



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA DOPRAVNÍ

Návrh dynamického způsobu řízení na křižovatce
Kunratická spojka - Vídeňská

Diplomová práce

2015 Přemysl Mucha

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří mi poskytli podklady pro vypracování této diplomové práce. Zvláště pak děkuji panu doc. Ing. Tomáši Tichému, Ph.D. za odborné vedení a konzultování diplomové práce a za rady, které mi poskytoval po celou dobu mého studia a dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Milanu Koukolovi, Ph.D. za konzultování diplomové práce a za umožnění přístupu k mnoha důležitým informacím a materiálům. V neposlední řadě je mou milou povinností poděkovat svým rodičům a blízkým za morální a materiální podporu, které se mi dostávalo po celou dobu studia.

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na ČVUT v Praze Fakultě dopravní.

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne

.....

Podpis autora

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

Návrh dynamického způsobu řízení na křižovatce Kunratická spojka - Vídeňská

Diplomová práce

2015

PŘEMYSL MUCHA

ABSTRAKT

Předmětem této diplomové práce „Návrh dynamického způsobu řízení na křižovatce Kunratická spojka - Vídeňská“ je analýza současného stavu křižovatky, vyhodnocení problémů v řešené lokalitě a návrh dynamického způsobu řízení, které by především mělo zvýšit bezpečnost, kapacitu a přehlednost křižovatky. Pro daný návrh byl vytvořen mikrosimulační model, který má především znázornit efektivní možnost využití softwaru při dopravní optimalizaci.

ABSTRACT

The subject of the Master thesis "The design of dynamic control at the intersection Kunratická spojka - Vídeňská" is to assess the current situation of the intersection, evaluate traffic difficulties in the location and design of dynamic control which should in particular improve road safety and capacity of the intersection. The microsimulation model was made for proposed dynamic control system and it should show an efficient possibility of usage microsimulations in traffic optimization.

Obsah

Seznam použitých zkratk	7
Úvod	8
1. Zásady řešení místních komunikací	9
1.1 Všeobecné zásady řešení místních komunikací	9
1.2 Bezpečnost provozu na místních komunikacích	9
2. Analýza současného stavu	10
2.1 Kunratice a okolí	10
2.2 Širší dopravní vztahy	11
2.3 Popis stávající situace	13
2.3.1 MHD	14
2.3.2 Zhodnocení stavebně – technického stavu křižovatky	16
2.4 Dopravní nehody	23
2.5 Dopravní průzkum	25
2.5.1 Stanovení ročního průměru denních intenzit	26
2.5.2 Stanovení intenzity dopravy špičkové hodiny	26
2.6 Výpočet a posouzení kapacity křižovatky	31
2.6.1 Úroveň kvality dopravy (ÚKD)	31
2.6.2 Stanovení délky fronty	32
2.7 Prognóza dopravy	35
3. Optimalizace provozu a řízení pomocí SSZ	36
3.1 Návrh úrovně křižovatky	36
3.1.1 Stupně usměrnění dopravy	36
3.1.2 Řadicí pruhy	37
3.1.3 Bezpečnost provozu při návrhu křižovatek pozemních komunikací	37
3.2 Řízení pomocí světelného signalizačního zařízení	37
3.2.1 Kritéria pro navrhování SSZ	37
3.2.2 Vliv zřízení SSZ na stavební uspořádání křižovatek	38
3.2.3 Návrh fází	38
3.2.4 Mezičasy	39
3.2.5 Metoda saturovaného toku (Websterova metoda)	39
3.2.6 Řízení dopravy	39
3.2.7 Přizpůsobování doby signálu volno	39
3.2.8 Vkládání fáze při výzvě	40
3.2.9 Zohlednění prostředků městské hromadné dopravy	40

3.3 Význam použití dynamického řízení na řešené křižovatce.....	42
3.4 Využití softwaru LISA+	43
3.5 Varianta 1.....	45
3.5.1 Stavební uspořádání	45
3.5.2 Fázové schéma	46
3.5.3 Sled fází	47
3.5.4 Tabulka mezičasů	47
3.5.5 Fázové přechody.....	48
3.5.6 Záložní signální plán	49
3.5.7 Kapacitní posouzení.....	50
3.6 Varianta 2.....	51
3.6.1 Stavební uspořádání	51
3.6.2 Fázové schéma	52
3.6.3 Sled fází	53
3.6.4 Tabulka mezičasů	53
3.6.5 Fázové přechody.....	54
3.6.6 Záložní signální plán	55
3.6.7 Detekce vozidel.....	56
3.6.8 Logické podmínky řízení.....	59
3.6.9 Využití programu PTV VISSIM	63
3.6.10 Výstupy simulace	67
3.6.11 Kapacitní posouzení.....	68
Závěr	70
Seznam použité literatury a zdrojů	72
Použitý software.....	73
Seznam příloh.....	74

Seznam použitých zkratek

ČR Česká republika

ČSN Česká státní norma

IAD Individuální automobilová doprava

MHD Městská hromadná doprava

OK Okružní křižovatka

RPDI Roční průměr denních intenzit

SDZ Svislé dopravní značení

SSZ Světelné signalizační zařízení

TP Technické podmínky

TSK Technická správa komunikací

ÚKD Úroveň kvality dopravy

VDZ Vodorovné dopravní značení

VO Veřejné osvětlení

voz Počet vozidel

Úvod

Tématem diplomové práce je návrh dynamického způsobu řízení na křižovatce Kunratická spojka – Vídeňská, čímž by mělo dojít k optimalizaci provozu na tomto dopravním uzlu. Optimalizací provozu je převážně myšlen návrh dopravních prvků, které zvyšují bezpečnost v řešeném místě. Provoz lze také optimalizovat návrhem opatření, která zapříčiní pokles vzniku kongescí v dané oblasti, respektive zvýší kapacitu křižovatky. Konkrétní lokalita byla vybrána, jelikož řešená křižovatka patří mezi vyhlášené problémové místo a z autorova úhlu pohledu je i velice neoblíbeným prvkem v této oblasti. Předkládaná diplomová práce se zpočátku zabývá zásadami řešení místních komunikací a dále popisem okolí a širších dopravních vazeb ovlivňujících řešené území. Následuje podrobný popis současného stavu, kde je rozebrán stavebně – technický stav křižovatky, vliv MHD a v neposlední řadě i nehodovost, která je značným ukazatelem ve spojitosti s bezpečností křižovatky. Následuje popis podrobně provedeného dopravního průzkumu, na který logicky navazuje kapitola s výpočtem kapacity a prognózy dopravy křižovatky a jejím zhodnocením. V následující kapitole je shrnuto řízení křižovatky pomocí světelného signalizačního zařízení a jmenovány základní principy návrhu řízení a možnosti přizpůsobování tohoto řízení aktuálnímu provozu a také je zde popsán význam použití dynamického řízení na řešené křižovatce. Samotná optimalizace provozu, která je provedena ve dvou variantách, je uvedena v dalších kapitolách práce. Řešení pomocí světelného signalizačního zařízení bylo zvoleno kvůli kritériu intenzity provozu, kritériu plynulosti jízdy vozidel městské hromadné dopravy a v neposlední řadě kvůli kritériu bezpečnosti provozu. První varianta, upřednostňuje zvýšení přehlednosti a bezpečnosti v řešeném místě a je navrhována pro splnění kapacity křižovatky, ovšem je brána především jako varianta úsporná. Druhý situační návrh křižovatky je bezesporu návrh velkorysejší a eliminuje některá další problémová místa. Pro druhý návrh byly vytvořeny mikrosimulační modely, které mají především znázornit efektivní možnost využití různých typů softwaru při dopravní optimalizaci. Hlavními zdroji pro vypracování řešení byly normy ČSN 73 6102, ČSN 73 6110 a také technické podmínky TP 234, TP 189, TP 235 a TP 81. Je nutné zdůraznit, že předkládaná diplomová práce se nezabývá územními záležitostmi, např. výkupem pozemků a také neřeší umístění inženýrských sítí. Navržená řešení a výpočty kapacit jsou koncepčním návrhem a nelze je považovat za určitou část projektové dokumentace ve stavebních činnostech. Závěrem práce je sumarizace jednotlivých řešení a také vyjádření autora, které upozorňuje na kladné a záporné stránky konkrétních návrhů.

1. Zásady řešení místních komunikací

1.1 Všeobecné zásady řešení místních komunikací

Účelem projektování místních komunikací je zajištění co největší bezpečnosti všech účastníků dopravy v obcích a vytvoření podmínek takových, aby prostor místní komunikace u funkčních skupin B, C, D plnil v obci funkci dopravní a obslužnou funkci ve vzájemné rovnováze a přiměřeně i funkci pohybovou a společenskou v závislosti na významu komunikace a prostoru obce. Funkční skupiny, typy příčného uspořádání místních komunikací a jejich návrhové prvky by měly odpovídat potřebám dopravní obsluhy v obci a intenzitě silniční dopravy.

Šířky jízdních pruhů téže komunikace v území zastavěném a v území nezastavěném nejsou v přímé souvislosti a nemusí být totožné a může být navržena i asymetricky.

1.2 Bezpečnost provozu na místních komunikacích

Zajištění co nejvyšší bezpečnosti provozu na všech komunikacích v obcích je jedním z hlavních principů, kterými se musí návrh řešení místní komunikace zabývat. V zájmu bezpečnosti se uplatňují taková opatření, která co nejvíce omezí možnost pohybu motorových vozidel rychlostí vyšší, než je rychlost dovolená. Bezpečnostní principy návrhu místních komunikací musí sledovat a respektovat zejména:

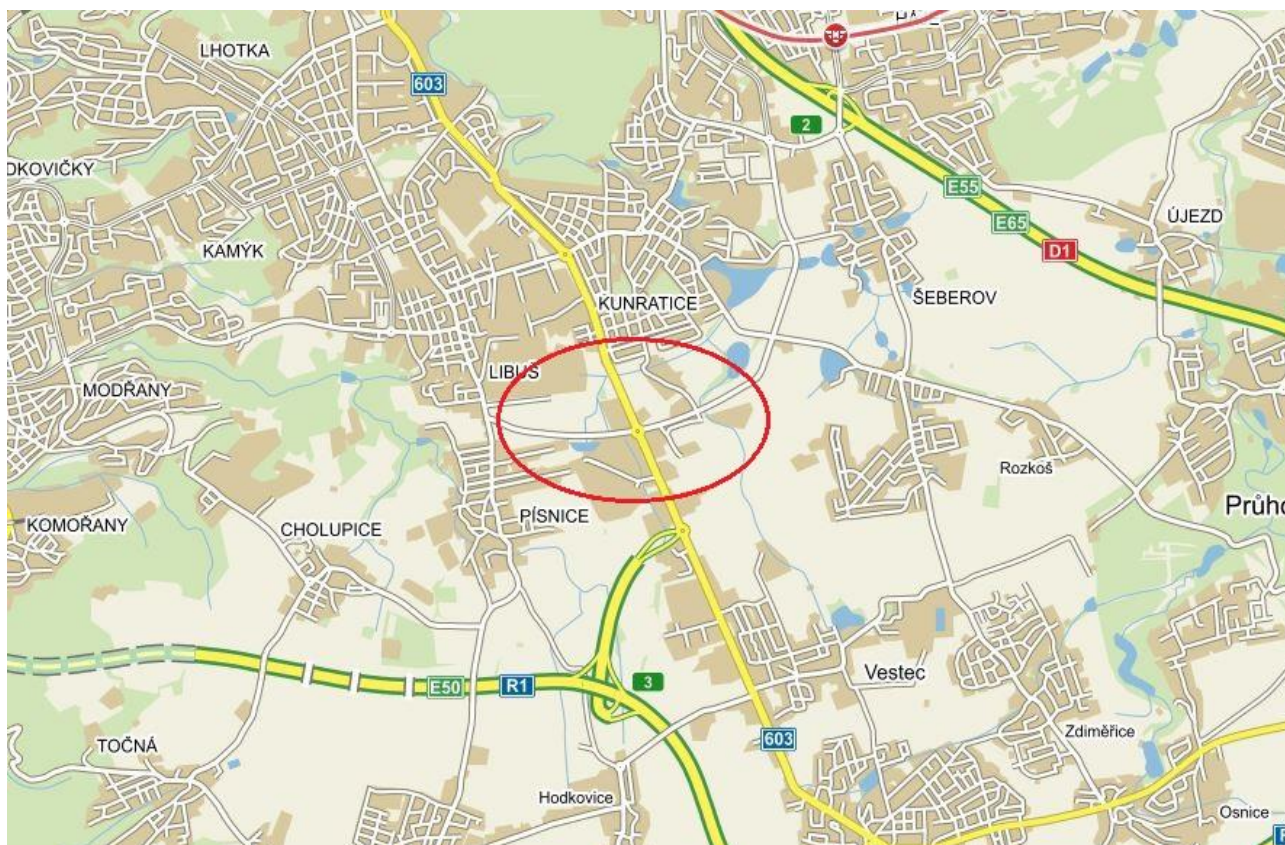
- srozumitelné, přehledné stavební uspořádání a jednoznačnou organizaci dopravy, bezbariérové uspořádání s ohledem na potřeby osob s omezenou schopností pohybu a orientace podle zvláštního předpisu,
- ochranu chodců zejména v prostoru křižovatek, přechodu pro chodce a v místech křížení s cyklistickým pruhem/pásem/stezkou,
- ochranu cyklistů,
- opatření pro regulaci rychlosti jízdy na vjezdu do obce, které řidiče upozorní na vjezd do obce a omezí možnost vjezdu rychlostí vyšší než 50 km/h,
- psychologickou jistotu uživatelů místních komunikací,
- volbu vhodného typu křižovatek, zejména uplatnění křižovatek okružních,
- fyzické směrové rozdělení komunikací vícepruhových i dvoupruhových v úsecích potenciálního nebezpečí celního střetu (křižovatky, oblouky, vysoká intenzita apod.),
- správné provedení a umístění svislého a vodorovného dopravního značení včetně dopravních značek informativních směrových.

[1]

2. Analýza současného stavu

2.1 Kunratice a okolí

Kunratice jsou městská čtvrť a katastrální území na jihovýchodním okraji hlavního města Prahy o rozloze 810 ha. Poprvé se Kunratice připomínají v roce 1287 jako Chunratitz, ves s tvrzí. Místní jméno Kunratice je odvozeno z osobního jména Kunrát a znamenalo „ves lidí Kunrátových“. První známý držitel Kunratic se jmenoval Bezděch a to bylo v dobách panování krále Václava II. V průběhu let 1918 – 1938 se obec neustále rozrůstala, většina obyvatel dojížděla za zaměstnáním do Prahy a tak zanikl původní zemědělský ráz obce. Okolí Kunratic, především Kunratický les a rybník Šeberák jsou dosud vyhledávaným výletním a rekreačním místem. Dne 25. 9. 1925 byla zahájena městská hromadná doprava na lince Praha-Kunratice a to pouze na samotný okraj obce. Dnem 1. ledna 1968 jsou Kunratice připojeny k Hlavnímu městu Praha a 24. listopadu 1990 se stávají městskou částí Praha-Kunratice. [18]

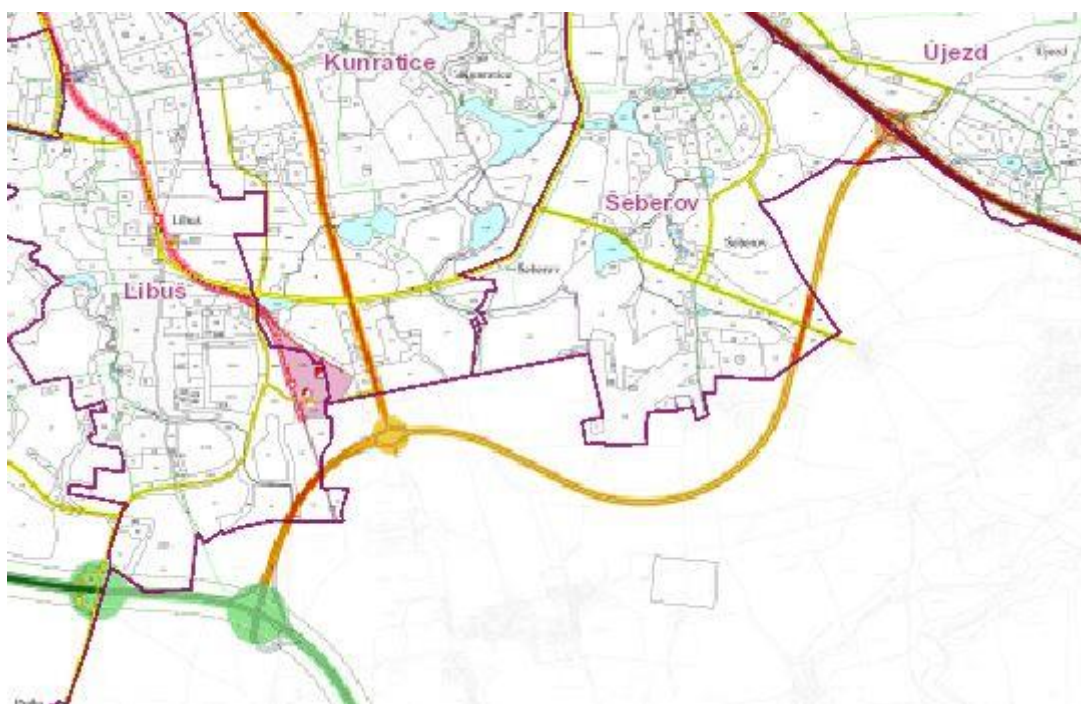


Obrázek 1 - Geografická poloha křižovatky a okolí [2]

2.2 Širší dopravní vztahy

Vídeňská ulice, dvouproudá komunikace vedoucí z Krče přes Kunratice směr Benešov, je obecně vnímána jako významné spojení mezi Jižní spojkou a Pražským okruhem. Okolí řešené křižovatky je ovlivněno velmi významnými dopravními tepnami kolem hlavního města, což je Pražský okruh a dálnice D1. V blízkosti Kunratic se nachází jižní část Pražského okruhu, konkrétně tedy stavby 514, 513 a 512, na kterých byl zahájen provoz v září 2010. Přímý vliv na okolí řešené křižovatky má tzv. MÚK Vestec (exit 3 Pražského okruhu), což je počátek plánované Vestecké spojky, které má dále pokračovat až k D1 (Obrázek 2)

Návrh Vestecké spojky dále pokračuje 1,6 km dlouhou částí, dokončenou současně s Pražským okruhem v roce 2010 (tzv. Vestecký přivaděč). V současnosti je komunikace provizorně ukončena okružní křižovatkou se silnicí II/603, tedy ulicí Vídeňská. Vestecká spojka je dále plánována mezi Hrnčíři a Vestcem, kde má být kvůli omezení hlukové zátěže lehce zahloubena do země. Vestecká spojka má pokračovat dále k mimoúrovňovému exitu do nové navazující komerční zóny Průhonice-západ až k dálnici D1, kde se napojí na kilometru 3,7 (exit 4). Význam Vestecké spojky narůstá po plánovaném zprovoznění dálnice D3, jelikož bude-li napojena dálnice na Pražský okruh, stane se Vestecká spojka alternativou dalšího pokračování směrem do centra města. [22]

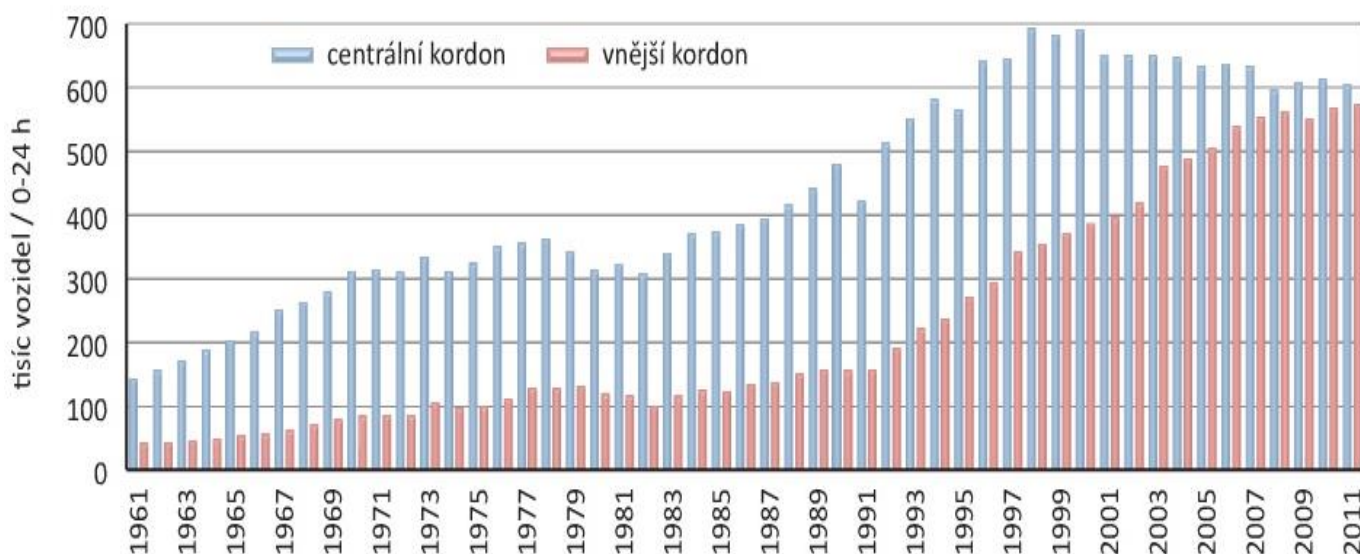


Obrázek 2 - Plánovaná trasa Vestecké spojky [22]

Proti Vestecké spojce se vyjádřila pražská část Křeslice, jež se domnívá, že stavba poškozuje životní prostředí. Nejvyšší správní soud potvrdil rozhodnutí Krajského soudu v Praze z roku 2013, který zrušil výstavbu Vestecká spojky v územním plánu. [23]

Samotná Vídeňská ulice by se podle původních plánů měla rozšířit na čtyři jízdní pruhy v úseku od Thomayerovy nemocnice až k hranicím Prahy. V podstatě by ještě umocnila svou funkci spojky Pražského a Městského okruhu. Nicméně dle ČTK k této variantě také nedojde, jelikož tak rozhodlo Pražské zastupitelstvo.

Problémem při současném provozu na stávajících křižovatkách pražské sítě pozemních komunikací je trvale rostoucí intenzita. Od roku 1990 v Praze došlo k výraznému nárůstu počtu osobních automobilů i počtu cest konaných během dne. Tento růst intenzit sice nepřevyšuje stanovené prognózy, ale v dnešní době existuje trend přesouvání dopravy z centrálních koridorů na koridory vnější, což je pro okrajové oblasti velice problémové. Současně s tím každodenně přijíždí do Prahy stále více vozidel z okolních obcí. Následkem těchto činností dochází k přenášení dopravních problémů i mimo centrální části města a kongesce se dnes objevují v místech, kde dříve nebyly a frekvence jejich výskytu je větší. Vývoj intenzit dopravy na centrálním a vnějším kordonu je znázorněn na Obrázku 3.



Obrázek 3. Vývoj intenzit dopravy na centrální a vnějším kordonu [3]

V městské části Praha 4 se dále nabízí úvaha o pozitivním vlivu plánovaných tras MHD. V tramvajové dopravě se uvažuje o prodloužení tramvajového spojení mezi Spořilovem a Jižním městem či trasa mezi stanicí Pankrác a Budějovická. Nepopiratelný vliv bude mít i plánovaná trasa metra D, která vede skrze Prahu 4. Obyvatelé této městské části si slibují, že sníží automobilové intenzity, což by mělo i pozitivní vliv na řešenou křižovatku Kunratická spojka Vídeňská. Obecně lze tento pozitivní vliv metra na pokles intenzit IAD potvrdit, nicméně bez důkladných analýz, prognóz a modelů vývoje dopravy je tento argument spíše spekulativní.

2.3 Popis stávající situace

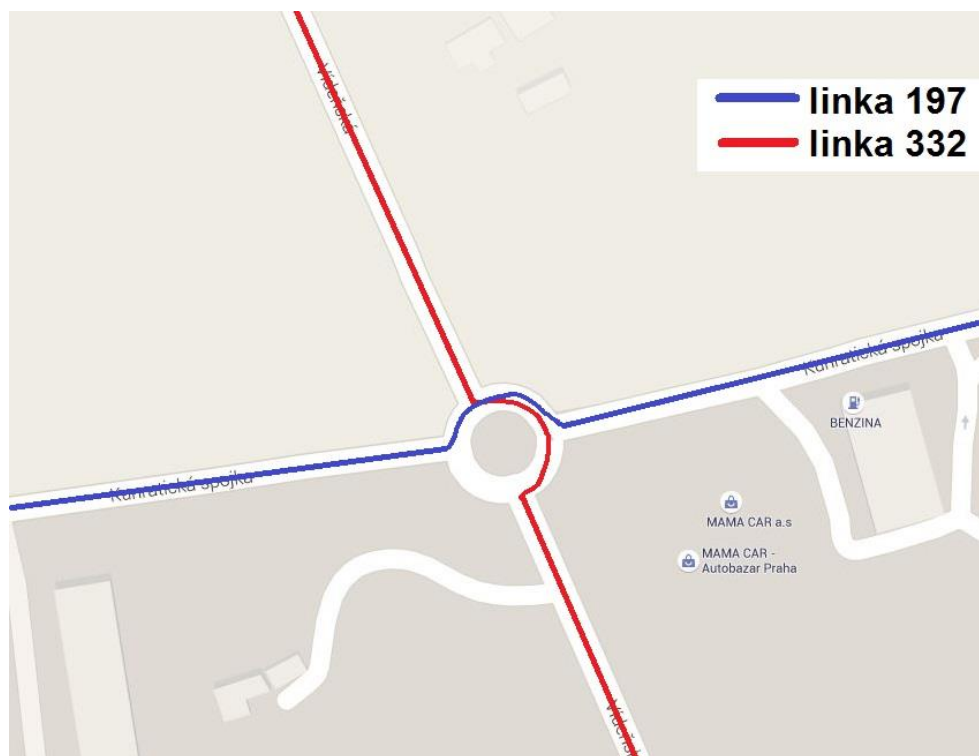
Řešená křižovatka se nachází v jižní části Kunratic. Jedná se o okružní křižovatku se čtyřmi rameny (viz obrázek 4). Ramena tvoří ulice Vídeňská a Kunratická spojka. Ulice Vídeňská, dvouproudá komunikace vedoucí z Krče přes Kunratice směr Benešov, je významné spojení mezi Jižní spojkou a Pražským okruhem. Kunratická spojka je také dvouproudá komunikace, která spojuje Chodov a Libuš (Písniči). Prochází prakticky mimo zástavbu a slouží především jako obchvat městské části Kunratice.



Obrázek 4 - Geografická poloha řešené křižovatky [2]

2.3.1 MHD

Zadanou křižovatkou projíždí 2 linky MHD. Linka 332 je regionálního charakteru jedoucí ze zastávky Praha, Budějovická do Jílové u Prahy, respektive do konečné zastávky Krhanice, Prosečnice. Většího městského významu se dostává lince 197, která obsluhuje území mezi zastávkami Háje a Smíchovské nádraží. Trasy linek v řešené lokalitě jsou znázorněny na obrázku 5.



Obrázek 5 - Trasy linek MHD [2]

Intervaly jednotlivých linek jsou znázorněny v tabulce 1., kde je také evidentní závislost intervalu linky 197 na denní době. Linka 332, která je regionálního charakteru si zachovává podobný interval nezávisle na dni v týdnu. Za sedlo považujeme období cca mezi 9. – 14. hodinou a večerní provoz, který začíná zhruba od 19. hodiny, špička existuje ranní (cca 6. – 9. h) a odpolední (cca 14. – 19. h). Nočním provozem se rozumí časové období od půlnoci do 5. hodiny ranní.

linka	sedlo [min]	špička [min]	víkend-den [min]	noc [min]
197	13 - 20	8-15	15	–
332	20 - 40	10 - 20	20 - 40	–

Tabulka 1 - Intervaly MHD [4]



Obrázek 6 - Linka 332 v prostoru řešené křižovatky

V blízkosti, od řešené křižovatky, se východně nachází zastávka linky 197 „U Studánky“ (Obrázek 7). Tato zastávka je využívána vzhledem k malé atraktivitě okolí velice zřídka a je tedy klasifikována jako zastávka na znamení. Drtivá většina autobusů linky 197 touto zastávkou jen projíždí a je tedy patrné, že poptávka cestujících po vystoupení je téměř nulová.

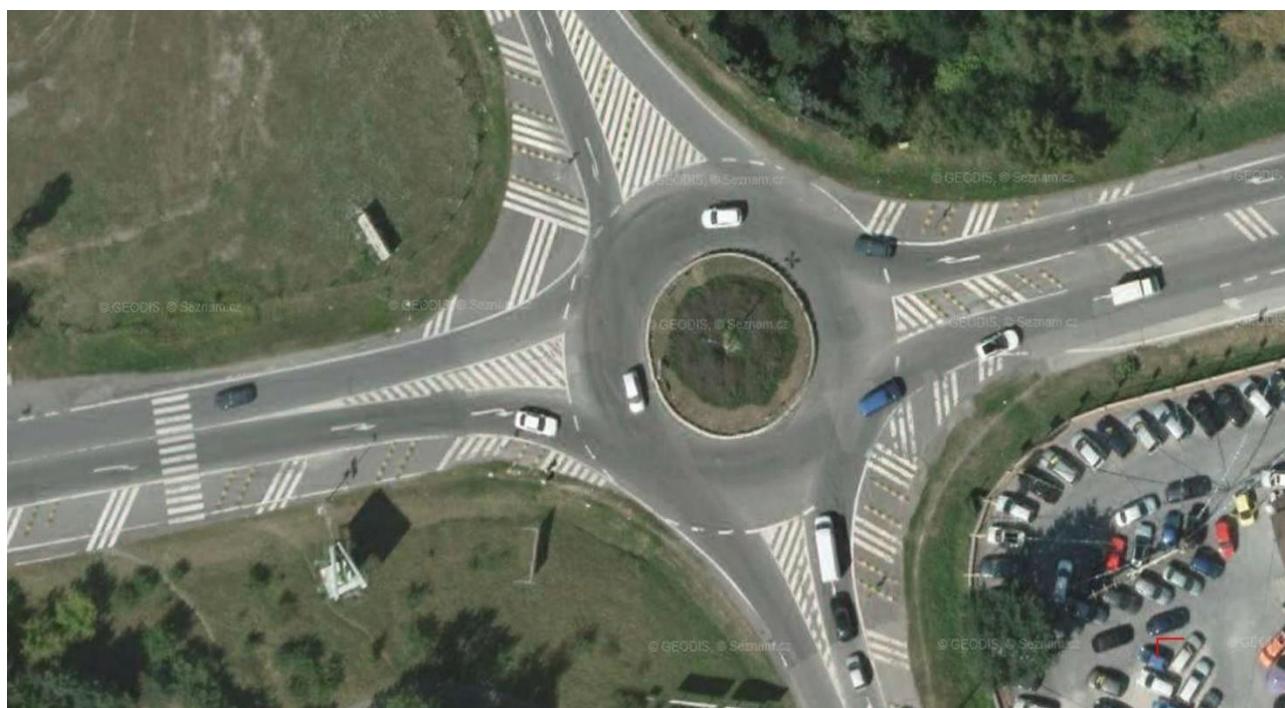


Obrázek 7 - Umístění zastávky „U Studánky“ [2]

2.3.2 Zhodnocení stavebně – technického stavu křižovatky

Situaci je nutno především posuzovat s ohledem na vysoké intenzity vozidel, jelikož je kapacitně nevyhovující, což pochopitelně snižuje i bezpečnost a přehlednost křižovatky. V řešeném místě jsou dominantní především přímé směry v obou ulicích, které dohromady tvoří většinu z celkové křižovatkové intenzity. Dopravním průzkum a přesné určení dopravního zatížení na křižovatce je rozebráno v kapitole 2.5.

Okružní křižovatka vyniká především svým šířkovým uspořádáním, které je velmi rozsáhlé (viz obrázek 8 a 9). Původně byla křižovatka průsečná, čímž můžeme zdůvodnit nadměrné zpevněné plochy mimo aktuálně využívané jízdní pruhy. V blízkosti křižovatky se nenachází obytná zástavba. Velký vliv na okolí má přilehlý autobazar, nacházející se v prostoru mezi jižním a východním ramenem křižovatky a také na něj navazující benzinová pumpa.



Obrázek 8 - Satelitní snímek řešené křižovatky [2]



Obrázek 9 - Nadměrné nepojížděné zpevněné plochy

Průměr okružní křižovatky je 38 m, z čehož 18,5 m je průměr středního ostrůvku, který je tvořen „city bloky“, tedy prefabrikovanými betonovými bloky, a bez pojížděného dlážděného prstence (Obrázek 10). Volba city bloků je obecně považována za nevhodnou, jelikož by se středový ostrov neměl vybavovat pevnými překážkami, kvůli následkům případných nehod při přehlednutí okružní křižovatky či nepřiměřeném způsobu jízdy na křižovatce. Kromě zvýšeného nebezpečí, použité „city bloky“ působí velice neesteticky a lacině.



Obrázek 10 - Provedení středového ostrova

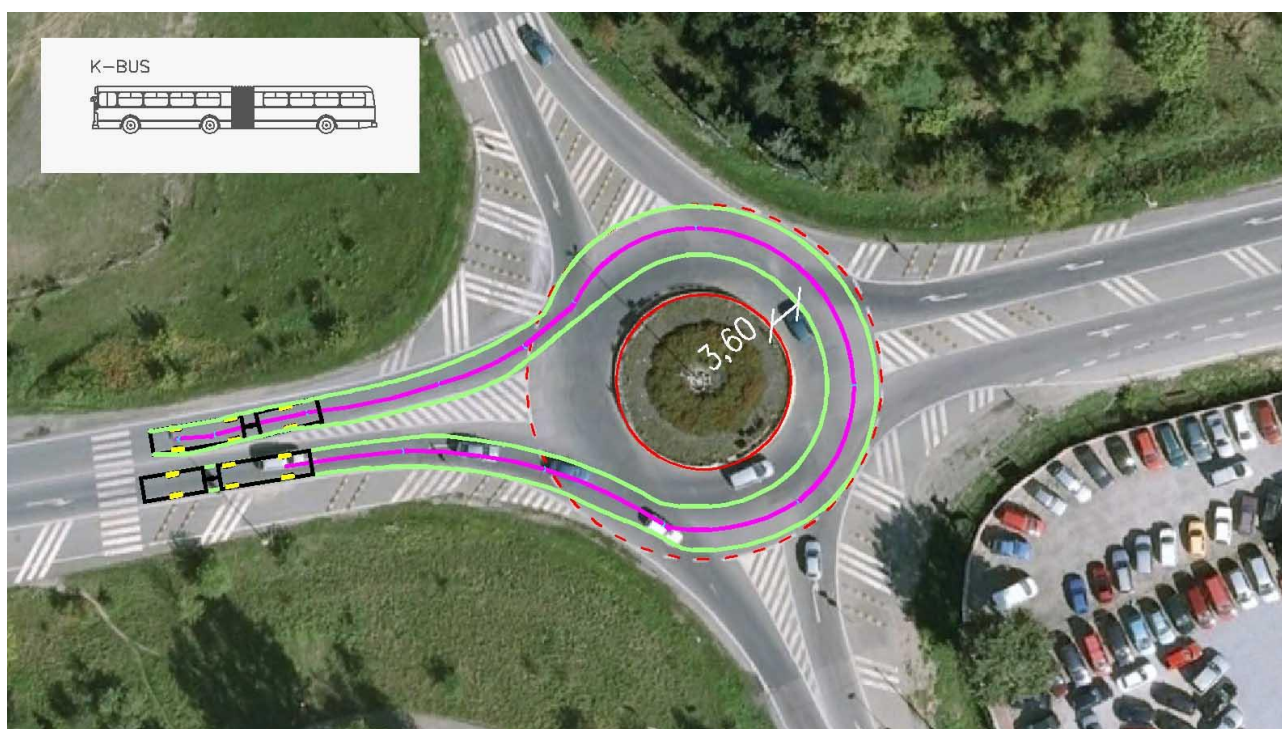
Šířka okružního pásu řešené křižovatky, která je na první dojem předimenzována, by měla dle správného návrhu vycházet z vnějšího průměru křižovatky. Čím je průměr větší, tím menší rozšíření v oblouku potřebujeme a tím by měla být šířka okružního pásu menší (Tabulka 3).

[m]	D	26	28	30	32	35	40	45
	šířka okr.pásu	8,00	7,50	7,00	6,75	6,50	6,00	5,75

Tabulka 2 - Závislost šířky okružního pásu na průměru křižovatky

[8]

Obecně totiž platí, že čím větší zvolíme šířku okružního pásu, tím vyšší bude rychlost řidičů projíždějících touto křižovatkou. Na Obrázku 11 jsou znázorněny vlečné křivky průjezdu kloubového autobusu. Je patrné, že šířka okružního pásu je více než o 3 m větší, než tento kloubový autobus využije k průjezdu okružní křižovatkou.



Obrázek 11 - Vlečné křivky kloubového autobusu [21]

Jak již bylo zmíněno dříve, okružní křižovatka byla vytvořena z původní průsečné křižovatky. Tato transformace byla provedena bez jakýchkoliv stavebních úprav a veškerá „kanalizace dopravy“, tedy usměrnění dopravních proudů do jednoznačně vymezených trajektorií, byla provedena pomocí vodorovného dopravního značení. V křižovatce je absence směrových ostrůvků, které jsou nahrazeny vodorovným dopravním značením, které působí extrémním dojmem a celkově

křižovatka, kvůli nevyužití směrových či dělicích ostrůvků, působí velice nepřehledně, neesteticky a především nesrozumitelně, což popírá obecné zásady kvalitního návrhu okružní křižovky. Dopravní stíny, které nahrazují směrové ostrůvky, jsou kvůli zamezení pojezdění vozidly doplněny fyzickými překážkami, které v tomto případě jsou zastoupeny příčnými prahy náhodně rozmístěnými v dopravním stínu (Obrázek 12 a 13).



Obrázek 12 - Příčné prahy umístěné v křižovatce



Obrázek 13 - Příčné prahy umístěné v dopravním stínu

Další a neméně podstatnou vadou v aktuální stavu řešené okružní křižovatky je tangenciální průjezd v přímém směru ulice Vídeňská, konkrétně ze severní do jižní části (Obrázek 14). Mezi rizika tangenciálního průjezdu patří snadné přehlédnutí křižovatky řidičem, a tedy i povinnost dát přednost vozidlům na okruhu, což značně snižuje bezpečnost křižovatky. Při návrhu okružní křižovatky je nutno usilovat o co nejvíce kolmé připojení vjezdových i výjezdových větví, spojených se správnou volbou průměru OK a šířky okružního pásu tak, aby řidič byl veden k výrazné změně směru jízdy a bezpečnému, pomalejšímu průjezdu.



Obrázek 14 - Tangenciální průjezd křižovatkou

Na samotném povrchu komunikace, který je asfaltový, se nachází spousta příčných nesrovnalostí (Obrázek 15), které zneprůjemňují řidičům jízdu a také kvůli kterým dochází v křižovatce k nepředvídatelným manévřům ve snaze vyhnout se těmto povrchovým chybám. Kromě častých výtluků a trhlin (Obrázek 16), které jsou v blízkosti křižovatky, snižují kvalitu vozovky i nedobře provedené opravy, které byly většinou řešeny „záplatou“ a byly provedeny pravděpodobně z rozdílného materiálu či za nepříznivých podmínek, jelikož velké množství těchto oprav se již blíží ke katastrofálnímu stavu (Obrázek 17).



Obrázek 16 - Výtluk v blízkosti řešené křižovatky



Obrázek 15 – Trhlina v povrchu vozovky



Obrázek 17 - Výtluk v opravené části původní závady

V současné situaci se v blízkosti křižovatky nacházejí 2 přechody pro chodce, které ovšem jsou minimálně využívány. Přechod v severní části je naprosto zbytečný, jelikož nenavazuje ani z jedné strany na pěší komunikaci či obytnou zástavbu (Obrázek 19). Historicky se v blízkosti přechodu nacházel obytný dům, který je ovšem nyní v dezolátním stavu a neobydlený (Obrázek 18), tedy důvod umístění přechodu pro chodce v této části křižovatky zůstává nejasný. Přechod pro chodce v západním rameni křižovatky je opodstatněný přílehlou autobusovou zastávkou, nicméně je nevhodně umístěn a nejenže v jižní části nenavazuje na pěší komunikaci, ale po jeho přejití je chodec odkázán na průchod strmým příkopem, což je velice nebezpečné (Obrázek 20). Přílehlými budovami jsou pouze „Autolakovna Bakr“ a soukromý objekt, který má ovšem příjezdovou cestu z jižního ramene křižovatky.



Obrázek 19 – Přechod v severní části ramene křižovatky



Obrázek 18 – obytná zástavba navazující na přechod v severní části křižovatky



Obrázek 20 - Napojení na přechod v západním rameni křižovatky

Při celkovém posouzení křižovatky, je nutno posuzovat i kontrast křižovatky s okolím, jelikož včasná postřehnutelnost a srozumitelnost jsou nezákladnější, i když často opomíjené, zásady kvalitně navrhnuté a realizované okružní křižovatky. Když posoudíme okolí v přímé blízkosti křižovatky, tak je zřejmé, že je zde velké zastoupení reklamních sloupů a billboardů. V blízkosti se nacházející autobazar a benzinová pumpa svádějí pozornost řidiče reklamním sdělením, přičemž pumpa je ve stejném barevném provedení jako svislé dopravní značení typu Z3. Tento vzájemný kontrast, který je patrný z Obrázku 21, snižuje postřehnutelnost křižovatky, a tedy zvyšuje riziko dopravních konfliktů. Když se k tomu přidá nebezpečně řešený středový ostrov, můžeme křižovatku vyhodnotit jako velice rizikovou.

V České republice je stále vyžadována tzv. „bezúdržbovost“ a nefunkční či neestetické provedení ostrůvků na řadě okružních křižovatek tomuto trendu odpovídá. Aktuální stav řešené křižovatky Kunratická spojka - Vídeňská tento trend bohužel jen potvrzuje a celkově křižovatka působí dojmem narychlo vymyšlené, dočasné varianty, jejíž dočasnost již trvá několik let a tato situace se stala neoblíbenou součástí životů křižovatkou projíždějících řidičů.



Obrázek 21 - Kontrast křižovatky s okolím

2.4 Dopravní nehody

Primární úkolem při optimalizaci křižovatky je dopravní nehodovost analyzovat. Nejedná se pouze o vyhodnocení samotných kolizí, ale je zapotřebí brát v potaz veškeré důvody, kvůli kterým dochází k dopravním konfliktům. Při zvýšeném počtu těchto rizik, které se pochopitelně dříve nebo později projeví i v počtu autonehod, je zapotřebí přistoupit k návrhu opatření, která zvyšují bezpečnost provozu na křižovatce. Pro řešenou lokalitu se podařilo získat od Policejního prezidia ČR statistiky nehod v letech 2007 – 2014 (tabulka 3). Je nutné ovšem upozornit na skutečnost, že na výši počtu evidovaných nehod má vliv ustanovení zákona čísla 361/2000 Sb. o provozu na pozemních komunikacích a jeho následných novelizací, podle nichž se několikrát měnila povinnost nahlašovat Policii ČR pouze ty dopravní nehody bez zranění a bez poškození majetku třetí osoby, při nichž došlo ke hmotné škodě převyšující částky:

- do konce roku 2000: 1 000 Kč
- od ledna 2001: 20 000 Kč
- od července 2006: 50 000 Kč
- od ledna 2009: 100 000 Kč

Rok	Počet nehod	Vozidlo chodec	Mokro	Bus MHD	Zranění	Nepřim. rychlost	Nedání předn.	Způsob jízdy	Dopr. znač	Odb . vl.	Ned. vzd
					LZ						
2007	14	0	3	0	1	1	7	3	6	0	1
2008	12	0	4	0	1	2	5	6	6	0	1
2009	6	0	1	0	0	0	4	1	2	0	2
2010	4	0	1	0	1	0	4	0	4	0	0
2011	4	0	1	0	0	0	2	2	2	0	1
2012	7	0	1	0	0	0	2	5	2	0	3
2013	3	0	0	0	1	0	2	1	1	0	0
2014	8	0	1	0	0	0	8	0	8	0	0

Tabulka 3 - Statistika dopravních nehod [5]

Z tabulky vyplývá, že v letech 2007 – 2014 došlo na křižovatce k 58 dopravním nehodám. I když je okružní křižovatka, a tedy i její principy přednosti v jízdě, v moderní době české veřejnosti dobře známa, dle statistiky dopravních nehod vyplývá, že drtivá většina nehod byla způsobena nedáním přednosti. Ovlivňující faktorem může být již dříve zmíněný tangenciální průjezd ze severní do jižní části křižovatky. Neméně podstatným problémem, který ovlivňuje přehlednost a tedy i samo vysvětlující funkci křižovatky, je kontrast křižovatky s okolím, který je popsán v kapitole 2.3.2. Dalším problémem je nepřehledné dopravní značení, které figuruje v 31 dopravních nehodách. Vodorovné dopravní značení má ve správném provedení pomáhat pohyby v křižovatce sjednotit a zpřehlednit, což lze ovšem jen stěží konstatovat o současném stavu VDZ. Zajímavým zjištěním je, že v křižovatce došlo pouze ke třem dopravním nehodám, způsobených nepřiměřenou rychlostí. Tento fakt je jistě ovlivněn špatným povrchem křižovatky a sníženou rychlostí s důsledku častých kongescí. Nedostačující kapacita křižovatky (kapitola 2.6) velmi ovlivňuje, kromě plynulosti provozu, i jeho celkovou bezpečnost, jelikož, jak můžeme vidět na obrázku 13, velké množství nehod se stalo již v jízdnicích před vjezdem na okružní křižovatku, z čeho 8 bylo vyhodnoceno jako nehoda způsobená nedodržením vzdálenosti. Samotný povrch komunikace, jehož nedostatky jsou popsány v kapitole 2.3.2, hraje důležitou roli i ve 12. nehodách, které se staly za mokra.

Důsledkem těchto nehod byla, kromě újmy na majetku, zranění, kterých je dohromady čtyři, ale naštěstí jsou všechna lehkého typu. Na obrázku 22 jsou graficky znázorněna místa jednotlivých nehod.



Obrázek 22 - Dopravní nehody na křižovatce Kunratická spojka - Vídeňská [6]

2.5 Dopravní průzkum

Pro optimalizaci provozu na křižovatce je nutné zjistit dopravní zatížení, ze kterého vyplývají veškeré optimalizační návrhy a prognózy. Intenzita dopravy na pozemní komunikaci se zjišťuje buď s využitím výsledku předchozího dopravního průzkumu, jenž se přepočítává a upravuje pro potřebnou oblast či období, nebo se provádí a vyhodnocuje vlastní dopravní průzkum. Způsob, metoda a zvolená doba průzkumu závisí na účelu, pro který mají být získaná data využita, a také na požadované přesnosti výsledků daného průzkumu.

Možné způsoby průzkumu:

- ruční - výhodou je operativnost a možnost přesnějšího rozlišení druhu vozidel, nevýhodou je skutečnost, že přesnost je ovlivněna lidským faktorem a také obtíže při vysokých intenzitách dopravy. Je obtížně použitelný pro dlouhodobé průzkumy (více jak několik hodin). Ruční průzkum se provádí náležitě poučenou a způsobilou osobou, která zaznamenává projíždějící vozidla do předem připraveného formuláře nebo do technického zařízení.
- průzkum pomocí technických zařízení - je vhodný pro dlouhodobější průzkumy (několik dnů), přesnost je závislá na kvalitě technického zařízení a jeho instalaci, nevýhodou je nutnost instalace technického zařízení. K průzkumu pomocí technických zařízení jsou nejčastěji využívány:
 - detektory zabudované nebo připevněné k vozovce – hadice, indukční smyčky,
 - radarové a infračervené detektory – umístěné v blízkosti vozovky (některé typy umožňují zaznamenat i intenzitu cyklistické a pěší dopravy),
 - videodetekce – pořízení záznamu a analýza provozu systémy pro automatické vyhodnocení obrazu.
- kombinovaný (například videozáznam provozu s následným ručním vyhodnocením).

Intenzita dopravy se obvykle sleduje oddělené po směrech a v časovém rozlišení alespoň po hodinách.

2.5.1 Stanovení ročního průměru denních intenzit

Roční průměr denních intenzit dopravy je aritmetický průměr denních intenzit dopravy všech dní v roce. Stanovení odhadu ročního průměru denních intenzit se provádí přepočtem intenzity dopravy získané během průzkumu pomocí přepočtových koeficientu, které zohledňují denní, týdenní a roční variace intenzit dopravy.

Stanovení odhadu hodnoty RPDI z výsledku krátkodobého průzkumu se provede:

$$RPDI = I_m \cdot k_{m,d} \cdot k_{d,t} \cdot k_{t,RPDI}$$

kde:

I_m intenzita dopravy daného druhu vozidla zjištěná v době průzkumu [voz/doba průzkumu]

$k_{m,d}$ přepočtový koeficient intenzity dopravy v době průzkumu na denní intenzitu dopravy dne průzkumu (zohlednění denních variací intenzit dopravy),

$k_{d,t}$ přepočtový koeficient denní intenzity dopravy dne průzkumu na týdenní průměr denních intenzit dopravy (zohlednění týdenních variací intenzit dopravy),

$k_{t,RPDI}$ přepočtový koeficient týdenního průměru denních intenzit dopravy na roční průměr denních intenzit dopravy (zohlednění ročních variací intenzit dopravy).

Přesnost odhadu takto stanovené hodnoty RPDI se zjistí:

$$\delta = 0,95 \cdot \left(\frac{I_m}{RPDI} \cdot 100 \right)^{-0,60}$$

kde:

δ odchylka odhadu ročního průměru denních intenzit dopravy [%]

I_m intenzita dopravy v době průzkumu [voz/doba průzkumu]

RPDI odhad ročního průměru denních intenzit dopravy [voz/den]

2.5.2 Stanovení intenzity dopravy špičkové hodiny

Pokud jsou k dispozici údaje získané dopravním průzkumem v běžný pracovní den ve špičkovém období, pak se odhad intenzity dopravy špičkové hodiny určí jako maximální hodinová intenzita za dobu průzkumu.

Dále se může intenzita špičkové dopravy určit podle ročního průměru denních intenzit:

$$I_{sh} = RPDI \cdot k_{RPDI,sh}$$

kde:

I_{sh} intenzita dopravy špičkové hodiny v běžný pracovní den [voz/h]

RPDI roční průměr denních intenzit dopravy [voz/den]

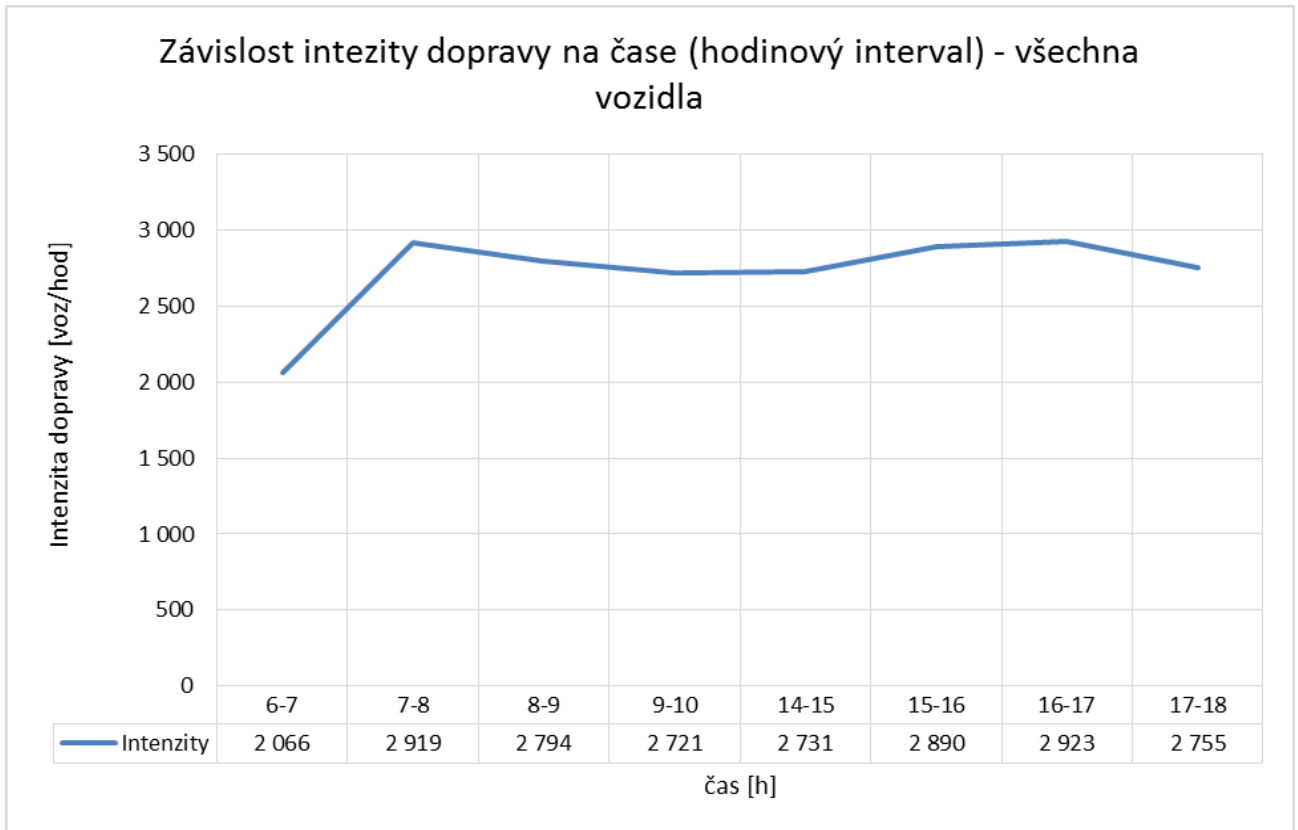
$k_{RPDI,sh}$ přepočtový koeficient ročního průměru denních intenzit dopravy na špičkovou hodinovou intenzitu dopravy

[7]

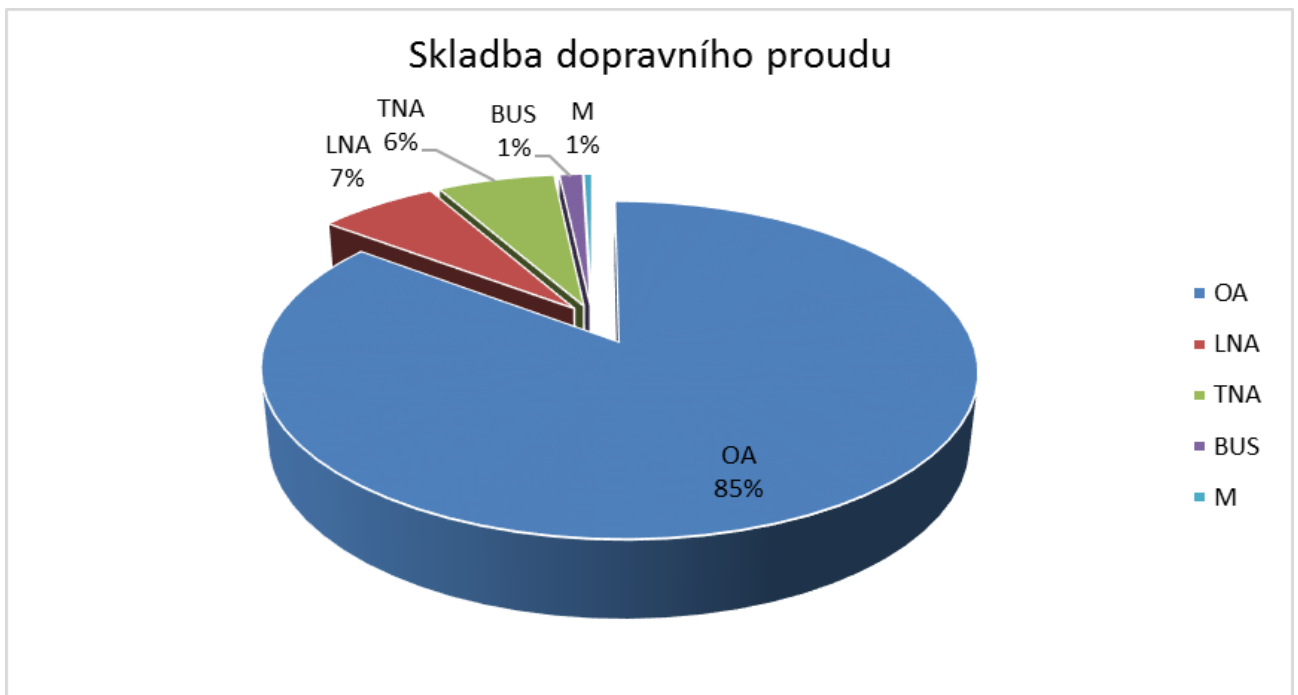
Pro stanovení intenzit na řešené křižovatce Kunratická spojka - Vídeňská, byl proveden průzkum ve čtvrtek 10. 10. 2013 v celkové délce trvání 8 hodin (6-10 h a 14-18 h). Výsledné hodnoty, včetně přepočtových koeficientů jsou znázorněny v tabulce 4. Na obrázku 23 můžeme vidět vývoj intenzit v závislosti na čase. V daném průzkumu byly zkoumány i směry odbočení v jednotlivých ramenech křižovatky a podle těchto dat byl zhotoven zátěžový diagram intenzit, který odpovídá ročnímu průměru denních intenzit dopravy (obrázek 26). Dále byla tato data vyhodnocena na hodnoty vyjadřující intenzity špičkové hodiny, která byla určena jako maximální hodinová intenzita za dobu průzkumu. Intenzity špičkové hodiny jsou taktéž znázorněny v zátěžovém diagramu intenzit (obrázek 25).

Intenzita dopravy za dobu průzkumu běžného pracovního dne	$I_m[\text{voz/doba}]$	21805
Přepočtový koeficient denních variací intenzit dopravy	$k_{m,d}[-]$	1,780
Denní intenzita dopravy (ve dni průzkumu)	$I_d[\text{voz/den}]$	38 813
Přepočtový koeficient týdenních variací intenzit dopravy	$k_{d,t}[-]$	0,904
Týdenní průměr denních intenzit dopravy	$I_t[\text{voz/den}]$	35 087
Přepočtový koeficient ročních variací intenzit dopravy	$k_{t,RPDI}[-]$	0,965
Roční průměr denních intenzit dopravy	RPDI[voz/den]	33 860
Odhad přesnosti určení RPDI	$\delta [\%]$	7,8
Přepočtový koeficient pro výpočet špičkové hodiny	$k_{RPDI,sh}[-]$	0,1
Intenzita špičkové hodiny (výpočet)	$I_{sh}[\text{voz/h}]$	3386
Intenzita špičkové hodiny (dle průzkumu)	$I_{sh}[\text{voz/h}]$	2923

Tabulka 4. Stanovené intenzity dopravy dle TP 189



Obrázek 23 - Závislost intezity dopravy na čase v hodinových intervalech pro všechna vozidla v oblasti

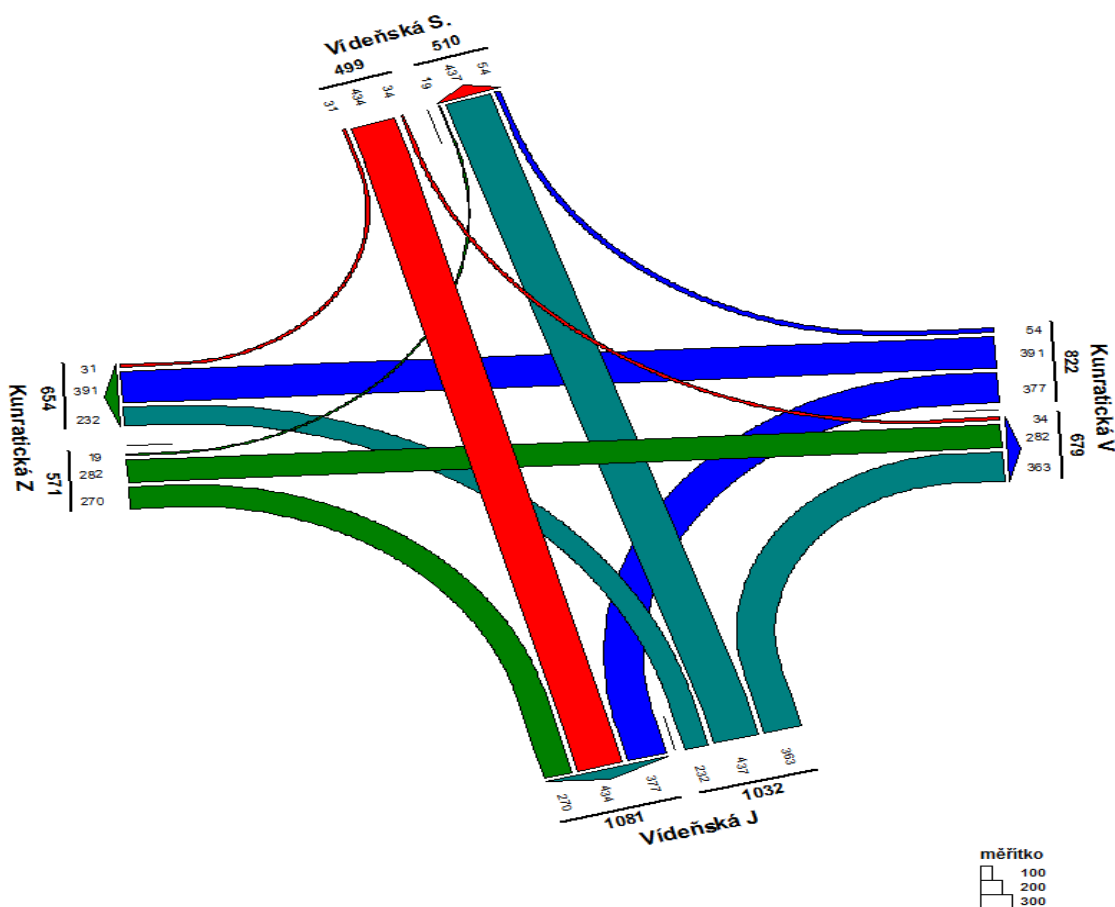


Obrázek 24 - Skladba dopravního proudu

Dle naměřených dat zobrazených na Obrázku 23 můžeme usoudit, že z pohledu intenzit je křižovatka zatížena v závislosti na čase relativně bez větší výkyvů. Největší intenzity byly naměřeny v typicky špičkovém období, tedy v době mezi 7 a 8 hodinou ránní a poté v intervalu mezi 16 a 17 hodinou. Na Obrázku 24, jsou jednotlivé dopravní proudy znázorněny následovně:

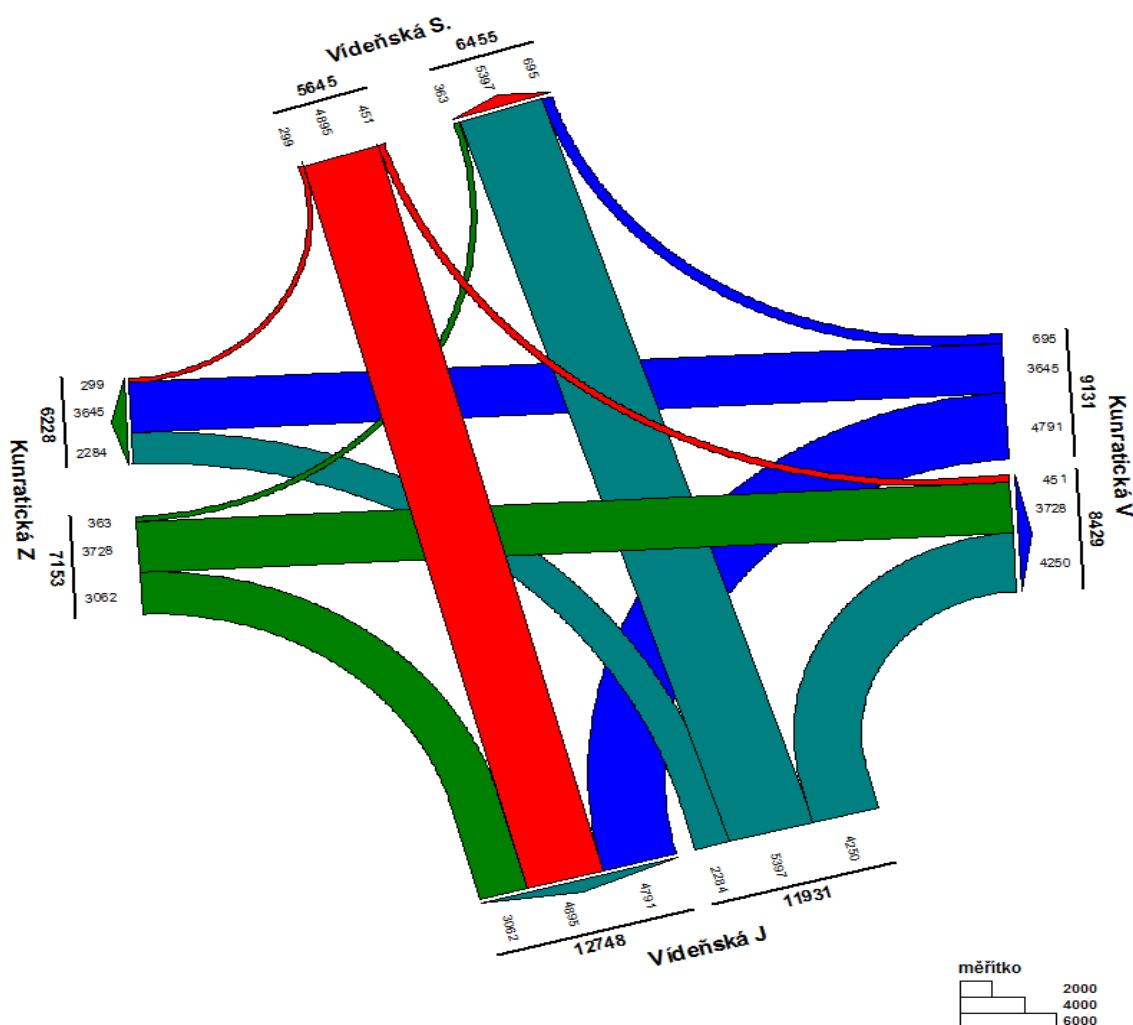
- OA osobní automobily
- LNA Lehká nákladní vozidla
- TNA Těžká nákladní vozidla
- BUS Autobusy
- M Motocykly + cyklisté

Tato data nám dovolují konstatovat, že skladba dopravního proudu je převážně tvořena osobními automobily, které zastupují 85% celkového počtu vozidel. Nákladní vozidla tvoří 13% a autobusy jsou zastoupeny pouhým 1% z celkové dopravy, kde značnou část mají místem projíždějící autobusy MHD (kapitola 2.3.1). Ještě je nezbytné zmínit, že v průběhu průzkumu intenzit dopravy na křižovatce Kunratická spojka Vídeňská, byli zaznamenáni pouze 4 chodci přecházející přes komunikaci.



Obrázek 25 – Zátěžový diagram intenzit – špičková hodina

0-24



Obrázek 26 – Zátěžový diagram intenzit 0-24 h

Na obrázku 25 a 26 jsou zobrazeny intenzity vozidel dle jednotlivých křižovatkových pohybů a to pro špičkovou hodinu (Obrázek 25) a také pro vypočtené celodenní intenzity (Obrázek 26). Je patrné, že dominantními jsou přímé směry v obou ulicích, které dohromady tvoří více než 52% z celkové křižovatkové intenzity. Vídeňská je v přímých směrech v porovnání s Kunratickou spojkou více zatížená (58% Vídeňská, 42% Kunratická spojka). Zbylé křižovatkové pohyby jsou nejvíce zastoupeny v silném levém odbočení z východní části Kunratické spojky nebo pravé odbočení z jižní části Vídeňské ulice na Kunratickou spojkou.

2.6 Výpočet a posouzení kapacity křižovatky

Výpočet a posouzení kapacity současného stavu křižovatky byl proveden dle TP 234 [9]. Výsledné vyhodnocení kapacity se hodnotí dle úrovně kvality dopravy (ÚKD) na a stupně vytížení a_v .

2.6.1 Úroveň kvality dopravy (ÚKD)

Pro posouzení úrovně kvality dopravy je hlavním kritériem ztrátový čas vyjádřený střední dobou zdržení jednotlivých podřazených proudů. Pro stanovení závěrů kapacitního posouzení křižovatky je nutné ověřit, zda pro intenzitu dopravního proudu I_n není překročena hodnota střední doby zdržení t_w podle následující podmínky:

$$t_w^n \leq t_w$$

kde:

t_w^n střední doba zdržení vozidel v dopravním proudu n (vjezd)

t_w nejvyšší přípustná střední doba zdržení vozidel dle požadovaného stupně úrovně kvality dopravy (vjezd)

Úroveň kvality dopravy		Střední doba zdržení [s]
Označení	Charakteristika doby zdržení	
A	Doba zdržení velmi malá	≤ 10
B	Zdržení ještě bez front	≤ 20
C	Ojediné krátké fronty	≤ 30
D	Stabilní stav s vysokými ztrátami	≤ 45
E	Nestabilní stav	> 45
F	Překročená kapacita	stupeň vytížení (a_v) > 1

Tabulka 5. Limitní hodnoty střední doby zdržení [9]

Podle ČSN 73 6102 [12] se pro křižovatky na místních komunikacích a veřejně přístupných účelových komunikacích požaduje stupeň E, tedy stupeň, při které se tvoří fronta, která se při existujícím zatížení již nesnižuje. Charakteristická je u tohoto stupně citlivá závislost, kdy malé změny zatížení vyvolávají prudký nárůst ztrát.

2.6.2 Stanovení délky fronty

Délka fronty se dimenzuje na 95% pravděpodobnost uvažované délky fronty. Znamená to, že v 95% času během špičkové hodiny je fronta kratší než udává hodnota $N_{95\%}$, ve zbývajících 5% času se připouští fronta vozidel delší. Délka fronty $N_{95\%}$, se určuje na základě stupně vytížení a_v a hodnoty kapacity C_n . Stupeň vytížení je dán následujícím vztahem:

$$a_v = \frac{I_n}{C_n}$$

kde:

a_v stupeň vytížení

I_n návrhová intenzita dopravního proudu n (vjezd) [pvoz/h],

C_n kapacita pruhu dopravního proudu n (vjezd) [pvoz/h].

Délka fronty $N_{95\%}$ je dána vztahem:

$$N_{95\%} = \frac{3}{2} C_n \left(a_v - 1 + \sqrt{(1 - a_v)^2 + 3,0 \frac{8 \cdot a_v}{C_n}} \right)$$

kde:

$N_{95\%}$ délka fronty [m],

a_v stupeň vytížení,

C_n kapacita pruhu dopravního proudu n [pvoz/h].

[9]

Výpočet a posouzení kapacity okružní křižovatky jsou stěžejním údaje pro optimalizaci provozu, jelikož z těchto údajů můžeme vyčíst například, které proudy mají největší zdržení, a tedy nejvíce přispívají negativnímu stavu křižovatky. Pro celkové hodnocení křižovatky výsledným stupněm UKD je rozhodující nejméně příznivé hodnocení s nejvyšší střední dobou zdržení, tedy pokud vyjde pro jakýkoliv proud v křižovatce stupeň úrovně kvality dopravy F , znamená to, že kapacita křižovatky je překročena.

Pro řešenou křižovatku byly vyhodnoceny stavy kapacity na vjezdech a výjezdech. Situace se dle výpočtu, založeném na pravidlech stanovených v TP 234, jeví pozitivně na výjezdech, kde kapacitně splňuje požadavky, což je především způsobeno velkými poloměry na výjezdech, což zvyšuje celkovou kapacitu výjezdu. Problematická situace nastává u vjezdů, kde i při měření dopravního průřezu bylo zjevné, že křižovatka na vjezdech kapacitně nevyhovuje. Výsledné kapacitní vyhodnocení stávajícího stavu křižovatky je zobrazeno v tabulce 6 a 7.

Kapacita výjezdu						
Papřsek	Název komunikace	I_e	I_{ch}	C_e	a_v	kapacita výjezdu vyhovuje
		[pvoz/h]	[pvoz/h]	[pvoz/h]	[-]	
		19	20	21	22	23
1	Kunratická západ	677	0	1200	0.56	ANO
2	Vídeňská jih	1081	0	1475	0.73	ANO
3	Kunratická východ	679	0	1200	0.57	ANO
4	Vídeňská sever	510	0	1475	0.35	ANO

Tabulka 6 - posouzení kapacity OK na výjezdech [19]

kde:

I_e intenzita dopravy na výjezdu [pvoz/h],

I_{ch} intenzita chodců na výjezdu [ch/h],

C_e kapacita výjezdu [pvoz/h].

a_v stupeň vytížení.

Kapacita vjezdu									
Papřsek	Název komunikace	I_k	I_i	C_i	Rez	t_w	a_v	$N_{95\%}$	UKD
		[pvoz/h]	[pvoz/h]	[pvoz/h]	[pvoz/h]	[s]	[-]	[m]	[-]
		11	12	13	14	15	16	17	18
1	Kunratická západ	845	571	582	11	92	0.98	159	E
2	Vídeňská jih	335	1052	1093	41	53	0.96	181	E
3	Kunratická východ	708	822	694	-128	359	1.18	469	
4	Vídeňská sever	1020	502	515	13	94	0.97	143	E

Tabulka 7 - posouzení kapacity OK na vjezdech [19]

kde:

I_k intenzita dopravy na okruhu [pvoz/h],

I_i intenzita chodců na vjezdu [ch/h],

C_i kapacita vjezdu [pvoz/h].

Rez rezerva kapacity [pvoz/h].

t_w střední doba zdržení [s].

a_v stupeň vytížení.

$N_{95\%}$ délka fronty n_y vjezdu [pvoz/h].

UKD úroveň kvality dopravy

Z tabulek tedy lze usoudit, že okružní křižovatka kapacitně nevyhovuje, jelikož na vjezdech je překročen stupeň vytížení v rameni Kunratická spojka – východ a u ostatních ramen jsou výsledky vždy velice blízko hraniční hodnotě $a_v = 1$, která s rostoucím trendem počtu vozidel na dopravních komunikacích by zcela jistě byla překročena. Prognózou dopravy se zabývá následující kapitola 2.7.

Obecně je křižovatka vnímána jako kapacitně nevyhovující, jelikož dochází ke značným kongescím, kde délka fronty může ve špičce dosahovat stovek metrů. Celkový nevyhovující stav je patrný i z obrázku 27.



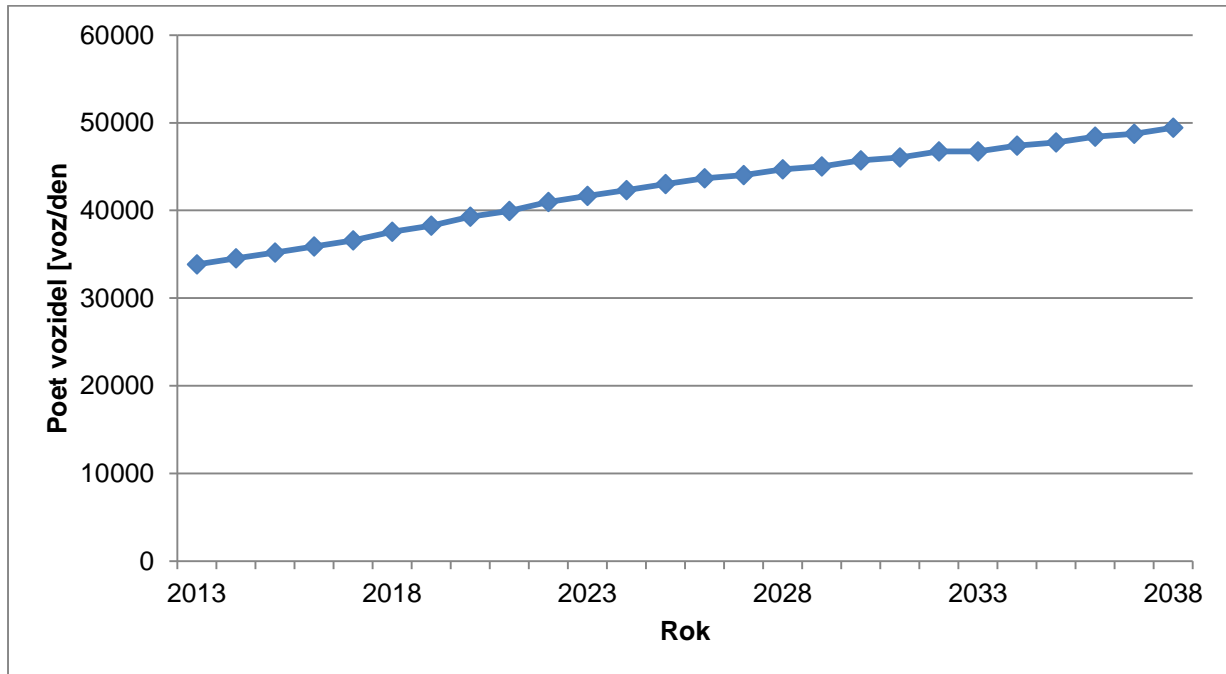
Obrázek 27 - Fotografie znázorňující délku front a nevyhovující kapacitu stávajícího stavu křižovatky [2].

2.7 Prognóza dopravy

Pro řešenou křižovatku byla podle TP 225 [11] provedena prognóza intenzit automobilové dopravy (tabulka 8). Výchozím prvkem prognózy je roční průměr denních intenzit v roce 2013 (kapitola 2.5) a výhledovým rokem je rok 2033. Křižovatka byla pro výpočet zařazena do kategorie silnice II + III třídy. Dále byl vypracován názorný graf výhledové intenzity dopravy (obrázek 28).

Výchozí rok:	2013	
Výhledový rok:	2033	
Typ komunikace:	silnice II. + III. třídy	
Výchozí intenzita dopravy	I_0 [voz/den]	33860
Koeficient vývoje intenzit dopravy pro výchozí rok	k_0 [-]	1,04
Koeficient vývoje intenzit dopravy pro výhledový rok	k_v [-]	1,44
Koeficient prognózy intenzit dopravy v roce 2033	k_p [-]	1,38
Výhledová intenzita dopravy pro rok 2033	I_v [voz/den]	46727

Tabulka 8 - Prognóza intenzit automobilové dopravy [11]



Obrázek 28 - - Graf prognózy intenzit automobilové dopravy [11]

3. Optimalizace provozu a řízení pomocí SSZ

3.1 Návrh úrovně křižovatky

Návrh úrovně křižovatek místních komunikací se řídí těmito podmínkami:

- paprsky křižovatky se navrhují v souladu s ČSN 73 6110,
- na místních komunikacích se musí respektovat tyto dopravní charakteristiky:
 - nejvyšší dovolená rychlost v obcích je omezena zvláštním předpisem na 50 km/h. Tomuto omezení odpovídají návrhové rychlosti podle ČSN 73 6110. V určitých oblastech může být dopravním značením upraveno plošné zklidnění silniční dopravy a její omezení na dovolenou rychlost 30 km/h případně nižší nebo naopak zvýšení na 70 km/h.
- možné výrazné kolísání intenzit dopravy v průběhu dne, zejména na vysoce dopravně zatížených místních komunikacích,
- převažující počet osobních automobilů v dopravním proudu,
- přítomnost chodců a zabezpečení jejich bezpečnosti.

3.1.1 Stupně usměrnění dopravy

Při návrhu úrovně křižovatky na místních komunikacích se uplatňují tato pravidla:

- navržená křižovatka musí umožnit převedení dopravních proudů přes křižovatku ve výhledových intenzitách v požadované úrovni kvality dopravy,
- zvolení typu a stupně usměrnění křižovatky je podmíněno funkční skupinou křižujících se místních komunikací a jejich dopravním významem,
- řešení křižovatky musí umožnit bezpečný přechod chodců v potřebných místech
- usměrnění dopravy dopravním značením a dopravními ostrůvky má zajistit bezpečný, organizovaný a plynulý průjezd křižovatkou,
- návrhové prvky se přizpůsobí charakteristikám dopravních proudů na místních komunikacích a možnostem místních podmínek,
- ke zvýšení dopravního výkonu křižovatek a organizaci dopravy se použije řízení provozu světelnou signalizací a příslušné systémy dopravní telematiky podle zvláštních předpisů,
- zajištění plynulého a případně přednostního průjezdu křižovatek pro vozidla veřejné hromadné dopravy.

3.1.2 Řadicí pruhy

Řadicí pruhy nazýváme jízdni pruhy paprsků křižovatky a případné pruhy ve funkční oblasti křižovatky místních komunikací. Celkový počet pruhů závisí na:

- počtu jízdni pruhů jednotlivých paprsků křižovatky na vjezdu,
- požadované kapacity křižovatky a bezpečnosti.

Počet řadicích pruhů pro přímý směr, odbočení vpravo a vlevo se navrhuje podle výhledových intenzit křižovatkových dopravních proudů a požadované úrovně kvality dopravy na křižovatce. Na dvoupruhových místních komunikacích s dovolenou rychlostí do 50km/h a intenzitě vlevo odbočujících vozidel do třiceti vozidel za hodinu je možné zajistit podmínky pro nerušený přímý průjezd křižovatkou rozšířením jízdni pruhu na minimálně 5,0 m. Obdobné uspořádání lze navrhnout pro odbočení vpravo v jízdni pruhu, který přiléhá k paprsku křižovatky, do kterého odbočuje.

3.1.3 Bezpečnost provozu při návrhu křižovatek pozemních komunikací

Při návrhu křižovatky je nutné zajistit zejména včasnou postřehnutelnost křižovatky, přehlednost jednotlivých ploch a zařízení křižovatky, srozumitelnost, technickou možnost průjezdu paprsky, psychologickou jednoznačnost a preferenci silnějších dopravních proudů. Předvídatelnost křižovatky lze zvýšit vhodným umístěním svíslého dopravní značení, vhodnou úpravou okolí, případně vhodným osvětlením v zastavěném území.

[12]

3.2 Řízení pomocí světelného signalizačního zařízení

3.2.1 Kritéria pro navrhování SSZ

SSZ jsou zpravidla zřizována ke zvýšení bezpečnosti provozu na pozemních komunikacích nebo ke zlepšení plynulosti provozu. Jelikož zájmy jednotlivých účastníků provozu na pozemních komunikacích jsou protichůdné, nelze všem, i když oprávněným, požadavkům jednotlivých účastníků vyhovět současně.

Účelnost řízení křižovatky SSZ je zapotřebí prokázat splněním alespoň jednoho z následujících kritérií:

- kritérium bezpečnosti provozu,
- kritérium intenzity provozu z hlediska vozidel,
- kritérium intenzity provozu z hlediska chodců,
- kritérium plynulosti jízdy vozidel městské hromadné dopravy.

Tvorba SSZ je vhodná na základě vysoké míry nehodovosti. Na řešené křižovatce lze těmto nehodovým situacím v určité míře předejít řešením uvedeným ve variantě 1. Aplikací SSZ ovšem

dosáhneme markantnějšího snížení situací, vedoucích k omezení, případně ohrožení účastníků provozu. Dále je účelné zřízovat SSZ, jestliže neřízená křižovatka podle výpočtu dle TP 189 nebo okružní křižovatka dle TP 234 kapacitně nevyhoví.

3.2.2 Vliv zřízení SSZ na stavební uspořádání křižovatek

Průběh provozu na křižovatce a stavební uspořádání křižovatky spolu úzce souvisejí a navzájem se ovlivňují. Návrh stavební uspořádání křižovatky a výpočet signálního plánu je tedy nutné posuzovat a provádět souběžně, přičemž je zapotřebí brát v úvahu oprávněné nároky všech účastníků provozu na pozemních komunikacích. Rozdíl ve stavebním uspořádání světelně řízené a neřízené křižovatky spočívá zejména v tom, že při světelném řízení je snahou umístit stopčáry co nejvíce ke středu křižovatky, aby mezičasy byly co nejkratší a tím se zvýšila i kapacita křižovatky. Prostorové uspořádání řízené křižovatky je tedy stísněnější než u křižovatky neřízené.

Počet jízdních pruhů na ramenech křižovatky se řídí intenzitou individuální automobilové dopravy, hromadné dopravy osob, požadavky chodců i cyklistů a velikostí plochy, která je k dispozici. Řadicí pruhy musí být jednoznačně a v dostatečné délce vyznačeny svíslými a vodorovnými dopravními značkami, které musí vyhovovat ustanovení zákona č. 361/2000 Sb., o provozu na pozemních komunikacích, obecným technickým požadavkům, podmínkám a normám, ČSN EN 12899-1, ČSN EN 1436, TP 65, TP 133 a TP 169.

3.2.3 Návrh fází

Pod pojmem fáze se rozumí časový interval, v němž mají současně volno určité, zpravidla vzájemně nekolizní dopravní pohyby na křižovatce. Při dopravním řešení SSZ je nutné stanovit tzv. fázové schéma, tj. přiřazení dopravních pohybů jednotlivým fázím a nejvýhodnější pořadí fází. Návrh schématu fází vychází z intenzit jednotlivých druhů dopravy, je ovlivněn prostorovými možnostmi i uspořádáním křižovatek a pravidly provozu na pozemních komunikacích. Při návrhu fází se rozlišují kolizní, bezkolizní a podmíněné kolizní dopravní pohyby. Počet fází vyplývá z rozdělení fází, tj. z rozhodnutí o rozčlenění dopravních pohybů na křižovatce.

Pořadí fází při řízení křižovatky může být ovlivněno různými hledisky:

- určité fáze musí probíhat za sebou, aby na sebe plynule navazovaly signály volno, které jsou v těchto fázích,
- určité dopravní směry musí následovat po sobě, aby na křižovatce nevznikalo zdržení z důvodu nakupení vozidel,
- pořadí fází může ovlivnit požadovaný sled dob signálů volno pro chodce nebo cyklisty, aby tito mohli přejít dělený přechod plynule.

3.2.4 Mezičasy

Mezičas je časový interval od konce signálu volno signální skupiny po začátek signálu volno kolizní signální skupiny. V této době musí poslední vozidlo, projíždějící v končící době signálu volno, bezpečně opustit kolizní plochu dříve, než první vozidlo jedoucí v době signálu volno v kolizním směru této plochy dosáhne. Kolizní dopravní pohyby jsou vzájemné pohyby vozidel nebo vozidel a chodců, které se střetávají, kříží, nebo připojují. Podmíněné kolizní dopravní pohyby jsou takové, které nejsou řešeny SSZ, ale platí pro ně i při řízení SSZ příslušná pravidla provozu na pozemních komunikacích. Správné určení mezičasů má zásadní význam pro bezpečnost při řízení provozu světelnými signály a je proto nutné věnovat jejich stanovení maximální pozornost.

3.2.5 Metoda saturovaného toku (Websterova metoda)

Principem metody saturovaného toku je stanovení délky cyklu a signálů volno v závislosti na stupních saturace vjezdů v jednotlivých fázích. Saturovaný tok je nejvyšší počet vozidel, která mohou projet profilem stopčáry za jednotku času při ideálních dopravních podmínkách. Saturovaný tok závisí především na šířce vjezdu, podélném sklonu, poloměru oblouku a podílu odbočujících vozidel. Základním výpočtovým obdobím pro návrh signálního plánu i pro kapacitní posouzení je vždy jedna hodina.

3.2.6 Řízení dopravy

Způsoby řízení dopravy SSZ dělíme na:

- řízení pevné,
- řízení dynamické.

Principem pevného řízení je neměnné řízení v daném časovém období. To předpokládá relativně ustálenou intenzitu provozu pouze s dlouhodobými změnami, jelikož není reagováno na krátkodobé výkyvy intenzit provozu. Principem dynamického řízení je přizpůsobování se provozu tak, že i krátkodobé výkyvy intenzity provozu jsou brány v potaz a ovlivňují řízení.

Prvky obou způsobů řízení lze kombinovat.

3.2.7 Přizpůsobování doby signálu volno

Pro modifikaci doby signálu volno existují postupy lišící se především v kritériích, jimiž je běžná doba signálu volno zkrácena:

- ve prospěch jiného dopravního proudu
- ve prospěch (zkrácení) délky cyklu

nebo prodloužena :

- na úkor jiného dopravního proudu
- na úkor délky cyklu

Přizpůsobování doby signálu volno je efektivní vyhodnocovat např. pomocí měření časové mezery. Měření časové mezery je jednou ze základních měřicích metod, při které se na detektoru měří časová mezera odstupů po sobě následujících vozidel v daném dopravním proudu. Časové mezery tedy efektivně vystihují odstupy za sebou jedoucích vozidel.

3.2.8 Vkládání fáze při výzvě

U tohoto způsobu je na výzvu vsunuta do daného sledu fází jiná fáze tak, aby bylo možné projetí málo se vyskytujícím dopravním proudům (např. odbočení vlevo, vozidla MHD, cyklisté, chodci). Pokud není fáze poptávána, může být její čas, který je k dispozici, využit pro ostatní účastníky provozu ve významnějších dopravních proudech. Doba volna u vložené fáze je buď pevně stanovena, nebo je měněna v závislosti na dopravě. Přítomnost vozidel je registrována detektory.

3.2.9 Zohlednění prostředků městské hromadné dopravy

Hromadná přeprava osob má zásadní význam pro funkčnost měst. Požaduje se spolehlivá, pravidelná, dostupná, bezpečná a rychlá. Právě proto je důležité, aby byly její ztrátové časy na světelně řízených křižovatkách minimální. Toho lze docílit:

- řízením vhodným pevným signální plánem
- dynamickým řízením s preferencí MHD

Preference MHD světelnou signalizací je chápáno jako přímé ovlivňování vozidla MHD v jejich prospěch, tzn. přednostní volby a prodlužování signálu volno vozidla MHD podle jejich aktuálních nároků tak, aby tato vozidla mohla projet křižovatkou s minimální zdržením. Preferování prostředků městské dopravy se týká způsobů umožňující dopravně závislé změny průběhu signálních plánů, probíhající řádově v sekundových krocích podle aktuálních nároků vozidel MHD:

- prodlužování vlastní fáze - Pokud v okamžiku nároku vozidla MHD právě probíhá vlastní fáze se signálem volno pro vozidlo MHD, prodlouží se tato fáze o čas potřebný k jízdě vozidla MHD od místa přihlášení ke stopčáře. Vozidlo ovšem musí být schopno projet stopčárou v době menší, než je maximální možné prodloužení fáze.
- zkracování vlastní fáze a před-výběr jiné fáze - Pokud v okamžiku nároku vozidla MHD právě probíhá vlastní fáze se signálem volno pro vozidlo MHD, avšak vozidlo se přihlásí v takovém okamžiku, kdy není schopné projet stopčárou před maximální možným prodloužením, ukončí se probíhající fáze co nejdříve a následuje výběr jiné fáze (kolizní pro MHD) tak, aby po výběru této fáze mohla nastat co nejdříve fáze vlastní se signálem pro vozidlo MHD.
- zkracování jiné fáze - V okamžiku nároku vozidla MHD probíhá jiná (kolizní) fáze, ukončí se tato fáze co nejdříve, respektive v optimálním okamžiku.

- změna pořadí fáze - Vozidlo MHD při nároku změní pořadí fází tak, aby požadovaná fáze byla zařazena do signálního plánu v optimální době nebo co nejdříve, čímž se změní pravidelný sled fází.

V žádné z možností ovšem nesmí dojít ke zbytečnému zdržování ostatních účastníků provozu na pozemních komunikacích.

Na rozdíl od vozidel IAD, které se v intravilánu obvykle pohybují v dopravních proudech s charakterem hromadného jevu, pohyb vozidel MHD je charakteru spíše izolovaných náhodných jevů s individuálními jízdními charakteristikami. Tato skutečnost je podstatou důvodu preference MHD. Nutnou podmínkou pro možnost preference je včasná a spolehlivá detekce vozidel MHD, jejich přihlašování a odhlašování. Podmínkou účinné preference je zjištění nároků s potřebným časovým předstihem, tak aby řadič stačil vhodně zareagovat. Proto je žádoucí umisťovat detektory sloužící k přihlášení ve větších vzdálenostech před stopčárou (150 m až 300 m). Odhlašovací detektory je žádoucí umisťovat v těsné blízkosti stopčáry, aby se po průjezdu čela vozidla stopčárou případné prodlužování signálu volno neprodleně ukončilo a ostatní účastníci provozu nebyli zdržováni déle, než je nezbytně nutné. K evidenci vozidel MHD se např. užívají:

- datové indukční smyčky,
- vysílací a přijímací systémy s infračervenými majáčky a s přenosem informací k řadiči SSZ pomocí kabelu nebo radiového přenosu
- vysílací a přijímací systémy založené na systému autonomního zjišťování polohy vozidla MHD pomocí satelitů.

[13]

3.3 Význam použití dynamického řízení na řešené křižovatce

V předchozí kapitole bylo shrnuto řízení křižovatky pomocí světelného signalizačního zařízení a jmenovány základní principy návrhu řízení a možnosti přizpůsobování tohoto řízení aktuálnímu provozu na daném dopravním uzlu. V následující kapitole je popsán význam použití dynamického řízení na křižovatce Kunratická spojka – Vídeňská.

Z pohledu příjezdu vozidel ze severního a jižního ramene, tedy směry ve Vídeňské ulici, je třeba hlídat především stav délky fronty a co nejvíce přizpůsobovat signální plán plynulému provozu autobusů MHD, jelikož využívají tuto trasu (kapitola 2.3.1). Místům, kterým je nutno věnovat zvláštní pozornost při řízení provozu jsou velmi silné přímé směry a také levé odbočení z jižního ramene (Vídeňská ulice) do západního ramene křižovatky (Kunratická spojka), jelikož při větším výskytu vozidel volících toto odbočení může dojít k celkovému zdržení i přímého směru, což by značně ovlivnilo délku fronty v jižním rameni křižovatky. Pro dosažení co nejlepší úrovně kvality dopravy je tedy potřeba efektivně vyhodnocovat délku a celkový čas trvání kongesce.

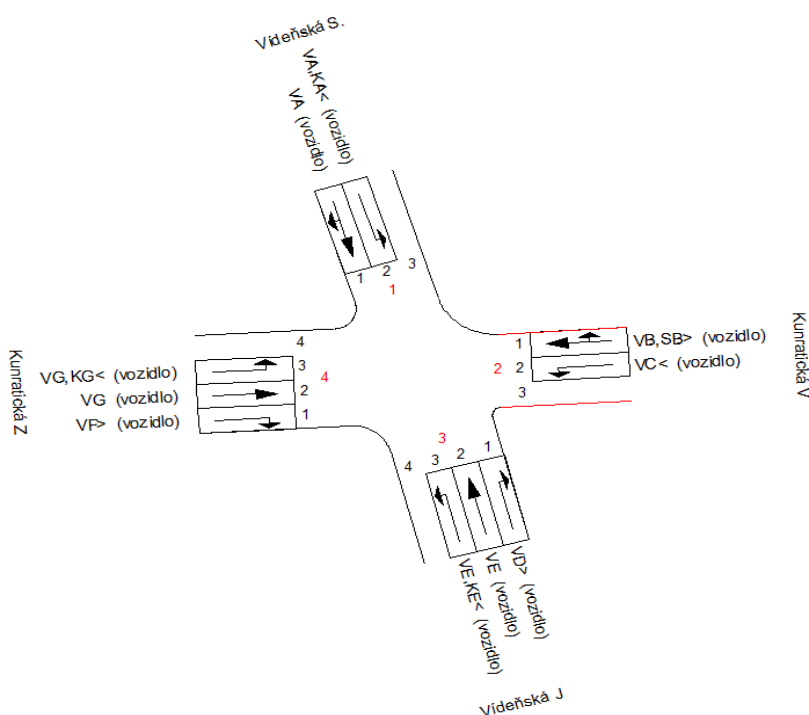
Kunratickou spojku, tedy východní a západní rameno řešené křižovatky, je taktéž nutno posuzovat z důvodu preference MHD a zachování co největší možné plynulosti dopravního proudu. Dle provedeného dopravního průzkumu (kapitola 2.5) je zřejmé, že opět jsou velmi výrazné přímé směry, které dopravní situaci ovlivňují z pohledu intenzit na Kunratické spojce nejvíce. Nicméně můžeme evidovat nejsilnější levé odbočení v celé křižovatce, které by při špatném návrhu zcela jistě velmi rychle omezilo či překročilo kapacity řešené křižovatky, čímž by přispělo ke snížení bezpečnosti a plynulosti provozu.

3.4 Využití softwaru LISA+

V předchozích kapitolách byly uvedeny jednotlivé prvky nezbytné pro návrh světelného signalizačního zařízení. Pro samotný návrh SSZ byl pro účely této práce využit software LISA+ Německé společnosti SCHLOTHAUER & WAUER GmbH & Co. KG, která se podílí na plánování SSZ a konzultacích pro dopravní optimalizaci od roku 1991. Tento software patří do vybavení Fakulty dopravní a byl zapůjčen pro účely této diplomové práce.

Samotný software je velmi uživatelsky přívětivý, jelikož se pracuje v grafickém prostředí, kde prvním krokem je importování podkladu, tedy situačního návrhu řešené křižovatky např. ve formátu JPG, kterému se následně v programu přiřazuje odpovídající měřítko.

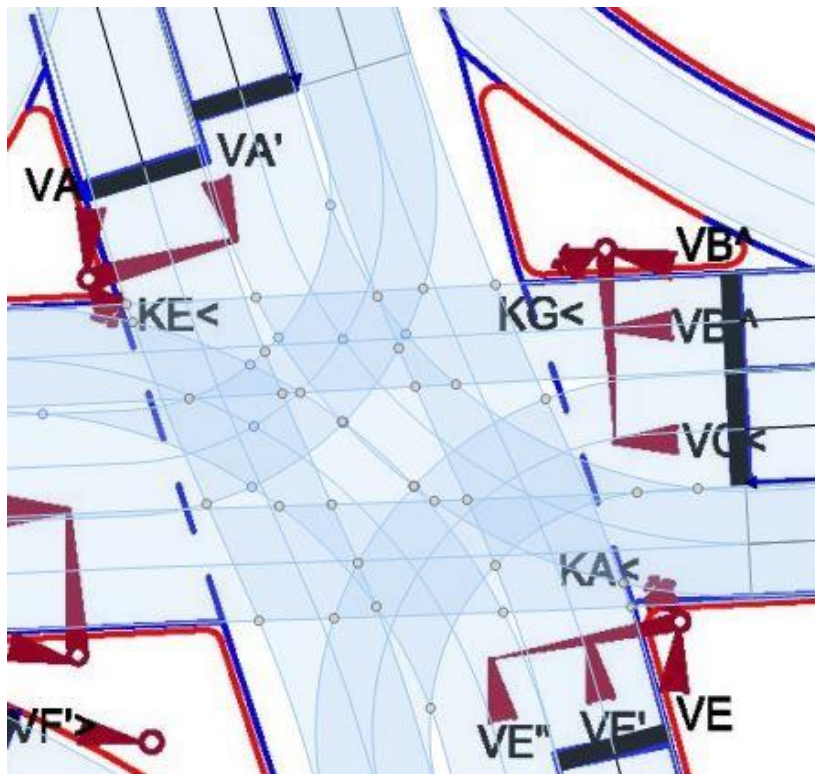
Následují nezbytně nutná nastavení jízdních os a rozvržení jízdních pruhů v křižovatce včetně přiřazení signálních skupin a zadání intenzit, které byly použity dle průzkumu v kapitole 2.5. (Obrázek 29)



Obrázek 29 - rozvržení jízdních pruhů v programu LISA+

Po zadání signálních skupin byl program především využíván v sekci „Planning“, který je naprostým základem pro každý návrh světelného signalizačního zařízení, jelikož zde dochází k výpočtům mezičasů, konfliktních bodů, fázového schématu a výsledných fázových přechodů či tvorbě signálních plánů. K výpočtu mezičasů je nutné znát konfliktní body respektive konfliktní zóny, což jsou hlavní vstupy pro výpočet. Při plánování řízení pomocí SSZ v programu LISA+ je nutné nejdříve definovat konflikty v posuzované křižovatce. Pokud je daná plocha/bod mezi

signálními skupinami konfliktní, označí se křížkem, v opačném případě je označeno pomlčkou, jakožto nekonfliktní. Konfliktní body software vyhodnocuje z grafického návrhu (Obrázek 30) a uživatel posléze upravuje, které konflikty jsou pro daný výpočet relevantní.



Obrázek 30 - Definování konfliktních bodů při použití softwaru LISA+

Po vyhodnocení matice konfliktů byly provedeny výpočty mezičasů, jejichž výstupem je tabulka mezičasů, jejíž správné určení má zásadní význam pro bezpečnost při řízení provozu světelnými signály. Následuje výpočet fázových přechodů dle zvolených fází a fázového schématu. Program LISA+ dokáže uživateli tyto fázové přechody vypočítat pomocí jednotlivých zakomponovaných mezičasů mezi ovlivněnými dopravními proudy v dané fázi a graficky znázornit. Dále LISA+ nabízí i možnost tvorby dynamického řízení, koordinace či dopravní simulace, což v této práci nebylo využito, jelikož byl pro dopravní model využit software VISSIM.

3.5 Varianta 1

Mezi hlavní problémy na křižovatce patří velká nehodovost, nepřehlednost a nedostačující kapacita OK, proto bylo prvotním cílem optimalizace znázorněné v příloze 1., dosažení především bezpečnější, přehlednější a plynulejší situace, než je v současném stavu. Obecně platí, že dobře navržené SSZ může kapacitu křižovatky zvýšit, ovšem musí se dbát na správný projektový návrh situace a také na správné umístění SSZ ve spojení s kvalitním návrhem řídicího systému.

3.5.1 Stavební uspořádání

Stavební uspořádání je navrženo tak, aby byla co nejvíce eliminována rizika z pohledu bezpečnosti současného řešení křižovatky a zároveň, aby nedocházelo k velkým mezičasům a tedy i k nižší kapacitě navržené varianty řešení křižovatky.

Celkový dojem křižovatky by měl působit drobnějším a přehlednějším dojmem, což v důsledku zvyšuje bezpečnost. Jednotlivé hlavní jízdní pruhy byly sjednoceny na šířku 3,5 m. Přehlednost a jednoznačnost určuje především nově navržené VDZ, které v celé řešené lokalitě bylo problémové. Hlavní komunikace je v celé délce křižovatky doplněna vodícími proužky typu V2b 1,5/1,5/0,25, které zdůrazňují nadřazenost tohoto proudu a zároveň určují trajektorii projíždějících vozidel. Přednost v jízdě znázorňuje SDZ typu P2 a P4.

V severní části křižovatky, tedy v ulici Vídeňská ze směru od centra města byly navrženy dva jízdní pruhy, první pro směr jízdy rovně a vpravo o šířce 3,5 m a druhý, o šířce 3,25 m, pro vlevo odbočující vozidla, tak aby zbytečně neomezovala velmi intenzitami zatížení přímý směr. Dále byl zrušen původní sloupek SDZ, jelikož bylo toto značení nyní umístěno na sloup SSZ. Ve východním rameni bylo, stejně jako v rameni severním, přesunuto SDZ na sloupek SSZ a navrženy dva jízdní pruhy. První je pruhem řadicím pro přímý a vpravo odbočující směr o šířce 3,5 m, vedle nějž se nachází druhý navržený řadicí pruh pro levé odbočení, které je v ulici Kunratická spojka vyhodnoceno jako hlavní směr, a tedy má také šířku 3,5 m. U návrhu jižní části ulice Vídeňská bylo potřeba vzít v úvahu, že je to část křižovatky s největší dopravní vytižeností. Proto dochází k rozšíření na tři jízdní dopravní pruhy. Pravé odbočení, které je vedeno samostatně jako spojovací větev, je navrženo o šířce 3,25 m, v oblouku, který je navržen o poloměru 17 m, ovšem dochází k rozšíření na 4 m a dále byl rozšířen o srpovitou krajnici, která slouží pro pojíždění objemnými vozidly. Teoretický průjezd objemných vozidel je graficky znázorněn v příloze 1 pomocí vlečných křivek daného vozidla.

Zbylé řadicí pruhy v jižní části křižovatky, které odděluje od pravého řadicího pruhu směrový ostrůvek, jsou navrženy o šířce 3,5 m pro přímý směr a 3,25 m pro levé odbočení, který je zároveň 37,5 m dlouhý.

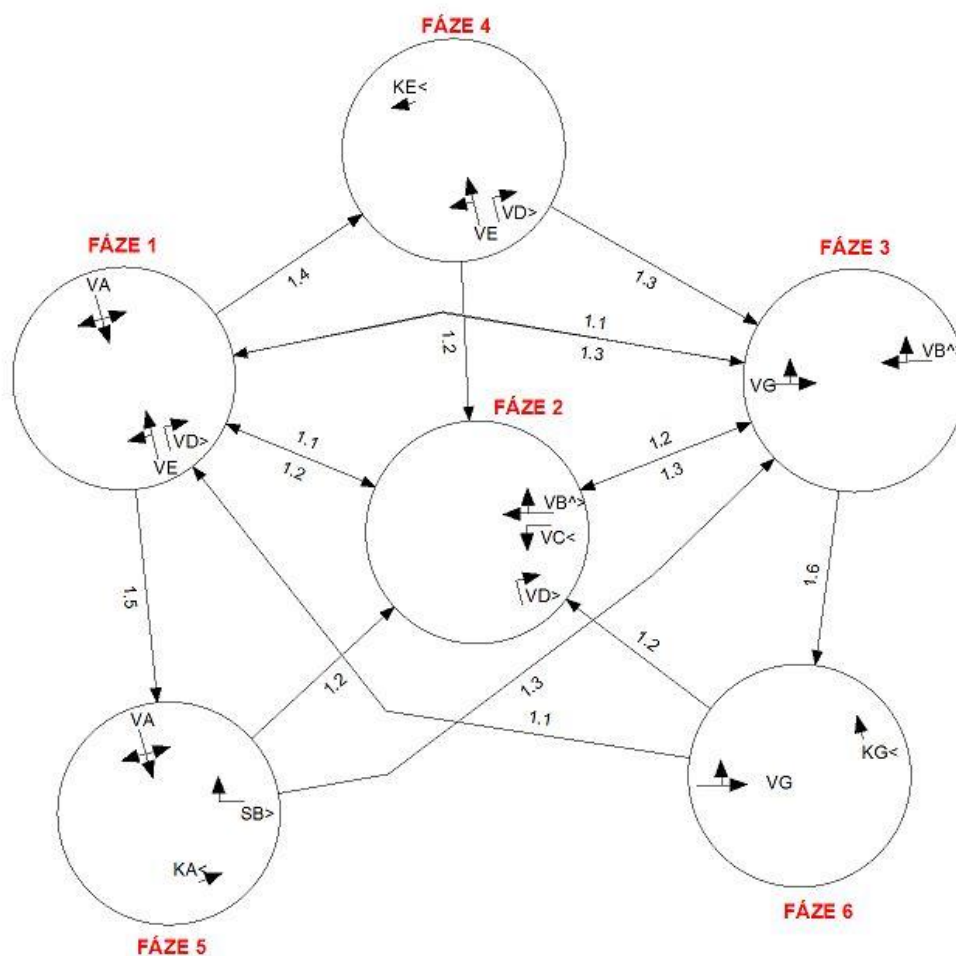
Čtvrtým, neméně důležitým ramenem křižovatky je západní část Kunratické spojky, která do křižovatky zasahuje dvěma navrženými řadicími pruhy. Stejně jako v případě severní části i zde je

navržen samostatný pruh pro levé odbočení o délce 65 m a šířce 3,25 m. Hlavní směr, tedy směr přímo a odbočení vpravo má šířku 3,5 m. Po oddělení vpravo odbočujících vozidel od převažujícího přímého směru následuje spojovací větev o poloměru 35 m, která je rozšířena na 4 m a která dále navazuje na jižní část křižovatky. Situace autobusové zastávky byla upravena dle stávajících norem a trendů. Byla doplněna dopravním vodorovným dopravním značením a také byla navrhnutá nástupní hrana o šířce 1,5 m, doplněna o prvky pro nevidomé. Mezi oběma zastávkami byl navrhnut přechod pro chodce, jelikož pouze v této části řešené oblasti má přechod pro chodce smysl, kvůli umístění zastávek MHD a přilehlé zástavby jižním směrem od přechodu. Přechod je široký 4 m, a je rozdělen ochranným dělicím ostrůvkem umístěným mezi jízdními pruhy. Přechod je označen SDZ typu IP6 doplněn o prvky pro nevidomé.

Nově jsou umístěny ve všech ramenech značení typu IP19, která účastníkům provozu znázorňují uspořádání jízdních pruhů. Všechny dopravní ostrůvky jsou označeny značkou C4a, C4b nebo C4c dle stávající technické normy ČSN EN 12899. V celé ploše vozovky byl navržen asfaltový povrch.

3.5.2 Fázové schéma

Fáze, které jsou navrženy dle podmínek uvedených v kapitole 3. 2. 3., jsou znázorněny na obrázku 31, ve kterém je patrné i značení jednotlivých dopravních proudů, které jsou označeny abecedně podle směru hodinových ručiček, s počátkem v dopravním proudu pro všechny směry v severním rameni, který je označen jako signální skupina VA. Fáze 1 pouští právě tuto signální skupinu VA společně s protisměrem označeným VE pro směr rovně i vlevo a směrem vpravo označeným VD>. Fáze 2 je fází se signálem volno pro východní část křižovatky, konkrétně tedy signální skupina VB, reprezentující přímý vpravo odbočující směr, a VC< což je samostatná signální skupina pro levé odbočení. Tuto fázi ještě doplňuje pravé odbočení z jižní části Vídeňské ulice (VD>). Fáze 3 je také považována za jednu ze stěžejních fází v systému, jelikož přiřazuje signál volno přímým směrům na Kunratické spojce (VB a VF). Fáze 4 až Fáze 6 jsou doplňkové fáze, které vždy umožňují levé odbočení daných směrů, tedy konkrétně ve fázi 4 je to levé odbočení v signální skupině VE, ve fázi 5 VA a ve fázi 6 je navržena vyklizující šipka pro vlevo odbočující vozidla signální skupiny VF. Pravé odbočení ze západní části křižovatky není řízeno pomocí SSZ.



Obrázek 31 - Fázové schéma varianty 1

3.5.3 Sled fází

Pokud tomu nebrání žádná omezení, je zapotřebí pořadí fází navrhovat tak, aby se minimalizoval součet mezičasů. V případě křižovatky Kunratická spojka – Vídeňská jsou zvoleny jako hlavní fáze F1, F2 a F3, jelikož jednotlivé dopravní proudy v těchto fázích je nutno preferovat z důvodu vyšších intenzit a výskytu MHD. Hlavní sled fází je tedy sled F1-F3-F2-F1. Fáze F4, F5 a F6 jsou fáze na výzvu, které jsou vsunuty do jednotlivého sledu fází na základě poptávky v daném dopravním proudu. Možné uskutečnitelné fázové přechody jsou znázorněny v Obrázku 31.

3.5.4 Tabulka mezičasů

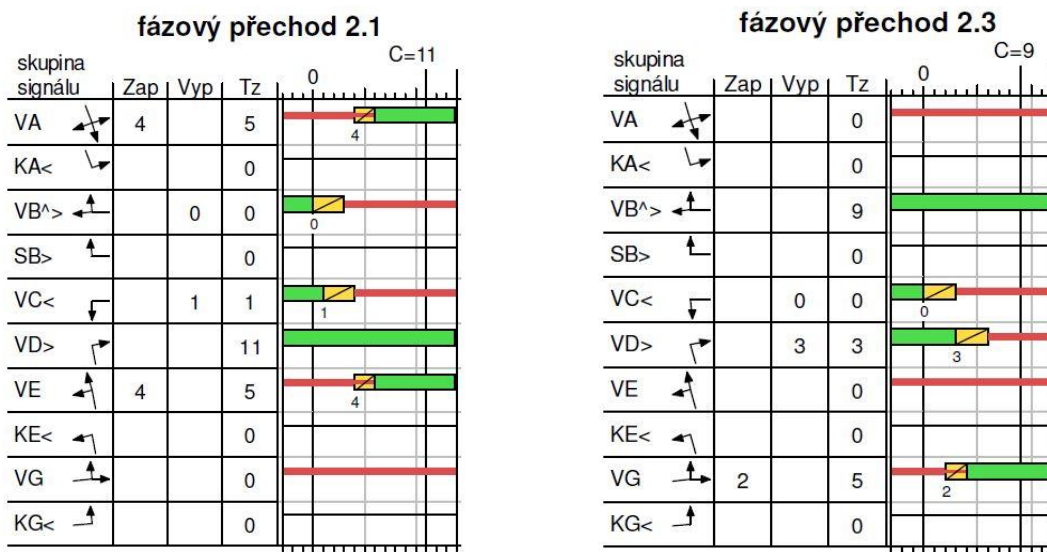
Hodnoty v tabulce mezičasů byly spočítány pomocí softwaru LISA+, kde byly nastaveny standardní postupy s použitím běžných rychlostí najíždějících i vyklizujících vozidel ve shodě s hodnotami uvedenými v TP 81. Výsledné hodnoty mezičasů jsou vyjádřeny v tabulce 9. Nejvíce hodnoty mezičasů ovlivňuje umístění stopčáry jednotlivých proudů, které někdy mohou působit více vzdálené od hrany křižovatky. Toto odsazení je ovšem nezbytně nutné pro dodržení minimálních poloměrů oblouků odbočení u rozměrnějších vozidel (viz vlečné křivky v příloze 2).

		přijíždějící									
		VA	KA<	VB^>	SB>	VC<	VD>	VE	KE<	VG	KG<
vyklížení	VA	■	-	4	-	5	-	5	4	5	4
	KA<	-	■	4	-	5	8	5	-	4	3
	VB^>	6	4	■	-	-	-	4	4	5	5
	SB>	-	-	-	■	-	-	4	-	4	4
	VC<	4	3	-	-	■	-	5	5	4	-
	VD>	-	1	-	-	-	■	-	-	1	-
	VE	6	3	5	5	4	-	■	-	5	5
	KE<	6	-	4	-	3	-	-	■	5	5
	VG	5	5	5	5	4	7	5	5	■	-
	KG<	5	5	5	5	-	-	4	4	-	■

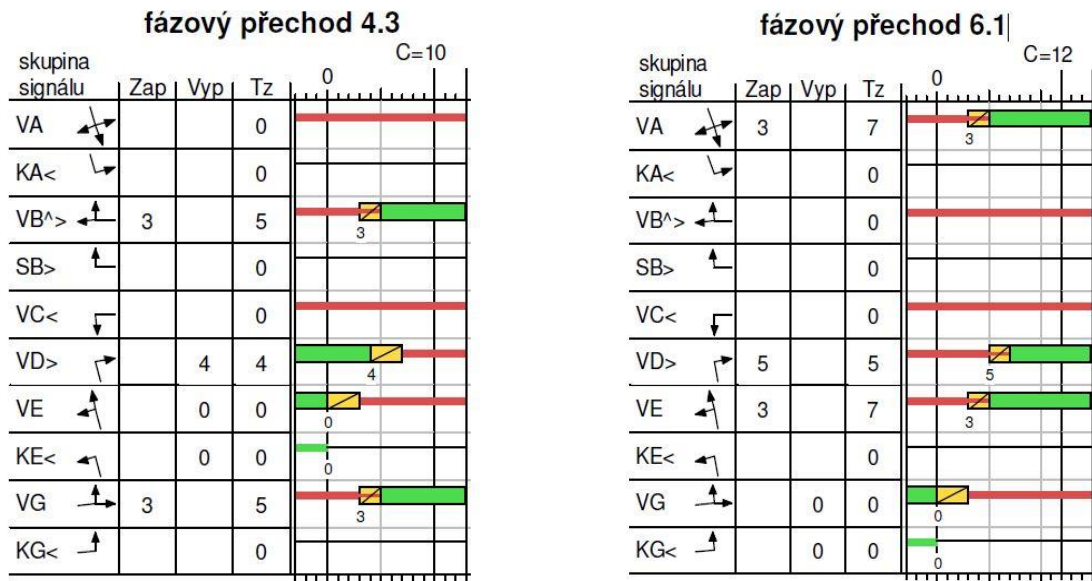
Tabulka 9 - Tabulka mezičasů pro variantu 1

3.5.5 Fázové přechody

Fázový přechod, neboli přechod z jedné fáze do druhé, je časový úsek mezi signály volno skupin končící fáze a signály volno skupin nastupující fáze. Délka fázového přechodu se rovná délce nejdelšího mezičasu v jednotlivých fázích. Na základě fázových přechodů, se následně určuje navrhovaný signální plán. Příklady vypočítaných a graficky znázorněných fázových přechodů pro první variantu jsou znázorněny na obrázku 32 a 33. Všechny fázové přechody a jejich úplná grafická podoba je vyznačena v příloze 4.



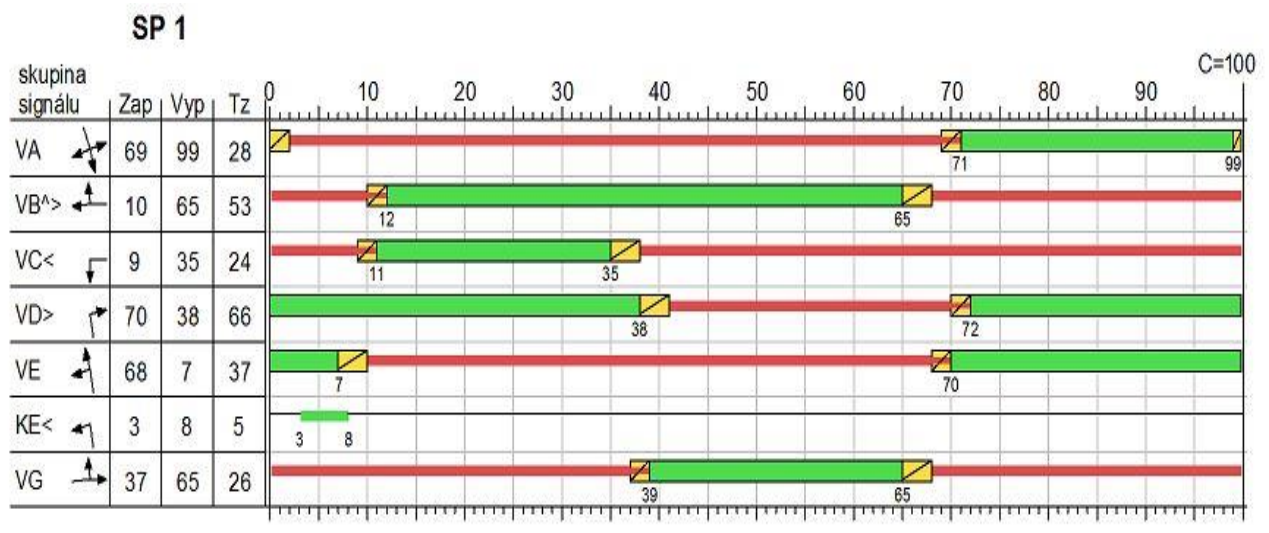
Obrázek 32 - Fázový přechod mezi fází 2 a 1, respektive fází 2 a 3



Obrázek 33 - Fázový přechod mezi fází 4 a 3, respektive fází 6 a 1

3.5.6 Záložní signální plán

Pro každý návrh SSZ je povinností mít záložní signální plán, který je pevný a zařazuje se do řízení v případech poruchy detekčních či jiných zařízení využívaných pro dynamické řízení systému. Záložní pevný signální plán pro variantu 1 je graficky znázorněn na obrázku 34 a kapacitní posouzení této varianty je vyhodnoceno v tabulce 10.



Obrázek 34 - Záložní signální plán – varianta 1

3.5.7 Kapacitní posouzení

Signální skupina	Doba zelené [s]	Kapacita Cv [pvoh/h]	Rezerva %	Zdržení t_w [s]	ÚKD
VA	28	560	20	41,8	C
VB	53	1060	60	13,7	A
VC	24	480	22	44,2	C
VD	66	1320	73	6,8	A
VE	37	740	42	25,8	B
VF	26	540	3	>120	E
Kapacita levého odbočení ovlivněného protisměrem					
KA	28	246	87	25,1	B
KE	26	472	90	25,7	B
KF	37	252	14	64,7	D
Stanovená úroveň kvality dopravy: E – nestabilní stav					

Tabulka 10 - Kapacitní posouzení světelně řízení křižovatky – varianta 1 [9]

3.6 Varianta 2

Jak již bylo zmíněno v úvodu této práce, první varianta upřednostňuje zvýšení přehlednosti a bezpečnosti v řešeném místě a je navržena pro splnění kapacity křižovatky, ovšem je brána především jako varianta úsporná. Druhý situační návrh křižovatky, který je znázorněn v příloze 2, je bezesporu návrh velkorysejší a eliminuje některá další problémová místa.

3.6.1 Stavební uspořádání

Stavební uspořádání na první pohled zabírá větší plochu, než v první variantě a je to především, kvůli volbě více řadicích pruhů pro větší plynulost a bezpečnost dopravy a také to má pochopitelně pozitivní vliv na celkovou kapacitu křižovatky.

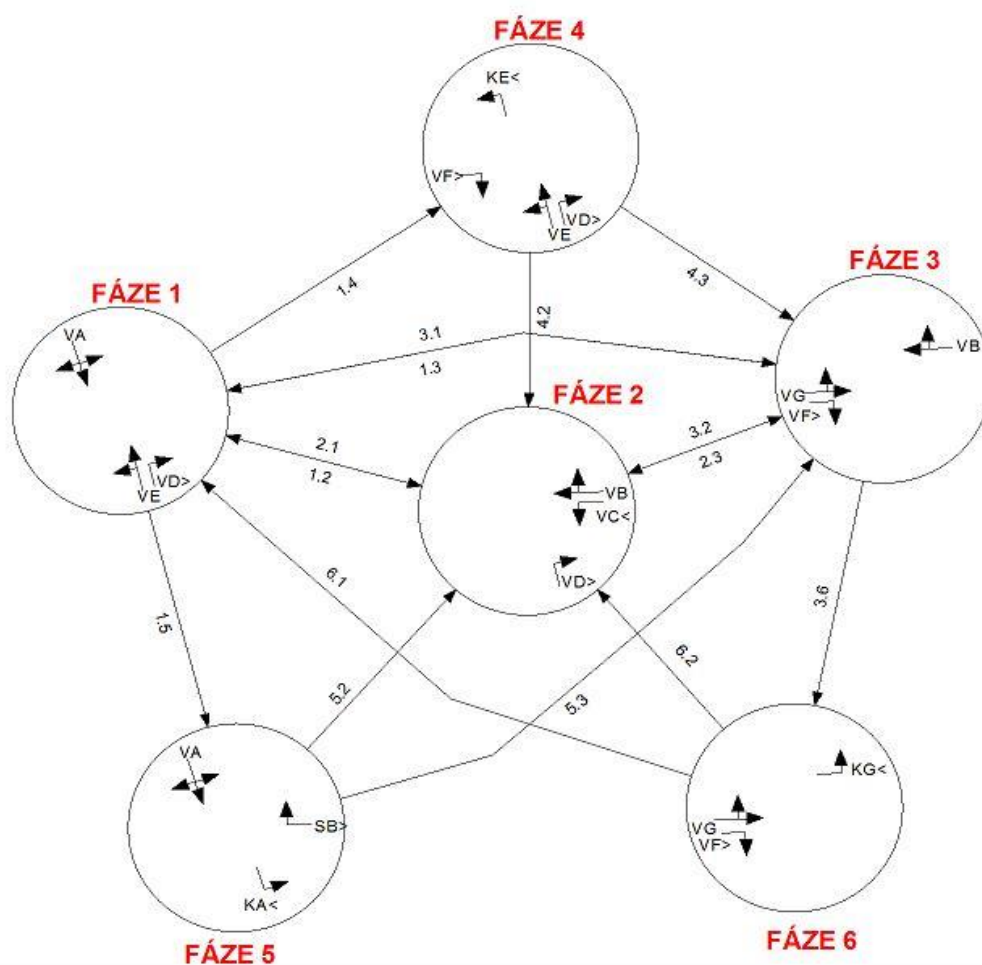
I v této variantě přehlednost a jednoznačnost určuje především nově navržené VDZ. Hlavní komunikace je v celé délce křižovatky doplněna vodícími proužky typu V2b 1,5/1,5/0,25, které zdůrazňují nadřazenost tohoto proudu a zároveň určují trajektorii projíždějících vozidel. Dle pravidel silničního provozu, přednost v jízdě znázorňuje SDZ typu P2 a P4. V severní části křižovatky, tedy v ulici Vídeňská ze směru od centra města byly navrženy dva jízdni pruhy, první pro směr jízdy rovně a vpravo o šířce 3,5 m a druhý, o šířce 3,25 m, pro vlevo odbočující vozidla tak, aby zbytečně neomezovala velmi intenzitami zatížení přímý směr. Po oddělení vpravo odbočujících vozidel od převažujícího přímého směru, následuje spojovací větev o poloměru 15 m, která je rozšířena na 4 m a která dále navazuje na západní část křižovatky. Pro tento odbočující směr byla komunikace rozšířena o srpovitou krajnici, která slouží pro případné pojíždění objemnými vozidly. Teoretický průjezd objemných vozidel je opět graficky znázorněn v příloze pomocí vlečných křivek daného vozidla. Změny v SDZ jsou stejné jako ve variantě 1, tedy nově je umístěno SDZ na sloupku SSZ. Ve východním rameni zůstávají navrženy dva jízdni pruhy o šířce 3,5 m, jeden pro přímý i pravý směr a druhý pro levé odbočení. I v tomto rameni byla navržena spojovací větev pro pravé odbočení, které je od ostatních řadicích pruhů odděleno směrovým ostrůvkem. Díky tomu byly stopčáry přímého a levého směru umístěny blíže křižovatce, což snižuje délku mezičasů těchto signálních skupin. Jižní část ulice Vídeňská, což je nejvytíženější a z pohledu kapacity i nejproblémovější místo křižovatky, byla rozšířena na tři jízdni pruhy. Pravé odbočení, které je vedeno stejně jako ve variantě první, tedy samostatně jako spojovací větev, je navrženo o šířce 3,25 m, v oblouku, který je navržen o poloměru 17 m, ovšem dochází k rozšíření na 4 m a dále byl rozšířen o srpovitou krajnici. Zbylé řadicí pruhy v jižní části křižovatky, které odděluje od pravého řadicího pruhu směrový ostrůvek, jsou navrženy o šířce 3,5 m pro přímý směr a 3,25 m pro levé odbočení, který je zároveň 52 m dlouhý a od protisměru jej odděluje dělicí ostrůvek.

V západní části Kunratické spojky, jsou navrženy také tři řadicí pruhy, a sice jeden pro každý dopravní směr. Pruh pro levé odbočení byl navržen o délce 65 m a šířce 3,25 m. Hlavní směr, tedy směr přímo a odbočení vpravo má šířku 3,5 m. Řadicí pruh pro vpravo odbočující vozidla je

dlouhý 40 m o šířce 3,25 m. Situace autobusové zastávky byla upravena stejně, jako ve variantě první. Nově jsou také umístěny ve všem ramenech značení typu IP19, která účastníkům provozu znázorňují uspořádání jízdních pruhů. Všechny dopravní ostrůvky jsou označeny značkou C4a, C4b nebo C4c dle stávající technické normy ČSN EN 12899. V celé ploše vozovky byl navržen asfaltový povrch.

3.6.2 Fázové schéma

Fáze, které jsou navrženy dle podmínek uvedených v kapitole 3. 2. 3., jsou znázorněny na obrázku 35, ve kterém je patrné i značení jednotlivých dopravních proudů, které jsou označeny abecedně podle směru hodinových ručiček, s počátkem v dopravním proudu pro všechny směry v severním rameni, který je označen jako signální skupina VA. Fáze 1 použít právě tuto signální skupinu VA společně s protisměrem označeným VE pro směr rovně i vlevo a směrem vpravo označeným VD>. Fáze 2 je fází se signálem volno pro východní část křižovatky, konkrétně tedy signální skupina VB, reprezentující přímý vpravo odbočující směr, a VC< což je samostatná signální skupina pro levé odbočení. Tuto fázi ještě doplňuje pravé odbočení z jižní části Vídeňské ulice (VD>). Fáze 3 je také považována za jednu ze stěžejních fází v systému, jelikož přiřazuje signál volno přímým směrům na Kunratické spojce (VB a VG). Fáze 4 až Fáze 6 jsou doplňkové fáze, které vždy umožňují levé odbočení daných směrů, tedy konkrétně ve fázi 4 je to levé odbočení v signální skupině VE, ve fázi 5 VA a ve fázi 6 je navržena vyklizující šipka pro vlevo odbočující vozidla signální skupiny VG. Hlavní změnou ve fázích je tedy přidání pravého odbočení (VF) ze západní části do řízení pomocí SSZ.



Obrázek 35 - Fázové schéma varianty 2

3.6.3 Sled fází

V případě druhé varianty křižovatky Kunratická spojka – Vídeňská jsou zvoleny jako hlavní fáze F1, F2 a F3, jelikož jednotlivé dopravní proudy v těchto fázích je nutno preferovat z důvodu vyšších intenzit a průjezdu MHD. Hlavní sled fází je tedy sled F1-F3-F2-F1 nebo F1-F2-F3-F1. Fáze F4, F5 a F6 jsou fáze na výzvu, které jsou vsunuty do jednotlivého sledu fází na základě poptávky v daném dopravním proudu. Možné uskutečnitelné fázové přechody jsou znázorněny v Obrázku 35.

3.6.4 Tabulka mezičasů

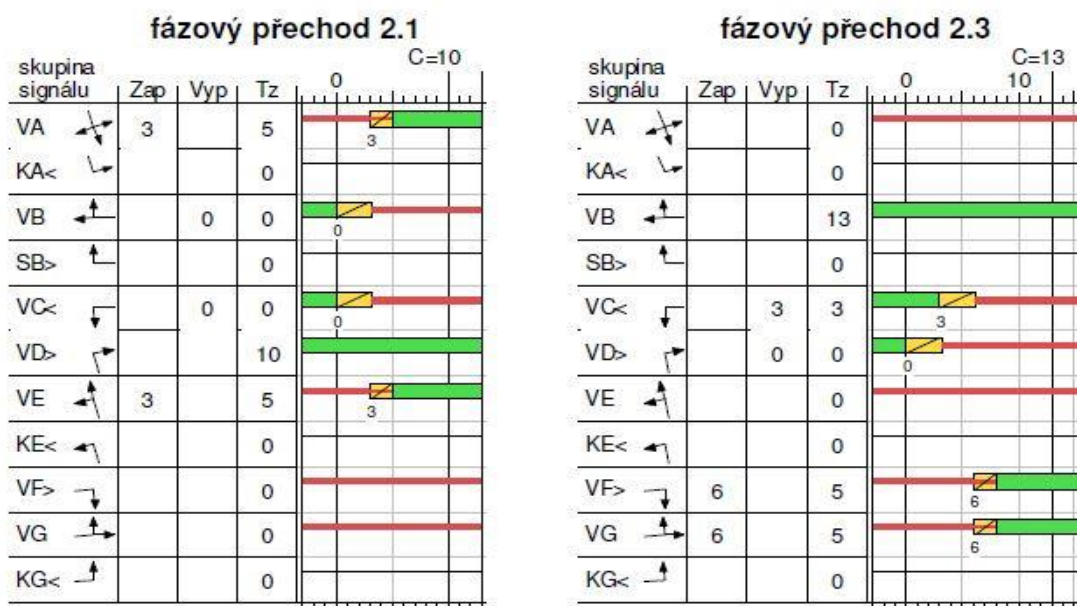
Hodnoty v tabulce mezičasů byly i pro tuto variantu spočítány pomocí softwaru LISA+, kde byly nastaveny standardní postupy s použitím běžných rychlostí najíždějících i vyklizujících vozidel ve shodě s hodnotami uvedenými v TP 81. Výsledné hodnoty mezičasů jsou vyjádřeny v tabulce 11.

		přijíždějící										
		VA	KA<	VB	SB^	VC<	VD^	VE	KE<	VF>	VG	KG<
vyklizení	VA	■	-	4	-	6	7	5	3	4	5	5
	KA<	-	■	4	-	6	7	5	-	-	5	5
	VB	5	4	■	-	-	-	3	2	-	3	3
	SB>	-	-	-	■	-	-	2	-	-	1	1
	VC<	3	3	-	-	■	-	5	5	5	4	-
	VD>	1	1	-	-	-	■	-	-	-	8	-
	VE	6	3	4	4	4	-	■	-	-	4	3
	KE<	6	-	4	-	3	-	-	■	-	4	3
	VF>	2	-	-	-	2	-	-	-	■	-	-
	VG	4	3	5	5	5	1	6	6	-	■	-
	KG<	4	3	5	5	-	-	6	6	-	-	■

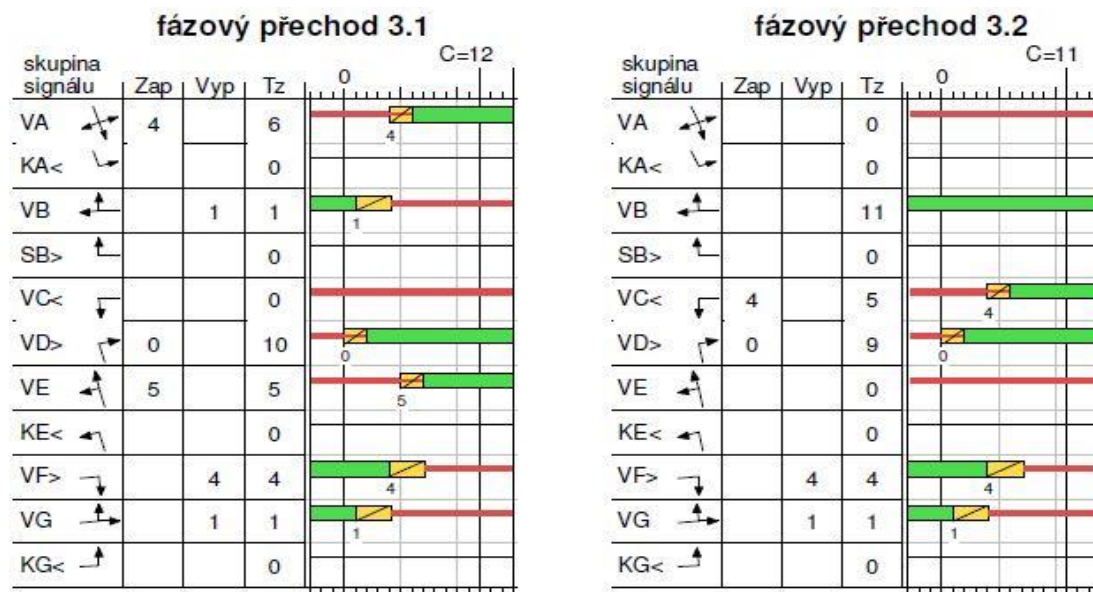
Tabulka 11 - - Tabulka mezičasů pro variantu 2

3.6.5 Fázové přechody

Na základě fázových přechodů pro variantu 2, se následně určuje navrhovaný signální plán. Příklady vypočítaných a graficky znázorněných fázových přechodů pro druhou variantu jsou znázorněny na obrázku 36 a 37. Všechny fázové přechody a jejich úplná grafická podoba je vyznačena v příloze 6.



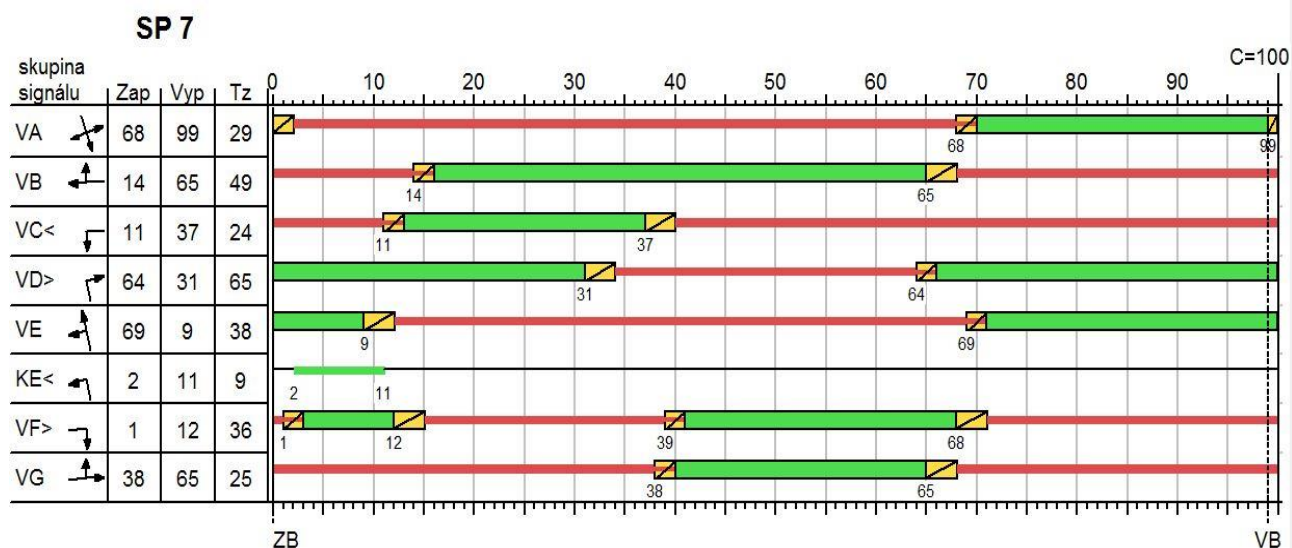
Obrázek 36 - Fázový přechod mezi fází 2 a 1, respektive fází 2 a 3



Obrázek 37 - Fázový přechod mezi fází 3 a 1, respektive fází 3 a 2

3.6.6 Záložní signální plán

Pro každý návrh SSZ je povinností mít záložní signální plán, který je pevný a zařazuje se do řízení v případech poruchy detekčních či jiných zařízení využívaných pro dynamické řízení systému. Záložní pevný signální plán pro variantu 2 je graficky znázorněn na obrázku 38 a kapacitní posouzení této varianty je vyhodnoceno v tabulce 12.



Obrázek 38 - Záložní signální plán – varianta 2

3.6.7 Detekce vozidel

Pro dynamické řízení provozu na křižovatce je nutnost adaptace systému na změny v dopravní situaci. Kvůli tomuto požadavku musí být umístěny v křižovatce detekční zařízení. V předkládané variantě byl zvolen způsob detekce především pomocí indukčních smyček, které jsou umístěny v jednotlivých řadicích pruzích tak, aby co nejlépe mohly detekovat danou situaci.

Na severním rameni (Vídeňská) jsou navrženy tyto detektory

- DVA – prodlužovací detektor měřící časovou mezeru vozidel jedoucích v signální skupině VA
- DKA – kongesční smyčka vyhodnocující obsazenost pruhu pro levé odbočení v signální skupině VA

Na východním rameni (Kunratická spojka) jsou navrženy tyto detektory

- DVB – prodlužovací detektor měřící časovou mezeru vozidel jedoucích v signální skupině VB
- DKC – kongesční smyčka vyhodnocující obsazenost pruhu a časovou mezeru pro levé odbočení v signální skupině VC.

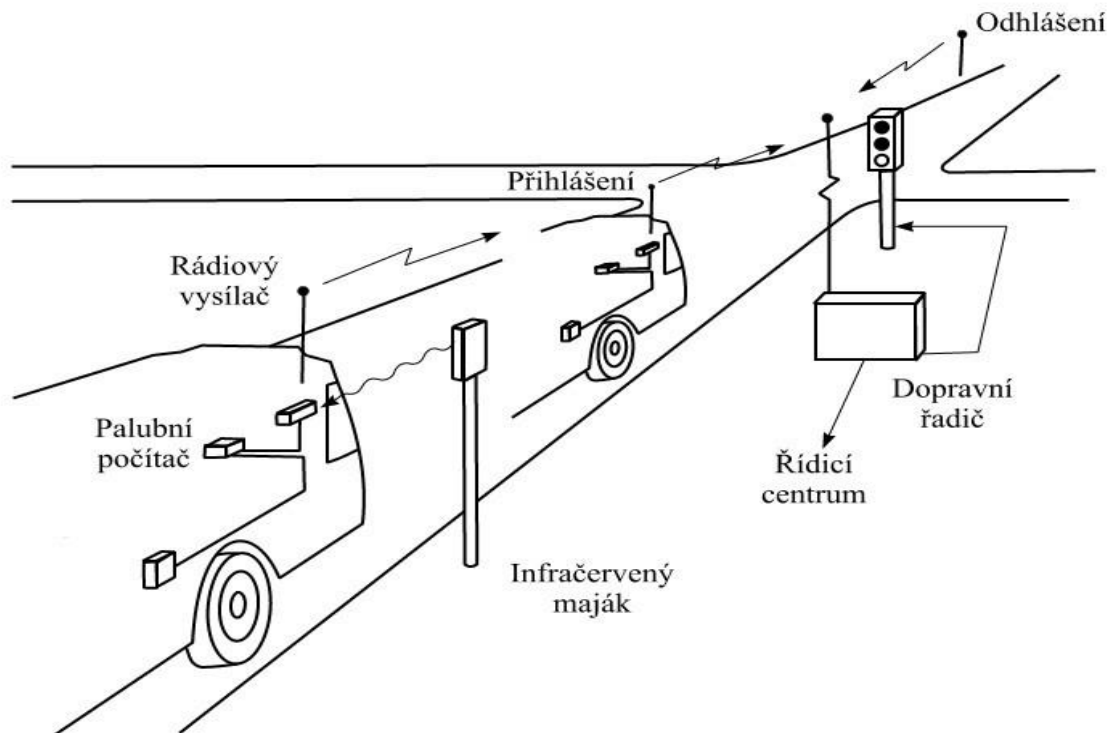
Na jižním rameni (Vídeňská) jsou navrženy tyto detektory

- DVE – prodlužovací detektor měřící časovou mezeru vozidel jedoucích v signální skupině VE
- DKE – kongesční smyčka vyhodnocující obsazenost pruhu pro levé odbočení v signální skupině VE

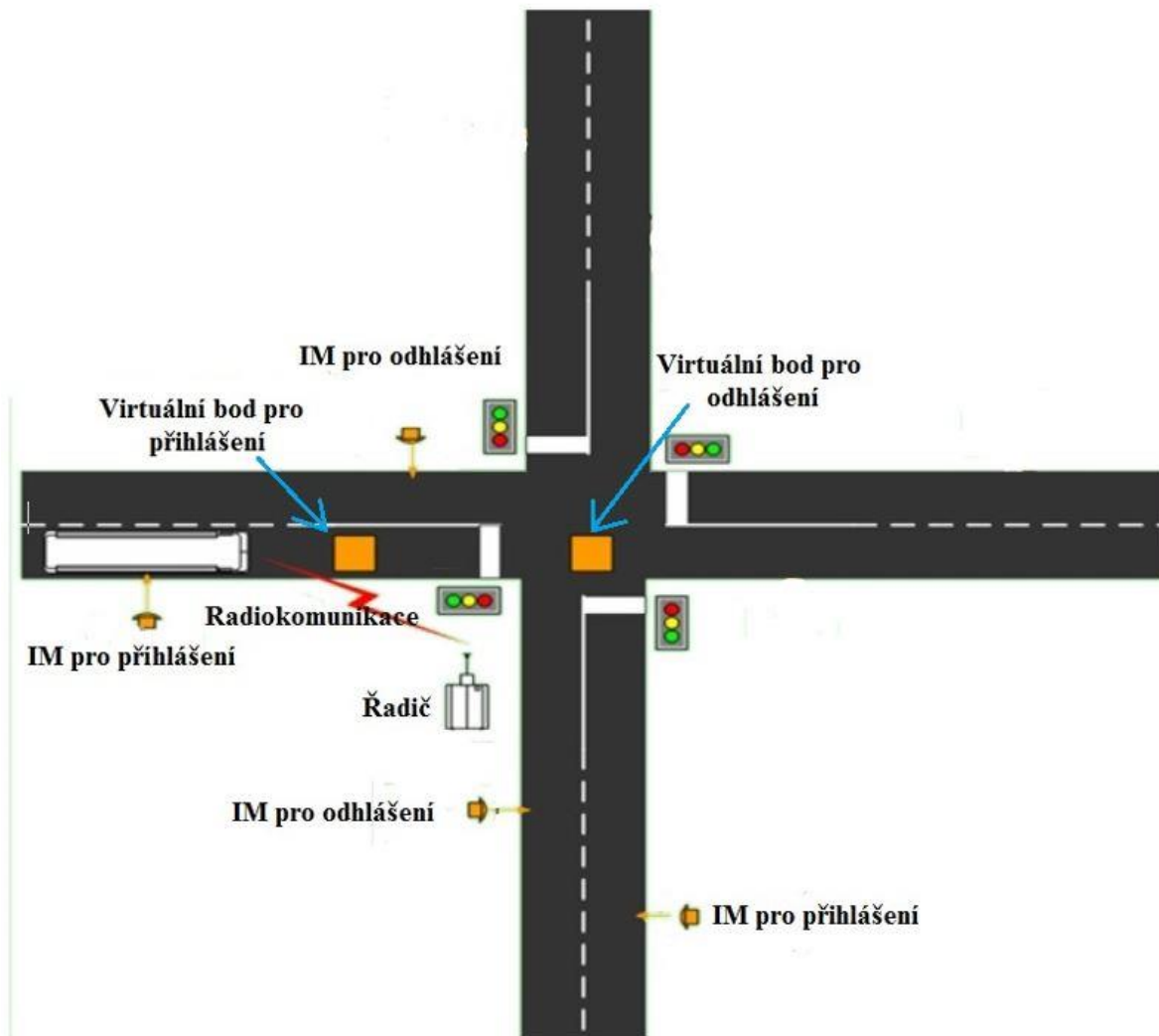
Na západní rameni (Kunratická spojka) jsou navrženy tyto detektory

- DVG – prodlužovací detektor měřící časovou mezeru vozidel jedoucích v signální skupině VG
- DKG – kongesční smyčka vyhodnocující obsazenost pruhu pro levé odbočení v signální skupině VG

Pro detekci vozidel MHD je v práci použita detekce pomocí infračervených majáčků (dále jen inframaják). Vysílací a přijímací systémy s inframajáky umožňují přenos většího množství informací (např. údaje o přítomnosti a směru jízdy vozidla MHD). Princip detekce pomocí infračerveným majáčků je znázorněn na obrázku 39 a 40.



Obrázek 39 - Princip detekce pomocí inframajáku [16]



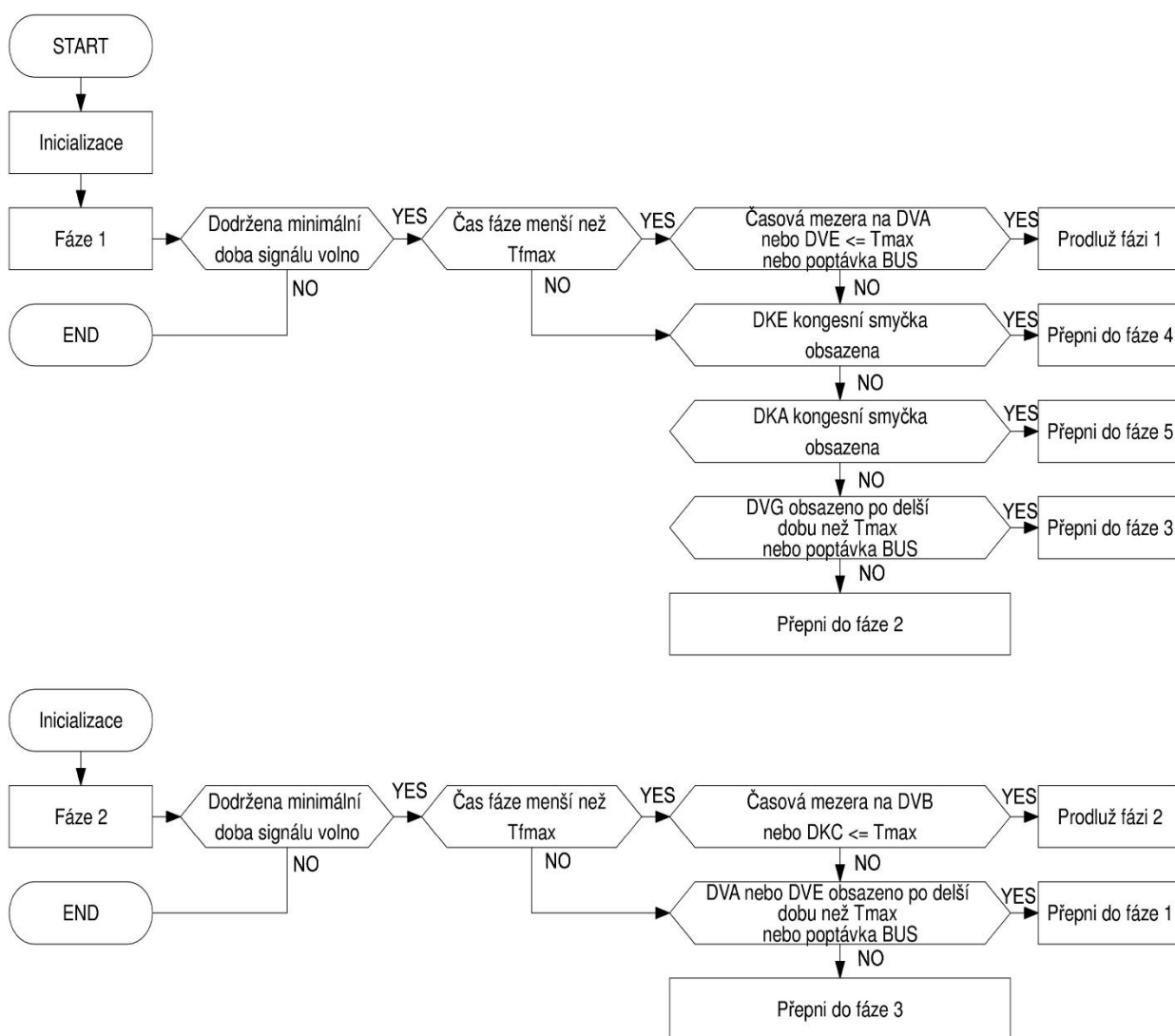
Obrázek 40 - Princip rozmístění inframajáků v křižovatce [16]

V příloze 1 a 2 jsou znázorněny inframajáky pro odhlášení. Přihlašovací inframajáky jsou umístěny 200 - 300 m od osy křižovatky v potřebných směrech. Počet inframajáků byl odvozen z pohybu vozidel MHD v křižovatce (viz kapitola 2.3.1).

3.6.8 Logické podmínky řízení

Pro správné fungování dynamického řízení SSZ a efektivní, účinnou a rychlou optimalizaci provozu je zapotřebí vypracovat základní logiku řízení, podle které se systém řídí a je každou sekundu aktualizován.

Jednotlivé body průběhu fungování systému je dobré znázornit vývojovým diagramem (obrázek 26). Vývojový diagram se skládá z akcí, které jsou vyjádřeny obdélníkem, logických a časových podmínek, které jsou vyznačeny šestiúhelníkem. Tato podkapitola obsahuje vývojové diagramy, ze kterých lze vyčíst základní logiku řízení pro navržená schémata fází. Vývojový diagram je ucelený návrh, ovšem pro přehlednost jsou diagramy v této podkapitole rozděleny vždy pouze na podmínky týkající se každé fáze zvlášť. Celkové schéma vývojového diagramu je znázorněno v příloze 9.

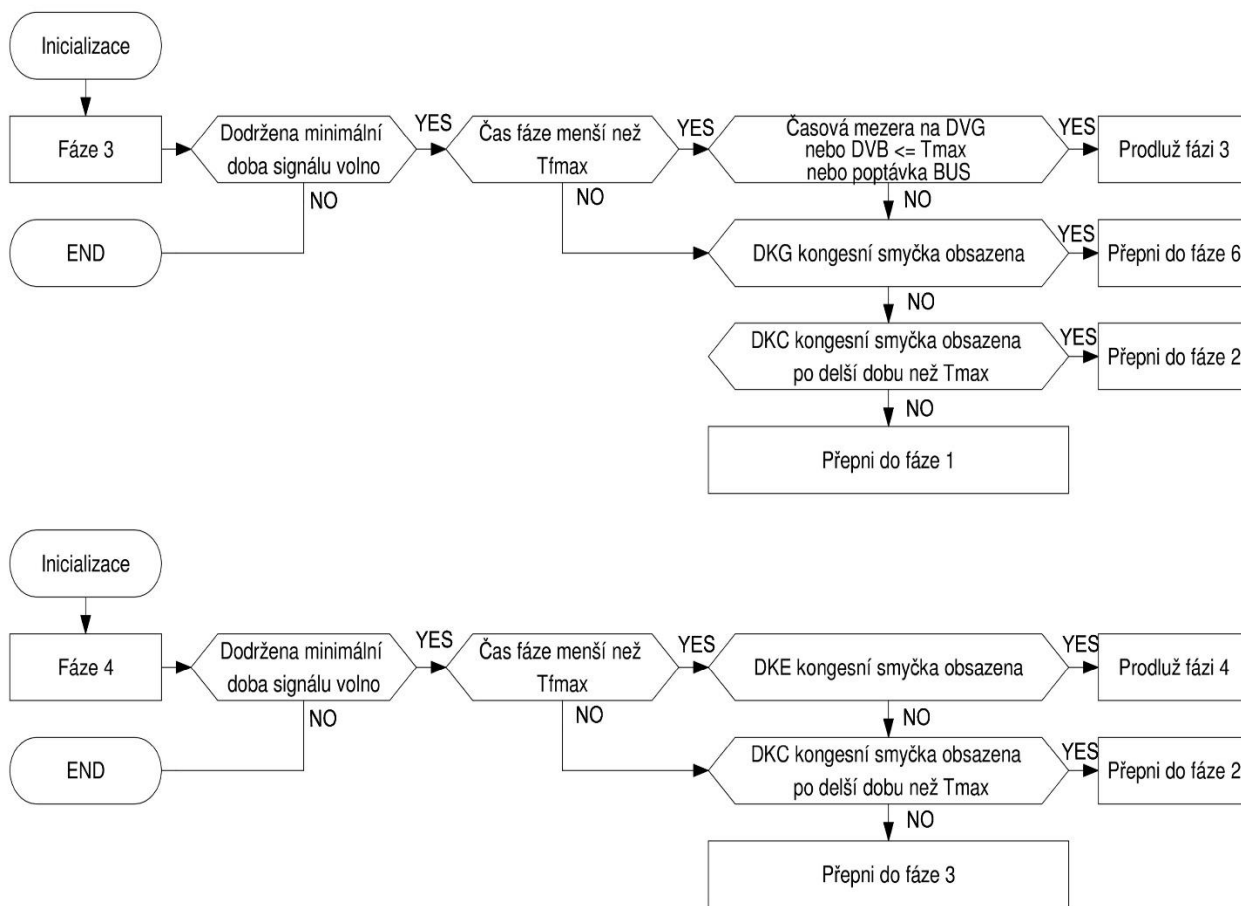


Obrázek 41 - Základní princip vývojového diagramu - fáze 1 a 2

Na obrázku 41 je znázorněn vývojový diagram s logickými podmínkami, které nastanou při aktivaci fáze 1 nebo fáze 2. Po nutné inicializaci systému se aktivuje Fáze 1 a dochází k ověření podmínky systému, kvůli dodržení minimální respektive maximální doby signálu volno, což jsou nastavitelné parametry. Následující logické podmínky, z nichž první je na prodloužení aktuální fáze, tedy v tomto případě fáze 1. Fáze bude prodloužena, pokud časová mezera projíždějících vozidel je menší než nastavená hodnota. Tímto parametrem se zajišťuje efektivita prodloužení, což je pouze tehdy, je-li intenzita projíždějících, respektive přijíždějících vozidel v takové výši, aby splnila předem nastavené časové parametry na odstupy vozidel. Další podstatnou podmínkou je přihlášení vozidel MHD, v případě řešené křižovatky je to přihlášení autobusu pomocí inframajáku, jehož princip fungování je popsán v podkapitole 3.6.7. Pokud bude splněna alespoň jedna z těchto podmínek, fáze 1 bude prodloužena. Pokud ke splnění podmínek prodloužení nedojde, systém zjišťuje další vstupní parametry pro další řízení. Pokud bude obsazena kongesční smyčka DKE, což je smyčka levého odbočení signální skupiny VE, bude následovat fáze 4. Dalším případným krokem z fáze 1 je přepnutí do fáze 5 při obsazení detektoru DKA. Možností je i vyvolání fázového přechodu z fáze 1 do fáze 3 při obsazení detektoru DVG po delší než předem stanovenou dobu, či poptávka vozidel veřejné dopravy po této fázi. Poslední možná alternativa je přechod z fáze jedna do fáze číslo dvě, Tento scénář nastane automaticky pouze tehdy, nebyly-li splněny předchozí podmínky na vyvolání jiných fází.

Při fungování řídicího systému ve fázi 2 logicky následují podmínky na splnění minimální a maximální doby trvání fáze. Pochopitelně i fáze 2 může být prodloužena a to za následujících podmínek: Časová mezera na detektoru DVB nebo na detektoru DVC je menší nebo rovna než předem nastavená hodnota. Pokud křižovatka nenabízí tuto variantu, automaticky systém vyhodnocuje obsazenost detektoru DVE a DVA a případné přihlášení vozidel MHD ve Vídeňské ulici aby mohl zařadit fázi 1 nebo, není-li poptávka po první fázi, je zařazena automaticky fáze s označením 3.

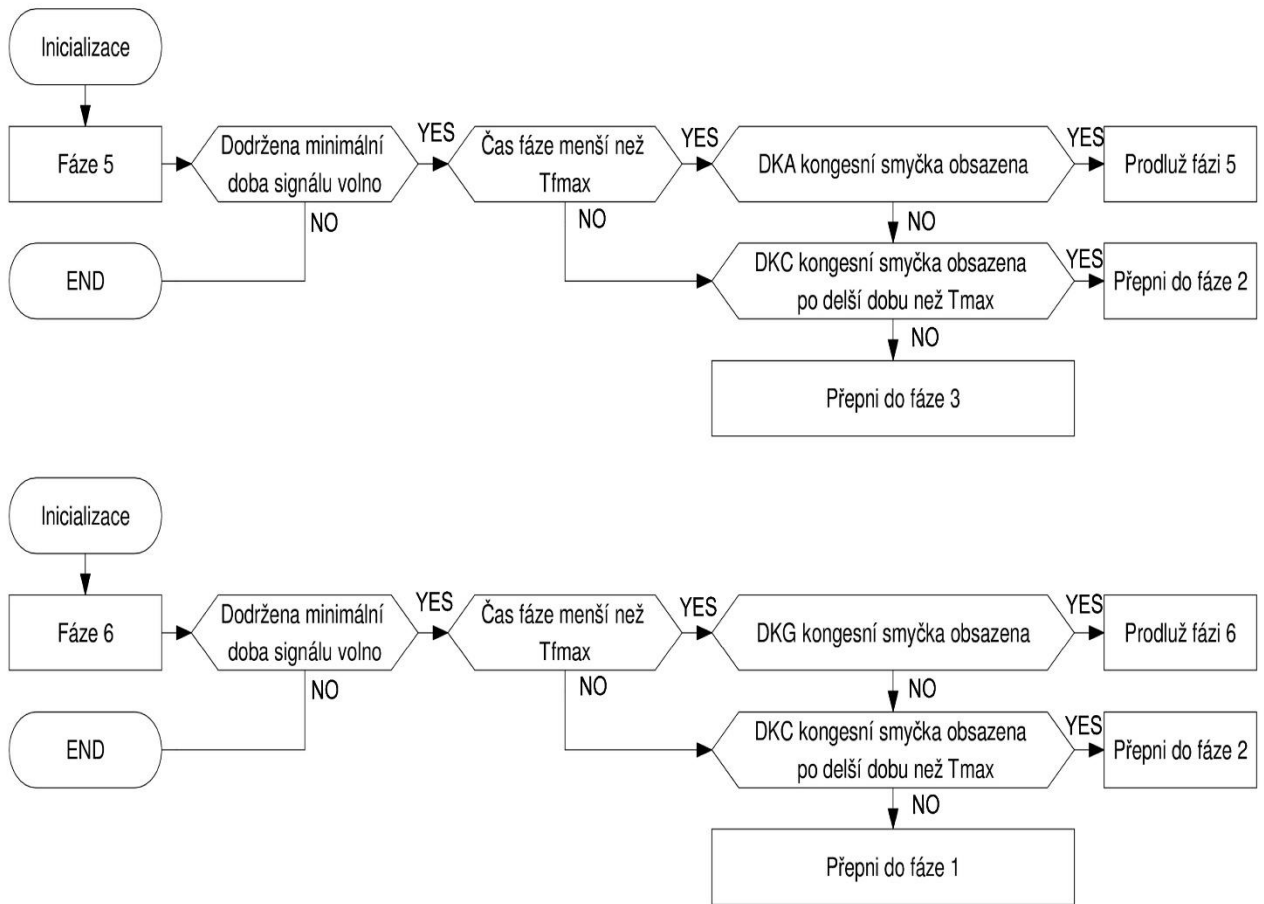
Fáze 3, tedy signál volno pro signální skupiny VB, VF a VG, jejíž vývojový diagram je znázorněn na obrázku 41, může být prodloužena opět po splnění podmínek časových mezer, nebo poptávky autobusů veřejné dopravy. Z fáze 3 další tři možné scénáře fázových přechodů. Pokud bude obsazen kongesční detektor, a tedy fronta u levého odbočení bude svou délkou blízko k omezení plynulého provozu, dojde k zařazení fáze 6, které umožňuje bezpečné vyklizení levého odbočení signální skupiny VG. Fáze 3 může přejít i do fáze 2 v případě poptávky detektoru DVC, tedy z pohledu intenzit provozu, nevíce zatíženého levého odbočení v řešeném dopravním uzlu. Pokud nebudou splněny podmínky pro zařazení fáze 6 nebo 2, bude následovat, jak je patrné z obrázku 42 fázový přechod z fáze 3 do fáze 1.



Obrázek 42 - Základní princip vývojového diagramu - fáze 3 a 4

Následující scénář bude následovat, dojde-li k zařazení fáze 4 v daném cyklu. Fáze může být prodloužena, pouze pokud se vlevo odbočující vozidla budou stále nacházet na kongesčním detektoru DKE, což by znamenalo extrémní poptávku po tomto levém odbočení. Druhá fáze bude poptávána obsazeností detektoru DKC. Ze 4. fáze dojde z přepnutí na fázi 3, pokud nebude ani jedna z výše uvedených podmínek ve fázi 4 zaznamenána.

Posledními možnými fázemi jsou 5 a 6. Pro fázi 5, které je fází doplňkovou a bude zařazena pouze pro vyklizení vlevo odbočujících vozidel signální skupiny VA, platí, že může být také prodloužována, pokud detektor bude stále zaznamenávat vozidla. V ostatních případech dojde buď k přepnutí na fázi 2, při poptávce levého odbočení VC, nebo dojde automaticky k fázovému přechodu do fáze 3. Pro fázi 6 platí obdobné logické i časové podmínky jako pro fázi 5, tedy může být prodloužena pouze tehdy, budou-li detektory pro levé odbočení signální skupiny VG stále vyhodnocovat požadavek na toto prodloužení. V opačném případě může dojít k přepnutí do fáze druhé, nebo při nesplnění daných podmínek bude systém preferovat přechod do první fáze (Obrázek 43).

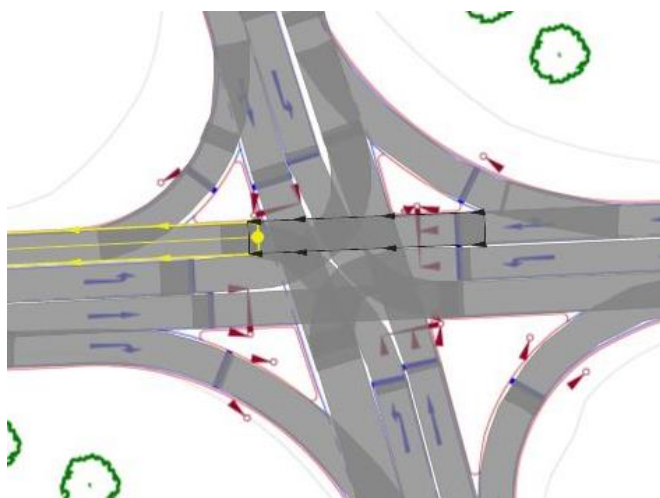


Obrázek 43 - Základní princip vývojového diagramu - fáze 5 a 6

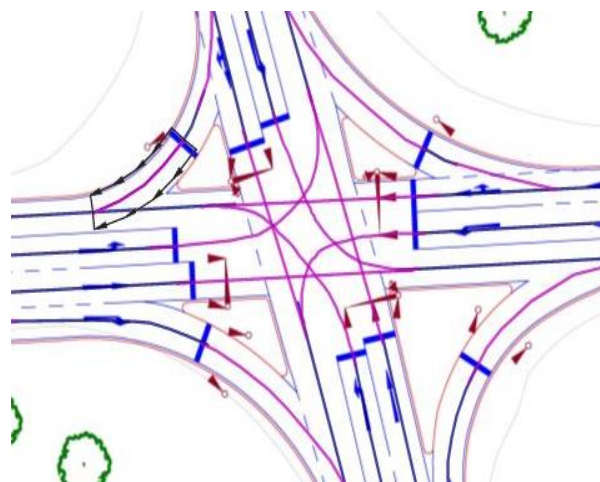
3.6.9 Využití programu PTV VISSIM

Pro efektivnější vyhodnocení návrhu byl stanoven, jako jeden z cílů této diplomové práce, ověření návrhu v simulačním prostředí VISSIM. VISSIM je softwarem společnosti PTV a je zaměřen na tvorbu mikrosimulačních modelů dopravy. Analytické nástroje v tomto softwaru představují účinný nástroj pro dopravní plánování a optimalizaci dopravy. Program VISSIM byl pro účely této diplomové práce zapůjčen přímo od společnosti PTV ve formě studentské licence. Dopravní model byl proveden pro druhou variantu návrhu a to především z důvodu porovnání efektivity záložního, pevného řízení křižovatky a dynamického návrhu, jehož řízení respektuje vývojový diagram uvedený a popsany v předchozí kapitole. Dále se nabízí možné porovnání vyhodnocené úrovně kvality dopravy dle TP 235 s výsledky změřenými v průběhu simulace programem VISSIM, ať již pro pevné, či dynamické řízení křižovatky.

Vytvoření mikrosimulačního modelu je podmíněno obecných krokům, které jsou pro tvorbu modelu nezbytné. Nutností je naměření vstupních dat pro model, které se do modelu zadají a validují. Po vytvoření modelu je stěžejní chování modelu kalibrovat, až do té doby, než model co nejvíce odpovídá svým fungováním realitě. Teprve po úspěšné kalibraci nám model poskytne relevantní výsledky a výstupy.



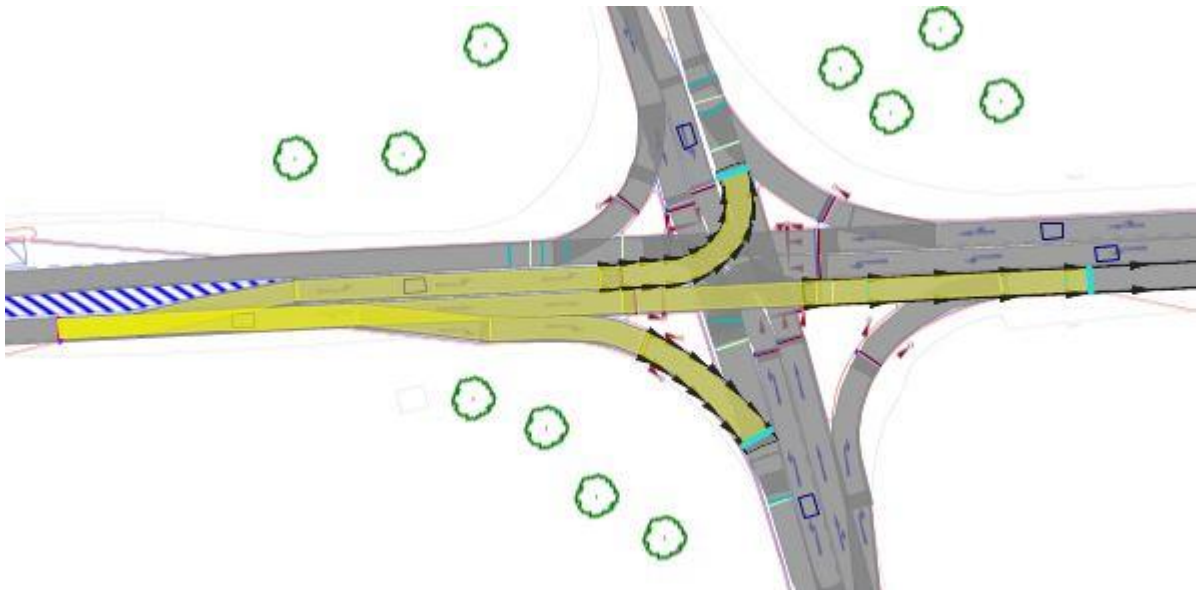
Obrázek 44 - Návrh "linků" v programu VISSIM



Obrázek 45 - Návrh spojnic v programu VISSIM

Software umožňuje vložení pozadí ve formátu DWG, což je výstup programu Autocad, nebo je možné vložit pozadí ve formě JPG. Na základě navrhnuté situace (příloha 2) byla v programu vytvořena infrastruktura, tedy samotné linky a jejich konektory (Obrázek 44 a 45). Typ dopravního chování pro linky a spojnice je v modelu zvolen "Urban," což je typ, který respektuje model Wiedemann 74 a doporučen pro komunikace v intravilánu.

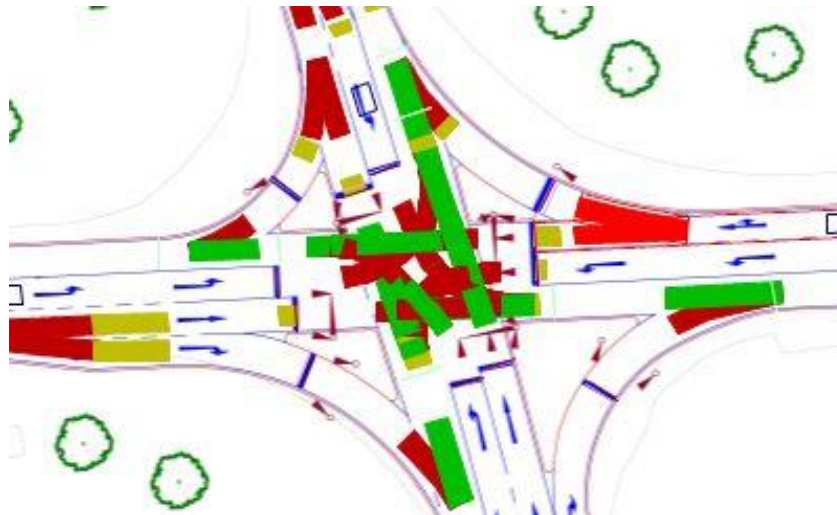
Vstupem pro model křižovatky pevného a dynamického způsobu řízení na křižovatce Kunratická spojka – Vídeňská byly použity naměřené hodnoty z dopravního průzkumu, popsáném v kapitole 2.5, konkrétně tedy hodnoty špičkové hodiny což odpovídá naměřeným intenzitám mezi 16 a 17 hodinou. Pro dynamické řízení byl vytvořen i model pro intenzity výhledové v roce 2033, které byly vypočítány v kapitole 2.7. Intenzity, tedy vstupy vozidel, byly do modelu vkládány v 5 minutových intervalech. Skladba dopravního proudu byla vytvořena taktéž na základě dat z naměřeného dopravního průzkumu. Následně je potřeba vytvořit směrování pohybů jednotlivých vozidel křižovatku, což se v programu označuje jako tzv. routování a je možné jej opět vkládat poměrově v časových intervalech, což pro tento model byly zvoleny intervaly 5. minut (Obrázek 46).



Obrázek 46 - Příklad návrhu trasování pohybů vozidel křižovatkou

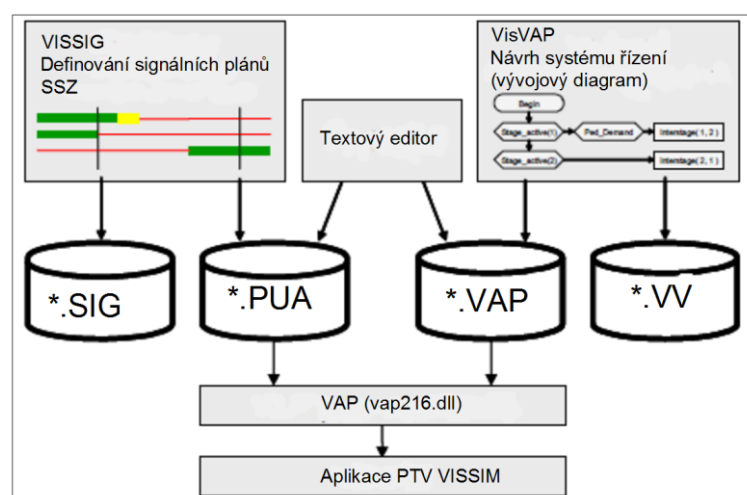
Pro vytvoření realistického modelu je také nutné nastavit redukované rychlostní zóny, kterými se určují nižší rychlosti průjezdů vozidel křižovatkou, jelikož pochopitelně platí, že rychlosti jsou rozdílné pro vozidla jedoucí přímo a vozidla odbočující.

Nezbytným krokem je určení konfliktních zón, které určují přednosti jízdy pro veškeré konfliktní zóny v křižovatce. V každém relevantním konfliktním bodě, respektive místě křížení dvou linek, je potřeba určit, dle pravidel silničního provozu, nadřazené proudy, tedy proudy, které v dané situaci budou mít přednost v jízdě a proudy podřazené. Vytvořené konfliktní zóny pro mikrosimulační model řešené křižovatky jsou znázorněny na obrázku 47, kde zeleně jsou označeny konflikty s předností.



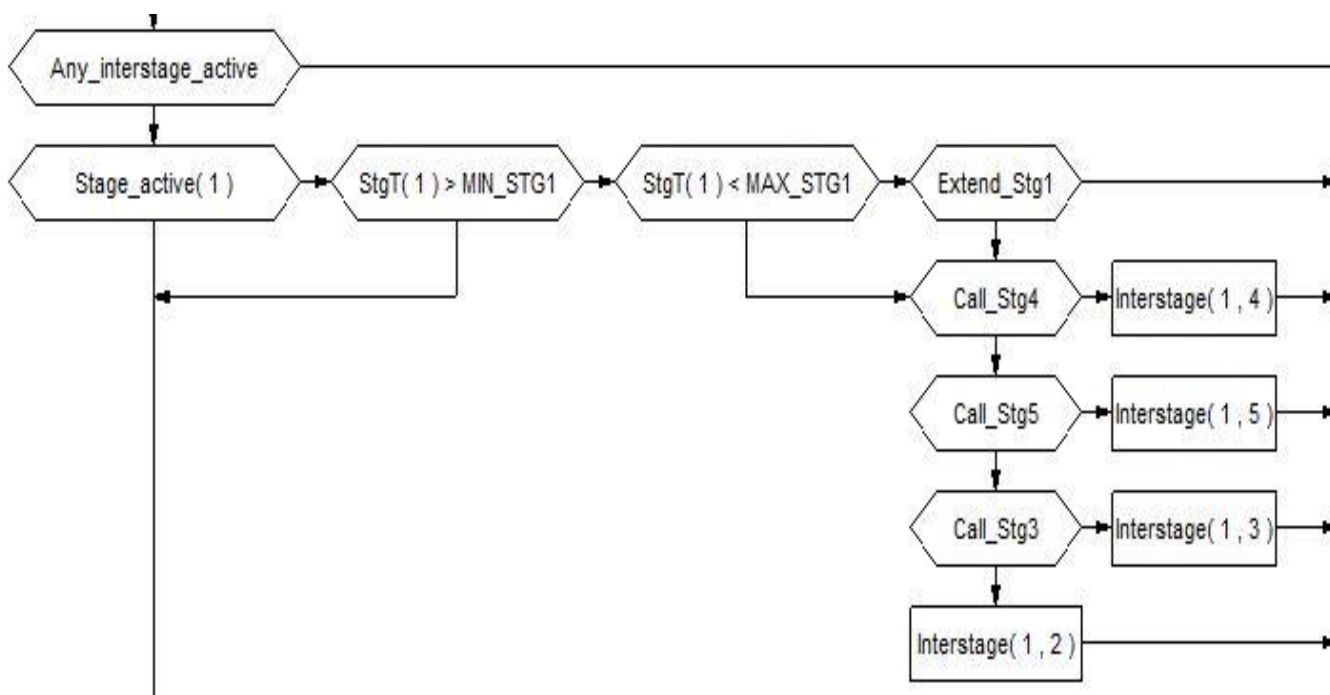
Obrázek 47 - Tvorba konfliktních zón

Posledním hlavním krokem je umístění SSZ do situace. Bloky SSZ se umísťují do míst stopčáry a následně se jim přiřazují odpovídající signální skupiny. Pro variantu pevného řízení křižovatky byl v kartě „Signal control“ vytvořen signální plán, který koresponduje s návrhem signálního plánu v programu LISA+ (Obrázek 38 či kapitola 3.4) Pro dynamické řízení signálního plánu je nutné v přidružené aplikaci programu VISSIM, a sice aplikaci VISSIG nutné nadefinovat všechny možné dílčí fáze a fázové přechody, které mohou v rámci dynamického řízení nastat. Výstupem je soubor PUA, což je s řídicí logikou obsahujícím souborem koncovky VAP, nezbytný vstupní soubor programu VISSIM pro spuštění dynamického řízení systému. Princip hierarchie vstupních souborů je zřejmý z obrázku 48.



Obrázek 48 - Princip hierarchie vstupních souborů pro dynamické řízení [10]

Soubor s koncovkou VAP, tedy soubor obsahující veškerou řídicí logiku a vstupní parametry pro dynamické řízení křižovatky, byl vytvořen v programu VISVAP, což je další modulem programu VISSIM, sloužící právě pro tvorbu logických a časových podmínek mikrosimulačních modelů. Ve vývojovém diagramu byla použita logika obdobná logice uvedené v kapitole 3.6.8., pouze tyto podmínky musely být přepsány do syntaxe určené pro program VISVAP.



Obrázek 49 - Část vývojového diagramu v programu VISVAP pro fázi 1

Příklad podmínek pro fázi jedna je znázorněn na obrázku 49, kde:

StgT(1) > MIN_STG1 dodržení podmínky minimální doby fáze

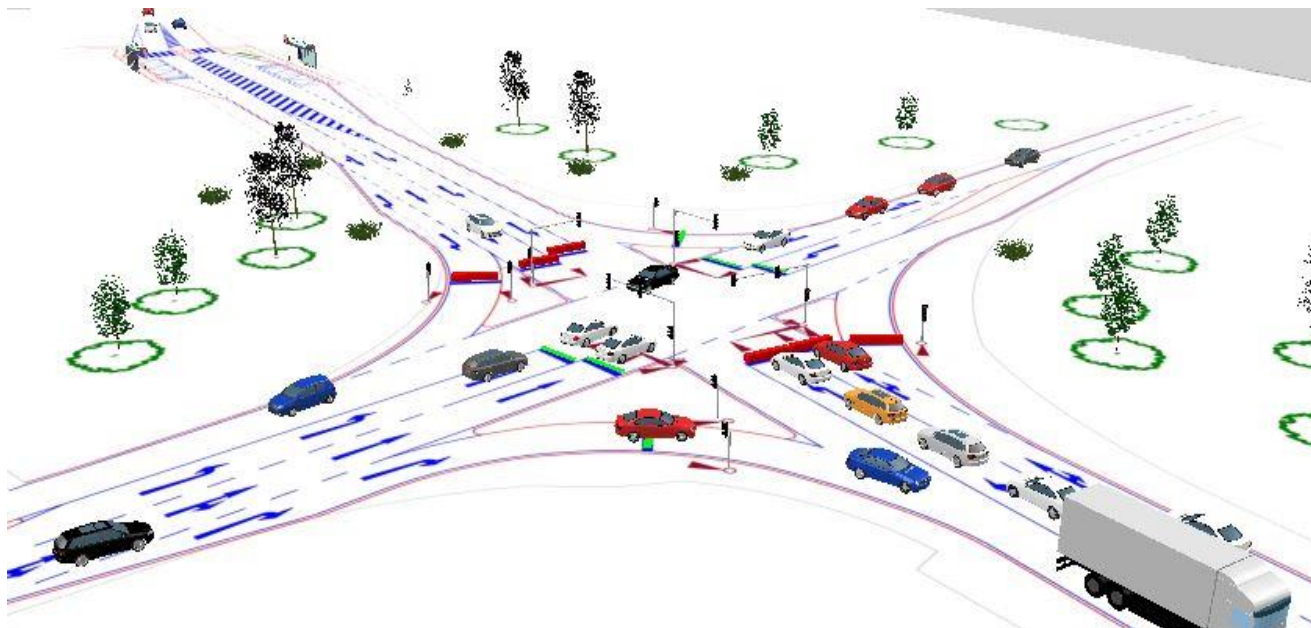
StgT(1) < MAX_STG1 dodržení podmínky maximální doby fáze/prodloužení

Extend_Stg1 logická podmínka pro prodloužení fáze, kde je částí parametru
 Extend_Stg1 = (Headway(2) <= MAX_GAP2) OR (Headway(7) <= MAX_GAP2), tedy podmínky pro splnění časových mezer po sobě jedoucích vozidel dané dopravní skupiny.

Call_Stg4 výzva pro zařazení fáze 4, kde je tato alternativa podmíněna parametrem obsazenosti kongesční smyčky, a sice Call_Stg4 = (Occupancy (8) > 1)

Návrh celého vývojového diagramu a tedy vstupní logiky pro mikrosimulační model je zobrazen v příloze 9. Po vytvoření těchto nezbytných souborů pro fungování dynamického řízení je možné zahájit simulaci a začít s validací a následnou kalibrací modelu.

Validací a kalibrací modelu se především rozumí podrobné zkoumání dopravních proudů a jejich chování, ať již v konfliktních zónách, tak i například při zařazování se do řadicích pruhů. U konfliktních zón často dochází k problému, že vozidla v modelu se nechovají přirozeně a dochází k dopravním konfliktům, či naopak dodržují až přehnaně velkou bezpečnostní vzdálenost, čímž značně omezují plynulost dopravního proudu. Je nutností proto tyto případné nesrovnalosti identifikovat a přizpůsobit aby se model choval co nejbližší reálnému provozu. Výsledný návrh 3D dopravního mikrosimulačního modelu je zobrazen na obrázku 50.



Obrázek 50 - Ukázka ze simulačního návrhu

3.6.10 Výstupy simulace

Kromě 3D modelu, který znázorňuje reálné chování dopravní situace při daném nastavení vstupních parametrů, je další hlavním výstupem simulace střední doba zdržení, kterou můžeme dle TP 235 [17] převést na úroveň kvality dopravy. Vyhodnocení doby zdržení se vytvoří modulu „Travel time“ v programu VISSIM, kde je potřeba nastavení jednotlivých průjezdů křižovatkou tak, aby hodnota zdržení byla relevantní. VISSIM dokáže tato data exportovat do souboru, který je čitelný např. programem Microsoft Excel. Výsledné hodnoty naměřené programem VISSIM jsou znázorněny v příloze X a také vyhodnoceny v tabulce 13 a 14.

Ve spouštěcích parametrech simulace, byla délka jednoho cyklu zvolena 4 200 sekund, což je o 600 sekund více, než měřená špičková hodina. Pro správný chod a modelu a tedy i vypovídajícím výstupům je nutno zavést určitý „náběhový čas“, tedy čas, kdy se křižovatka zaplňuje účastníky dopravního provozu a začíná se z pohledu mikrosimulace chovat stejně jako by se chovala ve skutečnosti. Pro těchto prvních 600 vteřin byly použity také hodnoty intenzit naměřené při dopravním průzkumu.

3.6.11 Kapacitní posouzení

Signální skupina	Doba zelené [s]	Kapacita Cv [pvoh/h]	Rezerva %	Zdržení t_w [s]	ÚKD
VA	29	580	23	38,8	C
VB	49	980	56	16,2	A
VC	24	480	22	44,2	C
VD	65	1300	72	7,2	A
VE	38	760	43	24,8	B
VF	36	720	64	22,5	B
VG	25	500	46	33	B
Kapacita levého odbočení ovlivněného protisměrem					
KA	29	257	87	24,5	B
KE	38	343	37	30,8	B
KF	25	426	96	25,7	B
Stanovená úroveň kvality dopravy: C – uspokojivý stav					

Tabulka 12 - Kapacitní posouzení druhé varianty - pevný signální plan dle TP 235

Signální skupina	Doba zelené [s]	Zdržení t_w [s]	ÚKD
VA	28	30,47	B
VB	53	23,47	B
VC	24	65,16	D
VD	66	24,49	B
VE	37	38,23	C
VF	26	22,68	B
VG	26	40,14	C
Kapacita levého odbočení ovlivněného protisměrem			
KA	28	43,04	C
KE	26	23,15	B
KG	37	42,72	C
Stanovená úroveň kvality dopravy: D – dostatečný stav			

Tabulka 13 - Kapacitní posouzení druhé varianty - pevný signální plan dle VISSIM

Signální skupina	Zdržení t_w [s]	ÚKD
VA	18,58	A
VB	15,87	A
VC	39,43	C
VD	18,29	A
VE	27,72	B
VF	32	B
VG	40,61	C
Kapacita levého odbočení ovlivněného protisměrem		
KA	24,03	B
KE	45,95	C
KG	44,38	C
Stanovená úroveň kvality dopravy: C – uspokojivý stav		

Signální skupina	Zdržení t_w [s]	ÚKD
VA	23,08	B
VB	50,82	D
VC	78,55	E
VD	29,96	B
VE	36,57	C
VF	95,37	E
VG	118,44	E
Kapacita levého odbočení ovlivněného protisměrem		
KA	30,47	B
KE	64,77	D
KG	125,91	E
Stanovená úroveň kvality dopravy (rok 2033): E – nestabilní stav		

Tabulka 14 – Kapacitní posouzení druhé varianty - dynamické řízení pro intenzity naměřené v roce 2013 a 2033.

Varianta		VA	VB	VC	VD	VE	VF	VG	KA	KE	KG
Varianta 1 (TP)	Zdržení [s]	41,8	13,7	44,2	6,8	25,8	X	>120	25,1	25,7	64,7
	ÚKD	C	A	C	A	B		E	B	B	D
Varianta 2 (TP)	Zdržení [s]	38,8	16,2	44,2	7,2	24,8	22,5	33	24,5	30,8	25,7
	ÚKD	C	A	C	A	B	B	B	B	B	B
Varianta 2 pevný signální plán (VISSIM)	Zdržení [s]	30,47	23,47	65,16	24,49	38,23	22,68	40,14	43,04	23,15	42,72
	ÚKD	B	B	D	B	C	B	C	C	B	C
Varianta 2 dynamické řízení (VISSIM)	Zdržení [s]	18,58	15,87	39,43	18,29	27,72	32	40,61	24,03	45,95	44,38
	ÚKD	A	A	C	A	B	B	C	B	C	C

Tabulka 15 - Výsledné porovnání variant

Závěr

Tématem diplomové práce je návrh dynamického způsobu řízení na křižovatce Kunratická spojka - Vídeňská. Před samotným vypracováním variantních řešení, došlo k podrobnějšímu seznámení s územím a detailnímu prozkoumání řešené lokality. Po zjištění širších dopravních vztahů a vyhodnocení dopravního průzkumu, bylo pro eliminaci hlavních problémů, kterými jsou vysoká míra nehodovosti, nepřehlednost a nedostačující kapacita křižovatky, zhotoveno řešení ve dvou variantách.

Varianta první, u které je cílem dosáhnout především bezpečnější, přehlednější a plynulejší situace, upravuje dopravní uzel na křižovatku řízenou světelným signalizačním zařízením. Stavební uspořádání je navrženo tak, aby byla co nejvíce eliminována rizika z pohledu bezpečnosti současného stavu křižovatky. Díky usměrnění dopravních proudů pomocí dopravních ostrůvků a vodorovného dopravního značení je pohyb ve vozovce srozumitelnější a lépe předvídatelný pro všechny účastníky silničního provozu. Kapacitním výpočtem bylo potvrzeno, že návrh efektivně zvyšuje úroveň kvality dopravy. Tato varianta upřednostňuje zvýšení přehlednosti a bezpečnosti v řešeném místě a je navržena pro splnění kapacity křižovatky, ovšem je brána především jako varianta úsporná.

Druhý situační návrh křižovatky je bezesporu návrh velkorysejší a eliminuje některá další problémová místa. Tato varianta volí řešení také pomocí řízení křižovatky světelným signalizačním zařízením. Za využití softwaru LISA+ bylo celkem navrženo šest fází, ze kterých jsou tři fáze hlavní a zbylé tři fáze jsou fázemi doplňkovými fungujícími především na výzvu. Pro křižovatku byl nejdříve vytvořen pevný signální plán, který slouží jako plán záložní. Hlavní systémem řízení je řízení dynamické, tedy teoreticky i malé dopravní výkyvy mohou ovlivnit řídicí systém. Kvůli těmto požadavkům musí být umístěny v křižovatce detekční zařízení. V předkládané variantě byl zvolen způsob detekce především pomocí indukčních smyček, které jsou umístěny v jednotlivých řadicích pruzích tak, aby co nejlépe mohly detekovat danou situaci. Díky detekci je systém schopný každou sekundu aktualizovat informace o dopravní situaci a zároveň reagovat možnou změnou sledu fází, případně maximalizací délky signálu volno pro vytížený dopravní proud, na úkor méně vytíženého proudu. Dále je navržena preference autobusů MHD pomocí infračervených majáčků. Pro celý tento systém byl navržen algoritmus řízení, který je vyjádřen vývojovým diagramem, kde jsou definovány jednotlivé logické a časové podmínky. Další hlavní cíl této diplomové práce byl splněn vytvořením mikrosimulačního modelu, který byl vytvořen pomocí softwaru PTV VISSIM. Osobně vnímám využití těchto programů při optimalizaci dopravního proudu, jako velice efektivní, jelikož při správné validaci a kalibraci modelu je opravdu možné vyhodnocovat, jak se bude dopravní situace vyvíjet do budoucna či při aplikování různých typů změn ovlivňujících dopravní situaci. A i když jednoznačně tato diplomová práce je pouze koncepčním návrhem optimalizace a nelze ji považovat za jakoukoliv část projektové dokumentace, vnímám velice pozitivně, že byly

tyto varianty doplněny mikrosimulačním modelem, jelikož dle mého názoru, studenti málo využívají možnosti použití těchto inženýrských nástrojů moderní doby ve svých studentských závěrečných pracích.

Pomocí mikrosimulačního modelu bylo provedeno také vyhodnocení zdržení vozidel z čehož lze určit i úroveň kvalitu dopravy a vzájemně porovnat s ostatními návrhy a výpočty např. dle technických podmínek. Z výsledků je patrné, že křižovatka kapacitně vyhovuje a že navrhované varianty slouží jako efektivní zlepšení dopravní situace. Je ovšem nutné zdůraznit, že při stávajícím trendu růstu dopravy by křižovatka v horizontu 20 let potřebovala další, rozsáhlejší změny pro splnění kapacit. V tomto případě se nabízí jako řešení případný obchvat Kunratic, turbo okružní křižovatka, rozšíření ulice Vídeňské nebo, v extrémním případě, i mimoúrovňové křížení. Dalším možným aspektem pro zlepšení budoucí situace může být i plánovaná trasa metra D, která vede skrze Prahu 4. Obyvatelé této městské části si slibují snížení automobilové intenzity, což by mělo i pozitivní vliv na řešenou křižovatku Kunratická spojka Vídeňská. Obecně lze tento pozitivní vliv metra na pokles intenzit IAD potvrdit, nicméně bez důkladných analýz, prognóz a modelů vývoje dopravy je tento argument spíše spekulativní. Dále dle naměřených výsledků můžeme konstatovat, že dynamické řízení je nejefektivnější způsob řešení z porovnávaných variant, jelikož došlo ve většině případů ke zvýšení úrovně kvality dopravy. Celkové zdržení kleslo o 16 % a i při 3D vizualizaci dopravního proudu je evidentní, že křižovatka působí při dynamickém řízení nejplynulejším dojmem. Z těchto důvodů a při porovnání s ostatními posuzovanými variantami, jednoznačně doporučuji návrh dynamického řízení jako nejvhodnější způsob optimalizace křižovatky Kunratická spojka – Vídeňská.

Seznam použité literatury a zdrojů

- [1] ČSN 73 6110: Projektování místních komunikací, 2006.
- [2] Mapový podklad [online]. Mapy.cz dostupný z WWW: <<http://www.mapy.cz>>.
- [3] Technická správa komunikací Praha [online]. Ročenka 2011. Dostupné z WWW: <<http://www.tsk-praha.cz/rocenka/webbooks/Rocenka2011CZ/index.html>>.
- [4] Dopravní podnik hlavního města Prahy [online]. Jízdní řády. Dostupné z WWW: <<http://spojeni.dpp.cz/LinesForm.aspx?tt=PID>>.
- [5] Databáze Policejního prezidia České republiky.
- [6] Jednotná dopravní vektorová mapa [online]. Dopravní nehody. Dostupné z WWW: <<http://www.jdvm.cz/pcr>>.
- [7] TP 189 – Stanovení intenzit dopravy na pozemních komunikacích (II. vydání), EDIP s.r.o., 2012.
- [8] Podklady k předmětu Provoz a projektování místních komunikací, p10, 2012
- [9] TP 234 – Posuzování kapacity okružních křižovatek, EDIP s.r.o., 2011.
- [10] Podklady k předmětu Dopravní simulace, p01, 2014
- [11] TP 225 – Prognóza intenzit automobilové dopravy (II. vydání), 2012.
- [12] ČSN 73 6102: Projektování křižovatek na pozemních komunikacích, 2007.
- [13] TP 81 – Navrhování světelných signalizačních zařízení pro řízení provozu na pozemních komunikacích (II. vydání), Centrum dopravního výzkumu, 2006.
- [14] ČSN EN 12899: Stálé svislé dopravní značení, 2008.
- [15] ČSN 73 6021: Světelná signalizační zařízení – Umístění a použití návěstidel, 1994.
- [16] Podklady k předmětu Teorie provozu na pozemních komunikacích, p09a, 2012.
- [17] TP 235 – Posuzování kapacity světelně řízených křižovatek, EDIP s.r.o., 2011.
- [18] Oficiální web městské části Praha - Kunratice [online]. Historie a současnost. Dostupné z WWW: <<http://praha-kunratice.cz/historie-soucasnost>>
- [19] Software TRALYS [online]. Dostupné z WWW: <<http://tralys.cz/>>.

- [20] Archiv autora (všechny neoznačené obrázky).
- [21] Mapa okružních křižovatek v Praze [online]. Dostupné z WWW: < http://d2051.fsv.cvut.cz/software/mapaok/OK_A5/index.html>.
- [22] Územní plán hlavního města Prahy - Výkresy územního plánu hl. m. Prahy [online]. Dostupné z WWW: < <http://mpp.praha.eu/app/map/VykresyUP/>>
- [23] Rozhodnutí NSS - Anonymizovaná verze rozhodnutí [online]. Dostupné na WWW http://www.nssoud.cz/files/SOUDNI_VYKON/2013/0001_4Aos_1300125A_prevedeno.pdf

Použitý software

Microsoft Word 2007

Microsoft Excel 2007

Autodesk AutoCad 2012

AutoTurn 8.1 pro AutoCad 2012

TRALYS

VISSIM

VISVAP

LISA+

Seznam příloh

- 1) Situace – varianta 1
- 2) Situace – varianta 2
- 3) Fázové přechody – varianta 1
- 4) Fázové přechody – varianta 2
- 5) Výsledky naměřené programem VISSIM – pevný signální plán
- 6) Výsledky naměřené programem VISSIM – dynamické řízení
- 7) VISVAP – kompletní vývojový diagram pro dynamické řízení systému