



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA DOPRAVNÍ

Jan Tesař

*Návrh světelně řízené křižovatky Kukulova - Roentgenová
v Praze*

Bakalářská práce

2020

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

děkan

Konviktská 20, 110 00 Praha 1



K620..... **Ústav dopravní telematiky**

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Jan Tesař

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

B 3710 – ITS – Inteligentní dopravní systémy

Název tématu (česky): **Návrh světelně řízené křižovatky Kukulova -
Roentgenová v Praze**

Název tématu (anglicky): The Design of Traffic Control at the IP Kukulova -
Roentgenova in Prague

Zásady pro vypracování

Při zpracování bakalářské práce se řiďte následujícími pokyny:

- Analýza současné dopravní situace a širších dopravních vztahů na posuzované křižovatce včetně ověření kapacity neřízené křižovatky.
- Provedení dopravního průzkumu na křižovatce a analýza dostupných DI dat včetně směrových vztahů a řešení MHD.
- Návrh situačního řešení světelně řízené křižovatky včetně posouzení účelnosti dle ČSN 736102 a návrhu pro územní řízení dle T P81.
- Ověření a zhodnocení návrhu řízení pomocí vhodného simulačního nástroje VISSIM včetně kapacitního posouzení řízené křižovatky dle platných TP 235.



Rozsah grafických prací: dle požadavků vedoucího bakalářské práce

Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)

Seznam odborné literatury: TP 81 - Zásady pro navrhování světelných signalizačních zařízení na pozemních komunikacích II. vydání
Stanovení intenzit dopravy na pozemních komunikacích (II. vydání) ISBN 978-80-87394-06-9
TP 235 Posuzování kapacity světelně řízených

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Tomáš Tichý, Ph.D., MBA**

Datum zadání bakalářské práce: **1. října 2019**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání bakalářské práce: **10. srpna 2020**
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

Ing. Zuzana Bělinová, Ph.D.
vedoucí
Ústavu dopravní telematiky



doc. Ing. Pavel Hrubeš, Ph.D.
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.

Jan Tesař
jméno a podpis studenta

V Praze dne 1. října 2019

PODĚKOVÁNÍ

Mé poděkování patří všem, kteří mi poskytli podklady k vypracování této bakalářské práce. Zvláště pak panu doc. Ing. Tomáši Tichému, Ph.D., MBA za pomoc při výběru tématu a za odborné vedení. Dále pak děkuji Ing. Jiřímu Růžičkovi za cenné rady a čas věnovaný konzultacím nejen rámci tvorby bakalářské práce, ale v průběhu celého studia. Nesmím taky zapomenout na Ing. Jiřího Součka, Ing. Davida Petra a celý kolektiv ze společnosti ETC za rady a podklady pro tvorbu této práce. Obrovský dík patří mé rodině, která mě psychicky i materiálně podporovala po celou dobu studia.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou 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

ABSTRAKT

Předmětem této bakalářské práce je návrh světelného řízení stykové křižovatky Kukulova - Roentgenová v Praze, která byla původně neřízená. Na křižovatce byly zjištěny mnohé problémy, pramenící z nevhodného způsobu řízení a nevhodného stavebního uspořádání křižovatky. Tato práce obsahuje podrobnou analýzu křižovatky zahrnující analýzu současného stavu, širší dopravní vztahy, popis jednotlivých ramen křižovatky a jejích parametrů. Dále zpracování a vyhodnocení dopravního průzkumu a posouzení účelnosti dle platných TP 81. Poté je vypracován celý návrh, a to návrh stavebního řešení, návrh pevného signálního plánu a jeho ověření a zhodnocení. Navržené řešení má za cíl zlepšení dopravní situace na této křižovatce - plynulosti a bezpečnosti.

KLÍČOVÁ SLOVA

Řízení na křižovatce, světelné signalizační zařízení, pevný signální plán, křižovatka

ABSTRACT

The subject of this bachelor thesis is to design a traffic control of the intersection Kukulova - Roentgenova in Prague, that was originally uncontrolled. Many problems were detected there, because of missing traffic control system and inappropriate building arrangement. This thesis contains a detailed analysis of the intersection including the analysis of the current state, wide traffic relations, description of the individual arms of the intersection and its parameters. Further processing and evaluation of traffic survey and assessment of effectiveness according to valid TP 81. Then the whole proposal is elaborated, namely the design of the construction solution, the proposal of a fixed signal plan and its verification and evaluation. The proposed solution aims to improve the traffic situation at this junction - fluency and safety.

KEYWORDS

Control of the intersection, traffic lights, invariable traffic control system, crossroad

Obsah

Seznam použitých zkratk	3
Úvod	4
1. Analýza současného stavu	6
1.1. Širší dopravní vztahy	6
1.2. Popis křižovatky	6
1.2.1. Rozhledové trojúhelníky	7
1.2.2. Rameno Kukulova - západ	8
1.2.3. Rameno Roentgenova	9
1.2.4. Rameno Kukulova - východ	10
2. Dopravní průzkum	12
2.1. Měření	12
2.2. Vyhodnocení dopravního průzkumu	12
2.3. Výsledky průzkumu	12
2.3.1. Ranní špička	13
2.3.2. Polední sedlo	14
2.3.3. Odpolední špička	15
2.4. Shrnutí	16
2.4.1. Ověření s intenzitami od TSK	16
3. Posouzení účelnosti SSZ	17
3.1. kritérium nehodovosti	17
3.2. kritérium intenzity provozu z hlediska vozidel	18
3.2.1. Kritérium intenzity dle TP 81	18
3.2.2. Kapacitní posouzení dle TP 188	19
3.3. kritérium intenzity provozu z hlediska chodců	19
3.4. kritérium plynulosti jízdy vozidel městské hromadné dopravy	20
3.5. kritérium místa zvláštního zřetele	21
3.6. shrnutí	21
4. Návrh stavebního řešení	22
4.1. stávající řešení	22
4.2. navrhované řešení	22
4.2.1. návrh od TSK (rok 2008)	22

4.2.2.	finální návrh	23
4.2.2.1.	rameno Kukulova (V)	23
4.2.2.2.	rameno Kukulova (Z)	23
4.2.2.3.	rameno Roentgenova	24
4.2.2.4.	shrnutí	24
5.	Návrh signálního plánu	25
5.1.	signální skupiny	25
5.2.	mezičasy	25
5.3.	návrh a sled fází	26
5.4.	tvorba cyklu	26
5.4.1.	fázové přechody	27
5.4.2.	saturované toky	27
5.4.3.	výpočty parametrů cyklu	28
5.4.3.1.	ranní špička	28
5.4.3.2.	polední sedlo	28
5.4.3.3.	odpolední špička	29
5.5.	kapacitní posouzení	29
5.5.1.	ranní špička	29
5.5.2.	polední sedlo.....	30
5.5.3.	odpolední špička	30
6.	Ověření a zhodnocení návrhu	32
6.1.	software VISSIM	32
6.2.	tvorba modelu	32
6.3.	simulace a její vyhodnocení	34
6.4.	porovnání výsledků a zhodnocení návrhu	35
	Doporučení	37
	Závěr	38
	Seznam použitých zdrojů	39
	Seznam obrázků	40
	Seznam tabulek	41
	Seznam příloh	42

Seznam použitých zkratk

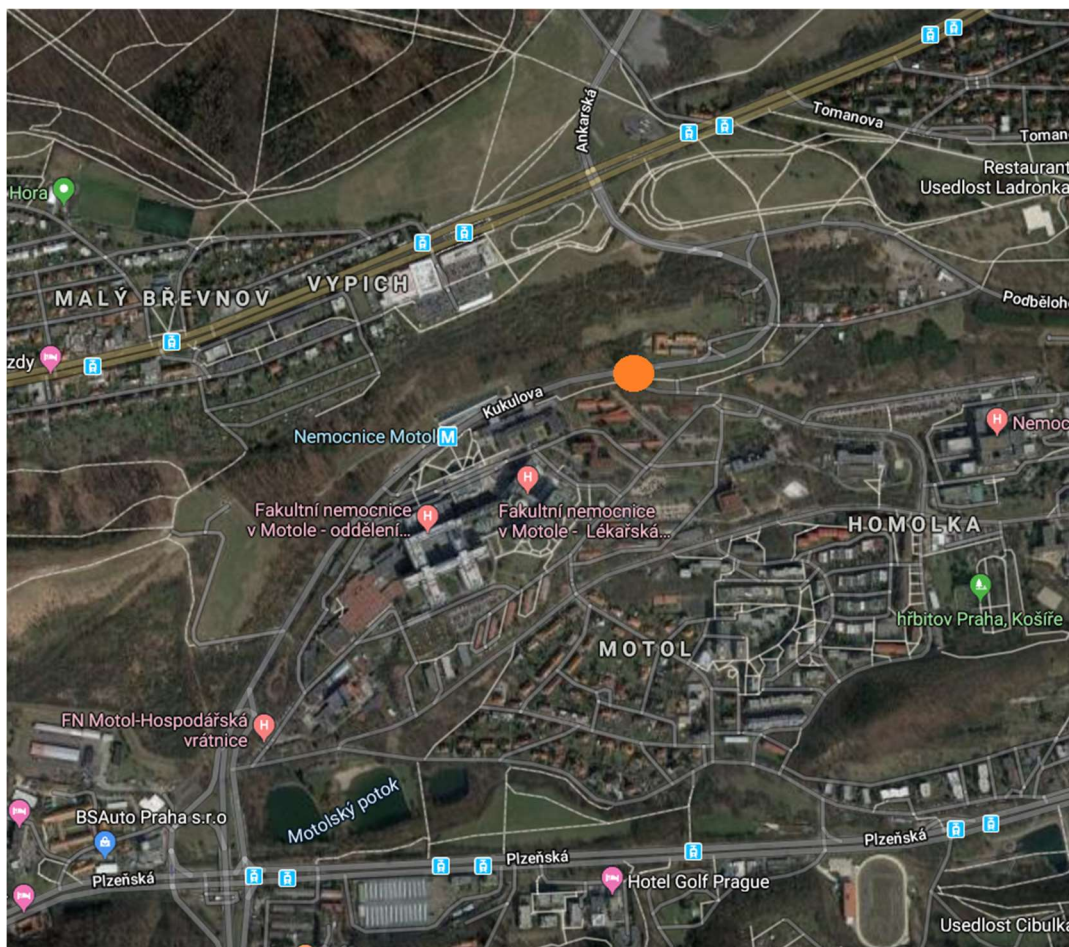
SSZ	světelné signalizační zařízení
FN	fakultní nemocnice
IZS	integrovaný záchranný systém
ZZS	zdravotnická záchranná služba
MHD	městská hromadná doprava
VDZ	vodorovné dopravní značení
TSK	technická správa komunikací
TP	technické podmínky
OS	osobní vozidla
NV	nákladní vozidla
TV	těžká nákladní vozidla
BUS	autobusy
RPDI	roční průměr denních intenzit
FP	fázový přechod
Č	červená
ČŽ	červeno-žlutá
Ž	žlutá
Z	zelená
JP	jízdní pruh
ÚKD	úroveň kvality dopravy
SW	software

Úvod

V této bakalářské práci se budu zabývat návrhem světelného signalizačního řízení s pevným signálním plánem na křižovatce Kukulova x Roentgenova. Křižovatka se nachází v západní části Prahy, konkrétně na pomezí městských částí Praha 5 a Praha 6 na ulici Kukulova, která je součástí „výpadovky“ na dálnici D5 ve směru na Plzeň. Komunikace, která spojuje pražské čtvrti Motol a Břevnov, směřuje od ulice Plzeňská kolem areálu FN Motol a stanice metra Nemocnice Motol na pražský Vypich.

Křižovatka se nachází na „spojnici“ ulic Bělohorská, Plzeňská a nájezdem na dálnici D5, a tím vlastně nahrazuje funkci chybějící radiály. Z toho důvodu jsou zde velmi vysoké intenzity. Ty, spolu se stavebním uspořádáním křižovatky, umístěním autobusových zastávek a chováním řidičů způsobují velká bezpečnostní rizika. V blízkosti křižovatky se nachází dvě významné pražské nemocnice - FN Motol a Nemocnice na Homolce, stanice metra a zároveň přes křižovatku projíždí velké množství autobusových linek. Z těchto důvodů je zde žádoucí vybudovat SSZ, především v zájmu bezpečnosti.

Křižovatka je tvořena třemi rameny. Ulice Kukulova zde tvoří dvě z nich, a to ty hlavní. Zbývajícím třetím ramenem je pak rameno jižní - ulice Roentgenova.



Obrázek 1: Poloha křižovatky a její okolí [1]

Cílem této práce je návrh řízení křižovatky se SSZ. V úvodní kapitole je zpracována rešeršní část - analýza současného stavu - počínaje širšími dopravními vztahy, přes výpočet rozhledových trojúhelníků a popis jednotlivých ramen až k celkově detailnímu popisu křižovatky. Ve druhé kapitole následuje shrnutí dopravního průzkumu intenzit - měření a jeho zpracování. Tato data jsou zpracována do tří hodinových intenzit - dle denní doby. Tyto intenzity jsou pak základem a vstupem pro následné výpočty a návrh. V další kapitole jsou posouzena veškerá kritéria účelnosti návrhu SSZ na křižovatce. Také je zde vyhotoveno kapacitní posouzení současné neřízené křižovatky dle platných TP188. Čtvrtá kapitole se věnuje stavebnímu řešení - je zde shrnuto to současné, popsáno navrhované řešení od TSK [17] a konečně popsáno celkové situační navržené v rámci této bakalářské práce. Pátá část této práce se pak již věnuje samotnému návrhu signálního plánu, a jeho parametrů. V rámci této kapitoly jsou vyhotoveny veškeré potřebné výpočty, navrženy signální skupiny a sestaven cyklus. Jsou sestaveny tři různé signální plány pro různou denní dobu. Tyto návrhy jsou pak v této kapitole kapacitně posouzeny dle platného TP188. V poslední, šesté kapitole je navrhované řešení ověřeno a zhodnoceno pomocí vhodného simulačního nástroje VISSIM.

1. Analýza současného stavu

1.1. Širší dopravní vztahy

Provoz na křižovatce je ovlivňován velkým množstvím faktorů. Hlavním z nich je chybějící Radlická radiála, která by provoz z dálnice D5 odváděla rovnou na městský okruh. V praxi to tedy znamená, že vozidla jedoucí ze západního směru po dálnici D5 do centra, popřípadě kamkoliv po Praze mají jen několik možností. První z nich je cesta po dálničním okruhu - D0, který ovšem není dokončený a tato možnost je tedy výhodná pouze při cestě na Jih. Druhou možností jsou ulice Plzeňská/Radlická, které ovšem nejsou na takové intenzity dopravy připraveny. Velká část řidičů si tedy vybírá variantu cesty po ulici Kukulova, kterou použijí jako jakousi „spojku“, po níž se dostanou na ulici Bělohorská, kde pokračují k Tunelovému komplexu Blanka a na vnitřní pražský okruh. Tento fakt spolu s místním provozem na této komunikaci tak způsobují přetížení kapacity komunikace Kukulova, a tedy i problémy vznikající na křižovatce s ulicí Roentgenovou.

Z místního hlediska je komunikace taktéž velmi důležitá, z ulice Kukulova je totiž situován hlavní vjezd do areálu Fakultní nemocnice v Motole, což způsobuje zvýšený provoz. V roce 2015 zde vznikla stanice metra Nemocnice Motol, což také způsobilo zvýšení provozu v návaznosti na zvýšení počtu autobusových linek projíždějících tímto úsekem za účelem lepší návaznosti na metro.

1.2. Popis křižovatky

Křižovatka je styková a ve stávajícím stavu na ní není zavedeno SSZ. Provoz je řízen svislým a vodorovným dopravním značením. Hlavní komunikací je ulice Kukulova, vedlejší ulice Roentgenova. Při vjezdu do křižovatky z ulice Roentgenova se řidiči řídí dopravní značkou „Dej přednost v jízdě“.



Obrázek 2: Současný stav křižovatky a názvy ramen [1]

Z obr. číslo 2 lze vyčíst uspořádání a názvy jednotlivých ramen.

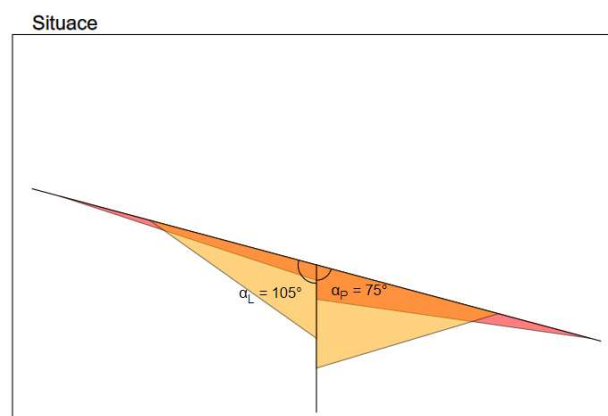
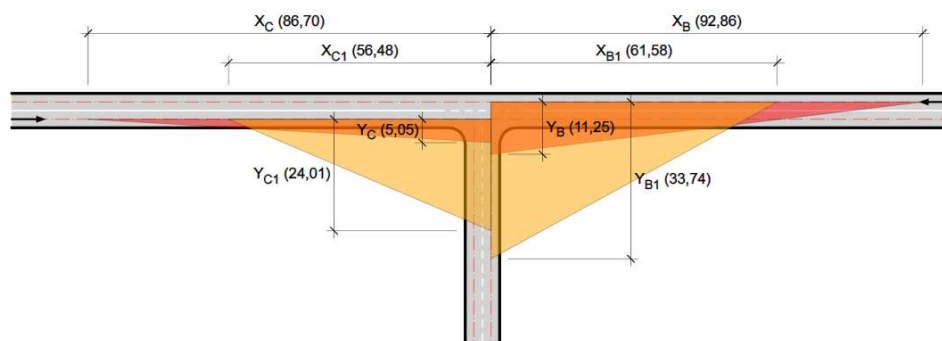
Stavební uspořádání je v současném stavu krajně nevyhovující a způsobuje značné potíže - hlavně pak řidičům, kteří musí dávat přednost. Pro řidiče jedoucí z vedlejší komunikace je napojení na hlavní komunikaci velmi náročné, což je způsobeno vysokými intenzitami. Řidiče toto uspořádání staví do nelehké situace - vjezd do křižovatky není z ulice Roentgenova směrově oddělen, tudíž se řidiči po přjetí přechodu řadí do dvou proudů podle toho, kam odbočují. Řidiči odbočující vlevo, kteří musí dávat přednost všem směrům, často čekají desítky vteřin, někteří i jednotky minut na správný okamžik, aby mohli do křižovatky vjet a odbočit. Provoz je ale tak silný, že správný okamžik nalézt prakticky nelze a vzniká zde velké množství zmatků, konfliktů a nebezpečných situací.

Důležité je také zmínit, že křižovatka leží blízko dvou významných pražských nemocnic, což v praxi znamená nárůst výskytu „občasných“ řidičů, kteří nejsou na takový provoz zvyklí a způsobuje jim problémy. Taktéž je v této křižovatce velký provoz jednotek IZS, hlavně pak ZZS.

V dalších podkapitolách se budu věnovat rozhledovým trojúhelníkům a popisu jednotlivých ramen křižovatky.

1.2.1. Rozhledové trojúhelníky

V rámci popisu křižovatky je také vhodné věnovat se rozhledovým poměrům, interpretovanými skrze rozhledové trojúhelníky. Pro výpočet rozhledových trojúhelníků byl použit software ROZHLED od společnosti EDIP. [2]



Obrázek 3: Rozhledové trojúhelníky [2]

Rozhledové poměry jsou patrné z obr. č. 3. Kompletní výpočtový protokol je přiložen v příloze č. 5.

1.2.2. Rameno Kukulova - západ

Toto rameno křižovatky je nejvíce problematické, proto se mu budu věnovat nejrozsáhleji. Současný stav návržení je velmi nevyhovující, což způsobuje mnohé problémy, které v této kapitole zmíním.

Vjezd i výjezd do (z) tohoto ramena jsou vedeny jednopruhově. Toto rameno vede směrem dolů k Nemocnici Motol, stanici metra Nemocnice Motol a dále na mimoúrovňovou křižovatku s ulicí Plzeňská.

Hlavním nedostatkem je nevhodné umístění autobusové zastávky MHD - Šafránecká (Na znamení), a to v obou směrech tohoto ramena. Větší potíže ovšem způsobuje zastávka na vjezdu do křižovatky - tato zastávka je umístěna velmi nevhodně, bezprostředně před křižovatkou, čímž způsobuje nemalé potíže řidičům. Pokud autobus v této stanici zastaví, způsobí překážku jak vozidlům na hlavní, kteří by správně měli zastavit za ním, čímž by se provoz na tomto vjezdu prakticky zastavil, tak vozidlům jedoucím z vedlejší komunikace, kterým zakryje výhled doleva. Tento fakt způsobuje nebezpečné situace, které zde vznikají, když začne kolona vozidel autobus předjíždět. Ten má pak velké problémy se zařazením do proudu vozidel. Tento problém také znamená nebezpečí pro chodce, protože vzniká defacto další pruh, a tedy další kolizní bod. Na obrázcích 4 a 5 je viditelná situace na křižovatce.



Obrázek 4: Rameno Kukulova (Z) - pohled vjezdu

[zdroj vlastní]



Obrázek 5: Rameno Kukulova (Z) - pohled výjezdu

[zdroj vlastní]

Nejhorší situace nastane v okamžiku, kdy autobus zastavuje v zastávce i v opačném směru. Zastávky sice nejsou přímo naproti sobě, ale pokud se zde sejdou dva kloubové autobusy, prostor na nedovolené „objetí“ stanovujícího autobusu je jen pro jeden směr. Poté zde vznikají velké zmatky, protože ani jednomu proudu vozidel se nechce čekat. Následně dochází k nedovolenému a nebezpečnému objíždění autobusu, což můžeme vidět na obrázku č. 6.



Obrázek 6: Rameno Kukulova (Z) - nedovolené objíždění stanicujícího autobusu [zdroj vlastní]

Na tomto rameni se v době špičky tvoří pomalu jedoucí kolony vozidel, patrné z obr. 4 a 5. Kolony se mnohdy táhnou již od asi 500 metrů vzdáleného chodeckého SSZ u stanice metra Nemocnice Motol. Tento stav navíc zhoršuje nevhodně umístěná zastávka a chování řidičů jedoucích z vedlejší komunikace, kteří často tento směr omezují. Řidiči zde nabírají zhruba minutové zdržení. Tento stav je velmi nevyhovující a je jako časovaná bomba. Počet nebezpečných situací je zde velmi vysoký, tudíž pokud by se situace nevyřešila, dají se očekávat další nehody.

1.2.3. Rameno Roentgenova

Následující rameno je ramenem vedlejší komunikace. Vede od úrovňové neřízené křižovatky s ulicí Weberova kolem Nemocnice Na Homolce a autobusové zastávky Na Šafránci a ústí v námi řešené křižovatce.

Intenzity jsou z tohoto směru sice nižší, je ale nutné zmínit, že vzhledem k velmi vysokým intenzitám na hlavní komunikaci mají řidiči velké problémy s projetím křižovatkou.



Obrázek 7: Rameno Roentgenova - pohled vjezdu
[zdroj vlastní]



Obrázek 8: Rameno Roentgenova - pohled výjezdu
[zdroj vlastní]

Vzhledem k tomu, že tato komunikace je jednou ze dvou, která spojuje dvě významné pražské nemocnice, dá se zde očekávat vyšší podíl tzv. občasných řidičů - např. důchodců jedoucích do nemocnic. Hlavně pro ně je pak projetí křižovatkou z vedlejší komunikace velmi obtížné. Situaci ještě zhoršuje fakt, že je tento vjezd do křižovatky do kopce (viz. obr. č. 7), a také výše zmíněná autobusová zastávka Šafránecká, která zhoršuje rozhled řidičů.

Zvláště v době ranní špičky pak na vjezdu dochází z výše zmíněných důvodů ke kolonám na tomto rameni. Kolony jsou zde dlouhé zhruba 80 metrů a řidiči zde nabírají asi dvouminutové zdržení. Podobné zdržení zde nabírají i autobusové linky 167 a 168, které tímto ramenem projíždějí.

1.2.4. Rameno Kukulova - východ

Toto rameno křižovatky vede od křižovatky do kopce směrem na pražský Vypich. Vjezd do křižovatky od Vypichu z tohoto ramena je směrově oddělen na dva pruhy. Provoz z tohoto ramena rovně je hustý, avšak plynulý, pokud ho na výjezdu nezkomplikuje stanicující autobus.



Obrázek 9: Rameno Kukulova (V) - pohled vjezdu [zdroj vlastní]

Jak je patrné z obr. č. 8, první pruh slouží k odbočení vlevo z hlavní komunikace, délka tohoto odbočovacího pruhu je cca 60m. Odbočení doleva je však silné a řidiči zde musí většinou v řádu desítek sekund čekat na správnou chvíli pro odbočení. Někteří jsou však po chvíli čekání netrpěliví a vjíždí do křižovatky nedbale na úkor bezpečnosti. Kvůli tomuto odbočení zde také vzniká řada nebezpečných událostí, které mohou vyústit v nehody. Výjezd je jednopruhový, ale po 60m se mění výše zmíněný odbočovací pruh na stoupací BUS pruh - netradičně je zde tedy BUS pruh vlevo.

2. Dopravní průzkum

2.1. Měření

Měření proběhlo 19.11.2019 za oblačného počasí dvěma manuálními sčítači. Byly zjištěny hodinové intenzity v časech (7:00 - 9:00; 11:00 - 13:00 a 15:00 - 17:00). Pro potřeby bakalářské práce byla vždy z každého z těchto intervalů vybrána hodina, kdy byly intenzity vyšší (7:00 - 8:00, 11:00 - 12:00 a 15:00 - 16:00).

2.2. Vyhodnocení dopravního průzkumu

Pro účely vyhodnocení byla data ze záznamových archů převedena do elektronické podoby a rozdělena do čtyř skupin:

- Osobní vozidla
- Nákladní vozidla
- Těžká nákladní vozidla
- Autobusy

Daným skupinám byl dle TP 189 přiřazen přepočtový koeficient skladby dopravního proudu k_d . Provedením tohoto přepočtu byly následně stanoveny návrhové intenzity dopravy. [3]

KATEGORIE VOZIDEL	PŘEPOČTOVÝ KOEFICIENT
Osobní vozidla do 3,5 t	1
Nákladní vozidla nad 3,5 t	1,7
Těžká nákladní vozidla (nákladní soupravy)	2,5
Autobusy	1,7 - 2,5 *

Tabulka 1: Přepočtové koeficienty [zdroj vlastní]

* Přepočtové koeficienty skladby dopravního proudu pro autobusy byly zvoleny na základě podílu kloubových autobusů v daném směru křižovatky. Tyto podíly byly zjištěny dodatečným průzkumem. Tabulka výpočtu přepočtových koeficientů je k nahlédnutí v příloze č. 6.

2.3. Výsledky průzkumu

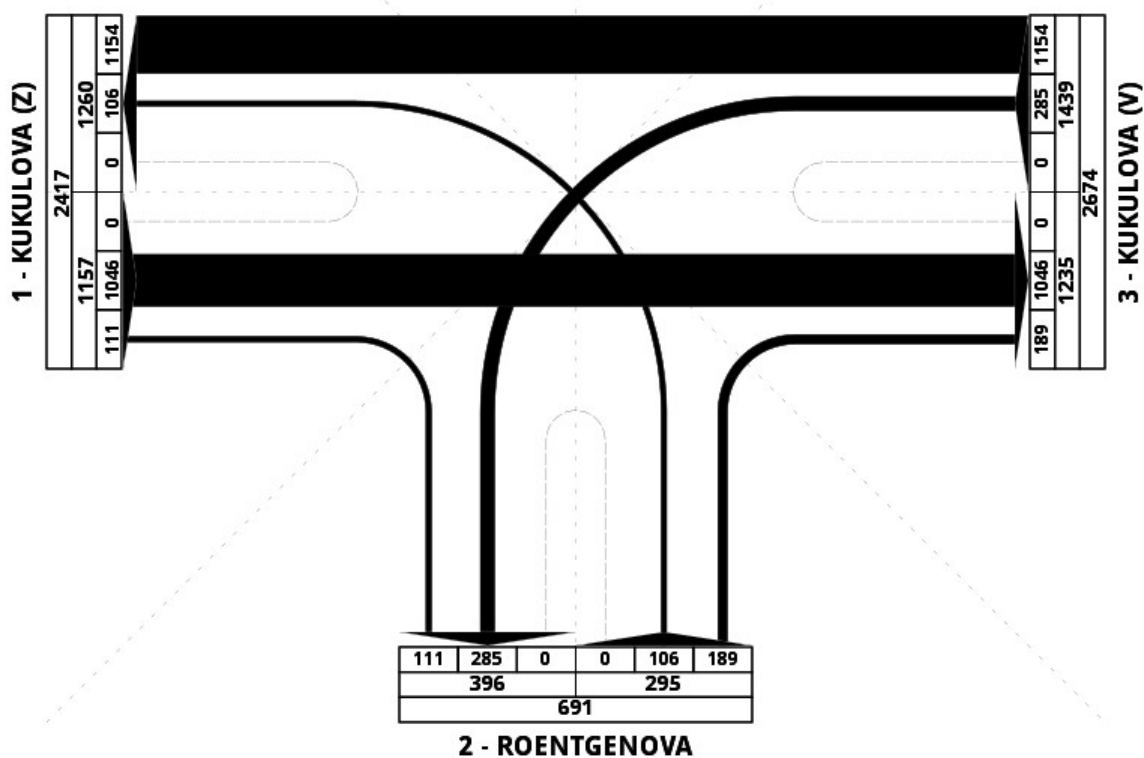
2.3.1. Ranní špička

V rámci ranní špičky byla vybrána hodina 7:00 - 8:00, tedy ta s nejvyššími intenzitami. V následující tabulce můžeme vidět výsledky sčítání a přepočtu na jednotková vozidla podle vzorců z kapitoly 2.2.

ŠPIČKOVÉ INTENZITY - 19.11.2019 - 7:00 - 8:00						
odkud	kam	OS [voz/hod]	NV [voz/hod]	TV [voz/hod]	BUS [voz/hod]	CELKEM [pvoz/hod]
KUKULOVA (Z)	KUKULOVA (V)	852	32	19	38	1046
	ROENTGENOVA	72	3	3	12	111
KUKULOVA (V)	KUKULOVA (Z)	966	36	14	38	1154
	ROENTGENOVA	242	18	2	4	285
ROENTGENOVA	KUKULOVA (Z)	67	3	2	13	106
	KUKULOVA (V)	163	5	4	4	189

Tabulka 2: Ranní špičkové intenzity [zdroj vlastní]

Z těchto výsledků byl posléze vyhotoven pentlogram intenzit:



Obrázek 10: Pentlogram ranních intenzit [4]

Součet intenzit všech vjezdů do křižovatce byl v ranní špičkové hodině 2891 pvoz/h.

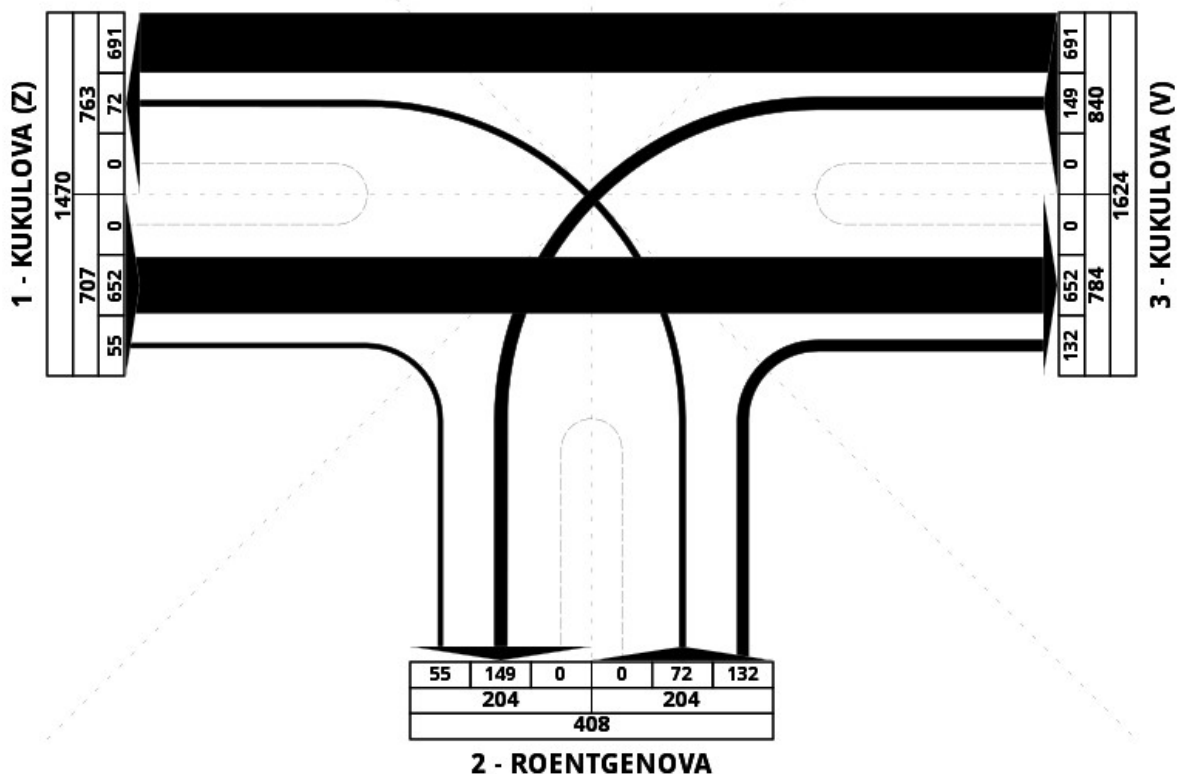
2.3.2. Polední sedlo

V rámci poledních intenzit byla taktéž vybrána hodina s vyššími intenzitami, tedy hodina 11:00 - 12:00. V následující tabulce byly shrnuty výsledky průzkumu a ty byly taktéž přepočítány podle koeficientů z kapitoly 2.2.

SEDLOVÉ INTENZITY - 19.11.2019 - 11:00 - 12:00						
odkud	kam	OS [voz/hod]	NV [voz/hod]	TV [voz/hod]	BUS [voz/hod]	CELKEM [pvoz/hod]
KUKULOVA (Z)	KUKULOVA (V)	532	23	11	22	652
	ROENTGENOVA	29	2	1	9	55
KUKULOVA (V)	KUKULOVA (Z)	583	19	12	19	691
	ROENTGENOVA	119	14	1	2	149
ROENTGENOVA	KUKULOVA (Z)	41	2	1	11	72
	KUKULOVA (V)	113	6	2	2	132

Tabulka 3: Polední sedlové intenzity [zdroj vlastní]

Z těchto výsledků byl posléze vyhotoven pentlogram intenzit:



Obrázek.11: Pentlogram poledních intenzit [4]

Součet intenzit všech vjezdů do křižovatce byl v polední sedlové hodině 1751 pvoz/h.

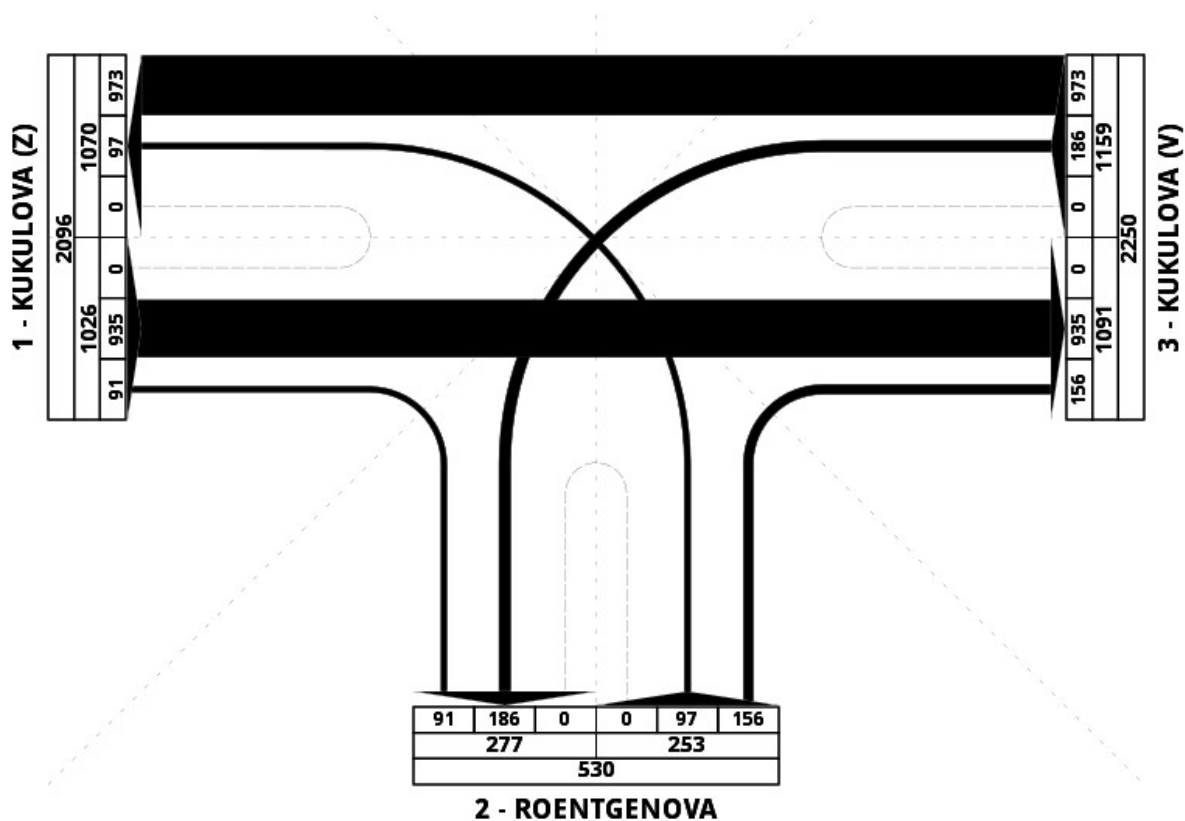
2.3.3. Odpolední špička

V rámci odpoledních špičkových intenzit byla opět vybrána hodina s vyššími intenzitami, tedy hodina 15:00 - 16:00. V následující tabulce byly shrnuty výsledky průzkumu a ty byly znovu přepočítány podle koeficientů z kapitoly 2.2.

ŠPIČKOVÉ INTENZITY - 19.11.2019 - 15:00 - 16:00						
odkud	kam	OS [voz/hod]	NV [voz/hod]	TV [voz/hod]	BUS [voz/hod]	CELKEM [pvoz/hod]
KUKULOVA (Z)	KUKULOVA (V)	802	24	4	34	935
	ROENTGENOVA	59	2	0	13	91
KUKULOVA (V)	KUKULOVA (Z)	822	26	8	36	973
	ROENTGENOVA	158	9	2	4	186
ROENTGENOVA	KUKULOVA (Z)	56	4	1	14	97
	KUKULOVA (V)	142	4	0	4	156

Tabulka 4: Odpolední špičkové intenzity [zdroj vlastní]

Z těchto výsledků byl posléze vyhotoven pentlogram intenzit:



Obrázek 12: Pentlogram odpoledních intenzit [4]

Součet intenzit všech vjezdů do křižovatky byl v odpolední špičkové hodině 2438 pvoz/h.

2.4. Shrnutí

Jak vyplývá z výše uvedených dat, nejvyšší intenzity byly naměřeny v ranní špičkové hodině 7:00 - 8:00, kdy součet všech vjezdů do křižovatky činil 2891 pvoz/h. Směrové rozdělení dopravy bylo ve všech případech poměrově podobné. Nejvyšší intenzitu měl vždy proud Kukulova (V) - Kukulova (Z) a to o desítky pvoz/h v porovnání s opačným proudem. Z toho tedy vyplývá, že vyšší intenzitu má směr od Vypichu dolů k FN Motol. Z dat lze také vyčíst typické rozdělení dopravy, kdy v odpoledních hodinách jezdí méně nákladních a těžkých nákladních vozidel než v hodinách ranních.

2.4.1. Ověření s intenzitami od TSK

V roce 2018 proběhlo na celém úseku ulice Kukulova, začínaje křižovatkou na Vypichu a konče křižovatkou s ulicí Plzeňská průzkum intenzit dopravy. Z dat z průzkumu od TSK vyplývá, že v roce 2018 v pracovní den projelo tímto úsekem celkem 28 222 vozidel, z čehož bylo 1000 pomalých vozidel a 1022 vozidel BUS MHD za 24 hodin. [5]

Pro účely ověření správnosti nasčítaných dat bylo tedy programem EDIP eS, vypočteno RPDI vycházející z dat uvedených v kapitole 2.3 (výpočtový protokol programu vychází z TP189). Z výstupu programu EDIP eS (přiloženého v příloze č. 2) tedy vyplývá, že pro tyto data odpovídá RPDI v pracovní dny součtu celkově 29 695 vozidel, z čehož je 1078 nákladních vozidel, 445 těžkých nákladních vozidel (1523 pomalých vozidel) a 1462 autobusů za 24 hodin. Pro přehlednost byly tyto údaje shrnuty do tabulky č. 5. [6]

	osobní [voz/hod]	pomalá voz.[voz/hod]	autobusy [voz/hod]	celkem [voz/hod]
TSK 2018	26200	1000	1022	28222
PRŮZKUM 2019	26710	1523	1462	29695

Tabulka 5: Ověření dat [zdroj vlastní]

Můžeme tedy konstatovat správnost dat, protože přepočtový koeficient z roku 2018 (data od TSK) na rok 2019 (provedení průzkumu) vychází na $kp=1,03$. Po pronásobení celkového počtu vozidel z dat od TSK nám vychází prognózané RPDI pro rok 2019 na celkem 29 069 vozidel/24 hodin. Z toho tedy vyplývá, že odchylka měření od teoretických hodnot je něco přes 2%. Vyšší podíl pomalých vozidel byl způsoben nepřesností úsudku měřičů - co je ještě osobní a co už nákladní vozidlo. Vyšší podíl autobusů byl způsoben zahrnutím i dalších autobusových vozů - soukromí dopravci, manipulační jízdy do výsledků průzkumu.

3. Kritéria pro posouzení účelnosti SSZ

Pro návrh řízení křižovatky SSZ je nutné splnění alespoň jednoho z kritérií, vycházejících z TP 81 „*Navrhování světelných signalizačních zařízení pro řízení provozu na pozemních komunikacích*“. Tato kritéria budou vyhodnocena v této kapitole. [7]

Veškerá kritéria jsou vyhodnocována pro nejvyšší intenzitu, tedy pro ranní špičkovou hodinu (7:00 - 8:00).

3.1. Kritérium nehodovosti

„SSZ je účelné navrhovat na silně zatížených a nehodových křižovatkách, kde byla v uplynulých třech letech průměrná relativní nehodovost při neřízeném provozu minimálně 4 nehody na 1 milion vozidel vjíždějících do křižovatky a kde bylo analýzou nehodovosti prokázáno, že tyto nehody nelze omezit jiným způsobem.“ [7]

Z naměřených dat bylo vypočítáno RPDÍ vjíždějících vozidel do křižovatky na hodnotu 25799 pvoz/24hodin, což se rovná hodnotě 9 416 635 pvoz/rok.

Všeobecný přehled o nehodách v zadané lokalitě		
Počet nehod celkem		17
Počet nehod s následky na zdraví		1
Počet usmrcených osob (stav do 24 hod.)	●	0
Počet těžce zraněných osob (stav do 24 hod.)	●	0
Počet lehce zraněných osob (stav do 24 hod.)	●	3

Tabulka 6: Přehled nehodovosti za 3 roky [10]



Obrázek 13: Umístění nehod [10]

Ze statistického vyhodnocení nehodovosti v silničním provozu znázorněného v tabulce č. 6 na vybrané lokalitě vyplývá, že zde bylo za období 03.02.2017 - 04.02.2020 evidováno celkem 17

nehod. Z obrázku č. 13 je patrné, že nejvíce nehod se stává v konfliktní zóně směru Kukulova (Z) a vedlejší komunikace Roentgenova.

Statistické vyhodnocení nehodovosti v celém jeho rozsahu je přiloženo v příloze č. 3.

Těmto datům pak odpovídá průměrná hodnota 0,6 nehod na milion vozidel vjíždějících do křižovatky.

Z těchto údajů tedy vyplývá, že **KRITÉRIUM BEZPEČNOSTI NEBYLO SPLNĚNO**.

3.2. Kritérium intenzity provozu z hlediska vozidel

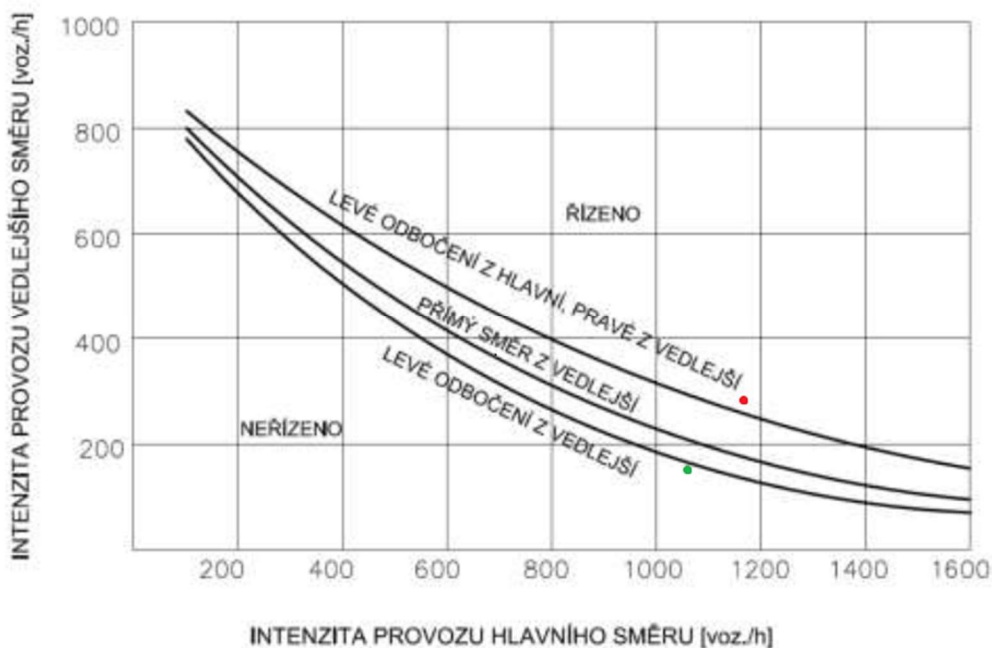
3.2.1. Kritérium intenzity dle TP 81

„SSZ je účelné, dosáhne-li intenzita silničního provozu vyšších hodnot, než jsou stanoveny přípustnými intenzitami neřízených křižovatek podle ČSN 73 6102, a to v průměru 8 dopravně nejvíce zatížených hodin dne na hlavní i vedlejší komunikaci. Jestliže křižovatka podle výpočtu kapacitně vyhoví jako neřízená, pak z hlediska intenzity automobilového provozu není SSZ objektivně nutné. Orientační posouzení kapacity křižovatky lze provést podle grafu na obrázku 1. Pokud není příjezd vozidel v hlavním směru náhodný, ale je ovlivněn například okolními SSZ, mohou se hranice pro nutnost řízení křižovatky posunout. Vždy je nezbytný individuální přístup.“ [7]

Z pentlogramu byla vytvořena tabulka č. 7 hodnotící kritérium intenzity vozidel, jejíž body byly dle barev zaneseny do grafu z TP 81.

	levé z hlavní [jvoz/hod]	pravé z vedlejší [jvoz/hod]	levé z vedlejší [jvoz/hod]
VEDLEJŠÍ	285	189	106
HLAVNÍ	1157	1046	2485

Tabulka 7: Hodnocení kritérii intenzit vozidel [zdroj vlastní]



Obrázek 14: Graf hodnocení intenzit dopravy dle TP81[7]

Z grafu uvedeného v rámci obr. 14 tedy vyplývá, že **KRITÉRIUM INTENZITY VOZIDEL BYLO SPLNĚNO**, a to pro levé odbočení z hlavní. Pro levé odbočení z vedlejší by bylo zřejmé

kvůli velmi vysoké intenzitě na hlavní komunikaci splněno také, ale bohužel graf s takto vysokou intenzitou provozu na hlavní komunikaci nepočítá.

3.2.2. Kapacitní posouzení dle TP 188

Pro kapacitní posouzení neřízené křižovatky byl použit software EDIP Ka (licence poskytnuta od společnosti ETC). Tento software provádí výpočet podle metodiky uvedené v TP 188, která je v souladu s platnou ČSN 73 6102. Posouzení v tomto programu je tedy pro tyto účely vhodné. [8]

Nejdůležitější parametr tohoto posouzení jsou úrovně kvality dopravy jednotlivých proudů v křižovatce, které jsou patrné v následující tabulce č. 8 vyexportované z výpočtového protokolu softwaru EDIP Ka. [9]

Posouzení úrovně kvality dopravy

Paprsek	Název komunikace	Proud	I [pvoz/h]	C [pvoz/h]	Rez [pvoz/h]	a_v [-]	t_w [s]	UKD [-]	$L_{95\%}$ [m]	$t_{w,lim}$ [s]	$t_w \leq t_{w,lim}$ Rez > 0
1	KUKULOVA (Z)	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		1+2+3, 1+2, 1+3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	ROENTGENOVA	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		4+6	295	59	-236	4,99	7256	F	729	-	NE
3	KUKULOVA (V)	7	285	538	253	0,53	14	B	20	-	ANO
		7+8+9, 7+8, 7+9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4		10									
		11									
		12									
		10+11+12, 10+11, 10+12, 11+12									

Celkové shrnutí

Kapacita neřízené úrovně křižovatky vyhovuje?	NE
---	----

Tabulka 8: Kapacitní posouzení neřízené křižovatky podle TP 188 [9]

Z údajů v této tabulce vyplývá, že parametr úrovně kvality není splněn pro odbočení z vedlejší komunikace. To podtrhuje výše zmíněný fakt, že intenzity na hlavní komunikaci jsou velmi vysoké a odbočení z vedlejší komunikace je pro řidiče velmi náročné.

Celý výpočtový protokol je přiložen v příloze č. 4.

3.3. Kritérium intenzity provozu z hlediska chodců

„Intenzity dopravy na příslušném přechodu pro chodce v průměru osmi dopravně nejvíce zatížených hodin dne dosahují hodnot vyšších než mezních, při kterých mohou chodci za běžných podmínek pravidel silničního provozu bezpečně přejít vozovku:

- 1100 jvoz/h přes jednopruhový nebo dvoupruhový jízdní pás
- 1000 jvoz/h přes třípruhový
- 900 jvoz/h přes čtyřpruhový (nově už se nemá navrhovat) „ [7]

Za účelem posouzení kritéria chodců byla vypracována následující tabulka:

	počet voz. [voz/hod]
přechod KUKULOVA - výjezd	1260
přechod KUKULOVA - vjezd	1157
přechod ROENTGENOVA	691

Tabulka 9: Posouzení kritéria chodců [zdroj vlastní]

V situačním návrhu bylo navrženo rozdělení přechodů ostrůvkem, a to z důvodu bezpečnosti, protože původní přechod byl dlouhý přes 10 metrů, což způsobovalo chodcům potíže a bezpečnostní rizika při přecházení. Přechod přes ulici Kukulova byl tedy v rámci tohoto kritéria hodnocen rozděleně, tedy jako dva přechody. První přechod na výjezdu od křižovatky, druhý na vjezdu.

Z této tabulky je tedy patrné, že oba přechody přes ulici Kukulova dosahují vyšších intenzit než pro bezpečné přejetí vozovky.

Můžeme tedy konstatovat, že **KRITÉRIUM CHODCŮ JE SPLNĚNO.**

3.4. Kritérium plynulosti vozidel městské hromadné dopravy

„ Plynulost MHD a určité její upřednostnění před IAD je jedním z parametrů zvyšování komfortu cestujících, čímž roste i atraktivnost cestování tímto způsobem na území měst. Větší využívání MHD vede do jisté míry ke snížení zatížení přeplněných městských aglomerací individuální automobilovou dopravou. Za důvod k vybudování SSZ pro zajištění plynulosti jízdy vozidel MHD lze považovat zdržení nejméně každého druhého vozu na dobu delší než dvě minuty ve třech nejzatíženějších hodinách dne. Při zvažování a posuzování dané lokality je zapotřebí vzít v úvahu i dlouhodobé ekonomické hledisko. Tím je případná možnost úspory počtu vozů jezdících na dané lince i spotřeby energie při zbytečných rozjezdech vozidel MHD. „ [7]

Pro účel posouzení kritéria preference MHD byla vypracována následující tabulka shrnující provoz autobusových linek v křižovatce:

KUKULOVA x ROENTGENOVA: BUS LINKY - SMĚRY			
Z/DO	Kukulova (Z)	Kukulova (V)	Roentgenova
Kukulova (Z)	-	174, 180, 184, 304, 347, 365, 380, 902	167
Kukulova (V)	174, 180, 184, 304, 347, 365, 380, 902	-	168
Roentgenova	167	168	-

Tabulka 10: Autobusové linky projíždějící přes křižovatku[11]

Z této tabulky vyplývá, že naprostá většina autobusových linek jede na křižovatce po hlavním směru a zdržení tedy nenabírá.

Můžeme tedy konstatovat, že **KRITÉRIUM PREFERENCE MHD NENÍ SPLNĚNO.**

3.5. Kritérium místa zvláštního zřetele

„ Účelné zřizovat SSZ na místech vhodných zvláštního zřetele:

- *Přechody dětí do škol*
- *Výjezdy tramvají z míst ležících mimo komunikaci*
- *Individuální posouzení dle místních poměrů*
- *Zohlednění nutných podmínek dle ČSN 73 6101 a 73 6110*
- *Rozhledové poměry, přechody přes vícepruhové komunikace v jednom směru „ [7]*

Křižovatka Kukulova x Roentgenova je velmi vytížená a způsobuje značné problémy - hlavně pak pro řidiče jedoucí z vedlejší větve komunikace, kteří mají kvůli vysoké intenzitě vozidel značné problémy s vjetím do křižovatky. Vzhledem k umístění křižovatky v blízkosti Nemocnice Motol a Nemocnice na Homolce je zde vysoká koncentrace „svátečních“ řidičů - např. občasní pacienti nemocnic. Těmto řidičům způsobuje tato křižovatka nemalé problémy, což v praxi znamená zvýšené riziko vzniku nebezpečných situací a dopravních konfliktů.

Umístění křižovatky v blízkosti nemocnic také způsobuje zvýšený provoz jednotek IZS, zvláště pak jednotek ZZS, které mohou mít s průjezdem touto křižovatkou problémy a může způsobovat zdržení, které může mít v případě IZS katastrofální následky.

Z výše uvedených faktů tedy konstatuji, že **KRITÉRIUM MÍSTA ZVLÁŠTNÍHO ZŘETELE JE SPLNĚNO.**

3.6. Shrnutí

Celkově byly tedy splněny **3 KRITÉRIA PRO POSOUZENÍ** (kritérium intenzity vozidel, kritérium intenzity provozu z hlediska chodců a kritérium místa zvláštního zřetele), můžeme tedy konstatovat, že **ZŘÍZENÍ SSZ JE ÚČELNÉ.** Zároveň neřízená křižovatka neprošla kapacitním posouzením podle TP 188, což umocňuje fakt, že je zde účelnost zřízení SSZ splněna.

4. Situační řešení

Současný stav křižovatky a její řešení je nastíněno v kapitole 1.2., stejně jako jeho ortofoto mapa a podrobný popis jednotlivých ramen. V této kapitole se budeme věnovat podrobnější situačnímu řešení křižovatky, kde budou uvedeny problémy, které současný stav způsobuje a bude navrženo nové řešení.

4.1. Stávající řešení

Hlavním problémem této křižovatky je její kapacita. Jsou zde tak vysoké intenzity vozidel, že je téměř nemožné napojení na hlavní komunikaci z vedlejší. Situace se ještě zhoršuje, když se musí napojovat autobus městské hromadné dopravy. To samé platí při levém odbočování z hlavní komunikace na vedlejší. Také je zde nevhodně umístěna stop čára ve směru z Vypichu. Ta téměř nedovoluje vozidlu dostatečně najet do křižovatky.

Dalším problémem jsou špatně umístěné autobusové zastávky, jelikož se nachází v jízdním pruhu hlavní komunikace, nedají se objet, tudíž řidiči osobních automobilů jsou nuceni zastavovat a vyčkat, než autobus opustí zastávku, nebo jej nebezpečně objíždějí (viz. obr. 5). Když ve směru od Vypichu zastaví kloubový autobus, tak řidiči musí vyčkávat za ním a mnohdy zasahují do křižovatky a tvoří se dlouhé kolony, tudíž dochází k problému, o kterém jsme se bavili výše, najíždění na hlavní komunikaci z vedlejší.

Poslední velký problém vytváří přechod pro chodce, který je hodně dlouhý a nevhodně umístěný. V současné situaci se přechod nachází 20 metrů od křižovatky, což je velmi daleko, protože zde auta jezdí velkou rychlostí, i když se napojují z vedlejší komunikace a chodec, kvůli vysoké intenzitě komunikace, nemá téměř šanci přejít přes přechod.

4.2. Navrhované řešení

4.2.1. Návrh od TSK (rok 2008)

Na doporučení vedoucího práce bylo kontaktováno TSK se žádostí o podklady k problematice této křižovatky. Na tuto žádost bylo ze strany TSK vyhověno, konkrétně paní Ing. Evou Kosteasovou a byl zaslán situační návrh zpracovaný společností ELTODO v roce 2008 pro TSK a krátký komentář k problematice této křižovatky.

Z tohoto vyjádření TSK vyplývá, že účelnost byla již v minulosti splněna a předpokládala se výstavba světelné signalizace v rámci prodloužení trasy metra A. Problémy byly v tomto návrhu řešeny takto:

- přechod přesunut ke křižovatce, řízen v rámci ní
- posun zastávky směrem k FN Motol blíže ke křižovatce a umístit do zálivu
- zastávka směrem k Vypichu nemohla být řešena zálivem (velký sráz na jižní straně)
 - zastávka tedy uvažována cca 45 m před křižovatkou s možným objížděním vozidly
- přechod dělený ostrůvkem přes ulici Kukulova [17]

Světelně řízená křižovatka dosud nebyla postavena, ačkoliv metro trasy A bylo spuštěno do zkušebního provozu s lidmi březnu 2015. Na základě prověření na místě a sběru dopravních dat

v dané lokalitě bylo rozhodnuto, že účelnost SSZ bude prověřována 5 let po zprovoznění metra trasy A do Motola. Taktéž byla snaha prověření nutnosti některých rozsáhlých stavebních úprav společně s prověřením jízdy BUS a chování dopravy v dané lokalitě.

4.2.2. Finální návrh

V rámci tvorby této bakalářské práce bylo uvažováno s několika možnostmi situačního řešení s ohledem na problémy v křižovatce a s přihlédnutím k navrženému řešení v rámci situace získané od TSK. [17]

4.2.2.1. RAMENO KUKULOVA (V)

Na rameni Kukulova (V) zůstává směrové rozdělení jízdních pruhů stejné jako ve stávajícím stavu. První JP o šířce 3,3 metru je navržen pro vozidla odbočující vlevo, řízený směrovým signálem VB<. Tento směr bude řízen dvěma návěstidly, kde hlavní návěst bude umístěna na sloupu SSZ a druhá, opakovací, pak na výložníku o celkové délce 6 metrů. Druhý JP o šířce 3,7 metru je navržen pro vozidla jedoucí rovně, řízený směrovým signálem VA^.

Tento směr bude řízen dvěma návěstidly, kde hlavní návěst bude umístěna na sloupu SSZ a druhá, opakovací, pak na výložníku. Na sloupu SSZ bude taktéž umístěna značka P2, tj. „Hlavní pozemní komunikace“. Asi 50 metrů před stop čarou bude umístěna značka A10 - „Světelné signály“ a značka IP19j, informující o systému řazení jízdních pruhů.

4.2.2.2. RAMENO KUKULOVA (Z)

Na rameni Kukulova (Z) je situace složitější. Hlavním problémem, jak už bylo zmíněno v kapitole 1.2.2, je nevhodné umístění autobusových zastávek. Zastávka ve směru výjezdu z tohoto ramena (směr Nemocnice Motol) je tedy řešena vytvořením zastávkového zálivu za účelem zvýšení plynulosti a bezpečnosti provozu v křižovatce. Stávající řešení je nevhodné, dochází zde k nebezpečným situacím vlivem objíždění autobusů, což bude navrhovaným zálivem vyřešeno. Zastávka ve směru vjezdu z tohoto ramena (směr Vypich) bude posunuta za signalizovaný přechod. To zvýší bezpečnost chodců a celkově provozu v křižovatce. Šířka komunikace v tomto místě umožní bezpečné předjetí stanicujícího autobusu, předejde tak nebezpečným situacím vznikajícím v současném stavu a zvýší plynulost dopravy.

Pro vjezd na tomto rameni je navržen jeden sdružený jízdní pruh o šířce 3,5 metru pro směr rovně a vpravo, který je řízen plným signálem VD. Tento směr je řízen dvěma návěstidly, kde hlavní návěst je umístěna na sloupu SSZ vpravo a druhá, opakovací, pak na sloupu SSZ umístěném na ostrůvku vlevo. Taktéž je zde navržen signál ZC - „Signál žlutého světla ve tvaru chodce“, upozorňující řidiče ze směru VC na přecházející chodce, kterým musí dát řidiči přednost.

Za účelem bezpečnosti chodců byl zřízen výše zmíněný ostrůvek, který rozdělí stávající přechod na dva samostatné přechody, řízené signály PD a PE, oba o šířce 4 metry. Na tomto ostrůvku bude umístěn sloup SSZ pro signální skupiny PD a PE, a taktéž pro opakovací návěst VD'. Na sloupu SSZ je pak taktéž umístěna značka P2, tj. „Hlavní pozemní komunikace“. Taktéž zde budou umístěny značky C4a - „Přikázaný směr objíždění vpravo“, které pomohou lepší orientaci řidičů na křižovatce. Svislé dopravní značení, konkrétně A10 - „Světelné

signály“ a IJ4c, informující o zastávce autobusu, bude umístěno cca. 50 metrů před stop čarou a cca 20 metrů za autobusovou zastávku.

4.2.2.3. RAMENO ROENTGENOVA

Na rameni Roentgenova byla posunuta stop čára dále od křižovatky, což řeší problém kloubových autobusů, které mají v současném stavu potíže s odbočením do tohoto ramene. Dále byly také změněny parametry oblouku pro odbočení z hlavní komunikace doprava. V tomto místě v současném stavu docházelo k tomu, že odbočující kloubové autobusy brousili poslední nápravou hranu chodníku. Tato hrana tedy byla zaoblena tak, aby k tomuto jevu nedocházelo.

Pro vjezd na tomto rameni je navržen jeden sdružený jízdní pruh o šířce 3,7 metru, který je řízen plným signálem VC a doplňkovou šipkou SC>. Signální skupina VC je řízena třemi návěstidly, kde hlavní návěst je umístěna na sloupu SSZ vpravo, druhá pak na výložníku o délce 4 metry a třetí na sloupu SSZ vlevo. Přes komunikaci je veden přechod o šířce 4 metry, který je signalizovaný signální skupinou PC. Na sloupu SSZ vpravo je pak taktéž umístěna značka P4, tj. „Vedlejší pozemní komunikace“. Asi 30 metrů před stop čarou bude umístěna značka A10 - „Světelné signály“.

4.2.2.4. SHRNU TÍ

V rámci navrhovaného řešení bylo navrženo celkem 8 signálních skupin, z toho 5 je vozidlových a 3 jsou chodecké. Přehled signálních skupin je patrný z tabulky č. 11. V rámci vozidlových signálních skupin jsou pak 3 signály směrové (včetně doplňkové šipky SC>) a dva signály plné. Celkem je navrženo 16 návěstidel, z čehož je 10 vozidlových a 6 chodeckých, a doplňkový signál ZC. Dále byly navrženy 2 výložníky, jeden o délce 6 metrů, druhý o délce 4 metry. Řadič s možností ručního řízení je umístěn naproti rameni Roentgenova, jeden metr od stávajícího chodníku.

Navrhované situační řešení je patrné ze situačního výkresu, který je přiložen v rámci přílohy č. 1 této práce.

5. Návrh signálního plánu

V této kapitole se budeme zabírat potřebnými výpočty a návrhem tří různých signálních plánů pro 3 různé denní doby (ranní špička, polední sedlo, odpolední špička). V následující kapitole je obsaženo rozdělení signálních skupin, tabulka mezičasů, sled fází a výpočet parametrů jednotlivých cyklů. Tyto výpočty jsou následně ověřeny kapacitním posouzením podle TP 188. [8]

5.1. Signální skupiny

Uspořádání a rozdělení signálních skupin bylo pro přehlednost zpracováno do následující tabulky. Jsou zde vysvětleny i směry, které byly využity v tabulkách mezičasů, kdy ještě nebylo známo pojmenování jednotlivých signálních skupin. Proto jsou tedy v tabulkách mezičasů použity směry, nikoliv signální skupiny.

signální skupina	směr	typ signálu
VA [^]	A [^]	směrový - rovně
VB ^{<}	A ^{<}	směrový - vlevo
VC	B ^{>} , B ^{<}	plný
VD	C [^] , C ^{>}	plný
SC ^{>}	B ^{>}	doplňková šipka - vpravo
PC	-	chodecký
PD	-	chodecký
PE	-	chodecký
směry:	A: Kukulova (V) B: Roenthenova C: Kukulova (Z)	

Tabulka 11: Rozdělení signálních skupin [zdroj vlastní]

5.2. Mezičasy

Mezičasy signálních skupin byly odvozeny měřením vzdáleností vyklízecích a najížděcích drah jednotlivých kolizních proudů a teoretickou rychlostí v nich. Výpočty byly zpracovány do jednotlivých tabulek podle TP 81. Nejdříve byly určeny vyklizovací vzdálenosti. Vyklizovací a najížděcí vzdálenosti jsou dle normy určeny takto:

- vozidla v přímém směru - 9,7 m/s
- vozidla v oblouku - 7 m/s
- chodci - 1,4 m/s

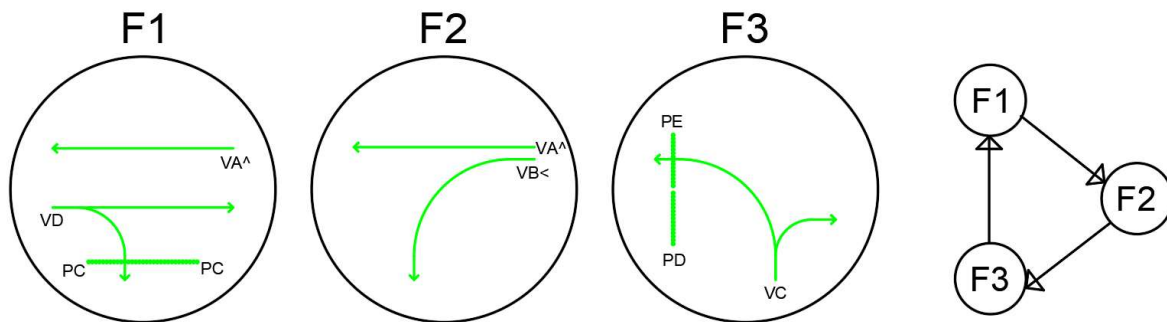
Poté byly určeny najížděcí vzdálenosti. Dále byly pomocí určených vzdáleností a daných rychlostí vypočteny vyklizovací a najížděcí časy. Z těchto hodnot lze již vypočítat finální tabulka mezičasů. Hodnoty se zde zaokrouhlují na celé sekundy. Finální podoba mezičasů je znázorněna v tabulce č. 12. Pomocné tabulky k výpočtu mezičasů jsou k nahlédnutí v příloze č. 7. [7]

	VA [^]	VB<	VC	VD	SC >	PC	PD	PE
VA [^]	X		3	3				3
VB<		x	3	3		4		
VC	2	1	x	3		1		4
VD	3	3	3	x	3	3	1	
SC>				1	x	1		
PC	3	3	6	4	6	x		
PD				3			x	
PE	1		0					x

Tabulka 12: Mezičasy signálních skupin [zdroj vlastní]

5.3. Návrh a sled fází

Bylo implikováno třífázové řešení. Domnívám se, že toto řešení je optimálnější a sofistikovanější než řešení dvoufázové. Třífázové řešení bylo dříve i navrženo TSK, což vyplývá ze situace, která byla od TSK získána.



Obrázek 15: Návrh a sled fází [zdroj vlastní]

Z obrázku 12 je patrný návrh fází a jejich sled. Pořadí fází nemá vliv na celkovou délku fázových přechodů. Při pořadí F1-F2-F3 se jedná o 4+3+3=10 sekund a při pořadí F1-F3-F2 jde o 4+2+4=10 sekund.

Výběr sledu je tedy v tomto případě libovolný. Pro účely této bakalářské práce byl zvolen sled F1 - F2 - F3.

5.4. Tvorba cyklu

Pomocí tabulky mezičasů byl vytvořen pevný třífázový signální plán. Tvorba cyklu se skládala z několika kroků, počínaje tvorbou fázových přechodů, doba zelených a určení samotné délky cyklu. Veškeré výpočty byly provedeny dle platné normy TP 81. Z důvodu rozdílů intenzit během dne byly vytvořeny tři varianty signálního plánu - a to pro ranní špičku, polední sedlo a odpolední špičku. [7]

5.4.1. Fázové přechody

Nejprve byly navrženy jednotlivé fázové přechody. Fázové přechody budou pro všechny tři navrhované varianty cyklu stejné.

	F1					F2
	0	1	2	3	4	5
VA^	Z	Z	Z	Z	Z	Z
VB<	Ě	Č	ČŽ	ČŽ	Z	Z
VC	Ě	Č	Č	Č	Č	Ě
VD	Z	Ž	Ž	Ž	Č	Ě
SC>	Ě	Č	Č	Č	Č	Z

Tabulka 13: Fázový přechod FP1 [zdroj vlastní]

	F2				F3
	0	1	2	3	4
VA^	Z	Ž	Ž	Ž	Ě
VB<	Z	Ž	Ž	Ž	Ě
VC	Ě	Č	ČŽ	ČŽ	Z
VD	Ě	Č	Č	Č	Ě
SC>	Z	Z	Z	Z	Ě

Tabulka 14: Fázový přechod FP2 [zdroj vlastní]

	F3				F1
	0	1	2	3	4
VA^	Ě	Č	ČŽ	ČŽ	Z
VB<	Ě	Č	Č	Č	Ě
VC	Z	Ž	Ž	Ž	Ě
VD	Ě	Č	ČŽ	ČŽ	Z
SC>	Ě	Č	Č	Č	Ě

Tabulka 15: Fázový přechod FP3 [zdroj vlastní]

5.4.2. Saturované toky

Pro výpočet saturovaných toků byl využit software EDIP eL. Tento software postupuje dle metodiky uvedené v TP 235 (Posouzení kapacity světelně řízených křižovatek), která je v souladu s platnou ČSN 73 6102. Výpočet saturovaných toků dle normy TP 235 se nijak neliší od výpočtu v novější normě TP 188, tento výpočet je tedy možné převzít. Do tohoto výpočtu byly zahrnuty taktéž stavební parametry křižovatky, jako např. poloměry odbočení a podélné sklony. [4]

Z následující tabulky č. 16, která je vyexportovaná ze softwaru EDIP eL je tedy patrný výpočet saturovaných toků a jeho výsledky.

Paprsek	Řadící pruh č.	Směr jízdy (P,R,L)	a [%]	R [m]	f [-]	k_{skl} [-]	k_{obl} [-]	S_1 [pvoz/h]
KUKULOVA (Z)	1	R, P	2,1	15,0	0,10	0,96	0,99	1898
ROENTGENOVA	1L	L, P	3,2	18,0	0,36	0,94	0,97	1818
	1P	L, P	3,2	11,0	0,64	0,94	0,92	1722
KUKULOVA (V)	1	L	0	15,0	1,00	1,00	0,91	1818
	2	R	0		0,00	1,00	1,00	2000

Tabulka 16: Saturované toky řadících pruhů [4]

5.4.3. Výpočty parametrů cyklu

Pro výpočet parametrů cyklu byl proveden Websterovou metodou, tedy metodou saturovaných toků.

5.4.3.1. RANNÍ ŠPIČKA

Návrh signálního plánu pro ranní špičku byl nejobtížnější, kvůli nejvyšším intenzitám. Optimální délka cyklu pro ranní špičku vyšla na 225 sekund. Následně byl cyklus upraven na 100s, aby vyhovoval maximální délce cyklu odpovídající normě.

Délky jednotlivých fází jsou patrné z následující tabulky č. 17., délky zelených jednotlivých signálních skupin jsou pak patrné z tabulky č. 18.

F1	FP12	F2	FP23	F3	FP31	Creal
57 s	6 s	13 s	3 s	18 s	3 s	100 s

Tabulka 17: Fáze ranního cyklu [zdroj vlastní]

VA [^]	VB<	VD	VC	SC>	VC + SC>
76 s	16 s	57 s	18 s	18 s	36 s

Tabulka 18: Délky zelených ranního cyklu [zdroj vlastní]

Kompletní schéma ranního signálního plánu je k nahlédnutí v příloze č. 8.

5.4.3.2. POLEDNÍ SEDLO

Hodnota optimální délky cyklu vyšla na 33 sekund. Pro tuto denní doby byl poté zvolen signální plán o délce 60 sekund z důvodu lepší propustnosti křižovatky

Délky jednotlivých fází jsou patrné z následující tabulky č. 19., délky zelených jednotlivých signálních skupin jsou pak patrné z tabulky č. 20.

F1	FP12	F2	FP23	F3	FP31	Creal
31 s	6 s	5 s	3 s	12 s	3 s	60 s

Tabulka 19: Fáze poledního cyklu [zdroj vlastní]

VA [^]	VB<	VD	VC	SC>	VC + SC>
42 s	8 s	31 s	12 s	10 s	22 s

Tabulka 20: Délky zelených poledního cyklu [zdroj vlastní]

Kompletní schéma poledního signálního plánu je k nahlédnutí v příloze č. 9.

5.4.3.3. ODPOLEDNÍ ŠPIČKA

Hodnota optimální délky cyklu pro odpolední špičku byla vypočítána na 67 sekund. Pro tuto denní dobu byl poté zvolen cyklus o délce 80 sekund.

Délky jednotlivých fází jsou patrné z následující tabulky č. 21, délky zelených jednotlivých signálních skupin jsou pak patrné z tabulky č. 22.

F1	FP12	F2	FP23	F3	FP31	Creal
46 s	6 s	8 s	3 s	14 s	3 s	80 s

Tabulka 21: Fáze odpoledního cyklu [zdroj vlastní]

VA^	VB<	VD	VC	SC>	VC + SC>
60 s	11 s	46 s	14 s	13 s	27 s

Tabulka 22: Délky zelených odpoledního cyklu [zdroj vlastní]

Kompletní schéma odpoledního signálního plánu je k nahlédnutí v příloze č. 10.

Kompletní výpočtový protokol hodnot všech cyklů je přiložen v jednotlivých listech přílohy číslo 8. V této příloze jsou také k dohledání všechny vzorce, které byly k výpočtu parametrů cyklů použity.

5.5. Kapacitní posouzení

Dále byly tyto signální plány kapacitně posouzeny pro dané intenzity dle platného TP 188.

5.5.1. Ranní špička

V kapacitním posouzení pro ranní špičku nebylo z důvodu extrémních intenzit splněno kritérium ÚKD pro signální skupinu VD, tedy pro směr Kukulova - Západ. K tomuto jevu dochází pouze cca ve dvou ranních špičkových hodinách. Z tohoto důvodu byly zpracovány i další dva signální plány pro polední sedlo a odpolední špičku, ze kterých je patrné, že kritéria ÚKD jsou v ostatních hodinách splněna. Parametry kapacitního posouzení pro ranní špičku jsou patrné z následující tabulky č. 23.

Kapacitní posouzení světelně řízené křižovatky podle TP188									
Název křižovatky:	Kukulova x Roentgenova								
Posuzovaný stav:	ranní špička	Délka cyklu:			100 s				
Posouzení kapacity vjezdů, úroveň kvality dopravy									
Vjezd (signální skupina)	I_v [pvoz/h]	Z [s]	S_v [pvoz/h]	C_v [pvoz/h]	Rez [%]	L_{F1} [m]	t_w [s]	ÚKD	
								<i>dosažená</i>	<i>požadovaná</i>
VA^	1154	76	2000	1520,00	24,08	46,16	9,49	A	E
VB<	285	16	1818	290,88	2,02	39,90	307,60	E	E
VC	295	18	1722	309,96	4,83	40,32	139,58	E	E
VC + SC>	295	36	1722	619,92	52,41	31,47	24,62	B	E
VD	1157	57	1898	1081,86	-	82,92	-	F	E
Závěr: Požadavky UKD nejsou splněny na VJEZDU VD.									

Tabulka 23: Kapacitní posouzení - ranní špička [zdroj vlastní]

5.5.2. Polední sedlo

Kritéria kapacitního posouzení poledního sedla vyšla bez problému a s dostatečnou rezervou i pro délku cyklu 60 sekund. Parametry kapacitního posouzení pro polední sedlo jsou patrné z následující tabulky č. 24.

Kapacitní posouzení světelně řízené křižovatky podle TP188									
Název křižovatky:	Kukulova x Roentgenova								
Posuzovaný stav:	polední sedlo	Délka cyklu:			60 s				
Posouzení kapacity vjezdů, úroveň kvality dopravy									
Vjezd (signální skupina)	I_v [pvoz/h]	Z [s]	S_v [pvoz/h]	C_v [pvoz/h]	Rez [%]	L_{F1} [m]	t_w [s]	ÚKD	
								<i>dosažená</i>	<i>požadovaná</i>
VA^	691	42	2000	1400,00	50,64	20,73	4,84	A	E
VB<	149	8	1818	242,42	38,54	12,91	32,75	B	E
VC	204	12	1722	344,40	40,77	16,32	26,44	B	E
VC + SC>	204	22	1722	619,92	67,69	12,92	13,51	A	E
VD	707	31	1898	981,10	27,94	34,17	14,31	A	E
Závěr: Světelně řízená křižovatka vykazuje dostatečnou rezervu kapacity. Požadavky UKD jsou splněny na všech vjezdech.									

Tabulka 24: Kapacitní posouzení - polední sedlo [zdroj vlastní]

5.5.3. Odpolední špička

Kritéria kapacitního posouzení pro odpolední špičku vyšly taktéž bez problému, i když s menší rezervou než pro polední sedlo. Cyklus pro odpolední špičku byl nakonec zvolen na 80 sekund, protože šedesátisekundový cyklus poledního sedla kapacitně nevyhovoval. Parametry kapacitního posouzení odpolední špičky jsou patrné z následující tabulky č. 2.

Kapacitní posouzení světelně řízené křižovatky podle TP188									
Název křižovatky:	Kukulova x Roentgenova								
Posuzovaný stav:	odpolední špička	Délka cyklu:		80 s					
Posouzení kapacity vjezdů, úroveň kvality dopravy									
Vjezd (signální skupina)	I_v [pvoz/h]	Z [s]	S_v [pvoz/h]	C_v [pvoz/h]	Rez [%]	L_{F1} [m]	t_w [s]	ÚKD	
								dosažená	požadovaná
VA^	973	60	2000	1500,00	35,13	32,43	6,38	A	E
VB<	186	11	1818	250,00	25,60	21,39	48,66	C	E
VC	253	14	1722	301,35	16,04	27,83	56,85	D	E
VC + SC>	253	27	1722	581,18	56,47	22,35	20,67	B	E
VD	1026	46	1898	1091,87	6,03	58,14	37,25	C	E
Závěr: Světelně řízená křižovatka vykazuje dostatečnou rezervu kapacity. Požadavky UKD jsou splněny na všech vjezdech.									

Tabulka 25: Kapacitní posouzení - odpolední špička [zdroj vlastní]

6. Ověření a zhodnocení návrhu

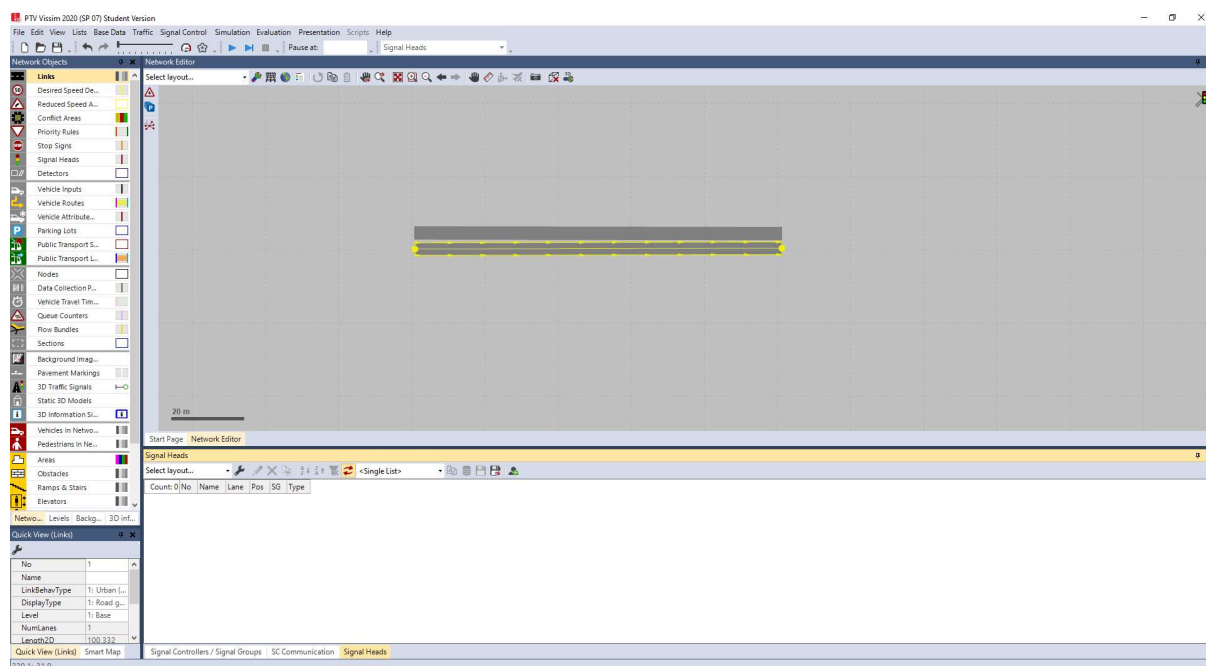
6.1. Software VISSIM

Pro ověření návrhu byl použit software PTV VISSIM 2020.00-07 (Student). Tento software je hodnocen jako nejpokročilejší a nejflexibilnější pro simulaci provozu. Je používán ve více než 2500 městech po celém světě. Vyznačuje se detailní a realistickou simulací, poskytuje realistický a podrobný přehled o stavu dopravy v dané lokalitě a dopadů návrhu. V tomto programu je možné definovat různé scénáře a modelovat různé typy křižovatek. Lze využít pro mikroskopické, makroskopické, ale i hybridní simulace. [12]

6.2. Tvorba modelu

V následující kapitole bude popsán postup práce tvorby modelu a vyhodnocení simulace. Model byl vytvořen za použití „Návodu k ukázkovému příkladu ve VISSIMu“ [13].

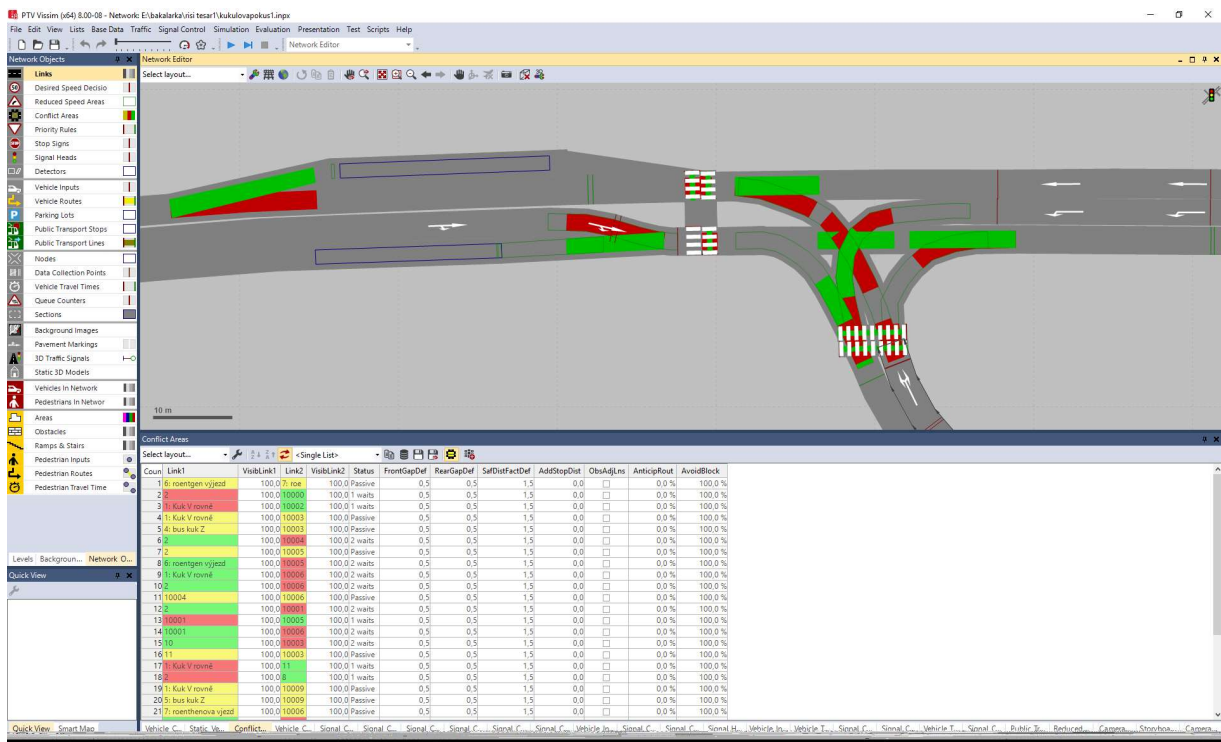
K účelům této bakalářské práce byl vyhotoven model provozu a způsobu řízení v průběhu ranní špičky, pro ověření funkčnosti navrženého řešení této křižovatky. Model byl vytvořen na podkladu situace ve formátu DWG (příloha 2), která byla základem pro modelaci navrhované sítě v prostředí PTV VISSIM. V této fázi tvorby modelu bylo důležité správně nastavit měřítko, aby nedocházelo ke zkreslení výsledků simulace. Následovalo samotné modelování sítě. Pomocí karty „Links“ byly takto vykresleny veškeré jízdni pruhy. Přechody pro chodce byly taktéž vykresleny touto kartou. Propojením těchto linků byla tedy vytvořena dopravní síť. S použitím karty „Pavement Markings“ pak bylo vytvořeno vodorovné značení dle skutečného návrhu, včetně vyznačení přechodů pro chodce. Uživatelské prostředí programu VISSIM je patrné z obrázku č. 16.



Obrázek 16: Uživatelské prostředí SW PTV VISSIM [zdroj vlastní]

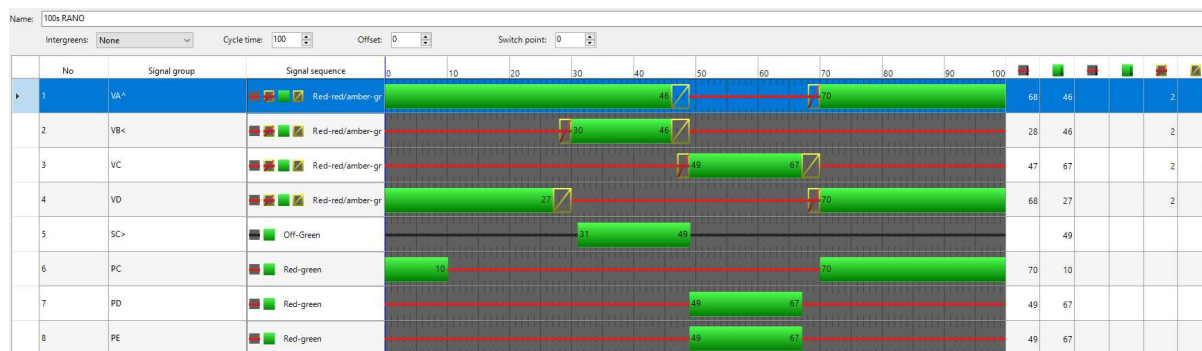
Následně byly pomocí karty „Vehicle Inputs“ vloženy zdroje vozidel. Křižovatka má celkem 4 vozidlové vstupy. Čtvrtý vstup patří autobusům, jedoucím z ramena Kukulova (Z), a projíždějícím přes přilehlou autobusovou zastávku. Tento vstup byl vytvořen z důvodu zjednodušení modelové situace. Dále byly vytvořeny 4 vstupy pro chodce. Po spuštění simulace však vznikl problém, kdy se simulace kvůli vysokým intenzitám nedařilo přijímat všechny vstupy, což způsobovalo chybu v průběhu simulace. Tento problém byl vyřešen protažením vstupů. V tomto kroku se do SW taktéž zadávala skladba vozidel a do kolonky „Volume“ pak vozidlové intenzity v přepočtené na voz/hod.

Dále bylo nastaveno směřování vozidel. V kartě „Vehicle Routes“ byly vybrány začátky a konce jednotlivých tras. Taktéž se zde poměrově zadával podíl vozidel jedoucích do jednotlivých směrů. Po nastavení směřování byly nadefinovány oblasti se sníženou rychlostí. To jsou oblasti před křižovatkou, kam vozidla vjíždějí sníženou rychlostí. Tento krok se dělá za účelem dosažení věrohodnosti našeho modelu. Následným krokem pak bylo definování předností jízdy v křižovatce. K tomu byla použita karta „Conflict Areas“ Zde bylo nastaveno, která z každých dvou křižujících se jízdnicích má přednost (ve schématu zelenou barvou). Tento krok byl poněkud náročný, protože konfliktních zón je opravdu hodně a překrývají se – tudíž dochází k situacím, kdy je obtížné rozeznat, které dva kolizní směry jsou posuzovány. I tento krok se po několika pokusech podařil úspěšně dokončit. Zobrazení konfliktních zón v PTV VISSIM je patrné z obrázku č. 17.



Obrázek 17: Konfliktní zóny v SW PTV VISSIM [zdroj vlastní]

Poté následoval zásadní krok – návrh systému řízení. Dle návodu byl definován systém řízení, kdy nejprve byly nastaveny jednotlivé signální skupiny – jak vozidlové, tak chodecké a byly jim přiřazeny správné výchozí sekvence a minimální hodnoty jednotlivých signálů. Dále byla vyplněna tabulka mezičasů (viz. tab. č. 12) a nastaven počet fází a jednotlivé fázové parametry. Pro tuto simulaci byly tedy nastaveny parametry cyklu pro ranní špičku, které jsou shrnuty v kapitole 5.4.3.1 této práce. Znázornění signálního plánu z karty „Signal Program“ v prostředí PTV VISSIM je patrné z obrázku č. 18. Po nadefinování návěstidel byla návěstidla umístěna do modelované sítě pomocí karty „Signal Heads“.

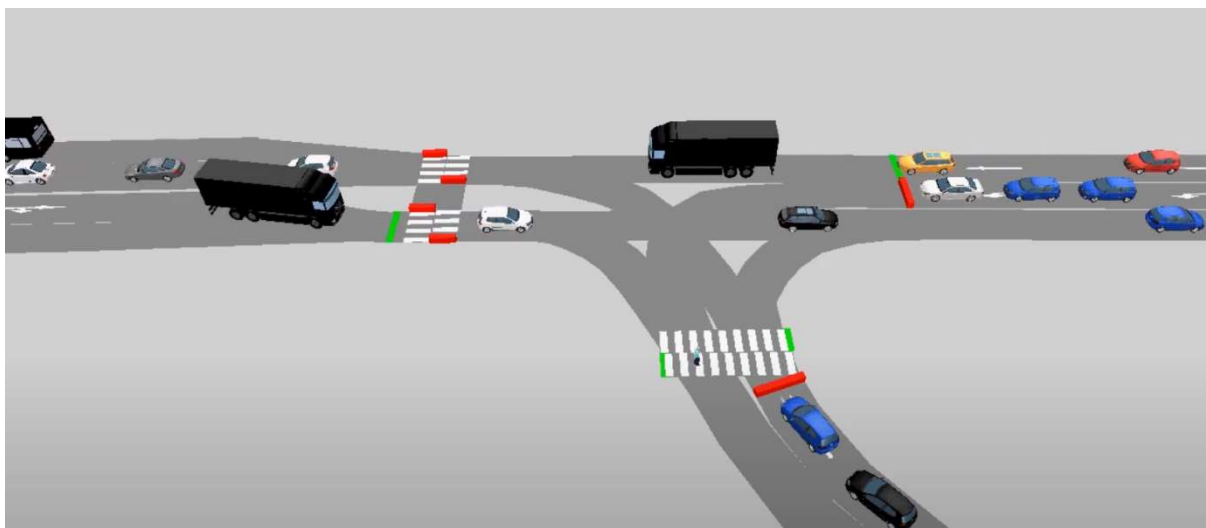


Obrázek 18: Signální plán v SW PTV VISSIM [zdroj vlastní]

6.3. Simulace a její vyhodnocení

Následovalo nastavení samotné simulace a její spuštění. Na kartě kartě „Evaluation -> Configuration“ byly nastaveny parametry potřebné k vyhodnocení. Všechny parametry byly nastaveny v čase 600-4200 s, kdy byla simulace vyhodnocována. Důležité bylo taktéž nastavení „měřících úseků“, ve kterých byly dané parametry měřeny. Toto nastavení bylo provedeno na kartě „Vehicle Travel Times“. Pro tuto křižovatku bylo nastaveno celkem 6 měřících úseků, tj. pro každý směr ve křižovatce zvlášť. Po provedení veškerého nastavení byla simulace nejprve spuštěna v reálném čase, kdy bylo nahráno video ze simulace, které je součástí přílohy č. 11 této práce a bude prezentováno při její obhajobě. Vizualizace je patrná z obrázku 19. Poté byla spuštěna ve zrychleném módu za účelem získání dat pro vyhodnocení. Celkem bylo provedeno 30 běhů simulace, za účelem dosažení co nejvyšší přesnosti. Výstupem každého běhu byl soubor ve formátu „.rsr“, který byl otevřen pomocí MS Excel. V tomto programu bylo posléze provedeno zpracování dat.

V rámci simulace byla taktéž prověřována varianta zastávky v rámci jízdního pruhu ve směru na Nemocnici Motol, tj. řešení bez zálivu. Tato varianta však vykazovala výrazné potíže, kdy autobus zastavil v jízdním pruhu, čímž znemožnil všem ostatním vozidlům plynulý výjezd z křižovatky. Toto řešení bylo tedy zavrhnuto a bylo implikováno řešení se zálivem, který je v tomto případě za účelem plynulosti a bezpečnosti v křižovatce bezpodmínečně nutný.



Obrázek 19: Vizualizace simulace v SW PTV VISSIM [zdroj vlastní]

V rámci zpracování dat bylo všech 30 dílčích souborů spojeno dohromady, data byla pomocí funkcí a filtrů zpracována a pro každý „měřící úsek“ byla vypočtena průměrná doba zdržení všech vozidel jedoucích v daném směru, tedy parametru „Delay“. Přehled jednotlivých měřících úseků a výsledky simulace jsou patrné z tabulky 26.

číslo měřiče	signální skupina	směr	průměrné zdržení [s]
1	VA^	rovně	15,23
2	VB<	vlevo	54,21
3	VC	vpravo	42,95
4	VC	vlevo	45,64
5	VD	rovně	50,8
6	VD	vpravo	50,75

Tabulka 26: Shrnutí simulace [zdroj vlastní]

6.4. Porovnání výsledků a zhodnocení návrhu

Kapacitní posouzení, vypracované dle TP 188 v kapitole 5.5.1, bylo porovnáno s výsledky simulace provedené pomocí SW PTV VISSIM, viz. kapitoly 6.1, 6.2 a 6.3. Výsledky tohoto porovnání jsou patrné z tabulky číslo 27.

signální skupina	směr	průměrné zdržení [s]	zdržení dle TP188 [s]
VA^	rovně	15,23	9,49
VB<	vlevo	54,21	307,6
VC	vlevo, vpravo	44,3	139,58
VC + SC>	vpravo	45,64	24,62
VD	rovně, vpravo	50,78	-
* pro VD nebylo zdržení dle TP188 možné dopočítat, protože ÚKD vyšla na F			

Tabulka 27: Porovnání výsledků zdržení [zdroj vlastní]

Z tohoto porovnání je patrné, že výsledné doby zdržení se výrazně odlišují. Tento fakt mohou způsobovat odlišnosti českých (TP188) a německých (PTV VISSIM) norem a různý způsob

výpočtu (např. že německé normy nerozlišují NV a TV, na rozdíl od českých). Podle českých norem křižovatka kapacitně nevyhovuje, naopak v simulaci, která počítá parametry odlišným způsobem, zvládá navrhované SSZ řízení křižovatky vcelku obstojně.

V návaznosti na tyto výsledky je však nutné si uvědomit, že porovnávané výsledky jsou založeny na špičkové hodině 7:00 – 8:00, kdy byly intenzity suverénně nejvyšší v rámci zkoumaných hodin. Můžeme tedy konstatovat, že provoz na křižovatce je v ostatních hodinách víceméně plynulý. Z kapitol 5.5.2 a 5.5.3 vyplývá, že během dalších částí dne (polední sedlo, odpolední špička) navrhované SSZ funguje bez problémů a křižovatka kapacitně vyhovuje.

Doporučení

Domnívám se, že navržené řešení této křižovatky by bylo vhodné realizovat, i navzdory problémům s její propustností v průběhu ranní špičky. V současném stavu křižovatka představuje velké bezpečnostní riziko, zejména pro řidiče jedoucí z vedlejší komunikace, taktéž není v současném stavu vhodné umístění zastávky MHD, což může potencionálně způsobovat nebezpečí jak pro chodce, tak pro netrpělivé řidiče. Tyto problémy by byly zřízením SSZ a provedením navržených stavebních úprav vyřešeny a hrozby z nich plynoucí minimalizovány. Propustnost křižovatky by mohla být zvýšena dalšími opatřeními, jako například navržením systému dynamického řízení, což ale není předmětem této bakalářské práce.

V dané oblasti má křižovatka zásadní opodstatnění:

- Nehodovost na křižovatce je za rok průměrně 6 nehod.
- Vzniká zde nespočet nebezpečných situací denně – během průzkumu bylo zaznamenáno 5 kolizních situací.
- Nehodám je zde často zabráněno až na poslední chvíli rychlou reakcí řidičů.
- Průjezdnost na rameni ve směru od Vypichu vykazuje zásadní problémy díky zastavujícímu BUS v jízdním pruhu, kde zastaví průměrně 25 autobusů za hodinu, což způsobuje další kolizní situace při nedovoleném předjíždění autobusu neukázněnými řidiči.
- Nájezd z ulice Roentgenovy je problematický s ohledem na výrazné sklonové podmínky a vysoké přetíženosti ulice Kukulova.
- Ulice Kukulova ve směru od Motola je taktéž výrazně bržděna stojícími BUS v zastávce.
- Navržené úpravy kladou důraz na minimalizaci stavebních úprav a zajišťují bezpečnou vazbu pro chodce přes ulici Kukulova.
- Systém řízení dopravy zohledňuje vysoké intenzity, kdy je pro ranní špičku navržena nejvyšší možná délka cyklu –100 s.
- Instalací SSZ na této křižovatce dochází ke zklidnění a zvýšení bezpečnosti provozu.
- Doporučuje se řešit na SSZ dynamické řízení a preference BUS.
- Taktéž se doporučuje řešit preference IZS, především z důvodu blízkosti křižovatky Nemocnice Motol a Nemocnice na Homolce, což způsobuje vysoké intenzity vozů ZZS.

Ideálním řešením by byl odvod části dopravy do jiné komunikační sítě, která by byla na takto vysoké intenzity připravena. Tento způsob řešení však závisí na rychlosti realizace plánovaných záměrů výstavby dopravní infrastruktury, konkrétně pak výstavby severní částí městského okruhu, která by odvedla velkou část tranzitní dopravy z křižovatky, nebo plánovaná výstavba Radlické radiály, jejíž existence by taktéž vedla ke snížení křižovatkových intenzit.

Závěr

Cílem této bakalářské práce byl návrh světelně řízené křižovatky Kukulova - Roentgenova v Praze. V souladu se zadáním byla nejprve provedena analýza současné dopravní situace a širších dopravních vztahů na posuzované křižovatce a ověření kapacity současného neřízeného řešení. Analýzou byly zjištěny problémy vyplývající z nevhodného stavebního uspořádání křižovatky, hlavně pak z nevhodně umístěných zastávek MHD. Následovalo provedení dopravního průzkumu na křižovatce a jeho vyhodnocení. Z těchto nasbíraných dat bylo pak vyhotoveno kapacitní posouzení neřízené křižovatky a bylo zjištěno, že kapacitně nevyhovuje. Dále byly vyhodnoceny i ostatní kritéria účelnosti SSZ, kde byly splněny kritéria intenzity z hlediska vozidel, intenzity z hlediska chodců a kritérium místa zvláštního zřetele. Zřízení SSZ zde tedy bylo prohlášeno za účelné.

Dále pak následoval návrh situačního řešení. Řešení bylo navrženo s přihlédnutím k situaci od TSK. Byly navrženy úpravy autobusových zastávek, přechodů (vlození ostrůvku), chodníků a některých hran komunikace. Taktéž bylo do situace přidáno samotné SSZ a navrženo celkové situační řešení.

Následujícím krokem bylo navržení signálního plánu. Na základě nového stavebního uspořádání byla vytvořena tabulka mezcíh, ze které vycházela většina následujících výpočtů. Poté proběhl návrh signálních skupin, fází, jejich sledu a fázových přechodů. Taktéž byly vypočteny satureované toky jednotlivých směrů. Z těchto hodnot byly poté z důvodu rozdílných intenzit během dne vytvořeny tři různé cykly pro jednotlivé denní doby. Parametry jednotlivých cyklů byly dále upraveny dle kapacitního posouzení, aby bylo řešení co nejoptimálnější. Finální návrh tedy uvažuje se třemi signálními plány o délkách 100s pro ranní špičku, 60 sekund pro polední sedlo, respektive 80 sekund pro odpolední špičku. ÚKD v kapacitním posouzení pro ranní špičku bohužel vychází pro signální skupinu VD, tedy pro vjezd z ramena Kukulova - Západ na úrovni F. Tento fakt je způsoben vysokými hodnotami intenzit v ranních špičkových hodinách. I z tohoto důvodu byla zvolena nejvyšší možná délka cyklu (100s) za účelem zajištění co nejvyšší propustnosti a minimalizaci zdržení. U ostatních denních dob vyšlo kapacitní posouzení bez problémů, kde nejhorší stupeň ÚKD vychází na D.

Posledním krokem této práce bylo ověření navrhovaného řešení pomocí vhodného simulačního nástroje VISSIM. V tomto SW byla namodelován provoz a systém řízení během ranní špičky. Výsledky simulace, které jsou v porovnání s kapacitním posouzením shrnuty v tabulce č. 27, dopadly překvapivě pozitivně a ukazují, že reálné fungování navrhovaného řešení může být lepší, než ukazuje kapacitní posouzení.

Pro tvorbu většiny výpočtů a tabulek uvedených v této bakalářské práci byl použit software MS EXCEL. Pro tvorbu kapacitních posouzení, rozhledových trojúhelníků, ověření intenzit, atp. byl použit software EDIP, jehož licence byla poskytnuta společností European Transportation Consultancy, jejíž jsem externím zaměstnancem. Pro vytvoření simulace byla použita studentská licence softwaru PTV VISSIM. Situační výkres byl vytvořen ve studentské verzi programu AUTODESK AUTOCAD, s podkladem situace poskytnuté od TSK. [17]

Seznam použitých zdrojů

- [1] Google.com, Google Maps [online] (z 04.11.2019)
dostupné z: <https://www.google.com/maps>
- [2] EDIP s.r.o., ROZHLED [online]
dostupné z: <http://www.edip.cz/cs/software/rozhled/>
- [3] EDIP s.r.o., TP 189: Stanovení intenzit dopravy na pozemních komunikacích, II. vydání, září 2018
- [4] EDIP s.r.o., EDIP - eL [online]
dostupné z: <http://www.edip.cz/cs/software/edip-el/>
- [5] TSK, a.s. Intenzity dopravy na sledované síti pro dopravní sčítání TSK-ÚDI 2018 [online]
dostupné z: <https://www.tsk-praha.cz/wps/portal/root/dopravni-inzenyrstvi/intenzity-dopravy>
- [6] EDIP s.r.o., EDIP - eS [online]
dostupné z: <http://www.edip.cz/cs/software/edip-es/>
- [7] MARTOLOS J., TP 81 Navrhování světelných signalizačních zařízení pro řízení provozu na pozemních komunikacích, II. vydání, EDIP s.r.o., prosinec 2015
- [8] EDIP s.r.o., TP 188 Posuzování kapacity křižovatek a úseků pozemních komunikací, srpen 2018
- [9] EDIP s.r.o., EDIP - Ka [online]
dostupné z: <http://www.edip.cz/cs/software/edip-ka/>
- [10] Policie České republiky, Centrum dopravního výzkumu [online] (z 04.02.2020)
dostupné z: <http://maps.jdvm.cz/cdv2/apps/nehodynalokalite/Search.aspx>
- [11] MAFRA a.s., idos.idnes.cz [online] (z 15.11.2019)
dostupné z: <http://mapy.idos.cz/praha/>
- [12] PTV GROUP, ptv-vissim [online] (z 23.04.2020)
dostupné z: <https://www.ptvgroup.com/en/solutions/products/ptv-vissim/>
- [13] RŮŽIČKA J., Návod k ukázkovému příkladu ve VISSIMu (v rámci bloku RISI), ČVUT FD
- [14] PŘIBYL P., SVÍTEK M.: Inteligentní dopravní systémy, BEN – technická literatura, PRAHA 2001
- [15] PŘIBYL P., MACH R.: Řídicí systémy silniční dopravy, ČVUT, Praha 2003
- [16] EDIP s.r.o., TP 235 Posuzování kapacity světelně řízených křižovatek
- [17] TSK hl.m. Prahy a.s, Eltodo s.r.o., Situační plán křižovatky Kukulova - Šafránecká, říjen 2008
- [18] PTV GROUP, Training PTV VISSIM Basic Course [online]
dostupné z: <https://docplayer.net/55900242-Training-ptv-vissim-basic-course.html>

Seznam obrázků

Obrázek 1: Poloha křižovatky a její okolí [1]

Obrázek 2: Současný stav křižovatky a názvy ramen [1]

Obrázek 3: Rozhledové trojúhelníky [2]

Obrázek 4: Rameno Kukulova (Z) - pohled vjezdu [zdroj vlastní]

Obrázek 5: Rameno Kukulova (Z) - pohled výjezdu [zdroj vlastní]

Obrázek 6: Rameno Kukulova (Z) - nedovolené objíždění stanicujícího autobusu [zdroj vlastní]

Obrázek 7: Rameno Roentgenova - pohled vjezdu [zdroj vlastní]

Obrázek 8: Rameno Roentgenova - pohled výjezdu [zdroj vlastní]

Obrázek 9: Rameno Kukulova (V) - pohled vjezdu [zdroj vlastní]

Obrázek 10: Pentlogram ranních intenzit [4]

Obrázek 11: Pentlogram poledních intenzit [4]

Obrázek 12: Pentlogram odpoledních intenzit [4]

Obrázek 13: Umístění nehod [10]

Obrázek 14: Graf hodnocení intenzit dopravy dle TP81 [7]

Obrázek 15: Návrh a sled fází [zdroj vlastní]

Obrázek 16: Uživatelské prostředí SW PTW VISSIM [zdroj vlastní]

Obrázek 17: Konfliktní zóny v SW PTW VISSIM [zdroj vlastní]

Obrázek 18: Signální plán v SW PTW VISSIM [zdroj vlastní]

Obrázek 19: Vizualizace simulace v SW PTW VISSIM [zdroj vlastní]

Seznam tabulek

- Tabulka 1: Přepočtové koeficienty [zdroj vlastní]
- Tabulka 2: Ranní špičkové intenzity [zdroj vlastní]
- Tabulka 3: Polední sedlové intenzity [zdroj vlastní]
- Tabulka 4: Odpolední špičkové intenzity [zdroj vlastní]
- Tabulka 5: Ověření dat [zdroj vlastní]
- Tabulka 6: Přehled nehodovosti za 3 roky [10]
- Tabulka 7: Hodnocení kritérií intenzit vozidel [zdroj vlastní]
- Tabulka 8: Kapacitní posouzení neřízené křižovatky podle TP 188 [9]
- Tabulka 9: Posouzení kritéria chodců [zdroj vlastní]
- Tabulka 10: Autobusové linky projíždějící přes křižovatku [11]
- Tabulka 11: Rozdělení signálních skupin [zdroj vlastní]
- Tabulka 12: Mezičasy signálních skupin [zdroj vlastní]
- Tabulka 13: Fázový přechod FP1 [zdroj vlastní]
- Tabulka 14: Fázový přechod FP2 [zdroj vlastní]
- Tabulka 15: Fázový přechod FP3 [zdroj vlastní]
- Tabulka 16: Saturované toky řadících pruhů [4]
- Tabulka 17: Fáze ranního cyklu [zdroj vlastní]
- Tabulka 18: Délky zelených ranního cyklu [zdroj vlastní]
- Tabulka 19: Fáze poledního cyklu [zdroj vlastní]
- Tabulka 20: Délky zelených poledního cyklu [zdroj vlastní]
- Tabulka 21: Fáze odpoledního cyklu [zdroj vlastní]
- Tabulka 22: Délky zelených odpoledního cyklu [zdroj vlastní]
- Tabulka 23: Kapacitní posouzení - ranní špička [zdroj vlastní]
- Tabulka 24: Kapacitní posouzení - polední sedlo [zdroj vlastní]
- Tabulka 25: Kapacitní posouzení - odpolední špička [zdroj vlastní]
- Tabulka 26: Shrnutí simulace [zdroj vlastní]
- Tabulka 27: Porovnání výsledků zdržení [zdroj vlastní]

Seznam příloh

Příloha 1: Situační výkres křižovatky [zdroj vlastní]

Příloha 2: Ověření intenzit [6]

Příloha 3: Statistika nehodovosti [10]

Příloha 4: Kapacitní posouzení neřízené křižovatky [9]

Příloha 5: Rozhledové trojúhelníky - výpočty [2]

Příloha 6: Tabulka přepočtových koeficientů pro autobusy [zdroj vlastní]

Příloha 7: Výpočtové tabulky [zdroj vlastní]

Příloha 8: Schéma signálního plánu - ráno [zdroj vlastní]

Příloha 9: Schéma signálního plánu - poledne [zdroj vlastní]

Příloha 10: Schéma signálního plánu – odpoledne [zdroj vlastní]

Příloha 11: Video ze simulace – PTW VISSIM [zdroj vlastní]
dostupné z: <https://youtu.be/nJpo25gzolM>