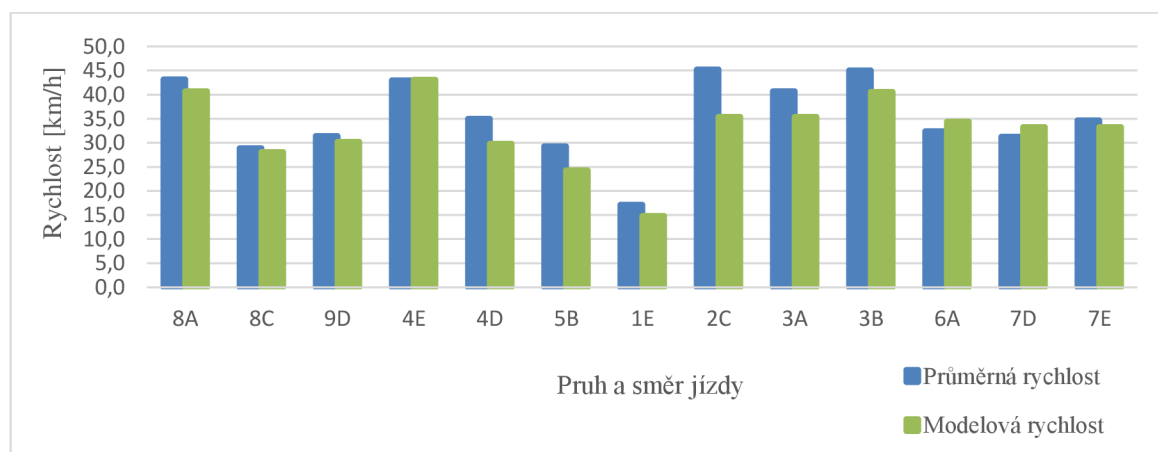
Relativní chyba měření byla vypočtena jako:

$$ch_{rel} = \frac{ch_{abs}}{v_{real}} \cdot 100 \quad (3)$$

kde ch_{rel} je relativní odchylka měření [%]

Tabulka 2: Porovnání modelové a reálné rychlosti.

| Směr | 8A | 8C | 9D | 4E | 4D | 5B | 1E | 2C | 3A | 3B | 6A | 7D | 7E |
|-------------------------------|------|------|------|------|-------|-------|-------|------|-------|------|------|------|------|
| Průměrná rychlost [km/h] | 43,2 | 28,9 | 31,4 | 43 | 35 | 29,3 | 17,1 | 39 | 40,7 | 45 | 32,4 | 31,3 | 34,7 |
| Modelová rychlost [km/h] | 40,7 | 28,1 | 30,2 | 43,1 | 29,8 | 24,3 | 14,8 | 35,4 | 35,4 | 40,6 | 34,4 | 33,3 | 33,3 |
| Absolutní chyba měření [km/h] | 2,5 | 0,8 | 1,2 | 0,1 | 5,2 | 5 | 2,3 | 3,6 | 5,3 | 4,4 | 2 | 2 | 1,4 |
| Relativní chyba měření [%] | 5,79 | 2,77 | 3,82 | 0,23 | 14,86 | 17,06 | 13,45 | 9,23 | 13,02 | 9,78 | 6,17 | 6,39 | 4,03 |



Graf 5: Porovnání rychlosti vozidel

Výsledky z Tabulka 2 ukazují, že se křivky liší pouze nepatrně a zásahy do modelu rychlosti při průjezdu automobilů křižovatkou byly minimální a lišily se pouze

v některých bodech křivky. Odchyly jsou způsobeny odlišným chováním vozidel ve skutečnosti a chováním v modelu. Modelové rychlosti jsou ve většině případů nižší než rychlosti skutečné, průběhy křivek však zůstávají podobné. Průměrná relativní chyba měření činí 8,2%.

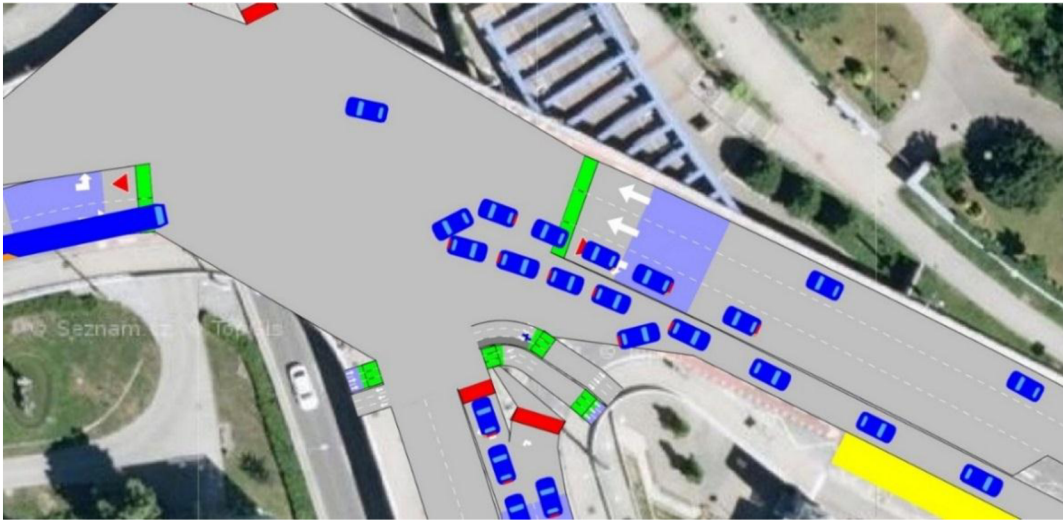
Výsledkem návrhu je fungující křižovatka, v níž hledám průměrné zpoždění na jednotlivých pružích. Tyto výsledky jsou poté porovnány s výsledky z posouzení křižovatky podle TP 225 a TP 235. Celkové zpoždění v křižovatce je 140,34 [s/km], jednotlivá zpoždění jsou rozepsána v Tabulka 3. Lze vidět, že ve směru 1E je zpoždění větší než 70s. Toto zpoždění je dáno špatnou viditelností do protisměru a opožděnou reakcí řidičů oproti předpokladům. Kvůli této hodnotě modelová křižovatka pro dané intenzity dopravy nevyhoví.

Tabulka 3: Průměrná zpoždění vymodelované křižovatky

| Název křižovatky | | Brno, křiž. Hlinky/Bauerova | | ÚKD | |
|------------------|------------------|-----------------------------|--------------|----------|------------|
| Paprsek | Název komunikace | Směr jízdy | Zpoždění [s] | dosažená | požadovaná |
| A | Hlinky | 1E | 76 | F | E |
| | | 3A | 9 | A | E |
| | | 3B | 9 | A | E |
| | | 2C | 24 | B | E |
| B | Bauerova | 8C | 23 | B | E |
| | | 9D | 24 | B | E |
| | | 8A | 23 | B | E |
| C | Pisárecká | 6A | 15 | A | E |
| | | 7E | 30 | B | E |
| | | 7D | 30 | B | E |
| D | Žabovřeská | 4D | 23 | B | E |
| | | 5B | 25 | B | E |
| | | 4E | 23 | B | E |

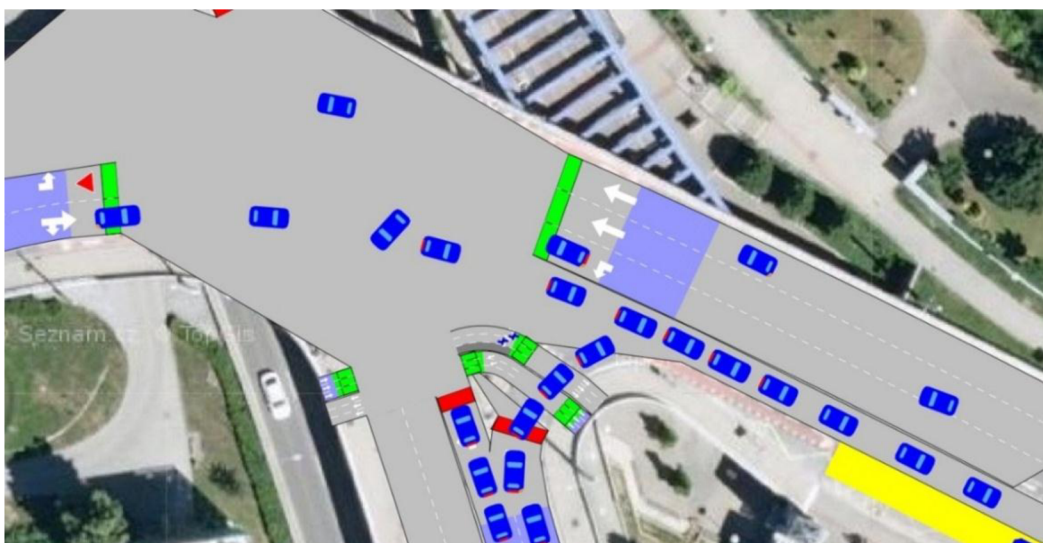
2.2.3. Vznik nepřehledných situací

Obrázek 8 dokumentuje situaci, kdy je sepnutá zelená barva na semaforu křižovatky Hlinky/Hroznová a kolona se rozjíždí. Auta ze směru Pisárecká dávají přednost vozidlům jedoucím z ulice Bauerovy. Tím se vytvoří menší fronta vozidel v křižovatce.



Obrázek 8: Situace na křižovatce. Zdroj: Aimusin 8.

Obrázek 9 popisuje krátkodobou zácpu v křižovatce Hlinky/Bauerova. Také lze vidět najetí vozidel do křižovatky při levém odbočení do ulice Bauerova. Vozidla zde dlouho vyčkávají, než odbočí.



Obrázek 9: Znázornění nebezpečné situace vznikající v křižovatce Hlinky. Zdroj:

Aimsun 8

Obrázek 10 popisuje reálný stav křižovatky při vznikajícím problému. Obrázek lze přirovnat k situaci vzniklé na Obrázek 8.



Obrázek 10: Reálné znázornění nebezpečné situace v křižovatce Hlinky/Bauerova

Obrázek 11 popisuje velmi nebezpečnou situaci, při které řidič jedoucí z ulice Hlinky nevydrží čekat a podjíždí vozidlo stojící před ním, při čemž ohrozí vozidlo jedoucí z protisměru. Vozidlo jedoucí z protisměru muselo reagovat prudkým bržděním, aby se vyhnulo srážce s odbočujícím vozidlem.



Obrázek 11: Podjíždějící vozidlo

Poslední Obrázek 12 popisuje situaci, kdy vozidla jsou zpomalena přechodem pro chodce a chodci na něm přecházející. Jedno z vozidel však neuváženě vjelo do křižovatky a ohrozilo vozidla jedoucí v protisměru.



Obrázek 12: Vliv přechodu pro chodce na dopravu v křižovatce Hlinky/Bauerova

3. Posouzení křižovatky dle TP 225 a TP 235

TP 225 se zabývá metodikou posuzování kapacity světelně řízených křižovatek. Platí pro křižovatky pozemních komunikací nových, stávajících a rekonstruovaných. Technické podmínky navazují na ČSN 73 6102 Projektování křižovatek na pozemních komunikacích. Základní principy vychází z Websterovy metody saturovaného toku.

3.1. Posouzení křižovatky

Prvně je nutné zvolit typ křižovatky. V našem případě to je světelně řízená křižovatka s maximální hodinovou kapacitou 2000 - 6400 [voz/h]. Pro posouzení křižovatky je nutné znát intenzitu dopravy na všech dopravních proudech a rozlišit ji podle druhu vozidla.

Intenzita dopravy byla změřena v hodinovém časovém úseku v roce 2015, výpočtem intenzity dopravy pro rok 2010 jsem získal základní intenzitu dopravy. Přenásobením této hodnoty koeficientem pro příslušný rok jsem získal intenzitu dopravy pro potřebný rok.

Pro posouzení kapacity křižovatky je nezbytné zohlednit skladby dopravního proudu a znásobit návrhové intenzity příslušnými koeficienty z Tabulka 4.

Tabulka 4: Koeficienty skladby dopravního proudu. Zdroj: TP 235.

| Druh vozidel | Koeficient |
|--|------------|
| Jízdní kola | 0,5 |
| Motocykly | 0,8 |
| Osobní vozidla (včetně nákladních vozidel do 3,5t) | 1,0 |
| Nákladní vozidla, autobusy | 1,7 |
| Nákladní soupravy, kloubové autobusy | 2,5 |

Dalším předpokladem pro posouzení křižovatky je znalost geometrického uspořádání. Podélný sklon vjezdu ve stoupání byl odvozen pomocí vrstevnicového mapového podkladu pro měření výškového profilu.

Poloměr oblouku odbočení byl přesně posouzen metodou podobnosti kruhového oblouku v programu Autocad.

U tvorby signálního plánu byla zjištěna délka zeleného signálu z [s]. To je skutečná délka signálu „Volno” pro příslušný vjezd. Délka efektivní zelené z' [s], skutečná délka signálu „*Volno*” byla upravena podle TP 235, kap. 3.3. Délka zeleného

signálu v protisměru z_p [s], což je délka signálu „Volno“ na protisměrném vjezdu v době zelené pro levé odbočení ovlivněné protisměrem.

Samotné posouzení úrovně kvality dopravy definujeme podle podmínky $t_w \leq t_{w,lim}$. Kde t_w je střední doba zdržení vozidel na vjezdu a $t_{w,lim}$ nejvyšší přípustná střední doba zdržení vozidel dle požadovaného stupně úrovně dopravy. Křižovatka Hlinky/Bauerova se nachází na místní komunikaci, pro níž se požaduje minimálně kvalita stupně dopravy E. V Tabulka 5 je zaznamenáno označení kvality a maximální střední doba zdržení pro danou úroveň kvality dopravy.

Tabulka 5: Úroveň kvality dopravy. Zdroj: TP 235

| Úroveň kvality dopravy | | Střední doba zdržení $t_{w,lim}$ [s] |
|------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|
| Označení | Charakteristika kvality dopravy | |
| A | Velmi dobrá | ≤ 20 |
| B | Dobrá | ≤ 35 |
| C | Uspokojivá | ≤ 50 |
| D | Dostatečná | ≤ 70 |
| E | Nestabilní stav | > 70 |
| F | Překročená kapacita | - |

3.2. Postup výpočtu

- 1) Specifikace křižovatky a posuzovaného stavu
- 2) Zjištění návrhových intenzit všech dopravních proudů
- 3) Zjištění geometrické uspořádání křižovatky
- 4) Zjištění příslušných časů ze signálního plánu
 - délka zeleného signálu pro všechny proudy
 - délka zeleného signálu v protisměru z_p
 - délka cyklu t_c
- 5) Pro vjezdy tvořené samostatným řadícím pruhem pro levé odbočení ovlivněné protisměrem
 - stanovení návrhové intenzity v protisměru I_p
 - stanovení saturovaného toku v protisměru S_p a saturovaného toku pro levé odbočení S_L
 - zjištění počtu míst k najetí do křižovatky N_A
 - výpočet dílčích kapacit levého odbočení C_{L1} a C_{L2}

- výpočet kapacity levého odbočení ovlivněného protisměrem C_L
- 6) Pro všechny vjezdy:
- stanovení návrhové intenzity dopravy na vjezdu I_p
 - stanovení saturovaného toku vjezdu S_V
 - výpočet kapacity vjezdu C_V
 - výpočet rezervy kapacity vjezdu Rez
- 7) Pro vjezdy s kladnou nebo nulovou rezervou kapacity vjezdu výpočet průměrné délky fronty na začátku zeleného signálu L_{FI}
- 8) Pro všechny vjezdy:
- výpočet střední doby zdržení t_w
 - stanovení dosaženého stupně UKD a porovnání s požadovanou UKD+

3.3. Vzorce pro výpočet střední doby zdržení

Saturovaný tok vjezdu je součet saturovaných toků jednotlivých řadících pruhů, které společně tvoří jeden tok.

$$S_V = \sum_{i=1}^{n_p} S_i \quad (4)$$

| | | |
|-----|-------|--|
| kde | S_V | saturovaný tok vjezdu [pvoz/h] |
| | S_i | saturovaný tok jednoho řadícího pruhu [pvoz/h] |
| | n_p | počet řadících pruhů, které společně tvoří jeden vjezd |

Saturovaný tok řadícího pruhu se stanoví ze základního saturovaného toku podle

$$S_t = S_{zákl} \cdot k_{skl} \cdot k_{obl} \quad (5)$$

| | | |
|-----|------------|---|
| kde | S_t | saturovaný tok řadícího pruhu [pvoz/h] |
| | $S_{zákl}$ | základní saturovaný tok = 2000 [pvoz/h] |
| | k_{skl} | koeficient sklonu [-] Tabulka 6 |
| | k_{obl} | koeficient oblouku [-] |

Koeficient sklonu vyjadřuje vliv podélného sklonu vjezdu na saturovaný tok:

$$k_{skl} = 1 - 0,02 \cdot a \quad (6)$$

| | | |
|-----|-----------|-----------------------------------|
| kde | k_{skl} | koeficient sklonu [-] v tabulce 6 |
| | a | podélný sklon vjezdu [%] |

Tabulka 6: Hodnoty koeficientu sklonu. Zdroj: TP 235

| Podélná sklon a [%] | Koeficient sklonu k_{skl} [-] | |
|-----------------------|---------------------------------|-------------|
| | při stoupání | při klesání |
| 0 | 1,00 | 1,00 |
| 2 | 0,96 | 1,00 |
| 4 | 0,92 | 1,00 |
| 6 | 0,88 | 1,00 |
| 8 | 0,84 | 1,00 |
| 10 a více | 0,80 | 1,00 |

Koeficient oblouku vyjadřuje vliv poloměru směrového oblouku při odbočování a podílu odbočujících vozidel na saturovaný tok.

$$k_{obl} = \frac{R}{R + 1,5 \cdot f} \quad (7)$$

kde k_{obl} koeficient oblouku [-]
 R poloměr oblouku pro odbočení [m]
 f podíl odbočujících vozidel z jízdního pruhu (0 až 1)

Kapacita běžného vjezdu závisí na saturovaném toku, délce efektivní zelené a délce cyklu.

$$C_V = S_V \cdot \frac{z'}{t_c} \quad (8)$$

kde C_V kapacita vjezdu [pvoz/h]
 S_V saturovaný tok vjezdu [pvoz/h]
 z' délka efektivní zelené [s]
 t_c délka cyklu [s]

Odlišně je postupováno při stanovení kapacity vjezdu tvořeného samostatným levým odbočením ovlivněného protisměrem. Tato kapacita vjezdu je dána počtem vozidel, které mohou s ohledem na světelné signály vjet přes stopčáru do křižovatky a také kapacitou levého odbočení ovlivněného protisměrem.

Kapacita na stopčáře se vypočte vzorcem:

$$C_s = S_V \cdot z' / t_c \quad (9)$$

kde C_s kapacita na stopčáře [pvoz/h]
 S_V saturovaný tok vjezdu [pvoz/h]

| | |
|-------|----------------------------|
| z' | délka efektivní zelené [s] |
| t_c | délka cyklu [s] |

Kapacita levého odbočení ovlivněného protisměrem se vypočte jako součet dílčích kapacit.

$$C_L = C_{L1} + C_{L2} + C_{L3} \quad (10)$$

| | | |
|-----|----------|---|
| kde | C_L | kapacita levého odbočení ovlivněného protisměrem [pvoz/h] |
| | C_{L1} | dílčí kapacita levého odbočení v době zelené protisměru [pvoz/h] |
| | C_{L2} | kapacita levého odbočení po skončení vlastní zelené při změně fází [pvoz/h] |
| | C_{L3} | dílčí kapacita levého odbočení neovlivněná protisměrem [pvoz/h] |

Dílčí kapacita levého odbočení v době zelené protisměru se vypočte pomocí vztahu:

$$C_{L1} = \frac{(1400 - 1,2 \cdot I_p) \cdot (z_p \cdot S_p - I_p \cdot t_c)}{t_c \cdot (S_p - I_p)} \quad (11)$$

| | | |
|-----|----------|--|
| kde | C_{L1} | dílčí kapacita levého odbočení v době zelené protisměru [pvoz/h] |
| | I_p | návrhová intenzita dopravy v protisměru [pvoz/h] |
| | S_p | saturovaný tok protisměru [pvoz/h] |
| | t_c | délka cyklu [s] |
| | z_p | délka zeleného signálu v protisměru [s] |

Poznámka: pokud $I_p > 1166$, nebo $I_p \cdot t_c \geq z_p \cdot S_p$ je $C_{L1} = 0$

Dílčí kapacita levého odbočení po skončení vlastní zelené při změně fází se určí podle počtu vlevo odbočujících vozidel, jenž mohou vjet do křižovatky, kde následně dávají přednost protijedoucím vozidlům.

$$C_{L2} = \frac{N_A \cdot 3600}{t_c} \quad (12)$$

| | | |
|--|----------|--|
| | C_{L2} | kapacita levého odbočení po skončení vlastní zelené při změně fází [pvoz/h] |
| | N_A | počet míst k najetí do křižovatky a zastavení vozidla při dávání přednosti protijedoucím vozidlům automobily odbočující vlevo [pvoz/h] |
| | t_c | délka cyklu [s] |

Následně se vypočte rezerva kapacity vjezdu, ta se stanoví z % intenzity dopravy na vjezdu. Pro výpočet rezervy kapacity vjezdu platí vztah:

$$Rez = 1 - \left(\frac{I_V}{C_V} \right) \cdot 100 \quad (13)$$

kde Rez rezerva kapacity vjezdu [%]
 I_V návrhová intenzita dopravy na vjezdu [pvoz/h]
 C_V kapacita vjezdu [pvoz/h]

Střední doba zdržení na vjezdu do světelně řízené křižovatky se vypočte dle vztahu:

$$t_w = 0,45 \cdot \left(\frac{(t_C - z')^2 \cdot C_V}{C_V \cdot t_C - I_V \cdot z'} + \frac{I_V \cdot 3600}{C_V^2 - I_V \cdot C_V} \right) \quad (14)$$

kde t_w střední doba zdržení na vjezdu do světelně řízené křižovatky [s]
 t_C délka cyklu [s]
 z' délka efektivní zelené [s]
 C_V kapacita vjezdu [pvoz/h]
 I_V návrhová intenzita dopravy na vjezdu [pvoz/h]

Výpočet střední doby zdržení na vjezdu do světelně řízené křižovatky je možný pouze za podmínky, že $C_V > I_V$. V případě, kdy tato podmínka není splněna, je úroveň kvality dopravy na stupni F.

Pomocí těchto vzorců byla posouzena křižovatka, za z' délku efektivní zelené byl vložen průměrný čas na jednotlivých signalizačních zařízeních. Výsledky jsou uvedeny v příloze č. 4 a příloze č. 5.

Návrhové intenzity vychází z měření intenzit dopravy v hodinové časovém úseku. Spočítáním, podle TP 225, intenzity dopravy pro rok 2010 získám základní intenzity, které následně přenásobím příslušnými koeficienty z Tabulka 7. Návrhové intenzity pro rok 2015 a 2020 uvádím v tabulkách příloze č.2 a příloze č. 3.

Tabulka 7: Koeficienty vývoje intenzit dopravy pro skupinu lehkých vozidel. Zdroj:

TP 225

| Rok | Typ komunikace | Rok | Typ komunikace |
|------|----------------|------|----------------|
| | II+III | | II+III |
| 2010 | 1,00 | 2020 | 1,24 |
| 2011 | 1,02 | 2021 | 1,27 |
| 2012 | 1,03 | 2022 | 1,30 |
| 2013 | 1,04 | 2023 | 1,32 |
| 2014 | 1,06 | 2024 | 1,35 |
| 2015 | 1,09 | 2025 | 1,37 |
| 2016 | 1,11 | 2026 | 1,38 |
| 2017 | 1,14 | 2027 | 1,40 |
| 2018 | 1,17 | 2028 | 1,42 |
| 2019 | 1,20 | 2029 | 1,44 |

Shrnutí výsledků

Na základě zkoumání veškerých prvků křižovatky dané povahou zadání, které byly v rámci bakalářské práce posuzovány, vyšla najevo skutečnost, že pro dané časové období křižovatka Hlinky/Bauerova splňuje všechny parametry pro svou správnou funkci. Pro rok 2015 bylo nejhorším hodnocením ÚKD označení písmenem C, tedy dobrá.

Bakalářské práce se zabývala hledáním maximální doby, po kterou bude křižovatka splňovat parametry funkčnosti. Aplikací správných výpočtů bylo seznáno, že hraniční rok, do kterého bude svoji správnou funkci křižovatka Hlinky/Bauerova splňovat je rok 2020. Poté lze předpokládat zvýšení střední čekací doby ve směru z ulice Pisárecká do ulice Hlinky na $t_w = 61s$.

V roce 2021 dojde k překlenutí hranice kladných hodnot rezerv kapacity vjezdu do hodnot záporných. Zde platí podmínka $I_v > C_v$. Což tuto podmínku nesplňuje a křižovatka je brána automaticky za nevyhovující.

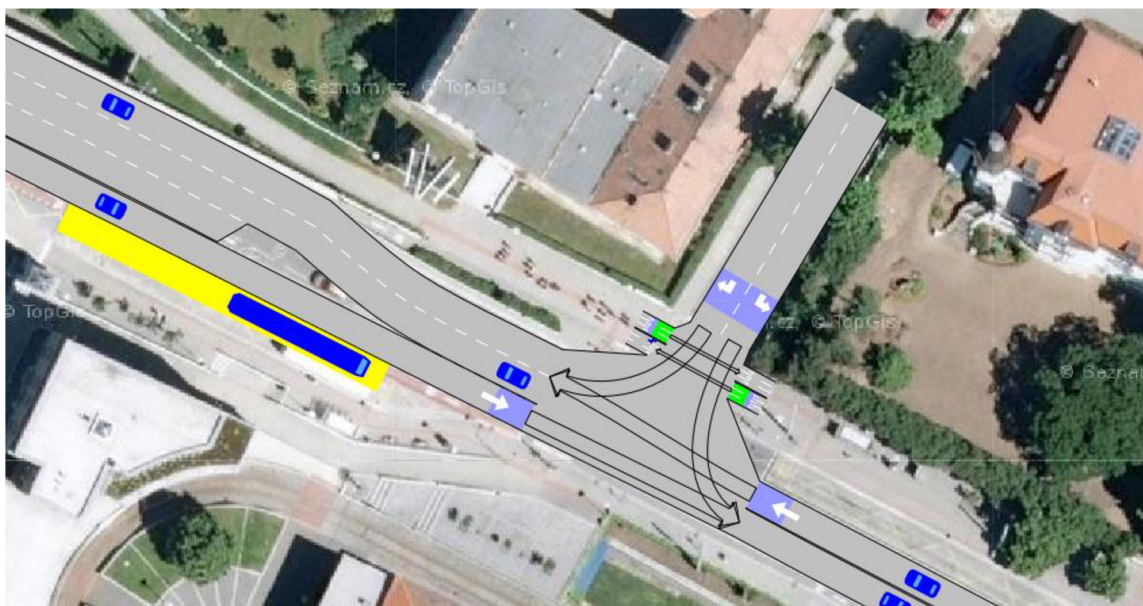
4. Porovnání výsledků TP a modelových

TP neposuzuje, zda je signalizace na křižovatce fixní nebo dynamická. Vkládá se zde pouze průměrný čas trvání zelené. Nepřihlíží se zde ani na reakční dobu řidiče. V úvahu není brána ani přílehlá křižovatka Hlinky/Hroznová, která má zásadní vliv na křižovatku Hlinky/Bauerova. Výsledky jsou podle TP pro zadavatele vyhovující, ovšem na základě důkladné analýzy můžeme tvrdit, že v reálných situacích křižovatka neobstojí. Model křižovatky jasně poukazuje na její nedostatečnou propracovanost. Nedůslednost při propracování křižovatky vede k reálným situacím, které nutí řidiče osobních automobilů porušovat dopravní předpisy a tím nadále zhoršovat situaci analyzované křižovatky.

4.1. Návrh řešení

Jako první řešení problému křižovatky Hlinky/Bauerova byla zvážena úprava světelné signalizace. Úprava světelných intervalů však do křižovatky nevnese potřebné zlepšení a proto byly zváženy další možnosti optimalizace provozu.

Možnou optimalizaci křižovatky Hlinky/Bauerova připouští úvaha nad potřebností a využitelností přechodu pro chodce umístěného na přílehlé křižovatce Hlinky/Hroznová. Uvedený přechod snižuje propustnost komunikace a je nahraditelný již existujícím podchodem. Odstraněním přechodu pro chodce lze výrazně zlepšit průchodnost komunikace a snížit tak celkové zpoždění na $t_{celk} = 122,65 [s]$. Průměrné zpoždění v kritickém pruhu poté bude $1E t_w = 67,5 [s]$. Provedenou úpravu znázorňuje Obrázek 13.



Obrázek 13: Upravená křižovatka Hlinky/Hroznová. Zdroj: Aimsun 8

Závěr

Cílem bakalářské práce bylo namodelovat, posoudit a navrhnout řešení pro zlepšení kvality dopravy na křižovatce Hlinky/Bauerova. Na základě dopravního průzkumu stávajícího stavu byl vytvořen model světelné křižovatky. Pomocí naměřených hodnot byl model zkalibrován a upraven natolik, aby odpovídal reálnému stavu křižovatky. Posouzením křižovatky Hlinky/Bauerova pomocí TP 235 a TP 225 bylo zjištěno, že křižovatka vyhoví daným intenzitám dopravy, až do roku 2021, kdy dojde k jejímu selhání.

Na základě zpracování návrhu křižovatky Hlinky/Bauerova v modelovacím programu Aimsun 8 bylo dosaženo poznatku, který poukazuje na její nynější neodpovídající stav v poměru k intenzitě provozu skrze ni proudící. Hlavními faktory zhoršujícími se parametrů křižovatky se stala především špatná viditelnost při vjezdu do křižovatky a přechod pro chodce na ulici Hlinky/Hroznová. Změna parametrů pro světelné řízení křižovatky byla sice zvážena, ale nebyla realizována z důvodu dynamického automatického řízení dopravy světelnou signalizací.

Jelikož v případě již postavené křižovatky nelze provádět markantní intruzivní zásahy do vozovky, byla její optimalizace směřována na jiné problémy, které by její funkci mohly nadále pozitivně upravit a prodloužit tak její schopnost zabezpečení plynulého provozu.

Pro optimalizaci křižovatky bylo navrženo jako řešení odstranění přechodu pro chodce na ulici Hlinky/Hroznová, kteréžto by zlepšilo průchodnost křižovatky a snížilo intenzitu dopravy v tomto dopravním uzlu. Zmíněné řešení nastalé situace bylo uvažováno tak, aby neohrozilo funkci přecházení, která je vzhledem k povaze křižovatky její stěžejní součástí. Přechod pro chodce může plně nahradit nedaleký podchod. Parametry zlepšující vlastnosti křižovatky pramenící z tohoto řešení byly řádně propočítány a jsou uvedeny v aplikované části a přílohách bakalářské práce. Tím byly splněny její zadané podmínky.

Použité zdroje

- [1] Aimsun Dynamic Simulators Users Manual v8
- [2] ČSN 73 6102 ed.2. Projektování křižovatek pozemních komunikací. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [3] TP 235 a TP 225 2. Vydání.
- [4] server www.mapy.cz

Seznam příloh

Příloha č. 1: Saturovaný tok řadících pruhů

Příloha č. 2: Návrhové intenzity dopravy rok 2015, hodina 6:50-7:50

Příloha č. 3: Návrhové intenzity dopravy rok 2020, hodina 6:50-7:50

Příloha č. 4: Kapacitní posouzení světelně řízené křižovatkz podle TP 235, tok 2015

Příloha č. 5: Kapacitní posouzení světelně řízené křižovatkz podle TP 235, tok 2020

Příloha č. 6: Schématické rozvržení křižovatkzy Hlinky/Bauerova

Příloha č. 1: Saturovaný tok řadících pruhů

| Název křižovatky | | Brno, křiž. Hlinky/Bauerova | | | | | | |
|------------------|------|-----------------------------|-------|-------|----------------------|-------|----------------------|-------------|
| Paprsek | Pruh | Směr | R [m] | f [-] | k _{obl} [-] | a [%] | k _{skl} [-] | Si [pvoz/h] |
| A | 1 | E | 4 | 1 | 0,73 | 2,85 | 0,94 | 1372 |
| | 3 | A | 30 | 0,42 | 0,98 | 2,85 | 0,94 | 1847 |
| | 3 | B | 84 | 0,58 | 0,99 | 2,85 | 0,94 | |
| | 2 | C | 84 | 1 | 0,98 | 2,85 | 0,94 | 1853 |
| B | 8 | C | 38 | 0,71 | 0,97 | 1,6 | 0,97 | 1883 |
| | 9 | D | 12 | 1 | 0,89 | 1,6 | 0,97 | 1721 |
| | 8 | A | 0 | 0,29 | 0,00 | 1,6 | 0,97 | |
| C | 6 | A | 14 | 1 | 0,90 | 2,5 | 0,95 | 1716 |
| | 7 | E | 25 | 0,47 | 0,97 | 2,5 | 0,95 | 1848 |
| | 7 | D | 104 | 0,53 | 0,99 | 2,5 | 0,95 | |
| D | 4 | D | 38,5 | 0,51 | 0,98 | 0,73 | 0,99 | 1932 |
| | 5 | B | 14 | 1 | 0,90 | 0,73 | 0,99 | 1780 |
| | 4 | E | 0 | 0,49 | 0,00 | 0,73 | 0,99 | |

Příloha č. 2: Návrhové intenzity dopravy - rok 2015, hodina 6:50-7:50

| Název křižovatky | | Brno, křiž. Hlinky/Bauerova | | | |
|------------------|------------------|-----------------------------|------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|
| Paprsek | Název komunikace | Směr jízdy | Osobní vozidla [voz/h] | Nákladní vozidla + Autobusy [voz/h] | Zohledněná skladba [pvoz/h] |
| A | Hlinky | 1E | 209 | 4 | 216 |
| | | 3A | 65 | 0 | 65 |
| | | 3B | 227 | 32 | 281 |
| | | 2C | 139 | 6 | 149 |
| B | Bauerova | 8C | 184 | 22 | 221 |
| | | 9D | 303 | 7 | 315 |
| | | 8A | 74 | 1 | 76 |
| C | Pisárecká | 6A | 169 | 1 | 171 |
| | | 7F | 376 | 10 | 393 |
| | | 7D | 440 | 42 | 511 |
| D | Žabovřeská | 4D | 55 | 0 | 55 |
| | | 5B | 42 | 0 | 42 |
| | | 4E | 54 | 0 | 54 |

Příloha č. 3: Návrhové intenzity dopravy - rok 2020, hodina 6:50-7:50

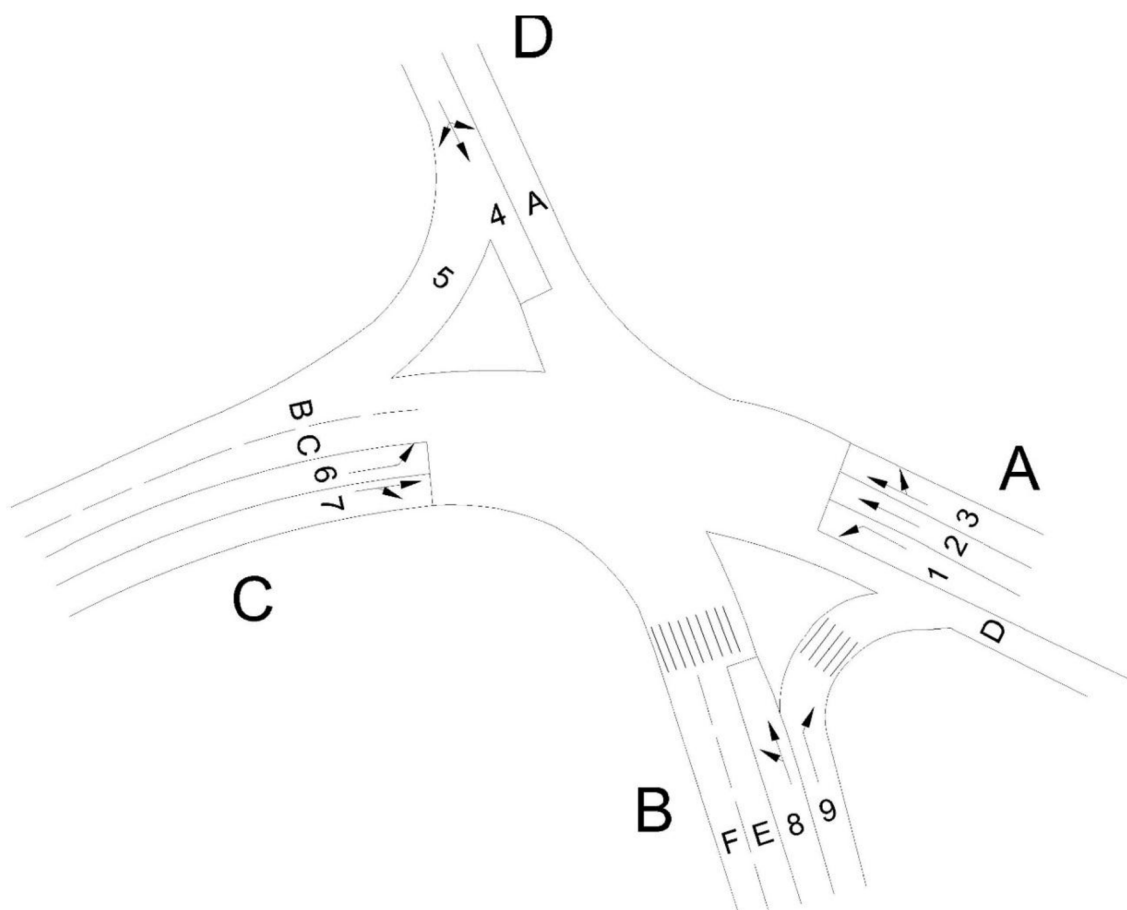
| Název křižovatky | | Brno, křiž. Hlinky/Bauerova | | | |
|------------------|------------------|-----------------------------|------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|
| Paprsek | Název komunikace | Směr jízdy | Osobní vozidla [voz/h] | Nákladní vozidla + Autobusy [voz/h] | Zohledněná skladba [pvoz/h] |
| A | Hlinky | 1E | 238 | 4 | 245 |
| | | 3A | 74 | 0 | 74 |
| | | 3B | 258 | 32 | 313 |
| | | 2C | 158 | 6 | 168 |
| B | Bauerova | 8C | 209 | 22 | 247 |
| | | 9D | 345 | 7 | 357 |
| | | 8A | 84 | 1 | 86 |
| C | Pisárecká | 6A | 192 | 1 | 194 |
| | | 7F | 428 | 10 | 445 |
| | | 7D | 501 | 42 | 572 |
| D | Žabovřeská | 4D | 63 | 0 | 63 |
| | | 5B | 48 | 0 | 48 |
| | | 4E | 61 | 0 | 61 |

Příloha č. 4: Kapacitní posouzení světelně řízené křižovatky podle TP 235, rok 2015

| Název křižovatky: | Brno, křiž. Hlinky/Bauerova | | | | | | | | | |
|---|-----------------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|-----------------|----------------------|-------------------|--------------|----------------------|-------------------|
| Posuzovaný stav: | 2015, 6:50 - 7:50 | | | Délka cyklu t_C [s] | 100 | | | | | |
| Posouzení kapacity vjezdů, úroveň kvality dopravy | | | | | | | | | | |
| Vjezd (signální skupina) | I_V [pvoz/h] | z [s] | S_V [pvoz/h] | C_V [pvoz/h] | R_{ez} [%] | L_{F1} [m] | t_w [s] | ÚKD | | |
| | | | | | | | | dosažená | požadovaná | |
| 1E | 216 | 60 | 1372 | 500 | 57 | 14 | 12 | A | E | |
| 3AB | 346 | 60 | 1847 | 1108 | 69 | 12 | 10 | A | E | |
| 2C | 149 | 60 | 1853 | 1112 | 87 | 10 | 8 | A | E | |
| 8CA | 297 | 27 | 1883 | 515 | 42 | 18 | 33 | B | E | |
| 9D | 315 | 27 | 1721 | 465 | 32 | 38 | 37 | C | E | |
| 6A | 171 | 57 | 1716 | 657 | 74 | 12 | 11 | A | E | |
| 7ED | 904 | 57 | 1848 | 1053 | 14 | 32 | 26 | B | E | |
| 4ED | 109 | 27 | 1932 | 478 | 77 | 7 | 27 | B | E | |
| 5B | 42 | 27 | 1780 | 481 | 91 | 5 | 25 | B | E | |
| Kapacita levého odbočení ovlivněného protisměrem | | | | | | | | | | |
| Vjezd (signální skupina) | I_p [pvoz/h] | S_p [pvoz/h] | z_p [s] | C_{L1} [pvoz/h] | N_A [pvoz] | C_{L2} [pvoz/h] | S_L [pvoz/h] | z_o [s] | C_{L3} [pvoz/h] | C_L [pvoz/h] |
| 1E | 904 | 1848 | 57 | 351 | 3 | 108 | 1372 | 3 | 41 | 500 |
| 6A | 496 | 4148 | 60 | 549 | 3 | 108 | 1716 | 0 | 0 | 657 |
| 8C | 54 | 1932 | 27 | 371 | 4 | 144 | 1883 | 0 | 0 | 515 |
| 4D | 76 | 1721 | 27 | 370 | 3 | 108 | 1932 | 0 | 0 | 478 |

Příloha č. 5: Kapacitní posouzení světelně řízené křižovatky podle TP 235, rok 2020

| Název křižovatky: | | Brno, křiž. Hlinky/Bauerova | | | | | | | | |
|---|-------------------|-----------------------------|-------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|-------------------|--------------|----------------------|-------------------|
| Posuzovaný stav: | | 2020, 6:50 - 7:50 | | | Délka cyklu t_c [s] | | 100 | | | |
| Posouzení kapacity vjezdů, úroveň kvality dopravy | | | | | | | | | | |
| Vjezd (signální skupina) | I_V [pvoz/h] | z [s] | S_V [pvoz/h] | C_V [pvoz/h] | R_{ez} [%] | L_{F1} [m] | t_w [s] | ÚKD | | |
| | | | | | | | | dosažená | požadovaná | |
| 1E | 245 | 60 | 1372 | 381 | 36 | 16 | 19 | A | E | |
| 3AB | 387 | 60 | 1847 | 1108 | 65 | 13 | 10 | A | E | |
| 2C | 168 | 60 | 1853 | 1112 | 85 | 11 | 8 | A | E | |
| 8CA | 333 | 27 | 1883 | 513 | 35 | 20 | 35 | B | E | |
| 9D | 357 | 27 | 1721 | 465 | 23 | 43 | 42 | C | E | |
| 6A | 194 | 57 | 1716 | 616 | 69 | 14 | 11 | A | E | |
| 7FD | 1017 | 57 | 1848 | 1053 | 3 | 36 | 61 | E | E | |
| 4FD | 124 | 27 | 1932 | 475 | 74 | 8 | 27 | B | E | |
| 5B | 48 | 27 | 1780 | 481 | 90 | 6 | 25 | B | E | |
| Kapacita levého odbočení ovlivněného protisměrem | | | | | | | | | | |
| Vjezd (signální skupina) | I_p [pvoz/h] | S_p [pvoz/h] | z_p [s] | C_{L1} [pvoz/h] | N_A [pvoz] | C_{L2} [pvoz/h] | S_L [pvoz/h] | z_o [s] | C_{L3} [pvoz/h] | C_L [pvoz/h] |
| 1E | 1017 | 1848 | 57 | 227 | 3 | 108 | 1537 | 3 | 46 | 381 |
| 6A | 555 | 4148 | 60 | 508 | 3 | 108 | 1716 | 0 | 0 | 616 |
| 8C | 61 | 1990 | 27 | 369 | 4 | 144 | 2008 | 0 | 0 | 513 |
| 4D | 86 | 1835 | 27 | 367 | 3 | 108 | 1990 | 0 | 0 | 475 |



Obrázek 14: Schématické rozvržení křižovatky Hlinky/Bauerova

Seznam obrázků

| | |
|--|----|
| Obrázek 1: Křižovatka Hlinky/Bauerova. | 10 |
| Obrázek 2: Skutečný pohled na křižovatku Hlinky/Bauerova s přílehlou křižovatkou Hlinky/Hroznová. | 18 |
| Obrázek 3: Modelový pohled na křižovatku Hlinky/Bauerova s přílehlou křižovatkou Hlinky/Hroznová. | 19 |
| Obrázek 4: Pohled na přechody pro chodce na křižovatce Hlinky/Bauerova. | 20 |
| Obrázek 5: Autobusový záliv na ulici Hlinky. | 20 |
| Obrázek 6: Signalizační plán křižovatek Hlinky/Bauerova a Hlinky/Hroznová. | 21 |
| Obrázek 7: Dopravní zatížení. | 22 |
| Obrázek 8: Situace na křižovatce. | 26 |
| Obrázek 9: Znázornění nebezpečné situace vznikající v křižovatce Hlinky. | 26 |
| Obrázek 10: Reálné znázornění nebezpečné situace v křižovatce Hlinky/Bauerova | 27 |
| Obrázek 11: Podjíždějící vozidlo. | 27 |
| Obrázek 12: Vliv přechodu pro chodce na dopravu v křižovatce Hlinky/Bauerova | 28 |
| Obrázek 13: Upravená křižovatka Hlinky/Hroznová. | 37 |
| Obrázek 14: Schématické rozvržení křižovatky Hlinky/Bauerova. | 45 |

Seznam tabulek

| | |
|--|----|
| Tabulka 1: Jednotlivé časy zelených fází | 22 |
| Tabulka 2: Porovnání modelové a reálné rychlosti. | 24 |
| Tabulka 3: Průměrná zpoždění vymodelované křižovatky. | 25 |
| Tabulka 4: Koeficienty skladby dopravního proudu. | 29 |
| Tabulka 5: Úroveň kvality dopravy. | 30 |
| Tabulka 6: Hodnoty koeficientu sklonu. | 32 |
| Tabulka 7: Koeficienty vývoje intenzit dopravy pro skupinu lehkých vozidel. | 35 |

Seznam grafů

| | |
|--|----|
| Graf 1: Intenzita dopravy na ulici Hlinky. | 12 |
| Graf 2: Graf intenzity dopravy na ulici Bauerova. | 13 |
| Graf 3: Intenzita dopravy na Pisárecké ulici. | 14 |
| Graf 4: Intenzita dopravy na ulici Žabovřeská 15 | 15 |
| Graf 5: porovnání rychlosti vozidel | 24 |