



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA DOPRAVNÍ

Martin Zajíček

**NÁVRH SSZ NA KŘÍŽOVATCE S. K. NEUMANNA x
SVOBODY V PARDUBICÍCH**

Bakalářská práce

2021

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):

Martin Zajiček

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

B 3710 – ITS – Inteligentní dopravní systémy

Název tématu (česky): **Návrh SSZ na křižovatce S. K. Neumanna x Svobody v Pardubicích**

Název tématu (anglicky): The Design of Traffic Control at the Intersection of S. K. Neumann x Svobody

Zásady pro vypracování

Při zpracování bakalářské práce se řiďte následujícími pokyny:

- Analýza širších dopravních vztahů posuzovaného uzlu a dostupných podkladů na křižovatce v Pardubicích;
- Dopravní průzkum včetně dopravních pohybů za účelem získání DI dat pro návrh SSZ;
- Posouzení kapacity stávajícího dopravního uzlu (kruhového objezdu) a prověření účelnosti návrhu SSZ podle ČSN 736102;
- Návrh situačního návrhu na křižovatce SSZ v rozsahu územní dokumentace a dopravní studie;
- Ověření návrhu SSZ pomocí vhodného simulačního nástroje včetně kapacitního posouzení řízené křižovatky dle platných TP 188.



Rozsah grafických prací: dle vedoucích bakalářské práce

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

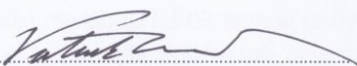
Seznam odborné literatury: TP 81 - Navrhování světelných signalizačních zařízení pro řízení provozu na pozemních komunikacích
Jirava P., Slabý P.: pozemní komunikace 10 - Dopravní inženýrství, skripta ČVUT, 1997.
Highway Capacity Manual 2010. Washington, D.C. : Transportation Research Board, 2010


Vedoucí bakalářské práce: **Doc. Ing. Tomáš Tichý, Ph. D., MBA**
Ing. Jiří Růžička

Datum zadání bakalářské práce: **7. října 2020**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

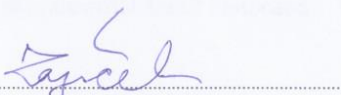
Datum odevzdání bakalářské práce: **9. srpna 2021**
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

L. S.


prof. Ing. Zdeněk Votruba, CSc.
vedoucí
Ústavu dopravní telematiky


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

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.


Martin Zajíček
jméno a podpis studenta

V Praze dne.....7. října 2020

Poděkování

Rád bych na tomto místě poděkoval vedoucím práce doc. Ing. Tomáši Tichému, Ph. D., MBA a Ing. Jiřímu Růžičkovi za čas, rady a postřehy, které mi poskytli v průběhu celého období v rámci konzultací. Další poděkování patří Ing. Martinu Ptáčkovi z Odboru hlavního architekta Magistrátu města Pardubic za návrh tématu a poskytnutí podkladů potřebných k vypracování.

Rád bych také poděkoval své rodině za veškerou podporu během dosavadního studia.

Prohlášení

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

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

Nemám žádný 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).

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem světelného signalizačního zařízení na křižovatce S. K. Neumanna x Svobody v Pardubicích, která je v současnosti okružní. Součástí práce je analýza současného stavu křižovatky a širších dopravních vztahů. Dále je popsán dopravní průzkum a jeho vyhodnocení, kapacitní posouzení okružní křižovatky a hodnocení kritérií pro návrh SSZ. Další částí je návrh řízení SSZ společně se stavebními úpravami, který je následně kapacitně posouzen. Poslední částí práce je ověření návrhu pomocí mikrosimulace v programu VISSIM.

Klíčová slova

Křižovatka, světelné signalizační zařízení, dopravní průzkum, kapacitní posouzení, pevný signální plán, simulace, VISSIM

Abstract

The subject of this bachelor thesis is to design a traffic control of the intersection S. K. Neumanna x Svobody in Pardubice, which is currently a roundabout. Part of the work is an analysis of the current state of the intersection and wide traffic relations. Furthermore, the traffic survey and its evaluation, the capacity assessment of the roundabout and the evaluation of the criteria for the design of the traffic lights are described. The next part is the design of the traffic control management together with construction modifications, which is then assessed for capacity. The last part of the work is the verification of the design using microsimulation in the VISSIM programme.

Keywords

Intersection, traffic lights, traffic survey, capacity assessment, fixed signal plan, simulation, VISSIM

Obsah

Obsah.....	6
Seznam zkratk	7
1 Úvod.....	8
2 Analýza současného stavu křižovatky.....	9
2.1 Popis současného stavu křižovatky	9
2.2 Širší dopravní vztahy.....	10
2.3 Budoucí stav okolní oblasti	11
3 Dopravní průzkum křižovatky	12
3.1 Popis dopravního průzkumu.....	12
3.2 Vyhodnocení dopravního průzkumu.....	13
4 Vyhodnocení současného stavu okružní křižovatky	19
4.1 Posouzení kapacity okružní křižovatky podle TP 188	19
4.1.1 Posouzení kapacity okružní křižovatky na vjezdu	20
4.1.2 Posouzení kapacity okružní křižovatky na výjezdu	23
4.1.3 Vyhodnocení kapacitního posouzení.....	24
4.2 Kritéria pro návrh SSZ dle TP 81.....	25
4.2.1 Kritérium bezpečnosti	26
4.2.2 Kritérium intenzity z hlediska vozidel	27
4.2.3 Kritérium intenzity z hlediska chodců.....	28
4.2.4 Kritérium preference MHD.....	28
4.2.5 Kritérium zvláštního zřetele	29
4.2.6 Vyhodnocení kritérií pro návrh SSZ podle TP 81	29
5 Návrh řízení SSZ.....	31
5.1 Návrh stavebních úprav.....	31
5.2 Návrh signálního programu.....	33
5.2.1 Návrh signálních skupin.....	33
5.2.2 Návrh fází.....	34
5.2.3 Tabulka mezcíčasů.....	35

5.2.4	Návrh fázových přechodů	37
5.2.5	Výpočet parametrů cyklu	40
5.2.6	Výpočet doby cyklu a doby volna fází.....	43
5.2.7	Sestavení signálního programu	45
5.3	Posouzení kapacity světelně řízené křižovatky podle TP 188.....	45
5.3.1	Kapacita vjezdu	45
5.3.2	Kapacita průjezdu křižovatkou ovlivněná pohybem chodců.....	46
5.3.3	Střední doba zdržení a délka fronty.....	47
5.3.4	Protokol výpočtu	49
6	Ověření návrhu v programu VISSIM.....	51
6.1	Mikrosimulace.....	51
6.2	Popis tvorby mikrosimulace v programu VISSIM.....	52
6.2.1	PTV VISSIM a další produkty společnosti PTV.....	52
6.2.2	Tvorba simulace	52
6.2.3	Průběh simulace	54
6.3	Vyhodnocení mikrosimulace.....	55
6.4	Porovnání s kapacitním posouzením, shrnutí.....	56
6.5	Simulace zátěžové situace	56
7	Doporučení.....	58
8	Závěr	60
	Seznam použité literatury.....	62
	Seznam příloh.....	64
	Seznam obrázků	65
	Seznam tabulek	66

Seznam zkratk

ÚS	územní studie
SSZ	světelné signalizační zařízení
MHD	městská hromadná doprava
TP	technické podmínky
ČSN	Česká technická norma
ÚKD	úroveň kvality dopravy
SDZ	svislé dopravní značení
VDZ	vodorovné dopravní značení
PTV	Planung Transport Verkehr
VISSIM	Verkehr In Städten – SIMulationmodell
ČVUT	České vysoké učení technické v Praze
FD	Fakulta dopravní

1 Úvod

Cílem této bakalářské práce je návrh světelného signalizačního zařízení na křižovatce ulic S. K. Neumanna a Svobody v Pardubicích. Křižovatka je v současnosti okružní, ale existuje riziko, že z několika důvodů její kapacita bude vyčerpána, a proto je vhodné uvažovat o alternativě.

Na území města Pardubice se v současné době poměrně daří stavět a připravovat ke stavbě nové projekty, díky kterým se město rozrůstá jak počtem obyvatel, tak rozlohou. Tato výstavba s sebou zákonitě přináší zvýšené nároky na dopravní situaci, jelikož současná dopravní síť je zatěžována více. Město na tyto nároky reagovalo mimo jiné implementací systému inteligentního řízení dopravy na významných komunikacích nebo přeměnou v současnosti neřízených křižovatek na světelně řízené. Jednou z křižovatek, u kterých je zájem přeměnu uskutečnit, je právě okružní křižovatka S. K. Neumanna x Svobody.

V práci je popsán současný stav křižovatky, jejího blízkého i širšího okolí a také budoucí stav oblasti z hlediska plánované stavby bytových jednotek a jejího vlivu na dopravu v lokalitě. Popsány jsou také další faktory, které provoz ovlivňují nebo ovlivňovat budou.

Pro vhodný návrh dopravního řešení jsou nutná vstupní data. Tato data byla získána provedením dopravního průzkumu intenzit. Popis průběhu a vyhodnocení dopravního průzkumu tvoří jednu z kapitol práce. Na základě zjištěných intenzit je provedeno kapacitní posouzení okružní křižovatky a jsou posouzena kritéria pro návrh SSZ.

Po posouzení je možné vytvořit signální program a poté provést kapacitní posouzení tohoto návrhu. Další částí je ověření návrhu pomocí mikrosimulace v programu VISSIM a porovnání dat ze simulace s vypočtenými v kapacitním posouzení.

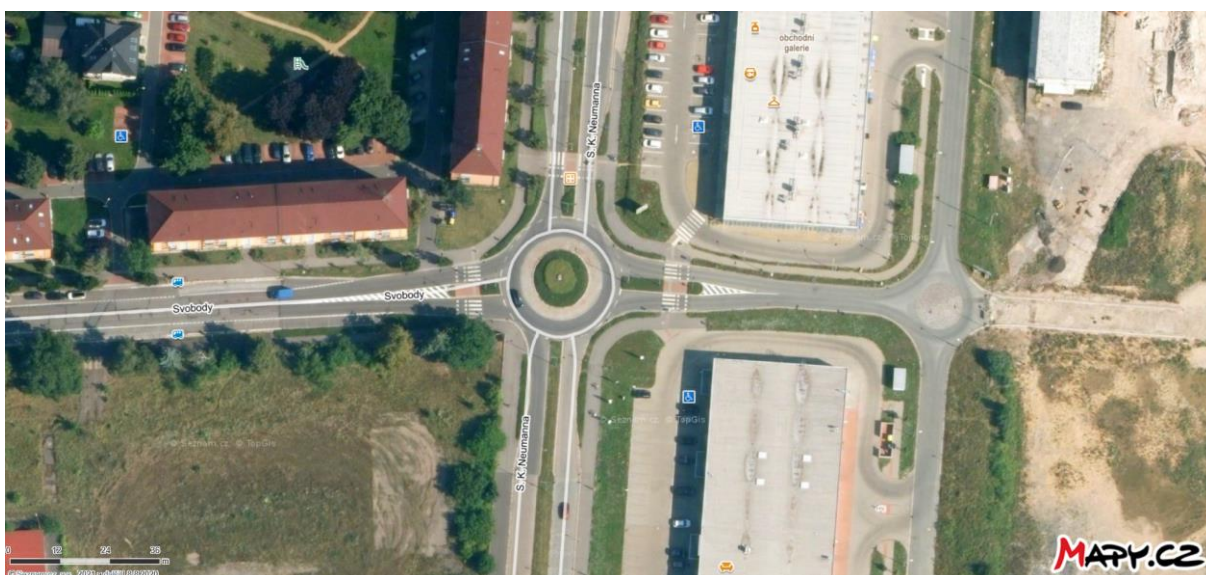
Vzhledem k tomu, že součástí návrhu je i přestavba z okružní křižovatky na průsečnou, je nedílnou součástí práce také soupis stavebních úprav.

2 Analýza současného stavu křižovatky

V této kapitole bude nejdříve analyzován současný stav křižovatky z hlediska dopravního uspořádání. Popsána budou jednotlivá ramena a jejich význam a dále také řešení situace chodců a cyklistů na křižovatce. V další části budou popsány širší dopravní vztahy, které se týkají významu ulic pro dopravy v městské části, respektive v celém městě. Poslední část druhé kapitoly tvoří popis budoucího stavu oblasti, který se týká jak výstavby bytových jednotek ve východní části křižovatky, tak dopravních staveb, které budou mít nezanedbatelný vliv na provoz křižovatky. Proveden byl soupis dopravního značení, který je součástí příloh.

2.1 Popis současného stavu křižovatky

Křižovatka ulic S. K. Neumanna a Svobody se nachází v městském obvodu Pardubice V – Dukla. Jedná se o úrovnňovou okružní křižovatku s jedním jízdním pruhem na okruhu, která má 4 ramena. Obě ramena ulice S. K. Neumanna jsou směrově rozdělená pásem zeleně, rameno ve směru z centra města se skládá ze dvou jízdních pruhů v každém směru, které se spojují, respektive rozdělují v blízkosti křižovatky. Zbýlá dvě ramena, ulice Svobody a od obchodní galerie, jsou směrově nerozdělená a v každém směru se skládají z jednoho jízdního pruhu. Čtvrté, východní rameno křižovatky slouží především jako přístupová komunikace k obchodní galerii, která se nachází v blízkosti, a to jak pro zákazníky, tak pro zásobování. Na třech ramenech křižovatky (ulice S. K. Neumanna ve směru z centra města, ulice Svobody a ve směru od obchodní galerie) se nachází přechod pro chodce s přimknutým přejezdem pro cyklisty, všechny jsou rozděleny ostrůvkem mezi jízdními pruhy. Současnou situaci křižovatky je možné vidět na obrázku 1.



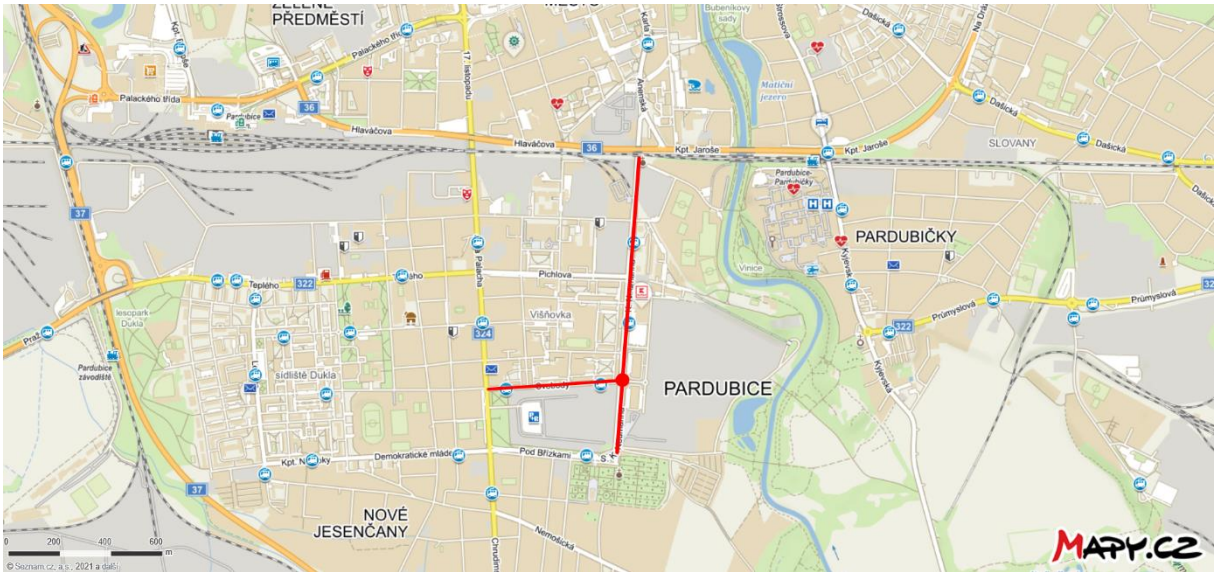
Obrázek 1 - současná situace křižovatky [1]

2.2 Širší dopravní vztahy

Ulice S. K. Neumanna je dlouhá přibližně 1,2 km a téměř po celé délce je směrově rozdělená pomocí pásu zeleně. Ve směru z centra města ulice začíná pod železničním a silničním podjezdem, kde se napojuje na ulici Anenská, a končí napojením na ulici Pod Břízkami v blízkosti pardubického krematoria, kde také končí směrové rozdělení komunikace. V úseku od podjezdu po křižovatku s ulicí Svobody se komunikace skládá se čtyř jízdních pruhů, v úseku od křižovatky po ulici Pod Břízkami je komunikace dvoupruhová. Kromě již zmíněné okružní křižovatky s ulicí Svobody se na ulici S. K. Neumanna nachází dalších sedm úrovnových křižovatek, konkrétně ve směru z centra města průsečné s areálem firmy CeZa – Centrum zásobování a s ulicemi Na Spravedlnosti a K Vinici a stykové s ulicí Pichlova, Benešovým náměstím, areálem supermarketu Kaufland, ulicí K Blahobytu a ulicí K Židovskému hřbitovu. Na všech zmíněných křižovatkách je ulice S. K. Neumanna hlavní komunikací, všechny křižovatky jsou neřízené. Vzhledem k tomu, že komunikace je ve své části směrově rozdělená, z některých křižovatek lze odbočit pouze do jednoho směru, také některé vedlejší komunikace jsou pouze jednosměrné, a proto do nich odbočit z hlavní komunikace nelze. Na ulici S. K. Neumanna se nachází dvě zastávky MHD, dále již zmíněný supermarket Kaufland, obchodní galerie, kde se nachází mj. PLANEO Elektro, JYSK nebo drogerie DM. V ulici K Vinici se nachází sportovní areál Pod Vinicí. Na konci ulice S. K. Neumanna a napojení na ulici Pod Břízkami se nachází pardubické krematorium a centrální a nový židovský hřbitov. Po celé délce ulice vede poměrně frekventovaná cyklostezka, která křižovatku protíná na východním ramenu.

Druhá ulice, která křižovatkou prochází, je ulice Svobody. Ulice je přibližně 520 m dlouhá, začíná na křižovatce s ulicí Jana Palacha a Staňkova a končí na okružní křižovatce s ulicí S. K. Neumanna. Na ulici se nachází dvě stykové křižovatky s ulicí Železničního pluku a Marty Exnarové, která je ale jednosměrná, takže z ní lze na ulici Svobody pouze vjet. Dále lze z ulice Svobody odbočit na několik parkovišť, která jsou u obytných budov podél ulice. Po téměř celé délce ulice jsou vodorovným dopravním značením vyhrazena místa pro parkování. Na ulici se nachází dvě zastávky MHD. Společně s ulicí S. K. Neumanna a dále ulicemi Jana Palacha a Pod Břízkami ohraničuje ulice Svobody areál Kasáren T. G. Masaryka, kde se nachází záchytné parkoviště provozované Magistrátem města Pardubice.

Situaci širších dopravních vztahů křižovatky společně s vyznačenými ulicemi je možné vidět na obrázku 2.



Obrázek 2 - mapa širších vztahů s vyznačenými ulicemi S. K. Neumanna a Svobody a řešenou křižovatkou [1]

2.3 Budoucí stav okolní oblasti

V územní studii (dále ÚS) [2] týkající se oblasti na východ od ulice S. K. Neumanna vypracované pro Magistrát města Pardubice se počítá s vystavěním obytného souboru budov místo současného supermarketu, nákupního centra a skladových hal v celkem devíti etapách v časovém horizontu přibližně 10 – 15 let. Právě křižovatka ulic S. K. Neumanna a Svobody je podle ÚS jedno z hlavních napojení obytného souboru na současnou dopravní síť a výhledově je možné její přestavění z okružní na průsečnou se SSZ, stejně jako další křižovatky na ulici S. K. Neumanna. ÚS předpokládá vybudování 1260 bytových jednotek s odhadovanou kapacitou až 4740 osob a zároveň přibližně 2500 parkovacími stáními v západní zóně oblasti. Lze tedy počítat s významným nárůstem generované dopravy z východního ramene křižovatky. Dále ÚS navrhuje obytným souborem vést linky MHD s vystavěním zastávek.

Podle ÚS je také třeba předpokládat napojení nově vybudované spojky k plánovanému jihovýchodnímu obchvatu města v ulici K Židovskému hřbitovu, kterou budou využívat vozidla jedoucí směrem do centra. I tato skutečnost bude mít nezanedbatelný vliv na provoz v lokalitě.

3 Dopravní průzkum křižovatky

Aby bylo možné navrhnout vhodné a odpovídající dopravní řešení pro křižovatku, je nutné vycházet z kvalitního podkladu. V tomto případě jsou tímto podkladem data o intenzitách dopravy získaná dopravním průzkumem křižovatky. V následujících částech třetí kapitoly je popsán dopravní průzkum, metoda provedení, jeho průběh a následné vyhodnocení. Také jsou popsány závěry, které vyplývají jak z vyhodnocení průzkumu, tak z přímého pozorování při průzkumu.

3.1 Popis dopravního průzkumu

Pro posouzení kritérií pro zřízení SSZ na křižovatce je třeba zjistit intenzity dopravy na pozemních komunikacích. Z toho důvodu bylo třeba uskutečnit dopravní průzkum provedený podle TP 189. [7] Zvolená metoda byla kombinovaná, kdy byl dopravní průzkum nejprve zaznamenán na kameru a následně ručně vyhodnocen.

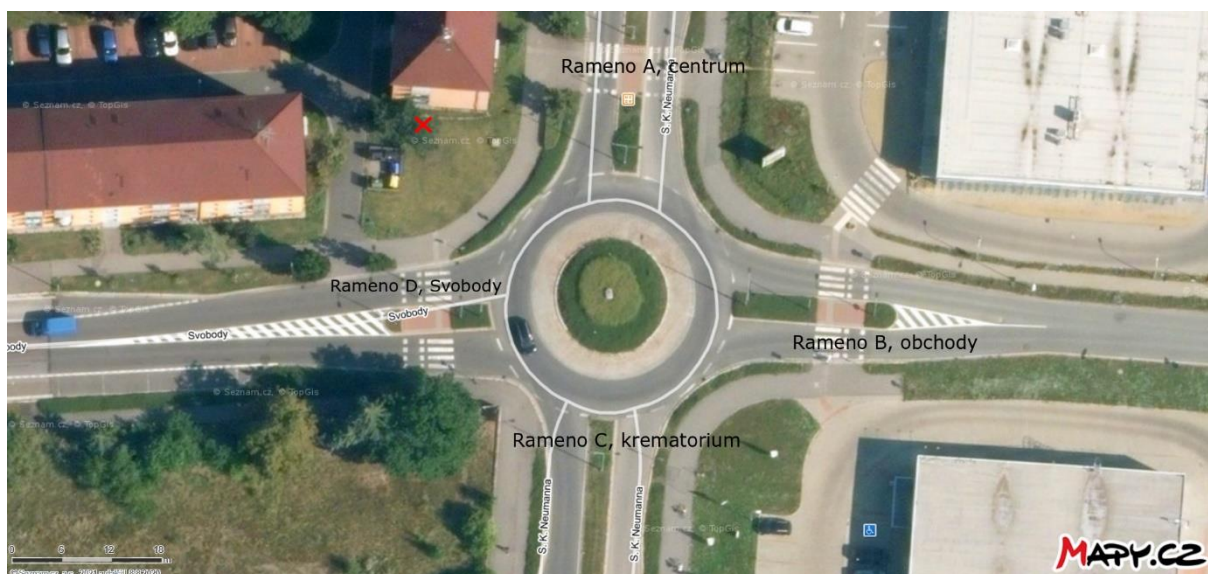
První dopravní průzkum byl proveden v pátek 19. února 2021 v době ranní špičky od 7:00 do 8:00. Z důvodu souběhu několika nevhodných okolností, které budou popsány níže, byl proveden ještě jeden, ověřovací dopravní průzkum, který byl proveden v úterý 30. března 2021 také v ranní špičce od 7:00 do 8:00, a dále ještě pro porovnání změn intenzity dopravy v rámci jednoho dne v sedle od 11:00 do 12:00 a v odpolední špičce od 16:00 do 17:00.

Mezi zmíněné nevhodné okolnosti prvního dopravního průzkumu patří den provedení, kterým byl pátek, obecně doporučuje se dopravní průzkumy provádět uprostřed pracovního týdne, tedy v úterý, středu nebo čtvrtek. Navíc v daném týdnu v okrese Pardubice probíhaly školní jarní prázdniny, které negativně ovlivnily naměřené intenzity dopravy, které potom nereprezentovaly reálný stav dopravního provozu. Ještě výraznější vliv na naměřené intenzity dopravy a rozdíl oproti reálnému stavu měla situace ohledně koronavirové epidemie a s ní související vládní nařízení, která významně omezila mobilitu.

První dvě okolnosti se podařilo odstranit provedením ověřovacího průzkumu v jiném datu, ale vzhledem k přetrvávajícím omezením i na konci března se dalo předpokládat, že naměřené intenzity jsou nižší než v obvyklém stavu. Proto byly naměřené intenzity porovnány s návrhovými intenzitami v kapacitním posouzení křižovatky provedeném v rámci územní studie. [2] Měření v ranní špičce opravdu ukázalo nižší intenzity, ale v odpolední špičce naměřené intenzity v součtu všech vjezdů odpovídaly hodnotám v územní studii, a proto je možné s nimi počítat dále při posouzení kapacity podle TP 188, výpočtu kritérií pro návrh SSZ podle TP 81 a návrhu parametrů řízení křižovatky pomocí SSZ.

Pro dopravní průzkum byla zvolena poloha videokamery mezi severním a západním ramenem (ulicemi S. K. Neumanna a Svobody). Z tohoto místa bylo možné bez problémů pozorovat provoz na všech čtyřech ramenech, a tedy i určit intenzity na vjezdech do křižovatky i směrové poměry projíždějících vozidel. Pro lepší rozlišení byla ramena kromě označení písmeny A-D ještě pojmenována, jak je

namazáno na obrázku 3. Červeným křížkem je na něm vyznačena poloha videokamery během dopravního průzkumu.



Obrázek 3 - současná podoba křižovatky s označením ramen [1]

3.2 Vyhodnocení dopravního průzkumu

Dopravní průzkum byl ručně vyhodnocen z videozáznamu. Každé vozidlo bylo zařazeno do jedné z pěti kategorií dopravních prostředků podle TP 189 a vynásobeno příslušným koeficientem uvedeným v tabulce 1. Kloubové autobusy, které by byly zařazeny do stejné kategorie jako nákladní soupravy, se na křižovatce nevyskytují. [7]

Tabulka 1 - tabulka koeficientů zohledněné skladby vozidel [7]

Druh vozidla	Koeficient
Jízdní kola	0,5
Motocykly	0,8
Osobní vozidla do 3,5 t hmotnosti	1,0
Nákladní vozidla nad 3,5 t hmotnosti, autobusy	1,7
Nákladní soupravy, kloubové autobusy	2,5

S využitím koeficientů je možné vypočítat zohledněnou skladbu vozidel. Zohledněná skladba vozidel je veličina, která se udává v jednotkách pvoz/hod, případně jvoz/h (přepočtená, příp. jednotková vozidla za hodinu) a zohledňuje skladbu vozidel na vjezdech na křižovatku a výjezdech z ní. [7]

Z důvodů uvedených v kapitole 3.1 jsou níže uvedeny pouze hodnoty naměřené v dopravním průzkumu provedeném 30. 3. 2021. Na základě těchto hodnot budou také dále prováděny veškeré výpočty. Uvedeny jsou tabulky 2-4 s návrhovými intenzitami, tabulka 5 zohledňuje výstavbu v oblasti východně od křižovatky. K naměřeným intenzitám na vjezdu i výjezdu na ramenu B (obchody) bylo s ohledem na budoucí výstavbu zmíněnou v předchozích kapitolách přidáno 100 pvoz/hod, která byla do jednotlivých směrů rozpočtena podle naměřených poměrů.

S pomocí programu LISA+ vytvořeny pentlogramy intenzit pro všechny čtyři situace, pentlogram intenzit v odpolední špičce se zohledněnou výstavbou je přiložen níže jako obrázek 4, pentlogramy pro zbylé tři situace jsou součástí příloh. [16]

Tabulka 2 - návrhové intenzity dopravy pro ranní špičku [zdroj vlastní]

Návrhové intenzity dopravy - rok 2021 (7:00-8:00)								
Název křižovatky		S. K. Neumanna x Svobody, Pardubice						
Rameno	Název	Směr jízdy	Jízdní kola	Motocykly	Osobní vozidla	Nákladní vozidla	Nákladní soupravy	Zohledněná skladba
			[voz/hod]	[voz/hod]	[voz/hod]	[voz/hod]	[voz/hod]	[pvoz/hod]
			1	2	3	4	5	6
A	centrum	Svobody	0	0	73	4	0	80
		krematorium	0	0	160	10	3	185
		obchody	0	0	12	1	0	14
B	obchody	centrum	0	0	1	1	0	3
		Svobody	0	1	7	1	0	10
		krematorium	0	0	0	22	0	37
C	krematorium	obchody	0	0	20	0	0	20
		centrum	1	1	258	11	5	291
		Svobody	0	0	6	3	0	11
D	Svobody	krematorium	0	0	13	2	0	16
		obchody	1	0	12	0	0	13
		centrum	6	1	121	2	0	128

Tabulka 3 - návrhové intenzity dopravy pro polední sedlo [zdroj vlastní]

Návrhové intenzity dopravy - rok 2021 (11:00-12:00)								
Název křižovatky		S. K. Neumanna x Svobody, Pardubice						
Rameno	Název	Směr jízdy	Jízdní kola	Motocykly	Osobní vozidla	Nákladní vozidla	Nákladní soupravy	Zohledněná skladba
			[voz/hod]	[voz/hod]	[voz/hod]	[voz/hod]	[voz/hod]	[pvoz/hod]
			1	2	3	4	5	6
A	centrum	Svobody	0	1	105	0	1	108
		krematorium	0	3	211	10	6	245
		obchody	0	0	52	0	2	57
B	obchody	centrum	0	0	19	0	2	24
		Svobody	0	0	45	0	0	45
		krematorium	0	0	63	1	0	65
C	krematorium	obchody	0	0	32	0	1	35
		centrum	0	1	184	5	3	201
		Svobody	0	0	6	2	0	9
D	Svobody	krematorium	0	0	23	1	0	25
		obchody	2	0	32	0	0	33
		centrum	2	0	117	1	0	120

Tabulka 4 - návrhové intenzity dopravy pro odpolední špičku [zdroj vlastní]

Návrhové intenzity dopravy - rok 2021 (16:00-17:00)								
Název křižovatky		S. K. Neumanna x Svobody, Pardubice						
Rameno	Název	Směr jízdy	Jízdní kola	Motocykly	Osobní vozidla	Nákladní vozidla	Nákladní soupravy	Zohledněná skladba
			[voz/hod]	[voz/hod]	[voz/hod]	[voz/hod]	[voz/hod]	[pvoz/hod]
			1	2	3	4	5	6
A	centrum	Svobody	1	1	102	1	0	105
		krematorium	0	7	266	5	5	293
		obchody	1	0	56	1	0	58
B	obchody	centrum	0	0	26	0	1	29
		Svobody	2	1	38	0	0	40
		krematorium	0	0	66	0	1	69
C	krematorium	obchody	0	1	45	0	1	48
		centrum	0	4	239	4	0	249
		Svobody	0	1	8	3	0	14
D	Svobody	krematorium	0	1	17	3	0	23
		obchody	3	0	26	0	0	28
		centrum	2	1	125	3	0	132

Tabulka 5 - návrhové intenzity dopravy pro odpolední špičku se zohledněným budoucím vývojem oblasti [zdroj vlastní]

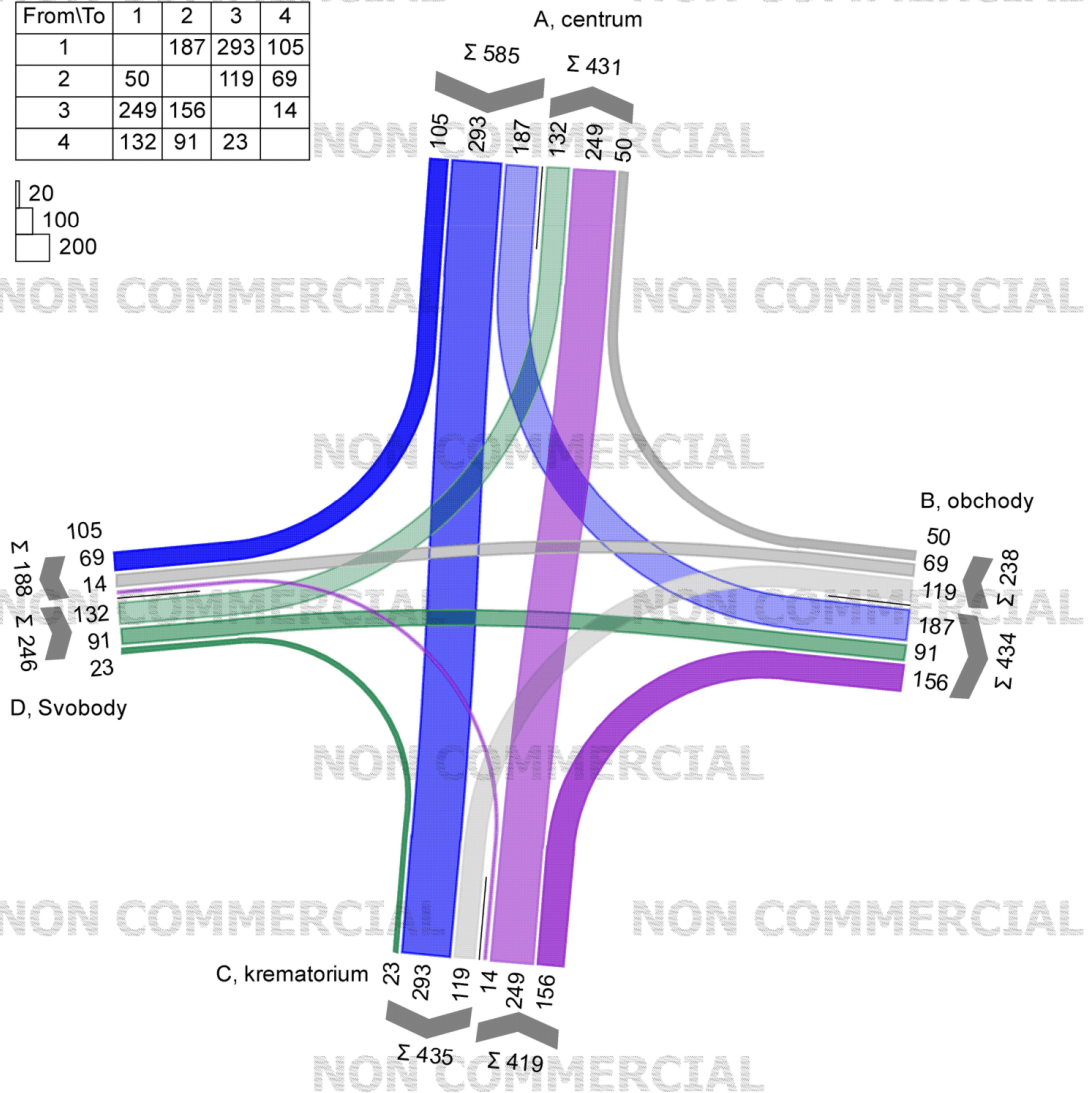
Návrhové intenzity dopravy - rok 2021 (16:00-17:00)								
Název křižovatky		S. K. Neumanna x Svobody, Pardubice						
Rameno	Název	Směr jízdy	Jízdní kola	Motocykly	Osobní vozidla	Nákladní vozidla	Nákladní soupravy	Zohledněná skladba
			[voz/hod]	[voz/hod]	[voz/hod]	[voz/hod]	[voz/hod]	[pvoz/hod]
			1	2	3	4	5	6
A	centrum	Svobody	1	1	102	1	0	105
		krematorium	0	7	266	5	5	293
		obchody	3	0	180	3	0	187
B	obchody	centrum	0	0	46	0	2	50
		Svobody	3	2	66	0	0	69
		krematorium	0	0	115	0	2	119
C	krematorium	obchody	0	3	145	0	3	156
		centrum	0	4	239	4	0	249
		Svobody	0	1	8	3	0	14
D	Svobody	krematorium	0	1	17	3	0	23
		obchody	10	0	86	0	0	91
		centrum	2	1	125	3	0	132

Pentlogram intenzit

LISA

Odpolední špička, zohledněná výstavba

From\To	1	2	3	4
1		187	293	105
2	50		119	69
3	249	156		14
4	132	91	23	



Project	Bakalářská práce				
Intersection	S. K. Neumanna x Svobody				
Job no.		Variant	Odpolední špička - s výstavbou	Date	28.04.2021
Planner	Martin Zajíček	Signature		Page	

Obrázek 4 - pentlogram intenzit v odpolední špičce se zohledněnou výstavbou [zdroj vlastní]

Během měření nedocházelo k viditelným kongescím, většina vozidel projela křižovatkou bez zdržení, případně se zdržením maximálně 15 sekund. Ke zdržením vyšším než 45 sekund docházelo výjimečně.

Z uvedených tabulek návrhových intenzit dopravy vyplývá, že nejvyšších intenzit je dosahováno v severojižním směru na ramenech A (centrum) a C (krematorium), přičemž v ranní špičce jsou intenzity vyšší ve směru do centra a ve zbytku dne v opačném směru. Tento jev je možné vysvětlit cestou do zaměstnání v ranních hodinách, kdy ulice S. K. Neumanna slouží jako jedna z alternativ k obvykle přesaturované ulici Jana Palacha pro vozidla, která přijíždí ve směru od Chrudimi a směřují do centra Pardubic. Dalším důvodem je také lepší propojení ulice S. K. Neumanna s východní a severovýchodní částí města. V odpolední špičce se naopak jedná zejména o cesty ze zaměstnání.

Nejnižší intenzity byly naměřeny na ramenu B, které slouží především jako přístupová cesta k supermarketu Kaufland a dalším obchodům. Podle předpokladů byla na tomto rameni nejnižší intenzita v ranních hodinách a v průběhu dne se zvyšovala.

Na rameni D na ulici Svobody výrazně převažuje odbočení vlevo na ulici S. K. Neumanna ve směru do centra, které volí přibližně 75 % vozidel na tomto vjezdu. Dalším zaznamenaným jevem bylo vjíždění cyklistů na okružní křižovatku, a to téměř výhradně z tohoto ramena. Nejčastějšími výjezdy byla rameno A ve směru do centra a rameno B, kde následně ze silnice cyklista využil přejezd pro cyklisty a přešel na cyklostezku, která vede podél jižního a severního ramena a kříží právě východní rameno. Tento jev může být odůvodněn tím, že cyklisté jedoucí z tohoto směru nemají vhodnou možnost napojit se na cyklostezku, která vede paralelně s ulicí S. K. Neumanna, případně musí využít tři přejezdy a objet téměř celou křižovatku. Stavební řešení, které by mělo tyto situace minimalizovat, bude popsáno v kapitole stavebních úprav.

Zajímavou situací, která byla při dopravním průzkumu zaznamenána, bylo využití okružní křižovatky k otočení vozidla, tedy využití stejného ramena pro vjezd na křižovatku i výjezd z ní, což samozřejmě patří mezi zjevné výhody okružních křižovatek. Zatímco u ramen B, C a D k tomuto jevu docházelo v jednotkách vozidel za hodinu, rameno A bylo takto využito mnohonásobně častěji, a to v rozmezí 50-80 voz/hod podle jednotlivých měření. Tato situace velmi pravděpodobně nastala kvůli stavebnímu a dopravnímu uspořádání ulic v blízkém okolí křižovatky. Ulice K Blahobytu, která ústí na ulici S. K. Neumanna přibližně 100 metrů před křižovatkou, je jednosměrná a není z ní umožněno odbočení vlevo ve směru do centra, jednak dopravním značením, jednak vystavenými „city bloky“ mezi jízdními pásy ulice S. K. Neumanna, kudy by vozidla mohla vpravo odbočit. Vozidla, která chtějí jet směrem do centra města, tedy musí odbočit vpravo na křižovatku a využít ji pro otočení se. Pohled na výjezdu z ulice K Blahobytu je zobrazen na obrázku 5. Pokud by došlo k přestavbě z okružní křižovatky na průsečnou, vozidla by o tuto možnost otočení se přišla a dostat se do centra města by bylo mnohem časově náročnější a komplikovanější. Opatření k vyřešení této situace budou popsána v rámci stavebních úprav.



Obrázek 5 - pohled na ulici S. K. Neumanna z ulice K Blahobytu [1]

4 Vyhodnocení současného stavu okružní křižovatky

Na základě dat o intenzitách dopravy z dopravního průzkumu je možné provést posouzení kapacity okružní křižovatky. Posouzení se provádí jednotlivě pro vjezdy do křižovatky a výjezdy z ní. Postup při výpočtu je popsán v dalších částech čtvrté kapitoly včetně protokolu shrnujícího kapacitní posouzení. Na kapacitní posouzení navazuje posouzení kritérií pro návrh SSZ na křižovatce. Kritérií je celkem pět, u každého je vysvětlen jeho význam a postup při hodnocení. Na závěr této části je provedeno souhrnné hodnocení těchto kritérií.

4.1 Posouzení kapacity okružní křižovatky podle TP 188

Pro posouzení kapacity okružní křižovatky se využívá kritérium výkonnosti, které se sestává ze tří podmínek, které musí být splněny zároveň. [6]

Tyto podmínky jsou:

- na všech vjezdech je střední doba zdržení t_w menší nebo rovna nejvyšší přípustné hodnotě $t_{w,lim}$ pro příslušný stupeň ÚKD
- na všech výjezdech z okružní křižovatky je stupeň vytížení a_v menší nebo roven nejvyšší přípustné hodnotě stupně vytížení $a_v = 0,9$
- na všech spojovacích větvích je délka fronty v místě připojení $L_{95\%}$ menší nebo rovna délce spojovací větve L_b

Jelikož posuzovaná okružní křižovatka spojovací větve nemá, je třeba splnit první dvě uvedené podmínky, posouzení kapacity na spojovacích větvích není nutné provádět.

Ve výpočtech se uvažuje zohledněná skladba dopravy vypočtená podobným způsobem jako při vyhodnocení dopravního průzkumu, kdy je každé vozidlo zařazeno do jedné z pěti kategorií a vynásobeno koeficientem příslušné skupiny. Hodnoty koeficientu pro zohlednění skladby vozidel jsou uvedeny v tabulce 6. [6]

Tabulka 6 - tabulka koeficientů zohledněné skladby vozidel [6]

Druh vozidla	Koeficient
Jízdní kola	0,5
Motocykly	0,8
Osobní vozidla do 3,5 t hmotnosti	1,0
Nákladní vozidla nad 3,5 t hmotnosti, autobusy	1,7
Nákladní soupravy, kloubové autobusy	2,5

Další parametry potřebné k posouzení kapacity okružní křižovatky vychází z jejího geometrického uspořádání. [6] Mezi tyto parametry patří:

- počet jízdnic pruhů na vjezdu na okružní křižovatku n_v [-],

- počet jízdnic pruhů na výjezdu z okružní křižovatky n_e [-],
- počet jízdnic pruhů na okruhu okružní křižovatky n_o [-],
- poloměr vjezdu na okružní křižovatku R_v [m],
- poloměr výjezdu z okružní křižovatky R_e [m],
- vzdálenost mezi kolizním bodem na výjezdu z okružního jízdnic pásu a kolizním bodem na vjezdu na okružní jízdnic pás L_{kol} [m],
- vnější poloměr okružní křižovatky D [m].

Pro posuzovanou křižovatky jsou tyto parametry uvedeny v tabulce 7.

Tabulka 7 - parametry posuzované okružní křižovatky [zdroj vlastní]

Paprsek	Název	Typ uspořádání vjezdu	n_o [-]	n_v [-]	n_e [-]	R_v [m]	R_e [m]	L_{kol} [m]	D [m]
1	centrum	1/1	1	1	1	25,4	28,1	15,0	30
2	obchody	1/1	1	1	1	20,5	24,7	13,9	
3	krematorium	1/1	1	1	1	13,4	16,4	14,8	
4	Svobody	1/1	1	1	1	8,5	9,8	14	

4.1.1 Posouzení kapacity okružní křižovatky na vjezdu

Pro posouzení kapacity okružní křižovatky na vjezdu je třeba vypočítat kapacity jednotlivých vjezdů do okružní křižovatky C_v .

Kapacita vjezdu C_v je dána vztahem [6]:

$$C_v = C_{g,v} \cdot k_{v,ped} \quad (1)$$

kde je C_v kapacita vjezdu [pvoz/h],

$C_{g,v}$ základní kapacita vjezdu (bez vlivu přecházejících chodců) [pvoz/h],

$k_{v,ped}$ koeficient vlivu chodců na vjezdu do okružní křižovatky [-].

Základní kapacita vjezdu do okružní křižovatky $C_{g,v}$ (bez vlivu přecházejících chodců) je dána vztahem [6]:

$$C_{g,v} = 3600 \cdot \left(1 - \frac{\Delta \cdot I_o}{n_o \cdot 3600}\right)^{n_o} \cdot \frac{k_{v,usp}}{t_f} \cdot e^{\frac{-I_o}{3600} \cdot (t_g - \frac{t_f}{2} - \Delta)} \quad (2)$$

kde je $C_{g,v}$ základní kapacita vjezdu (bez vlivu přecházejících chodců) [pvoz/h],

I_o intenzita dopravy na okruhu v místě vjezdu [pvoz/h],

n_o počet jízdnic pruhů na okruhu v místě vjezdu [-],

$k_{v,usp}$	koeficient uspořádání jízdních pruhů na vjezdu a okruhu [-],
t_g	kritický časový odstup [s],
t_f	následný časový odstup [s],
Δ	minimální časový odstup vozidel jedoucích na okruhu za sebou [s],
e	Eulerovo číslo [-].

Pro posuzovanou křižovatku platí typ uspořádání vjezdu a okruhu označený 1/1, kdy je na vjezdech i na okruhu jeden jízdní pruh. Pro toto uspořádání jsou hodnoty proměnných stanoveny takto [6]:

$$k_{v,usp} = 1,0$$

$$t_g = 4,5 \text{ (pro } L_{kol} < 11)$$

$$t_g = 5,6 - 0,1 \cdot L_{kol} \text{ (pro } 11 \leq L_{kol} \leq 20)$$

$$t_g = 3,6 \text{ (pro } L_{kol} > 20)$$

$$t_f = 3,1 \text{ (pro } R_v < 8)$$

$$t_f = 3,6 - 0,0625 \cdot R_v \text{ (pro } 8 \leq R_v \leq 16)$$

$$t_f = 2,6 \text{ (pro } R_v > 16)$$

$$\Delta = 2,1$$

kde je L_{kol} vzdálenost mezi kolizním bodem na výjezdu z okružního jízdního pásu a kolizním bodem na vjezdu na okružní jízdní pás [m],

R_v poloměr vjezdu na okružní křižovatku [m].

Vliv přecházejících chodců na vjezdu na okružní křižovatku je vyjádřen koeficientem $k_{v,ped}$. Hodnota koeficientu pro intenzitu přecházejících chodců $I_{ped} \leq 100 \text{ ch/h}$ je $k_{v,ped} = 1,00$, pro intenzity $I_{ped} > 100 \text{ ch/h}$ je hodnota koeficientu dána vztahem [6]:

$$k_{v,ped} = \frac{1120 - 0,63 \cdot I_o - 0,63 \cdot \frac{I_{ped}}{k_{skup}} + 0,00071 \cdot I_o \cdot \frac{I_{ped}}{k_{skup}}}{1069,2 - 0,57 \cdot I_o} \quad (3)$$

kde je I_o intenzita dopravy na okruhu [pvoz/h],

I_{ped} intenzita přecházejících chodců [ch/h],

$$k_{skup} \quad \text{koeficient skupinovosti chodců [-], který je dán takto}$$

$$k_{skup} = 1,00 \quad \text{pro } I_{ped} \leq 200 \text{ ch/h}$$

$$k_{skup} = 0,004 \cdot I_o + 0,2 \quad \text{pro } I_{ped} > 200 \text{ ch/h.}$$

Střední doba zdržení je vypočtena pomocí vztahu, který je stejný jako pro neřízené křižovatky [6]:

$$t_w = \frac{3600}{C_v} + \frac{T}{4} \cdot \left[(a_v - 1) + \sqrt{(a_v - 1)^2 + \frac{3600 \cdot 8 \cdot \min(a_v, 1)}{C_v \cdot T}} \right] \quad (4)$$

kde je t_w střední doba zdržení [s],
 C_v kapacita vjezdu na okružní křižovatku [pvoz/h],
 T délka intervalu špičkového provozu [s]; ($T = 3600$ s),
 a_v stupeň vytížení [-].

Délka fronty na vjezdech do okružní křižovatky je vypočtena pomocí vztahu, který je stejný pro neřízené křižovatky [6]:

$$L_{95\%} = \frac{3}{2} \cdot C_v \cdot \left(a_v - 1 + \sqrt{(1 - a_v)^2 + 3,0 \cdot \frac{8 \cdot a_v}{C_v}} \right) \quad (5)$$

kde je $L_{95\%}$ délka fronty čekajících vozidel [m].

Stupeň vytížení je dán vztahem [6]:

$$a_v = \frac{C_v}{I_v} \quad (6)$$

kde je a_v stupeň vytížení [-],
 C_v kapacita vjezdu na okružní křižovatku [pvoz/h],
 I_v intenzita na vjezdu na okružní křižovatku [pvoz/h].

Na závěr je třeba pro jednotlivé vjezdy stanovit úroveň kvality dopravy $\dot{U}KD$. $\dot{U}KD$ je stanovena na základě vypočtené střední doby zdržení pro každý vjezd jednotlivě podle kritérií, které je stejné pro neřízené křižovatky. Kritérium je uvedeno v tabulce 8.

Tabulka 8 - tabulka kritéria ÚKD pro neřízené křižovatky [6]

Úroveň kvality dopravy [-]	Střední doba zdržení [s]
A	≤ 10
B	≤ 20
C	≤ 30
D	≤ 45
E	> 45
F	-

Pro stupeň F platí, že nastává, pokud je intenzita na vjezdu na okružní křižovatku vyšší než kapacita daného vjezdu, a tedy rezerva $Rez < 0$.

Absolutní hodnota rezervy je vypočtena podle vztahu [6]:

$$Rez = C_v - I_v \text{ [pvoz/h]} \quad (7)$$

případně její relativní hodnota podle vztahu [6]:

$$Rez = \frac{C_v - I_v}{C_v} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (8)$$

4.1.2 Posouzení kapacity okružní křižovatky na výjezdu

Kapacita výjezdu z okružní křižovatky C_e je dána vztahem [6]:

$$C_e = 1219 \cdot e^{\frac{-I_{ped}}{1923}} + C_{re} \quad (9)$$

kde je C_e kapacita výjezdu z okružní křižovatky [pvoz/h],

I_{ped} intenzita přecházejících chodců [ch/h],

C_{re} navýšení kapacity výjezdu vlivem poloměru výjezdu [pvoz/h], je dáno vzorcem

[6]:

$$C_{re} = C_{re0} - \frac{C_{re0}}{800} \cdot I_{ped} \quad \text{pro } I_{ped} \leq 800 \text{ ch/h}, \quad (10)$$

$$C_{re} = 0 \quad \text{pro } I_{ped} > 800 \text{ ch/h}, \quad (11)$$

C_{re0} navýšení kapacity výjezdu vlivem poloměru výjezdu při nulové intenzitě chodců [pvoz/h], je dáno vzorcem [6]:

$$C_{re0} = (R_e - 12) \cdot 10 \quad (12)$$

R_e poloměr výjezdu z okružní křižovatky [m], (pro $R_e < 12\text{ m}$ se dosazuje $R_e = 12\text{ m}$),

e Eulerovo číslo [-].

Stupeň vytižení se vypočte obdobně jako v předchozí kapitole [6]:

$$a_v = \frac{C_e}{I_e} \quad (13)$$

kde je a_v stupeň vytižení [-],

C_e kapacita výjezdu z okružní křižovatky [pvoz/h],

I_e intenzita na výjezdu z okružní křižovatky [pvoz/h].

4.1.3 Vyhodnocení kapacitního posouzení

Vyhodnocení bylo provedeno pomocí níže přiloženého protokolu pro posouzení kapacity okružní křižovatky, který je dostupný v TP 188. [6] Intenzity vozidel na vjezdech na okružní křižovatku a výjezdech z ní a intenzity přecházejících chodců byly zadány podle naměřených hodnot z dopravního průzkumu provedeného 30. března 2021 v odpolední špičce od 16:00 do 17:00.

Tabulka 9 - protokol pro posouzení kapacity okružní křižovatky podle TP 188 [zdroj vlastní]

Protokol pro posouzení kapacity podle TP 188 - okružní křižovatky													
Název křižovatky:		Pardubice, S. K. Neumanna x Svobody											
Zatěžovaný stav		stav 2021, odpolední špičková hodina: 16:00-17:00											
Počet paprsků		4											
Vypracoval		Martin Zajíček								Datum		4.4.2021	
Geometrické uspořádání													
Paprsek	Název	Typ uspořádání vjezdu	n_o [-]	n_v [-]	n_e [-]	R_v [m]	R_e [m]	L_{kol} [m]	D [m]	Spojovací větvev?	L_{kk} [m]	L_m [m]	
1	centrum	1/1	1	1	1	25,4	28,1	15,0	30	NE	-	-	
2	obchody	1/1	1	1	1	20,5	24,7	13,9		NE	-	-	
3	krematorium	1/1	1	1	1	13,4	16,4	14,8		NE	-	-	
4	Svobody	1/1	1	1	1	8,5	9,8	14		NE	-	-	
Posouzení kapacity vjezdů													
Paprsek	Název	I_o [pvoz/h]	I_v [pvoz/h]	I_{ped} [ch/h]	C_v [pvoz/h]	Rez [%]	a_v [-]	t_w [s]	ÚKD [-]	$L_{95\%}$ [m]	$t_{w,lim}$ [s]	$t_w \leq t_{w,lim}$ Rez > 0	
1	centrum	124	535	82	1254	57,3	0,43	5	A	13			
2	obchody	503	138	171	845	83,7	0,16	5	A	4			
3	krematorium	298	311	0	1021	69,5	0,30	5	A	8			
4	Svobody	477	182	64	786	76,8	0,23	6	A	5			
Posouzení kapacity výjezdů													
Paprsek	Název	I_e [pvoz/h]	I_{ped} [ch/h]	C_e [pvoz/h]	Rez [%]	a_v [-]						$a_{v,lim}$ [-]	$a_v \leq a_{v,lim}$
1	centrum	491	82	1313	62,6	0,37						0,90	ANO
2	obchody	135	171	1215	88,9	0,11						0,90	ANO
3	krematorium	389	0	1263	69,2	0,31						0,90	ANO
4	Svobody	160	64	1159	86,2	0,14						0,90	ANO
Celkové shrnutí													
Kapacita všech vjezdů vyhovuje?												ANO	
Kapacita všech výjezdů vyhovuje?												ANO	
Kapacita okružní křižovatky vyhovuje?												ANO	

Z přiloženého protokolu vyplývá, že okružní křižovatka i v odpolední špičce provoz zvládá bez problémů, na všech vjezdech úroveň kvality dopravy dosahuje nejlepšího stupně A. Stupeň vytížení je vlivem silnějších intenzit vozidel na vjezdech i výjezdech vyšší ve směru severojižním, tedy na ramenech A a C.

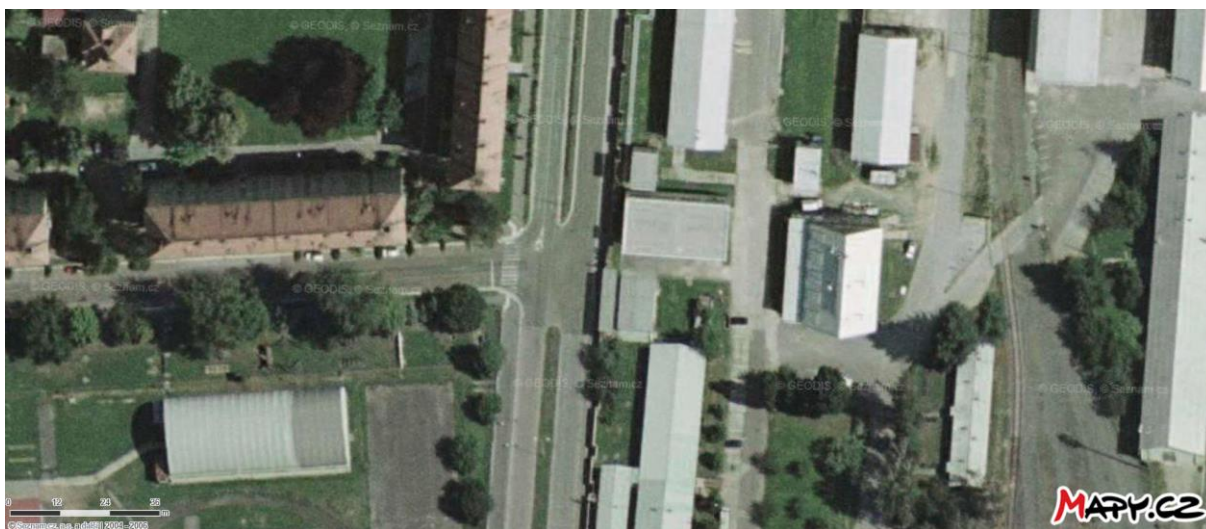
Nejvyšší střední doba zdržení t_w je na rameni D (Svobody), a to 6 sekund. Nejvyšší délka fronty $L_{95\%}$ je na rameni A (centrum), a to 13 metrů.

Vzhledem k tomu, že vyhovuje kapacita všech vjezdů i výjezdů, lze posuzovanou křižovatku označit jako vyhovující.

4.2 Kritéria pro návrh SSZ dle TP 81

Aby bylo možné SSZ na křižovatce navrhnout, je nutné jeho účelnost nebo význam v oblasti zdůvodnit. Pro toto zdůvodnění je možné využít celkem pět kritérií. [4] V dalších kapitolách jsou popsána jednotlivá kritéria a postup při jejich posuzování a následně je také podle daných kritérií posouzen současný stav křižovatky a zejména to, zda je současný stav vyhovující, či nikoliv.

Pro účely dalšího posuzování kritérií je třeba určit na křižovatce hlavní a vedlejší komunikace. Jako hlavní komunikace byla určena ulice S. K. Neumanna, tj. severojižní směr, a jako vedlejší komunikace je určena ulice Svobody, tj. západovýchodní směr. Toto rozdělení je jednak z důvodu naměřených intenzit, které jsou v hlavním směru výrazně vyšší, jednak vychází ze znalosti místních poměrů a dřívější situace. Přibližně do roku 2010 byla totiž křižovatka pouze tříramenná, ale po výstavbě obchodní galerie a přilehlých objektů bylo přidáno čtvrté, východní rameno a křižovatka byla přestavěna na okružní. Do té doby byla hlavní komunikací právě ulice S. K. Neumanna. Podobu tříramenné křižovatky z roku 2006 je možné vidět na obrázku 6.



Obrázek 6 - uspořádání křižovatky v roce 2006 [1]

4.2.1 Kritérium bezpečnosti

Cílem posouzení křižovatky podle kritéria bezpečnosti je navrhovat SSZ na těch křižovatkách, kde dochází k nadměrnému počtu dopravních nehod. Pro toto kritérium platí vzorec, kdy počet nehod na křižovatce v posledních třech letech musí být větší nebo roven čtyřem nehodám na milion vozidel, která vjedou do křižovatky. [4]

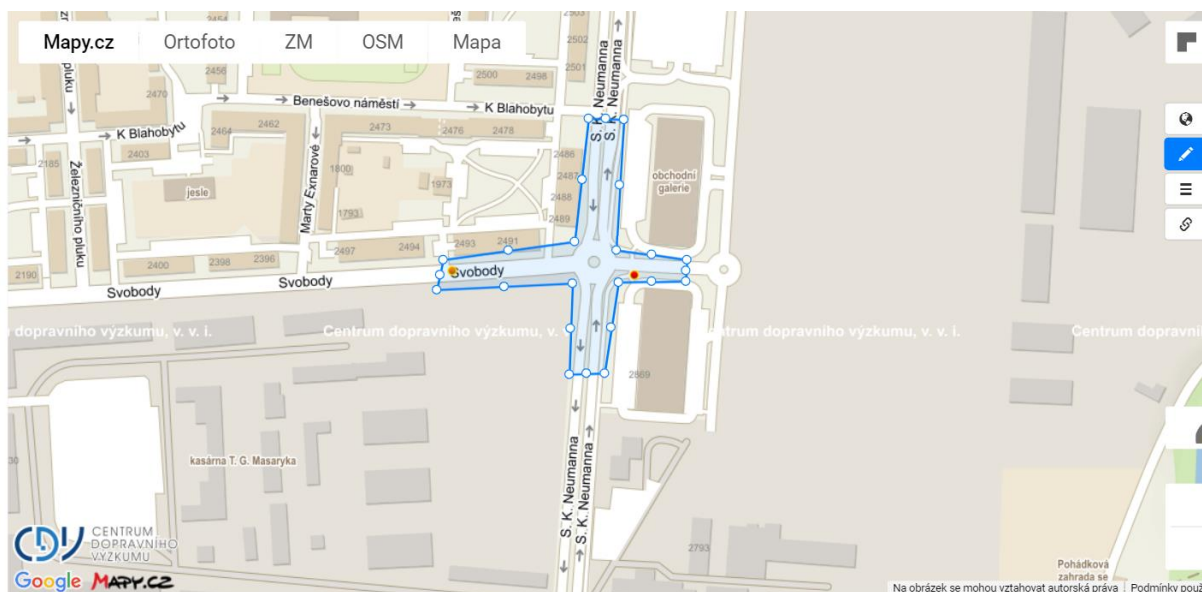
$$N \geq 4 \cdot \frac{3 \cdot 365 \cdot q}{1\,000\,000} \quad (14)$$

kde je N počet nehod [-],

q denní intenzita vozidel [voz/h].

Na dané křižovatce byla na základě celostátního sčítání dopravy z roku 2016 odhadnuta intenzita vozidel na přibližně 7 000 voz/den. [9] Intenzita vozidel, která vjedou na křižovatku za tři roky, se vypočítá vynásobením odhadu denní intenzity počtem dní za tři roky, tj. 1095 dní, celkem tedy jde o 7 665 000 vozidel. Počet nehod, které by musely nastat, aby bylo kritérium splněno, je vypočtena podle vzorce, výsledek je 31 nehod. Podle webu nehody.cdv.cz se na křižovatce a v jejím okolí za poslední tři roky

(1. 2. 2018 – 31. 1. 2021) staly 2 nehody, jak je zobrazeno na obrázku 7. [8] Křižovatka je tedy bezpečná a kritérium pro návrh SSZ není splněno.



Obrázek 7 - mapa s vyznačenými nehodami v období 1.2.2018-31.1.2021 [8]

4.2.2 Kritérium intenzity z hlediska vozidel

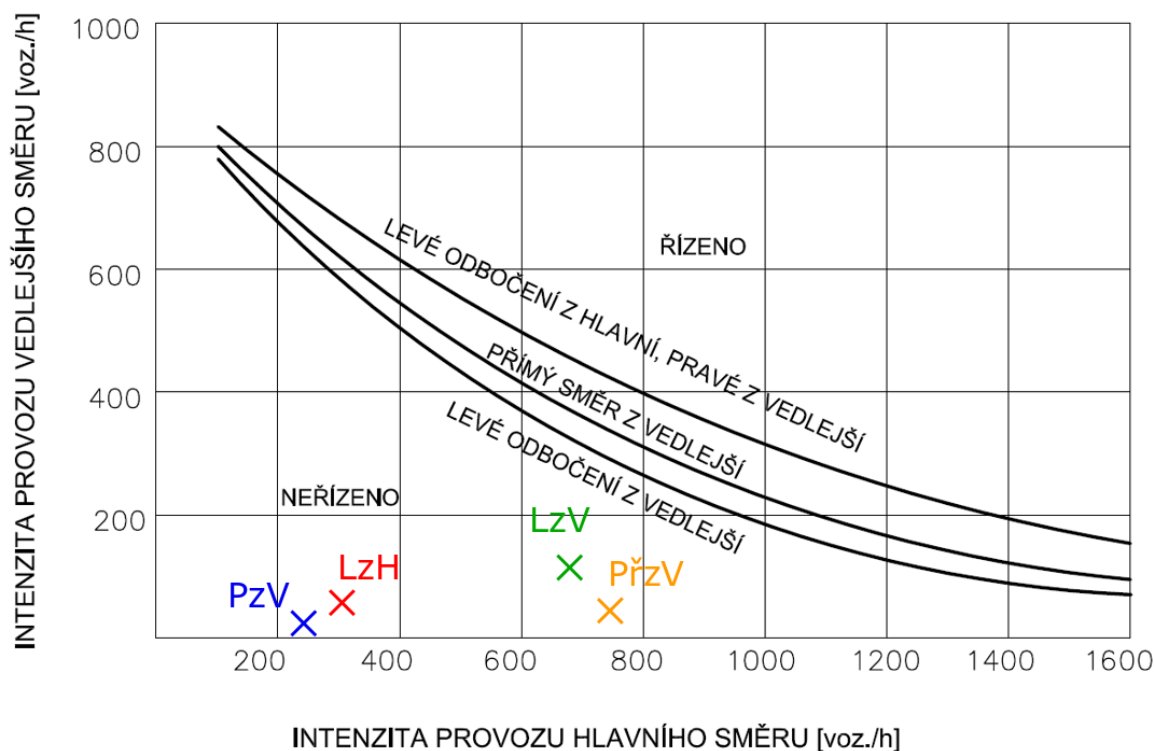
Podle kritéria intenzity z hlediska vozidel je možné navrhnout SSZ na křižovatce, pokud intenzita vozidel přesáhne přípustné hodnoty v průběhu osmi nejvíce zatížených hodin na hlavní i vedlejší komunikaci. [4] K tomu, aby kritérium mohlo být posouzeno, je třeba zejména pentlogram intenzit, který zobrazuje intenzity na jednotlivých ramenech a také poměr, jakými rameny vozidla křižovatku opouští.

Kritérium se posuzuje v celkem čtyřech situacích. Jedná se o levé odbočení z hlavní komunikace, přímý směr z vedlejší komunikace, levé odbočení z vedlejší komunikace a pravé odbočení z vedlejší komunikace. [4] Právě pro posouzení tohoto kritéria je tedy nutné určit rozdělení na hlavní a vedlejší komunikace, které bylo provedeno v úvodu kapitoly 4.2. Principem posuzování je porovnání intenzit v hlavním a vedlejším směru v jednotlivých čtyřech situacích a následné vynesení do grafu, kde jsou zobrazeny různé křivky. Pokud je alespoň jeden z bodů nad křivkou, která přísluší dané situaci, je vhodné SSZ na křižovatce zřídit. [4]

Intenzity a jejich součty pro jednotlivé situace jsou uvedeny v tabulce 10, znázorněny jsou poté na obrázku 8 pro posouzení kritéria.

Tabulka 10 - tabulka pro posouzení kritéria intenzity vozidel [zdroj vlastní]

KRITÉRIUM INTENZITY VOZIDEL				
	levé z hlavní	pravé z vedlejší	přímý s. z vedlejší	levé z vedlejší
vedlejší [pvoz/h]	58	29	40	132
hlavní [pvoz/h]	297	249	419	683



Obrázek 8 - posouzení kritéria intenzity vozidel [zdroj vlastní]

Z přiloženého obrázku je zřejmé, že intenzit potřebných ke splnění kritéria intenzity z hlediska vozidel není dosaženo ani v jedné ze čtyř situací. Toto kritérium tedy není splněno.

4.2.3 Kritérium intenzity z hlediska chodců

Pro zřízení SSZ na křižovatce podle kritéria intenzity z hlediska chodců musí intenzity vozidel na jednotlivých přechodech pro chodce být vyšší než dané mezní hodnoty. Tyto hodnoty jsou nastaveny tak, aby bylo zajištěno bezpečné přejití vozovky chodci. Pro jízdní pásy jednopruhový nebo dvoupruhový je tato intenzita 1100 pvoz/h, pro třípruhový jízdní pás 1000 pvoz/h a pro čtyřpruhový jízdní pás 900 pvoz/h. Čtyřpruhový jízdní pás už se ovšem navrhovat nedoporučuje. [4]

V křižovatce se v současné době nachází na všech ramenech kromě jižního dva přechody pro chodce, které jsou rozděleny ostrůvkem. Přechody takto rozdělené se posuzují jednotlivě, celkem je tedy na posouzení šest přechodů, všechny v jednopruhovém jízdním pásu. Nejvyšší intenzita naměřená v některém z posuzovaných jízdních pásů je 456 pvoz/h, požadovaná intenzita je alespoň 1100 pvoz/h. Žádný z přechodů pro chodce kritérium nespĺňuje, intenzity jsou příliš nízké.

4.2.4 Kritérium preference MHD

Kritérium preference MHD je zavedeno z důvodu zvyšování atraktivity MHD, zejména jde o zkrácení jízdních dob a minimalizaci zpoždění, a dále také snížení emisí a celkové zátěže životního prostředí. Posuzuje se zdržení vozů MHD při vjezdu do křižovatky. Pokud dochází ke zdržení každého druhého

vozu MHD o nejméně dvě minuty ve třech nejzatíženějších hodinách dne, kritérium je splněno a je nutné v křižovatce navrhnout SSZ. [4]

V řešené křižovatce je v současné situaci poměrně složité odhadnout dobu zdržení, protože v době průzkumu vozy MHD jezdily v prázdninovém režimu a celkové intenzity vozidel byly nižší než v reálném stavu. V normálním režimu zde ve špičkových hodinách projede 20 vozidel MHD v ranní špičce od 7:00 do 8:00 a 19 vozidel MHD v odpolední špičce od 15:00 do 16:00, celkem se jedná o 3 linky, které využívají severní, jižní a západní rameno. [10] Územní studie [2] předpokládá vybudování zastávky MHD v nově zastavené oblasti východně od křižovatky, takže budou využita všechna čtyři ramena.

Se znalostí výsledků kapacitního posouzení okružní křižovatky, pozorování při vyhodnocování dopravního průzkumu a s přihlédnutím ke znalosti místních poměrů lze odhadnout, že zdržení, ke kterým běžně dochází, většinou trvají do 30 sekund, výjimečně je to více než 1 minuta a pouze v případě mimořádných okolností by střední doba zdržení mohla být více než 2 minuty. Kritérium tedy není splněno.

4.2.5 Kritérium zvláštního zřetele

Kritérium zvláštního zřetele je možné pro návrh SSZ využít, pokud žádné z předchozích čtyř kritérií není splněno, ale i přesto existují okolnosti, kvůli kterým je vhodné SSZ na křižovatce zřídit. Typickým příkladem využití tohoto kritéria je například výjezd z nemocnice nebo blízkost školy, kde se SSZ zřizuje, aby byl zajištěn bezpečný přechod dětí. [4]

V případě této křižovatky je možné za takovou okolnost označit budoucí výstavbu v oblasti východně od křižovatky. Lze předpokládat, že intenzity dopravy narostou, zejména během ranní a odpolední špičky při jízdách do, respektive ze zaměstnání. Dalším důvodem by mohlo být plánované zřízení SSZ na křižovatkách na ulici S. K. Neumanna ve směru do centra města. Konkrétně jedná se o křižovatku s ulicí Pichlova a dále křižovatku s ulicemi Na Spravedlnosti a K Vinici. Zmíněné křižovatky mají být SSZ osazeny do října 2021 [11], a jelikož jsou dvě vzdálenější křižovatky od sebe přibližně 620 metrů, bylo by nutné je zařadit do koordinace. [4]

K tomuto se přidává ještě plánovaná přestavba křižovatky ulice S. K. Neumanna s ulicemi Pod Břízkami a K Židovskému hřbitovu, která bude také řízená SSZ a která bude přivádět dopravu z jihovýchodního obchvatu Pardubic. Bylo by proto vhodné, aby tyto čtyři křižovatky, které se nachází na jedné komunikaci, byly alespoň jednosměrně koordinovány.

4.2.6 Vyhodnocení kritérií pro návrh SSZ podle TP 81

Kritérium podle bezpečnosti posuzovaná křižovatka **nesplňuje**. Stávající řešení okružní křižovatku zajišťuje bezpečný provoz, kdy se za poslední 3 roky v jejím okolí staly pouze 2 dopravní nehody. Podle tohoto kritéria není třeba přestavět okružní křižovatku na řízenou SSZ.

Kritérium podle intenzity z hlediska vozidel posuzovaná křižovatka **nesplňuje**. V žádné ze čtyř situací, které byly posuzovány, intenzity nejsou vyšší, než je dovolená mezní hodnota.

Kritérium podle intenzity z hlediska chodců posuzovaná křižovatka **nesplňuje**. Na žádném z posuzovaných přechodů pro chodce není intenzita projíždějících vozidel vyšší než mezní hodnota 1100 pvoz/h.

Kritérium preference MHD posuzovaná křižovatka **nesplňuje**. Ačkoliv křižovatkou projíždí vozidla MHD relativně často (přibližně 1 vozidlo každé 3 minuty), nedochází k výrazným zdržením.

Kritérium zvláštního zřetele posuzovaná křižovatka **splňuje**. Na stejné ulici se v blízké budoucnosti plánuje osazení tří křižovatek SSZ, proto je vhodné osadit i tuto křižovátku a koordinovat ji s ostatními. Dalším důvodem pro zřízení je výstavba obytných budov v blízkosti křižovatky, u které lze očekávat výrazný nárůst intenzit zejména z východního ramena.

Na okružní křižovatce je vhodné SSZ zřídit podle jednoho kritéria, a to kritéria zvláštního zřetele.

5 Návrh řízení SSZ

Kapitola návrhu řízení SSZ je tvořena soupisem důležitých stavebních úprav, které souvisí s přestavbou okružní křižovatky na průsečnou a instalací odpovídající infrastruktury. V další části je popsána tvorba signálního programu, která se skládá z návrhu signálních skupin, fází a jejich pořadí, sestavení tabulky mezcíhů, fázových přechodů, a nakonec výpočtu parametrů cyklu. Výpočet je proveden pomocí Websterovy metody saturovaného toku. Na základě návrhu fázových přechodů a vypočtených parametrů je sestaven signální program. Poslední částí páté kapitoly je kapacitní posouzení návrhu podle TP 188. Uveden je postup a protokol shrnující vypočtené hodnoty.

5.1 Návrh stavebních úprav

Vzhledem k závěrům vyhodnocení současného stavu okružní křižovatky a rozhodnutí o změně jak stavebního uspořádání křižovatky, tak způsobu jejího řízení, je třeba provést stavební úpravy, které umožní tyto změny realizovat. Veškeré úpravy byly navrženy v souladu s platnými normami a technickými podmínkami. [3][5] Původní řešení křižovatky i nové s navrženými stavebními úpravami byly vytvořeny ve studentské verzi programu AutoCAD 2019 a jsou součástí přílohy ve formátu PDF. Příslušné podklady byly dodány Magistrátem města Pardubice.

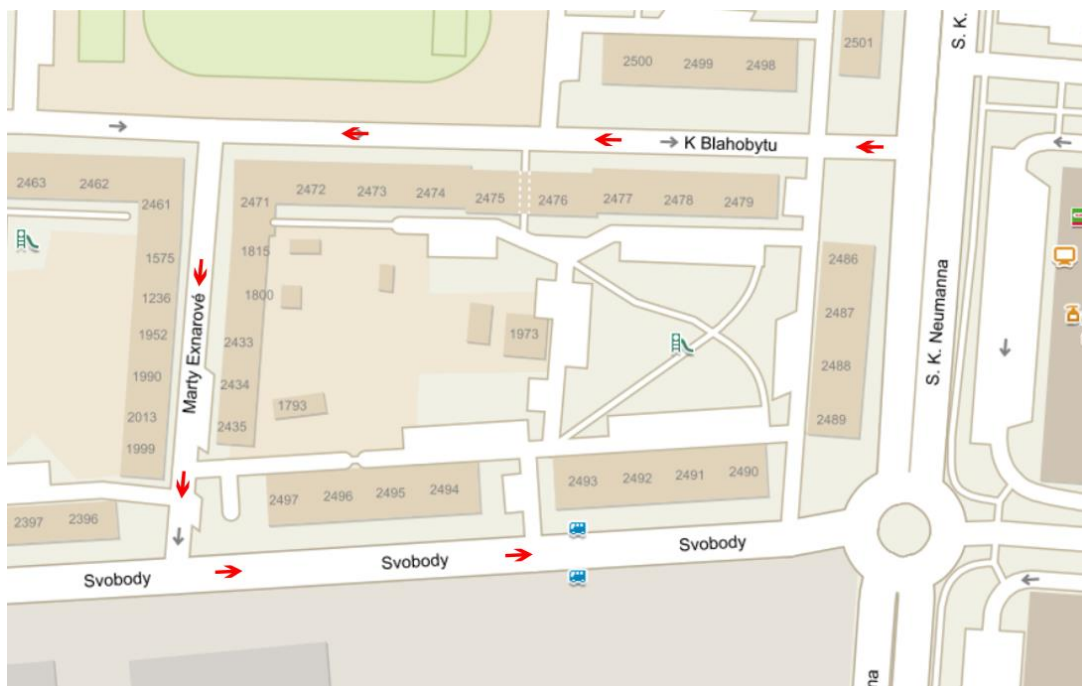
Soupis zásadních stavebních úprav:

- zrušení středového ostrůvku okružní křižovatky – jedná se o logický krok při přestavbě na průsečnou křižovatku, ostrůvek bude nahrazen asfaltovým povrchem
- rozšíření ulice S. K. Neumanna na severním a jižním ramenu na 2 jízdní pruhy v obou směrech – jde o návrat k původnímu uspořádání, hlavním důvodem je zvýšení kapacity na hlavní komunikaci
- zúžení dělicího ostrůvku mezi jízdními pásy na jižním ramenu – dělicí ostrůvek bude zúžen o 1 m, aby nově vytvořené jízdní pruhy měly šířku alespoň 3,25 m
- doplnění dělicích ostrůvků na všech ramenech křižovatky o půlkruhové zakončení
- úprava hran jednotlivých oblouků – souvisí hlavně s rozšířením severního a jižního ramene, aby byl zajištěn bezpečný průjezd
- zrušení VDZ – zrušeno bude V 2a (podélná čára přerušovaná), která v původní situaci vyznačuje hranici okružní křižovatky
- vytvoření VDZ – severní a jižní rameno bude uspořádáno tak, že v pravém jízdním pruhu bude umožněna jízda přímým směrem a odbočení vpravo a v levém jízdním pruhu jízda přímým směrem a odbočení vlevo; s ohledem na toto uspořádání budou vytvořeny V 9a (směrové šipky), V 1a (podélná čára souvislá) a V 2a a V 2b (podélná

čára přerušovaná), na všech ramenech křižovatky bude vytvořeno V 5 (příčná čára souvislá)

- vytvoření přechodu pro chodce a přejezdu pro cyklisty na jižním ramenu – smyslem je zajistit možnost přejítí, případně přejetí na všech ramenech křižovatky
- posun přechodů pro chodce a přejezdů pro cyklisty na severním a východním ramenu blíže ke křižovatce – vzhledem ke změně uspořádání je možné posunout je blíže, aby byly zajištěny dostačující rozhledové poměry pro řidiče vjíždějící na křižovatku z těchto ramen
- úprava přechodů pro chodce a přejezdů pro cyklisty – smyslem této úpravy je zajistit, aby přechod pro chodce byl vždy blíže k vjíždějícím vozidlům, a to pro dosažení nižších mezičasů, na východním ramenu je navíc cílem plynulý průjezd cyklistů po cyklostezce, která tudy vede
- zrušení, posun a vytvoření SDZ – zrušeno bude především SDZ, které souvisí s okružní křižovatkou, tedy C 1 (kruhový objezd) a A 4 (Pozor, kruhový objezd), nově vytvořené bude P 2 (hlavní komunikace), P 4 (Pozor, dej přednost v jízdě), IP 19b (řadicí pruhy)
- výstavba SSZ na všech ramenech křižovatky – k výstavbě je nutné přistoupit z důvodu nevhodného umístění současné infrastruktury

Mezi další stavební úpravy patří řešení situace na sousedící křižovatce ulic S. K. Neumanna a K Blahobytu, která je popsána v kapitole 3.2. Návrh stavebních úprav zahrnuje zrušení „city bloků“ mezi jízdnicími pásy a umožnění odbočení vlevo z ulice S. K. Neumanna do ulice K Blahobytu. Ulice K Blahobytu bude vedena jednosměrně opačným směrem než dosud. Vozidla, která v současnosti na křižovatku vjíždí po ulici S. K. Neumanna (rameno A) a objíždí ji celou, by podle návrhu na křižovatku měla přijet ulicemi Marty Exnerové a Svobody (rameno D), jak je vyznačeno na obrázku 9.



Obrázek 9 - návrh nového řešení výjezdu z ulice K Blahobytu [1]

S tím souvisí také vytvoření VDZ pro odbočení vlevo z ulice S. K. Neumanna a úpravu SDZ v ulici K Blahobytu tak, aby byl jasně vyznačen směr jízdy.

5.2 Návrh signálního programu

5.2.1 Návrh signálních skupin

Pojem signální skupina označuje návěstidlo nebo skupinu návěstidel, které ve každém okamžiku signálního programu ukazuje stejný signál pro jeden vjezd vozidel. [4]

Signální skupiny jsou rozděleny podle toho, pro které účastníky dopravního provozu jsou určeny a dále také podle vjezdu, na kterém se nachází. Pro řešenou křižovatku byly použity tyto signální skupiny:

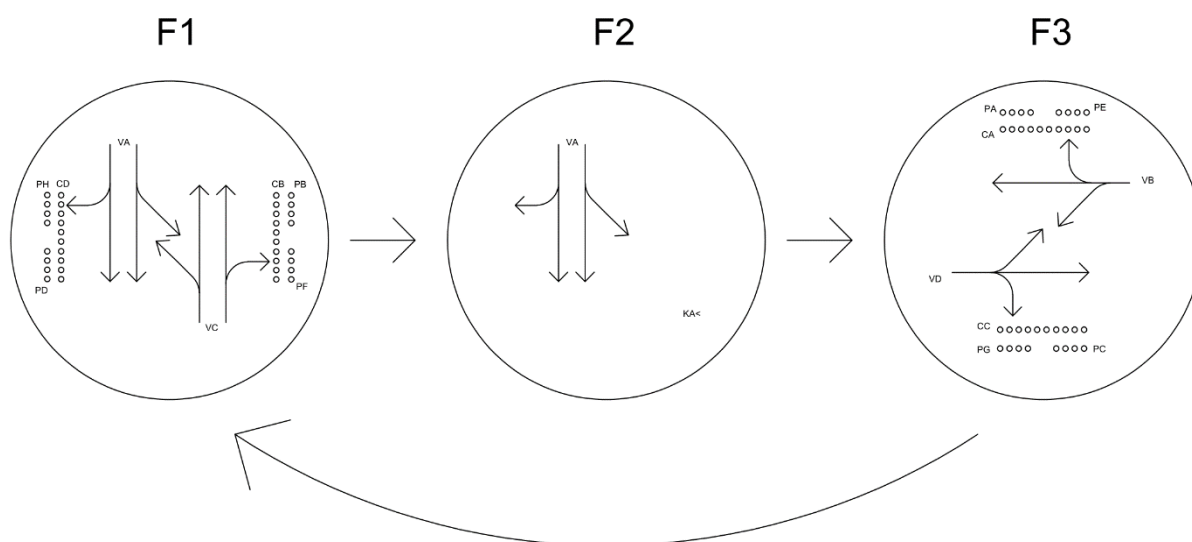
- VA – signální skupina vozidlová na obou jízdnicích pruzích na severním ramenu (centrum), je využit plný signál
- VB – signální skupina vozidlová na východním ramenu (obchody), je využit plný signál
- VC – signální skupina vozidlová na obou jízdnicích pruzích na jižním ramenu (krematorium), je využit plný signál
- VD – signální skupina vozidlová na obou jízdnicích pruzích na západním ramenu (Svobody), je využit plný signál
- KA< – signální skupina vyklizovací umístěná mezi jižním (krematorium) a východním (obchody) ramenem, slouží pro vozidla přijíždějící ze severního ramena (centrum) jedoucí směrem vlevo

- CA – signální skupina cyklistická na přejezdu pro cyklisty na severním ramenu (centrum)
- CB – signální skupina cyklistická na přejezdu pro cyklisty na východním ramenu (obchody)
- CC – signální skupina cyklistická na přejezdu pro cyklisty na jižním ramenu (krematorium)
- CD – signální skupina cyklistická na přejezdu pro cyklisty na západním ramenu (Svobody)
- PA – signální skupina chodecká na přechodu pro chodce na vjezdu na severním ramenu (centrum)
- PB – signální skupina chodecká na přechodu pro chodce na vjezdu na východním ramenu (obchody)
- PC – signální skupina chodecká na přechodu pro chodce na vjezdu na jižním ramenu (krematorium)
- PD – signální skupina chodecká na přechodu pro chodce na vjezdu na západním ramenu (Svobody)
- PE – signální skupina chodecká na přechodu pro chodce na výjezdu na severním ramenu (centrum)
- PF – signální skupina chodecká na přechodu pro chodce na výjezdu na východním ramenu (obchody)
- PG – signální skupina chodecká na přechodu pro chodce na výjezdu na jižním ramenu (krematorium)
- PH – signální skupina chodecká na přechodu pro chodce na výjezdu na západním ramenu (Svobody)

5.2.2 Návrh fází

Z provedeného dopravního průzkumu a jeho vyhodnocení vyplývá, že nejvyšších intenzit provoz dosahuje v severojižním směru. V první fázi jsou proto dvě příslušná ramena zvolena pro signály volno vozidlům, doplněna signály volno pro chodce a cyklisty na zbylých dvou ramenech. V druhé fázi pokračuje signál volno pro vozidlovou signální skupinu VA, který je doplněn vyklizovací šipkou KA<. Ta v případě vzniku kongesce umožní vozidlům odbočujícím vlevo, která musí dávat přednost všem protijedoucím vozidlům přednost a tím se zvyšují riziko kongesce, včas opustit křižovatku. Vyklizovací šipka byla doplněna na základě dopravního průzkumu, kdy největší počet vozidel odbočujících vlevo

byl zaznamenán právě ze severního ramena. Při implementaci dynamického signálního plánu je možné druhou fázi aktivovat pouze na výzvu s pomocí kamerových detektorů nebo indukčních smyček. V tomto případě je ovšem navrhován pevný signální plán, proto tato varianta nebude dále uvažována. Třetí fáze je poté zrcadlovým opakem fáze první, signál volno mají vozidla ze západního a východního ramena a chodci a cyklisté ze severního a jižního ramena. Na obrázku 10 je návrh fází zobrazen schematicky.



Obrázek 10 - návrh pořadí fází [zdroj vlastní]

5.2.3 Tabulka mezičasů

Mezičasem se rozumí časový interval mezi koncem signálu volno jedné signální skupiny a začátkem signálu volno jiné (kolizní) signální skupiny. Je zaveden proto, aby poslední vozidlo, které projede na signál volno první signální skupiny, mohlo bezpečně opustit prostor křižovatky tak, aby nedošlo ke konfliktu s vozidlem z kolizní signální skupiny, které do křižovatky najíždí. [4]

Pro výpočty mezičasů se rozlišuje vozidlo vyklízející a najíždějící a dále jejich rychlosti, délky a bezpečnostní doby. Důležitou částí při stanovení mezičasu je kolizní plocha. Kolizní plocha je určena pomocí drah jednotlivých kolizních dopravních pohybů, je to plocha, kde se tyto dráhy protínají. Pro účely této práce bylo pro modelování drah využito rozšíření softwaru AutoCAD Vehicle Tracking, které v souladu s platnými normami umožňuje modelovat dráhy pro různé druhy vozidel, například autobusy nebo přívěsové a návěsové soustavy. Po určení kolizní plochy se změří vzdálenost vyklízejícího vozidla od stopčáry k nejvzdálenějšímu bodu kolizní plochy (vyklizovací dráha L_v) a vzdálenost najíždějícího vozidla od stopčáry k nejbližšímu bodu kolizní plochy (najížděcí dráha L_n). [4]

Následně je na základě změřené vzdálenosti a rychlosti vozidel dané TP 81 stanovena vyklizovací a najížděcí doba t_v a t_n . [4]

$$t_v = \frac{L_v + L_{voz}}{v_v} \quad (15)$$

$$t_n = \frac{L_n}{v_n} \quad (16)$$

kde je L_{voz} délka vozidla daná TP 81 [m],
 v_v vyklizovací rychlost daná TP 81 [m.s⁻¹],
 v_n najížděcí rychlost daná TP 81 [m.s⁻¹].

Mezičas t_m je poté vypočten jako: [4]

$$t_m = t_v - t_n + t_b \quad (17)$$

kde je t_b bezpečnostní doba daná TP 81 [s].

Zaokrouhlování mezičasu t_m se provádí na celé sekundy asymetricky s hranicí mezi 0,10 a 0,30 sekund, od které se zaokrouhluje nahoru. Pro tuto práci byla hranice stanovena na 0,30 sekund.

Níže jsou přiloženy tabulky 11 a 12 z TP 81 využité pro výpočty mezičasů, pro zjednodušení byly řádky nevyužité v práci (pro tramvajový provoz) vynechány.

Tabulka 11 - vyklizovací a najížděcí rychlosti pro jednotlivé účastníky provozu [4]

VYKLIZOVACÍ A NAJÍŽDĚCÍ RYCHLOSTI	v_v a v_n	
	[km.h ⁻¹]	[m.s ⁻¹]
MOTOROVÁ VOZIDLA		
v přímém směru	35	9,7
v oblouku	25	7,0
CYKLISTÉ	15	4,2
CHODCI	5	1,4

Tabulka 12 - tabulka délky vyklizujícího vozidla a bezpečnostní doby pro jednotlivé účastníky provozu [4]

DÉLKA VYKLIZUJÍCÍHO VOZIDLA A BEZPEČNOSTNÍ DOBA	l_{voz} [m]	t_b [s]
MOTOROVÁ VOZIDLA	5	2
CYKLISTÉ	0	1
CHODCI	0	0

Jako první krok při stanovení mezičasů je sestavena tabulka mezičasů kolizních dopravních pohybů, kdy jsou zohledněny všechny směry v každé signální skupině zvlášť. Následně je sestavena konečná tabulka mezičasů, kdy z každé dvojice kolizních signálních skupin je do tabulky zařazen mezičas z tabulky mezičasů dopravních pohybů s nejvyšší hodnotou. [4]

Mezičasy kolizních signálních skupin jsou zobrazeny v tabulce 13.

Tabulka 13 - tabulka mezičasů [zdroj vlastní]

TABULKA MEZIČASŮ																		
		NAJÍZDÍ																
		VOZIDLA					CYKLISTÉ				CHODCI							
		VA	VB	VC	VD	KA<	CA	CB	CC	CD	PA	PB	PC	PD	PE	PF	PG	PH
V Y K L I Z U J E	VA	X	5		6		5		8		4					8		
	VB	7	X	4		3		4		7		4					8	
	VC		8	X	4	2	7		4			4		8				
	VD	5		6	X	4		7		4			4		8			
	KA<		4	6	6	X												
	CA	4		1			X											
	CB		4		0	0		X										
	CC	1		5					X									
	CD		0		4					X								
	PA	5									X							
	PB		3									X						
	PC			5									X					
	PD				3									X				
	PE			0											X			
	PF				0	0										X		
	PG	1															X	
PH		0															X	

5.2.4 Návrh fázových přechodů

Fázový přechod je časový interval mezi prvním koncem signálu volno jedné fáze a posledním začátkem signálu volno fáze navazující. Délka trvání fázového přechodu je rovna nejdelšímu mezičasu mezi dvěma danými fázemi. Pokud ale mezi dvěma signálními skupinami mezičas dosahuje hodnoty nižší (není maximální), je možné signál volno prodloužit i do fázového přechodu. Při návrhu fázových přechodů se uvažují pouze signály volno, ostatní signály se následně doplní podle příslušných pravidel, jejich trvání a případné překrývání je zabezpečeno pomocí jiných mechanismů (např. bezpečnostní doba u mezičasů). [4]

Fázové přechody jsou tři, analogicky podle počtu fází, a jsou přiloženy níže jako tabulky 14-16.

Tabulka 14 - fázový přechod mezi F1 a F2 [zdroj vlastní]

	FP 1.2						
	0	1	2	3	4	5	6
VA	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
VB	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
VC	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Red	Red	Red
VD	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
KA<	Grey	Grey	Grey	Green	Green	Green	Green
CA	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
CB	Green	Green	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Red
CC	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
CD	Green	Green	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Red
PA	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
PB	Green	Green	Green	Green	Red	Red	Red
PC	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
PD	Green	Green	Green	Green	Red	Red	Red
PE	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
PF	Green	Green	Green	Red	Red	Red	Red
PG	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
PH	Green	Green	Green	Green	Red	Red	Red

Fázový přechod mezi první a druhou fází trvá 5 sekund, první signální skupinou, která končí v první fázi, je skupina VC. Signální skupina VA pokračuje celý fázový přechod a přidá se k ní vyklizovací šipka KA<, která slouží k rychlému opuštění vozidel odbočujících vlevo. Cyklistické a chodecké skupiny bylo díky kratším mezerám možné prodloužit do fázového přechodu.

Tabulka 15 - fázový přechod mezi F2 a F3 [zdroj vlastní]

	FP 2.3									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
VA	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Red	Red	Red	Red	Red	Red
VB	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Yellow	Yellow	Green
VC	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
VD	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Yellow	Yellow	Green
KA<	Green	Grey	Grey	Grey	Grey	Grey	Grey	Grey	Grey	Grey
CA	Red	Red	Red	Red	Yellow	Yellow	Green	Green	Green	Green
CB	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
CC	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Yellow	Yellow	Green
CD	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
PA	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Green	Green	Green	Green
PB	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
PC	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Green	Green	Green	Green
PD	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
PE	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Green	Green	Green	Green
PF	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
PG	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Green
PH	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red

Fázový přechod mezi druhou a třetí fází je dlouhý 8 sekund, nejdelším mezičasem v tomto případě je mezičas mezi VA a skupinami CC a PG. Signální skupiny VA a KA< končí společně. Kromě skupin CC a PG všechny ostatní chodecké a cyklistické skupiny dosahují nižších hodnot mezičasů než 8 sekund, proto je možné prodloužit signály volno směrem dovnitř fázového přechodu.

Tabulka 16 - fázový přechod mezi F3 a F1 [zdroj vlastní]

	FP 3.1									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
VA	red	red	red	red	red	red	red	red	red	red
VB	green	yellow	yellow	yellow	red	red	red	red	red	red
VC	red	red	red	red	red	red	red	red	red	red
VD	green	yellow	yellow	yellow	red	red	red	red	red	red
KA<	grey	grey	grey	grey	grey	grey	grey	grey	grey	grey
CA	green	green	green	green	yellow	yellow	yellow	red	red	red
CB	red	red	red	red	red	red	red	red	red	red
CC	green	green	green	green	yellow	yellow	yellow	red	red	red
CD	red	red	red	red	red	red	red	red	red	red
PA	green	green	green	green	red	red	red	red	red	red
PB	red	red	red	red	red	red	red	red	red	red
PC	green	green	green	green	red	red	red	red	red	red
PD	red	red	red	red	red	red	red	red	red	red
PE	green	green	green	green	red	red	red	red	red	red
PF	red	red	red	red	red	red	red	red	red	red
PG	green	green	green	green	red	red	red	red	red	red
PH	red	red	red	red	red	red	red	red	red	red

Fázový přechod mezi třetí a první fází trvá také 8 sekund, protože nejdelší mezičas v tomto případě je mezi skupinami VB, VD a PF, PH právě takto dlouhý. U ostatních cyklistických a chodeckých skupin mezičasy dosahují nižších hodnot, proto bylo možné signály volno prodloužit z obou stran i do fázového přechodu.

5.2.5 Výpočet parametrů cyklu

Mezi nejdůležitější parametry cyklu, které je nutné vypočítat, patří doba cyklu, doba volna jednotlivých fází a z toho následně doba fází. Pro výpočet těchto parametrů se využívá různých metod, jako je Websterova metoda saturovaného toku, metoda spotřeby času nebo metoda postupného přibližování. V této práci byla pro výpočet využita Websterova metoda saturovaného toku. [4]

Princip Websterovy metody spočívá ve stanovení saturace jednotlivých vjezdů do křižovatky a na jejich základě poté vypočtení daných parametrů. Pro práci s touto metodou je nutné mít již stanovené počet a pořadí fází a dále dobu jednotlivých fázových přechodů, viz předchozí kapitoly.

Saturovaný tok je definován jako maximální počet vozidel, který může daným jízdním pruhem vjet do křižovatky za 1 hodinu. Saturace je vypočítána pro každý jednotlivý směr na vjezdu do křižovatky pomocí vzorce: [4]

$$S_j = S_{zákl} \cdot k_{skl} \cdot k_{obl} \quad (18)$$

kde je S_j saturovaný tok daného směru [jvoz/h],

$S_{zákl}$ základní saturovaný tok jízdního pruhu [jvoz/h] (v případě dobrých podmínek 2000 jvoz/h),

k_{skl} koeficient sklonu vozovky [-],

k_{obl} koeficient oblouku [-].

Koeficient sklonu se vypočte jako: [4]

$$k_{skl} = 1 - 0,02 \cdot a \quad (19)$$

kde je a sklon vozovky [%].

Pro všechny vjezdy platí, že sklon vozovky je 0 %, a tedy že $k_{skl} = 1$.

Koeficient oblouku je počítán pro odbočování vlevo i vpravo podle vzorce: [4]

$$k_{obl} = \frac{R}{R + 1,5 \cdot f} \quad (20)$$

kde je R poloměr oblouku [m],

f podíl odbočujících vozidel [-].

Existují speciální případy, jako hodnota $R = 1,5$ m pro vozidla odbočující vlevo, která dávají přednost protijedoucím vozidlům, a dále hodnota R pro vozidla odbočující vpravo, které jsou kolizní s chodci. Podle intenzity chodců 100; 300; 500; 800 a více než 1000 ch/h je hodnota R 6; 4; 2; 1,5; resp. 1 m. Podíl odbočujících vozidel f nabývá hodnot od 0 do 1, pro samostatný odbočující pruh je hodnota $f = 1$, pro ostatní jízdní pruhy je hodnota f převzata z hodnot intenzit z dopravního průzkumu. [4]

Tabulka hodnot saturace pro jednotlivé směry a s tím souvisejícími hodnotami jednotlivých koeficientů sklonu a oblouku je přiložena níže jako tabulka 17.

Tabulka 17 - tabulka hodnot saturovaných toků vjezdu [zdroj vlastní]

SATUROVANÝ TOK VJEZDU				
směr	k_{obl}	R	f	S_j
A [^]	1	-	0,5	2000
B [^]	1	-	0,29	2000
C [^]	1	-	0,594	2000
D [^]	1	-	0,37	2000
A<	0,76	1,5	0,32	1515,15
A>	0,98	15,4	0,18	1965,58
B<	0,67	1,5	0,5	1333,33
B>	0,98	14,5	0,21	1957,59
C<	0,97	1,5	0,033	1936,11
C>	0,97	15,4	0,372	1930,18
D<	0,65	1,5	0,537	1301,24
D>	0,99	15,7	0,093	1982,4
KA<	0,5	1,5	1	1000

Dalším krokem v postupu Websterovy metody je stanovení stupně saturace jízdních pruhů a následně kritických vjezdů. Pokud v jednom jízdním pruhu je možné jet více směrů, uvažuje se dále směr s nejmenší hodnotou saturace S_j . Stupeň saturace je vypočítán podle vzorce: [4]

$$y_j = \frac{q_j}{S_j} \quad (21)$$

kde je y_j stupeň saturace jízdního pruhu [-],

q_j intenzita vozidel v daném jízdním pruhu [jvoz/h],

S_j saturovaný tok jízdního pruhu, resp. nejnižší hodnota ze směrů v daném jízdním pruhu [-].

Intenzita vozidel q_j je převzata z dopravního průzkumu. V případě, že v jednom jízdním pruhu vozidla mohou jet více směrů, příslušné intenzity se sčítají. Naopak pokud jeden směr je možný ve více jízdních pruzích (v této práci se jedná o přímý směr na ramenech A a C), je nutné intenzitu mezi dané jízdní pruhy rozdělit. V případě využití vyklizovací šipky (v této práci je to vyklizovací šipka KA<) se celková intenzita daného směru rozdělí v poměru 75% pro vozidlovou skupinu (VA) ku 25% pro vyklizovací šipku (KA<).

Dále se pro každou fázi stanoví kritický vjezd y_i , tj. jízdní pruh s nejvyšším stupněm saturace. V tabulce 18 jsou jednotlivé fáze označeny barevně, jako kritické vjezdy byly podle stupně saturace vybrány jízdní pruhy v první fázi A<[^], ve druhé fázi KA< a ve třetí fázi D.

Tabulka 18 - tabulka hodnot stupně saturace a kritických vjezdů [zdroj vlastní]

SATUROVANÝ TOK VJEZDU			
<i>j. pruh</i>	q_j	y_j	$y_i?$
A ^{>}	252	0,128	NE
A ^{<}	286	0,189	ANO
C ^{>}	281	0,146	NE
C ^{<}	138	0,071	NE
KA ^{<}	47	0,047	ANO
B	238	0,179	NE
D	246	0,189	ANO

Součtem stupňů saturací všech kritických vjezdů se vypočte celkový stupeň saturace Y : [4]

$$Y = \sum_{i=1}^n y_i = 0,189 + 0,047 + 0,189 = 0,425 \quad (22)$$

kde je Y celkový stupeň saturace [-],

y_i kritický vjezd dané fáze, resp. jeho stupeň saturace.

Dále jsou vypočítány ztrátové časy mezi jednotlivými kritickými vjezdy a celkový ztrátový čas. Ztrátový čas je vypočítán z již navržených fázových přechodů, nemusí tedy nutně odpovídat mezičasu. Celkový ztrátový čas je poté součtem dílčích ztrátových časů. [4]

$$l_i = t_{mi} - 1 \quad (23)$$

kde je l_i ztrátový čas [s],

t_{mi} mezičas mezi kritickými vjezdy odvozený z fázového přechodu [s].

Pro jednotlivé kritické vjezdy a přechody mezi nimi jsou ztrátové časy 0 s (mezi vjezdy A[<] a KA[<]), 7 s (mezi vjezdy KA[<] a D) a 7 s (mezi vjezdy D a A[<]).

$$L = \sum_{i=1}^n l_i = 0 + 7 + 7 = 14 \text{ s} \quad (24)$$

kde je L celkový ztrátový čas [s].

5.2.6 Výpočet doby cyklu a doby volna fází

Pro stanovení doby cyklu C platí následující pravidla: [4]

$$C_{min} \leq C \leq 120 \text{ s}$$

kde je C_{min} minimální doba cyklu [s], dále

$$0,75 \cdot C_{opt} \leq C \leq 1,5 \cdot C_{opt}$$

kde je C_{opt} optimální doba cyklu [s].

Minimální doba cyklu je počítána jako součet doby fázových přechodů a minimální doby fáze: [4]

$$C_{min} = \sum_{i=1}^n t_{fp} + \sum_{i=1}^n t_{min} \quad (25)$$

kde je t_{fp} doba fázového přechodu,

t_{min} minimální doba fáze.

Není doporučeno navrhovat dobu cyklu menší než 30 s.

Pro výpočet optimální doby cyklu jsou využity již vypočtené veličiny celkový ztrátový čas L a celkový stupeň saturace Y . Vypočtena je pomocí vzorce: [4]

$$C_{opt} = \frac{1,5 \cdot L + 5}{1 - Y} \quad (26)$$

Výsledek je dále upraven a zaokrouhlen na násobky čísla 10.

V návrhu této práce byly vypočteny hodnoty:

$$C_{min} = 28 \text{ s}$$

$$C_{opt} = 45,20 \text{ s}$$

Stanovena byla hodnota doby cyklu:

$$C = 50 \text{ s}$$

Po stanovení doby cyklu je možné dále vypočítat doby volna pro kritické vjezdy z_j a minimální doby volna pro kritické vjezdy z_{jmin} , a to pomocí vzorců: [4]

$$z_j = \frac{y_j \cdot (C - L)}{Y} - 1 \quad (27)$$

$$z_{jmin} = \frac{q_j \cdot C}{S_j} \cdot \frac{100}{100 - Rez} - 1 \quad (28)$$

kde je Rez rezerva kapacity vjezdu [%].

Rezerva kapacity vjezdu se stanovuje tak, aby platilo: [4]

$$0 \leq Rez \leq (1 - y_i) \cdot 100$$

V této práci byla rezerva kapacity vjezdu stanovena na 30 %.

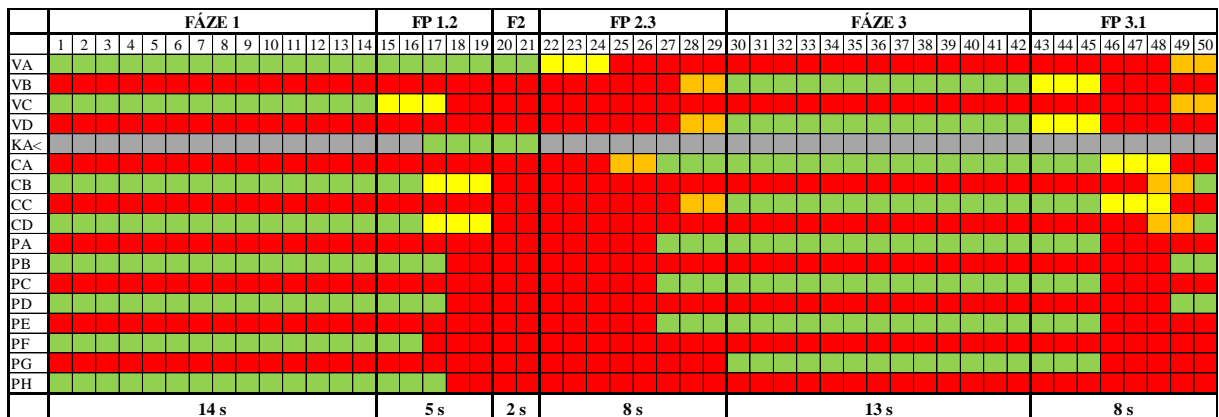
Doby volna a minimální doby volna pro kritické vjezdy byly vypočteny následovně za splnění podmínky, že $z_j \geq z_{j_{min}}$ a jsou uvedeny v tabulce 19.

Tabulka 19 - tabulka dob volna a minimálních dob volna pro kritické vjezdy [zdroj vlastní]

DOBY VOLNA A MIN. DOBY VOLNA PRO KRITICKÉ VJEZDY		
<i>j.pruh</i>	z_j	$z_{j_{min}}$
A<^	15	10
D	16	13
KA<	3	3

5.2.7 Sestavení signálního programu

Po výpočtu všech potřebných veličin, který byl proveden v předchozích krocích, je možné na základě vypočtených hodnot sestavit celý signální program. Veličiny nutné k sestavení signálního programu jsou především doba cyklu C , doby fázových přechodů t_{fp} a doby volna z_j . [4] Signální program je graficky zobrazen na obrázku 11.



Obrázek 11 - signální program [zdroj vlastní]

5.3 Posouzení kapacity světelně řízené křižovatky podle TP 188

Kapacita světelně řízené křižovatky se posuzuje podle kritéria výkonnosti. Na všech vjezdech do křižovatky musí být splněna podmínka, že střední doba zdržení t_w musí být menší nebo rovna nejvyšší přípustné hodnotě doby zdržení $t_{w,lim}$. Hodnota $t_{w,lim}$ se liší podle úrovně komunikace, resp. podle požadované úrovně kvality dopravy ÚKD na dané komunikaci. [6]

5.3.1 Kapacita vjezdu

Základní kapacita vjezdu C_V se většine případů shoduje s kapacitou na stopčáře C_S . Kapacita na stopčáře C_S udává počet vozidel, která mohou s ohledem na světelné signály vjet přes stopčáru do křižovatky a vypočítá se pomocí vztahu: [6]

$$C_S = S_V \cdot \frac{z'}{t_C} \quad (29)$$

kde je C_S kapacita na stopčáře [pvoz/h],
 S_V saturovaný tok vjezdu [pvoz/h],
 z' doba efektivní zelené [s],
 t_C doba cyklu [s].

Saturovaný tok vjezdu S_V je vypočten obdobným způsobem jako v kapitole 5.2.5. Doba efektivní zelené z' je stanovena na základě reálné doby zelené v daném vjezdu a tabulky 20, která je součástí TP 188.

Tabulka 20 - tabulka pro stanovení doby efektivní zelené z' [6]

Doba zeleného signálu z [s]	Doba efektivní zelené z' [s]
5–7	$z + 1,0$
8–10	$z + 0,5$
≥ 11	z

5.3.2 Kapacita průjezdu křižovatkou ovlivněná pohybem chodců

Jelikož na třech ramenech křižovatky ze čtyř dochází k pohybu chodců (a na zbývajícím ramenu je přechod pro chodce navržen přidat), je nutné tento pohyb vzít při kapacitním posouzení v potaz, protože se dá předpokládat ovlivnění dopravního provozu, zejména potom při odbočování vozidel vpravo i vlevo a následnému dávání přednosti chodcům procházejícím ve stejné fázi. [6]

Kapacita vjezdu je v tomto případě dána menší hodnotou z dvojice veličin. Těmi jsou kapacita na stopčáře C_S vypočtena v kapitole 5.3.1 a kapacita průjezdu křižovatkou ovlivněná pohybem chodců C_P . Kapacita průjezdu křižovatkou ovlivněná pohybem chodců C_P udává počet vozidel, která mohou s ohledem na pohyb chodců projet křižovatkou, a vypočítá se pomocí vzorce: [6]

$$C_P = S_V \cdot \frac{z'_{RED}}{t_C} + N_A \cdot \frac{3600}{t_C} \quad (30)$$

kde je z'_{RED} doba efektivní zelené redukováné vlivem chodců [s]; platí $0 \leq z'_{RED} \leq z'$,
 N_A počet míst pro vozidla mezi stopčářou a přechodem pro chodce [pvoz].

Doba efektivní zelené redukováné vlivem chodců pro odbočení na společném pruhu z'_{RED} je dána vztahem: [6]

$$z'_{RED} = z' - t_{bl} - [N_A - (N_B + 1)] \cdot t_B \quad (31)$$

kde je t_{bl} doba blokace společného pruhu pro odbočení vlivem chodců [s], která musí být větší než 0,

N_B počet míst pro odbočující vozidla, která mohou zastavit před přechodem a zároveň neomezuji přímý směr [pvoz],

t_B časový odstup odbočujících vozidel [s/pvoz].

Doba blokace společného pruhu pro odbočení vlivem chodců t_{bl} se vypočítá vzorcem: [6]

$$t_{bl} = 0,4 \cdot P + \frac{13 \cdot f - 6,2 - t_{vor}}{2,5 + 0,5 \cdot N_B} \quad (32)$$

kde je P střední počet chodců za cyklus v obou směrech [ch/c],

f podíl odbočujících vozidel z celkového počtu v řadicím pruhu [-],

t_{vor} časový předstih chodecké zelené před vozidlovou zelenou [s].

Časový odstup odbočujících vozidel t_B je dán vzorcem: [6]

$$t_B = \frac{3600}{S_V} \quad (33)$$

Střední počet chodců za cyklus P je dán vzorcem: [4]

$$P = I_{ped} \cdot \frac{t_C}{3600} \quad (34)$$

kde je I_{ped} intenzita přecházejících chodců [ch/h], převzatá z dopravního průzkumu.

Další okolnosti, které by na kapacitu měly vliv, jako samostatný řadicí pruh pro levé odbočení, doplňková zelená šipka nebo krátké řadicí pruhy, podle navržené situace nenastaly, a tudíž nebyly v kapacitním posouzení brány v úvahu.

Pro všechny vjezdy byla vypočítaná hodnota kapacity na stopčáře C_S nižší než kapacita průjezdu křižovatkou ovlivněná pohybem chodců C_P , a proto bude při dalších výpočtech uvažována právě tato hodnota. Konkrétní hodnoty pro jednotlivé vjezdy budou uvedeny v protokolu v další kapitole.

5.3.3 Střední doba zdržení a délka fronty

Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole 5.3, klíčovým ukazatelem pro posouzení kapacity vjezdu je střední doba zdržení t_w a její následné porovnání s nejvyšší přípustnou dobou zdržení $t_{w,lim}$ pro jednotlivé vjezdy a příslušný stupeň úrovně kvality dopravy ÚKD podle ČSN 73 6102.

Střední doba zdržení t_w je dána vztahem: [6]

$$t_w = 0,45 \cdot \left(\frac{(t_C - z')^2 \cdot C_V}{C_V \cdot t_C - I_V \cdot z'} + \frac{I_V \cdot 3600}{C_V^2 - I_V \cdot C_V} \right) \quad (35)$$

kde je C_V kapacita vjezdu [pvoz/h],

I_V intenzita dopravy na vjezdu [pvoz/h].

V tomto vztahu musí být splněna podmínka, že $C_V > I_V$, v opačném případě je úroveň kvality dopravy ÚKD hodnocena stupněm F. Na základě střední doby zdržení je pro každý vjezd stanovena úroveň kvality dopravy na stupnici od A – F. Tabulka 21 s intervaly hodnot pro jednotlivé stupně je přiložena níže.

Tabulka 21 - tabulka kritéria hodnocení úrovně kvality dopravy [6]

Úroveň kvality dopravy		Střední doba zdržení t_w [s]
Stupeň	Charakteristika kvality dopravy	
A	Velmi dobrá	≤ 20
B	Dobrá	≤ 35
C	Uspokojivá	≤ 50
D	Dostatečná	≤ 70
E	Nestabilní stav	≥ 70
F	Překročená kapacita	-
Stupně F je dosaženo při rezervě $Rez \leq 0$ nebo když $C_V \leq I_V$		

Rezerva kapacity vjezdu Rez může mít buď absolutní, nebo relativní vyjádření hodnoty. Pro vyjádření absolutní hodnoty je použit vzorec: [6]

$$Rez = C_V - I_V \text{ [pvoz/h]} \quad (36)$$

Pro vyjádření relativní hodnoty je použit vzorec: [6]

$$Rez = \frac{C_V - I_V}{C_V} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (37)$$

Hodnota délky fronty L_F na začátku zeleného signálu je vstupním předpokladem pro dimenzování délky řadicích pruhů. Délka fronty L_F se vypočítá vzorcem: [6]

$$L_F = 6 \cdot (N_{GE} + N_{iR}) \quad (38)$$

kde je N_{GE} střední počet vozidel ve frontě na konci zeleného signálu (tzv. zbytková fronta) [pvoz],

N_{iR} střední počet příjezdů během červené [pvoz].

Zbytková fronta na konci zeleného signálu N_{GE} je určena podle stupně vytížení a_v na daném vjezdu. Pro dané intervaly jsou uvedeny odpovídající vztahy, které jsou zobrazeny v tabulce 22.

Tabulka 22 - tabulka pro stanovení zbytkové fronty na základě stupně vytížení [6]

Stupeň vytížení a_v [-]	Zbytková fronta N_{GE} na konci zelené [pvoz]
$a_v \leq 0,65$	0
$0,65 < a_v \leq 0,90$	$\frac{a_v - 0,65}{0,25} \cdot \frac{1}{0,26 + \frac{N_{iC}}{150}}$
$0,90 < a_v \leq 1,00$	$\frac{a_v - 0,9}{0,1} \cdot 0,3476 \cdot \sqrt{N_{iC}} \cdot U^{0,565} + \frac{1 - a_v}{0,1} \cdot \frac{1}{0,26 + \frac{N_{iC}}{150}}$
$1,00 < a_v \leq 1,20$	$\frac{a_v - 1}{0,2} \cdot (0,1 \cdot N_{iC} \cdot U + 0,5) + \frac{1,2 - a_v}{0,2} \cdot 0,3476 \cdot \sqrt{N_{iC}} \cdot U^{0,565}$
$1,20 < a_v$	$N_{iC} \cdot (a_v - 1) \cdot \frac{U}{2}$

Stupeň vytížení je vypočten jako poměr intenzity na vjezdu I_V a kapacity vjezdu C_V : [6]

$$a_v = \frac{I_V}{C_V} \quad (39)$$

Na posuzované křižovatce je vypočtená hodnota stupně vytížení a_v menší než 0,65 pro všechny vjezdy, a proto je hodnota zbytkové fronty na konci zelené $N_{GE} = 0$.

Střední počet příjezdů během červené je dán vztahem: [6]

$$N_{iR} = \frac{I_V \cdot (t_C - z')}{3600} \quad (40)$$

Střední počet příjezdů za cyklus N_{iC} je dán vztahem: [6]

$$N_{iC} = \frac{I_V \cdot t_C}{3600} \quad (41)$$

5.3.4 Protokol výpočtu

Kapacitní posouzení světelně řízené křižovatky je doloženo protokolem výpočtu, který je přiložen jako tabulka 23. Protokol byl převzat z TP 188 [6] a následně upraven pro potřeby konkrétní křižovatky.

Tabulka 23 - protokol pro posouzení kapacity světelně řízené křižovatky podle TP 188 [zdroj vlastní]

Protokol pro posouzení kapacity podle TP 188 - světelně řízené křižovatky			
Název křižovatky:	Pardubice, S. K. Neumanna x Svobody		
Posuzovaný stav	stav 2021, odpolední špičková hodina: 16:00-17:00	Délka cyklu t_c [s]	50

Kapacita průjezdu křižovatkou ovlivněná pohybem chodců - společné pruhy										
Paprsek	Vjezd	Z'_{RED} [s]	f [-]	N_A [pvoz]	N_B [pvoz]	t_B [s]	t_{bl} [s]	t_{vor} [s]	P [ch/c]	I_{ped} [ch/h]
1	VA - R, L	23	0,320	2	2	2,38	0,16	2	0,625	45
	VA - P, R	23	0,180	2	2	1,83	0,16	2	0,625	45
2	VB	8	0,710	2	2	2,70	7,44	1	2,375	171
3	VC - R, L	15	0,033	2	2	1,86	0,43	2	0,694444	50
	VC - P, R	15	0,372	2	2	1,87	0,43	2	0,694444	50
4	VD	14	0,630	2	2	2,77	1,50	1	0,888889	64

Posouzení kapacity vjezdů										
Paprsek	Vjezd	I_V [pvoz/h]	z [s]	S_V [pvoz/h]	C_S [pvoz/h]	C_P [pvoz/h]	C_L [pvoz/h]	C_{dz} [pvoz/h]	C_{kp} [pvoz/h]	C_V [pvoz/h]
1	VA - R, L	334	21	1515	636	848	-	-	-	636
	VA - P, R	252	21	1966	826	1035	-	-	-	826
2	VB	238	13	1333	347	364	-	-	-	347
3	VC - R, L	139	14	1936	542	741	-	-	-	542
	VC - P, R	280	14	1930	540	740	-	-	-	540
4	VD	246	13	1301	338	515	-	-	-	338

Posouzení kapacity vjezdů										
Paprsek	Vjezd	Rez [%]	a_v [-]	t_w [s]	ÚKD [-]	L_F [m]	$t_{w,lim}$ [s]			$t_w \leq t_{w,lim}$ Rez > 0
1	VA - R, L	48	0,52	13	A	16	-			ANO
	VA - P, R	69	0,31	10	A	12	-			ANO
2	VB	31	0,69	25	B	18	-			ANO
3	VC - R, L	74	0,26	14	A	8	-			ANO
	VC - P, R	48	0,52	17	A	17	-			ANO
4	VD	27	0,73	28	B	22	-			ANO

Celkové shrnutí	
Kapacita světelně řízené křižovatky vyhovuje?	ANO

Z protokolu vyplývá, že střední doba zdržení t_w se pohybuje od 10 do 28 sekund, přičemž ramena na hlavní komunikaci (A a C) dosáhly stupně úrovně kvality dopravy A a ramena vedlejší komunikace B a D úrovně kvality dopravy na stupni B. Jelikož není s ohledem na úroveň obou komunikací stanovena nejvyšší přípustná doba zdržení $t_{w,lim}$, všechny vjezdy a tím pádem i celá křižovatka splňuje všechny požadavky na kapacitní posouzení.

V porovnání s kapacitním posouzením okružní křižovatky provedeném v předchozí kapitole 4.1 došlo k nárůstu vytížení především na ramenech vedlejší komunikace B a D, zejména kvůli rozdílu mezi kapacitou na stopčáře u světelně řízené křižovatky a kapacitou vjezdu u okružní křižovatky. Dalším důvodem může být poměr vozidel, který z těchto ramen odbočuje vlevo. Tento poměr vstupuje do výpočtu saturovaného toku řadicích pruhů a dále také výpočtu kapacity na stopčáře. Přesto obě horší ramena dosahují stupně B, který je pro tuto křižovatku dostačující.

6 Ověření návrhu v programu VISSIM

Aby byl návrh ověřen, byla využita mikrosimulace v programu VISSIM. Obecný popis simulací a jejich význam, výhody a nevýhody jsou popsány v úvodu kapitoly. Další částí je popis přípravné části simulace, nastavení výstupů simulace, samotný průběh a následné vyhodnocení. Součástí je také porovnání hodnot z mikrosimulace s hodnotami vypočtenými v kapacitním posouzení návrhu. Uvedeny jsou důvody, kvůli kterým se jednotlivé hodnoty liší. Poslední částí kapitoly je simulace zátěžové situace, která ověřuje funkčnost návrhu při vyšší intenzitě provozu.

6.1 Mikrosimulace

Mikrosimulace je nástroj, kterým je jak v této práci, tak při reálné dopravně inženýrské praxi možné ověřit navržené řešení dopravní situace. Jedná se o matematický model, který zachycuje chování vozidel, ale i pěších a cyklistů v dopravní síti. Na rozdíl od makrosimulací, které jsou aplikovány na větší plochy a zóny, mikrosimulace umožňuje se zaměřit na jeden konkrétní uzel dopravní sítě, v tomto případě jednu konkrétní křižovatku, a zkoumat chování jednotlivých účastníků dopravního provozu. Naopak makrosimulace s pomocí metody abstrakce (záměrného opomenutí méně významných skutečností) umožňuje zkoumat základní veličiny dopravního proudu, tj. intenzitu, hustotu a rychlost dopravního proudu. [12][13]

Obecné výhody simulací plynou zejména ze skutečnosti, že se jedná o matematický model. Je to především možnost mnoha opakování, kdy je možné postupně měnit a upravovat parametry, a to bez reálného zásahu do zkoumané oblasti. Tím je tedy možné ověřit navržené řešení ještě před samotnou implementací a případně provést úpravy parametrů, pokud ze simulace vyplývá jejich špatné nastavení. Další možností je zkoumání a následné porovnávání více alternativních návrhů řešení jedné situace. Také je možné vložit do simulace různé události z reálného provozu, jako je nehoda, a zkoumat, jakým způsobem se změní chování účastníků v dopravní síti. Je možné říct, že díky zmíněným výhodám mikrosimulace a simulace obecně šetří finanční prostředky jak při samotné realizaci dopravního řešení, tak ty, které by vznikaly při provozu za špatně nastavených podmínek. [12][13]

Na druhé straně je třeba si uvědomit, že matematický model, jakkoliv kvalitní, nikdy nebude schopný plně napodobit reálné chování řidičů a dalších účastníků dopravního provozu, respektive to, že řidič se nikdy nebude chovat přesně podle matematického modelu. Je důležité s tímto faktem pracovat při interpretaci výsledků simulací. Simulace neposkytuje řešení problému, ale spíše poskytuje zpětnou vazbu k navrženému řešení, kterou je nutné správně interpretovat směrem k následné realizaci. [12][13]

Mezi nejrozšířenější simulační softwary patří PTV VISSIM, Paramics, Aimsun nebo LISA+. V rámci této práce je simulace provedena v softwaru PTV VISSIM s licencí pro závěrečné práce.

6.2 Popis tvorby mikrosimulace v programu VISSIM

6.2.1 PTV VISSIM a další produkty společnosti PTV

Program VISSIM je vyvíjen od roku 1992 německou společností PTV. V současnosti se jedná o nejrozšířenější nástroj tohoto typu na trhu. Kromě VISSIM, který je zaměřen na mikrosimulace dopravního provozu, společnost vyvíjí mj. VISUM pro makroskopické modelování nebo VISWALK pro mikrosimulace chodců. [14]

6.2.2 Tvorba simulace

Při tvorbě simulace byl využit především výukový materiál ČVUT FD pro výukový blok Řízení silniční dopravy. [15]

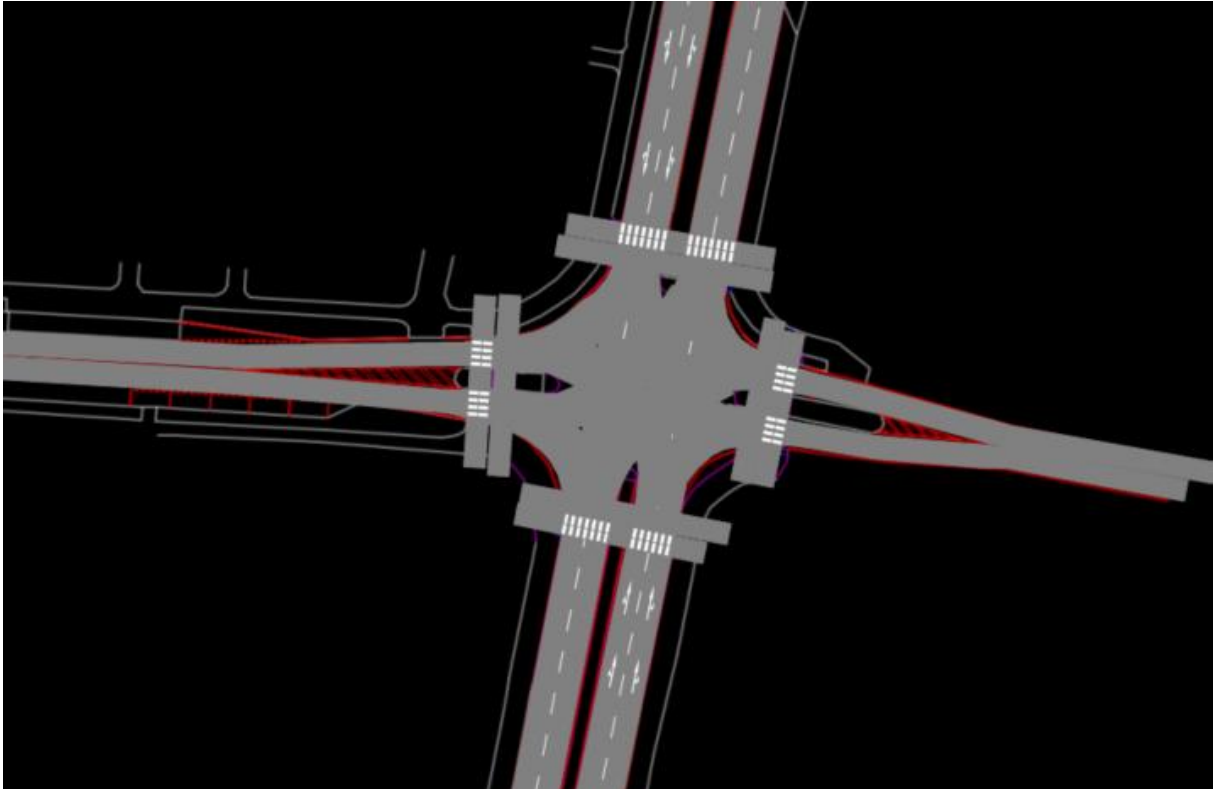
Po uložení souboru byly nastaveny parametry simulace. Hodnota periody byla nastavena na hodnotu 4200 sekund, při simulaci se prvních 600 sekund uvažuje jako tzv. zahřívací perioda, která do výsledků není zahrnuta, a vyhodnocení probíhá v periodě 600-4200 sekund, tedy 1 hodiny. Další nastavenou hodnotou je Random seed, která při více bězích simulace zaručuje, že jednotlivé běhy budou generovány náhodně. Rychlost simulace je možné nastavit buď na pevně danou rychlost (např. v reálném čase, 10krát rychlejší apod.), nebo tak, aby byla vždy maximální v závislosti na aktuálním výkonu procesoru. Také je možné nastavit, kolik jader procesoru bude po dobu simulace využíváno.

V programu lze upravovat funkce jako akcelerace a decelerace a také distribuci modelu. Funkce i distribuce modelu byly ponechány tak, jak byly definovány programem.

Konkrétní typy a třídy vozidel, případně dalších účastníků provozu, byly také ponechány v předdefinovaném tvaru (osobní auto, nákladní auto, autobus, chodec, cyklista, tramvaj – nevyužítá).

Z dopravního průzkumu je možné v záložce Vehicle Compositions nastavit pro každý vjezd skladbu dopravního proudu.

Dopravní síť je tvořena dvěma typy segmentů, Links a Nodes (trasy a spojnice). Podle vloženého obrázku na pozadí (v tomto případě výkres v AutoCADu) se nejprve vytvoří přímé úseky, u kterých je možné nastavit šířku, směr a počet jízdních pruhů. Ty se následně propojí obloukovými segmenty, u těch je možné upravit tvar pomocí funkcí Generate spline a Recalculate spline. Následně je možné pro lepší vizuální prezentaci doplnit také vodorovné dopravní značení, jako je zobrazené na obrázku 12.



Obrázek 12 - dopravní síť s podkladem vytvořená v programu VISSIM [zdroj vlastní]

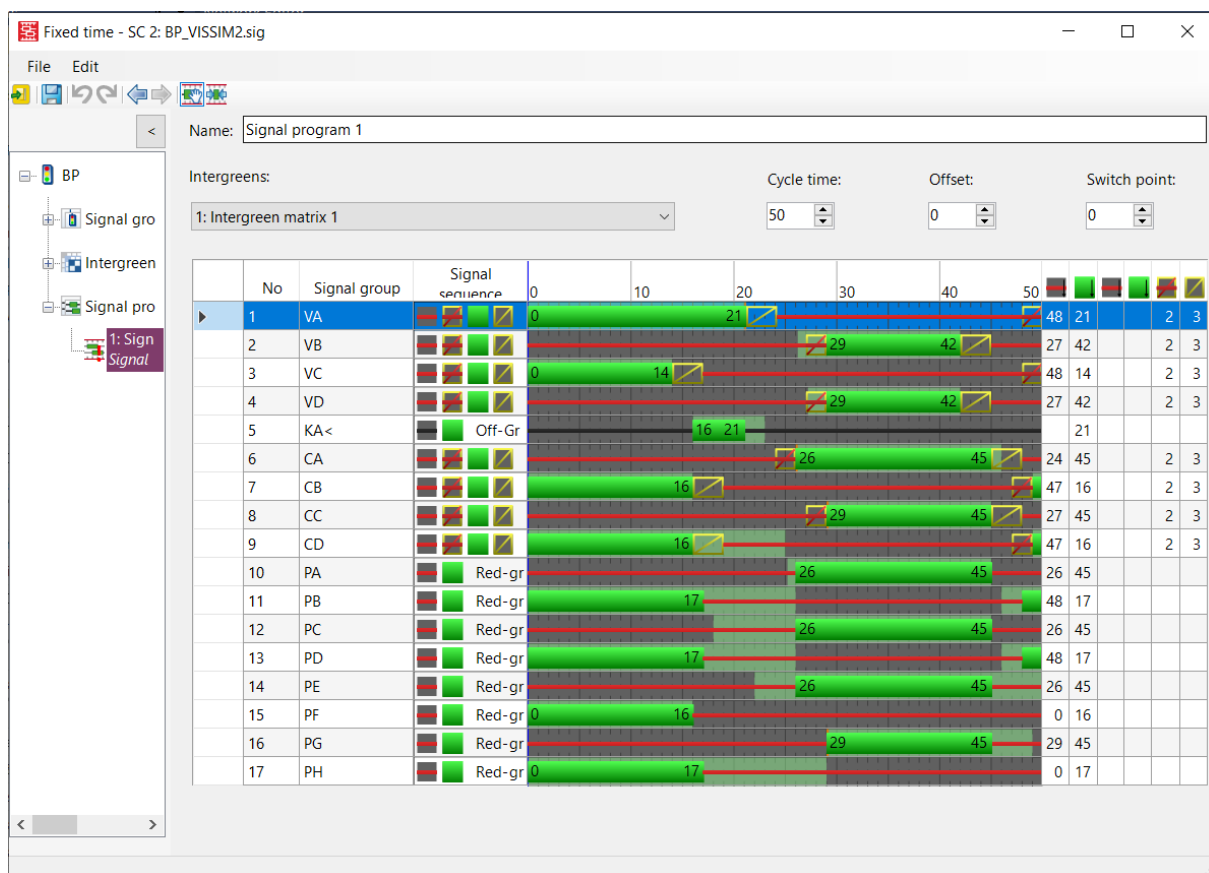
Po vytvoření dopravní sítě je možné do ní vložit pomocí Vehicle Inputs i vozidla se skladbou dopravního proudu odpovídající danému vjezdu. Zároveň je třeba pro dané vjezdy nastavit intenzity jednotlivých vstupů podle dopravního průzkumu. Dalším krokem je poté v záložce Vehicle Routes nastavení rozdělení pohybu vozidel do jednotlivých směrů, také podle dopravního průzkumu.

Dalším krokem je nastavení pravidel pro určení přednosti v jízdě tam, kde na provoz nemají vliv SSZ, typickou situací je přednost v jízdě, kterou musí dát vozidlo odbočující vlevo protijedoucím vozidlům. Tato pravidla se nastavují v záložce Conflict Areas, kdy pro každé konfliktní místo, které vzniklo při tvorbě dopravní sítě, je možné rozhodnout, který ze dvou konfliktních směrů bude prioritní.

Po nastavení základního dopravního chování v případě neřízené křižovatky je možné doplnit také řízení SSZ. To probíhá ve dvou krocích, kdy je nejprve vytvořen systém řízení a následně jsou do dopravní sítě doplněna návěstidla.

Tvorba systému řízení v programu probíhá obdobně jako v reálném postupu. Začíná definováním signálních skupin, jejich typu (vozidlový a cyklistický se čtyřmi signály, chodecký se dvěma signály a vyklizovací pouze se zeleným signálem) a nastavením minimální doby trvání jednotlivých signálů. Zejména se jedná o úpravu doby trvání žluto-červeného signálu na 2 sekundy, původně je nastaven na 1 sekundu. Dalším krokem je vyplnění tabulky mezičasů (Intergreen matrix) podle již vypočtených hodnot, které byly použity již v předchozí kapitole. Následně je možné sestavit celý signální program, kdy program sám hlídá a upozorňuje, pokud mezi jednotlivými signálními skupinami nejsou příslušné mezičasy dodrženy. Je třeba nastavit, že se jedná o pevný signální program a také délku cyklu (v tomto

případě 50 sekund). Oproti postupu z kapitoly 5.2 se v programu nespécifikuje pořadí fází a nevytváří se samostatně fázové přechody. Podoba signálního programu v programu VISSIM je na obrázku 13.



Obrázek 13 - signální program vytvořený v programu VISSIM [zdroj vlastní]

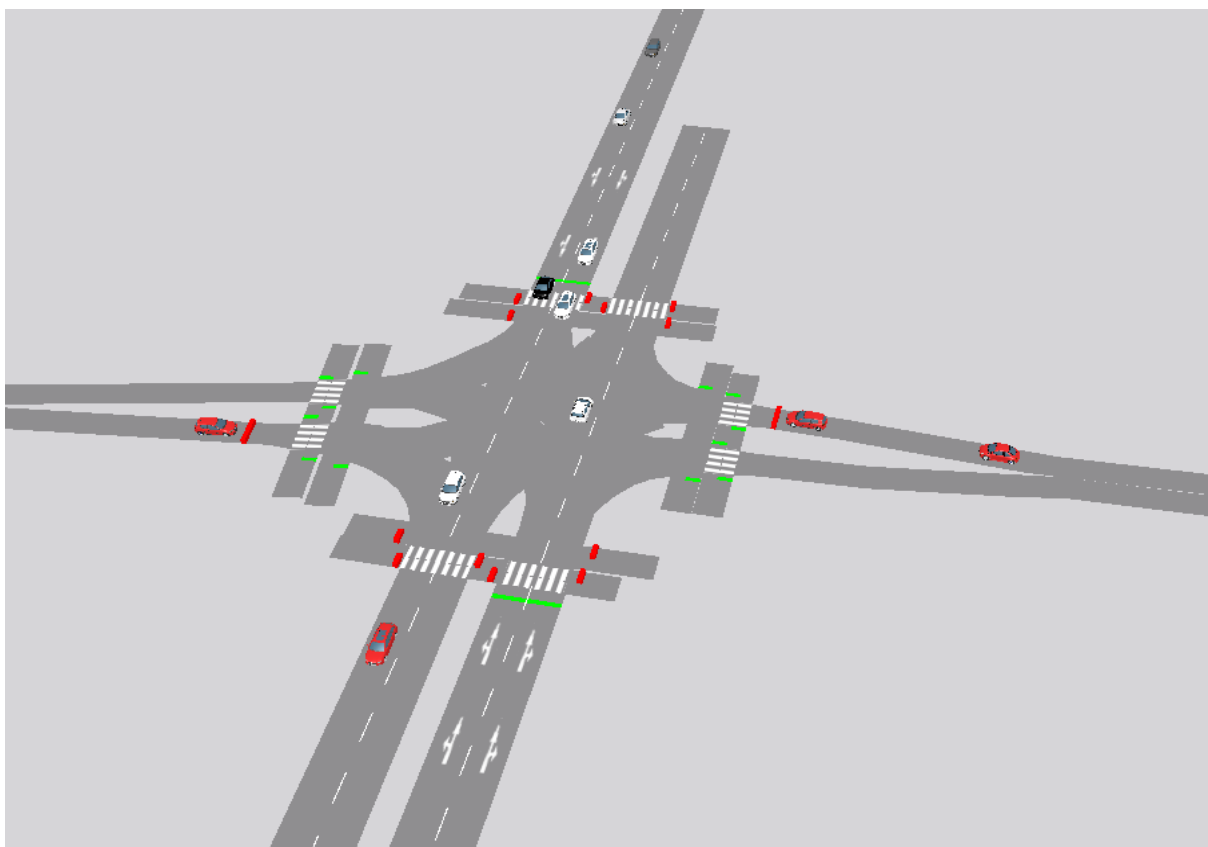
Po sestavení signálního programu je možné do dopravní sítě vložit jednotlivá návěstidla pomocí záložky Signal Heads a přiřadit jim odpovídající signální skupinu.

6.2.3 Průběh simulace

Simulace byla provedena pro situaci řízené křižovatky podle vypočítaného signálního programu celkem v 30 iteracích, které se od sebe díky nastavení hodnoty Random seed lišily. V opačném případě by všechny iterace proběhly identicky a pro vyhodnocení by tedy byly nepoužitelné. Pro správný formát výstupu bylo v záložce Evaluation nastaveno vyhodnocení parametrů Vehicle travel times a Delays, které odpovídají cestovní době a zdržení vozidla v prostoru křižovatky. Hodnotu parametru Delay je možné dále využít pro porovnání se střední dobou zdržení t_w vypočítanou v kapacitním posouzení řízené křižovatky. V kartě Vehicle Travel Times bylo třeba nastavit úseky, ve kterých bude měření zadaných parametrů probíhat. Pro každé rameno byl z důvodu lepší přehlednosti při vyhodnocování zvolen pouze jeden směr. Na ramenech A, B a D byl jako měřený úsek zvolen ten pro vozidla odbočující vlevo, jelikož se dalo předpokládat, že právě tato vozidla se na křižovatce zdrží nejdéle. Na rameni C byl zvolen přímý směr, protože odbočení vlevo z tohoto směru dosahovalo velmi nízkých hodnot

(přibližně 3 % celkové intenzity vjezdu), a přímý směr naopak představoval většinu vozidel vjíždějících do křižovatky z tohoto ramene.

Každý běh simulace trval 4200 sekund, z toho prvních 600 sekund nebylo zahrnuto do vyhodnocení, jelikož se jedná o tzv. zahřívací periodu, celkem tedy bylo vždy vyhodnoceno 3600 sekund, tj. 1 hodina. Videozáznam z části simulace je součástí příloh ve formátu .mp4. Průběh simulace je zachycen na obrázku 14.



Obrázek 14 - průběh simulace v programu VISSIM [zdroj vlastní]

6.3 Vyhodnocení mikrosimulace

Každý jednotlivý běh simulace generoval data do souboru formátu .rsr, který bylo možné následně otevřít v programu MS Excel a uložit ve formátu .xlsx. Data všech 30 souborů byla následně pomocí makra očištěna o hlavičku generovanou programem VISSIM a seřazena za sebe do jednoho sloupce. Celkem se jednalo o přibližně 20500 řádků, které odpovídají jednotlivým průjezdům křižovatkou. Jelikož byla generovaná data oddělena středníkem, bylo možné je rozdělit do jednotlivých sloupců, které obsahovaly hodnoty Time (čas průjezdu vozidla), No. (číslo úseku, resp. ramene), Veh (ID vozidla), VehType (typ vozidla), Trav. (cestovní doba), Delay. (zdržení) a Dist (ujetá vzdálenost).

Podle parametru No. byla data filtrována a kopírována na jednotlivé listy, které odpovídaly ramenům křižovatky. Poté bylo možné pro každý úsek a každé rameno vyhodnotit dobu zdržení zprůměrováním všech hodnot Delay na daném ramenu a podle toho stanovit i úroveň kvality dopravy.

Během prvního vyhodnocení simulace bylo zjištěno, že rychlost na všech ramenech přesahuje 50 km/h, a to přibližně v 75-80 % případů. Tato skutečnost byla způsobena chybným nastavením zón snížených rychlostí, které způsobilo to, že vozidla projížděla celý úsek rychlostí vyšší než v reálné situaci. Před druhým vyhodnocením byly zóny nastaveny tak, aby vozidla před stopčárou snížila rychlost a jejich chování tak více odpovídalo realitě.

6.4 Porovnání s kapacitním posouzením, shrnutí

Pro každé rameno byla vypočítána průměrná doba zdržení a ta byla následně porovnána se střední dobou zdržení vypočítanou v kapacitním posouzení podle TP 188. Porovnání je zobrazeno v tabulce 24. V případě ramen A a C, pro která byly v kapacitním posouzení hodnoceny jízdní pruhy zvlášť, byl zvolen daný jízdní pruh a odpovídající hodnota střední doby zdržení.

Tabulka 24 - porovnání střední doby zdržení podle simulace VISSIM a výpočtu podle TP 188 [zdroj vlastní]

	Střední doba zdržení [s]		Úroveň kvality dopravy	
	VISSIM	TP 188	VISSIM	TP 188
VA	17,8	13	A	A
VB	20,6	25	B	B
VC	11,1	14	A	A
VD	14,7	28	A	B

Z tabulky vyplývá, že kromě ramena A bylo v simulaci na všech ramenech dosaženo lepších výsledků než výpočtem podle TP 188. Na ramenu D v důsledku toho došlo ke zlepšení o jeden stupeň, rameno B zůstalo na stupni B.

Důvodem ke zhoršení situace na ramenu A může být chování modelu, které ne zcela odpovídá reálnému chování řidičů. Při sledování simulace docházelo k tomu, že vozidlo, které jelo přímým směrem a bylo zařazeno v levém jízdním pruhu, v tomto pruhu zůstávalo a čekalo za vozidly odbočujícími vlevo. Tato vozidla zase čekala na průjezd protijedoucích vozidel a tím pádem docházelo k blokování celého jízdního pruhu a ke zvýšení zdržení vozidel odbočujících vlevo. V reálné situaci by řidiči volili přejetí do pravého jízdního pruhu, který také umožňuje jízdu přímým směrem.

Snížení doby zdržení na ostatních třech ramenech je možné vysvětlit odlišným chováním vozidel v modelu a v reálné situaci. Dalším faktorem je odlišný způsob výpočtu, v kapacitním posouzení se jedná o střední dobu zdržení, v mikrosimulaci o průměrné zdržení vozidel.

Celkově je možné prohlásit simulaci za úspěšně provedenou a navrhované řešení za ověřené.

6.5 Simulace zátěžové situace

Zátěžová situace, kdy dojde ke skokovému zvýšení intenzit dopravy v dané křižovatce, je další možností, jak ověřit funkčnost návrhu SSZ a zdůvodnit jeho instalaci. Mezi zátěžové situace se může řadit objížděná trasa zahrnující danou křižovatku v případě dopravní nehody na obvyklé trase nebo

celkového uzavření obvyklé komunikace. Se zvýšenými nároky na kapacitu křižovatky se projevují výhody světelně řízené křižovatky, mezi které patří právě vyšší kvalita provozu při vyšší zátěži.

Jako zátěžová situace byla pro tuto práci vybrána situace, kdy dojde ke zvýšení intenzit na ramenech C (jižní) a D (západní). Modelová situace, která by dané situaci mohla předcházet v reálném provozu, je dopravní nehoda na ulici Jana Palacha, v jejímž důsledku je ulice S. K. Neumanna jedna z nevhodnějších alternativ pro cestu do centra města. Z ulice Jana Palacha je možné na křižovatku dojet právě ze dvou zmíněných ramen C a D. Pro rameno C bylo zvoleno navýšení intenzit o 40 %, pro rameno D o 20 %. Navýšení bylo navrženo podle znalosti místních poměrů, kdy by větší část vozidel v této situaci zvolila příjezd právě z jižního ramena.

Průběh simulace i její vyhodnocení proběhlo obdobně jako v předchozím případě a výsledky porovnané s kapacitním posouzením podle TP 188 jsou přiloženy v tabulce 25.

Tabulka 25 - porovnání střední doby zdržení v zátěžové situaci podle simulace VISSIM a výpočtu podle TP 188 [zdroj vlastní]

	Střední doba zdržení [s]		Úroveň kvality dopravy	
	VISSIM	TP 188	VISSIM	TP 188
VA	23,0	13	B	A
VB	24,9	27	B	B
VC	10,7	20	A	A
VD	15,0	49	A	C

Podobně jako v předchozím případě dosahují všechny vjezdy kromě ramena A lepších výsledků v simulaci než v kapacitním posouzení. Možné důvody jsou stejné a jsou popsány v předchozí kapitole. Zarážející je velký rozdíl mezi hodnotami na ramenu D, kde je rozdíl mezi hodnotami 34 sekund a dva stupně úrovně kvality dopravy. Zatímco v simulaci vyšlo průměrné zdržení vozidel při průjezdu 15 sekund, a tedy úroveň kvality dopravy A, v kapacitním posouzení je střední doba zdržení 49 sekund, a tedy horní hranice stupně C.

Důvodem této situace může být nízká kapacita na stopčáře, která vychází z velkého počtu vozidel odbočujících vlevo z tohoto vjezdu. Zlepšení by mohla poskytnout úprava signálního plánu, která by spočívala v přidání 1 sekundy do třetí fáze na úkor fáze první, konkrétně na ramenu D se střední doba zdržení sníží na 34 sekund. V tomto případě je kapacitní posouzení na stupni A pro rameno A a na stupni B pro zbylá ramena. Mezi další možné úpravy patří zvýšení délky cyklu, například na 60 sekund, nebo doplnění nové fáze vyklizovací šipky pro rameno D (KD<), která by umožnila právě velkému počtu vozidel odbočujících vlevo opustit křižovatku.

Celkově je možné říct, že i s podobnou situací, při které dojde k navýšení intenzit vozidel, je navržené řešení řízení dopravy si schopné poradit.

7 Doporučení

Řešení navrhované pro křižovatku S. K. Neumanna x Svobody v Pardubicích, tedy přestavba z okružní na průsečnou a instalace SSZ, je plně realizovatelné a nebude mít negativní vliv na dopravu v dané oblasti. Původní řešení okružní křižovatky ale při současných intenzitách dopravy vykazuje dobrou funkčnost, kdy na všech ramenech dosahuje úroveň kvality dopravy stupně A.

V následujících bodech jsou shrnuta doporučení a další důsledky, které plynou z řešení navrhovaného v práci:

1. Provést ekonomickou analýzu nákladů a přínosů, které by přinesla implementace navrhovaného řešení a vyhodnotit, zda je z tohoto pohledu výhodnější původní, nebo navrhované řešení. Stavební úpravy křižovatky a následná instalace SSZ jsou časově i finančně náročná záležitost, proto by vždy měly být řádně zdůvodněny.
2. Intenzity, které byly naměřeny během dopravního průzkumu, jsou relativně nízké a provoz na křižovatce tolik nezatěžují, což bylo potvrzeno kapacitním posouzením okružní křižovatky. Tyto hodnoty se ale v budoucích letech zvyšovat z několika důvodů, zejména se jedná o výstavbu obytných domů na východním ramenu B křižovatky, vliv bude ale také mít stavba jihovýchodního ramena obchvatu Pardubic a sjezdu z něj, který bude ústít v blízkosti prověřované křižovatky. Je možné, že okružní křižovatka proto dosáhne své kapacity a dále nebude funkční. Proto je doporučeno v budoucích letech znovu prověřit intenzity v lokalitě a upravit řešení, aby lépe vyhovovalo aktuálním požadavkům.
3. Vzhledem k předpokládaným nízkým intenzitám je možné signální plán v nočních hodinách změnit na blikavou žlutou a řídit ji pouze podle SDZ.
4. Pokud by došlo k instalaci SSZ na křižovatce, doporučuje se zavést ji do liniové koordinace s dalšími světelně řízenými křižovatkami, konkrétně S. K. Neumanna x Pichlova a S. K. Neumanna x K Vinici x Na Spravedlnosti. Tyto křižovatky jsou na jedné komunikaci a vzdálené od sebe přibližně 620 metrů, splňují tedy podmínku pro koordinaci. Pokud bude možná a přínosná, doporučuje se realizovat obousměrná koordinace, v opačném případě alespoň jednosměrná, např. se střídavým provozem v průběhu dne.
5. Okružní křižovatky jsou obecně považovány za bezpečnější stavební uspořádání z hlediska počtu dopravních nehod, to potvrzuje i bilance posuzované křižovatky. Přestavba křižovatky na průsečnou přináší riziko většího počtu dopravních nehod, především z důvodu nedodržení přednosti v jízdě. Doporučuje se po přestavbě monitorovat, zda nedošlo k nárůstu dopravních nehod na křižovatce.

6. Ačkoliv je lokalita z dopravního hlediska bezpečná, instalací SSZ dojde k posílení bezpečnosti chodců a cyklistů, zejména na frekventované cyklostezce, která protíná východní rameno B.
7. Doplnění přechodu pro chodce a přejezdu pro cyklisty na jižním ramenu C eliminuje nutnost obcházet, respektive objíždět křižovatku přes více ramen. Je možné předpokládat, že cyklisté přijíždějící ze západního ramena D, kteří se chtějí napojit na zmíněnou cyklostezku, využijí pro to právě tento přejezd a vyhnou tak se vjezdu do křižovatky, jako se děje v současné situaci.
8. Při realizaci světelně řízené křižovatky se doporučuje sledovat, jakým způsobem se změnil průjezd vozidel MHD a v případě zhoršení implementovat systém preference vozidel MHD, která by umožnila jejich plynulejší průjezd. V tomto případě by byla nutná implementace dynamického signálního plánu.

8 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo analyzovat stávající stav okružní křižovatky a navrhnout stavební úpravy a řízení provozu pomocí SSZ.

Začátek práce je věnován analýze současného stavu, popisu širších dopravních vztahů a výhledu do budoucnosti z hlediska výstavby obytných i dopravních staveb. Jsou v ní zmíněny okolnosti, které jsou důvodem pro prověření současného řešení a návrh nového, tedy cíle této práce.

V rámci analýzy dopravního stavu byl také proveden dopravní průzkum podle TP 189, a to ve dvou termínech. První termín byl z několika důvodů nevhodný pro další zpracování, proto byl průzkum opakován na konci března, kdy se v jednom dni uskutečnila tři pozorování v časech ranní špičky 7:00-8:00, poledního sedla 11:00-12:00 a odpolední špičky 16:00-17:00. Popis provedení a vyhodnocení dopravního průzkumu společně se závěry z vyhodnocení a pozorování tvoří kapitulu 3.

Čtvrtá kapitola se skládá ze dvou částí. První se týká kapacitního posouzení okružní křižovatky podle TP 188 na základě dat získaných z dopravního průzkumu. Zahrnuje posouzení kapacity na vjezd do a výjezd z křižovatky a následné vyhodnocení vypočtených parametrů. Pro vjezdy je parametrem střední doba zdržení, která byla vypočtena na maximálně 6 sekund na ramenu D, všechny vjezdy tedy dosáhly stupně úrovně kvality dopravy A. Pro výjezdy je parametrem stupeň vytižení, jehož hodnota musí být nižší než 0,9. Tuto podmínku všechny výjezdy splnily, bylo tedy možné prohlásit okružní křižovatku za kapacitně vyhovující. V druhé části čtvrté kapitoly jsou popsána jednotlivá kritéria pro návrh SSZ podle TP 81, jejich význam a postup při hodnocení. Na posuzované křižovatce bylo splněno jedno kritérium, a to zvláštního zřetele. Důvodem pro splnění je výstavba v oblasti východně od křižovatky, která zvýší intenzity vozidel projíždějících křižovatkou, a dále také blízkost celkem tří křižovatek, které budou v relativně blízké budoucnosti osazeny SSZ.

Pátá kapitola se věnuje návrhu signálního programu a následnému kapacitnímu posouzení tohoto návrhu. Také jsou popsány stavební úpravy vycházející z navrhovaného řešení a situačního návrhu. Jsou navrženy signální skupiny a jednotlivé fáze a jejich sled. Dále je popsán postup při výpočtu tabulky mezcíh. Pro výpočet parametrů cyklu je použita Websterova metoda saturevaného toku, ze které jsou vypočítané parametry doba cyklu a doba volna a minimální doba volna pro jednotlivé kritické vjezdy. Jako návrhové intenzity jsou použity intenzity z odpolední špičky se zohledněnou výstavbou. Doba cyklu je stanovena na 50 sekund a následně s využitím fázových přechodů je sestaven celý signální program. V kapacitním posouzení světelně řízené křižovatky podle TP 188 ramena hlavní komunikace A a C dosáhla stupně úrovně kvality dopravy A, zatímco zbylá ramena B a D stupně B.

V šesté kapitole jsou obecně popsány simulace, jejich druhy a výhody a nevýhody, s důrazem na mikrosimulace. Dále je popsána tvorba mikrosimulace v programu VISSIM, její následný průběh a vyhodnocení parametrů. Porovnávaným parametrem je střední doba zdržení, která je porovnávána

s hodnotou vypočtenou v kapacitním posouzení podle TP 188. Kromě ramena A došlo v mikrosimulaci na všech ramenech ke snížení střední doby zdržení. Na ramenu D došlo oproti kapacitnímu posouzení ke zlepšení úrovně kvality dopravy ze stupně B na stupeň A. Simulace zátěžové situace na ramenech C a D ověřila funkčnost návrhu i při vyšší zátěži a uvedeny byly možné úpravy signální plánu, které by kapacitu křižovatky mohly dále zlepšit.

Kapacitní posouzení i mikrosimulace ověřily, že návrh SSZ na křižovatce je realizovatelný a nemá negativní vliv na provoz v křižovatce. Kapacitní posouzení okružní křižovatky ale ukazuje, že i toto řešení současnou situaci zvládá. Je tedy doporučeno monitorovat, jakým způsobem bude ovlivněn provoz v budoucích letech a případně na tuto situaci reagovat. Dalšími faktory v rozhodování jsou mj. časová a finanční nákladnost přestavby.

Seznam použité literatury

- [1] Mapy.cz. Mapy.cz [online]. Dostupné z: <https://mapy.cz/>
- [2] Územní studie S. K. Neumanna – část 1 - západní. Pardubice.eu [online]. Dostupné z: <https://www.pardubice.eu/urad/radnice/uzemni-planovani/uzemni-studie-mesta-pardubice/uzemni-studie-s-k-neumanna-cast-1-zapadni/>
- [3] SEIDL, Antonín. Zásady pro dopravní značení na pozemních komunikacích TP 65: technické podmínky. [Praha]: Ministerstvo dopravy, Odbor pozemních komunikací, [2013?]. 156 stran.
- [4] MARTOLOS, Jan. Navrhování světelných signalizačních zařízení pro řízení provozu na pozemních komunikacích TP 81.: technické podmínky. Vydání třetí. [Praha]: Ministerstvo dopravy, 2015. 174 stran.
- [5] SEIDL, Antonín. Zásady pro vodorovné dopravní značení na pozemních komunikacích TP 133: technické podmínky. [Praha]: Ministerstvo dopravy, Odbor pozemních komunikací, [2013]. 84 stran.
- [6] BARTOŠ, Luděk et al. Posuzování kapacity křižovatek a úseků pozemních komunikací: technické podmínky TP 188. Plzeň: EDIP, 2018. 152 s.
- [7] BARTOŠ, Luděk a Jan MARTOLOS. Stanovení intenzit dopravy na pozemních komunikacích: technické podmínky TP 189. 2. vyd. Plzeň: EDIP, 2012. 76 s. ISBN 978-80-87394-06-9.
- [8] Nehody v ČR | Statistika. Nehody v ČR [online]. Copyright © 2021 Centrum dopravního výzkumu, v. v. i. [cit. 10.07.2021]. Dostupné z: <https://nehody.cdv.cz/statistics.php>
- [9] Prezentace výsledků sčítání dopravy 2016. Object moved [online]. Copyright © Copyright [cit. 12.07.2021]. Dostupné z: <http://scitani2016.rsd.cz/pages/informations/default.aspx>
- [10] MHD jízdní řády | Dopravní podnik města Pardubic a.s. [online]. Copyright ©2021. Dopravní podnik města Pardubic a.s. [cit. 10.07.2021]. Dostupné z: <https://www.dpmp.cz/cestovani-mhd/vyhledat-spojeni.html?active-tab=timeTables>
- [11] Spravedlnost čeká osmiměsíční rekonstrukce. Pardubice.eu [online]. Dostupné z: <https://www.pardubice.eu/urad/radnice/pro-media/tiskove-zpravy/spravedlnost-ceka-osmimesicni-rekonstrukce/>
- [12] Mikrosimulace | DOPRAVNÍ STUDIE CZ. Úvod | DOPRAVNÍ STUDIE CZ [online]. Dostupné z: <https://dopravnistudie.cz/node/12>
- [13] Kapitola IV. Modelování dopravy na pozemních komunikacích (ČÁST 1) | Zvýšení vědeckovýzkumného potenciálu pracovníků a studentů technických vysokých škol v oblasti dopravy. [online]. Copyright © 2009, Fakulta strojní [cit. 10.07.2021]. Dostupné z: <http://projekt150.ha-vel.cz/node/94>
- [14] Traffic Simulation Software | PTV Vissim | PTV Group. 301 Moved Permanently [online]. Dostupné z: <https://www.ptvgroup.com/en/solutions/products/ptv-vissim/>

- [15] RŮŽIČKA, Jiří. Návod k ukázkovému příkladu ve VISSIMu. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta dopravní.
- [16] RŮŽIČKA, Jiří. Manuál pro práci v programu Lisa+. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta dopravní.
- [17] ČSN 73 6102: Projektování křižovatek na silničních komunikacích ed. 2. Praha: Český normalizační institut, 2012
- [18] ČSN 73 6110: Projektování místních komunikací. Praha: Český normalizační institut, 2006

Seznam příloh

- Příloha 1 Soupis dopravního značení (.pdf)
- Příloha 2 Původní situace křižovatky (.pdf)
- Příloha 3 Navrhovaná situace křižovatky (.pdf)
- Příloha 4 Pentlogramy jednotlivých dopravních průzkumů (.pdf)
- Příloha 5 Výpočet parametrů cyklu (.pdf)
- Příloha 6 Video mikrosimulace v programu VISSIM (.mp4, [YouTube](#))

Seznam obrázků

Obrázek 1 - současná situace křižovatky [1].....	9
Obrázek 2 - mapa širších vztahů s vyznačenými ulicemi S. K. Neumanna a Svobody a řešenou křižovatkou [1].....	11
Obrázek 3 - současná podoba křižovatky s označením ramen [1]	13
Obrázek 4 - pentlogram intenzit v odpolední špičce se zohledněnou výstavbou [zdroj vlastní]	16
Obrázek 5 - pohled na ulici S. K. Neumanna z ulice K Blahobytu [1]	18
Obrázek 6 - uspořádání křižovatky v roce 2006 [1].....	26
Obrázek 7 - mapa s vyznačenými nehodami v období 1.2.2018-31.1.2021 [8].....	27
Obrázek 8 - posouzení kritéria intenzity vozidel [zdroj vlastní]	28
Obrázek 9 - návrh nového řešení výjezdu z ulice K Blahobytu [1]	33
Obrázek 10 - návrh pořadí fází [zdroj vlastní]	35
Obrázek 11 - signální program [zdroj vlastní]	45
Obrázek 12 - dopravní síť s podkladem vytvořená v programu VISSIM [zdroj vlastní].....	53
Obrázek 13 - signální program vytvořený v programu VISSIM [zdroj vlastní]	54
Obrázek 14 - průběh simulace v programu VISSIM [zdroj vlastní]	55

Seznam tabulek

Tabulka 1 - tabulka koeficientů zohledněné skladby vozidel [7].....	13
Tabulka 2 - návrhové intenzity dopravy pro ranní špičku [zdroj vlastní]	14
Tabulka 3 - návrhové intenzity dopravy pro polední sedlo [zdroj vlastní]	14
Tabulka 4 - návrhové intenzity dopravy pro odpolední špičku [zdroj vlastní]	15
Tabulka 5 - návrhové intenzity dopravy pro odpolední špičku se zohledněným budoucím vývojem oblasti [zdroj vlastní].....	15
Tabulka 6 - tabulka koeficientů zohledněné skladby vozidel [6].....	19
Tabulka 7 - parametry posuzované okružní křižovatky [zdroj vlastní].....	20
Tabulka 8 - tabulka kritéria ÚKD pro neřízené křižovatky [6]	23
Tabulka 9 - protokol pro posouzení kapacity okružní křižovatky podle TP 188 [zdroj vlastní].....	25
Tabulka 10 - tabulka pro posouzení kritéria intenzity vozidel [zdroj vlastní]	27
Tabulka 11 - vyklizovací a najíždějící rychlosti pro jednotlivé účastníky provozu [4]	36
Tabulka 12 - tabulka délky vyklizujícího vozidla a bezpečnostní doby pro jednotlivé účastníky provozu [4]	36
Tabulka 13 - tabulka mezičasů [zdroj vlastní]	36
Tabulka 14 - fázový přechod mezi F1 a F2 [zdroj vlastní]	38
Tabulka 15 - fázový přechod mezi F2 a F3 [zdroj vlastní]	39
Tabulka 16 - fázový přechod mezi F3 a F1 [zdroj vlastní]	40
Tabulka 17 - tabulka hodnot saturovaných toků vjezdu [zdroj vlastní]	42
Tabulka 18 - tabulka hodnot stupně saturace a kritických vjezdů [zdroj vlastní]	43
Tabulka 19 - tabulka dob volna a minimálních dob volna pro kritické vjezdy [zdroj vlastní].....	45
Tabulka 20 - tabulka pro stanovení doby efektivní zelené z' [6].....	46
Tabulka 21 - tabulka kritéria hodnocení úrovně kvality dopravy [6].....	48
Tabulka 22 - tabulka pro stanovení zbytkové fronty na základě stupně vytížení [6].....	49
Tabulka 23 - protokol pro posouzení kapacity světelně řízené křižovatky podle TP 188 [zdroj vlastní]	50
Tabulka 24 - porovnání střední doby zdržení podle simulace VISSIM a výpočtu podle TP 188 [zdroj vlastní].....	56
Tabulka 25 - porovnání střední doby zdržení v zátěžové situaci podle simulace VISSIM a výpočtu podle TP 188 [zdroj vlastní].....	57