

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

KATEDRA SILNIČNÍCH STAVEB



**NÁVRH METODIKY ROZDĚLENÍ INTENZIT VOZIDEL DO JÍZDNÍCH
PRUHŮ NA VÍCEPRUHOVÝCH VJEZDECH TURBO OKRUŽNÍCH
KŘÍŽOVATEK**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

FILIP TLUČEK

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Michal Uhlík, Ph.D.

V Praze, 2023

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Tluček	Jméno: Filip	Osobní číslo: 494099
Zadávací katedra: Katedra silničních staveb - K 136		
Studijní program: Stavební inženýrství		
Studijní obor/specializace: Konstrukce a dopravní stavby		

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Návrh metodiky rozdělení intenzit vozidel do jízdnic pruhů na vícepruhových vjezdech turbo okružních křižovatek	
Název bakalářské práce anglicky: Proposal of a methodology for dividing vehicle intensities into lanes at multi-lane entrances to turbo roundabouts	
Pokyny pro vypracování: Provést rešerši stávajících metodik, provést dopravní průzkumy na vícepruhových vjezdech turbo okružních křižovatek (TOK) a následně průzkumy vyhodnotit. Stanovit metodiku rozdělení intenzit vozidel na vícepruhových vjezdech TOK do jednotlivých pruhů v závislosti na následném manévru v křižovatce. Na TOK "U Topolu" v Benešově (křižovatka silnic I/3 a II/110) ověřit navrženou metodiku pomocí kapacitního výpočtu a srovnání s výpočtem dle jiných metodik.	
Seznam doporučené literatury: Platné technické normy ČSN, technické podmínky - viz www.pjpk.cz - Arbeitspapier Turbokreisverkehrs, 2015, FGSV, - Highway Capacity Manual (HCM). TRB, National Research Council Washington, D.C., 2022, - TP 14/2015 Projektovanie turbo-okružných križovatiek, MDVRR SR: 2015.	
Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Michal Uhlík, Ph.D.	
Datum zadání bakalářské práce: 24.2.2023	Termín odevzdání BP v JS KOS: 22.5.2023 <i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

24. 2. 2023

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a podkladů.

V Praze dne _____

Filip Tluček

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu mé práce Ing. Michalu Uhlíkovi, Ph.D. za jeho odborné vedení a cenné rady. Dále bych chtěl poděkovat red. prof. dr. Tomaži Tollazzimu z Univerzity v Mariboru za poskytnutí podkladů a potřebných informací. Dík patří i firmě EDIP s.r.o., bez které by tato práce nemohla vzniknout. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat mé rodině za podporu a trpělivost.

Anotace bakalářské práce

- Autor: Filip Tluček
- Název práce: Návrh metodiky rozdělení intenzit vozidel do jízdnic pruhů na vícepruhových vjezdech turbo okružních křižovatek
- Obor: Konstrukce a dopravní stavby
- Druh práce: Bakalářská práce
- Vedoucí práce: Ing. Michal Uhlík, Ph.D.
- Klíčová slova: Turbo okružní křižovatka, dopravní průzkum, metodika, vjezd, intenzita, kapacita, rozdělení do jízdnic pruhů

Anotace

Cílem této bakalářské práce je návrh metodiky rozdělení intenzit vozidel do jízdnic pruhů na vícepruhových vjezdech turbo okružních křižovatek. V rámci práce bylo provedeno šest dopravních průzkumů turbo okružních křižovatek, které byly následně vyhodnoceny. Z vybraných vjezdů křižovatek byla získána data, která byla využita pro vytvoření metodiky. Navržená metodika byla následně ověřena kapacitním posouzením třech různých vjezdů.

Abstract of Bachelor thesis

Author: Filip Tluček

Title: Proposal of a methodology for dividing vehicle intensities into lanes at multilane entrances to turbo roundabouts

Branch: Structural and Transportation Engineering

Document type: Bachelor thesis

Thesis advisor: Ing. Michal Uhlík, Ph.D.

Key words: Turbo roundabout, traffic survey, methodology, entrance, intensity, capacity, lane distribution

Abstract

The aim of this bachelor thesis is to propose a methodology for the distribution of vehicle lane intensities at multi-lane entrances of turbo roundabouts. As part of the thesis, six traffic surveys of turbo roundabouts were completed and subsequently evaluated. Data was obtained from the selected intersection entrances and used to develop the methodology. The proposed methodology was then validated by capacity evaluation of three different entrances.

Obsah

1. Úvod.....	10
2. Teoretická část.....	11
2.1 Turbo okružní křižovatka	11
2.1.1 Definice turbo okružní křižovatky	11
2.1.2 Rozdělení turbo okružních křižovatek	12
2.1.3 Vznik a historie TOK	15
2.1.4 Využití TOK v ČR a ve světě.....	16
2.2 Popis projektu KATUROK	19
2.3 Rešerše metodik rozdělení do pruhů	19
2.3.1 Česká republika	19
2.3.2 Německo.....	21
2.3.3 Spojené státy americké.....	21
2.3.4 Slovensko	22
2.3.5 Slovinsko.....	23
2.4 Ověřované hypotézy rozdělení do pruhů.....	24
3. Praktická část.....	26
3.1 Výběr lokalit.....	26
3.2 Vybrané turbo okružní křižovatky.....	27
3.2.1 Benešov – TOK U Topolu	27
3.2.2 Benešov – TOK Červené Vršky.....	28
3.2.3 Beroun – TOK Koněpruská.....	30
3.2.4 Brno – TOK Slatina.....	31
3.2.5 Olomouc – TOK Hodolany	33
3.2.6 Praha – OK Chodov	34
3.2.7 Seznam sledovaných vjezdů.....	35
3.3 Návrh metodiky výpočtu kapacity vjezdu	35

3.4	Dopravní průzkumy	36
3.4.1	Benešov – TOK U Topolu	37
3.4.2	Benešov – TOK Červené Vršky	42
3.4.3	Beroun – TOK Koněpruská.....	45
3.4.4	Brno – TOK Slatina.....	46
3.4.5	Olomouc – TOK Hodolany	51
3.4.6	Praha OK Chodov	55
3.4.7	Shrnutí výsledků.....	56
3.5	Návrh metodiky rozdělení intenzit do pruhů	57
3.6	Ověření metodiky kapacitním výpočtem.....	58
3.6.1	Benešov – TOK U Topolu, rameno 2	58
3.6.2	Benešov – TOK U Topolu, rameno 4	64
3.6.3	Brno – TOK Slatina, rameno 3.....	65
3.7	Ověření střední doby zdržení.....	65
3.7.1	Postup orientačního stanovení průměrné doby zdržení.....	66
3.7.2	Zpracování výsledků	66
3.7.3	Vyhodnocení výsledků	68
	Závěr.....	69
	Zdroje	70
	Seznam tabulek	72
	Seznam obrázků	73

Seznam použitých zkratk

TOK – Turbo okružní křižovatka

OK – Okružní křižovatka

ÚKD – Úroveň kvality dopravy

TP – Technické podmínky

ČR – Česká republika

FGSV – Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen

HBS – Handbuch für die Bemessung von Strassenverkehrsanlagen

HCM – Highway Capacity Manual

TSPI – Tehnična specifikacija za prometno infrastrukturo

CSD – Celostátní sčítání dopravy

O – Osobní automobily

LN – Lehké nákladní automobily

M – Motocykly

C – Cyklisté

SN – Střední nákladní automobily

SNP – Střední nákladní automobily s přívěsem

TN – Těžké nákladní automobily

TNP – Těžké nákladní automobily s přívěsem

NSN – Návěsové soupravy

A – Autobusy

AK – Kloubové autobusy

T – Traktory

PČR – Policie České republiky

1. Úvod

Turbo okružní křižovatky (dále jen TOK) nabývají v poslední době stále více a více na popularitě, a to jak v České republice, tak i ve světě. Jedná se o zvláštní typ okružní křižovatky. Vyznačuje se tím, že má na okružním pásu minimálně dva jízdni pruhy a k rozřazení vozidel do těchto jízdni pruhů dochází již před křižovatkou. Tímto je docíleno plynulého a bezpečného průjezdu křižovatkou. TOK mají zpravidla větší kapacitu než dvoupruhové okružní křižovatky a zároveň jsou díky redukci kolizních bodů mnohem bezpečnější.

Současná metodika výpočtu kapacity TOK není přesná, a proto vznikl výzkumný projekt KATUROK financovaný Technologickou agenturou ČR a Ministerstvem dopravy, díky kterému bude metodika doplněna o vliv rozdělení vozidel do jednotlivých pruhů a zároveň budou aktualizovány hodnoty veličin vstupující do kapacitního výpočtu. Díky praxi ve firmě EDIP s.r.o. jsem se stal součástí tohoto projektu a měl možnost jeho část využít jako podklad pro tuto práci.

Cílem této bakalářské práce bylo provést rešerši stávajících metodik rozdělení intenzit vozidel do jízdni pruhů na vícepruhových vjezdech TOK. Dále provést a vyhodnotit dopravní průzkumy a následně díky nim navrhnout metodiku rozdělení intenzit vozidel na vícepruhových vjezdech TOK do jednotlivých pruhů. Na závěr tuto metodiku ověřit pomocí kapacitního výpočtu a srovnat s výpočty dle jiných metodik.

Práce se skládá z teoretické a praktické části. V teoretické části byl definován pojem TOK a jejich dělení. Byla zmapována historie vzniku a rozvoj využívání tohoto typu křižovatky v České republice a ve světě. Pro rešerši stávajících metodik rozdělení intenzit vozidel do jízdni pruhů byly kromě české metodiky zpracovány další čtyři cizojazyčné technické listy. Na závěr teoretické části byly vytvořeny předpoklady, na kterých reálné rozdělení vozidel do jízdni pruhů závisí.

V praktické části byly vytipovány vhodné vjezdy pro šetření zkoumané problematiky. Z šesti provedených dopravních průzkumů vyplynulo sedm vjezdů s parametry příznivými pro vyhodnocení a získání podkladů pro navrhovanou metodiku. Dále byla navržena nová metodika rozdělení intenzit vozidel do jízdni pruhů, pro kterou byl stanoven upravený způsob výpočtu kapacitního posouzení. V závěru práce bylo provedeno kapacitní posouzení podle navržené metodiky na TOK Benešov – U Topolu a na nejzatíženějším pozorovaném vjezdu, který se nacházel na TOK Brno – Slatina.

2. Teoretická část

2.1 Turbo okružní křižovatka

2.1.1 Definice turbo okružní křižovatky

České technické podmínky definují turbo okružní křižovatku jako zvláštní typ okružní křižovatky, který má nejméně dva jízdní pruhy na okružním pásu. Principem TOK je rozřazení vozidel do jednotlivých jízdních pruhů již před křižovatkou podle požadovaného směru a vytvoření plynulého a bezpečného průjezdu křižovatkou. K tomu slouží kvalitně provedené svislé i vodorovné dopravní značení, které řidiče upozorní na výběr správného pruhu. V křižovatce je totiž pomocí fyzického oddělení pruhů zamezeno proplétání vozidel, které je spojené s častým výskytem dopravních nehod. Hlavní důvod pro navržení TOK je snaha o zvýšení úrovně kvality dopravy (dále jen ÚKD) a bezpečnosti [4]. České technické podmínky rozlišují tři druhy čtyřramenných a jeden druh tříramenných TOK.

2.1.2 Rozdělení turbo okružních křižovatek

TOK jsou v TP 135 [4] rozděleny podle velikosti, počtu paprsků a počtu jízdních pruhů na jednotlivých paprscích a na okružním pásu.

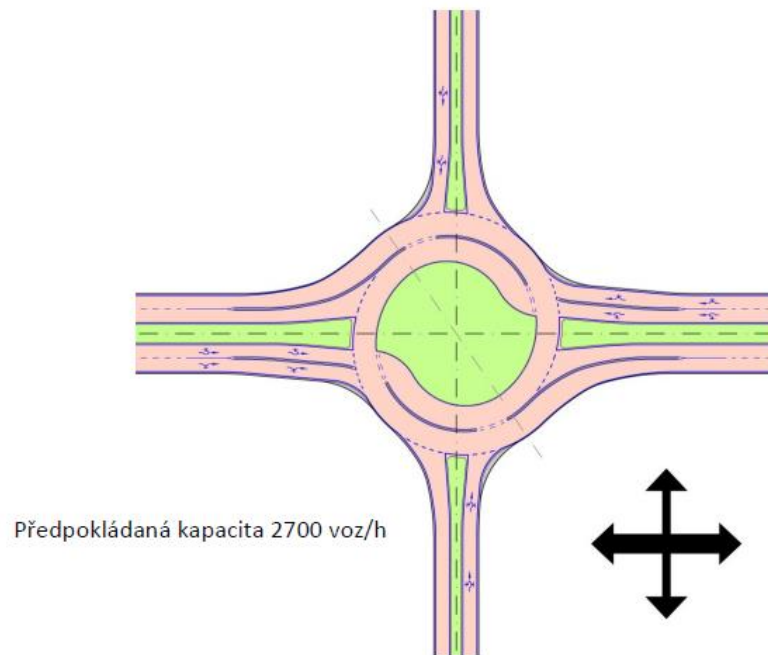
Podle velikosti se TOK dělí na základě rozměrů jednotlivých návrhových prvků. TP 135 [4] znají 4 typy TOK podle tohoto dělení. Konkrétně se jedná o malé TOK, malé standardní TOK, standardní TOK a velké TOK. Toto rozdělení na základě velikosti je znázorněno v Tabulce 1.

Prvek TOK	Ozn.	Rozměry			
		Malá TOK	Malá standardní TOK	Standardní TOK	Velká TOK
Vnější průměr TOK [m]	D	< 56,0	56,0–60,0	60,0–65,0	> 65,0
Vnitřní vozovka, vnitřní okraj [m]	R1	10,500	12,000	15,000	20,000
Vnitřní vozovka, vnější okraj [m]	R2	17,850	18,975	21,550	25,950
Vnější vozovka, vnitřní okraj [m]	R3	18,150	19,275	21,850	26,250
Vnější vozovka, vnější okraj [m]	R4	24,550	25,525	27,850	31,900
Šířka vnitřní vozovky [m]	Š1	8,30	7,70	7,10	6,25
Šířka vnější vozovky [m]	Š2	6,40	6,25	6,00	5,65
Šířka vnitřního jízdního pruhu [m]	a ₁	7,80	7,20	6,60	5,75
Šířka vnějšího jízdního pruhu [m]	a ₂	5,90	5,75	5,50	5,15
Vodící proužek [m]	v	0,25	0,25	0,25	0,25
Fyzické oddělení jízdních pruhů [m]	d _f	0,30	0,30	0,30	0,30
Posun vnější (vzdálenost vnějších středů) [m]	Pe	8,60	8,00	7,40	6,55
Posun vnitřní (vzdálenost vnitřních středů) [m]	Pi	6,70	6,55	6,30	5,95
Poloměr zaoblení na vjezdu [m]	Ri	20,00	20,00	20,00	20,00
Poloměr zaoblení na výjezdu [m]	Re1	40,0; 20,0; 60,0	40,0; 20,0; 60,0	40,0; 20,0; 60,0	40,0; 20,0; 60,0
Poloměr zaoblení fyzického oddělení na výjezdu [m]	Re2	40,0; 20,0; 60,0	40,0; 20,0; 60,0	40,0; 20,0; 60,0	40,0; 20,0; 60,0
Dosahovaná rychlost průjezdu dle ČSN 73 6102 [km/h]	v1	19–27	20–28	20–29	20–30

Tabulka 1 Doporučené tabelované rozměry návrhových prvků pro základní turbo-okružní křižovatku a křižovatku typu vejce [4]

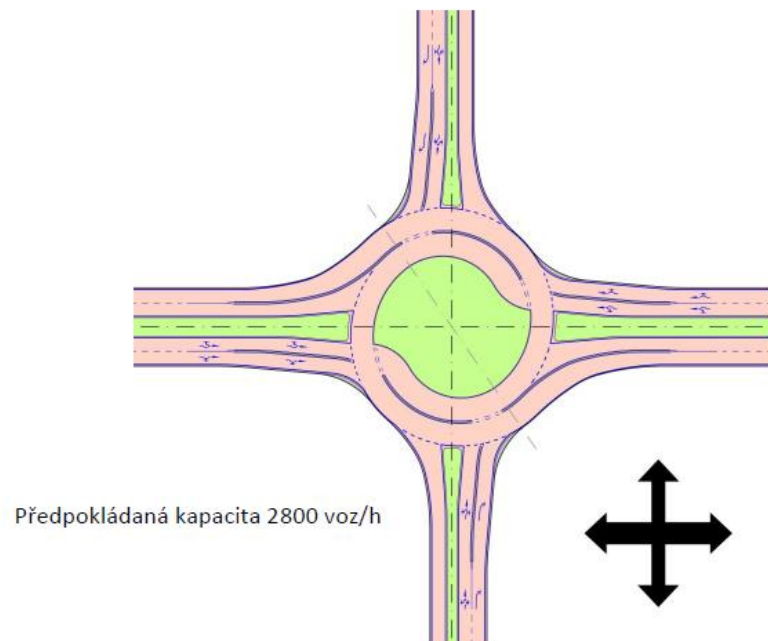
Nejpoužívanější způsob pro rozlišení TOK je podle počtu paprsků a jízdních pruhů na jednotlivých paprscích a na okružním pásu. Podle počtu paprsků TP 135 [4] rozlišuje čtyřpaprskové TOK a trojpaprskové TOK. Čtyřpaprskové se dále dělí na tyto:

- TOK typu vejce



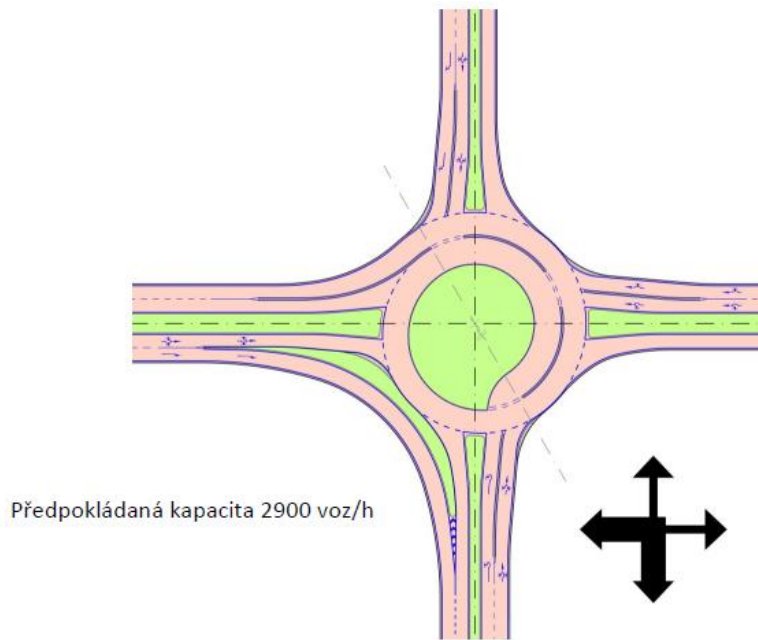
Obrázek 1 TOK typu vejce [4]

- Základní TOK



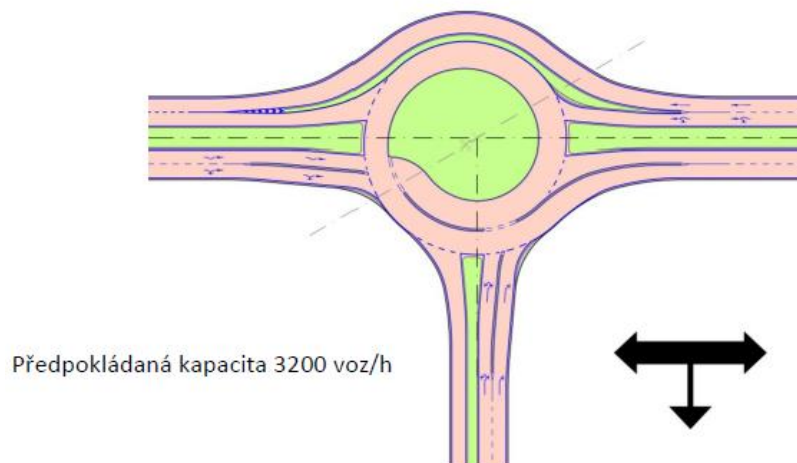
Obrázek 2 základní TOK [4]

- TOK typu koleno



Obrázek 3 TOK typu koleno [4]

Trojprásková TOK je v TP 135 [4] pouze jednoho typu, který se popisuje jako propnuté koleno.



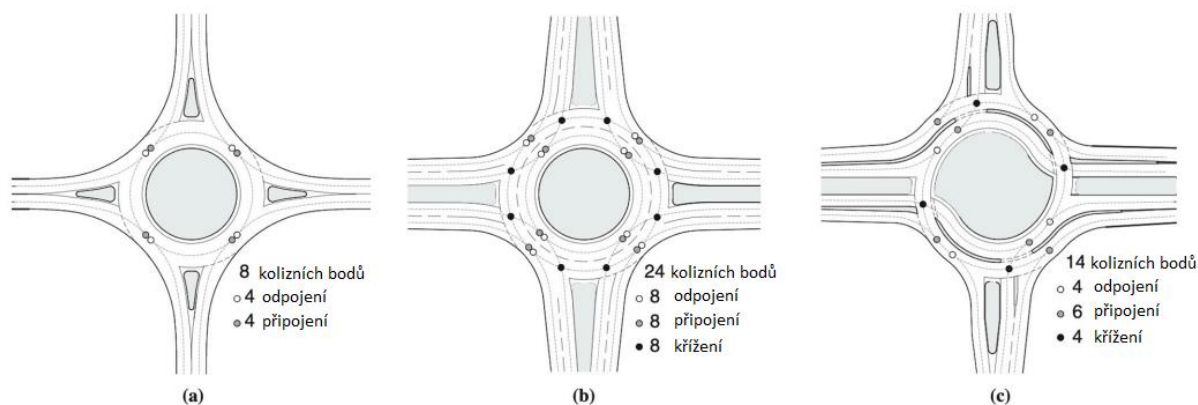
Obrázek 4 TOK typu propnuté koleno [4]

Například ve slovenských TP 100 [12] zaměřených přímo na projektování TOK, jsou popsány další dva druhy čtyřramenných TOK a jeden druh trojramenných.

V TP 135 [4] jsou uvedeny pouze typy TOK s maximálně dvěma jízdními pruhy na vjezdu. Složitější typy TOK nejsou v TP 135 [4] zahrnuty záměrně, aby si řidiči nejdříve zvykli na jednodušší typy TOK a naučili se je používat.

2.1.3 Vznik a historie TOK

TOK poprvé představil koncem 90. let 20. století profesor Technické univerzity v Delftu L. G. H. Fortuijn [1]. Ve své prezentaci o TOK uvedl: „V roce 1997 se v provincii Zuid-Holland nacházelo 85 jednoruhových okružních křižovatek. Ale na mnoha místech, která vyžadovala okružní křižovatku bylo zjištěno, že kapacita jednoruhové OK nebude dostatečná. Nastalo následující dilema. Dvoupruhová OK způsobuje velké množství srážek při odbočování. V minulosti jsme z tohoto důvodu vyměnili staré okružní křižovatky za světelně řízené křižovatky. Poté jsme však opět zaznamenali nárůst nehod se zraněním, zejména u zranitelných skupin jako jsou chodci, cyklisti a motocyklisti. Jak tento problém vyřešit?“ (Fortuijn, 2011) Hlavními důvody vzniku TOK byla tedy dostatečná kapacita a bezpečnost. Jak je vidět na Obrázku 5 porovnávajícím jednoruhovou okružní křižovatku (a), dvoupruhovou okružní křižovatku (b) a základní TOK (c), vznikem TOK dochází ke snížení počtu kolizních bodů oproti dvoupruhovým okružním křižovatkám a tím ke zvýšení bezpečnosti [1].



Obrázek 5 Kolizní body jednoruhové okružní křižovatky (a), dvoupruhové okružní křižovatky (b) a turbo okružní křižovatky (c). [1]

V roce 1998 začala v Nizozemí výstavba první turbo okružní křižovatky na světě [1]. Ta se dnes stále nachází v obci Barendrecht nedaleko Rotterdamu. Jedná se o TOK, kterou bychom podle českých TP 135 [4] označili jako typ vejce. První zmínky o projektování TOK se do České republiky dostaly v roce 2005 v novém vydání TP 135 [4, 6]. Poté byla v roce 2006 postavena v Modřicích u Brna křižovatka, kterou bychom dnes označili jako první TOK v České republice [3]. Jedná se o areál nákupního centra a je zde použita TOK typu koleno. Dříve byla za první považována křižovatka, která se nachází rovněž v Brně v Bohunicích. Článek časopisu Stavebnictví z roku 2007, kde se píše právě o návrhu TOK v Bohunicích, se zmiňuje o již zbudované „křižovatce s částečným spirálovitým uspořádáním“ u nákupního centra Olympie [6]. Dnes bychom v České republice dle průzkumu spojeným s projektem KATUROK našli 28 používaných TOK a řadu dalších, které jsou ve fázi projektové přípravy.

2.1.4 Využití TOK v ČR a ve světě

Od roku 2006, kdy byla v České republice postavena první TOK došlo k výraznému rozvoji tohoto typu křižovatek, což zapříčinilo jejich další výstavbu. V rámci projektu KATUROK byl sestaven seznam všech známých TOK v České republice. Seznam byl vytvořen na základě znalosti řešitelů a následně bylo pomocí dotazníku ověřeno, zda existuje nějaká další. Tímto způsobem bylo zjištěno 28 TOK, které jsou vypsány v následující tabulce.

Poř. č.	Město / obec	Místní název	Komunikace 1	Komunikace 2	Počet ramen
1	Benešov	U Topolu	I/3	II/110	4
2	Benešov	Červené Vršky	I/3	II/112	4
3	Beroun	Koněpruská	D5	III/11533	5
4	Brno	Bohunice	MK	MK	4
5	Brno	Královo pole	I/42	II/640	4
6	Brno	Královo pole	I/42	MK	4
7	Brno	Slatina	II/430	II/373	5
8	České Budějovice	Sídliště Máj	III/14539	MK	4
9	České Budějovice	Sídliště Vltava	III/14539	MK	4
10	České Budějovice	Zanádražní komunikace	II/156	MK	3
11	České Budějovice	Zanádražní komunikace	II/156	MK	4
12	České Budějovice	Zanádražní komunikace	II/156	MK	3
13	Havířov	U nádraží	I/11	II/475	6
14	Hradec Králové	Plotiště nad Labem	I/11	I/35	4
15	Jihlava	Kostelec	II/602	II/406	3
16	Kosmonosy	Průmyslová	I/38	I/11	4
17	Modřice	Olympia	III/15279	MK	4
18	Olomouc	Hodolany	I/35	III/4436	4
19	Olomouc	Holice	I/55	II/570	4
20	Opava – Komárov	extravilán	I/11	II/416	3
21	Ostrava	Zábřeh	MK	MK	4

22	Pardubice	Trnová	II/211	MK	5
23	Plzeň	Košutka	I/20	II/215	6
24	Plzeň	Rondel	I/27	MK	3
25	Prostějov	Peterské nám.	II/150	II/150	5
26	Rudná	Masarykova	D5	II/605	4
27	Valašské Meziříčí	Masarykova	I/35	II/150	4
28	Zámorsk	Nová Ves	I/35	I/17	4

Tabulka 2 Seznam TOK v ČR [16]

Počet bude v budoucnu ještě určitě narůstat. Například jen na území města Plzeň jsou v tuto chvíli v přípravě tři další TOK.

Využití TOK se po celém světě velmi liší. Rozšířené jsou převážně v Evropě. Nejvíce na světě jich bylo postaveno v Nizozemsku. Podle statistiky z konce roku 2022 je přímo v Nizozemí postaveno 414 TOK [14]. Ze stejné statistiky vyplývá, že mimo území Nizozemska bylo zprovozněno 286 TOK. Zajímavý je tedy fakt, že jen na území tohoto státu je více TOK než ve zbytku světa. Statistika ale tvrdí, že v České republice bylo postaveno pouhých 16 TOK. Z Tabulky 2 je zřejmé, že to není kompletní počet a můžeme předpokládat, že i celkové množství všech TOK na světě je vyšší. V následující tabulce jsou zapsány všechny TOK, které tato statistika uvádí.

Státy	Intravilán	Extravilán	Celkem
Aruba	7	9	16
Belgie	2	5	7
Bosna a Hercegovina	1	0	1
Česká republika	6	10	16
Estonsko	1	14	15
Etiopie	1	0	1
Finsko	7	14	21
Chorvatsko	4	5	9
Jihoafrická republika	0	1	1
Kanada	0	2	2
Litva	4	9	13
Lotyšsko	1	0	1
Lucembursko	1	3	4

Maďarsko	6	25	31
Německo	11	8	19
Nizozemsko	111	303	414
Drenthe	3	2	5
Flevoland	19	5	24
Friesland	5	17	22
Gelderland	8	17	25
Groningen	0	11	11
Limburg	9	30	39
Noord-Brabant	16	54	70
Noord-Holland	18	26	44
Overijssel	3	19	22
Utrecht	10	19	29
Zeeland	2	12	14
Zuid-Holland	18	91	109
Polsko	30	52	82
Rakousko	1	4	5
Rumunsko	0	3	3
Severní Makedonie	1	0	1
Slovensko	1	5	6
Slovinsko	13	4	17
Španělsko	3	1	4
Švýcarsko	1	4	5
USA	3	2	5
Velká Británie	1	0	1
Celkem	217	483	700

Tabulka 3 Počet všech TOK na světě rozdělených po státech [14]

2.2 Popis projektu KATUROK






KATUROK je projekt financovaný Technologickou agenturou ČR a Ministerstvem dopravy a já jsem se do něj zapojil v rámci firmy EDIP s.r.o., která je hlavním řešitelem projektu, jehož dalším významným účastníkem je České vysoké učení technické v Praze. Cílem projektu je doplnit současné poznání o turbo-okružních křižovatkách pomocí podrobných dopravních průzkumů. Konkrétně se zaměřuje na rozšíření současné metodiky výpočtu kapacity TOK o novou metodiku rozdělení intenzit do jízdnic pruhů na vjezdech do křižovatky. Současně by měla být na základě dopravních průzkumů ověřena platnost hodnot veličin vstupujících do kapacitního posouzení TOK [13]. Konkrétně se ověřují hodnoty t_g – kritický časový odstup a t_f – následný časový odstup.

2.3 Rešerše metodik rozdělení do pruhů

2.3.1 Česká republika

TP 188 [7]

V České republice jsou pro posuzování kapacity křižovatek využívány TP 188 [7]. Ty ale v současné době nerozlišují na vícepruhovém vjezdu do okružní křižovatky (OK) rozdělení vozidel do jednotlivých pruhů v závislosti na intenzitách na vjezdu, okruhu, ani následném pohybu skrz křižovatku [7]. Kapacita se počítá za celý vjezd. U standardních dvoupruhových vjezdů a dvoupruhovém okružním pásu se ve výpočtu toto uspořádání zohlední koeficientem 1,5, které takovým vjezdům zvýší kapacitu o 50 % oproti jednopruhovým. Je přitom úplně jedno, kterým směrem následně vozidla jedou a jestli vozidla využívají na vjezdu a okruhu oba pruhy nebo ne. Tento koeficient představuje rozdělení na třetinu vozidel v levém pruhu a dvě třetiny vozidel v pruhu pravém. U dvoupruhových vjezdů do TOK, kde na okruhu v místě vjezdu vzniká druhý pruh, se kapacita vjezdu zvýší o 80 % koeficientem 1,8. Tím je simulováno rozdělení do pruhů v poměru 56 % vozidel v pravém pruhu a 44 % v pruhu levém. Tyto hodnoty jsou červeně zvýrazněné v Tabulce 4. Podle typu vjezdu jsou definovány proměnné i hodnoty kritických a následných časových odstupů.

Typ uspořádání vjezdu a okruhu	Schema-tické znázor-nění	n_o	n_v	$k_{v,usp}$ [-]	t_g [s]	t_f [s]	Δ [s]
1/1		1	1	1,0	4,5 (pro $L_{kol} < 11$)	3,1 (pro $R_v < 8$)	2,1
					$5,6 - 0,1 \cdot L_{kol}$ (pro $11 \leq L_{kol} \leq 20$)	$3,6 - 0,0625 \cdot R_v$ (pro $8 \leq R_v \leq 16$)	
					3,6 (pro $L_{kol} > 20$)	2,6 (pro $R_v > 16$)	
2/1		2	1	1,0	3,7	2,6	2,1
2/2		2	2	1,5	3,7	2,6	2,1
S/2		1	2	1,8	4,5	2,7	2,1
M/1		1	1	1,0	4,5	3,1	2,8 (pro $D < 13$)
							$3,45 - 0,05 \cdot D$ (pro $13 \leq D \leq 23$)
							2,3 (pro $D > 23$)
D	vnější průměr okružní křižovatky [m]						
L_{kol}	vzdálenost mezi kolizním bodem na vjezdu z okružního jízdního pásu a kolizním bodem na vjezdu na okružní jízdní pás [m]; vynášší se v ose okružního jízdního pásu, resp. v ose vnějšího jízdního pruhu na okruhu						
R_v	poloměr vjezdu [m]						

Tabulka 4 Hodnoty proměnných pro výpočet kapacity vjezdu do okružní křižovatky [7]

kde:

n_o = počet jízdních pruhů na okruhu v místě vjezdu [-]

n_v = počet jízdních pruhů na vjezdu do okružní křižovatky [-]

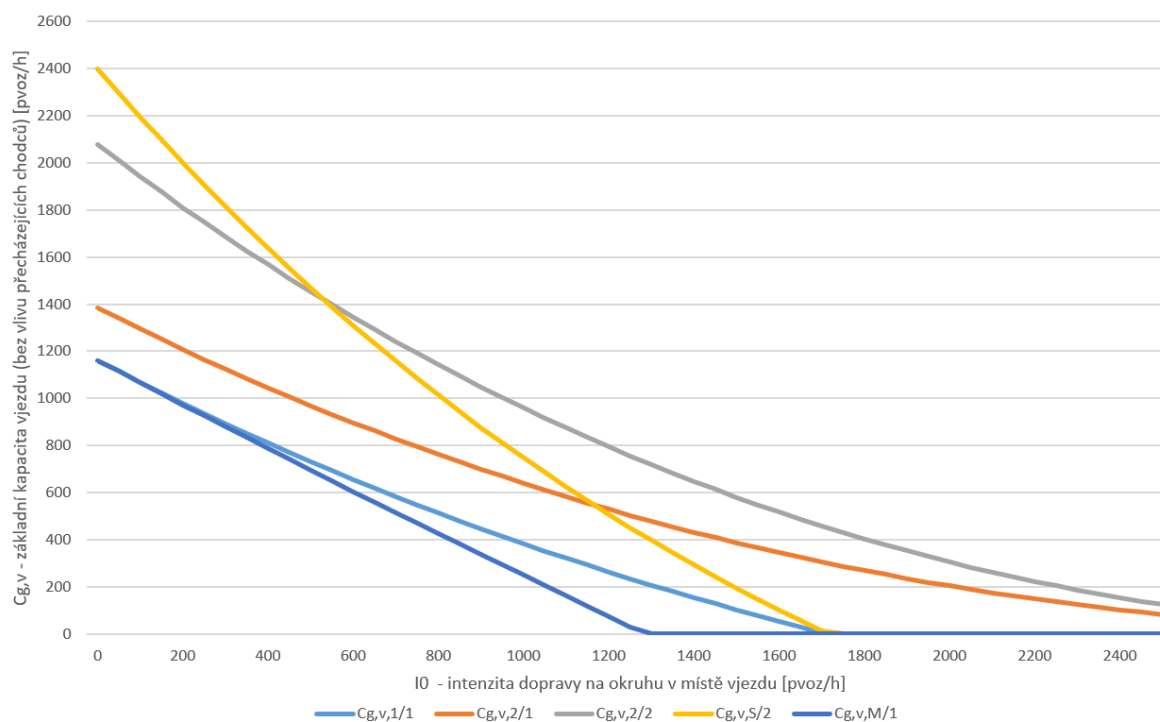
$k_{v,usp}$ = koeficient uspořádání jízdních pruhů na vjezdu a okruhu [-]

t_g = kritický časový odstup [s]

t_f = následný časový odstup [s]

Δ = minimální časový odstup vozidel jedoucích na okruhu za sebou [s]

Následující graf znázorňuje porovnání teoretických hranic kapacit jednotlivých typů vjezdů v závislosti na intenzitách na vjezdu a okruhu.



Graf 1 Porovnání mezních kapacit podle typu vjezdu [7]

2.3.2 Německo

FGSV – Arbeitspapier Turbokreisverkehrs [8]

V Německu řeší metodiku výpočtu kapacity TOK předpis FGSV – Arbeitspapier Turbokreisverkehrs. HBS [9] se této problematice nevěnuje. České TP 188 [7] vychází v principu z této metodiky prof. Brillona. Na základě dopravních průzkumů na křižovatkách v ČR byly upraveny pouze hodnoty t_g – kritický časový odstup a t_f – následný časový odstup podle našich podmínek a chování řidičů v ČR. Metodika výpočtu v Německu tedy odpovídá principu v Tabulce 4, tzn. že nezohledňuje nijak rozdělení intenzit na vjezdu do jednotlivých pruhů, ale pouze zvyšuje celkovou kapacitu vjezdu příslušným koeficientem.

2.3.3 Spojené státy americké

HCM [10]

Americký manuál pro výpočet kapacity pozemních komunikací HCM [10] se věnuje dvoupruhovým OK ve 3. díle, 22. kapitole. U dvoupruhových vjezdů do OK rozděluje intenzity na jednotlivé pruhy na základě dopravních průzkumů, které ale byly provedeny na světelně řízených křižovatkách v době naplnění kapacity vjezdů do křižovatky. Na vícepruhových okružních křižovatkách totiž zatím žádné podrobné průzkumy nebyly provedeny.

Pro uspořádání, kde pravý pruh slouží pro přímý směr + pravé odbočení a levý pruh pro přímý směr + levé odbočení vychází doporučení na rozdělení intenzit přímo jedoucích vozidel do pruhů následovně:

- 53 % vozidel pojedou v pravém pruhu,

- 47 % vozidel pojedou v levém pruhu.

Kapacita pravého a levého pruhu na dvoupruhovém vjezdu a dvoupruhovém okruhu se počítá odlišně, přičemž levý pruh má nižší kapacitu:

$$C_{e,R,pce} = 1420e^{(-0,85 \cdot 10^{-3})v_{c,pce}}$$

$$C_{e,L,pce} = 1350e^{(-0,92 \cdot 10^{-3})v_{c,pce}}$$

kde:

$C_{e,R,pce}$ = kapacita pravého pruhu na vjezdu [voz/h]

$C_{e,L,pce}$ = kapacita levého pruhu na vjezdu [voz/h]

$v_{c,pce}$ = intenzita vozidel na okruhu (součet obou pruhů) [voz/h]

Z výše uvedeného je patrné, že HCM pro vjezdy typu 2/2 zohledňuje sníženou kapacitu levého pruhu dvěma způsoby najednou – sníženou intenzitou v levém pruhu a sníženou kapacitou levého pruhu dle výše uvedených vztahů.

Kapacita pravého a levého pruhu na dvoupruhovém vjezdu a jednopruhovém okruhu, který je nejpodobnější typu vjezdu S/2, se počítá jednodušším způsobem. Výpočet kapacity pro levý a pravý pruh je stejný podle následujícího vzorce:

$$C_{e,pce} = 1,420e^{(-0,91 \cdot 10^{-3})v_{c,pce}}$$

V tomto případě je zohledněna snížená kapacita levého pruhu pouze snížením intenzity.

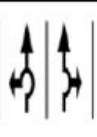

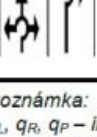
2.3.4 Slovensko

Na Slovensku řeší kapacitu okružních křižovatek dvoje TP. TP 16/2015 [11] řeší kapacitu jednopruhových a klasických dvoupruhových OK. Tyto TP se věnují i rozdělení intenzit do pruhů na dvoupruhových vjezdech do OK. Pro případ klasických dvoupruhových OK, kdy každý pruh na vjezdu je možné využít pro jakýkoli manévr, uvažují, že 70 % řidičů pojedou pravým pruhem a 30 % řidičů levým pruhem. Tyto hodnoty vychází z dopravních

průzkumů. Kapacita vjezdu do okružní křižovatky se pak počítá pro každý pruh zvlášť. Vzorec pro výpočet je prakticky stejný jako v TP 188 [7].

Kapacitu TOK řeší TP 14/2015 [12]. Rozdělení intenzit do jednotlivých pruhů na vjezdu do TOK se provádí na základě dopravního průzkumu nebo na základě těchto předpokladů:

- Pokud je pro určitý dopravní proud vyčleněn jen jeden jízdní pruh na vjezdu, předpokládá se, že všechna vozidla, která jedou tímto směrem, využijí daný pruh.
- Pokud je pro určitý dopravní proud možné využít oba jízdní pruhy, přerozdělení závisí na intenzitách dopravy jednotlivých dopravních proudů na vjezdu viz Tabulka 5. Pokud není na vjezdu dominantní dopravní zatížení vpravo nebo vlevo, intenzita dopravy na vjezdu se přerozdělí na pravý a levý pruh rovnoměrně.
- Pokud je na vjezdu navržený bypass mezi dvěma sousedními rameny, intenzita dopravy na tomto bypassu se odečte od intenzity dopravy na vjezdu do TOK.

Radenie na vjazde		Podmienka	Predpokladané prerozdelenie intenzit dopravy	
Schéma	Označenie		Ľavý jazdný pruh – $q_{L,L}$	Pravý jazdný pruh – $q_{L,P}$
	LR, RP	ak $q_L > q_R + q_P$	q_L	$q_R + q_P$
		ak $q_P > q_L + q_R$	$q_L + q_R$	q_P
		v ostatných prípadoch	$(\%L) \cdot q_i$	$(\%P) \cdot q_i$
	L, LRP	ak $q_R + q_P > q_L$	q_L	$q_R + q_P$
		v ostatných prípadoch	$(\%L) \cdot q_i$	$(\%P) \cdot q_i$
	LRP, P	ak $q_L + q_R > q_P$	$q_L + q_R$	q_P
		v ostatných prípadoch	$(\%L) \cdot q_i$	$(\%P) \cdot q_i$

Poznámka: L = vľavo, R = priamo, P = vpravo
 q_L, q_R, q_P – intenzita dopravného prúdu vľavo, rovno, vpravo [j.v./h];
 q_i – intenzita dopravy na vjazde [j.v./h];
 $(\%L), (\%P)$ – podiel vozidiel využívajúci ľavý pruh (L) a pravý pruh (P). Platí: $(\%L) + (\%P) = 1,0$

Tabulka 5 Přerozdělení intenzit dopravy na dvoupruhových vjezdech do TOK [12]

2.3.5 Slovinsko

Slovinsko řeší kapacitu TOK v rámci TSPI – P.03.245. Jedná se o technickou specifikaci dopravní infrastruktury zaměřenou přímo na „okružní křižovatky se spirálovitým uspořádáním“. Tento dokument je obdoba českých technických podmínek. Rozdělení do pruhů ale opět nijak neřeší [15].

Pro výpočet kapacity TOK popisuje dva způsoby. První z nich je založený na teorii dopravních proudů, kde se předpokládá, že kapacita vjezdu závisí na intenzitách vozidel na okruhu. Pro tento způsob se využívá Bovyho a Brilonových rovnic.

Druhý způsob výpočtu kapacity je založen na teorii časových mezer, kde se sleduje interakce dvou dopravních proudů. Kapacita vjezdu se tak určuje na základě dostupných časových mezer na okružním pásu a využití těchto časových mezer dopravním proudem na vjezdu. Pro tento způsob technické specifikace doporučují využití Hagringových, Fiskových, Tannerových a Troutbeckových rovnic.

TSPI - P.03.245 také pro zjištění kapacit TOK dovoluje využít softwarové nástroje. Zmiňuje však také to, že je nutné TOK nejdříve posoudit pomocí některé z uvedených analytických metodik.

2.4 Ověřované hypotézy rozdělení do pruhů

Můžeme předpokládat, že rozdělení vozidel do jednotlivých pruhů na vjezdu do TOK se bude převážně řídit tím, který výjezd řidič potřebuje využít. Díky svislému dopravnímu značení předurčující pruh, který má řidič využít pro jednotlivé směry jízdy, se dá očekávat, že intenzity vozidel, která tato pravidla nedodrží, budou minimální a v budoucnu, kdy se tento typ křižovatky dostane více do povědomí řidičů, se budou ještě snižovat. Základní rozdělení bude tedy záviset na návrhu křižovatky.



Obrázek 6 Příklad svislého dopravního značení s předurčeným využitím pruhu z TOK Plzeň – Rondel [vlastní fotografie]

Většinou se pro nejvytíženější směr uplatňuje možnost využití obou pruhů na dvoupruhovém vjezdu. V tomto případě se dá předpokládat, že řidič bude více volit pruh pravý, pokud nebude mít důvod využít pruh levý. Jde například o následující situace:

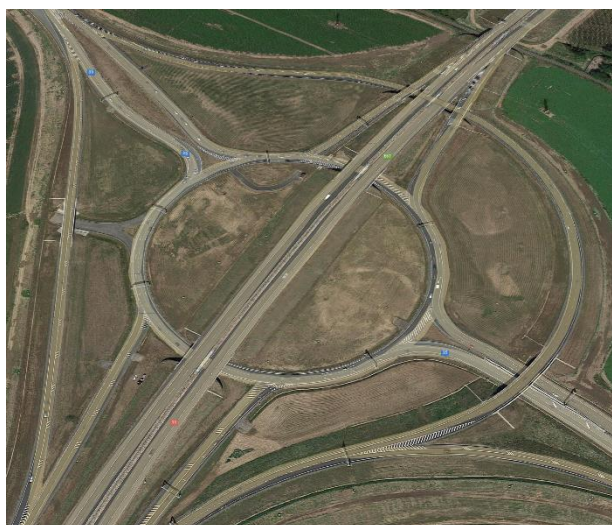
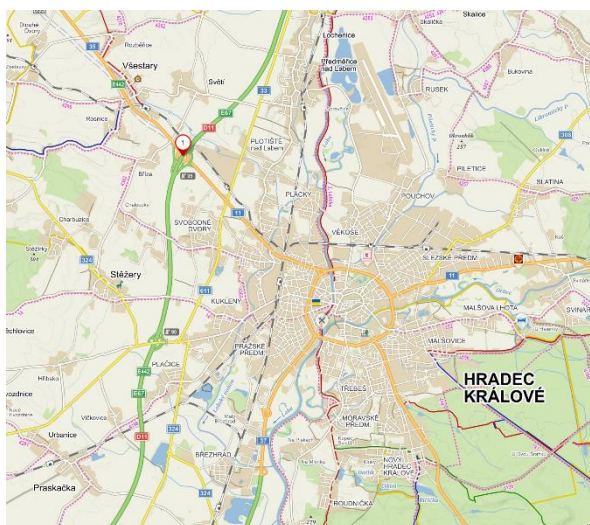
1. Intenzity na vjezdu jsou tak vysoké, že se řidiči pro rychlejší průjezd vyplácí využít pruh levý
2. Pokud před křižovatkou vzniká přídatný pruh vpravo, můžeme očekávat vyšší využívání levého průběžného pruhu, protože menší počet řidičů se rozhodne změnit pruh, pokud nemusí.
3. Při větším podílu nákladní dopravy, u které můžeme předpokládat, že bude využívat výhradně pravý pruh, se přesune opět větší část osobní dopravy do pruhu levého.

Na základě těchto předpokladů bude později navržena metodika, podle níž bude možné odhadovat rozdělení vozidel do jednotlivých pruhů.

3. Praktická část

3.1 Výběr lokalit

V rámci projektu KATUROK bylo do konce roku 2022 provedeno pět dopravních průzkumů. Osobně jsem se účastnil tří z nich. Lokality pro tyto průzkum byly vybírány ze všech TOK a dvoupruhových OK nacházejících se dnes na území České republiky. Výběr byl proveden na základě několika kritérií. Nejvíce se při výběru zohledňovaly dosahované padesátirázové intenzity na přilehlých úsecích podle Celostátního sčítání dopravy CSD 2020.



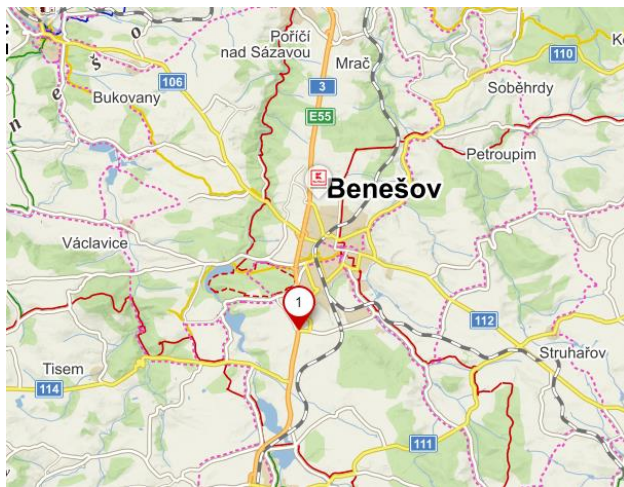
Obrázek 7 Umístění odmítnuté TOK u Hradce Králové [17] Obrázek 8 Umístění odmítnuté TOK u Hradce Králové [18]

Z toho bylo odvozeno, které TOK jsou vytížené a tím pro průzkum relevantní, a na kterých se dosahuje nižších intenzit a byly by tedy pro stanovení potřebných hodnot nevhodné. Druhým důležitým kritériem byly predispozice TOK pro natáčení. Například TOK u Hradce Králové spojující sjezd z dálnice D11 a silnici I/35 byla z průzkumu vyřazena, protože průměr okružního pásu je 230 m a uvnitř středového ostrova je umístěno násypové těleso dálnice, přes které nebylo možné TOK natočit jako celek.

3.2 Vybrané turbo okružní křižovatky

3.2.1 Benešov – TOK U Topolu

TOK nacházející se ve středočeském kraji na jihovýchod od okresního města Benešov na křížení silnic I/3 a II/110. Tato křižovatka byla uvedena do provozu v roce 2019. Jedná se o TOK hybridního typu vejce a základní TOK se 4 rameny. Podle TP 135 [4] by tato TOK měla mít předpokládanou kapacitu pohybující se mezi 2700-2800 vozidel za hodinu. Křižovatka se nachází v extravilánu.



Obrázek 7 Umístění TOK Benešov U Topolu [17]



Obrázek 10 TOK Benešov U Topolu [18]

3.2.1.1 Rameno 1

První popisovaný vjezd je na západní straně TOK. Typ napojení je 2/1, to znamená, že se jeden pruh připojuje do dvou pruhů na okruhu a řidič si může vybrat kterýkoliv z těchto dvou pruhů. Na vjezdu byly naměřeny velmi nízké intenzity dopravy. To byl také jeden z důvodů proč vjezd nebyl během průzkumu pozorován. Druhým důvodem bylo, že tento typ vjezdu nebyl pro důvod průzkumu potřebný.

3.2.1.2 Rameno 2

Druhým pozorovaným vjezdem je jižní. Přivádí do křižovatky silnici I/3 ze směru od města Tábor. Typ napojení je S/2. Tento způsob napojení můžeme popsat tak, že na vjezdu se do křižovatky připojují dva pruhy, ze kterých se pravý napojuje do průběžného pruhu na okruhu, zatímco levý pruh na vjezdu okružní pás pouze kříží a vjíždí do nově vzniklého pruhu na vnitřní straně průběžného pruhu. Průběžný pruh na vjezdu je levý a přídatný vzniká pravý. V tomto případě ale vzniká dříve než kilometr před hranicí křižovatky. Dá se tedy očekávat, i vzhledem k tomu, že se křižovatka nachází v extravilánu, že většina řidičů se včas před křižovatkou přeřadí do pravého pruhu. Z důvodu výrazně vyšších intenzit provozu ve směru do

ramene 4 je na tomto vjezdu navrženo, že pro odbočení prvním výjezdem je nutné využít pravý pruh, pro odbočení druhým výjezdem je možné vybrat si kterýkoliv pruh na vjezdu a pro využití třetího výjezdu je nutné vjíždět v levém pruhu. Tento vjezd tedy výborně posloužil pro předmět této práce.

3.2.1.3 Rameno 3

Vjezd označený jako 3 ke křižovatce přichází z východní strany a připojuje se díky němu silnice II/110. Jedná se o typ vjezdu 2/2. Dva pruhy se z vjezdu napojují do dvou pruhů na okružním pásu. Průběžný pruh je levý. Pravý pruh vzniká 60 metrů od hrany křižovatky. Při projektování byl jako hlavní směr z tohoto vjezdu zvolen na první výjezd, proto je pro tento pohyb v křižovatce možné využít oba pruhy na vjezdu. Pro použití druhého nebo třetího výjezdu je nutné vjíždět do křižovatky v levém pruhu.

3.2.1.4 Rameno 4

Severní vjezd do křižovatky, označený číslem 4, je stejně jako vjezd na rameni 2 typu S/2. Připojuje silnice I/3. Průběžný pruh je opět levý, ale na rozdíl od jižního vjezdu se zde se setkáváme s tím, že pravý pruh vzniká v blízkosti křižovatky a slouží pouze pro navýšení kapacity vjezdu. Rozšíření komunikace na dva pruhy začíná 100 metrů od hrany křižovatky. Hlavní dopravní proud je zde také přímý, a proto si může řidič pro využití druhého výjezdu vybrat z obou pruhů. Pro první výjezd se však musí zařadit do pravého pruhu a pro třetí do levého.

3.2.2 Benešov – TOK Červené Vršky

Tato křižovatka se nachází nedaleko první sledované TOK, tentokrát na severovýchodě města Benešov. Křižovatkou procházejí silnice I/3 a II/112. K dokončení stavebních prací došlo až v roce 2021. Jedná se o TOK se čtyřmi rameny. V křižovatce zároveň najdeme jeden bypass, který spojuje třetí a čtvrté rameno a tím zvyšuje kapacitu. Návrh bypassu byl pravděpodobně zkomplikován nedostatkem místa v okolí křižovatky, k odpojení tedy dochází v těsné blízkosti vjezdu a bypass tak není plně efektivní. Křižovatka se nachází v extravilánu a je na ní snižena rychlost na 70 km/h.



Obrázek 8 Umístění TOK Benešov Červené Vršky [17]



Obrázek 9 TOK Benešov Červené Vršky [18]

3.2.2.1 Rameno 1

První rameno se do křižovatky připojuje ze západní strany. Silnice II/112 ze směru od Bukovan se napojuje pomocí vjezdu typu 2/1. Nepochází zde k výběru pruhu a vjezd tedy nebyl během průzkumu pozorovaný.

3.2.2.2 Rameno 2

Jižní rameno připojuje do křižovatky silnici I/3 ze směru od Tábora. Jedná se o jeden z vytíženějších vjezdů, a proto je zde využit typ S/2. Před křižovatkou zůstává jako průběžný pruh pravý a vzniká nový pruh na levé straně. Jako hlavní dopravní proud je zvolené spojení se čtvrtým ramenem. Pro tento pohyb v křižovatce je tedy možné vybrat si z obou pruhů. Pro využití prvního výjezdu je nutné jet pravým pruhem a pro použití třetího výjezdu je nutné vjet do křižovatky levým pruhem.

3.2.2.3 Rameno 3

Třetí rameno směřující z centra města Benešov přivádí do křižovatky silnici II/112 z východní strany. Nachází se zde opět vjezd typu 2/1. Ten umožňuje řidičům cestu do prvního a druhého ramene. Do ramene číslo čtyři je možné se dostat podle značení pouze pomocí bypassu, který tato dvě ramena spojuje.

3.2.2.4 Rameno 4

Rameno, které se do křižovatky připojuje ze severní strany, přivádí silnici I/3 ze směru od Prahy. Na tomto vjezdu je opět z důvodu zvýšení kapacity použitý typ S/2. Před křižovatkou vzniká levý pruh a pravý zůstává jako průběžný. Pro žádný směr ale není možné vybírat mezi pruhy. Pravý pruh je využíván pro spojení s prvním a druhým výjezdem a levý pruh pouze se třetím výjezdem. Proto tento vjezd nebyl pro další pozorování vybrán.

3.2.3 Beroun – TOK Koněpruská

Jedná se o TOK nacházející se v jižní části okresního města Beroun. Přes tuto křižovatku prochází silnice III/11533 a je zde napojen také sjezd z dálnice D5 Beroun-centrum (km 18). Křižovatka má velmi atypický tvar a nepodobá se tedy žádné TOK z TP 135 [4]. Do křižovatky je napojeno 5 funkčních ramena a jedno, které je zatím zaslepené. Dvě z těchto ramen jsou jednosměrná, protože se jedná o sjezd a nájezd na dálnici D5. Křižovatka se nachází v intravilánu.



Obrázek 13 Umístění TOK Beroun Koněpruská [17]



Obrázek 14 TOK Beroun Koněpruská [18]

3.2.3.1 Rameno 1

První rameno napojuje do křižovatky ulici Obchodní. Tato ulice slouží výhradně k obsluze přilehlého nákupního centra. Díky tomu zde nejsou předpokládány vysoké intenzity dopravy a bylo tedy možné využít typ vjezdu 2/1. Tento typ vjezdu není pro zbytek práce důležitý a nebyl tedy pozorován.

3.2.3.2 Rameno 2

Druhé rameno je pouze výjezd z TOK. Využívá se jako nájezd na dálnici D5. Pro průzkum není nijak využitelné.

3.2.3.3 Rameno 3

Jižní rameno označené číslem 3 připojuje do křižovatky právě silnice III/11533. Tímto ramenem se do křižovatky také dostávají řidiči, kteří přijíždějí po dálnici D5 ve směru od Plzně. Zmíněný sjezd se připojuje na silnici III/11533 na opačné straně dálnice. V daném směru jsou očekávány vyšší intenzity dopravy, a proto je zde využitý vjezd typu S/2. Na okruhu jsou zde ale velmi nízké intenzity dopravy, a proto vjezd nebyl pozorován.

3.2.3.4 Rameno 4

Čtvrté rameno připojuje sjezd z dálnice D5. Napojení je provedeno pomocí vjezdu typu 2/2. Před křižovatkou vzniká pruh levý a pruh pravý zůstává průběžný. Hlavní dopravní proud je očekávaný ve směru do pátého ramene, takže celý pravý pruh je vyhrazený pouze pro tento manévr. Levý pruh je nutné použít pro cestu do druhého a třetího výjezdu. Vjezd není opět vhodný pro průzkum, protože nedává řidiči možnost výběru pruhu pro jeden z možných směrů.

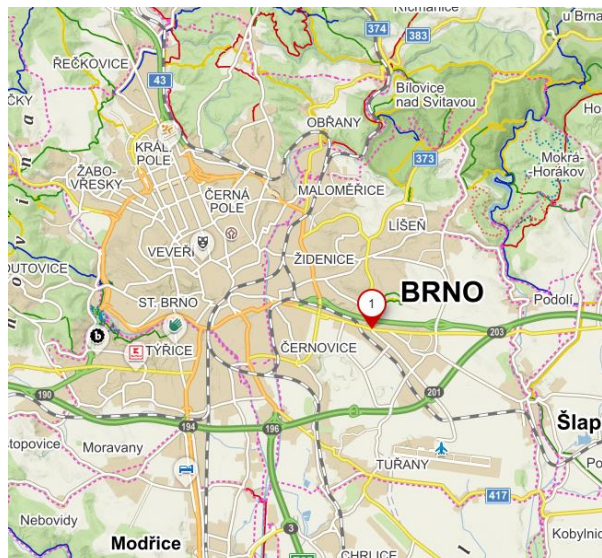
3.2.3.5 Rameno 5

Severní rameno připojující silnici III/11533 ze směru od centra města Beroun využívá typ vjezdu S/2. Připojuje tedy opět dva jízdny pruhy, které vedou souběžně už od světelně řízené křižovatky se silnicí II/605. Od této křižovatky k pozorovanému vjezdu má řidič 200 m pro výběr potřebného pruhu. Z levého pruhu je v současné době možné vyjet pouze třetím výjezdem, a to tedy do ramene č.3. Pravý pruh využívá řidič, pokud chce opustit křižovátku prvním nebo druhým výjezdem, zároveň může ale také vyjet výjezdem třetím. Pro směr z pátého do třetího ramene je tedy možné volit pruh, a proto byl tento vjezd pozorován.

3.2.4 Brno – TOK Slatina

TOK nacházející se v krajském městě Brno, přesněji v městské části Slatina. Byla vybudována na křížení silnic II/373 a II/430. 150 m severně od křižovatky se navíc do silnice II/373 připojuje sjezd z významné komunikace I/50, což ovlivňuje provoz na námi sledované křižovatce. Popisovaná brněnská TOK má 5 ramen, a proto se nepochybně nepodobá žádnému standardizovanému typu z TP 135 [4]. Do provozu byla uvedena v červnu roku 2014.

Křižovatka se nachází v intravilánu.



Obrázek 10 Umístění TOK Brno Slatina [17]



Obrázek 11 TOK Brno Slatina [18]

3.2.4.1 Rameno 1

První rameno se do křižovatky napojuje ze západní strany. Přivádí silnici II/430 ve směru od centra Brna. Pro připojení využívá typ vjezdu 2/1, takže propojuje jeden jízdní pruh na vjezdu se dvěma jízdními pruhy na okružním pásu. Vjezd tedy pro další výzkum nebyl vybrán.

3.2.4.2 Rameno 2

Rameno se připojuje od jihozápadu. Jedná se o nejnovější rameno, které bylo do křižovatky připojené až rok po jejím spuštění, a to z důvodu připojení nově vzniklé obchodní zóny. Má tedy pouze obslužnou funkci a jsou zde očekávané nižší intenzity dopravy. Proto zde byl využitý opět typ vjezdu 2/1.

3.2.4.3 Rameno 3

Třetí rameno do křižovatky přichází z jižní strany. Jedná se o jeden z nejvytíženějších vjezdů, a proto se zde využívá typ S/2. Před křižovatkou v místě, kde vzniká druhý pruh, chybí svislé i vodorovné dopravní značení, a tak je těžké rozhodnout, který z jízdních pruhů je průběžný. Podle tvarového uspořádání se přikláním spíše k tomu, že pravý pruh zůstává jako průběžný a levý vzniká v prostoru před křižovatkou jako nový. Hlavní dopravní proud vede do ramene 5, takže si pro tento pohyb v křižovatce může řidič vybrat z obou jízdních pruhů. Ostatní směry jsou rozděleny tak, že pro využití prvního výjezdu je nutné jet pravým pruhem a pro využití třetího a čtvrtého výjezdu pruhem levým.

3.2.4.4 Rameno 4

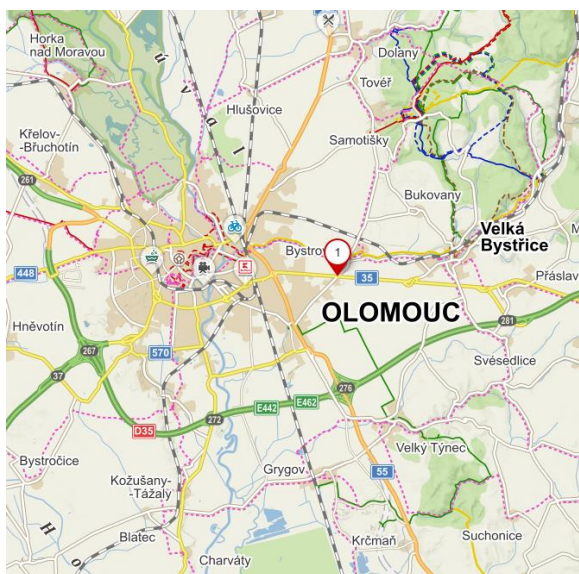
Rameno čtvrté přivádí do křižovatky silnici II/430 ze směru od Bedřichovic. Použitý vjezd je typu 2/1. Není tedy pro další zkoumání zajímavý a do průzkumu nebyl zařazen.

3.2.4.5 Rameno 5

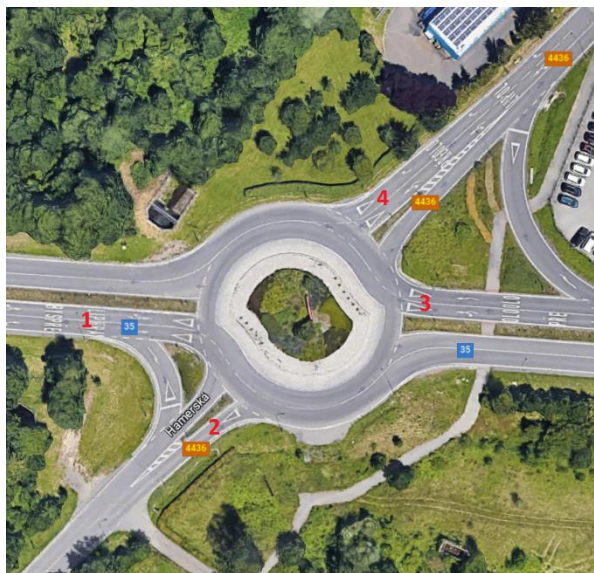
Severní rameno označené číslem 5 do křižovatky přivádí silnici II/373. Napojení je provedeno pomocí vjezdu typu S/2. Dva pruhy před křižovatkou vznikají připojením sjezdu ze silnice I/50. Tento sjezd vytvoří pruh pravý. Ke kterému se z levé strany připojí právě silnice II/373. Vozidla pak mají před křižovatkou 100 m určených k průpletu a volbě správného pruhu. Při použití pravého pruhu může řidič z křižovatky vyjet prvním, druhým a třetím výjezdem. Levý pruh pak následně směřuje do třetího a čtvrtého výjezdu. Pro cestu do ramene číslo 3 je tedy možné zvolit si libovolný jízdní pruh.

3.2.5 Olomouc – TOK Hodolany

TOK se nachází na území krajského města Olomouc, a to konkrétně na křížení silnic I/35 a III/4436. Přestavba na TOK proběhla už v roce 2010, a proto patří k nejstarším křižovatkám tohoto typu v České republice. TOK má 4 ramena a její typ je podle TP 135 [4] možné popsat jako hybridní mezi základním typem TOK a typem vejce. Odhadovaná kapacita křižovatky se pohybuje kolem 2700–2800 vozidel za hodinu. Kapacita je ještě navýšena přítomností dvou bypassů, které spojují první rameno se druhým a třetí rameno se čtvrtým. Domnívám se, že důvod těchto bypassů není pouze zkapacitnění křižovatky, ale také nevhodný úhel křížení silnic I/35 a III/4436, který je pouhých 49°. Takový ostrý úhel by způsoboval nemalé problémy při průjezdu návěsových souprav. TOK se nachází v extravilánu na území obce a proto je zde návrhová rychlost 50 km/h



Obrázek 17 Umístění TOK Olomouc Hodolany [17]



Obrázek 18 TOK Olomouc Hodolany [18]

3.2.5.1 Rameno 1

Západní rameno vede do křižovatky silnicí I/35 ve směru z centra města Olomouc. Připojení je provedeno pomocí vjezdu typu S/2. Oba dva pruhy na vjezdu jsou před křižovatkou průběžné, neboť se jedná o sběrnou komunikaci, která v tomto šířkovém uspořádání prochází skrz celé město Olomouc. Hlavní dopravní proud pokračuje přes křižovátku dál po silnici I/35 směrem k dálnici D35. To znamená, že pro cestu do třetího ramene může řidič zvolit libovolný jízdní pruh. Pro výjezd do čtvrtého ramene musí jet levým pruhem a pro cestu do ramene druhého se musí křižovatkou úplně vyhnout a využít bypass.

3.2.5.2 Rameno 2

Druhé rameno přivádí silnici III/4436 od jihozápadu. Je zde použitý typ vjezdu 2/1, a tím pádem nebyl v další části této práce rozebírán.

3.2.5.3 Rameno 3

Třetí rameno přichází z východní strany a přivádí silnici I/35 ze směru od sjezdu z dálnice D35 Práslavice (km 281). Využito je zde opět vjezdu typu S/2 s velmi podobným uspořádáním jako na rameni 1. Pravý jízdní pruh se využívá pouze pro druhý výjezd a levý pro druhý a třetí výjezd. Pro první výjezd je opět nutné využít bypass. Průběžné jízdní pruhy jsou opět oba a to konkrétně už od sjezdu z dálnice.

3.2.5.4 Rameno 4

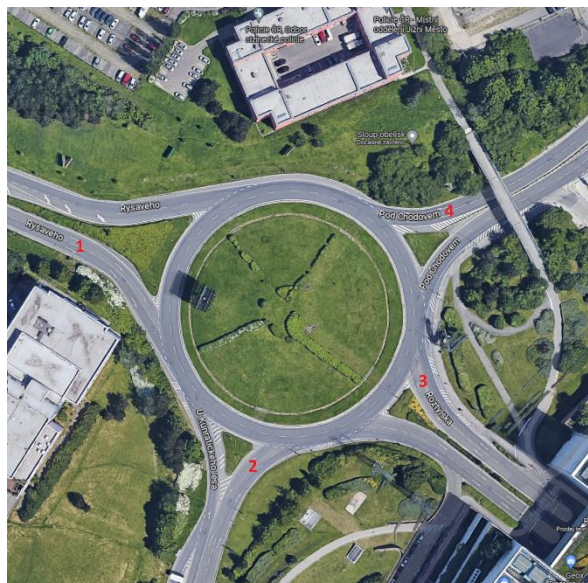
Poslední rameno přivádí do křižovatky silnici III/4436 ve směru od obce Bystrovany. V tomto směru je silnice napojena pomocí vjezdu typu 2/2, který by byl pro další zkoumání zajímavý, ale v tomto případě není pro žádný směr možné si volit mezi jízdními pruhy, a proto vjezd nebyl pozorován.

3.2.6 Praha – OK Chodov

Pro průzkum byla vybrána také jedna dvoupruhová okružní křižovatka, na které není pro žádný směr předdefinovaný jízdní pruh na vjezdu. Tato křižovatka se nachází na území hlavního města Prahy, a to konkrétně v městské části Chodov Praha 11 na křížení ulic Ryšavého a Pod Chodovem. Všechny vjezdy na této křižovatce jsou typu 2/2. Vjezd vybraný pro průzkum se nachází na rameni číslo 4 a přivádí do křižovatky právě ulici Pod Chodovem. Před vjezdem jsou oba jízdní pruhy průběžné.



Obrázek 12 Umístění OK Praha Chodov [17]



Obrázek 13 OK Praha Chodov [18]

3.2.7 Seznam sledovaných vjezdů

Na základě předešlého výběru byla sestavena Tabulka 6, ve které je přehledně vidět, které vjezdy byly vybrány pro průzkum a jejich podstatné charakteristiky, které se budou využívat pro návržení metodiky.

Poř. Č.	Název TOK	Číslo ramene	Typ vjezdu	Průběžný pruh
1	Benešov – U Topolu	2	S/2	Levý
2	Benešov – U Topolu	3	2/2	Levý
3	Benešov – U Topolu	4	S/2	Levý
4	Benešov – Červené Vršky	2	S/2	Pravý
5	Beroun – Koněpruská	5	S/2	Levý
6	Brno – Slatina	3	S/2	Pravý
7	Brno – Slatina	5	S/2	Oba
8	Olomouc – Hodolany	1	S/2	Oba
9	Olomouc – Hodolany	3	S/2	Oba
10	Praha – Chodov	4	2/2	Oba

Tabulka 6 Seznam vjezdů vybraných pro průzkum

3.3 Návrh metodiky výpočtu kapacity vjezdu

Z dopravních průzkumů jsou vyvozeny dva způsoby rozdělení vozidel do jízdních pruhů. První způsob je podobný tomu, který je používán v TP 188 [7] dnes. Nezávisí na uspořádání pruhů na vjezdu a vychází přímo z celkového rozdělení vozidel do pruhů v procentech, které vyjde jako průměr ze všech provedených průzkumů. Druhý způsob je složitější a zohledňuje uspořádání pruhů na vjezdu. Všechny vjezdy byly rozděleny do 3 kategorií podle umístění průběžného pruhu. Pro každou kategorii je na vjezdu zjištěno průměrné procentuální rozdělení vozidel, které si mohou vybrat libovolný jízdní pruh. Pro obě metody jsou navrženy reprezentativní procentuální rozdělení.

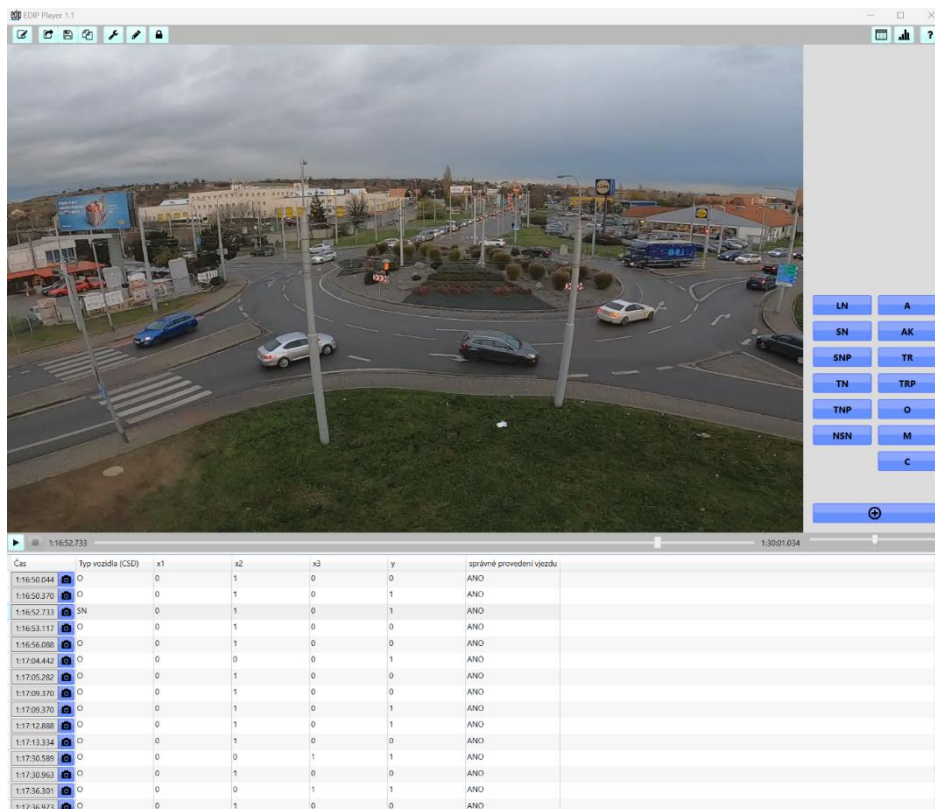
Pro výpočet kapacity vjezdu je ovšem potřeba využít jiného postupu, než se využívá pro vjezdy S/2 v TP 188 [7], protože do něj navržené procentuální rozdělení nejde zakomponovat. Proto navrhuji způsob, kdy každý pruh je vnímán jako samostatný vjezd. Pravý pruh se pak počítá podle TP 188 [7] jako vjezd typu 1/1 neboli napojení jednoho pruhu na vjezdu do jednoho pruhu na okruhu. Kapacita levého pruhu se počítá stejným způsobem, jen s využitím hodnot t_g – kritický časový odstup a t_f – následný časový odstup používaných pro typ vjezdu S/2. Při použití první metody dojde k prostému rozdělení veškerých intenzit na vjezdu do levého

a pravého jízdního pruhu. Při použití druhé metody je potřeba nejdříve podle navržených procent rozdělit intenzity vozidel s možností volby pruhu mezi levý a pravý pruh. Poté ke každému pruhu připočítat intenzity vozidel v proudech bez možnosti výběru pruhu určených z dopravního průzkumu.

3.4 Dopravní průzkumy

Průzkumy byly všechny prováděny stejným způsobem. Vytipovala se špičková hodina, ke které byl směřován průzkum trvající hodinu a půl nebo dvě hodiny. Průzkum probíhal tak, že v určenou hodinu byly v okolí křižovatky rozmístěny kamery, které kontinuálně natáčely křižovatku jako celek a zároveň jednotlivé pozorované vjezdy. Záběry z těchto kamer byly používány v projektu KATUROK i pro zpřesňování hodnot kritického a následného časového odstupu, a proto bylo v některých případech natáčeno více vjezdů, než je pro tuto práci potřeba.

Pro účely této práce byly využity převážně záběry z kamery, která zabírala křižovatku jako celek. Záběr jsem pak vyhodnotil pomocí programu EDIPPlayer, který je vytvořený jako rozšíření všem známého programu Windows Media Player. Rozšíření umožňuje zaznamenávat události a k nim potřebné informace. Jako výstup z programu slouží Excelová tabulka, ve které jsou zaznamenány veškeré události z programu EDIPPlayer s přesným časem, kdy ve videu proběhly.



Obrázek 14 Ukázka vyhodnocování v programu EDIPPlayer [vlastní fotografie]

Průzkumy byly provedeny pro každý vjezd zvlášť. Pro správné vyhodnocení průzkumů bylo potřebné získat data o každém vozidle, které využilo sledovaný vjezd. Do prvního sloupce byl zaznamenáván přesný čas vjezdu vozidla. V druhém sloupci bylo vždy zaznamenáno o jaký typ vozidla se jedná. Pro tento účel bylo vybráno 13 kategorií vozidel používaných pro CSD. Další tři sloupce určují, kterým výjezdem vozidlo křižovatku opustilo. Sloupec označený „x1“ symbolizuje první výjezd. Do tohoto sloupce se zadá číslo 1 pokud vozidlo tento využilo, anebo číslo 0 pokud po okružním pásu pokračovalo dál do jiného výjezdu. Podle stejného pravidla se vyplňují i sloupce „x2“ a „x3“ obsahující informace o druhém respektive třetím výjezdu. Mezi těmito třemi sloupci se tedy může objevit maximálně jeden, ve kterém bude číslo 1. V případě, že není číslo 1 v žádném z těchto tří sloupců znamená to, že vozidlo využilo výjezd čtvrtý. Do této skupiny se také započítají vozidla, která se vrací do stejného ramene, kterým do křižovatky vjela, protože se jedná o zanedbatelné množství. Další sloupec s označením „y“ symbolizuje jízdní pruh, který řidič na vjezdu využil. V případě, že do křižovatky vjede pravým pruhem, do sloupce se zapíše 0 a v případě, že použije pruh levý, do tabulky se zapíše číslo 1. Poslední sloupec vyhodnocuje, zda řidič provedl vjezd do křižovatky v souladu s pravidly silničního provozu. Nejčastější prohřešek byl, že řidič vjížděl do křižovatky pravým jízdním pruhem a navzdory svislému i vodorovnému dopravnímu značení, které ho vedlo do pravého jízdního pruhu na okružním pásu vjel rovnou do pruhu levého.

3.4.1 Benešov – TOK U Topolu

Datum, čas: 4.11.2022 pátek, 13:40 – 15:10

Počasí: Během celého průzkumu bylo kompletně zataženo a pršelo. Teplota se pohybovala kolem 9°C.



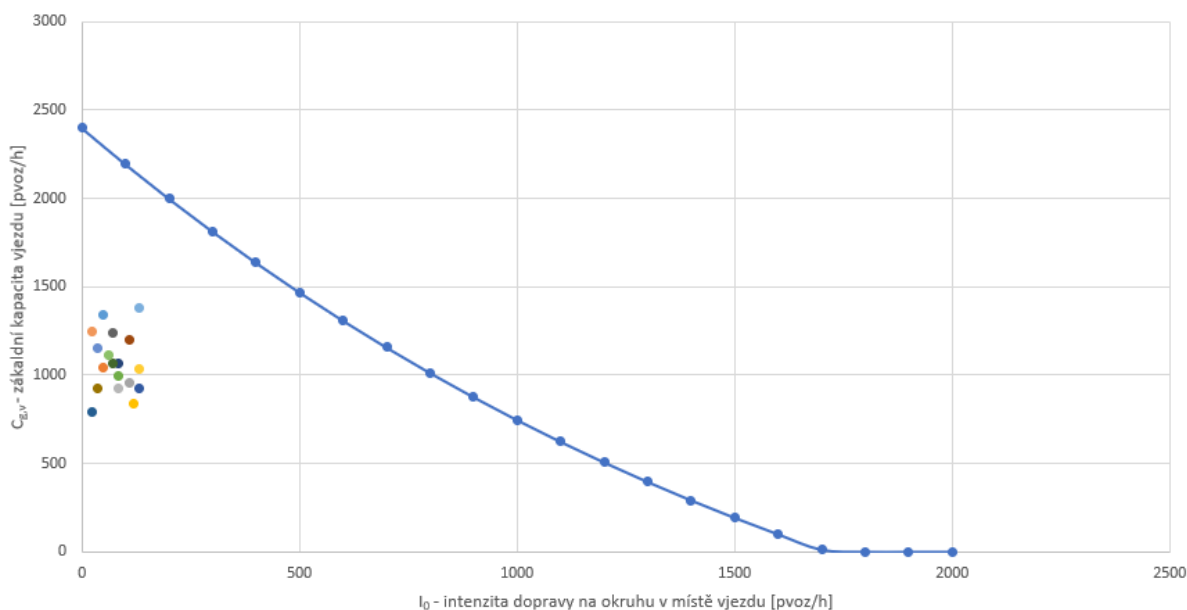
Obrázek 15 Fotografie stanoviště [vlastní fotografie]

Stanoviště kamery na fotografii bylo umístěno mezi rameny číslo 3 a 4. Na tomto stanovišti byla pouze jedna kamera, která zabírala křižovatku jako celek. Druhé stanoviště se nacházelo na středovém ostrovu křižovatky, kde byly 3 kamery a každá detailně natáčela jeden z pozorovaných vjezdů číslo 2, 3 a 4.

Průzkum nebyl ovlivněn žádnou mimořádnou událostí. Na výsledky mělo negativní vliv pouze počasí. Během celého průzkumu intenzivně pršelo. Déšť patrně ovlivnil rychlost a celkové chování řidičů na TOK.

3.4.1.1 Výsledné hodnoty – rameno 2

Pro popsání charakteru vjezdu byl vytvořen graf znázorňující vztah kapacity posuzovaného vjezdu a intenzit na TOK. Kapacita byla vypočítána dle stávající metodiky obsažené v TP 188 [7]. Hodinové hodnoty zanesené v grafu byly vypočítány přenásobením intenzit z pětiminutových intervalů. V grafu jsou hodnoty znázorněny barevnými body a porovnány s teoretickou hranicí kapacity v závislosti na intenzitách na vjezdu a okruhu



Graf 2 Vztah kapacity vjezdu a intenzit na okruhu

vycházejících z TP 188 [7]. Tento poměr je v grafu reprezentován modrou křivkou. Z porovnání plyne, že na posuzovaném vjezdu nebyla zdaleka dosažena kapacita. Naměřené intenzity vjezdu jsou relativně vysoké, ale kvůli velmi nízkým intenzitám na okruhu není šance dosáhnout na mezní hranici.

Pro stanovení intenzit dopravy v Grafu 2 byla zohledněna skladba dopravního proudu přepočtením koeficientem podle typu vozidla na tzv. pvoz/h (přepočtená vozidla / h). Hodnoty koeficientu znázorňuje Tabulka 7.

Osobní vozidla ^{a)}	Nákladní vozidla, autobusy ^{b)}	Nákladní soupravy, kloubové autobusy	Motocykly	Jízdní kola
1,0	2,0	3,0	0,8	0,5
a) Včetně nákladních vozidel do 3,5 t celkové hmotnosti.				
b) Nákladní vozidla nad 3,5 t celkové hmotnosti mimo nákladní soupravy a autobusy mimo kloubové autobusy.				

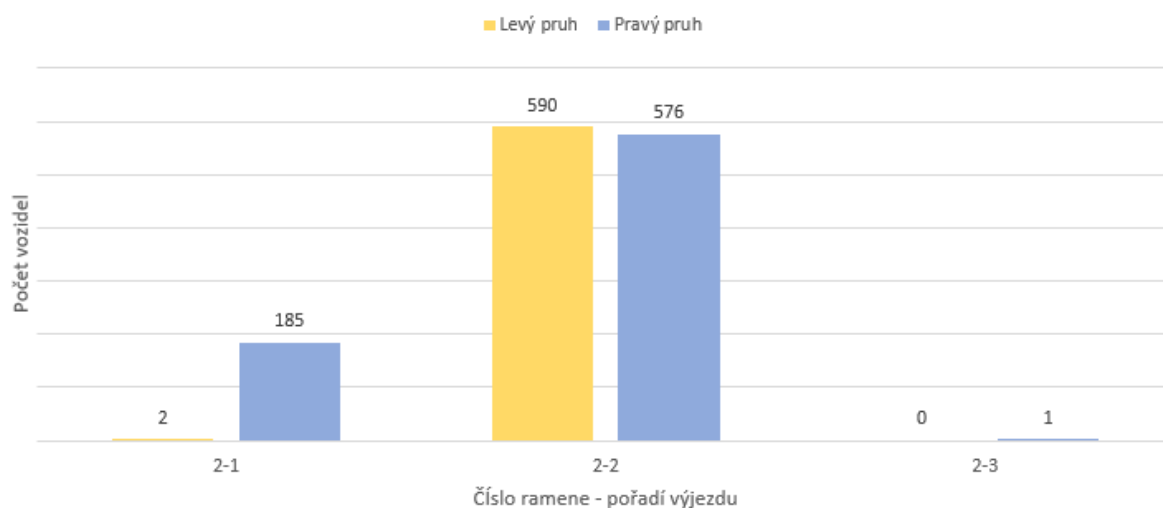
Tabulka 7 Hodnoty přepočtových koeficientů skladby dopravního proudu pro okružní křižovatky [7]

V následující tabulce jsou zaznamenány počty projíždějících vozidel, rozdělených podle druhu, za dobu měření v jednotlivých proudech. Proudy jsou značeny podle čísla ramene, pruhu a pořadí výjezdu. Například 2P-1 znamená, že vozidlo vjíždí do křižovatky ramenem číslo 2 v pravém pruhu a opouští křižovatku prvním výjezdem.

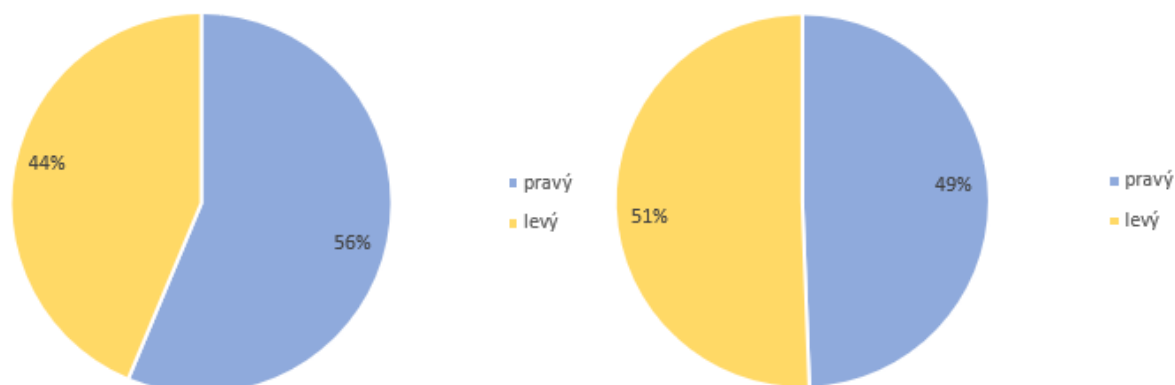
Vozidla dle CSD	O	LN	M	C	SN	SNP	TN	TNP	NSN	A	AK	T	Celkem	Celkem v pruzích	Pruh
	Proudy														
2P-1	134	25	0	0	6	0	3	1	7	9	0	0	185	762	Pravý
2P-2	386	58	0	0	30	13	6	1	78	3	0	1	576		
2P-3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1		
2L-1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	592	Levý
2L-2	543	41	0	0	4	0	0	0	1	1	0	0	590		
2L-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
celkem													1354		

Tabulka 8 Zaznamenané počty vozidel na vjezdu z ramene 2, TOK Benešov U Topolu

Z Tabulky 8 vyplývají hodnoty, ze kterých bude následně stanovena metodika pro rozdělení intenzit do jednotlivých pruhů. Pro jednodušší určení těchto hodnot byly vytvořeny následující grafy procentuálního rozdělení vozidel do levého a pravého pruhu s možností i bez možnosti volby pruhu.



Graf 3 Počty vozidel podle využitého pruhu a vjezdu



Graf 4 Procentuální rozdělení všech vozidel do pruhů na vjezdu

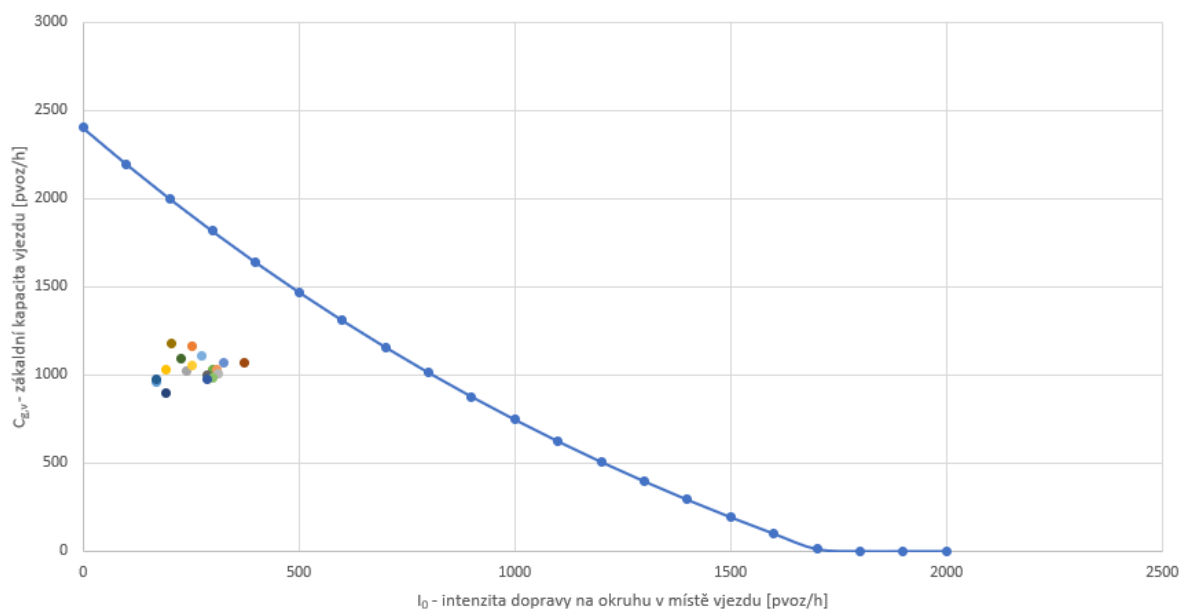
Graf 5 Procentuální rozdělení vozidel s možností výběru do pruhů na vjezdu

3.4.1.2 Výsledné hodnoty – rameno 3

Z vyhodnocení výsledků měření na rameni 3 vyplynulo, že všechna projíždějící vozidla s možností volby pruhu na vjezdu využila pouze pruh pravý. Výsledky na tomto rameni tedy nejsou relevantní a vjezd byl z dalšího posuzování vyřazen.

3.4.1.3 Výsledné hodnoty – rameno 4

První graf znázorňuje vztah kapacity posuzovaného vjezdu, která vychází z výpočtu dle TP 188 [7], a intenzit na TOK. Data byla získána z pětiminutových intervalů, které byly přenásobeny na hodinové v přepočtených hodnotách pvoz/h. V grafu je vidět porovnání těchto hodnot vykreslených barevnými body s výpočtem maximálních poměrů vycházejících z TP 188 [7] – modrá křivka. Oproti vjezdu na rameni 2 jsou zde vidět vyšší intenzity na okružním pásu, stále se ale pětiminutové intervaly nedostaly na hranici poměru kapacity a intenzity.



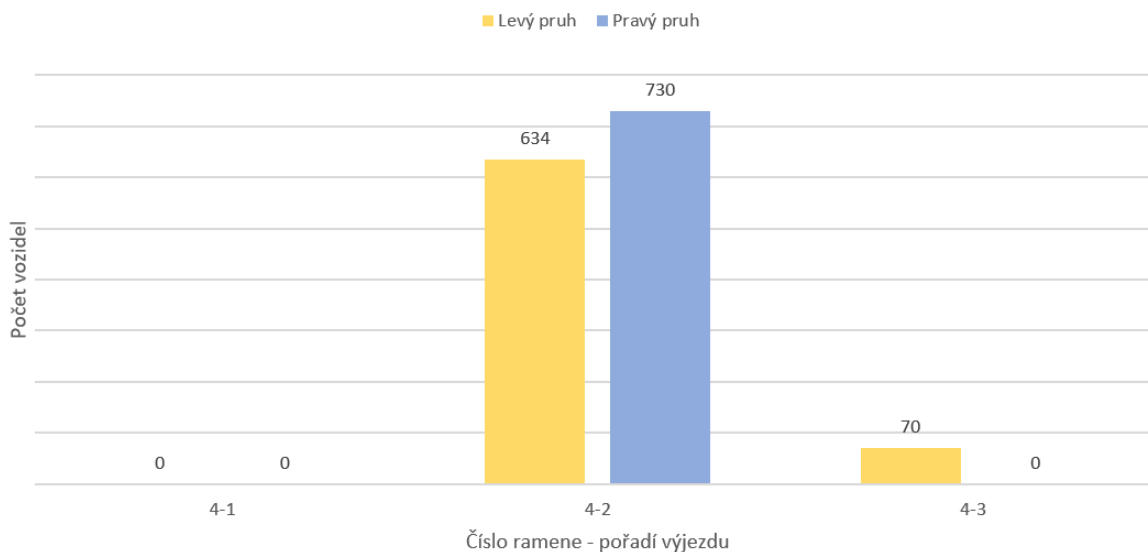
Graf 6 Vztah kapacity vjezdu a intenzit na okruhu

V Tabulce 9 jsou zaznamenány počty projíždějících vozidel za dobu měření v jednotlivých proudech.

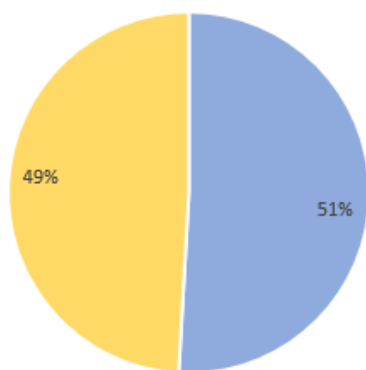
Vozidla dle CSD	O	LN	M	C	SN	SNP	TN	TNP	NSN	A	AK	T	Celkem	Celkem v pruzích	Pruh
	Proudy														
4P-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	730	Pravý
4P-2	590	77	0	0	16	5	2	0	37	3	0	0	730		
4P-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
4L-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	704	Levý
4L-2	607	24	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	634		
4L-3	49	10	0	0	1	0	7	0	3	0	0	0	0		
celkem													1434		

Tabulka 9 Zaznamenané počty vozidel na vjezdu z ramene 4, TOK Benešov U Topolu

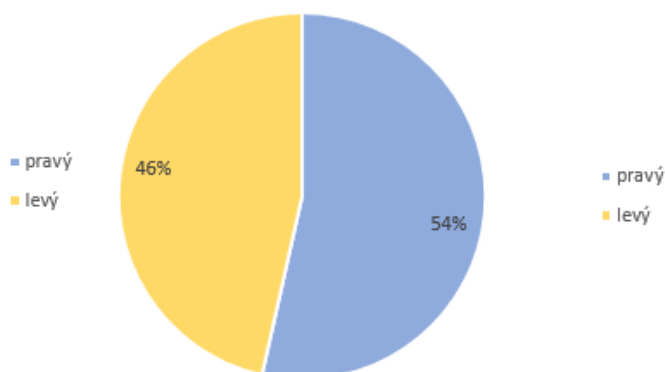
Z Tabulky 9 vyplývají požadované hodnoty procentuálního rozdělení vozidel do levého a pravého pruhu s možností i bez možnosti volby pruhu. Tyto hodnoty jsou znázorněny v následujících grafech.



Graf 7 Počty vozidel podle využitého pruhu a výjezdu



Graf 8 Procentuální rozdělení všech vozidel do pruhů na vjezdu



Graf 9 Procentuální rozdělení vozidel s možností výběru do pruhů na vjezdu

3.4.2 Benešov – TOK Červené Vršky

Datum, čas: 5.5.2023 pátek, 14:00 – 15:30

Počasí: Během celého průzkumu bylo skoro jasno a teplota se pohybovala kolem 21°C.

Stanoviště kamer na fotografii bylo umístěno uvnitř středového ostrova. Bylo zde využito tří kamer, ze kterých každá detailně zabírala jeden z vjezdů. Jediný vjezd z ramene 1 nebyl zaznamenáván. Druhé stanoviště kamer bylo mezi rameny 3 a 4, byly zde umístěny dvě kamery, které obě natáčely TOK jako celek.

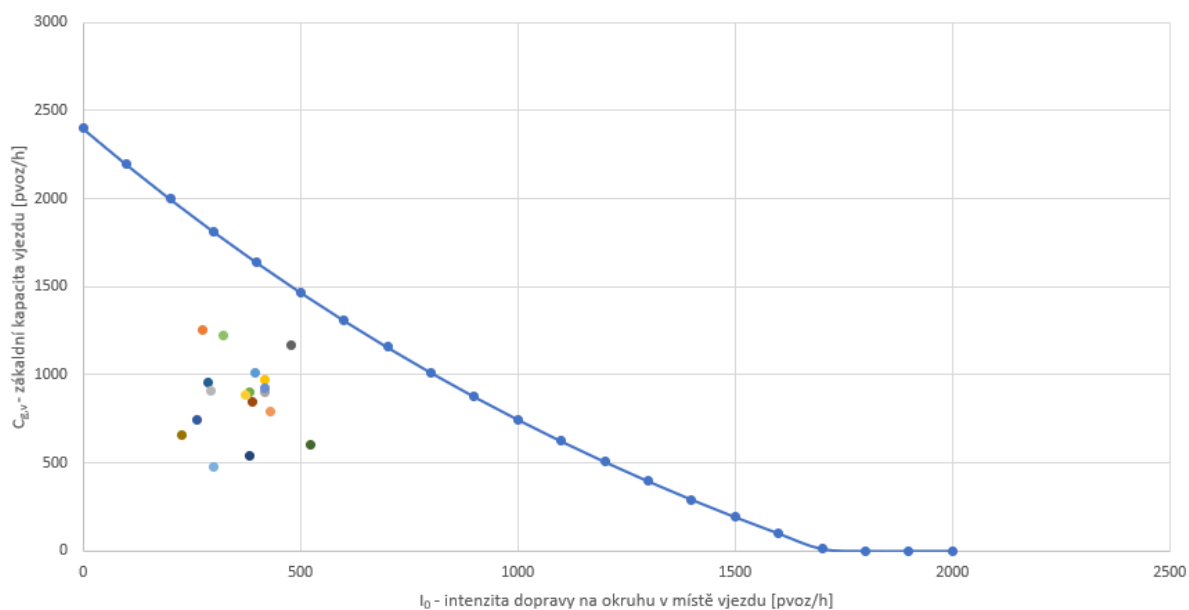


Obrázek 16 Fotografie stanoviště [vlastní fotografie]

Průzkum nebyl ovlivněn žádnou mimořádnou událostí. Ve směru z ramene 4 do ramene 2 došlo ke kompletní kongesci dopravy, ta ale nijak neovlivnila provoz na sledovaném vjezdu z ramene 2.

3.4.2.1 Výsledné hodnoty – rameno 2

V následujícím grafu číslo 10 je zobrazen vztah kapacity vjezdu z ramene 2 a intenzit na okruhu. Hodnoty jsou opět získány z pětiminutových intervalů a převedeny na jednotky pvoz/h. Zaznamenaný vjezd zobrazuje velký rozptyl výsledků, který byl způsobený nárazovým charakterem dopravy. Jeden z pětiminutových intervalů se už přibližuje k mezní hranici, ale obecně se dá o tomto vjezdu tvrdit, že nebyl příliš zatížený.



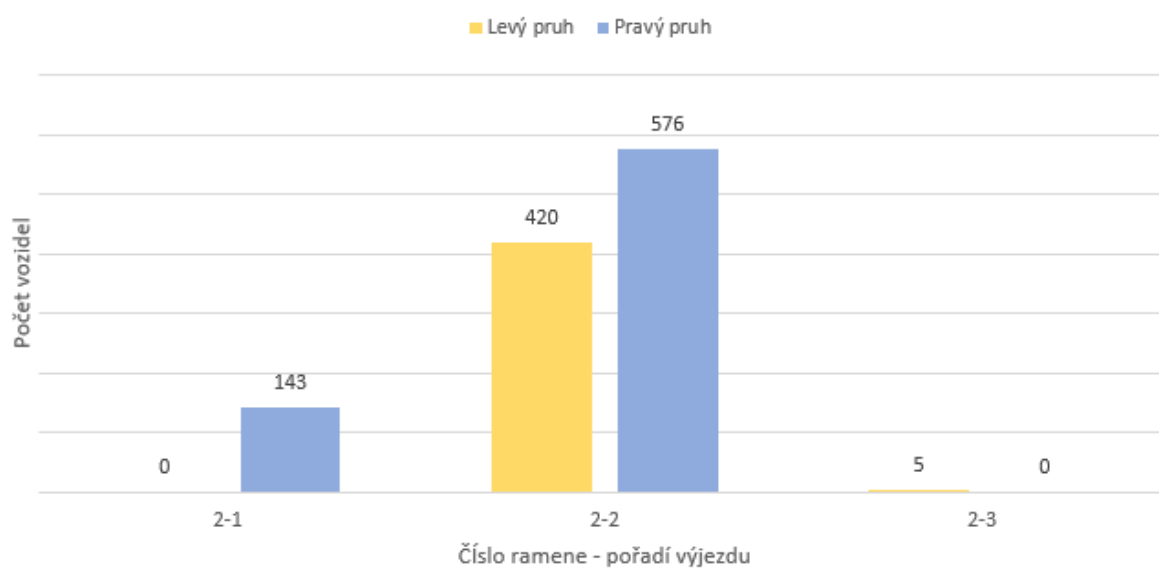
Graf 10 Vztah kapacity vjezdu a intenzit na okruhu

V Tabulce 10 jsou zaznamenány počty projíždějících vozidel za dobu měření v jednotlivých proudech.

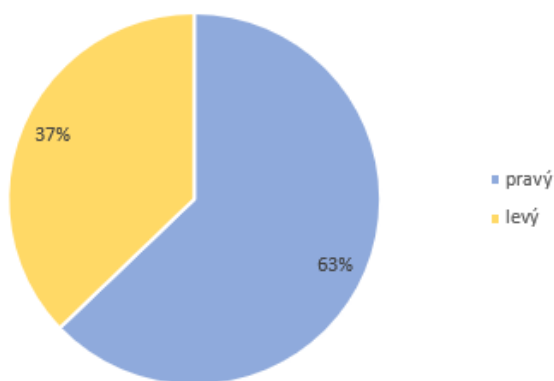
Vozidla dle CSD	O	LN	M	C	SN	SNP	TN	TNP	NSN	A	AK	T	Celkem	Celkem v pruzích	Pruh
	Proudy														
2P-1	128	11	1	0	3	0	0	0	0	0	0	0	143	719	Pravý
2P-2	387	84	8	0	21	1	5	2	67	1	0	0	576		
2P-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
2L-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	425	Levý
2L-2	342	61	13	0	3	0	0	0	0	1	0	0	420		
2L-3	3	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	5		
celkem													1144		

Tabulka 10 Zaznamenané počty vozidel na vjezdu z ramene 2, TOK Benešov Červené Vršky

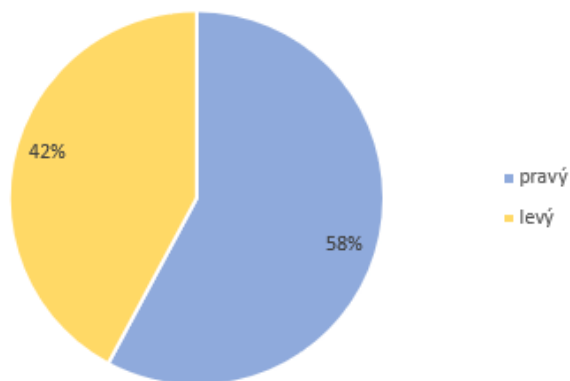
V následujících grafech jsou zvýrazněny hodnoty procentuálního rozdělení do jízdních pruhu s možností i bez možnosti volby, které vyplývají z tabulky 10.



Graf 11 Počty vozidel podle využitého pruhu a výjezdu



Graf 12 Procentuální rozdělení všech vozidel do pruhů na vjezdu



Graf 13 Procentuální rozdělení vozidel s možností výběru do pruhů na vjezdu

3.4.3 Beroun – TOK Koněpruská

Datum, čas: 21.10.2022 pátek, 14:00 – 16:00

Počasí: Během celého průzkumu bylo zataženo a po půl hodině natáčení se rozpršelo. Teplota se pohybovala okolo 12°C.

Pro natočení této křižovatky bylo využito třech kamer. Dvě z nich byly pro větší přehlednost umístěny na vyvýšené místo násypového tělesa přilehlé dálnice D5 mezi rameny 2 a 3. Třetí kamera zabírala křižovatku jako celek, byla umístěna na parkoviště čerpací stanice mezi rameny 1 a 2.



Obrázek 17 Umístění kamer mezi rameny 2 a 3 [vlastní fotografie]

Průzkum nebyl ovlivněn mimořádnou událostí.

3.4.3.1 Výsledné hodnoty – rameno 5

Po vyhodnocení videozáznamu z ramene 5 byla křižovatka z dalšího zkoumání vyřazena, neboť velké množství řidičů projelo touto křižovatkou nesprávně. Docházelo zde k přejíždění mezi pruhy a nedodržování proudů předepsaných svislým dopravním značením. Tyto špatné průjezdy by negativním způsobem ovlivnily výsledek práce, a tak nešlo hodnoty

započítat. Hlavními důvody takového konání řidičů je absence fyzického oddělení jízdních pruhů na okružním pásu, nevhodné vodorovné značení před vjezdem do křižovatky a tvar křižovatky, který připomíná spíše elipsu než kruh a svádí řidiče k přímému průjezdu křižovatkou s využitím obou pruhů okružního pásu.

3.4.4 Brno – TOK Slatina

Datum, čas: 21. 11. 2022, pondělí, 14:00 – 15:30

Počasí: Během celého průzkumu bylo zataženo s občasnými mírnými přeháňkami a teplota se pohybovala kolem 4 °C.

Stanoviště kamer zabírající celou křižovátku bylo umístěno na vysokozdvizné plošině mezi rameny 1 a 2. Na plošině byla navíc umístěna jedna kamera, které zabírala detailně vjezd z ramene číslo 3. Druhé stanoviště kamer bylo umístěno uvnitř středového ostrova. Na něm byla umístěna jedna kamera a ta zabírala severní vjezd z ramene 5.



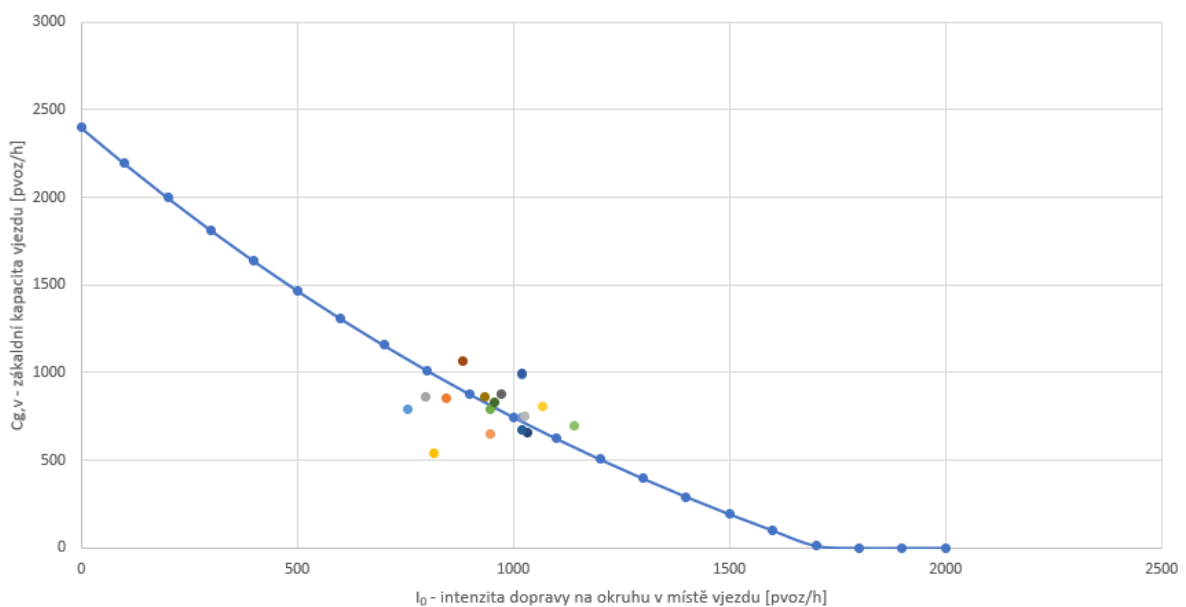
Obrázek 18 Stanoviště kamery na vysokozdvizné plošině [vlastní fotografie]

Průzkum nebyl ovlivněn žádnou mimořádnou událostí. Během průzkumu bylo zaznamenáno několik zajímavostí, které definovaly charakter dopravy na sledované TOK. První z nich je, že v přímé blízkosti křižovatky se nachází autobusové a trolejbusové depo. Zároveň přes křižovátku vedou čtyři pravidelné linky městské hromadné dopravy. To způsobuje častější výskyt tohoto typu vozidel. Další poznatek byl zjištěn na základě výsledků vjezdu z ramene 3. Byly zde zjištěny velmi nízké intenzity vozidel ve směru do ramene 4 a většina z těchto málo vozidel byly návěsové soupravy. Po bližším prozkoumání místa bylo zjištěno, že se před křižovatkou nachází spojení těchto dvou ramen, a to pomocí obslužné komunikace určené pro vjezd do areálu supermarketu. Tato komunikace má dlážděný kryt tvořený z takzvané „zámkové dlažby“. Nedá se tedy předpokládat, že by tudy jezdily návěsové

soupravy, ale osobní vozidla a lehká nákladní vozidla se tímto spojením pravděpodobně TOK vyhybají. Zároveň ve sledované TOK chybí fyzické oddělení pruhů.

3.4.4.1 Výsledné hodnoty – rameno 3

V prvním grafu je opět zobrazen vztah intenzity dopravy na okruhu a kapacity vjezdu. Sestaven je z pětiminutových intervalů přepočítaných na pvoz/h. Z grafu lze vyčíst, že kapacita vjezdu byla v polovině případů dokonce přesažena. Tento vjezd vyšel z průzkumu jako nejvíce zatížený. Takto vysoké hodnoty byly způsobeny hlavně vysokými intenzitami na okružním pásu. Tento fakt byl patrný již z videa při vyhodnocování, kde bylo vidět, že se na tomto vjezdu tvoří fronty.



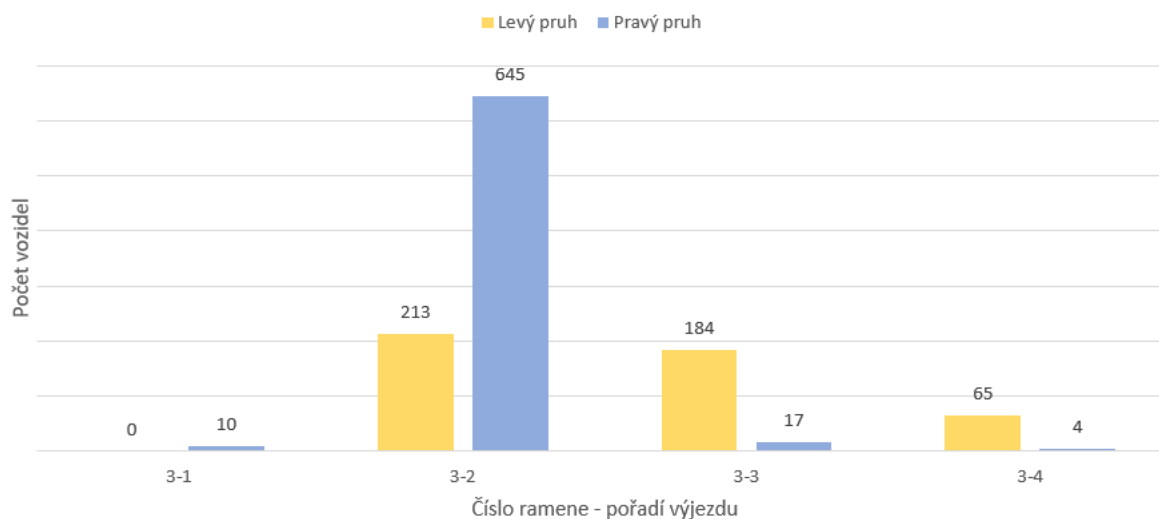
Graf 14 Vztah kapacity vjezdu a intenzit na okruhu

Druhým výstupem z měření je tabulka, která zobrazuje počty projíždějících vozidel v době měření rozdělených do jednotlivých proudů. Z tabulky je poznat zejména vyšší výskyt autobusů a kloubových autobusů. Pozorovat zde můžeme také nízké počty nákladních automobilů, a to z důvodu, že se křižovatka nachází ve městě.

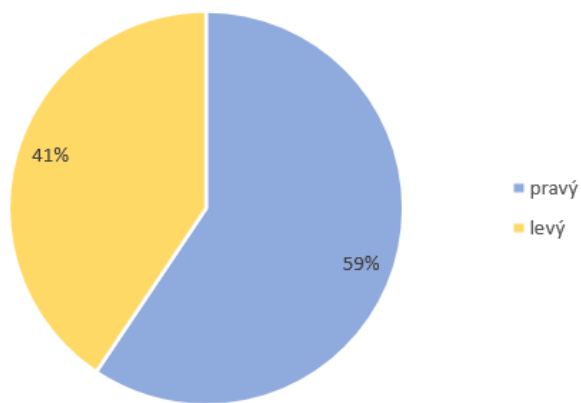
Vozidla dle CSD	O	LN	M	C	SN	SNP	TN	TNP	NSN	A	AK	T	Celkem	Celkem v pruzích	Pruh
	Proudy														
3P-1	6	1	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	10	676	Pravý
3P-2	565	49	0	0	9	0	7	2	10	3	0	0	645		
3P-3	15	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17		
3P-4	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4		
3L-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	462	Levý
3L-2	200	12	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	213		
3L-3	143	24	2	0	3	1	0	0	0	11	0	0	184		
3L-4	60	4	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	65		
celkem													1138		

Tabulka 11 Zaznamenané počty vozidel na vjezdu z ramene 3, TOK Brno Slatina

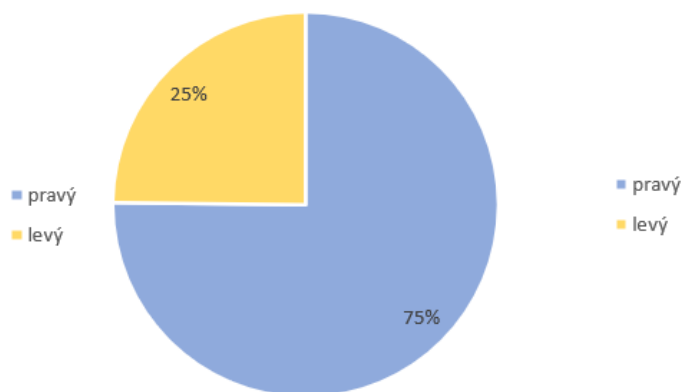
Z předchozí tabulky jsou odvozeny následující grafy. Lze z nich lépe vyčíst rozložení provozu do jednotlivých proudů. Grafy budou později využity k finálnímu návrhu metodiky pro rozdělení vozidel do jízdnic pruhů.



Graf 15 Počty vozidel podle využitého pruhu a výjezdu



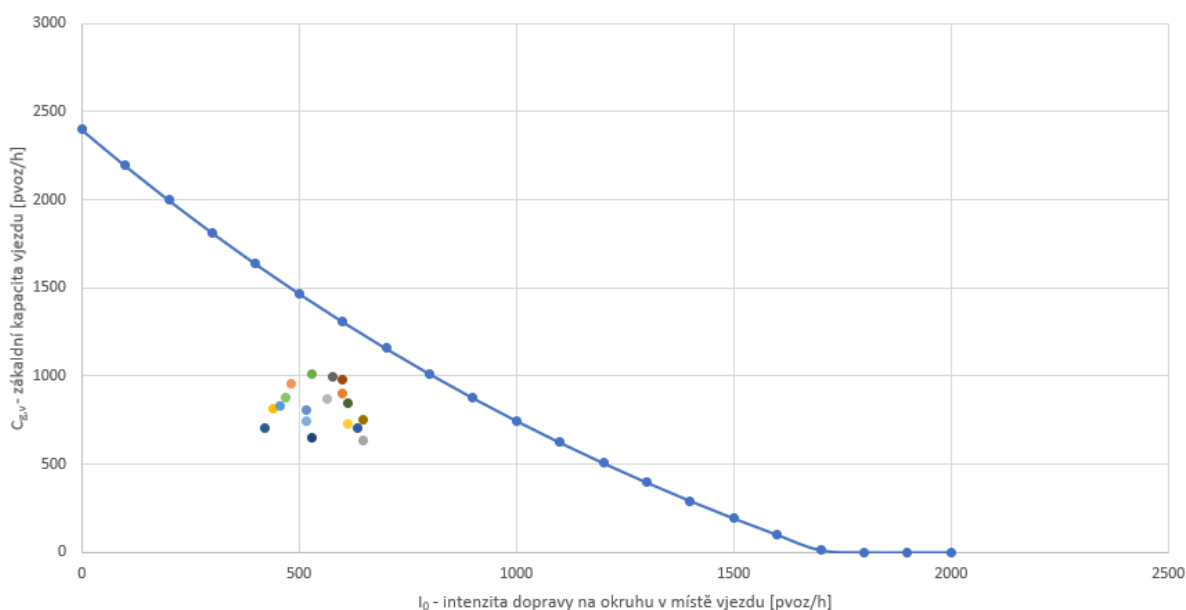
Graf 16 Procentuální rozdělení všech vozidel do pruhů na vjezdu



Graf 17 Procentuální rozdělení vozidel s možností výběru do pruhů na vjezdu

3.4.4.2 Výsledné hodnoty – rameno 5

Graf 18 zobrazuje vztah kapacity vjezdu a intenzity na okruhu vztažený na rameno 5. Hodnoty pro tento graf byly získány stejným způsobem jako v minulých případech a byly opět přepočítány na pvoz/h. Z grafu je vidět, že oproti vjezdu z ramene 3 zde není plně využita kapacita.



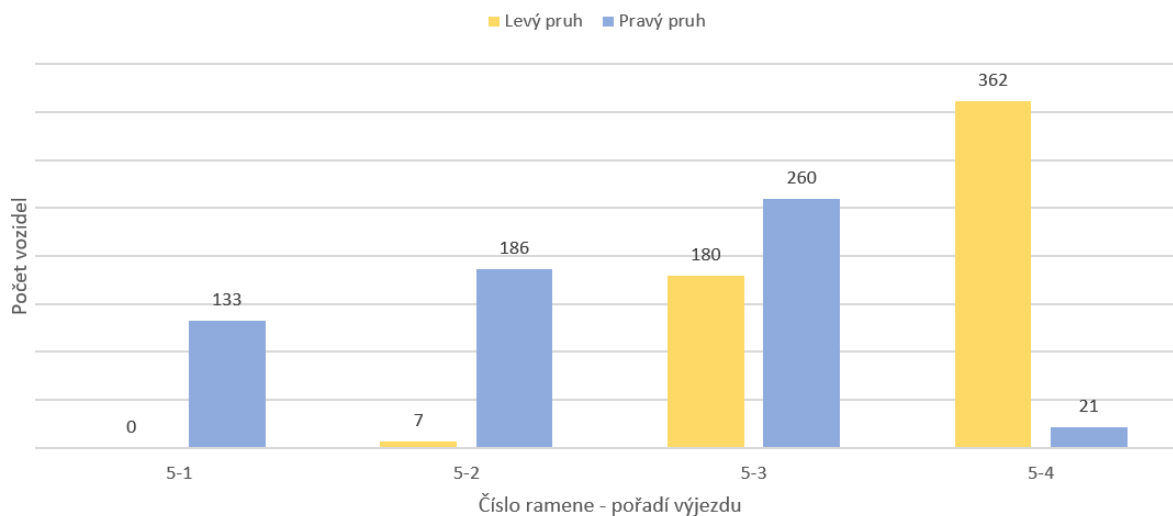
Graf 18 Vztah kapacity vjezdu a intenzit na okruhu

Dále byla zpracována tabulka vyjadřující počty vozidel vjíždějící do křižovatky právě pátým ramenem v době průzkumu. Rozdělena byla podle jednotlivých proudů a podle typu vozidel.

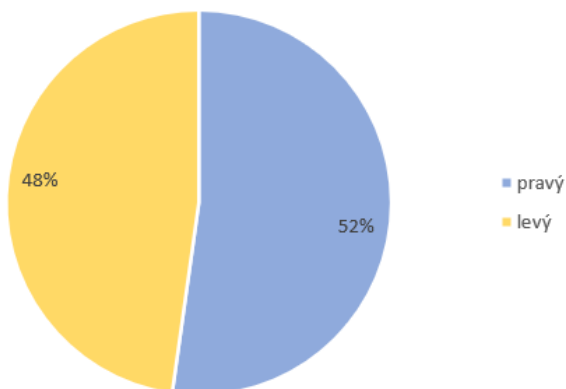
Vozidla dle CSD	O	LN	M	C	SN	SNP	TN	TNP	NSN	A	AK	T	Celkem	Celkem v pruzích	Pruh
	Proudy														
5P-1	110	14	0	0	7	0	0	0	2	0	0	0	133	600	Pravý
5P-2	173	11	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	186		
5P-3	205	25	0	2	10	0	4	0	8	4	2	0	260		
5P-4	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21		
5L-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	549	Levý
5L-2	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7		
5L-3	151	20	0	0	3	0	2	1	3	0	0	0	180		
5L-4	308	23	3	2	1	0	0	0	1	24	0	0	362		
celkem													1149		

Tabulka 12 Zaznamenané počty vozidel na vjezdu z ramene 5, TOK Brno Slatina

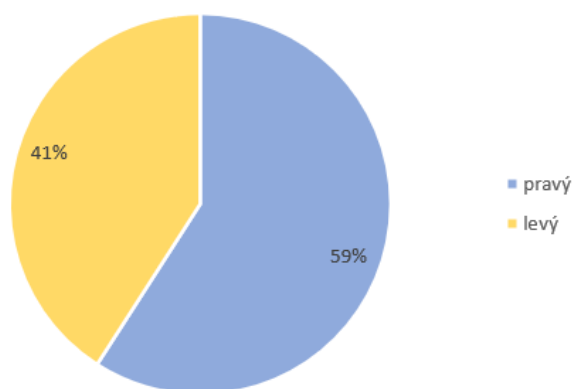
V následujících grafech jsou zvýrazněny hodnoty procentuálního rozdělení do jízdních pruhu s možností i bez možnosti volby, které jsou odvozeny z tabulky 12.



Graf 19 Počty vozidel podle využitého pruhu a vjezdu



Graf 20 Procentuální rozdělení všech vozidel do pruhů na vjezdu



Graf 21 Procentuální rozdělení vozidel s možností výběru do pruhů na vjezdu

3.4.5 Olomouc – TOK Hodolany

Datum, čas: 14. 11. 2022, pondělí, 14:00 – 15:30

Počasí: Během celého průzkumu bylo jasno a teplota se pohybovala kolem 8 °C.

Pro natočení této křižovatky byly zvoleny dvě stanoviště pro kamery podobně jako u TOK Brno – Slanina. První stanoviště bylo na vysokozdvizné plošině, která byla umístěna mezi rameny číslo 1 a 2. Na tomto stanovišti byly dvě kamery, ze kterých jedna zabírala křižovatku jako celek a druhá vjezd z prvního ramene. Druhé stanoviště bylo umístěno opět uvnitř středového ostrova. Na něm se nacházely dvě kamery, které zabíraly detailně vjezd z ramene 3 a z ramene 4.



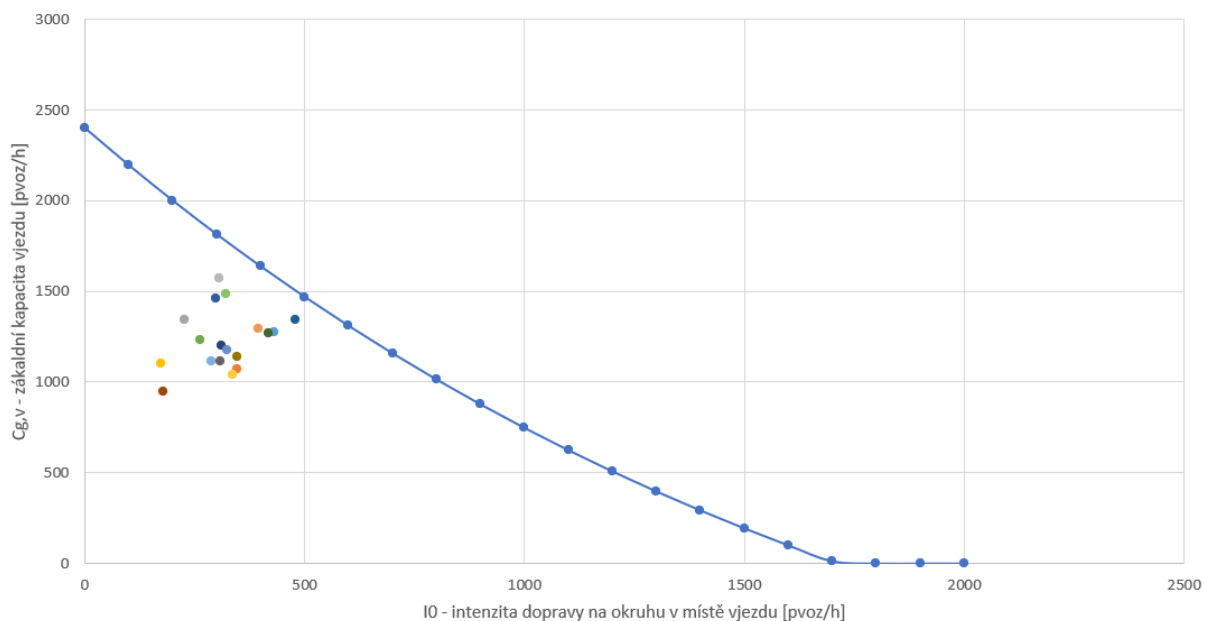
Obrázek 19 První stanoviště umístěné na vysokozdvizné plošině [vlastní fotografie]

Průzkum nebyl ovlivněn žádnou mimořádnou událostí. Na křižovatce je ale poznat, že byla stavěna v době, kdy v ČR ještě nebylo o TOK takové povědomí. Vodorovné dopravní značení uvnitř křižovatky je provedené špatně a svádí řidiče, aby při jízdě po okruhu přešli do

levého pruhu nově vznikajícího v místě spirálovitého vjezdu. Zároveň zde úplně chybí fyzické oddělení jízdních pruhů na okružním pásu.

3.4.5.1 Výsledné hodnoty – rameno 1

V první grafu pro toto rameno najdeme vztah kapacity vjezdu a intenzity dopravy na okruhu. Hodnoty vychází z pětiminutových intervalů přenásobených na pvoz/h. Z grafu lze vyčíst, že na vjezdu bylo dosahováno vysokých intenzit, ale kvůli nízkým intenzitám na okruhu v místě zkoumaného vjezdu kapacita opět nebyla dosažena.



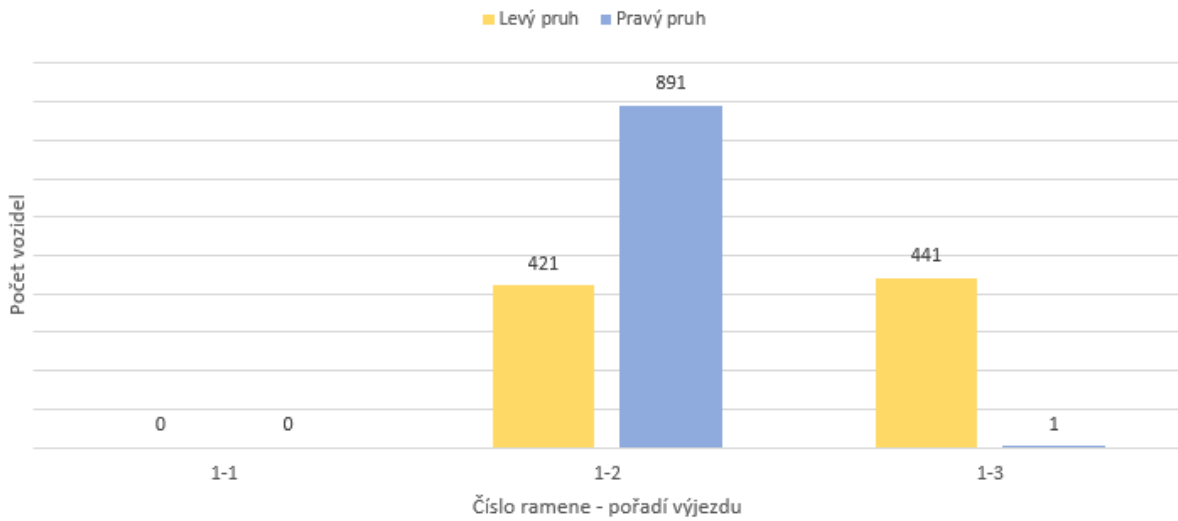
Graf 22 Vztah kapacity vjezdu a intenzit na okruhu

Zároveň byly vyhodnoceny počty vozidel, která využila sledovaný vjezd v době průzkumu. V Tabulce 13 byly tyto záznamy rozděleny podle typu vozidla a proudu.

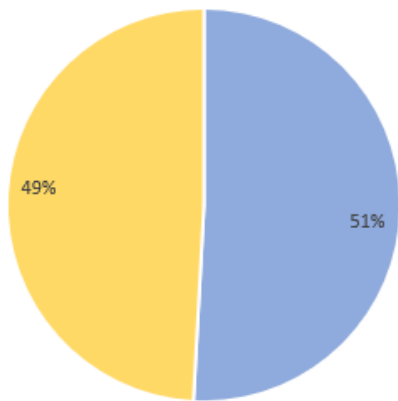
Vozidla dle CSD	O	LN	M	C	SN	SNP	TN	TNP	NSN	A	AK	T	Celkem	Celkem v pruzích	Pruh
	Proudy														
1P-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	892	Pravý
1P-2	776	56	6	0	14	2	8	3	17	9	0	0	891		
1P-3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1		
1L-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	862	Levý
1L-2	395	24	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	421		
1L-3	403	18	1	0	7	0	1	2	6	3	0	0	441		
celkem													1754		

Tabulka 13 Zaznamenané počty vozidel na vjezdu z ramene 1, TOK Olomouc Hodolany

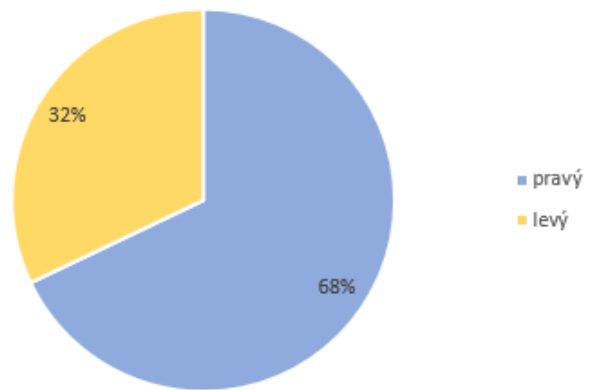
Hodnoty z této tabulky jsou detailněji zobrazeny v následujících grafech. Popisují rozdělení vozidel do pruhů pro výjezdy s možností výběru, ale i celkové rozdělení vozidel do jednotlivých jízdnic pruhů.



Graf 23 Počty vozidel podle využitého pruhu a výjezdu



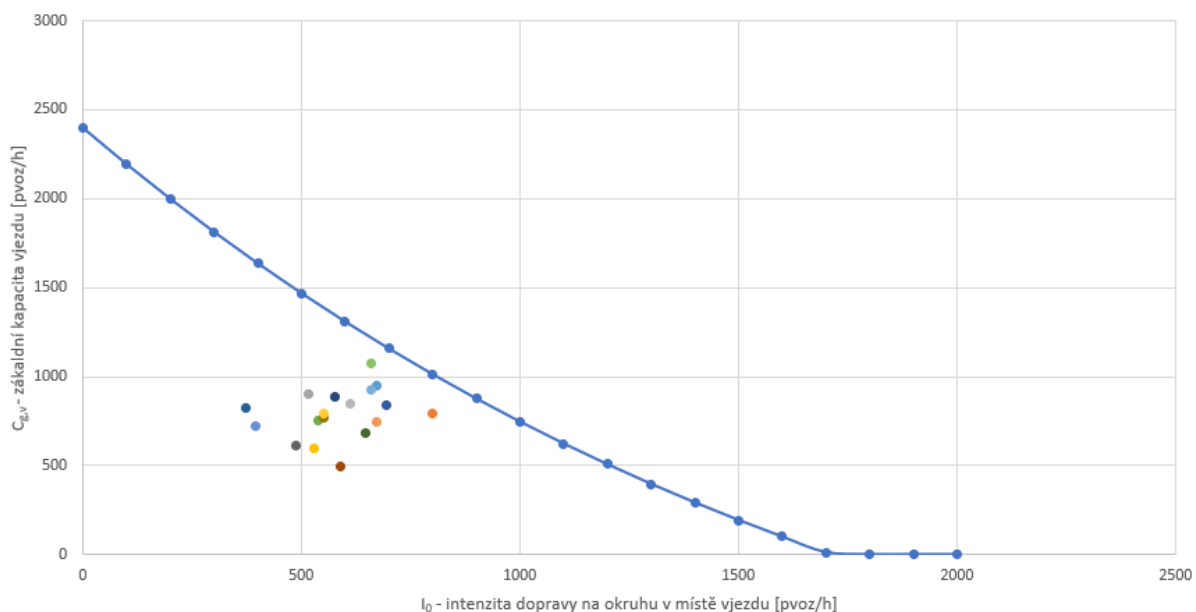
Graf 24 Procentuální rozdělení všech vozidel do pruhů na vjezdu



Graf 25 Procentuální rozdělení vozidel s možností výběru do pruhů na vjezdu

3.4.5.2 Výsledné hodnoty – rameno 3

Druhý zkoumaný vjezd této TOK na rameni 3 byl vyhodnocen stejným způsobem jako vjezdy předešlé. Z grafu, který popisuje vztah kapacity vjezdu intenzity dopravy na okruhu je vidět, že na tomto vjezdu byly v porovnání s vjezdem z ramene 1 nižší intenzity. Naopak na okruhu bylo dosahováno vyšších intenzit, a tak se křižovatka ve dvou pětiminutových intervalech přiblížila k mezní hodnotě.



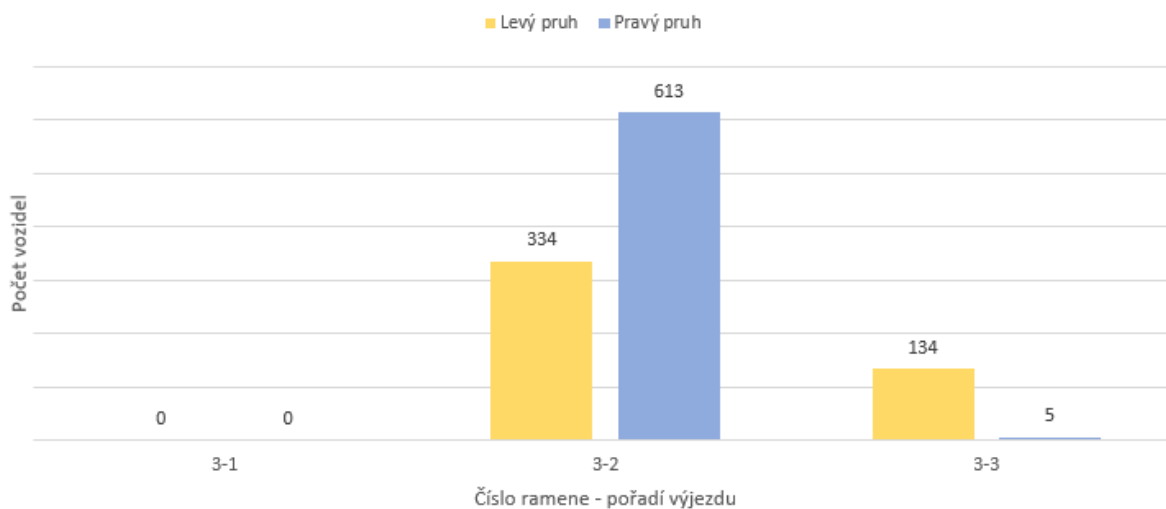
Graf 26 Vztah kapacity vjezdu a intenzit na okruhu

V Tabulce 14 jsou zaznamenány počty projíždějících vozidel za dobu měření rozdělené podle typu a jednotlivých proudů.

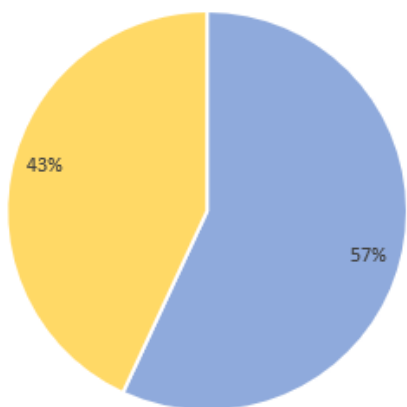
Vozidla dle CSD	O	LN	M	C	SN	SNP	TN	TNP	NSN	A	AK	T	Celkem	Celkem v pruzích	Pruh
	Proudy														
3P-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	618	Pravý
3P-2	511	44	1	0	14	0	7	1	28	6	0	1	613		
3P-3	4	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	5		
3L-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	468	Levý
3L-2	313	16	2	0	1	0	0	0	0	2	0	0	334		
3L-3	112	15	0	0	5	0	0	0	2	0	0	0	134		
celkem													1086		

Tabulka 14 Zaznamenané počty vozidel na vjezdu z ramene 3, TOK Olomouc Hodolany

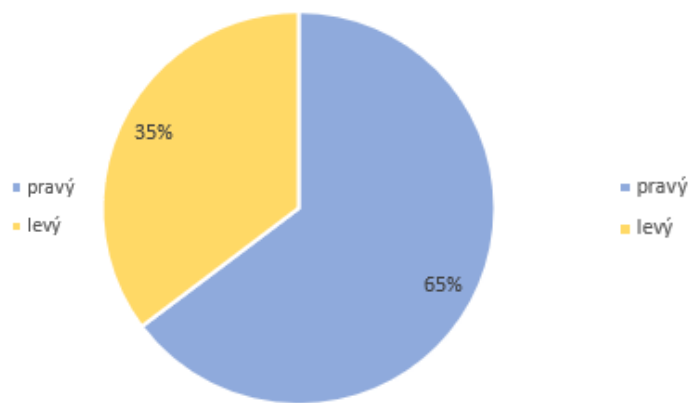
Z této tabulky jsou odvozeny následující grafy. Je z nich detailněji vidět rozložení provozu do jednotlivých proudů. Grafy zobrazují celkové rozdělení do pruhů a rozdělení do pruhů na vjezdu pro řidiče, kteří využívají výjezd s možností výběru jízdního pruhu.



Graf 27 Počty vozidel podle využitého pruhu a výjezdu



Graf 28 Procentuální rozdělení všech vozidel do pruhů na vjezdu



Graf 29 Procentuální rozdělení vozidel s možností výběru do pruhů na vjezdu

3.4.6 Praha OK Chodov

Datum, čas: 16. 8. 2022, úterý, 14:30 – 16:30

Počasí: Během celého průzkumu bylo jasno a teplota se pohybovala kolem 30 °C.

Stanoviště kamer bylo umístěno na lávce vedoucí přes ulici Pod Chodovem. Situace byla souběžně natáčena ze dvou kamer. Jedna kamera natáčela křižovatku jako celek a druhá kamera natáčela detailně sledovaný vjezd.



Obrázek 20 Fotografie stanoviště na lávce [vlastní fotografie]

Během průzkumu se vyskytla mimořádná událost. Ve 14:28 dvě minuty před začátkem dopravního průzkumu došlo uvnitř okružního pásu k dopravní nehodě. Jedno z vozidel bylo odstaveno přímo před výjezdem do sledovaného ramene číslo 4. Nezasahovalo do provozu, ale znatelně provoz na okružním pásu ovlivnilo. Rychlost řidičů byla ještě nižší poté, co na místo přijelo vozidlo PČR.

3.4.6.1 Výsledné hodnoty – rameno 4

První hodina natáčení byla ovlivněna dopravní nehodou. Snaha byla zajistit výsledky alespoň z části, která ovlivněna nebyla. Při vyhodnocování bylo zjištěno, že na sledovaném vjezdu bylo navíc dosaženo velmi nízkých intenzit. Rozdělení do pruhů na vjezdu bylo ještě ovlivněno nárazovým charakterem dopravy, který byl způsoben světelnou signalizací na křižovatce v těsné blízkosti sledovaného vjezdu. Na základě těchto nedostatků byl vjezd a tím celá křižovatka z dalšího vyhodnocování vyřazena.

3.4.7 Shrnutí výsledků

Ze sedmi vjezdů vybraných v předešlých kapitolách byla zpracována následující tabulka. Můžeme v ní přehledně vidět, že existuje závislost mezi tím, který jízdní pruh na vjezdu je průběžný, a přerozdělením vozidel v těchto pruzích. Všechny vybrané vjezdy jsou typu S/2, a proto už v tabulce typ vjezdu není zmiňovaný. Jediná výrazná odchylka se objevila ve čtvrtém zpracovaném vjezdu, kde poměr vozidel v pravém pruhu pro proud s možností výběru dosáhl až 75 %. Jako důvod bych viděl vysoké intenzity dopravy ve směru do ramen 1 a 2 pro které je nutné využít levého pruhu. Většina řidičů jedoucích do ramene 5 se tedy řadila do volného pravého pruhu.

Poř. Č.	Název TOK	Číslo ramene	Průběžný pruh	Vozidla v pravém pruhu celkem [%]	Vozidla v pravém pruhu pro proud s možností výběru [%]
1	Benešov – U Topolu	2	Levý	56	49
2	Benešov – U Topolu	4	Levý	51	54
3	Benešov – Červené Vršky	2	Pravý	63	58
4	Brno – Slatina	3	Pravý	59	75
5	Brno – Slatina	5	Oba	52	59
6	Olomouc – Hodolany	1	Oba	51	68
7	Olomouc – Hodolany	3	Oba	57	65

Tabulka 15 Shrnutí výsledků

3.5 Návrh metodiky rozdělení intenzit do pruhů

Návrh první metodiky je velmi jednoduchý. Ze získaných hodnot byl vypočten průměr, který říká, že 55,57 % vozidel vjíždí do křižovatky v pravém pruhu. Pro lepší způsob výpočtu byla hodnota zaokrouhlena na 56 %. Návrh tedy zní tak, že se intenzity vozidel na vjezdu rozdělí do pruhů v poměru 56 % v pruhu pravém a 44 % v pruhu levém. Dále se vypočte kapacita vjezdu podle předešlého navrženého postupu, použitím dvou vjezdů typu 1/1. Celková kapacita vjezdu je součet těchto hodnot. ÚKD se určuje na každém vjezdu zvlášť a rozhodující je hodnota nejméně příznivá.

Druhá metodika je složitější a předpokládá rozdělení vjezdů do tří skupin podle umístění průběžného pruhu. Zároveň bude řešit jen procentuální rozdělení intenzit pro proud s možností výběru pruhu. Ostatní proudy budou přičteny podle dopravního průzkumu k pruhu, který by podle dopravního značení měly využít.

Průměrná hodnota využití pravého pruhu pro proud s možností výběru pro první skupinu vjezdů s průběžným pruhem levým vychází 51,5 %. Bylo předpokládáno že tento typ bude přerozdělovat vozidla do pruhů téměř rovnoměrně. Navržená hodnota, kterou by bylo potřeba zdokonalit pomocí dalších průzkumů je 50 %.

Ve druhém případě na vjezdech, kde průběžný je pruh pravý, bylo předpokládáno, že se rozdělení bude rovnoměrnému blížit nejméně. Výsledná průměrná hodnota využití pravého pruhu vyšla 66,5 %. Opět by pro přesnější výsledky bylo nutné provést více průzkumů, ale

z dostupných dat byl poměr přerozdělení navržen na 1/3 : 2/3, neboli využití pravého pruhu na vjezdu vozidly s možností výběru pruhu je odhadnuto na 66,6%.

Třetí kategorie zahrnuje tři výsledky vjezdů, kde se za průběžné pruhy dají považovat oba. Průměrná hodnota využití pravého pruhu pro proudy s možností výběru byla stanovena na 64 %. Hodnota navržená se v tomto případě rovná hodnotě průměrné. Vzhledem k velmi podobným hodnotám druhé a třetí kategorie by stálo za to při dalších průzkumech zhodnotit podobné chování a případně zvážit spojení v jednu kategorii.

3.6 Ověření metodiky kapacitním výpočtem

Navržené metodiky byly pro kontrolu a ověření použity pro kapacitní výpočet a určení ÚKD na turbo okružních vjezdech do křižovatky v Benešově U Topolu a na nejvytíženějším zkoumaném vjezdu na rameni 3 křižovatky Brno Slatina. Kapacitní výpočet a ÚKD byl pro porovnání proveden pomocí stávající metodiky uvedené v TP 188 [7], americké metodiky uvedené v HCM [10] a slovenské metodiky shrnuté v TP 14/2015 [12]. Posuzovaná byla vždy hodina s nejvyššími intenzitami.

3.6.1 Benešov – TOK U Topolu, rameno 2

První posuzovaný vjezd je jižní vjezd TOK Benešov U Topolu. Vytipovaná nejvytíženější hodina byla od 14:05 do 15:05. Během této hodiny dosahovala intenzita dopravy na vjezdu $I_v = 1095$ pvoz/h. V té samé době byla intenzita na okruhu $I_0 = 72$ pvoz/h.

3.6.1.1 Výpočet podle první navržené metodiky

Intenzity dopravy byly rozděleny v poměru 56 % do pravého pruhu a 44 % do levého pruhu. Přepočtené hodnoty intenzity pro pravý pruh $I_{vp} = 613,2$ pvoz/h a pro levý pruh $I_{vl} = 481,8$ pvoz/h.

Nejdříve je potřeba dle Vzorce 1 vypočítat kapacitu C_v [pvoz/h] fiktivního vjezdu typu 1/1, který modeluje připojení pravého pruhu vjezdu do okružní křižovatky.

$$C_v = 3600 * \left(1 - \frac{\Delta * I_0}{n_0 * 3600}\right)^{n_0} * \frac{k_{v,usp}}{t_f} * e^{-\frac{I_0}{3600} * \left(t_g - \frac{t_f}{2} - \Delta\right)}$$

Vzorec 1 Výpočet kapacity vjezdu typu 1/1

kde:

n_0 = počet jízdnic pruhů na okruhu v místě vjezdu [-]

$k_{v,usp}$ = koeficient uspořádání jízdnic 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]

Dosažením z Tabulky 4 vychází kapacita vjezdu $C_{vp} = 1321,17$ pvoz/h. Proměnné t_g a t_f byly stanoveny na základě vzdálenosti mezi kolizním bodem na výjezdu z okružního jízdniho pásu a kolizním bodem na vjezdu na okružní jízdni pás L_{kol} [m], který je pro tento vjezd 22,93 m, a na základě poloměru vjezdu R_v [m], který je 30 m. Pokračujeme výpočtem stupně vytížení a_v podle Vzorce 2.

$$a_v = \frac{I_v}{C_v}$$

Vzorec 2 Výpočet stupně vytížení

Na základě intenzity na vjezdu I_{vp} a vypočtené kapacity vjezdu C_{vp} byla získána hodnota $a_{vp} = 0,49$. Posledním krokem je výpočet střední doby zdržení t_{wp} [s]. Dle Vzorce 3 je $t_{wp} = 7,78$ s.

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

Vzorec 3 Výpočet střední doby zdržení

kde:

C_n = kapacita podřazeného proudu [pvoz/h], v našem případě odpovídá C_v

T = délka intervalu špičkového provozu [s]; ($T=3600$ s)

Stejný způsob výpočtu využijeme pro levý pruh vjezdu. Jen proměnné t_g a t_f byly v tomto případě určeny tak, že se jedná o vjezd typu S/2. Výsledné hodnoty pro levý pruh vychází:

$C_{vl} = 1250,79$ pvoz/h

$a_{vl} = 0,39$

$t_{wl} = 7,54$ s

Součtem kapacit levého a pravého pruhu vychází celková kapacita vjezdu 2571,96 pvoz/h. Méně příznivá střední doba zdržení vyšla pro pravý pruh 7,78 s a výsledná ÚKD vjezdu je tedy A.

3.6.1.2 Výpočet podle druhé navržené metodiky

Intenzity dopravy v proudech bez možnosti výběru pruhu byly rozděleny podle dopravního průzkumu a proud s možností výběru pruhu byl rozdělen do jízdnic pruhů v poměru 50 % do pruhu levého a 50 % do pruhu pravého. Přepočtené hodnoty intenzit tedy jsou $I_{vp} = 624,2$ pvoz/h a $I_{vl} = 470,8$ pvoz/h. Kapacitní posouzení vjezdu bylo poté provedeno opět pro pravý a levý pruh stejně jako v kapitole 3.6.1.1. s využitím Vzorce 1, Vzorce 2 a Vzorce 3 s následujícími výsledky:

$$C_{vp} = 1321,17 \text{ pvoz/h}$$

$$a_{vp} = 0,47$$

$$t_{wp} = 7,86 \text{ s}$$

$$C_{vl} = 1250,79 \text{ pvoz/h}$$

$$a_{vl} = 0,38$$

$$t_{wl} = 7,48 \text{ s}$$

Celková kapacita vjezdu vychází opět ze součtu dílčích kapacit a je stejná jako v první metodice $C_v = 2571,96$ pvoz/h. Méně příznivá hodnota střední doby zdržení vychází z pravého pruhu 7,86 s a výsledná ÚKD vjezdu je tedy také A.

3.6.1.3 Výpočet dle TP 188 [7]

Stávající způsob nevyžaduje rozdělení intenzit do jízdnic pruhů. Zohlednění vjezdu typu S/2 je zahrnuté v proměnných koeficientech, které stanovuje Tabulka 4. Výpočet proběhne na základě stejných vzorců jako v prvních dvou případech. Výsledky:

$$C_v = 2239,27 \text{ pvoz/h}$$

$$a_v = 0,49$$

$$t_w = 4,74 \text{ s}$$

Kapacita křižovatky určená podle TP 188 [7] vychází nižší než pro nově navržené metodiky. Naopak střední doba zdržení vychází mnohem nižší a tím pádem ÚKD vjezdu je také A.

3.6.1.4 Výpočet dle HCM [10]

Americký HCM zná také vzorec na stanovení kapacity pro napojení dvou pruhů na vjezdu do jednoho pruhu na okruhu. Počítá se ale pro každý pruh na vjezdu zvlášť, a proto je

nutné nejdřív rozdělit intenzity dopravy na vjezdu do jednotlivých pruhů. Dochází k tomu tak pomocí poměru 53 % pravý pruh a 47 % levý pruh. Přepočtená intenzita dopravy pro pravý pruh tedy vychází $I_{vp} = 580,4$ pvoz/h. Kapacita pro jeden z pruhů závisí jen na intenzitě dopravy na okruhu, proto pro další výpočty stačí řešit pruh pravý. Celková kapacita vjezdu bude získána prostým zdvojnásobením kapacity, která vyjde pro pravý pruh.

$$C_{e,pce} = 1,420e^{(-0,91 \times 10^{-3})v_{c,pce}}$$

Vzorec 4 Výpočet kapacity jednoho pruhu dle HCM

Veličina $v_{c,pce}$ je intenzita dopravy na okruhu, takže se jedná o I_0 , jen jinak označené a vychází tedy opět 72 pvoz/h. Po dosazení do Vzorce 4 vychází kapacita jednoho pruhu $C_{e,pce} = 1329,94$ pvoz/h. Dalším krokem je vypočítat stupeň vytížení v HCM [10] označovaný jako poměr intenzity a kapacity pozorovaného vjezdu.

$$x_i = \frac{v_i}{c_i}$$

Vzorec 5 Výpočet poměru intenzity a kapacity pozorovaného vjezdu

kde:

x_i = poměr intenzity a kapacity pozorovaného vjezdu [-]

v_i = intenzita dopravy na pozorovaném vjezdu [pvoz/h]

c_i = kapacita pozorovaného vjezdu [pvoz/h]

Poměr x_i vychází z výpočtu 0,44. Poslední krok, který zbývá, je vypočítat průměrnou dobu zdržení. Pro tu je v HCM [10] stanoven podobný vzorec, jako který využívá TP 188 [7]. Průměrná doba zdržení podle Vzorce 6 vychází $d = 9,8$ s.

$$d = \frac{3600}{c} + 900T * \left[x - 1 + \sqrt{(x - 1)^2 + \frac{\left(\frac{3600}{c}\right)x}{450 * T}} \right] + 5 * \min[x, 1]$$

Vzorec 6 Výpočet průměrné doby zdržení

kde:

d = průměrná doba zdržení [s]

T = časový úsek [h]; ($T=1$ h)

c = kapacita pozorovaného vjezdu [pvoz/h]

x = poměr intenzity a kapacity pozorovaného vjezdu [-]

Celková kapacita vjezdu podle HCM [10] vychází 2659,89 pvoz/h. Průměrná doba zdržení vychází 9,8 s a úroveň kvality dopravy tak vyjde opět A.

3.6.1.5 Výpočet dle TP 14/2015 [12]

Ve slovenských TP se počítá kapacita každého pruhu na vjezdu zvlášť. Pro rozdělení do pruhů je stanoveno, že se musí provést dopravní průzkum. Z toho plyne, že intenzita v pravém pruhu dle TP 14/2015 [12] označená $q_{i,P}$ se rovná 616 pvoz/h a v pruhu levém je $q_{i,L} = 479$ pvoz/h. Kapacita jednoho pruhu vjezdu se vypočítá podle Vzorce 7.

$$G_i = \left(1 - \frac{t_{min} * q_k}{3600 * n_k}\right)^{n_k} * \frac{3600}{t_f} * e^{-\frac{q_k}{3600}(t_g - \frac{t_f}{2} - t_{min})}$$

Vzorec 7 Výpočet kapacity jízdního pruhu na vjezdu do TOK

kde:

G_i = kapacita jízdního pruhu na vjezdu do TOK [pvoz/h]

q_k = intenzita rozhodujícího dopravního proudu na okružním jízdním pásu před posuzovaným vjezdem [pvoz/h]





t_g = kritický časový odstup [s]

t_f = následný časový odstup [s]

t_{min} = minimální časový odstup mezi vozidly na okružním pásu [s]

n_k = počet jízdních pruhů s rozhodujícím dopravním zatížením na okruhu před posuzovaným jízdním pruhem na vjezdu [-]

Hodnoty těchto proměnných jsou odvozeny z následující Tabulky 16. Kapacita pravého pruhu pak vychází dosazením do Vzorce 7 $G_{ip} = 1244,09$ pvoz/h.

Typ vjezdu	Schéma	Jazdný pruh a jeho označení	t_g [s]	t_f [s]	t_{min} [s]	n_k [-]
1/1		jednopruhový vjezd 1/1	4,0	2,8	2,1	1
1/2		jednopruhový vjezd 1/2	3,9	2,7	2,1	2
2/1		řavý jazdný pruh 2/1-L	3,8	2,7	2,1	1
		pravý jazdný pruh 2/1-P	4,0	2,8	2,1	1
2/2		řavý jazdný pruh 2/2-L	3,9	2,7	2,1	2
		pravý jazdný pruh 2/2-P	4,0	2,8	2,1	1

Tabulka 16 hodnoty proměnných dle TP 14/2015 [12]

Dalším krokem kapacitního posouzení dle TP 14/2015 [12] je vypočítat takzvaný stupeň saturace ekvivalent stupně vytižení z TP 188 [7]. Stupeň saturace g_i vznikne, když podělíme intenzitu dopravy na posuzovaném vjezdu kapacitou příslušného vjezdu.

$$g_i = \frac{q_i}{C_i}$$

Vzorec 8 Výpočet stupně vytižení

Podle předchozího vzorce vyjde stupeň saturace $g_{ip} = 0,50$. Posledním krokem je opět podobně jako v jiných metodikách spočítat průměrný čas čekání vozidla na posuzovaném vjezdu označené w_i .

$$w_i = \frac{3600}{C_i} + 900 \left(g_i - 1 + \sqrt{(g_i - 1)^2 + \frac{8 * g_i}{C_i}} \right)$$

Vzorec 9 Výpočet průměrného času čekání vozidla na posuzovaném vjezdu

Hodnota průměrného času čekání vozidla na posuzovaném vjezdu vyjde pro pravý pruh $w_{ip} = 5,73$ s. Stejným způsobem budou dopočítány tři stěžejní hodnoty i pro levý pruh. Výsledky jsou:

$$G_{iL} = 1286,31 \text{ pvoz/h.}$$

$$g_{iL} = 0,37$$

$$w_{iL} = 4,46 \text{ s}$$

Celková kapacita vjezdu je stanovena $G_i = 2530,4$ pvoz/h. Průměrný čas čekání vozidla na vjezdu vyšel méně příznivý pro pravý pruh a to $w_{ip} = 5,73$ s. Tento výsledek je stále hodnocen jako ÚKD A.

3.6.1.6 Shrnutí výsledků

Metodika	Celková kapacita vjezdu [pvoz/h]	Střední doba zdržení [s]	ÚKD [-]
První navržená metodika	2572	7,8	A
Druhá navržená metodika	2572	7,9	A
TP 188 [7]	2239	4,7	A
HCM [10]	2660	9,8	A
TP 14/2015 [12]	2530	5,7	A

Tabulka 17 Souhrn výsledků různých metodik pro vjezd z ramene 2 TOK Benešov U Topolu

Ze souhrnné tabulky je vidět, že při velmi nízkých intenzitách na okruhu se kapacita vjezdu z navržených metodiky mnohem více podobá kapacitě vypočítané zahraničními metodami než stávající TP 188 [7], která je v ČR stále používaná. V případě střední doby zdržení se nedá přesně určit, která z porovnávaných metodik je nejpřesnější, protože se všechny poměrně liší.

3.6.2 Benešov – TOK U Topolu, rameno 4

Dalším vjezdem TOK, na kterém bylo provedeno ověření a porovnání jednotlivých metodik, byl vjezd, který se do křižovatky Benešov – U Topolu připojuje ze severní strany. Nejvytíženější hodina byla vytipována od 14:10 do 15:10. Intenzity na vjezdu naměřené v této hodině vycházely $I_v = 1044$ pvoz/h. Intenzita na okruhu naměřená ve stejné hodině byla $I_0 = 276,8$ pvoz/h. Porovnávané hodnoty byly vypočítány podle stejných postupů jako v případě vjezdu z ramene 2. Jediné vstupní hodnoty, které se v tomto případě změnilo byly vzdálenost mezi kolizním bodem na výjezdu z okružního jízdního pásu a kolizním bodem na vjezdu z pravého pruhu na okružní jízdní pás $L_{kol} = 23,75$ m a poloměr vjezdu pro pravý jízdní pruh $R_v = 25$ m.

3.6.2.1 Souhrn výsledků

Metodika	Celková kapacita vjezdu [pvoz/h]	Střední doba zdržení [s]	ÚKD [-]
První navržená metodika	2175	9,8	A
Druhá navržená metodika	2175	10,9	B
TP 188 [7]	1856	6,4	A
HCM [10]	2208	11,5	B
TP 14/2015 [12]	2269	6,1	A

Tabulka 18 Souhrn výsledků různých metodik pro vjezd z ramene 4 TOK Benešov U Topolu

V Tabulce 18 můžeme opět pozorovat, že TP 188 [7] při takto nízkých intenzitách na okruhu poddimenzuje celkovou kapacitu vjezdu. Naopak v tomto ohledu obě navržené metodiky korespondují s výsledky americké a slovenské metodiky. Při výpočtu střední doby zdržení je naopak stále více patrné, že nově navržené metodiky se přibližují pouze americkému HCM [10]. České a slovenské technické podmínky se také shodují a není tak jasné, který výpočet je vhodnější. Poslední poznatek plynoucí z této tabulky je, že druhá navržená metodika a HCM [10] ve střední době zdržení přesáhly hranici 10 s, a proto jsou hodnoceny v ÚKD stupněm B.

3.6.3 Brno – TOK Slatina, rameno 3

Třetí srovnávací vjezd byl vybrán nad rámec zadání, protože na něm byly naměřeny vysoké intenzity dopravy na okruhu. Díky tomu je možné porovnat, jak se metodiky chovají při dosažení takto vysokých intenzit. Nejvytíženější hodina byla vytipovaná mezi 14:30 – 15:30. V tuto dobu bylo na vjezdu naměřeno $I_v = 828$ pvoz/h a na okruhu $I_0 = 1000,6$ pvoz/h. Výsledky jsou vypočítány opět podle stejných postupů a vzorců jako v případě druhého ramene TOK Benešov U Topolu. Vstupní hodnoty pro nově navrhované metodiky jsou pro pravý pruh $L_{kol} = 18,83$ m a $R_v = 16$ m. V této konkrétní křižovatce je oproti vjezdům řešeným v předchozích kapitolách průběžný pruh pravý, což se projeví v druhé navržené metodice při přerozdělování intenzit dopravy na vjezdu do jednotlivých jízdních pruhů.

3.6.3.1 Souhrn výsledků

Metodika	Celková kapacita vjezdu [pvoz/h]	Střední doba zdržení [s]	ÚKD [-]
První navržená metodika	942	65,5	E
Druhá navržená metodika	942	97,4	E
TP 188 [7]	746	239,1	F
HCM [10]	1143	31,2	D
TP 14/2015 [12]	1227	27,9	C

Tabulka 19 Souhrn výsledků různých metodik pro vjezd z ramene 3 TOK Brno Slatina

Výsledky takto vytíženého vjezdu všechny metodiky pořádně prověřily. V případě metodiky TP 188 [7] dokonce vyšel stupeň vytížení 1,11, a proto je ÚKD hodnoceno stupněm F. Výsledky střední doby zdržení vyšly podle všech metodik odlišně, vyvstala tedy potřeba zjistit reálnou průměrnou dobu zdržení a podle ní vyhodnotit, která z metodik je nejvhodnější.

3.7 Ověření střední doby zdržení

Ověření bylo provedeno pouze na vjezdu z ramene 3 na křižovatce Brno – Slatina. Tato křižovatka byla vybrána, protože hodnoty střední doby zdržení vypočítané z jednotlivých metodik vykazovaly největší rozdíly. Ověření mělo být provedeno na vytipované nejvytíženější hodině. Bohužel ale při nahrávání došlo přesně v polovině této hodiny k pootočení kamery a kvůli tomu nebyla vidět celá fronta. Stanovení reálné střední doby zdržení tedy bylo provedeno pouze na první půl hodině. Aby bylo porovnání výsledků relevantní, byly teoretické hodinové hodnoty znovu vypočítány z posuzované půlhodiny a zapsány v Tabulce 20.

Metodika	Celková kapacita vjezdu [pvoz/h]	Střední doba zdržení [s]	ÚKD [-]
První navržená metodika	997	52,7	E
Druhá navržená metodika	997	73,4	E
TP 188 [7]	793	166,9	F
HCM [10]	1181	29,2	D
TP 14/2015 [12]	1284	24,3	C

Tabulka 20 Souhrn výsledků různých metodik pro vjezd z ramene 3 TOK Brno Slatina z porovnávané půlhodiny

3.7.1 Postup orientačního stanovení průměrné doby zdržení

Postup určení průměrné doby zdržení vychází z amerického HCM [10]. Metoda vyžaduje, aby průzkum začínal bez reziduální fronty. V případě, že se na vjezdu reziduální fronta vyskytuje, je nutné, aby vozidla, která v ní již stojí, byla z průzkumu vyjmuta. Průzkum by měli provádět dva sčítači, mezi které se práce rozdělí. V tomto případě docházelo k vyhodnocení videozáznamu, a proto nebyl problém abych ho provedl sám. Pozorovaná půlhodina byla rozdělena do sto dvaceti patnáctivteřinových intervalů. První sčítač zaznamenává na začátku každého intervalu počet vozidel stojících ve frontě. Na konci průzkumu dále zaznamenává zdržení vozidel, která byla v posledním intervalu započtena do fronty, dokud tato vozidla neopustí vjezd. Pro příklad: pokud dorazí vozidlo do fronty v 8:00:08 hod., je zaznamenáno až v intervalu „+15 s“. Jestliže totéž vozidlo stále ještě čeká na vjezdu i v 8:00:30 hod., je zaznamenáno i ve sloupci „+30 s“. Proto může být jedno vozidlo započítáno i ve více intervalech. Sečtením všech výsledků v jednotlivých intervalech bylo pro tento případ zaznamenáno 634 vozidel. Druhý sčítač zaznamenává prostou intenzitu vozidel na vjezdu, jen vozidla rozděluje na ta, která byla nucena zastavit a na ta, která projela vjezdem bez zastavení. Toto rozdělení intenzit je nutné, abychom mohli zahrnout vliv decelerace/akcelerace. Tímto způsobem bylo zjištěno, že vjezdem ve sledované půlhodině projelo celkem 397 vozidel, ze kterých 344 bylo nuceno na vjezdu zastavit.

3.7.2 Zpracování výsledků

V První řadě je potřeba určit průměrný počet vozidel ve frontě „L“. Ten zjistíme tak, že celkový součet zaznamenaných vozidel, které stály ve frontě, vydělíme počtem intervalů „n“.

$$L = \frac{\sum_1^n L_i}{n} = \frac{634}{120} = 5,28 \text{ voz}$$

Vzorec 10 Výpočet průměrného počtu vozidel ve frontě

Dále je nutné vyjádřit intenzitu ve vozidlech za sekundu.

$$I = \frac{I_{30}}{15 * n} = \frac{397}{1800} = 0,22 \text{ voz/s}$$

Vzorec 11 Převedení intenzity na vozidla za sekundu

Třetím krokem je zjištění střední doby zdržení, která ještě není obohacena o vliv decelerace/akcelerace, a proto se v tomto případě značí „ T_1 “.

$$T_1 = \frac{L}{I} = \frac{5,28}{0,22} = 23,95 \text{ s}$$

Vzorec 12 Výpočet střední doby zdržení bez vlivu decelerace/akcelerace

Předposledním krokem je dle tabulky obsažené v HCM [10] určit opravný součinitel CF. Tento součinitel zahrnuje zdržení vlivem decelerace/akcelerace, které nelze jednoduše měřit v terénu. V intravilánu lze uvažovat pouze s prvním řádkem (rychlosti do 60 km/h):

Approach Speed (mi/h)	Acceleration–Deceleration Correction Factor CF (s/veh) as a Function of the Average Number of Vehicles Stopping		
	≤ 7 veh/ln/cycle	8–19 veh/ln/cycle	20–30 veh/ln/cycle ^a
≤ 37	+5	+2	-1
>37–45	+7	+4	+2
>45	+9	+7	+5

Note: ^a Vehicle-in-queue counts in excess of about 30 veh/ln/cycle are typically unreliable.

Tabulka 21 Hodnoty opravného součinitele [10]

Hodnoty součinitele závisí ještě na průměrném počtu vozidel v každém intervalu. Ten je v našem případě menší než 7, a proto se opravný součinitel rovná 5 s. Zdržení vlivem decelerace/akcelerace je pak vyjádřeno vztahem:

$$T_2 = CF * \frac{Z}{I_{30}} = 5 * \frac{344}{397} = 4,33 \text{ s}$$

Vzorec 13 Výpočet zdržení vlivem decelerace/akcelerace

kde:

Z = celkový počet vozidel, která zastavila [voz]

Posledním krokem, který zbývá je sečíst vypočítané doby zdržení.

$$t_w = T_1 + T_2 = 23,95 + 4,33 = 28,28 \text{ s}$$

Vzorec 14 Výpočet celkové reálné doby zdržení

3.7.3 Vyhodnocení výsledků

Zpracováním videozáznamu bylo zjištěno, že vjezdem za půl hodiny projelo celkem 397 vozidel, ze kterých 344 bylo nuceno zastavit. Součet všech stojících vozidel ve všech patnáctisekundových intervalech činil 634. Postupem popsáním v kapitole 3.7.2. byla určena reálná střední doba zdržení 28,3 s.

Při porovnání s Tabulkou 20 je vidět, že reálná střední doba zdržení se nejvíce blíží těm vypočítaným pomocí slovenských TP 14/2015 [12] a pomocí amerických HCM [10]. Zároveň můžeme konstatovat, že české TP 188 [7] při takto vysokých intenzitách dopravy na okruhu hrubě neobstály. Ani nově navržené metodiky úplně neuspěly. Oproti stávající používané metodě v TP 188 [7] se ale stále jedná o dobrý pokrok.

Závěr

S rozvojem a narůstajícím počtem využití TOK v České republice vzniká potřeba zpřesnit stávající metodiku posuzování jejich kapacit. Jak se prokázalo v poslední části této práce, stávající metodika pro kapacitní posuzování TOK je nevyhovující. Zároveň neobsahuje žádné zohlednění rozdělení vozidel do jednotlivých pruhů v závislosti na intenzitách na vjezdu, na okruhu ani následném pohybu skrz křižovatku. Kapacita křižovatky se navíc počítá pro celý vjezd najednou. Je tedy jasné, že metodiku bude v blízké době nutné přepracovat.

V rámci této práce byly navrženy dvě metodiky, které by mohly stávající obsaženou v TP 188 [7] nahradit. Hlavní rozdíl je vidět právě v tom, že se v obou navržených metodikách počítá každý pruh na vjezdu zvlášť. Zároveň v druhé navržené metodice bylo zohledněno uspořádání pruhů před posuzovanou křižovatkou.

Navržené metodiky jsou založené na šesti dopravních průzkumech, ze kterých vzešlo sedm vjezdů s použitelnými výsledky. Uvědomuji si, že pro zpřesnění metodik by bylo nutné a žádoucí provést ještě více dopravních průzkumů a zpracovat větší objem dat. Pro lepší univerzálnost navržených metodik by bylo vhodné zpracovat také více typů TOK. To by mimo jiné mělo být náplní zmíněného projektu KATUROK, který má za úkol přijít právě s obohacením stávajícího způsobu kapacitního posouzení o zohlednění rozdělení vozidel do jízdnic pruhů na vjezdu.

Navržené metodiky byly porovnány se třemi existujícími metodikami z různých zemí na třech referenčních vjezdech TOK. Nové metodiky jsou oproti stávající zpřesňující, ale v porovnání s americkou a slovenskou metodikou se ukázalo, že při vysokých intenzitách dopravy na okruhu mají ještě své rezervy. Vzhledem k neuspokojujícím výsledkům je potřeba problematiku dále zkoumat, zpracovat více dat a navrženou metodiku upravit, aby odpovídala realitě.

Zdroje

- [1] LEONARDI, Salvatore a Natalia DISTEFANO. Turbo-Roundabouts as an Instrument for Improving the Efficiency and Safety in Urban Area: An Italian Case Study. Sustainability [online]. 2023, 15(4), 1-21 [cit. 2023-03-08]. ISSN 2071-1050. Dostupné z: doi:10.3390/su15043223
- [2] Presentace Roundabouts in the Netherlands, RDC_ Netherlands_2
- [3] ING. SMĚLÝ, Martin Ph.D., Ing. Jiří APELTAUER a Ing. Michal KOSŇOVSKÝ. Turbo-okružní křižovatky v České republice. Silnice železnice [online]. Starobělská 1133/5, 700 30 Ostrava: KONSTRUKCE Media, 2006, 21.11.2014 [cit. 2023-03-08]. Dostupné z: <http://old.silnice-zeleznice.cz/clanek/turbo-okruzni-krizovatky-v-ceske-republice/>
- [4] TP 135 – Projektování okružních křižovatek na silnicích a místních komunikacích
- [5] TP 234 – Posuzování kapacity okružních křižovatek, 2011, MD ČR
- [6] ING. SMĚLÝ, Martin Ph.D. Okružní vícepruhové křižovatky [online]. 7. června 2007, (Stavebnictví 06-07/2007) [cit. 2023-04-12]. Dostupné z: <https://www.casopisstavebnictvi.cz/clanky-okruzni-vicepruhove-krizovatky.html>
- [7] TP 188 – Posuzování kapacity křižovatek a úseků pozemních komunikací, 2018, MD ČR,
- [8] Arbeitspapier Turbokreisverkehre, 2015, FGSV,
- [9] Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen: Handbuch für die Bemessung von Strassenverkehrsanlagen (HBS). FGSV, Köln, Ausgabe 2015,
- [10] Highway Capacity Manual (HCM). TRB, National Research Council Washington, D.C., 2016,
- [11] TP 16/2015 Výpočet kapacit pozemných komunikácií, MDVRR SR: 2015,
- [12] TP 14/2015 Projektovanie turbo-okružných križovatiek, MDVRR SR: 2015.
- [13] KATUROK. EDIP [online]. Plzeň [cit. 2023-04-29]. Dostupné z: <https://www.edip.cz/vyzkum/katurok>
- [14] Locaties turborotondes. Dirk de Baan [online]. Nizozemsko, 2012 [cit. 2023-05-13]. Dostupné z: <https://www.dirkdebaan.nl/locaties.html>

[15] TSPI – P.03.245 Krožna križišča s spiralnim potekom krožnega vozišča, MZI SI, 2023

[16] EDIP s.r.o.; roční zpráva o průběhu řešení projektu za rok 2022; 2022; Plzeň

[17] Mapy.cz [online]. Praha: Seznam.cz, 2023 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://mapy.cz/>

[18] Google Maps [online]. San Francisco: Google, 2023 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://www.google.cz/maps>

Seznam tabulek

Tabulka 1 Doporučené tabelované rozměry návrhových prvků pro základní turbo-okružní křižovatku a křižovatku typu vejce [4].....	12
Tabulka 2 Seznam TOK v ČR [16].....	17
Tabulka 3 Počet všech TOK na světě rozdělených po státech [14]	18
Tabulka 4 Hodnoty proměnných pro výpočet kapacity vjezdu do okružní křižovatky [7].....	20
Tabulka 5 Přerozdělení intenzit dopravy na dvoupruhových vjezdech do TOK [12].....	23
Tabulka 6 Seznam vjezdů vybraných pro průzkum	35
Tabulka 7 Hodnoty přepočtových koeficientů skladby dopravního proudu pro okružní křižovatky [7]	39
Tabulka 8 Zaznamenané počty vozidel na vjezdu z ramene 2, TOK Benešov U Topolu.....	39
Tabulka 9 Zaznamenané počty vozidel na vjezdu z ramene 4, TOK Benešov U Topolu.....	41
Tabulka 10 Zaznamenané počty vozidel na vjezdu z ramene 2, TOK Benešov Červené Vršky	44
Tabulka 11 Zaznamenané počty vozidel na vjezdu z ramene 3, TOK Brno Slatina.....	48
Tabulka 12 Zaznamenané počty vozidel na vjezdu z ramene 5, TOK Brno Slatina.....	50
Tabulka 13 Zaznamenané počty vozidel na vjezdu z ramene 1, TOK Olomouc Hodolany	52
Tabulka 14 Zaznamenané počty vozidel na vjezdu z ramene 3, TOK Olomouc Hodolany	54
Tabulka 15 Shrnutí výsledků.....	57
Tabulka 16 hodnoty proměnný dle TP 14/2015 [12]	62
Tabulka 17 Souhrn výsledků různých metodik pro vjezd z ramene 2 TOK Benešov U Topolu	63
Tabulka 18 Souhrn výsledků různých metodik pro vjezd z ramene 4 TOK Benešov U Topolu	64
Tabulka 19 Souhrn výsledků různých metodik pro vjezd z ramene 3 TOK Brno Slatina.....	65
Tabulka 20 Souhrn výsledků různých metodik pro vjezd z ramene 3 TOK Brno Slatina z porovnávané půlhodiny	66
Tabulka 21 Hodnoty opravného součinitele [10].....	67

Seznam obrázků

Obrázek 1 TOK typu vejce [4]	13
Obrázek 2 základní TOK [4]	13
Obrázek 3 TOK typu koleno [4]	14
Obrázek 4 TOK typu propnuté koleno [4]	14
Obrázek 5 Kolizní body jednapruhové okružní křižovatky (a), dvoupruhové okružní křižovatky (b) a turbo okružní křižovatky (c). [1].....	15
Obrázek 6 Příklad svislého dopravního značení s předurčeným využitím pruhu z TOK Plzeň – Rondel [vlastní fotografie]	24
Obrázek 9 Umístění TOK Benešov U Topolu [17].....	27
Obrázek 11 Umístění TOK Benešov Červené Vršky [17].....	29
Obrázek 12 TOK Benešov Červené Vršky [18].....	29
Obrázek 15 Umístění TOK Brno Slatina [17].....	31
Obrázek 16 TOK Brno Slatina [18]	31
Obrázek 19 Umístění OK Praha Chodov [17]	34
Obrázek 20 OK Praha Chodov [18]	34
Obrázek 21 Ukázka vyhodnocování v programu EDIPPlayer [vlastní fotografie].....	36
Obrázek 22 Fotografie stanoviště [vlastní fotografie].....	37
Obrázek 23 Fotografie stanoviště [vlastní fotografie].....	43
Obrázek 24 Umístění kamer mezi rameny 2 a 3 [vlastní fotografie]	45
Obrázek 25 Stanoviště kamery na vysokozdvížné plošině [vlastní fotografie]	46
Obrázek 26 První stanoviště umístěné na vysokozdvížné plošině [vlastní fotografie].....	51
Obrázek 27 Fotografie stanoviště na lávce [vlastní fotografie]	56