ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA DOPRAVNÍ

Hana Gurková

NÁVRH SVĚTELNĚ ŘÍZENÉ KŘIŽOVATKY LODŽSKÁ-MAZURSKÁ V PRAZE

Bakalářská práce

2019

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):

Hana Gurková

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

B 3710 – ITS – Inteligentní dopravní systémy

Název tématu (česky): **Návrh světleně řízené křižovatky Lodžská - Mazurská v Praze**

Název tématu (anglicky): The Design of Traffic Control at the Interesection Lodžská - Mazurská in Prague

Zásady pro vypracování

Při zpracování bakalářské práce se řiďte osnovou uvedenou v následujících bodech:

- Analýza současné dopravní situace a širších dopravních vztahů na posuzované křižovatce včetně ověření kapacity neřízené křižovatky.
- Provedení dopravního průzkumu na křižovatce a analýza dostupných DI dat včetně směrových vztahů.
- Návrh situačního řešení světelně řízené křižovatky včetně posouzení účelnosti dle ČSN 736102 a návrhu pro územní řízení dle TP 81.
- Ověření a zhodnocení návrhu řízení pomocí vhodného simulačního nástroje VISSIM včetně kapacitního posouzení řízené křižovatky dle platných TP 235.

Rozsah grafických prací: dle požadavků vedoucího bakalářské práce

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

Seznam odborné literatury: TP 81 - Zásady pro navrhování světelných signalizačních zařízení na pozemních komunikacích II. vydání

Stanovení intenzit dopravy na pozemních komunikacích (II. vydání) ISBN 978-80-87394-06-9

TP 235 Posouzení kapacity světelně řízených křižovatek

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

Ing. Jiří Růžička

Datum zadání bakalářské práce: **25. října 2018**
(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: **26. srpna 2019**
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.

VZ.

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

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

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.

Hana Gurková
jméno a podpis studenta

V Praze dne ..... 25. října 2018

Poděkování

Mé poděkování patří všem, kteří mi poskytli podklady k vypracování bakalářské práce. Zvláště pak děkuji doc. Ing. Tomáši Tichému, Ph.D., MBA za odborné vedení a konzultování této práce. Dále pak děkuji Ing. Patriku Horažďovskému a Ing. Jiřímu Růžičkovi za cenné rady, které mi věnovali v rámci této práce. Obrovský dík patří i mým rodičům a přátelům, kteří mě podporovali po celou dobu studia.

Prohlášení

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

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

V Praze dne …….

……..

Podpis autora

ABSTRAKT

Předmětem této bakalářské práce je návrh světelného řízení na původní neřízené průsečné křižovatce Lodžská – Mazurská. V návaznosti na předchozí analýzu křižovatky a jejího okolí je vypracován pevný signální plán. Navržené řešení má za cíl přispět ke zlepšení dopravní situace a bezpečnosti na této křižovatce.

KLÍČOVÁ SLOVA

Řízení na křižovatce, světelně signalizační zařízení, pevné řízení, křižovatka

ABSTRACT

The subject of this bachelor thesis is to design a traffic control of the original uncontrolled intersection Lodžská – Mazurská, according to the previous analysis of the intersection and its surroundings. The proposed solution of the invariable traffic control system is to improve the transport conditions and higher safety at this intersection.

KEYWORDS

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

Obsah

Seznam použitých zkratek **8**

Úvod **9**

1 Analýza současného stavu **11**

1.1 Bohnice, Troja a okolí **11**

1.1.1 Bohnice 11

1.1.2 Troja 11

1.2 Širší dopravní vztahy **12**

1.2.1 Lodžská 12

1.2.2 Hnězdenská 13

1.2.3 Mazurská 13

1.2.4 MHD 13

1.3 Problémy na křižovatce **14**

2 Dopravní průzkum **17**

2.1 Způsob měření **17**

2.2 Vyhodnocení dopravního průzkumu **17**

2.2.1 Pentlogramy intenzit dopravy 18

2.2.1.1 Ranní špička 18

2.2.1.2 Odpolední špička 19

3 Posouzení účelnosti implementace SSZ – kritéria pro návrh SSZ **20**

3.1 Kritérium bezpečnosti provozu z hlediska nehodovosti **20**

3.1.1.1 Statistika nehod 20

3.1.1.2 Vyhodnocení kritéria 21

3.2 Kritérium intenzity provozu z hlediska vozidel **22**

3.2.1 Kapacitní výpočet neřízené křižovatky 22

3.2.1.1 Základní kapacita 23

3.2.1.2 Kapacita dopravních pruhů 23

3.2.1.3 Úroveň kvality dopravy 24

3.2.2 Vyhodnocení kritéria 25

3.3 Kritérium intenzity provozu z hlediska chodců **26**

3.4 Kritérium plynulosti jízdy vozidel MHD **27**

3.5 Kritérium bezpečnosti provozu z hlediska místa zvláštního zřetele **27**

3.6 Zhodnocení posouzení **28**

4 Návrh SSZ na křižovatce 29

4.1 Nové stavební uspořádání 29

5 Návrh signálního plánu 31

5.1 Signální skupiny 31

5.2 Tabulka mezičasů 32

5.3 Návrh fází 33

5.3.1 Pořadí fází 33

5.4 Délka cyklu 34

5.5 Kapacitní posouzení světelně řízené křižovatky 35

6 Ověření návrhu řízení SSZ 38

6.1 Simulace pomocí softwaru VISSIM 38

6.1.1 Simulace neřízené křižovatky 38

6.1.2 Simulace světelně řízené křižovatky 40

6.2 Vyhodnocení navrženého opatření oproti původnímu stavu křižovatky 40

Závěr 43

Seznam použité literatury 44

Seznam obrázků 45

Seznam tabulek 46

Seznam grafů 47

Seznam příloh 48

Seznam použitých zkratek

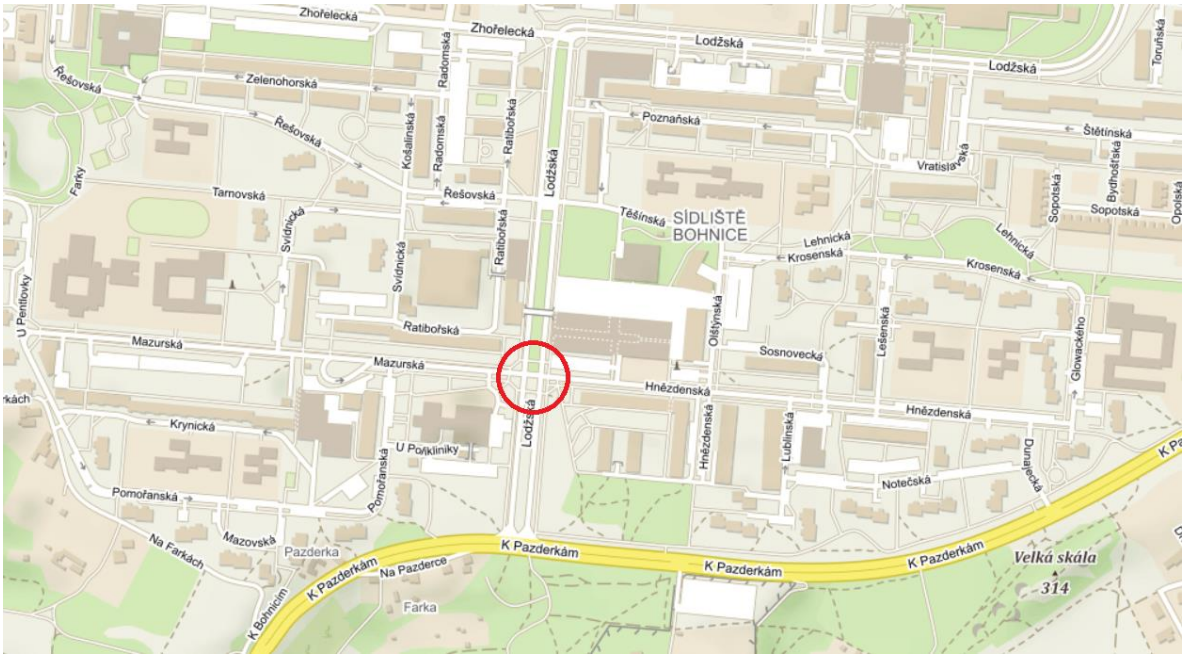
ČR	Česká republika
SSZ	Světelně signalizační zařízení
TP	Technické podmínky
OC	Obchodní centrum
MHD	Městská hromadná doprava
ÚKD	Úroveň kvality dopravy
C	Jízdní kola
M	Motocykly
OA	Osobní automobily
NA	Nákladní vozidla
A	Autobusy
NS	Nákladní soupravy
KA	Kloubové autobusy
FP	Fázový přechod

Úvod

Předmětem této bakalářská práce je návrh světelně signalizačního zařízení na křižovatce, která se nachází na území městské části Troja. Na křižovatce byly zjištěny zásadní problémy ve stavebním uspořádání, chování řidičů a chodců. Důvod návrhu vychází také z vlastní zkušenosti autora.

Křižovatka se nachází ve vysoce zastavěné oblasti, z čehož pramení i vysoká hustota obyvatelstva. Zároveň se v přímé blízkosti křižovatky nacházejí i dvě nejvíce místními obyvateli využívaná místa, a to OC Krakov a Poliklinika Mazurská. Z toho vyplývá předpoklad vysokých intenzit vozidel ale i chodců v tomto místě. Z tohoto důvodu je žádoucí vybudovat opatření v zájmu zvýšení bezpečnosti, aniž by byla negativně narušena plynulost provozu. Návrh probíhá na základě výpočtů z TP 81.[7]

Křižovatka je tvořena čtyřmi rameny. Dvě z těchto ramen tvoří ulice Lodžská, které protíná krom Troji i městskou část Bohnice a další dvě ramena tvoří ulice Hnězdenská a ulice Mazurská.



Obrázek 1 - Geografická poloha křižovatky a okolí [1]

Cílem této práce je návrh řízení křižovatky světelnými signály, na základě analýzy současného stavu, kterou je popis oblasti a okolí této křižovatky, stavební uspořádání a širší dopravní vztahy. Na analýzu současného stavu křižovatky přímo navazuje vypracování průzkumu špičkových dopravních intenzit a skladby dopravního proudu, jakožto důležité vstupy pro všechny výpočty v rámci této práce. Na základě dopravního průzkumu lze například stanovit

kapacitu neřízené úrovňové křižovatky, která je jedním z kritérií posouzení účelnosti návrhu SSZ na křižovatce.

Výstupem této práce je návrh nového řešení řízení křižovatky světelnými signály a následné porovnání výsledků navrženého řešení v dané lokalitě pomocí řízené křižovatky se současnou situací, kterou je neřízená průsečná křižovatka se směrově oddělenými jízdními pruhy na hlavní komunikaci.

1 Analýza současného stavu

V této kapitole je provedena analýza současného stavu na křižovatce, která zahrnuje nejprve popis okolí a samotné křižovatky. Následně jsou rozebrány širší dopravní vztahy, které se mimo jiné zabývají i problémy vyskytujícími se na této křižovatce.

1.1 Bohnice, Troja a okolí

1.1.1 Bohnice

Bohnice jakožto městská čtvrť a katastrální území o rozloze 466 ha, se nachází v severní části Prahy na pravém břehu řeky Vltavy. Bohnice jsou známy již od 12. století, kdy zde byl postaven kostel sv. Petra a Pavla. Bohnice jsou dosud známé především pro největší psychiatrickou léčebnu na území ČR, postavenou na počátku 20. století. Na území Bohnic se také nachází velké množství zeleně a přírodních památek.

Od roku 1990 patří Bohnice do městské části Praha 8. [2][3]

1.1.2 Troja

Troja je městská čtvrť a katastrální území o rozloze 543 ha a leží, stejně jako Bohnice, v severní části Prahy na pravém břehu řeky Vltavy. Pojmenování „Troja“ pochází z 18. století podle zámku Troja, který zde stojí dodnes a v jehož okolí se nachází zoologická a botanická zahrada. V severní části Troji se také nachází přírodní památka Velká skála. Za dominantu Troji se považuje barokní kaple svaté Kláry.

Troja patří do správního obvodu Praha 7. [3][4]

1.2 Širší dopravní vztahy

Křižovatka Lodžská – Mazurská je neřízenou průsečnou křižovatkou sestávající ze 4 ramen. Dvě hlavní ramena tvoří ulice Lodžská a zbylá dvě tvoří ulice Mazurská a ulice Hnězdenská.

Obrázek 2 - Uspořádání křižovatky [1]

1.2.1 Lodžská

Lodžská je ulicí, která protíná obě městské části Bohnice a Troja. Je dlouhá přibližně 1,7 km. Na severu vzniká na křižovatce s ulicí Čimická, na jihu na křižovatce s ulicí K Pazderkám. Po celé trase má funkci hlavní komunikace.

Jedná se o čtyřpruhovou komunikaci, směrově rozdělenou 14 m širokým ostrovním pásem, který měl původně sloužit jako pás pro tramvaje. Na vjezdu do křižovatky ve směru na sever do Bohnic se nacházejí dva řadící pruhy. Jeden slouží pro odbočení vlevo a druhý pro jízdu rovně a odbočení vpravo. Na opačném vjezdu, tedy směrem na jih z Bohnic, lze oba pruhy využít pro všechny směry, nicméně v pravém pruhu této komunikace podélně parkují vozidla, tudíž zde vozidla levým pruhem projíždí rovně nebo odbočují vlevo a do pravého pruhu se řadí vozidla pouze v případě, že odbočují vpravo. V obou směrech severního ramene Lodžská se nachází autobusová zastávka Krakov. Vjezd do křižovatky je označen svislým dopravním značením P2 „Hlavní pozemní komunikace“.

Lodžská je nejvytíženější komunikací v rámci této oblasti. Pro obyvatele hlavně slouží jako přivaděč k poliklinice Mazurské a OC Krakov, zároveň se dá říci, že jde o jakýsi hlavní tah mezi Bohnicemi a centrem Prahy.

1.2.2 Hnězdenská

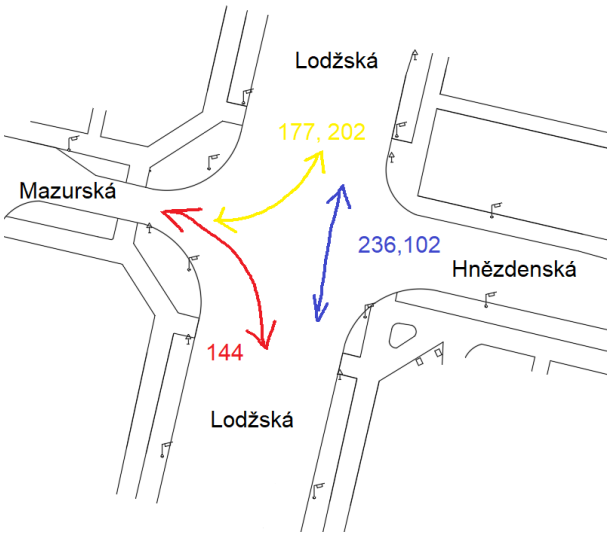
Ulice Hnězdenská je východním ramenem křižovatky. Vjezd do křižovatky je tvořen dvěma jízdními pruhy a od výjezdu z křižovatky tvořeného jedním pruhem je oddělen ostrůvkem širokým 3 metry. Toto rameno je nejčastěji využíváno návštěvníky obchodního centra Krakov, protože se zde nachází vjezd na parkoviště do OC. Na konci této ulice se nachází Základní škola Glowackého. Vjezd do křižovatky je označen svislým dopravním značením P4 „Dej přednost v jízdě“

1.2.3 Mazurská

Západním ramenem je ulice Mazurská. Za jeho vjezdem se nachází vjezd do areálu Poliklinika Mazurská a o něco dále konečná autobusová stanice linek 144, 177 a 202 Poliklinika Mazurská. Na konci této ulice, na křižovatce s ulicí U Pentlovky, se nachází Základní škola Mazurská. Vjezd do křižovatky je označen svislým dopravním značením P6 „Stůj, dej přednost v jízdě“.

1.2.4 MHD

Na křižovatce je ke dni 7. 11. 2018 vedeno celkem 5 autobusových linek MHD. Jde o linky č. 202,144,177,102 a 236. Směry těchto linek jsou znázorněny na obrázku č. 3. Na všechny linky č. 177 a v pracovní dny i linky č. 144 jsou nasazeny kloubové autobusy. Na linky č. 102, 202 a víkendové spoje č. 144 jsou nasazeny standardní autobusy a linka 236 je obsluhována minibusy.



Obrázek 3 – Směr jízdy linek MHD

1.3 Problémy na křižovatce

Problémy, které se na křižovatce objevují, jsou nejčastěji způsobeny stavebním uspořádáním křižovatky.

V prvním případě jde o najížděcí dráhy při odbočování vlevo z obou hlavních směrů, které se z poměrně značné části prolínají, a vzniká tak velká kolizní plocha.

Zákon o pozemních komunikacích stanoví: „*Před odbočováním vlevo se musí řidič zařadit co nejdále vlevo v části vozovky určené pro jeho směr jízdy s ohledem na rozměry vozidla nebo nákladu a šířku vozovky. Odbočují-li řidiči protijedoucích vozidel vlevo, vyhýbají se vlevo*“.[5]

Problémem je, že toto místo nenavazuje přímo na jízdní pruh, do kterého vozidlo odbočuje, tudíž řidiči zastavují až úplně uprostřed této křižovatky, kvůli čemuž se vozidla míjí levými boky. Současně s tímto jevem se kvůli rozsáhlému prostoru ve středu křižovatky při dopravním zatížení ve špičce kumulují další odbočující vozidla z ostatních směrů v tomto prostoru křižovatky a blokují tím provoz, viz obrázek č.4.

Obrázek 4 - Odbočování v křižovatce

Dalším problémem je parkování v pravém jízdním pruhu na severním rameni Lodžská viz obrázek č. 5. Zaparkovaná auta brání v průjezdu křižovatkou v přímém směru tímto pruhem a tím snižují kapacitu křižovatky. Zároveň v kombinaci s předchozím problémem, kterým je zablokování středu křižovatky vozidly odbočujícími vlevo, dochází k zablokování i přímého směru a tím ke kolapsu křižovatky.

Parkování v pravém jízdním pruhu tvoří také problém z hlediska bezpečnosti na přechodech pro chodce v podobě špatných rozhledových poměrů.

Obrázek 5 - Zaparkovaná vozidla v pravém dopravním pruhu

Za dalšími závažnými problémy stojí chodci, kteří narušují plynulý tok dopravního proudu přecházením přes dopravní pás na rameni Lodžská, tj. mimo pro ně určené přechody. Tento problém je opět způsoben především stavebním uspořádáním křižovatky. Za vznikem tohoto problému stojí skutečnost, že nejbližší přechod se nachází více než 50 m od autobusové zastávky Krakov. Přímo u této zastávky je nadchod (viz obrázky č. 6 a 7), který je ale v dezolátním stavu, a chodci ho zřídkakdy využívají. Závažnost této situace se navíc násobí tím, že chodci se při přecházení přes vozovku často ani nerozhlíží, nebo přecházejí velmi pomalu, čímž způsobují, že řidiči musí v tomto úseku zpomalit a někdy dokonce zastavit.

Obrázek 6 - Schody nadchodu

Obrázek 7 - Bezbariérový přístup nadchodu

2 Dopravní průzkum

Prvním krokem pro posouzení vhodnosti návrhu SSZ na křižovatce je získání dat o skladbě dopravního proudu. K tomu slouží dopravní průzkum intenzit dopravy.

2.1 Způsob měření

Byl proveden bodový dopravní průzkum, který proběhl ve středu dne 07. 11. 2018 v časech 7:30 - 8:30 pro ranní špičku a 17:30 - 18:30 pro odpolední špičku. Toto datum bylo dle TP 189 vyhodnoceno jako vhodné, jelikož se jednalo o typický den v průběhu týdne v podzimním měsíci [8].

Na rameno křižovatky byla umístěna videokamera, tak, aby byly viditelné všechny vjezdy a výjezdy z křižovatky. Na kameru byl pořízen záznam průjezdu vozidel křižovatkou, který byl následně mechanicky vyhodnocen.

2.2 Vyhodnocení dopravního průzkumu

V průzkumu byla vozidla rozdělena do pěti skupin, a to na

- jízdní kola
- motocykly
- osobní automobily
- nákladní vozidla a autobusy
- nákladní soupravy a kloubové autobusy

Těmto skupinám byl následně podle druhu vozidel přiřazen přepočtový koeficient k_d skladby dopravního proudu dle TP 189 [8], z něhož po přepočtu vzešly tabulky návrhových intenzit dopravy. Tabulka návrhových intenzit v ranní špičce je součástí přílohy č. 1 a tabulka návrhových intenzit v ranní špičce je součástí přílohy č. 2.

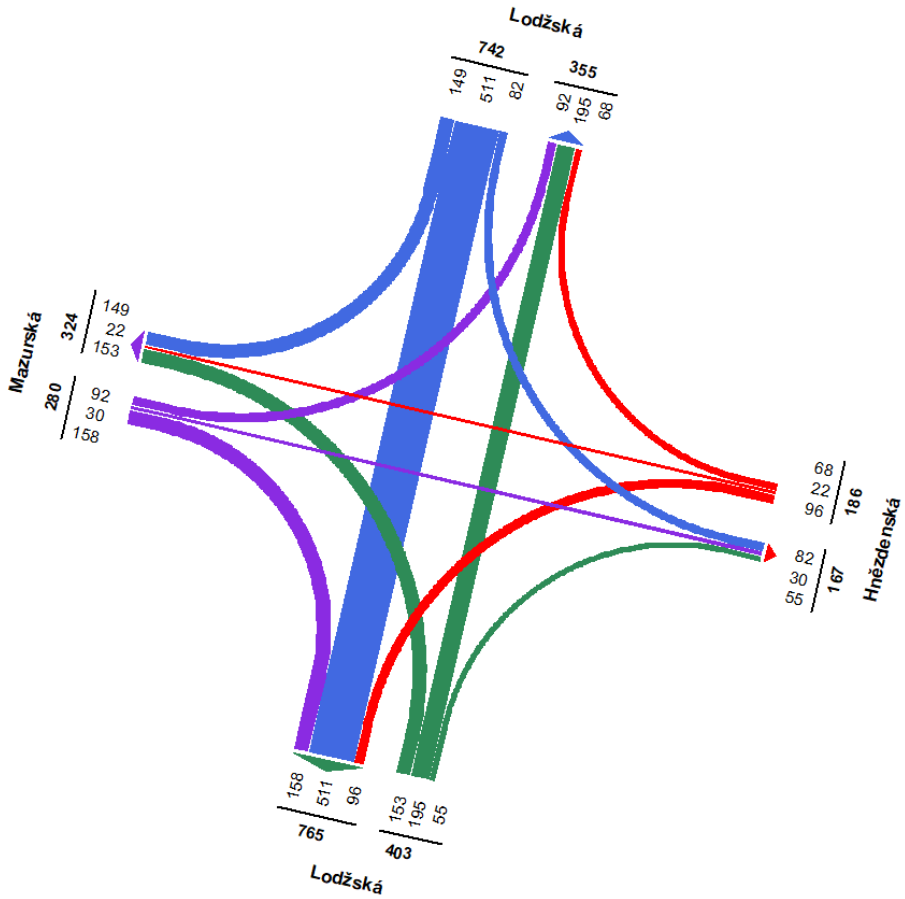
V ranní špičce projelo křižovatkou celkem 1427 vozidel. Z nich bylo 1256 osobních automobilů. Pro odpolední špičku jsou výsledky velmi podobné. Během odpolední špičky projelo křižovatkou celkem 1310 vozidel a valná většina z nich byly opět osobní automobily, celkem 1163. Během obou měření křižovatkou neprojel žádný cyklista.

2.2.1 Pentlogramy intenzit dopravy

Podle tabulek z příloh č. 1 a 2 byly následně v programu LISA+ vytvořeny pentlogramy intenzit (obrázky č. 8 a 9). Pentlogramy graficky znázorňují skladbu dopravních proudů. Vjezdy z jednotlivých ramen jsou od sebe barevně odděleny. Severní rameno Lodžská je znázorněno modrou barvou, jižní zelenou. Mazurská je znázorněna fialově a Hnězdenská červeně. Šířka křivek značí zatížení dopravních intenzit. Čísla určují intenzitu každého směru v jednotkách voz/h. Čísla znázorněna tučně určují sumu intenzit na vjezdu/výjezdu do/z křižovatky.

2.2.1.1 Ranní špička

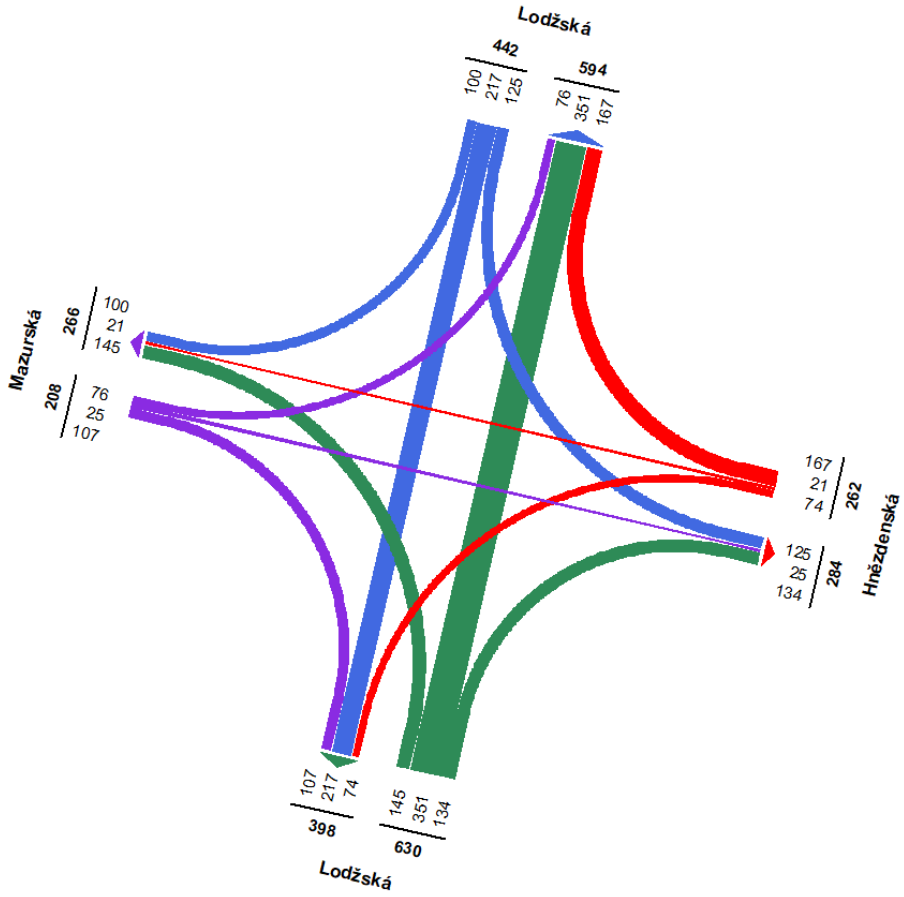
Během ranní špičky, tj. v čase 7:30 - 8:30 h, byla nejvytíženější komunikací křižovatky ulice Lodžská. Severní rameno Lodžská má v přímém směru funkci hlavního tahu z této městské části do centra Prahy, kam obyvatelé Bohnic a Troji v ranních hodinách dojíždí za prací. Intenzity ostatních směrů jsou menší více než o polovinu.



Obrázek 8 - Pentlogram intenzit pro ranní špičku

2.2.1.2 Odpolední špička

V odpolední špičce, tj. v čase 17:30 - 18:30 h, je využívanější jižní rameno Lodžská. V přímém směru tudy projelo celkem 351 vozidel za hodinu. Značně vyšší jsou i intenzity na rameni Hnězdenská ve směru vpravo. Jinak se dá říci, že oba pentlogramy jsou si velmi podobné.



Obrázek 9 - Pentlogram intenzit pro odpolední špičku

Na pentlogramech obou měření jsou patrná silná levá odbočení z hlavních směrů, která umocňují problémy špatného uspořádání křižovatky, a tedy i nebezpečné míjení vozidel.

Naproti tomu se nepotvrzuje původní předpoklad vysokých intenzit na ramenech Hnězdenská a Mazurská, jakožto míst velmi navštěvovaných obyvateli této oblasti. Na těchto ramenech hodnoty intenzit vycházejí poměrně nízké. Zdůvodněním může být otevírací doba OC Krakov, jenž ke dni 25.08. 2019 začíná v 9h, tedy až po čase ve kterém proběhl dopravní průzkum. Zároveň je tedy pravděpodobné, že obyvatelé se do obchodního centra Krakov a polikliniky Mazurské dopravují především pomocí MHD. To podněcuje potřebu zvýšení bezpečnosti na křižovatce, především na přechodech pro chodce.

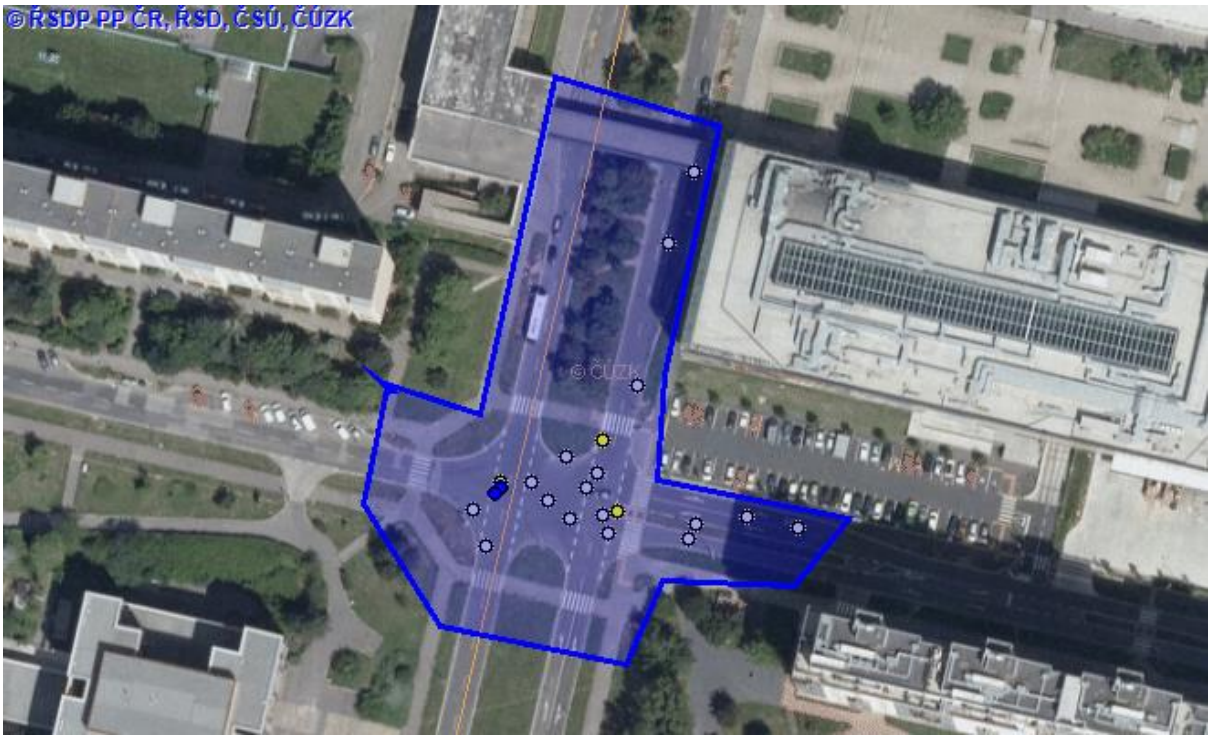
3 Posouzení účelnosti implementace SSZ – kritéria pro návrh SSZ

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

3.1 Kritérium bezpečnosti provozu z hlediska nehodovosti

Kritérium bezpečnosti provozu se navrhuje především pro křižovatky, na kterých došlo v uplynulých třech letech k minimálně 4 nehodám na 1 milion vozidel vjíždějících do křižovatky. [7]

3.1.1.1 Statistika nehod



Obrázek 10 - Nehody na křižovatce [6]

Na řešené křižovatce bylo během uplynulých 3 let, tedy mezi lety 2016–2019, evidováno celkem 22 nehod. Těžce zraněny byly pouze 2 osoby, lehce zraněných osob bylo 5 a usmrcen nebyl nikdo. Všechny nehody byly zaviněny řidičem motorového vozidla, v 18 případech nehodu zavinili řidiči osobních automobilů bez přívěsu, ve 2 řidiči nákladních automobilů, jeden řidič autobusu a u jednoho případu, nebylo možné druh vozidla zjistit, neb

řidič od nehody ujel. Ke zjištění přítomnosti alkoholu nebo drog u viníka nehody došlo zřídkakdy. Přítomnost alkoholu byla zjištěna pouze u 2 osob. Nejčastějším druhem nehody byla srážka s jedoucím nekolejovým vozidlem, dále pak srážka se zaparkovaným, odstaveným vozidlem a srážka s pevnou překážkou. K nehodám docházelo především při odbočování vlevo, při nedodržení přednosti a také, když se řidič plně nevěnoval řízení vozidla. Většina nehod se udála během dne za dobré viditelnosti, méně potom v noci.
Nehody mnohdy vychází z problémů zmíněných v kapitole 1.3.

3.1.1.2 Vyhodnocení kritéria

Hodnoty ročních intenzit na komunikacích Lodžská, Mazurská a Hnězdenská nebylo možné dohledat, jelikož komunikace křižovatky nebyly zahrnuty do celostátního sčítání dopravy z roku 2016. Proto byly podle TP 189 „Stanovení intenzit dopravy na pozemních komunikacích“ dopočítány [8] pomocí intenzit dopravního průzkumu během ranní špičky ze vzorce

$$I_{50} = RPDI \cdot k_{RPDI,50} \tag{1}$$

kde:

I_{50} padesátirázová intenzita dopravy [voz/h]

RPDI roční průměr denních intenzit dopravy [voz/den]

$k_{RPDI,50}$ přepočtový koeficient ročního průměru denních intenzit dopravy na padesátirázovou intenzitu dopravy [-]

Pro výpočet I_{50}

$$I_{50} = I_{šh} \cdot k_{BPD,50} \tag{2}$$

kde:

$I_{šh}$ intenzita dopravy špičkové hodiny v běžný pracovní den [voz/h] $= \max\{I_h\}$

$k_{BPD,50}$ přepočtový koeficient špičkové hodinové intenzity dopravy v běžný pracovní den na padesátirázovou intenzitu dopravy [-]

Hodnota koeficientu $k_{BPD,50}$ je jednotně 1,13 pro všechny komunikace, koeficient $k_{RPDI,50}$ pro smíšenou komunikaci je 0,119.

Kde:

$$I_{50} = 1\,334 \cdot 1{,}13 = 1\,507{,}42\ [\text{voz/h}] \tag{3}$$

$$RPDI = \frac{I_{50}}{k_{RPDI,50}} = \frac{1507{,}42}{0{,}119} = 12\,667{,}39\ [\text{voz/den}] \tag{4}$$

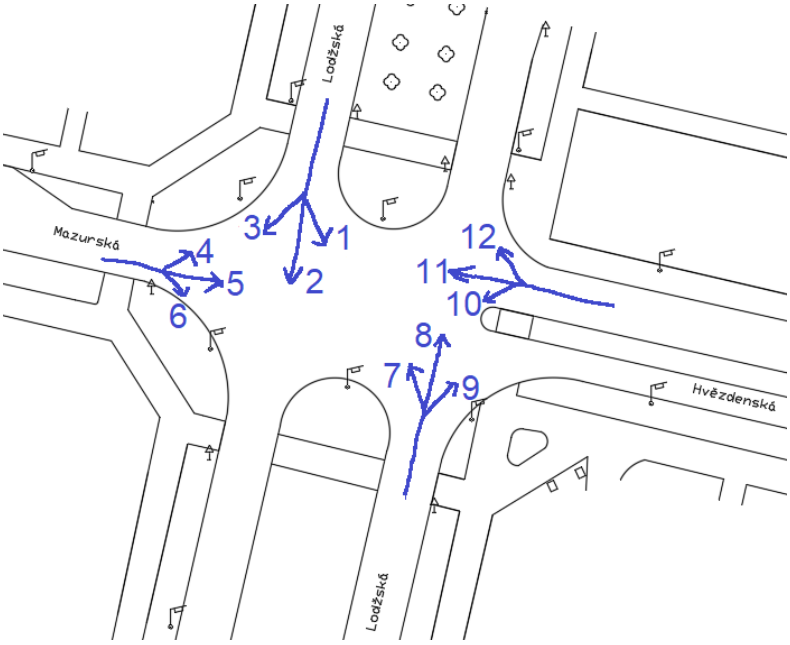
Roční intenzity na křižovatce tedy vycházejí na 4 623 599 [voz/rok] a pro 3 roky 13 870 797 [voz/3roky]. Pro tuto intenzitu je vhodné navrhovat SSZ až pokud by bylo na této křižovatce více než 55 nehod. Vzhledem k pouze 22 nehodám na této křižovatce toto kritérium není splněno.

3.2 Kritérium intenzity provozu z hlediska vozidel

Kritérium intenzity provozu z hlediska vozidel je považováno za účelné v případě, že intenzita silničního provozu přesáhne hodnoty stanovené přípustnými intenzitami neřízených křižovatek podle ČSN 73 6102 [13], a to v průměru 8 dopravně nejvíce zatížených hodin dne na hlavní i vedlejší komunikaci. Jestliže křižovatka podle výpočtu kapacitně vyhoví jako neřízená, pak z hlediska intenzity automobilového provozu není SSZ objektivně nutné. [6]

3.2.1 Kapacitní výpočet neřízené křižovatky

Kapacita křižovatky se určuje dle ČSN 73 6102 podle příslušné kategorie a třídy pozemních komunikací.[13] Výpočet kapacity na křižovatce Lodžská – Mazurská byl proveden podle TP 188 „Posuzování kapacity neřízených úrovňových křižovatek“[12].



Obrázek 11 - Dopravní proudy na křižovatce

3.2.1.1 Základní kapacita

Pro stanovení základní kapacity G_n podřazených proudů platí:

$$G_n = \frac{3600}{t_f} \cdot e^{-\frac{I_H}{3600}\left(t_g - \frac{t_f}{2}\right)} \text{ [pvoz/h]} \tag{5}$$

Kde:

I_H rozhodující intenzita nadřazených proudů [voz/h]

t_g kritický časový odstup [s]

t_f následný časový odstup [s]

Dosazované intenzity byly získány z dopravního průzkumu, který je popsaný v kapitole 2.

3.2.1.2 Kapacita dopravních pruhů

Kapacita dopravních proudů 1. stupně, tedy proudů č. 2, 3, 8 a 9, je rovna kapacitě volně se pohybujících dopravních proudů 1800 pvoz/h pro jeden jízdní pruh.

Kapacita dopravních proudů 2. stupně, tedy proudů č. 1, 7, 6 a 12 se stanoví podle vzorce

$$C_n = C_g \text{ [pvoz/h]} \tag{6}$$

Kapacita dopravních proudů 3. tedy proudů č. 5, 11 se stanoví podle vzorce

$$C_n = p_x \cdot C_g \text{ [pvoz/h]} \tag{7}$$

kde

p_x pravděpodobnost současného nevzdutí proudů 1 a 7 = $p_{0,1} \cdot p_{0,7}$ [-]

$p_{0,n}$ pravděpodobnost nevzdutého stavu nadřazených proudů [-]

$$p_{0,n} = max\begin{Bmatrix} 1 - a_v = 1 - \frac{I_n}{C_n} \\ 0 \end{Bmatrix} \tag{8}$$

a_v stupeň vytížení pro n-tý proud [-]

Kapacita dopravních proudů 4. tedy proudů č. 4, 10 se stanoví podle vzorce

$$C_n = p_{z,n} \cdot p_{0,n} \cdot C_{g4} \text{ [pvoz/h]} \tag{9}$$

kde

$p_{z,n}$ pravděpodobnost současného nevzdutí proudů 1, 7, 5 nebo 1, 7, 11 [-]

$$p_{z,n} = \frac{1}{1 + \frac{1 - p_x}{p_x} + \frac{1 - p_{0,n}}{p_{0,n}}} \tag{10}$$

Protokoly kapacitních výpočtů neřízené křižovatky jsou součástí přílohy č. 3 pro ranní špičku a přílohy č. 4 pro odpolední špičku.

3.2.1.3 Úroveň kvality dopravy

Z výpočtů vzešly tabulky posuzující úroveň kvality dopravy. V ranní špičce, viz tabulka č.1, je nejhůře hodnocen dopravní proud č. 4, což je levé odbočení na rameni Hnězdenská. Tento dopravní proud je ohodnocen stupněm E, tedy je na hranici požadovaného stupně ÚKD. Hlavní směry jsou ohodnoceny stupněm A.

Tabulka 1 - Posouzení ÚKD neřízené křižovatky v ranní špičce

Posouzení úrovně kvality dopravy										
Paprsek	Název komunikace	Proud (vjezd – výjezd)	I [pvoz/h]	C [pvoz/h]	Rez [pvoz/h]	a_v [-]	t_w [s]	$L_{95\%}$ [m]	ÚKD [-]	
									Dosažená	Požadovaná
1	Lodžská – Sever	1+2	593	1659	64,26	0,36	3,38	9,98	A	E
		3	149	1800	91,75	0,08	2,18	1,62	A	
2	Hnězdenská	4	96	149	35,24	0,65	66,01	28,06	E	
		5+6	90	240	62,69	0,37	23,87	10,47	C	
3	Lodžská – Jih	7	153	778	80,36	0,20	5,76	4,39	A	
		8+9	250	1800	86,11	0,14	2,32	2,90	A	
4	Mazurská	10+11+12	246	413	40,41	0,60	21,36	25,27	C	

Hodnocení odpolední špičky vychází o něco lépe, nicméně je velmi podobné hodnocení v ranní špičce. Nejhůře hodnoceným dopravním proudem neřízené křižovatky je opět proud č. 4. Velký rozdíl hodnocení oproti ranní špičce je možné pozorovat u dopravního proudu č. 5+6, který je v odpolední špičce hodnocen stupněm A oproti stupni C z ranní špičky.

Tabulka 2 - Posouzení ÚKD neřízené křižovatky odpolední špičce

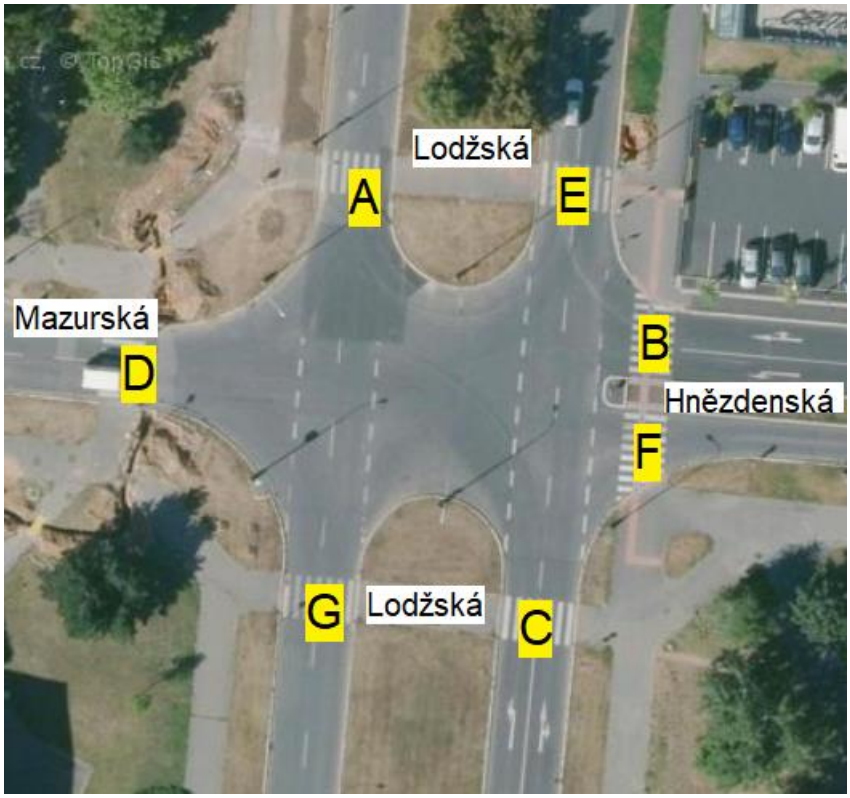
Posouzení úrovně kvality dopravy										
Paprsek	Název komunikace	Proud (vjezd – výjezd)	I [pvoz/h]	C [pvoz/h]	Rez [pvoz/h]	a_v [-]	t_w[s]	$L_{95\%}$ [m]	ÚKD [-]	
									Dosažená	Požadovaná
1	Lodžská – Sever	1+2	342	1323	74,16	0,26	3,67	6,26	A	E
		3	100	1800	94,43	0,06	2,12	1,06	A	
2	Hnězdenská	4	74	157	52,63	0,47	43,19	15,26	D	
		5+6	188	653	71,15	0,29	7,75	7,26	A	
3	Lodžská – Jih	7	145	1049	86,14	0,14	3,98	2,89	A	
		8+9	485	1800	73,07	0,27	2,74	6,62	A	
4	Mazurská	10+11+12	207,4	467	55,59	0,44	13,83	14,13	B	

3.2.2 Vyhodnocení kritéria

Kritérium intenzity provozu z hlediska vozidel není splněno, nicméně stupeň hodnocení v ranní špičce dopravního proudu č. 4 tj., levé odbočení na rameni Hnězdenská, se pohybuje na hranici požadovaného stupně ÚKD.

3.3 Kritérium intenzity provozu z hlediska chodců

Na každém rameni křižovatky se nachází přechod pro chodce. Na obou ramenech Lodžská a na rameni Hnězdenská jsou přechody dělené ostrovním pásem, proto jsou na obrázku č. 12 rozděleny i pro následující kritéria a později i pro signální plán.



Obrázek 12 - Označení přechodů na křižovatce [1] – upraveno autorem

Pro každý takto označený přechod byla dosazena hodnota intenzity vozidel, která přes tento přechod projedou. Hodnoty jsou získány z přepočtených intenzit z přílohy č. 1 pro ranní špičku a z přílohy č. 2 pro odpolední špičku.

Tabulka 3 - Intenzity vozidel na přechodech pro chodce v ranní špičce

Ranní špička	
Přechod:	Intenzita [voz/h]
A	742
B	186
C	403
D	604
E	355
F	167
G	765

Tabulka 4 - Intenzity vozidel na přechodech pro chodce v odpolední špičce

Odpolední špička	
Přechod:	Intenzita [voz/h]
A	442
B	262
C	630
D	474
E	594
F	284
G	398

Podle kritéria intenzity z hlediska chodců se SSZ navrhuje pro hodnoty 1100 [voz/h] které projedou přes přechod přes jeden nebo dva jízdní pásy. Žádná z hodnot v tabulek č. 3 a 4 nepřesahuje tuto hodnotu, a kritérium není splněno ani pro jednu špičku.

3.4 Kritérium plynulosti jízdy vozidel MHD

Za důvod k vybudování SSZ pro zajištění plynulosti jízdy vozidel MHD lze považovat zdržení nejméně každého druhého vozu na dobu delší než dvě minuty ve třech nejzatíženějších hodinách dne.

Pro vozidla MHD obecně tato křižovatka z pohledu tvorby zpoždění nepředstavuje problém. Linky 102 a 236 se křižovatkou pohybují v přímém směru po hlavní ulici Lodžská, proto se zpoždění nepředpokládá. Pro linky 144, 177 a 202 platí, že po průjezdu křižovatkou jejich trasa končí v zastávce „Poliklinika Mazurská“, tudíž jakékoliv zpoždění, které by na této křižovatce vzniklo, je již zanedbatelné. Problém by mohl vzniknout v opačném směru, kdy vozidla v zastávce „Poliklinika Mazurská“ začínají a do křižovatky vjíždějí z vedlejší komunikace, tedy musí dát přednost nadřazeným proudům, čímž by mohlo vzniknout zdržení.

Provedením průzkumu (viz kapitola 2) nebylo zjištěno zdržení vozidel MHD v křižovatce, které by překračovalo dvě minuty.

Kritérium plynulosti jízdy vozidel MHD není splněno.

3.5 Kritérium bezpečnosti provozu z hlediska místa zvláštního zřetele

Toto kritérium stanovuje z hlediska bezpečnosti zřizovat SSZ v místech hodných zvláštního zřetele. Těmi jsou například přechody dětí přes frekventované komunikace u škol nebo místa s nevyhovujícími rozhledovými poměry.

Za kritéria zvláštního zřetele lze považovat již popsané problémy vyskytující se na křižovatce z kapitoly 1.3

Dalšími mohou být např. umístění obchodního centra Krakov nebo polikliniky Mazurské v těsné blízkosti křižovatky. Tato místa jsou nejvyhledávanějšími v této oblasti a denně je navštěvují stovky lidí.

Autobusová zastávka Krakov v místě křižovatky navíc slouží jako přestupní místo na linku č. 236 pro návštěvníky zoologické zahrady, která se nachází nedaleko této oblasti. Dalším velmi frekventovaným místem nacházejícím se poblíž křižovatky je Botanická zahrada Troja.

Z výše uvedených důvodů je žádoucí zavést opatření v rámci zvýšení bezpečnosti na křižovatce.

Kritérium bezpečnosti provozu z hlediska míst zvláštního zřetele je splněno.

3.6 Zhodnocení posouzení

Pro křižovatku bylo splněno pouze kritérium bezpečnosti provozu z hlediska míst zvláštního zřetele. Kritérium intenzity provozu z hlediska vozidel vychází v ranní špičce hraničně pro dopravní proud odbočení vlevo na rameni Hnězdenská.

Ostatní kritéria splněna nejsou, ale v rámci této křižovatky jsou neprůkazná, jelikož výpočty neodpovídají realitě.

Kritérium nehodovosti sice není splněno, ale výpočty nezahrnují desítky skoronehod (obrázek č.4), ke kterým zde denně dochází při odbočování vlevo z hlavní komunikace, a z tohoto pohledu je křižovatka velmi nebezpečná.

Dalším takovým je i kritériem intenzity provozu z hlediska vozidel. V kapacitním výpočtu nejsou zohledněna vozidla kumulovaná uprostřed křižovatky, která blokují provoz a brání průjezdu jiných směrů křižovatkou, viz obrázek č. 13.

Obrázek 13 - Vozidla kumulovaná v prostoru křižovatky

Na základě tohoto vyhodnocení je vybudování SSZ na křižovatce Lodžská – Mazurská posouzeno jako žádoucí, a to především v zájmu zvýšení bezpečnosti na křižovatce a přechodech pro chodce.

4 Návrh SSZ na křižovatce

Tato kapitola se zabývá již samotným návrhem řízení SSZ na křižovatce. Budou v ní nejprve popsány změny ve stavebním uspořádání oproti původnímu a poté návrh signálního plánu.

4.1 Nové stavební uspořádání

Křižovatka se navrhuje jako řízená pomocí SSZ. Všechna ramena křižovatky proto budou doplněna o světelná návěstidla. Na ramenech Lodžská budou instalována návěstidla se směrovými signály a na ramenech Hnězdenská a Mazurská budou instalována návěstidla s plnými signály. Světelně budou řízeny i všechny přechody.

Dopravní pás na rameni Mazurská a na obou ramenech Lodžské bude ponechán beze změn.

Na severním rameni Lodžské bude v obou směrech zrušeno stání v pravém pruhu vozovky a bude zde navrženo svislé dopravního značení B28 „Zákaz zastavení“, doplněno o vodorovné značení V 12c, které povede od svislé značky až po začátek křižovatky. Tato změna bude provedena z důvodů zkapacitnění jízdního pruhu a také zlepšení rozhledových poměrů na přilehlém přechodu pro chodce.

Na rameni Hnězdenská bude dopravní pás zúžen na pouze 2 pruhy, každý o šířce 3,5 metrů, tím bude vjezd do křižovatky z tohoto ramene umožněn ve všech směrech. Tato změna bude provedena z důvodu toho, že intenzity v ulici Hnězdenská jsou nízké oproti hlavním směrům. Bude proto zrušena i svislá dopravní značka IP 19 „Řadící pruhy“, která se na tomto rameni v současnosti nachází. Odebraný pruh bude nahrazen 7 místy pro podélné stání, jako náhrada za zrušení parkování v Lodžské. Podélná stání budou označena svislou dopravní značkou IP 11c „Parkoviště (podélné stání)“.

Bude také doplněno chybějící vodorovné značení. Je nutné doplnit směrové šipky č. V 9a na severní rameno Lodžská a na rameno Mazurská, aby byly jasně odlišeny řadící pruhy. Na rameni Hnězdenská dojde k odstranění čáry č. V 2b dělící řadící pruhy a bude nahrazena čárou č. V 10d pro oddělení komunikace s parkovacím pruhem. Na jižním rameni Lodžské bude stávající vodorovné značení ponecháno, pouze dojde k jeho rekonstrukci. Na všechna ramena je nutné doplnit tzv. „stopčáry“, neboli vodorovné značení č. V 5. Vodorovné značení bude doplněno dle TP 133 „Zásady pro vodorovné dopravní značení na pozemních komunikacích“.[9]

Do prostoru ve středu křižovatky budou pro hlavní směry doplněny naváděcí pruhy č. V 2b pro odbočování vlevo, za účelem zlepšení orientace v křižovatce při odbočování.

Z důvodu, že na některých místech křižovatky chybí, případně jsou ve špatném stavu, prvky pro osoby s omezenou schopností orientace, viz obrázky č. 15 a 16, je nutné tyto prvky v rámci přestavby křižovatky doplnit. Doplnění těchto prvků bude provedeno na základě TP 192 „Dlažby pro konstrukce pozemních komunikací“ [11]

Obrázek 14 - Přechod bez bezpečnostních prvků

Obrázek 15 - Přechod pouze s varovným pásem

Dále dojde ke zrušení stávajícího svislého dopravního značení upravující přednost, konkrétně značení P2 „Hlavní pozemní komunikace“, P4 „Dej přednost v jízdě“, a P6 „Stůj, dej přednost v jízdě“, které se v současnosti nachází na vjezdech na ramenech křižovatky. Bude nahrazeno novým značením umístěným na stožárech návěstidel.

Všechny stavební úpravy budou zakresleny do situačního výkresu v příloze č. 5.

5 Návrh signálního plánu

Následná kapitola se bude zabývat výpočtem a návrhem pevného signálního plánu pro předmětnou křižovatku. Kapitola obsahuje rozdělení signálních skupin, tabulku mezičasů, sled fází a výpočet délky cyklu. Na konci kapitoly bude posouzena ÚKD světelně řízené křižovatky.

5.1 Signální skupiny

Na obou ramenech Lodžská, jsou navrženy signály směrové. Oproti tomu na ramenech Hnězdenská a Mazurská budou použity plné signály. Je to dáno především intenzitou na těchto ramenech a stavebním uspořádáním křižovatky. Rozdělení signálních skupin je obsahem tabulky č. 5.

Tabulka 5 - Signální skupiny

Signální skupina	Umístění:	Typ signálu
VA	Lodžská – vjezd sever	Směrový – rovně a vpravo
VB	Lodžská – vjezd sever	Směrový – vlevo
VC	Hnězdenská	Plný
VD	Lodžská – vjezd jih	Směrový – rovně a vpravo
VE	Lodžská – vjezd jih	Směrový – vlevo
VF	Mazurská	Plný
PA	Lodžská – vjezd sever	Pro chodce
PC	Hnězdenská – vjezd	Pro chodce
PD	Lodžská – vjezd jih	Pro chodce
PF	Mazurská	Pro chodce
PG	Lodžská – výjezd sever	Pro chodce
PH	Hnězdenská – výjezd	Pro chodce
PI	Lodžská – výjezd jih	Pro chodce
ZA	Lodžská – vjezd sever	Žluté světlo ve tvaru chodce
ZD	Lodžská – vjezd jih	Žluté světlo ve tvaru chodce
SC	Hnězdenská	Doplňková zelená šipka – vpravo
SF	Mazurská	Doplňková zelená šipka – vpravo

5.2 Tabulka mezičasů

Důležitým krokem pro návrh signálního plánu je vytvoření tabulky mezičasů. Za mezičas je považován časový interval od konce signálu volno signální skupiny po začátek signálu volno kolizní signální skupiny. [7]

Pro výpočet mezičasů t_m byl použit vzorec:

$$t_m = t_v - t_n + t_b \text{ [s]} \tag{11}$$

kde

t_v čas vyklizení $= (L_v + L_{voz})/v_v$ [s]

t_n čas najíždění $= L_n/v_n$ [s]

t_b bezpečnostní doba [s]

Pro vyklizovací čas je třeba určit vyklizovací dráhu L_v, délku vyklízejícího vozidla L_{voz} a vyklizovací rychlost v_v. Pro najížděcí čas je třeba určit najížděcí dráhu L_n, a najížděcí rychlost v_n.

Vyklizovací dráha L_v je dráha měřená od stopčáry po konec kolizní plochy. Najížděcí dráha L_n je dráha měřená od stopčáry po začátek kolizní plochy. Obě dráhy L_v a L_n jsou v jednotkách metrů.

Vyklizovací a najížděcí rychlosti t_v a t_n se určují na základě toho, zda jde o motorová vozidla anebo chodce. U vozidel je také důležité, zda se pohybují v přímém směru anebo v oblouku. Tyto rychlosti jsou obsaženy v tabulce č. 6. Bezpečnostní doba má hodnotu 2 s pro motorová vozidla a 1 s pro chodce.

Tabulka 6 - Vyklizovací a najížděcí rychlosti

		v_v/v_n $[\mathrm{m \cdot s^{-1}}]$
MOTOROVÁ VOZIDLA	v přímém směru	9,7
	v oblouku	7
CHODCI		1,4

Výsledné hodnoty mezičasů t_m se zaokrouhlují na celé sekundy. Z výpočtů mezičasů vznikne tabulka všech mezičasů dopravních pohybů a z ní poté tabulka mezičasů signálních skupin. Tabulka mezičasů signálních skupin pro křižovatku Lodžská – Mazurská je uvedena v tabulce č. 7.

Tabulka 7 - Tabulka mezičasů

	VA	VB	VC	VD	VE	VF	SC	SF	PA	PC	PD	PF	PG	PH	PI
VA			2		0	3		3	4			8			8
VB			3	7	4	4			4					10	
VC	4	3		2	3	5				4		8	6		10
VD		0	5			1	5				4		8	7	
VE	7	4	5			3					4	12			
VF	4	4	8	5	4							4	12	8	8
SC				1						4			6		
SF		3										4			8
PA	5	5													
PC			11				11								
PD				6	5										
PF	1		0		0	6		6							
PG			3	1		0	3								
PH		5		8		6									
PI	1		0			0		0							

5.3 Návrh fází

Cyklus byl rozdělen do tří fází. Fáze byly vybrány za základě intenzit jednotlivých dopravních proudů.

V první fázi bude umožněn vjezd do křižovatky signálním skupinám VA a VD a s nimi signální skupiny pro chodce PC, PF a PH. Z důvodu, že touto kombinací signálních skupin pro vozidla a pro chodce dochází ke kolizi, je nutné signální skupiny PC, PF a PH doplnit o žluté světlo ve tvaru chodce ZA a ZD, které upozorní řidiče na tuto skutečnost.

V druhé fázi, budou spuštěny zelené signály pro signální skupiny VB a VE spolu s doplňkovými šipkami SC a SF.

Ve třetí fázi budou spuštěny signály skupin VC a VF a spolu s nimi signální skupiny pro chodce PA, PD, PG a PI. Jelikož VC a VF jsou signální skupiny s pevnými signály, není nutné je doplňovat o žluté světlo ve tvaru chodce.

5.3.1 Pořadí fází

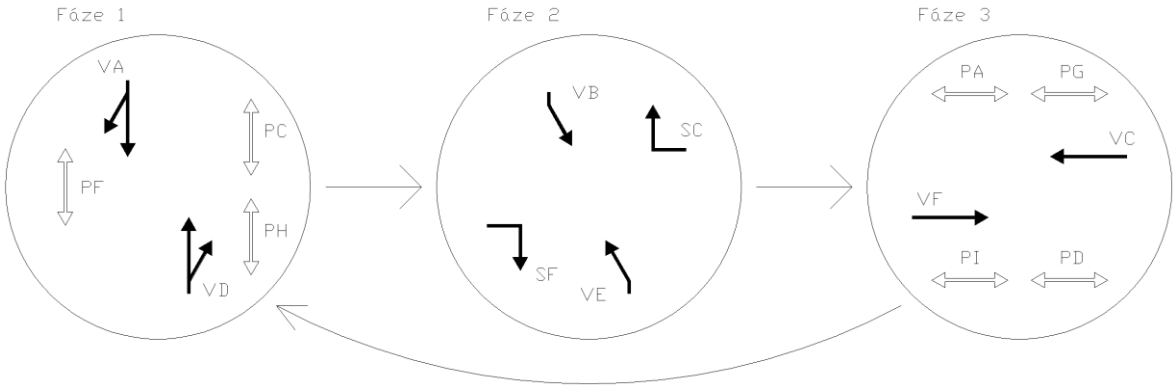
Po navržení fází je nutné zjistit délku fázových přechodů a na základě nich pak sestavit sled fází.

Fázovým přechodem se rozumí časový úsek od prvního konce volna jedné fáze do posledního začátku následující fáze.

Tabulka 8 - Fázové přechody

Fáze	Fázový přechod t_p [s]
1 → 2	11
2 → 3	8
3 → 1	8
1 → 3	11
3 → 2	5
2 → 1	12

Sled fází se navrhuje pro nižší ze součtů fázových přechodů v určitém pořadí. Délka fázových přechodů je obsahem tabulky č. 8. Pro pořadí fází 1 → 2 → 3 →1 je součet fázových přechodů 27 s a pro opačné pořadí 1 → 3 → 2 → 1 je součet 28 s. Sled fází bude tedy probíhat v pořadí 1 → 2 → 3 →1. Toto pořadí je schematicky znázorněno na obrázku č. 16



Obrázek 16 - Schéma fází

5.4 Délka cyklu

Výpočet délky cyklu a signálů volno signálních skupin byl proveden metodou saturovaného toku tzv. Websterovou metodou.

Pro výpočet délky cyklu je nejprve nutné určit strukturální signální plánu, který vyplývá z délek fázových přechodů a návrhových dob zelených fází. Návrh dob zelených fází vychází z okrajových podmínek z TP 81 [7]. Okrajové podmínky určují nejnižší hodnoty signálních dob a dobu signálu pozor (současně svítící červený a žlutý signál) pro vozidla a cyklisty.

Doby fází se po zohlednění okrajových podmínek v navrženém strukturálním signálního plánu upravují pro jednotlivé směry, úměrně podle intenzit provozu v těchto směrech.

Doba cyklu se pak vypočítá ze vzorce

$$C = \sum t_{rozh} + \sum t_m \ [\mathrm{s}] \tag{12}$$

kde

t_{rozh} rozhodující doba signálu volno [s]

t_m rozhodující (nejdelší) mezičas mezi po sobě následujícími fázemi [s]

Délka strukturálního cyklu byla stanovena dle předchozích výpočtů na 48 s. Strukturální signální plán je součástí přílohy č. 6. Délky zelených fází signálních skupin jsou následně upraveny na základě kapacitního výpočtu světelně řízené křižovatky v kapitole 5.5

5.5 Kapacitní posouzení světelně řízené křižovatky

Kapacitní posouzení bylo provedeno na základě TP 188 „Posuzování kapacity křižovatek a úseků pozemních komunikací“ [12]. Výstupem jsou hodnoty střední doby zdržení, dle kterého se určuje hodnocení úrovně kvality dopravy v rozsahu A až F viz tabulka č. 9.

Tabulka 9 - Limitní hodnoty posouzení ÚKD

ÚKD		Střední doba zdržení
Stupeň	Charakteristika kvality dopravy	
A	Velmi dobrá	≤20
B	Dobrá	≤35
C	Uspokojivá	≤50
D	Dostatečná	≤70
E	Nestabilní stav	>70
F	Překročená kapacita	-

Na základě výsledného stupně ÚKD a středních dob zdržení vozidel v křižovatce jsou prodlužovány nebo zkracovány doby zelených fází v signálním plánu. V rámci ranní špičky byl cyklus signálního plánu vymezen na 85 s, délka cyklu byla stanovena dle kapacitního posouzení z v tabulce č. 10

Tabulka 10 - Kapacitní posouzení světelně řízené křižovatce v ranní špičce

Kapacitní posouzení světelně řízené křižovatky podle TP 235										
Název křižovatky	Lodžská – Mazurská									
Posuzovaný stav	Špičková hodina 7:30 - 8:30 ke dni 7. 11. 2018						**Délka cyklu t_C [s]**			85
Kapacita levého odbočení ovlivněného protisměrem										
Vjezd (signální skupina)	**I_p [pvoz/h]**	**S_p [pvoz/h]**	**z_p [s]**	**C_{L1} [pvoz/h]**	**N_A [pvoz]**	**C_{L2} [pvoz/h]**	**S_L [pvoz/h]**	**z_0 [s]**	**C_{L3} [pvoz/h]**	**C_L [pvoz/h]**
VC - L	122	1504	15	130	4	169	1316	0	0	300
VF - L	118	1316	15	120	5	212	1504	0	0	332
Posouzení kapacity vjezdů, úroveň kvality dopravy										
Vjezd (signální skupina)	**I_V [pvoz/h]**	**z' [s]**	**S_V [pvoz/h]**	**C_V [pvoz/h]**	**Rez [%]**	**L_{F1} [m]**	**L_{F2} [m]**	**t_w [s]**	**ÚKD**	
									Dosažená	**Požadovaná**
VA^>	659,4	37	1891,25	823,25	19,90	52,75	-930,36	26,65	B	E
VB<	81,8	16	1000,00	188,24	56,54	9,41	-629,20	34,07	B	E
VC	185,7	15	1315,79	256,33	27,56	21,67	-402,14	46,36	C	E
VC + SC>	67,5	29	1315,79	501,83	86,55	6,30	-2599,65	17,90	A	E
VD^>	250	33	1895,73	735,99	66,03	21,67	-2894,28	17,62	A	E
VE<	152,7	16	1000,00	188,24	18,88	17,56	-195,65	66,73	D	E
VF	279,3	15	1503,76	318,28	12,25	32,59	-201,29	67,17	D	E
VF+ SF>	157,6	29	1503,76	513,05	69,28	14,71	-2117,97	19,95	A	E

Nejkratší střední doba zdržení pro ranní špičku vychází pro vjezd signální skupiny VC + SC> 18 s a je hodnocena stupněm A. Nejdelší střední doba zdržení vychází totožně pro vjezdy signálních skupin VE a VF 67 s a jsou hodnoceny stupněm D.

Jelikož jsou všechna ramena křižovatky tvořena místními komunikacemi, je pro tuto křižovatku požadovaný stupeň ÚKD na úrovni E a lepší, to je splněno.

Signální plán pro ranní špičku je součástí přílohy č. 7.

Tabulka 11 - Kapacitní posouzení světelně řízené křižovatce v odpolední špičce

Kapacitní posouzení světelně řízené křižovatky podle TP 235										
Název křižovatky	Lodžská – Mazurská									
Posuzovaný stav	Špičková hodina 17:30 - 18:30 ke dni 7. 11. 2018						**Délka cyklu t_C [s]**			80
Kapacita levého odbočení ovlivněného protisměrem										
Vjezd (signální skupina)	**I_p [pvoz/h]**	**S_p [pvoz/h]**	**z_p [s]**	**C_{L1} [pvoz/h]**	**N_A [pvoz]**	**C_{L2} [pvoz/h]**	**S_L [pvoz/h]**	**z_0 [s]**	**C_{L3} [pvoz/h]**	**C_L [pvoz/h]**
VC - L	101	1460	14	146	4	180	1563	0	0	326
VF - L	95	1563	14	156	5	225	1460	0	0	381
Posouzení kapacity vjezdů, úroveň kvality dopravy										
Vjezd (signální skupina)	**I_V [pvoz/h]**	**z' [s]**	**S_V [pvoz/h]**	**C_V [pvoz/h]**	**Rez [%]**	**L_{F1} [m]**	**L_{F2} [m]**	**t_w [s]**	**ÚKD**	
									Dosažená	**Požadovaná**
VA^>	317,3	29	1851,85	671,30	52,73	26,97	-2097,01	19,82	A	E
VB<	124,8	16	1000,00	200,00	37,60	13,31	-437,89	39,77	C	E
VC	262,6	14	1562,50	347,28	24,38	28,89	-479,21	42,70	C	E
VC + SC>	167,3	28	1000,00	395,96	57,75	14,50	-1357,48	20,84	B	E
VD^>	484,8	29	1869,16	677,57	28,45	41,21	-1115,41	25,77	B	E
VE<	145,4	16	1000,00	200,00	27,30	15,51	-312,09	48,53	C	E
VF	206,2	16	1869,16	447,68	53,94	21,99	-1426,87	28,47	B	E
VF+ SF>	106,6	28	1459,85	556,91	80,86	9,24	-2692,63	16,99	A	E

V rámci odpolední špičky je situace velmi obdobná, cyklus byl na základě kapacitního výpočtu z tabulky č. 11 stanoven na 80 s.

Signální plán pro odpolední špičku je součástí přílohy č. 8

Vzhledem ke kratší délce cyklu a nižším intenzitám proudů, vychází i kratší střední doby zdržení. Nejkratší střední doba zdržení vychází na základě kapacitního posouzení v odpolední špičce z přílohy č. 11, pro vjezd signální skupiny VF + SF> 17 s a je hodnocen stupněm A. Nejdelší střední doba zdržení vychází pro vjezd signální skupiny VE< 49 s s hodnocením stupněm C. I v tomto případě je splněn požadovaný stupeň ÚKD.

6 Ověření návrhu řízení SSZ

6.1 Simulace pomocí softwaru VISSIM

Pro ověření a zhodnocení návrhu řízení pomocí SSZ slouží simulace v programu VISSIM. Model simulace byl vytvořen na základě situačního výkresu křižovatky (příloha č. 5) z programu AutoCAD.

Pro model byly vytvořeny celkem čtyři simulace. Dvě z nich slouží pro simulaci na neřízené křižovatce a další dvě pro simulaci ranní a odpolední špičky při řízení SSZ. Jako vstupní data sloužilo vyhodnocení z dopravního průzkumu. Tato data nebyla využita pouze pro intenzity jednotlivých vjezdů, ale i pro skladbu dopravního proudu. Dalším vloženým vstupem byly intenzity chodců na přechodech, tato data byla pouze odhadnuta, jelikož nebyla v rámci dopravního průzkumu z kapitoly 2 vyhodnocena.

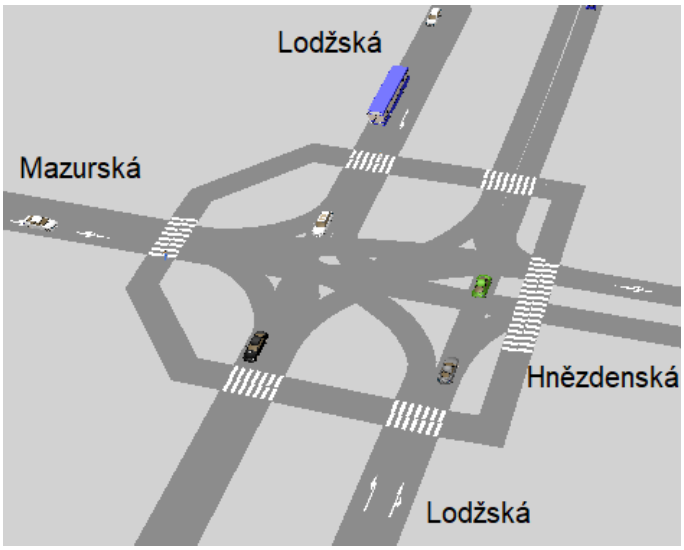
Pro každou z těchto simulací bylo nutné vygenerovat dostatečně reprezentativní vzorek – v tomto případě došlo k vyhodnocení 15 souborů dat ve formátu .rsr, které mimo jiné obsahovaly i informace o chování vozidel jednotlivých dopravních proudů v křižovatce. Z těchto dat byla vypočítána průměrná střední doba zdržení pro každý dopravní proud.

Dalším využitím simulace v programu VISSIM je grafická vizualizace provozu na křižovatce. V rámci této práce byly vytvořeny dvě takovéto vizualizace. Jedna slouží k simulaci na neřízené křižovatce a druhá pro simulaci světelně signalizované křižovatky. Výstupem jsou videa ve formátu .avi. Vizualizace neřízené křižovatky je součástí přílohy č. 9. Vizualizace světelně řízené křižovatky je součástí přílohy č. 10.

Proběhlo porovnání středních zdržení vozidel v křižovatce

6.1.1 Simulace neřízené křižovatky

Data středních zdržení ze simulace byla porovnána s daty z kapacitního posouzení neřízené křižovatky z příloh č. 3 a 4. Vyšlo najevo, že průměrná střední zdržení ze simulace jednotlivých proudů neřízené křižovatky vůči středním zdržením z kapacitního vypočtu jsou velmi podobná. Odlišné jsou naproti tomu výsledky pro proudy č. 4, 10, 11 a 12. Dopravní proudy č. 10, 11 a 12 jsou proudy ramene Hnězdenská. Hodnoty těchto proudů se liší z důvodu chyby v modelu simulace v podobě nerozlišení řadících pruhů viz obrázek č. 17



Obrázek 17 - Model situace v programu VISSIM

Touto chybou je značně ovlivněn i dopravní proud č. 4, tj. levé odbočení na rameni Mazurská, který je podřazený právě těmto proudům. Z toho důvodu pro simulaci vycházejí odlišné hodnoty oproti hodnotám z kapacitního výpočtu.

Hodnoty středního zdržení ze simulace VISSIM v téměř všech výsledcích porovnání s hodnotami z kapacitního výpočtu dosahují lepších výsledků.

Tabulka 12 - Porovnání výsledků ze simulace s výpočty pro neřízenou křižovatku

Dopravní proud	Ranní špička		Odpolední špička	
	Hodnoty středního zdržení [s]		Hodnoty středního zdržení [s]	
	Ze simulace VISSIM	Z kapacitního výpočtu[1]	Ze simulace VISSIM	z kapacitního výpočtu[2]
1	2,05	3,49	2,54	4,61
2	2,12	2,79	1,76	2,27
3	2,49	2,18	1,97	2,12
4	11,30	39,92	9,83	32,96
5	15,96	20,94	14,28	19,00
6	8,13	7,79	7,11	5,80
7	12,24	5,76	8,77	3,98
8	1,22	2,24	1,50	2,48
9	1,46	2,06	1,83	2,16
10	6,20	58,77	5,26	36,69
11	10,22	19,81	7,92	17,23
12	2,92	4,05	2,80	5,15

[1] Kapacitní výpočet pro ranní špičku je součástí tabulky č. 10
[2] Kapacitní výpočet pro odpolední špičku je součástí tabulky č. 11

6.1.2 Simulace světelně řízené křižovatky

Hodnoty středních dob ze simulace jsou téměř shodné s těmi z kapacitního výpočtu. Rozdíly se objevují v dopravních proudech č. 1 a 7, tj. v dopravních proudech levého odbočení z hlavní komunikace. Rozdíly mohou být způsobeny tím, že v simulaci je zahrnut pohyb chodců, zatímco v kapacitním výpočtu zahrnut není.

Tabulka 13 - Porovnání výsledků ze simulace s výpočty pro řízenou křižovatku

Dopravní proud	Ranní špička		Odpolední špička	
	Hodnoty středního zdržení [s]		Hodnoty středního zdržení [s]	
	Ze simulace VISSIM	Z kapacitního výpočtu[3]	Ze simulace VISSIM	z kapacitního výpočtu[4]
1	13,00	39,77	16,05	34,07
2	11,28	17,37	11,80	19,03
3	12,04	15,89	12,14	13,67
4	32,91	28,42	30,68	31,19
5	29,72	25,06	29,57	26,53
6	24,14	33,15	24,34	28,44
7	24,01	48,53	23,20	66,73
8	15,95	19,84	15,92	16,56
9	16,84	16,35	16,59	14,92
10	39,42	28,03	35,67	29,48
11	36,76	25,17	33,54	26,77
12	29,89	29,05	25,64	33,12

6.2 Vyhodnocení navrženého opatření oproti původnímu stavu křižovatky

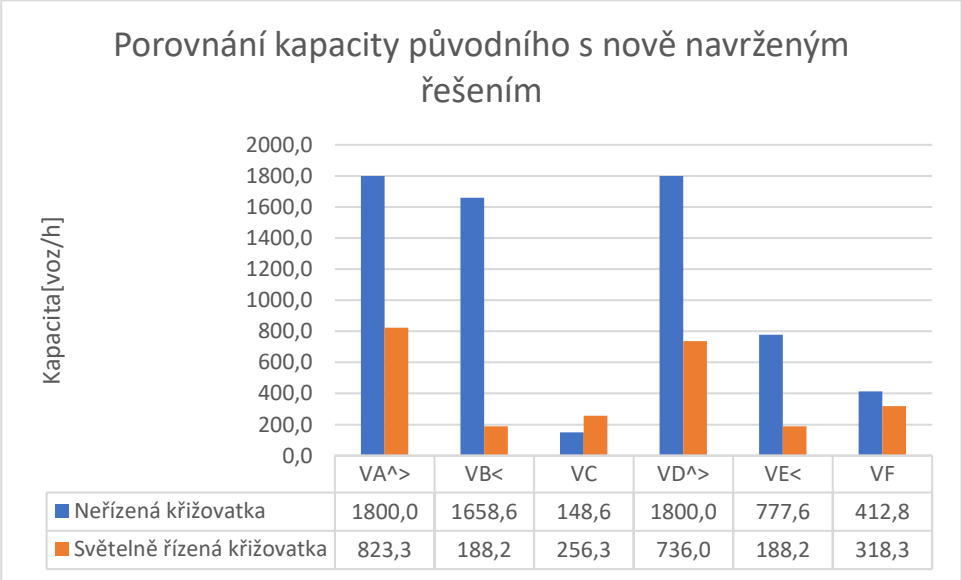
Vyhodnocení navrženého řešení spočívá v porovnání výsledků kapacitních výpočtů původně neřízené křižovatky s nově navrženou světelně řízenou. Jsou porovnávány kapacity, rezervy, délky front, střední doby zdržení a stupně hodnocení ÚKD. Vzhledem k podobnosti výsledků obou špičkových hodin, budou porovnávána data pouze z ranní špičky.

[3] Kapacitní výpočet pro ranní špičku je součástí tabulky č. 10
[4] Kapacitní výpočet pro odpolední špičku je součástí tabulky č. 11

Tabulka 14 - Porovnání parametrů původní neřízené s novou světelně signalizovanou křižovatkou pro ranní špičku

Vjezd (signální skupina)	Neřízená křižovatka					Světelně řízená křižovatka				
	Kapacita	Rezerva	Délka fronty	Střední doba zdržení	ÚKD [-]	Kapacita	Rezerva	Délka fronty	Střední doba zdržení	ÚKD [-]
	C [pvoz/h]	Rez [%]	L_F [m]	t_w [s]		C [pvoz/h]	Rez [%]	L_F [m]	t_w [s]	
VA^>	1800,0	91,8	1,6	2,2	A	823,3	19,9	62,7	26,6	B
VB<	1658,6	64,3	10,0	3,4	A	188,2	56,5	9,4	34,1	B
VC	148,6	35,2	28,1	66,0	E	256,3	27,6	27,8	46,4	C
VD^>	1800,0	86,1	2,9	2,3	A	736,0	66,0	21,7	17,6	A
VE<	777,6	80,4	4,4	5,8	A	188,2	18,9	31,2	66,7	D
VF	412,8	40,4	25,3	21,4	C	318,3	12,2	50,6	67,2	D

Implementace SSZ na křižovatce většinou snižuje kapacity vjezdů oproti původnímu stavu. V případě křižovatky Lodžská – Mazurská došlo k největšímu snížení kapacity u signální skupiny VA a u signálních skupin levého odbočení z hlavní komunikace, tedy u signálních skupin VB a VD. Ke zhoršení stavu došlo i u signální skupiny VE. U kapacit signální skupiny VF došlo pouze k malému poklesu. Naproti tomu ke zlepšení stavu zvýšením kapacit došlo u signální skupiny VC.



Graf 1 - Porovnání kapacity původního s nově navrženým řešením

Vzhledem k rozdílnému hodnocení stupně ÚKD pro neřízené a řízené křižovatky, nemá smysl porovnávat hodnoty středních zdržení. Mnohem důležitějším ukazatelem je stupeň ÚKD jako takový. Z tohoto hlediska dosahují lepších výsledků spíše hodnoty neřízené křižovatky.

K jedinému zlepšení došlo u signální skupiny VC, tedy u signální skupiny na rameni Hnězdenská, změnou ÚKD ze stupně E na stupeň C

Jak již bylo zmíněno v kapitole 3.2.2, výsledky však nějsou plně průkazné, protože se v rámci kapacitních výpočtů nezahrnují situace, při kterých se vozidla kumulují v prostoru křižovatky a blokují provoz. V tomto směru je tedy pravděpodobné zlepšení situace při řízení křižovatky světelnými signály.

Závěr

Cílem bakalářské práce byl návrh řízení světelnými signály na křižovatce Lodžská – Mazurská. Předpokladem pro tento návrh byla analýza okolí řešené křižovatky a zjištění širších dopravních vztahů na křižovatce. Analýzou byly zjištěny problémy na křižovatce týkající se především stavebního upořádání, chování řidičů a chodců. V návaznosti na tuto analýzu proběhlo vypracování dopravního průzkumu, na jehož základě byla vyhodnocena kritéria posouzení účelnosti implementace SSZ na předmětné křižovatce. V rámci vyhodnocení kritérií byl vypracován kapacitní výpočet neřízené úrovňové křižovatky. Kritérii bylo posouzeno řízení světelnými signály jako vhodné řešení pro zlepšení stavu křižovatky, a to především z důvodů zvýšení bezpečnosti z hlediska míst zvláštního zřetele.

V rámci návrhu řízení světelnými signály bylo naprojektováno nové stavební uspořádání křižovatky, podle kterého bylo vytvořeno rozdělení signálních skupin. Na základě tohoto rozdělení vznikla tabulka mezičasů. Signální skupiny byly rozvrženy do tří fází a jim příslušných fázových přechodů vzešlých z tabulky mezičasů. Následně byly zohledněny okrajové podmínky, podle kterých byly jednotlivým signálním skupinám přiřazeny délky zelených signálů. Tím došlo k vytvoření strukturálního signálního plánu. Strukturální signální plán byl dále upraven dle kapacitního posouzení světelně řízené křižovatky vypracovaném v rámci této práce. Výsledkem toho je pevný signální plán o délce 85 s pro ranní špičku a 80 s pro odpolední špičku.

V posledním kroku této práce došlo k ověření navrženého řešení. Ověření bylo provedeno jak simulací v programu VISSIM, tak porovnáním kapacitních výpočtů původní neřízené křižovatky s nově navrženou křižovatkou řízenou světelnými signály.

Výpočty nenasvědčují, že by zavedené opatření výrazně pomohlo zlepšení situace na křižovatce v souvislosti s navýšením kapacit nebo snížením středních dob zdržení. Na druhé straně může návrh napomoci zlepšení dopravní situace v souvislostí s bezpečností provozu a zpřehledněním orientace v křižovatce.

Pro výpočty v této práci, byl využit software Microsoft Office Excel. Pro tvorbu pentlogramů byl využit software LISA+ verze 5.1, jehož licence byla zapůjčena Fakultou dopravní ČVUT v Praze. Pro výkres situace, sledu fází a dalších výkresů bylo využito studentské licence softwaru AutoCAD 2018.

Seznam použité literatury

[1] Seznam.cz, a. s., mapy.cz. [online]. [cit. 13.08.2019].

Dostupné z: https://www.mapy.cz/

[2] SLABÝ, V. Odkud se vzaly dnešní Bohnice. Měsíčník OSMIČKA. 2019, (2). 24.

[3] Obyvatelstvo a rozloha katastrálních území Prahy 2001–2015. Český statistický úřad | ČSÚ [online]. Copyright © [cit. 13.08.2019].

Dostupné z: https://www.czso.cz/documents/11236/37543548/CR_L4_KU.xlsx

[4] Jak vznikala Troja. Městská Část Praha – Troja [online]. Copyright © Městská Část Praha [cit. 13.08.2019].

Dostupné z: https://www.mctroja.cz/jak-vznikala-troja-1163.html

[5] Zákon č. 361/2000 Sb., zákon o provozu na pozemních komunikacích, In. Sbírka zákonů. Praha, 2000, Ročník 2000. 98/2000.

[6] Policie české republiky. Centrum dopravního průzkumu. [online]. Copyright © [cit. 13.08.2019].

Dostupné z http://maps.jdvm.cz/cdv2/apps/nehodynalokalite/Search.aspx

[7] MARTOLOS, Jan. TP 81: Navrhování světelných signalizačních zařízení pro řízení provozu na pozemních komunikacích. 3. vyd. Praha: Ministerstvo dopravy, 2015. ISBN 80-86502-30-9.

[8] BARTOŠ, L. TP 189: Stanovení intenzit dopravy na pozemních komunikacích. 3. vyd. Plzeň: EDIP, 2018

[9] SEIDL, A. TP 133: Zásady pro vodorovné dopravní značení na pozemních komunikacích. Praha: Ministerstvo dopravy, 2013.

[10] SEIDL, A. TP 65: Zásady pro dopravní značení na pozemních komunikacích. 3.vyd. Praha: Ministerstvo dopravy, 2013.

[11] VIMMROVÁ.R. TP 192: Dlažby pro konstrukce pozemních komunikací, Ministerstvo dopravy, 2008

[12] BARTOŠ, L. TP 188: Posuzování kapacity křižovatek a úseků pozemních komunikací. 3. vyd. Plzeň: EDIP, 2018

[13] ČSN 73 6102. Projektování křižovatek na pozemních komunikacích. Praha: Český normalizační institut, 2007

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Geografická poloha křižovatky a okolí [1] 9
Obrázek 2 - Uspořádání křižovatky [1] 12
Obrázek 3 – Směr jízdy linek MHD 14
Obrázek 4 - Odbočování v křižovatce 15
Obrázek 5 - Zaparkovaná vozidla v pravém dopravním pruhu 15
Obrázek 6 - Schody nadchodu 16
Obrázek 7 - Bezbariérový přístup nadchodu 16
Obrázek 8 - Pentlogram intenzit pro ranní špičku 18
Obrázek 9 - Pentlogram intenzit pro odpolední špičku 19
Obrázek 10 - Nehody na křižovatce [6] 20
Obrázek 11 - Dopravní proudy na křižovatce 22
Obrázek 12 - Označení přechodů na křižovatce [1] – upraveno autorem 26
Obrázek 13 - Vozidla kumulovaná v prostoru křižovatky 28
Obrázek 14 - Přechod bez bezpečnostních prvků 30
Obrázek 15 - Přechod pouze s varovným pásem 30
Obrázek 16 - Schéma fází 34
Obrázek 17 - Model situace v programu VISSIM 39

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Posouzení ÚKD neřízené křižovatky v ranní špičce 24
Tabulka 2 - Posouzení ÚKD neřízené křižovatky odpolední špičce 25
Tabulka 3 - Intenzity vozidel na přechodech pro chodce v ranní špičce 26
Tabulka 4 - Intenzity vozidel na přechodech pro chodce v odpolední špičce 26
Tabulka 5 - Signální skupiny 31
Tabulka 6 - Vyklizovací a najížděcí rychlosti 32
Tabulka 7 - Tabulka mezičasů 33
Tabulka 8 - Fázové přechody 34
Tabulka 9 - Limitní hodnoty posouzení ÚKD 35
Tabulka 10 - Kapacitní posouzení světelně řízené křižovatce v ranní špičce 36
Tabulka 11 - Kapacitní posouzení světelně řízené křižovatce v odpolední špičce 37
Tabulka 12 - Porovnání výsledků ze simulace s výpočty pro neřízenou křižovatku 39
Tabulka 13 - Porovnání výsledků ze simulace s výpočty pro řízenou křižovatku 40
Tabulka 14 - Porovnání parametrů původní neřízené s novou světelně signalizovanou křižovatkou pro ranní špičku 41

Seznam grafů

Graf 1 - Porovnání kapacity původního s nově navrženým řešením..... 41

Seznam příloh

Příloha 1	Návrhové intenzity dopravy pro ranní špičku
Příloha 2	Návrhové intenzity dopravy pro odpolední špičku
Příloha 3	Kapacitní posouzení neřízené úrovňové křižovatky pro ranní špičku
Příloha 4	Kapacitní posouzení neřízené úrovňové křižovatky pro odpolední špičku
Příloha 5	Situační výkres křižovatky
Příloha 6	Strukturální signální plán
Příloha 7	Signální plán pro ranní špičku
Příloha 8	Kapacitní posouzení světelně řízené křižovatky pro ranní špičku
Příloha 9	Signální plán pro odpolední špičku
Příloha 10	Kapacitní posouzení světelně řízené křižovatky pro odpolední špičku
Příloha 11	Video simulace neřízené křižovatky
Příloha 12	Video simulace světelně řízené křižovatky