



ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE

Stavebná fakulta

Katedra cestného staviteľstva

Rozborová úloha RVT 2018

**NÁVRH METODIKY PRE POSÚDENIE KAPACITY
NERIADENÝCH KRIŽOVATIEK SO ZALOMENOU
HLAVNOU CESTOU**



Objednávateľ : Slovenská správa ciest, Miletičova 19, 826 19 Bratislava

Zhotoviteľ : Žilinská univerzita v Žiline, Stavebná fakulta, Katedra cestného
staviteľstva, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina

Žilina, september 2019

OBSAH

1. Identifikačné údaje.....	5
2. Predmet a rozsah riešenia	5
3. Úvod	6
4. Špecifiká a rozdelenie neriadených križovatiek so zalomenou hlavnou cestou	7
4.1 Špecifiká neriadených križovatiek so zalomenou hlavnou cestou	7
4.2 Rozdelenie neriadených križovatiek so zalomenou hlavnou cestou	9
4.3 Úprava zaústenia vedľajšej cesty na hlavnú cestu	10
5. Teórie výpočtu kapacity neriadených križovatiek	11
5.1 Kapacita neriadených križovatiek	11
5.2 Teórie a metódy výpočtu kapacity neriadených križovatiek	11
6. Teória prijatých časových odstupov	14
6.1 Dopravné prúdy a stupne prednosti v jazde na neriadených križovatkách	14
6.2 Časové odstupy	16
6.2.1 Definovanie kritického a následného časového odstupu	16
6.2.2 Hodnoty kritických a následných časových odstupov	17
6.2.3 Spôsob stanovenia kritických časových odstupov	18
6.3 Distribúcia časových odstupov v nadradenom dopravnom prúde	20
6.4 Základná kapacita dopravných prúdov	21
6.5 Kapacita dopravných prúdov vyšších stupňov podradenosti - III. a IV. stupeň	24
6.5.1 Kapacita dopravných prúdov III. stupňa	24
6.5.2 Kapacita dopravných prúdov IV. stupňa	25
6.6 Kapacita zmiešaných prúdov na združenom jazdnom pruhu	27
6.6.1 Kapacita zmiešaných prúdov na vedľajšej ceste	27
6.6.2 Kapacita zmiešaných prúdov na hlavnej ceste	28
7. Hodnotenie kvality dopravy na križovatke	31
7.1 Priemerný čas čakania	31
7.2 Výpočet dĺžky kolón	33
8. Realizácia a vyhodnotenie dopravných prieskumov na križovatkách so zalomenou hlavnou cestou	34

8.1 Stanovenie kritérií pre výber vhodných križovatiek	34
8.2 Prehľad vybraných neriadených križovatiek so zalomenou hlavnou cestou	35
8.3 Organizácia, technické zabezpečenie a vykonanie dopravných prieskumov	39
8.4 I. Etapa – Charakteristiky dopravných prúdov a výkonnosti križovatky	40
8.4.1 Základné charakteristiky dopravných prúdov	41
8.4.2 Charakteristiky výkonnosti križovatky	46
8.4.3 Rýchlosť vozidiel na hlavnej ceste	48
8.5 II. Etapa - Správanie sa vodičov	50
8.5.1 Dodržiavanie pravidiel cestnej premávky.....	51
8.5.2 Vplyv potenciálne kolíznych dopravných prúdov na podradené prúdy	55
8.6 III. Etapa - Kritické a následné časové odstupy	58
8.6.1 Kritické časové odstupy	59
8.6.2 Priemerné následné časové odstupy	64
9. Mikrosimulačné modely križovatiek	68
9.1 Vytváranie mikrosimulácií vybraných križovatiek	68
9.2 Základná kapacita podradených dopravných prúdov	71
10. Návrh metodiky pre posúdenie kapacity neriadených križovatiek so zalomenou hlavnou cestou	77
10.1 Určenie stupňov prednosti v jazde dopravných prúdov	77
10.2 Výpočet rozhodujúcich intenzít dopravy nadradených dopravných prúdov	79
10.3 Výpočet základnej kapacity	80
10.4 Výpočet kapacity dopravných prúdov II. stupňa	82
10.5 Výpočet kapacity dopravných prúdov III. a IV. stupňa	82
10.5.1 Výpočet kapacity dopravných prúdov III. stupňa	82
10.5.2 Výpočet kapacity dopravných prúdov IV. stupňa	86
10.6 Kapacita zmiešaných prúdov	88
10.6.1 Vjazd z vedľajšej cesty	88
10.6.2 Vjazd z hlavnej cesty	92
10.7 Hodnotenie kvality pohybu dopravy na križovatke	92
10.7.1 Kritériá a stupne kvality dopravného prúdu	92

10.7.2	Posúdenie kvality dopravného prúdu	93
10.7.3	Posúdenie dĺžky kolón	95
11.	Porovnanie výsledkov teoretického modelu, simulácií a dopravných prieskumov...	97
12.	Záver	99
13.	Prílohy	100
14.	Literatúra	114

1. IDENTIFIKAČNÉ ÚDAJE

Úloha: Rozborová úloha RVT 2018
Názov: **Návrh metodiky pre posúdenie kapacity neriadených križovatiek so zalomenou hlavnou cestou**
Číslo objednávky: O-390/2210/2018
Objednávateľ: Slovenská správa ciest, Miletičova 19, 826 19 Bratislava
Zhotoviteľ: Žilinská univerzita v Žiline, Stavebná fakulta, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina
Zodpovedný riešiteľ: doc. Ing. Andrea Kociánová, PhD.
Ďalší riešitelia: Ing. Eva Pitlová, Ing. Peter Pisca, PhD.
Konzultanti: Prof. Dr. Ing. Ning Wu, Ruhr-Universität Bochum, Nemecko
Ing. Igor Ripka, PhD., TU Wien, Rakúsko
Dátum spracovania: 09/2019

2. PREDMET A ROZSAH RIEŠENIA

Cieľom úlohy je navrhnúť postup výpočtu a posúdenia kapacity stykových a priesečných neriadených križovatiek so zalomenou hlavnou cestou a návrh preveriť podľa reálnych podmienok na existujúcich križovatkách a tiež pomocou mikrosimulácií.

Rozborová úloha je spracovaná na základe špecifikácie a vymedzenia objednávky Slovenskej správy ciest v zmysle plánu úloh RVT na rok 2018, ktorá bola rozdelená do dvoch nadväzujúcich etáp. Predložená správa obsahuje výsledky oboch etáp a zahŕňa nasledujúce časti:

- Špecifiká a rozdelenie neriadených križovatiek so zalomenou hlavnou cestou.
- Teoretické modely pre výpočet kapacity dopravných prúdov a posúdenie kapacity neriadených križovatiek, z ktorých vychádza navrhovaný kapacitný výpočet a posúdenie.
- Výsledky realizovaných dopravných prieskumov na vybraných neriadených križovatkách so zalomenou hlavnou cestou (3 priesečné a 4 stykové) – smerovanie intenzít dopravy, zloženie dopravných prúdov, kritické a následné časové odstupy, rýchlosti dopravných prúdov, priemerné časy čakania a kolóny.
- Výsledky mikrosimulačných modelov križovatiek vytvorených v PTV Vissim - v špičkovej hodine a mimo špičkovej hodiny - porovnanie s výsledkami realizovaných dopravných prieskumov a teoretických modelov.
- Návrh metodiky pre výpočet a posúdenie kapacity dopravných prúdov na stykových a priesečných križovatkách so zalomenou hlavnou cestou, ktorej súčasťou je:
 - určenie podmienok použitia metodiky kapacitného výpočtu,
 - určenie stupňov prednosti v jazde dopravných prúdov,
 - stanovenie výpočtu rozhodujúcich intenzít dopravy nadradených dopravných prúdov pre jednotlivé podradené dopravné prúdy,
 - návrh hodnôt časových odstupov pre jednotlivé druhy dopravných prúdov – kritických a priemerných následných časových odstupov,
 - návrh postupu výpočtu kapacity dopravných prúdov tretieho a štvrtého stupňa, a zmiešaných dopravných prúdov pre stykové a priesečné neriadené križovatky so zalomenou prednosťou v jazde.

3. ÚVOD

Na cestnej sieti, najmä v mestách, sa stretávame s neriadenými križovatkami, na ktorých nie je hlavná cesta vedená priamo, ale je zalomená. Takýto špecifický mód zalomenej prednosti v jazde vyplýva do odlišného zaradenia dopravných prúdov v rámci hierarchie ich nadradenosti, resp. stupňa prednosti v jazde, zložitejšej dopravnej situácie, odlišných charakteristík dopravných prúdov, či správania sa vodičov. Problémom je, že nie sú k dispozícii výsledky výskumov alebo dopravných prieskumov z tejto oblasti a nie sú k dispozícii ani všeobecne známe kapacitné výpočty platné pre takýto typ neriadených križovatiek. Dopravní inžinieri preto nevedia, ako v takýchto prípadoch postupovať, alebo si svojvoľne modifikujú výpočtové postupy a vstupné parametre (výpočet rozhodujúcej intenzity nadradených prúdov, hodnoty kritických a následných časových odstupov), čo nie je možné ani na úrovni investora relevantne preveriť. Predpokladom však je, že teória správania sa dopravných prúdov na križovatkách so zalomenou hlavnou cestou je, až na určité špecifiká, obdobná, ako na štandardných neriadených križovatkách. Preto je možné pre kapacitné výpočty neriadených križovatiek so zalomenou prednosťou v jazde s určitou analógiou a zohľadnením špecifik použiť základné teoretické modely platné pre štandardné neriadené križovatky. Dané špecifiká na tomto type križovatiek je potrebné identifikovať a stanoviť ich mieru vplyvu, resp. spôsob ovplyvnenia a zohľadniť ich pri modifikácii výpočtových postupov a hodnotách vstupných parametrov.

Pre výpočet kapacity dopravných prúdov na štandardných neriadených križovatkách sa používa teoretický model založený na teórii prijatých časových odstupov. Tento model sa v súčasnosti používa vo väčšine krajín Európy, v USA a Austrálii. Je základom najznámejších a najpoužívanějších kapacitných manuálov HBS [18] a HCM [19] a je najpodrobnejšie rozpracovaný. Z tohto dôvodu aj teoretický model výpočtu kapacity dopravných prúdov na neriadených križovatkách so zalomenou hlavnou cestou navrhnutý v RÚ je založený práve na tomto teoretickom základe a modifikované výpočtové postupy sú odvodené z rovnakých teórií. Vzhľadom na náročnosť teoretických modelov pre výpočet kapacity prúdov III. a IV. stupňa a zmiešaných dopravných prúdov, navrhované modifikované výpočtové postupy boli skonzultované s prof. Ning Wu z Ruhr-Universität Bochum, Nemecko, ktorý odvodil vzťahy pre výpočet kapacity dopravných prúdov III. a IV. stupňa a zmiešaných dopravných prúdov na krátkych zaradovacích a odbočovacích pruhoch pre štandardné križovatky s priamou hlavnou cestou [42],[43],[49], využívané v aktuálnom kapacitnom manuáli HBS [18] a TP 102 [33]. Rovnako boli skonzultované aj postupy pre výpočet rozhodujúcej intenzity nadradených dopravných prúdov a metodika získania vstupných údajov pre výpočet kritických časových odstupov.

Významným podkladom pre spracovanie a overenie navrhovaného teoretického modelu (výpočtu kapacity a jej posúdenie) boli výsledky podrobných dopravných prieskumov na vybraných stykových a priesečných križovatkách so zalomenou hlavnou cestou a výsledky mikrosimulácií. Počet križovatiek, na ktorých bolo potrebné vykonať a vyhodnotiť dopravný prieskum, sa v rámci spracovania RÚ zvýšil z pôvodných štyroch na sedem. Navyše, okrem požadovaných charakteristík dopravných prúdov a výkonnostných parametrov bolo na vybraných križovatkách pozorované aj špecifické správanie sa vodičov, ktoré má významný vplyv na stanovenie základnej kapacity podradených prúdov.

4. ŠPECIFIKÁ A ROZDELENIE NERIADENÝCH KRIŽOVATIEK SO ZALOMENOU HLAVNOU CESTOU

Neriadené križovatky so zalomenou hlavnou cestou patria k úrovňovým križovatkám, na ktorých sa pozemné komunikácie pretínajú, stýkajú alebo odpájajú v jednej úrovni. Z hľadiska spôsobu riadenia cestnej premávky patria ku križovatkám s určenou prednosťou v jazde. Ide o križovatky bez riadenia cestnou svetelnou signalizáciou, a preto sa uvádzajú ako neriadené križovatky. Cestná premávka je na nich riadená dopravnými značkami, ktoré určujú hlavnú cestu (P8 „Hlavná cesta“) a vedľajšiu cestu (P1 „Daj prednosť v jazde!“ alebo P2 „Stoj, daj prednosť v jazde!“).

4.1 Špecifiká neriadených križovatiek so zalomenou hlavnou cestou

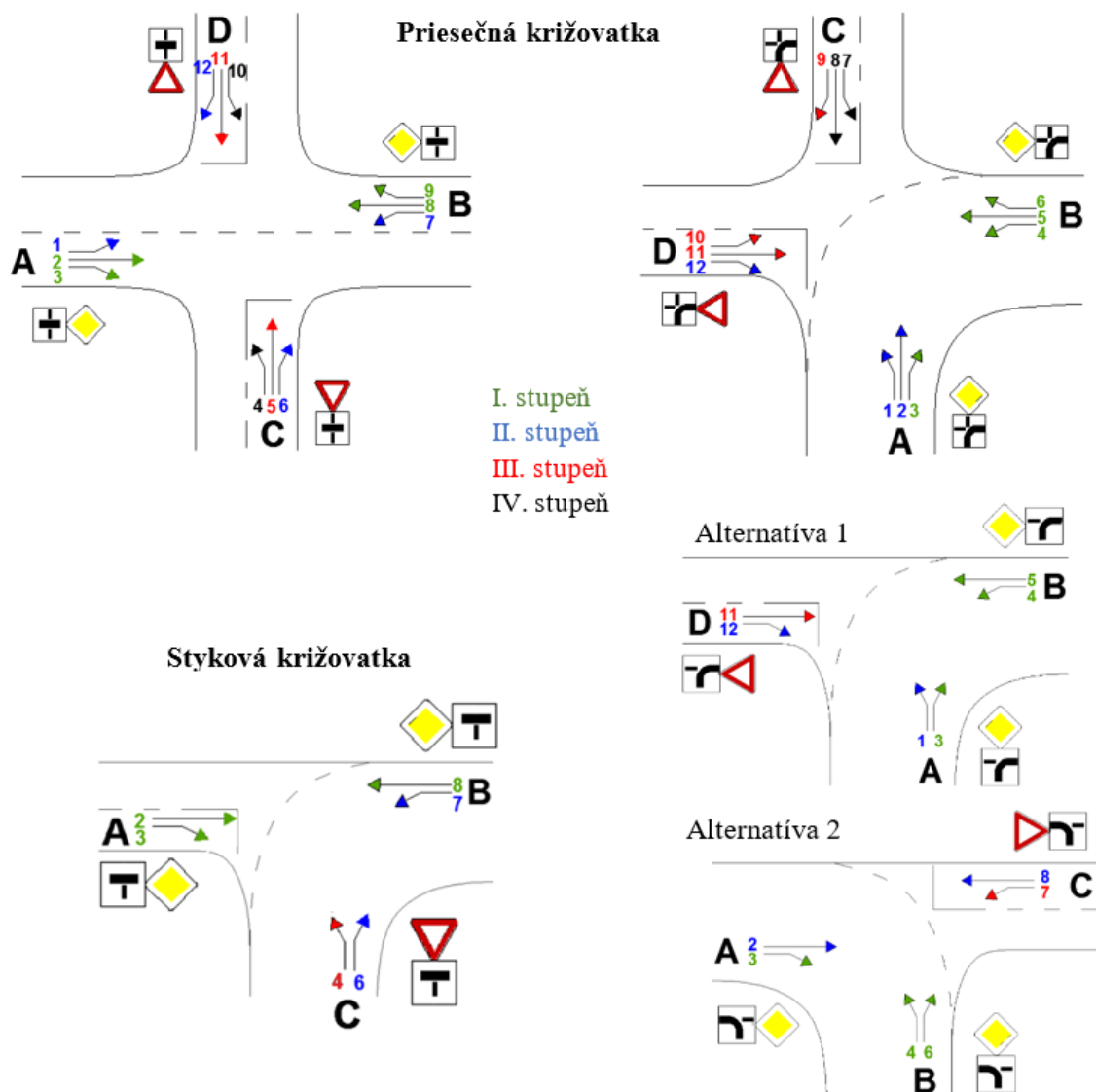
Špecifikom neriadených križovatiek so zalomenou prednosťou je, že hlavná cesta nie je vedená v priamom smere, ale je zalomená (viď. Obr. 4.2). Dopravné značky určujúce hlavnú cestu (P8) a vedľajšiu cestu (P1, resp. P2) musia byť v takomto prípade vždy doplnené dodatkovou tabuľou P13: „Tvar križovatky (vzor)“ uvádzajúcou tvar križovatky a smerovanie hlavnej cesty.

Na križovatkách so zalomenou hlavnou cestou, najmä na priesečných križovatkách, vzniká zložitejšia dopravná situácia, ktorú musia vodiči riešiť. Dôvodom je, že sa tu okrem pravidiel cestnej premávky platných na križovatkách s určenou prednosťou v jazde so štandardným vedením hlavnej cesty v priamom smere, uplatňuje aj pravidlo prednosti pre vozidlá prichádzajúce sprava („pravidlo pravej ruky“). Je to dôsledkom situovania hlavných vjazdov, resp. vedľajších vjazdov vedľa seba a nie oproti sebe. Výsledkom takejto asymetrického usporiadania je odlišné zaradenie dopravných prúdov v hierarchii nadradenosti (stupňa prednosti v jazde) v porovnaní so štandardnou križovatkou. Zatiaľ čo na štandardnej priesečnej križovatkách sú dopravné prúdy na hlavných vjazdoch zaradené do rovnakých stupňov prednosti v jazde, na križovatkách so zalomenou prednosťou majú dopravné prúdy na pravostrannom hlavnom vjazde vyššiu prioritu ako dopravné prúdy na ľavostrannom hlavnom vjazde (pozri Obr. 4.1). To isté platí aj pre dopravné prúdy na vedľajších vjazdoch. Výsledkom je, že rovnaký dopravný pohyb cez križovátku (priamo, vľavo, vpravo) je zaradený do rôzneho stupňa prednosti v jazde. Ako príklad môže byť uvedené ľavé odbočenie na priesečnej križovatkách. Odbočenie vľavo z hlavnej cesty je I. stupňa (dopravný prúd 4) a II. stupňa (dopravný prúd 1), a odbočenie vľavo z vedľajšej cesty je III. stupňa (dopravný prúd 10) a IV. stupňa (dopravný prúd 7). Istým špecifikom je aj to, že pri stykových križovatkách rozoznávame dve alternatívy vedenia zalomenej hlavnej cesty a tomu zodpovedajúce rozdelenie dopravných prúdov do troch stupňov. Prvá alternatíva predstavuje vedenie zalomenej hlavnej cesty vpravo a druhá alternatíva vľavo (pozri Obr. 4.1).

Špecifické vedenie hlavnej cesty so situovaním hlavných a vedľajších vjazdov vedľa seba spolu s faktom, že niektorí vodiči v nadradených prúdoch (nielen v smere hlavnej cesty) nesignalizujú zmenu smeru jazdy, príp. signalizujú zmenu smeru príliš neskoro, vyplýva do väčšieho počtu tzv. potenciálne kolíznych prúdov (pri priesečnej križovatkách so združenými pruhmi je to dvojnásobok v porovnaní so štandardnou križovatkou – viď. kapitola 8.5.2). Dochádza tak k ovplyvňovaniu vodičov z podradených dopravných prúdov, lebo nemajú istotu, či vozidlo z nadradeného vjazdu prejde cez križovátku priamo, alebo odbočí – t.j. nie je istota, či ide o vozidlo kolízne, ktorému musia dať prednosť, alebo nekolízne, s ktorým zároveň môžu prejsť bezkolízne križovatkou. Čakajú teda až do chvíle, kým nie je pohyb nadradeného vozidla zrejmý, a teda nevyužívajú všetky potenciálne vhodné odstupy medzi

nadradenými vozidlami na vykonanie manévru (napr. odbočenie vpravo). Takéto situácie znižujú základnú kapacitu podradených dopravných prúdov, a teda aj celej križovatky.

Okrem uvedených špecifik je pre niektorých vodičov dopravná situácia zložitejšia aj z dôvodu zriedkavejšieho výskytu takýchto križoviek na cestnej sieti a s tým súvisiaca menšia skúsenosť s riešením špecifickej dopravnej situácie (iné nadradené dopravné prúdy ako pri štandardnej križovatke). Výhodou však je, že rýchlosti vozidiel v hlavnom dopravnom prúde (vozidlá odbočujúce vpravo, resp. vľavo v smere hlavnej cesty) nedosahujú vysoké hodnoty. Priemerné hodnoty týchto rýchlostí sa spravidla pohybujú v rozsahu 25 - 35 km/h v obci, resp. 40 - 50 km/h mimo obce (viď. kapitola 8.4.3).



Obr. 4.1 Hierarchia dopravných prúdov na priesečnej a stykovej križovatke s hlavnou cestou priamou (vľavo) a zalomenou (vpravo)

Najčastejším dôvodom riešenia zalomenej prednosti v jazde na križovatkách je dominantný dopravný prúd v smere navrhnutej hlavnej cesty v čase rannej alebo popoludňajšej špičky. V mestských podmienkach, pri vyrovnaných intenzitách dopravy v hlavnom a vedľajšom smere, môže rozhodnutie o návrhu zalomenej prednosti v jazde ovplyvniť aj vedenie liniek MHD.

4.2 Rozdelenie neriadených križoviek so zalomenou hlavnou cestou

Neriadené križovatky so zalomenou hlavnou cestou z hľadiska tvaru a orientácie v pôdoryse rozdeľujeme na:

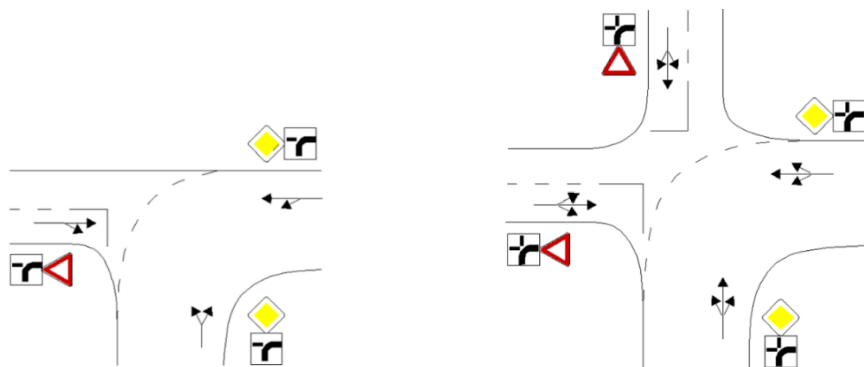
- *stykové* (trojramenné),
- *priesečné* (štvorramenné).

Môžu sa v rámci tohto rozdelenia ďalej odlišovať podľa uhla križenia a spôsobu zaústenia vedľajšej cesty na hlavnú cestu.

Podľa stupňa usmernenia dopravných prúdov ďalej rozlišujeme neriadené križovatky:

- *jednoduché (bez usmernenia)* - dopravné smery nie sú rozčlenené na samostatné jazdné smery stavebnými úpravami, ani vodorovným dopravným značením,
- *usmernené* - dopravné prúdy z vedľajšej alebo hlavnej cesty sú usmernené geometrickým usporiadaním, stavebnými úpravami alebo vodorovným dopravným značením.

Na *jednoduchej neriadenej križovatk*e bez usmernenia dopravných prúdov nie sú dopravné prúdy rozčlenené na samostatné jazdné smery stavebnými úpravami ani vodorovným dopravným značením (na všetkých vstupoch sú združené jazdné pruhy - Obr. 4.2.). Navrhujú sa pri nízkych predpokladaných intenzitách dopravy.

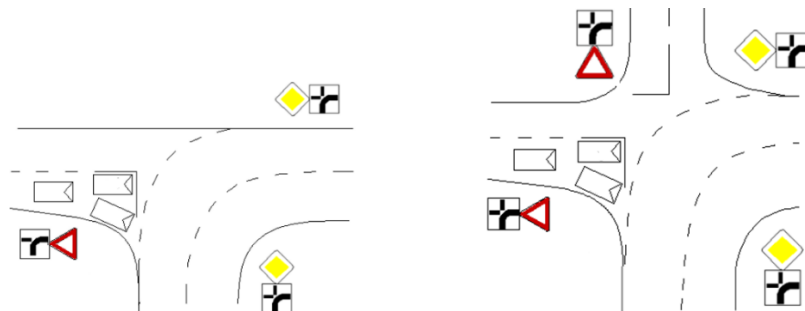


Obr. 4.2 Jednoduchá neriadená križovatka s určenou prednosťou v jazde – styková (vľavo) a priesečná (vpravo)

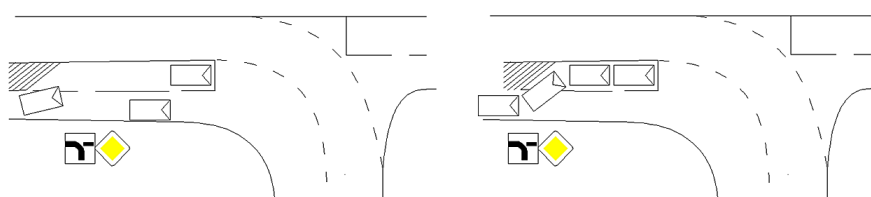
Na jednoduchých neriadených križovatkách – či už ide o stykové alebo priesečné križovatky, je vhodné navrhovať dostatočne veľké polomery nárožia pri vjazdoch z vedľajších ciest a upraviť ich tak, aby sa umožnilo vozidlám zastaviť v mieste rozhl'adu vedľa seba a nedochádzalo k ich vzájomnému ovplyvňovaniu (pozri Obr. 4.3). Návrhom *rozšíreného vjazdu* na vedľajšej ceste dokážeme pozitívne ovplyvniť kapacitu danej križovatky, samozrejme s predpokladom, že je zabezpečený dostatočný rozhl'ad. Pre zvýšenie kapacity je tiež možné rozšíriť aj vjazd z hlavnej cesty – vozidlá idúce vpravo po hlavnej ceste tak nie sú blokované vozidlom čakajúcim na vjazde z hlavnej cesty a smerujúcim na niektorú z vedľajších ciest.

Na *usmernených neriadených križovatkách* sa používajú prvky usmernenia (samostatne alebo v kombinácii), ktorých použitie viac či menej ovplyvňuje ich kapacitu a bezpečnosť. K najčastejšie používaným patria zaraďovacie a odbočovacie pruhy. *Zaraďovacie a odbočovacie pruhy* vľavo a/alebo vpravo sa navrhujú na hlavnej a/alebo na vedľajšej ceste, zabezpečujú predovšetkým vyššiu výkonnosť križovatky. Je však potrebné ich navrhnuť v dostatočnej dĺžke (dlhšie ako vznikajúca kolóna), aby

vozidlá v týchto pruhoch neobmedzovali vozidlá v hlavných dopravných prúdoch, ako je to znázornené na Obr. 4.4 (vpravo).



Obr. 4.3 Rozšírený vjazd z vedľajšej cesty na stykovej a priesečnej križovatke



Obr. 4.4 Usmernená križovatka so samostatným zaraďovacím pruhom - dostatočne dlhý pruh (vľavo) a krátky pruh (vpravo)

4.3 Úprava zaústenia vedľajšej cesty na hlavnú cestu

Pre zabezpečenie psychologickkej istoty vodičov na križovatkách so zalomenou hlavnou cestou sa odporúča ich upozorniť na neštandardné zalomenie prednosti v jazde okrem zvislého dopravného značenia aj vhodnou stavebnou úpravou. Návrh takejto úpravy na stykových križovatkách (kolmé zaústenie vedľajšej cesty alebo zaústenie a usmernenie dopravy) sa uvádza napr. v ČSN 73 6102 [11]. Zobrazené sú na Obr. 4.5.

Pôvodné usporiadanie		
Úprava návrhom kolmého zaústenia vedľajšej cesty		
Úprava zaústením a usmernením dopravy		

Obr. 4.5 Príklady úprav zaústenia vedľajšej cesty na hlavnú cestu v oblíku [11]

5. TEÓRIE VÝPOČTU KAPACITY NERIADENÝCH KRIŽOVATIEK

Pre účely výpočtu kapacity neriadených križovatiek vznikali a vyvíjali sa rôzne teórie a modely. Ich prehľad a popis je podrobnejšie popísaný v tejto kapitole. Pred uvedením týchto teórií je priblížený pojem kapacita.

5.1 Kapacita neriadených križovatiek

Celkovú kapacitu križovatky možno definovať ako maximálny súčet intenzít všetkých dopravných prúdov, ktoré ňou prejdú za určitú časovú jednotku pri jej stavebnom usporiadaní, dopravných podmienkach a podmienkach riadenia. Kapacita križovatky je podľa [32] podmienená kapacitou v každom stretnom bode križovatky, v ktorom dochádza k pretínaniu, spojeniu alebo rozdeleniu dopravných prúdov.

Definovanie celkovej kapacity križovatky je čisto kvantitatívne a hovorí len o maximálnej hodnote kapacity bez ohľadu na kvalitu pohybu dopravy najslabšieho dopravného prúdu križovatky. Takýto prístup umožňuje dosiahnuť extrémne vysoké hodnoty kapacity pri vysokých intenzitách hlavných prúdov, avšak na úkor veľmi dlhých dôb čakania vozidiel z podradených prúdov. Z toho dôvodu **sa počíta a posudzuje kapacita každého podradeného prúdu na križovateľke**.

Kapacita podradených prúdov na neriadenej križovateľke je podľa [32] podmienená počtom časopriestorových medzier medzi vozidlami jazdného prúdu s prednosťou v jazde, prijateľných pre začlenenie alebo križovanie vozidiel vedľajšieho prúdu tak, aby ich jazdné úkony mohli byť prevedené plynule, bezpečne a bez zbytočných časových strát. Rozlišujeme: základnú kapacitu podradeného prúdu a kapacitu podradeného prúdu.

Základná kapacita podradeného prúdu (v zahraničí známa ako „potential capacity“) je maximálny počet vozidiel z príslušného podradeného prúdu, ktoré môžu prejsť križovateľkou počas časových odstupov medzi vozidlami v nadradených prúdoch a to za predpokladu, že majú k dispozícii samostatný jazdný pruh a nie sú ovplyvnené vzdutím v nadradených prúdoch.

Kapacita podradeného prúdu (v zahraničí známa ako „movement capacity“) je kapacita podradeného prúdu za predpokladu, že dopravný prúd má samostatný jazdný pruh a zohľadňuje pravdepodobnosť vzdutia vozidiel v nadradených prúdoch.

V prípade, že jeden jazdný pruh je určený pre zmiešaný dopravný prúd, počíta sa **kapacita združeného jazdného pruhu**, resp. **kapacita zmiešaného dopravného prúdu**, pretože dochádza k vzájomnému ovplyvňovaniu jednotlivých dopravných prúdov.

5.2 Teórie a metódy výpočtu kapacity neriadených križovatiek

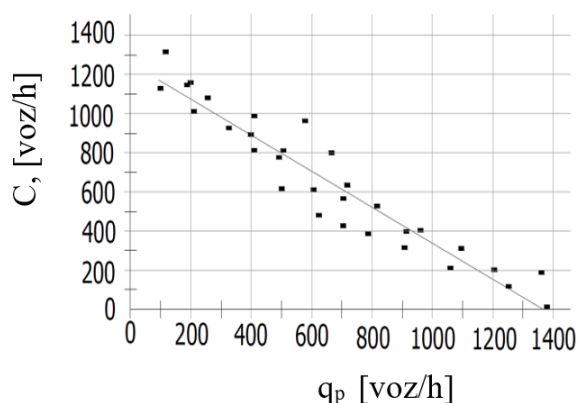
Oblasť výpočtu kapacity neriadených križovatiek a nastavenie výpočtových modelov pomocou vstupných parametrov na konkrétne dopravné podmienky je v mnohých krajinách predmetom skúmania. Všeobecne sa pre výpočet kapacity dopravných prúdov na neriadených križovatkách využívajú metódy založené na troch odlišných prístupoch. Patria sem:

- **teória prijatých časových odstupov (GAP metódy)**,
- **empirické metódy**,
- **teória kolízií (ACF metóda)**.

Teória prijatých časových odstupov (známa ako GAP metóda - z anglického „Gap-Acceptance Procedures“) je prvou a najstaršou teóriou pre výpočet kapacity neriadených križovatiek, ktorá sa formuje už od 60-tych rokov minulého storočia. Vyvinutá bola v Nemecku (Grabe, 1954) a vychádza z jednoduchého modelu križenia dvoch prúdov podľa Obr. 6.4. Základnú kapacitu podradených dopravných prúdov neskôr definovali Harders (1968) a tiež Siegloch (1973). Principiálne je závislá od hodnôt kritického a následného časového odstupe a od intenzity nadradených dopravných prúdov. Tieto modely sú overené praxou v mnohých krajinách (väčšina európskych krajín, USA, Austrália) [4].

Teória prijatých časových odstupov pri výpočte kapacity podradených dopravných prúdov vychádza z: veľkosti a distribúcie časových odstupov v nadradenom dopravnom prúde, využiteľnosti týchto odstupov pre vodičov z podradeného dopravného prúdu a rešpektovania relatívnej priority rôznych dopravných prúdov. Na rôzne časti teórie prijatých časových odstupov existujú viaceré metódy a modely použité v kapacitných manuáloch (HCM [19], HBS [18] a pod.).

Empirické modely sú založené na experimentálnom pozorovaní (meraní intenzít) v čase, kedy dochádza k vyčerpaniu kapacity križovatky. Pri kvantifikácii výkonnosti križovatky sa často využíva regresná analýza. S aplikáciou regresných metód začali vo svojich výskumných prácach Kimber a Coombe v roku 1980 v Británii [23]. Model je založený na jednoduchom prípade križujúcich sa dvoch prúdov. Jeden prúd (na hlavnej ceste) je nadradený a druhý prúd (na vedľajšej ceste) je podradený. Predpokladá sa, že na vedľajšom vjazde je vždy kolóna (t.j. minimálne jedno vozidlo čaká na stop-čiare). Počas určitého času sa spočíta počet vozidiel, ktoré vstúpia z podradeného prúdu do križovatky. Tento počet sa rovná kapacite vjazdu. Závisí od intenzity nadradeného prúdu q_p , ktorá je v tom istom časovom intervale. Celkový čas sa rozdelí na menšie intervaly (napr. 1 min) a stanoví sa počet vozidiel v nadradenom a podradenom prúde prepočítaný na 1 hodinu. Namerané údaje – vzťah medzi intenzitou nadradených a podradených prúdov sú reprezentované regresnou krivkou ako je ukázané na Obr. 5.1. Tento prístup je použiteľný hlavne pre jednoduché kolízne manévry križovatkových pohybov a je vhodný pre jednoduchý systém dopravnej hierarchie prednosti v jazde (nenastáva veľa komplikovaných a vzájomne závislých dopravných situácií). Príkladom je napr. vjazd do okružnej križovatky, križenie dvoch jednosmerných ulíc alebo styková križovatka s jednosmernou vedľajšou cestou.

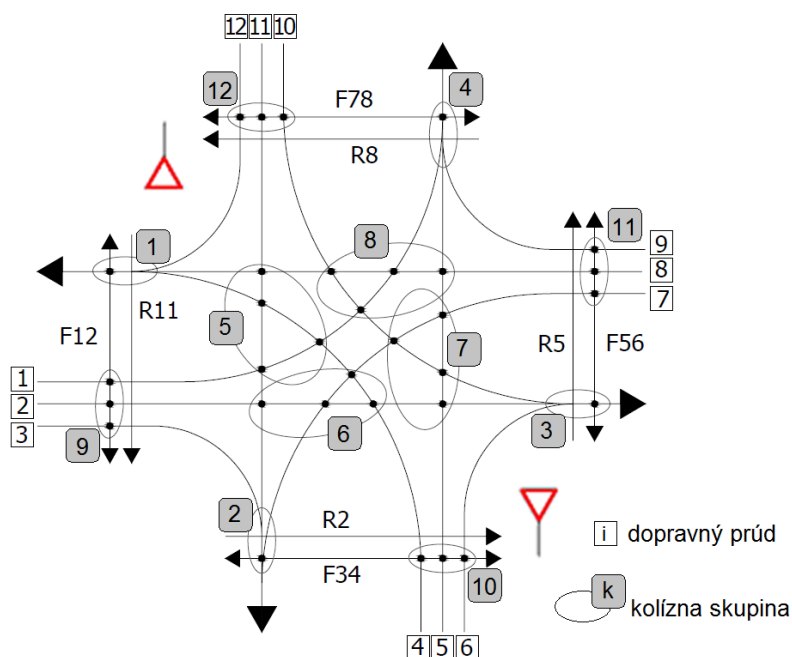


Obr. 5.1 Vzťah medzi intenzitou nadradeného prúdu q_p a kapacitou podradeného prúdu C [23]

Empirický prístup je principiálne možné použiť pre všetky križovatkové situácie. Išlo by však o veľmi rozsiahly systém, v ktorom by museli byť závislosti stanovené pre celý rad špecifických dopravných situácií a pre rôzne stavebné usporiadania križovatky. Pre priesečné križovatky s 12 pohybmi by bolo stanovenie kapacity najpodradenejších prúdov, závislých na väčšom počte vzájomne podmienených nadradených prúdov, či zmiešaných prúdov, veľmi komplikované. Z praktického hľadiska by bolo vhodné tieto závislosti vyjadriť graficky a to s určitými zjednodušeniami, vylúčením

niektorých nie príliš sa často vyskytujúcich situácií a s pripustením určitého rozpätia platnosti stanovených regresných funkcií. Potom by mohli byť využité pre orientačné, rýchle posúdenie.

Teória kolízií bola vyvinutá pre výpočet kapacity neriadených križovatiek v rámci najnovších výskumov v Nemecku. Vychádza z princípov metódy súčtu kolíznych prúdov (ACF – z anglického „Additive Conflict Flows“) podľa Gleue (1972) používanej v minulosti pre orientačný výpočet kapacity svetelne riadených križovatiek. Výpočtový model bol pôvodne navrhnutý pre americké riešenie križovatiek s dopravnou značkou STOP na všetkých vjazdoch (Wu, 2000) [44] a [45], rovnaký koncept bol vyvinutý neskôr aj pre križovatky s určenou prednosťou v jazde (Wu, 2001) [46]. V teórii kolízií sa definujú kolízne body a kolízne plochy, v ktorých dochádza k možnej kolízii niekoľkých dopravných prúdov. Uvedenou plochou môžu prejsť dopravné prúdy jeden po druhom v závislosti od ich priority. Všetky dopravné prúdy, ktoré prechádzajú rovnakou kolíznou plochou sa nazývajú kolízna skupina. Autori Brilon, Wu (2002) [10] kolízne body a plochy systematicky označili (Obr. 5.2) a pre zjednodušenie vytvorili tabuľky pre priesečnú aj stykovú križovatku, kde sú definované pre každý dopravný prúd konkrétne kolízne skupiny a kolízne prúdy. Vychádzalo sa z pravidiel cestnej premávky a hierarchie priorít jednotlivých dopravných prúdov. Platnosť je teda pre krajiny s rovnakými pravidlami cestnej premávky ako sú v Nemecku. V metodike sú okrem dopravných prúdov zahrnuté aj pešie (F) a cyklistické (R) prúdy. Wu tiež metódu zjednodušil tým, že je v nej možné použiť priamo mikroskopické parametre, ako je kritický a následný časový odstup z teórie prijatých časových odstupov [48]. S metódou súčtu kolíznych prúdov však nie sú doposiaľ veľké praktické skúsenosti ani v Nemecku. V zahraničí sa uvedená metóda kolízií v rámci výskumu sleduje prevažne v krajinách, kde prevláda zmiešaná doprava s vysokou intenzitou cyklistickej dopravy a peších (napr. v Indii).



Obr. 5.2 Kolízne skupiny a dopravné prúdy na križovatke podľa Brilona a Wu (2001) – teória kolízií

V súčasnosti väčšina platných predpisov pre neriadené križovatky vychádza z **teórie prijatých časových odstupov**, rovnako je to aj v našich technických podmienkach TP 102 [33]. Táto teória bola využitá aj pri modifikácii kapacitných výpočtov pre neriadené križovatky so zalomenou hlavnou cestou. Pre objasnenie návrhu nových kapacitných výpočtov je preto v ďalšej kapitole podrobnejšie popísaný základ tejto teórie.

6. TEÓRIA PRIJATÝCH ČASOVÝCH ODSUPOV

Teória prijatých časových odstupov sa pri výpočte základnej kapacity podradených dopravných prúdov opiera o tri základné časti:

- *veľkosť a distribúcia časových odstupov v nadradenom dopravnom prúde,*
- *využitelnosť týchto odstupov pre vodičov z podradeného dopravného prúdu a*
- *rešpektovanie relatívnej priority rôznych dopravných prúdov.*

Situácia na neriadených križovatkách je však v praxi oveľa zložitejšia a významne závisí od geometrického usporiadania danej križovatky. Do výpočtu kapacity podradených dopravných prúdov preto ďalej vstupujú:

- *pravdepodobnosť vzniku kolón v nadradených prúdoch,*
- *ovplyvňovanie sa zmiešaných prúdov na združených jazdných pruhoch.*

Na rôzne časti teórie prijatých časových odstupov existujú viaceré metódy a modely. Pred uvedením tých najvýznamnejších sú v nasledujúcich kapitolách zadefinované a popísané stupne prednosti v jazde a časové odstupy v dopravných prúdoch. Uvedené teórie sú platné pre štandardné neriadené križovatky.

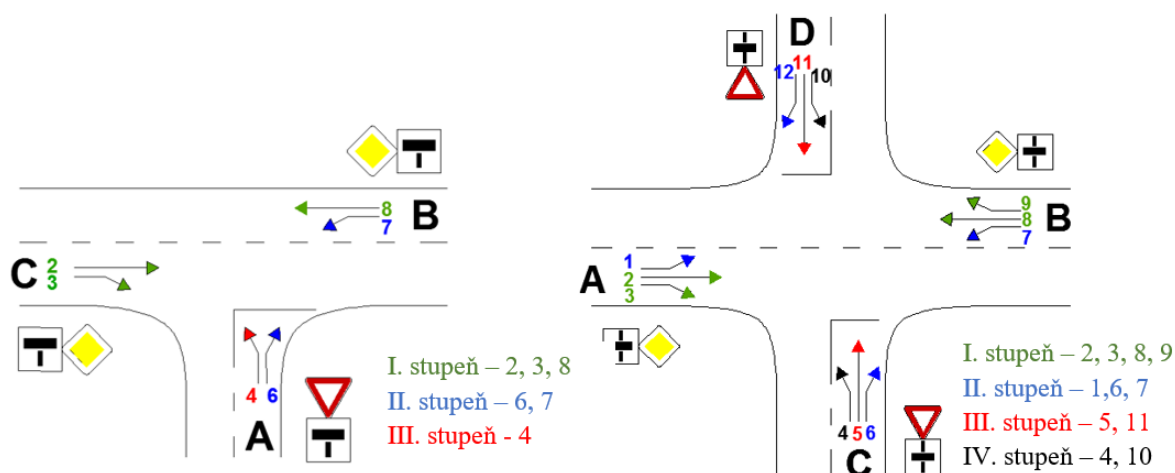
6.1 Dopravné prúdy a stupne prednosti v jazde na neriadených križovatkách

Dopravným prúdom vozidiel rozumieme sled všetkých vozidiel pohybujúcich sa na pruhu za sebou, alebo na pruhoch vedľa seba tým istým smerom. Ak dopravné prúdy idú rôznym smerom a využívajú jeden spoločný jazdný pruh, nazývame ich **zmiešaný prúd**.

Na neriadených križovatkách rozlišujeme dopravné prúdy podľa ich pohybu na hlavnej a vedľajšej ceste. Každý z týchto dopravných prúdov má svoje miesto v hierarchii špecifikovanej právom mať prednosť v spoločnom pretínajúcom sa priestore. Právo prednosti vychádza z platných pravidiel cestnej premávky. Podľa týchto pravidiel rozlišujeme **dopravné prúdy nadradené a podradené**. Podradené dopravné prúdy musia dať prednosť nadradeným dopravným prúdom (t.j. dopravným prúdom s prednosťou v jazde) a to podľa stanovenej úrovne v hierarchii alebo **stupňa prednosti v jazde**. Ak sa vozidlo v hierarchii nachádza nižšie, musí dať prednosť vozidlám vyššie postaveným, t.j. s vyššou prioritou. Vo všeobecnosti sa uvažuje so štyrmi stupňami:

- **dopravný prúd I. stupňa:** má absolútnu prednosť a nemusí dávať prednosť žiadnemu dopravnému prúdu (napr. priamy prejazd a odbočenie vpravo na hlavnej ceste),
- **dopravný prúd II. stupňa:** musí dať prednosť dopravným prúdom I. stupňa (napr. odbočenie vľavo z hlavnej cesty alebo odbočenie vpravo z vedľajšej cesty),
- **dopravný prúd III. stupňa:** musí dať prednosť dopravným prúdom I. a II. stupňa (napr. priamy prejazd z vedľajšej cesty),
- **dopravný prúd IV. stupňa:** musí dať prednosť dopravným prúdom I., II. a III. stupňa (napr. odbočenie vľavo z vedľajšej cesty).

Na stykových neriadených križovatkách sú tri úrovne priority (I. až III. stupeň). Na priesečných neriadených križovatkách, pokiaľ sú umožnené všetky pohyby, sú dopravné prúdy I. až IV. stupňa. Rozdelenie dopravných prúdov do príslušných stupňov priority, závislé od určenej prednosti v jazde danej dopravným značením a pravidlami cestnej premávky, je pre stykovú a priesečnú križovátku uvedené na Obr. 6.1.



Obr. 6.1 Dopravné prúdy a ich stupeň prednosti v jazde na stykovej a priesečnej neriadenej križovatke

Možnosť vykonať požadovaný pohyb vozidlám, ktoré musia dávať prednosť v jazde, je tým menšia, čím väčšia je intenzita dopravy nadradených dopravných prúdov, t.j. kapacita vedľajšieho vjazdu významne závisí od intenzity dopravy nadradených prúdov (pozri Obr. 6.6).

Rozhodujúce dopravné zaťaženie pre podradený dopravný prúd je dané súčtom intenzít všetkých nadradených dopravných prúdov, ktorým musí dať prednosť v jazde. Priradenie intenzít nadradených prúdov podradeným je v zmysle platných HBS [18] a TP 102 [33] uvedené v Tab. 6.1 pre stykovú križovatku a v Tab. 6.2 pre priesečnú križovatku. Rozhodujúce zaťaženie je hodnota na osi x na Obr. 6.6. Pri výpočte rozhodujúceho zaťaženia sa neuvažuje so skladbou dopravného prúdu nadradených prúdov, vyjadruje sa počtom vozidiel za hodinu [voz/h].

Napriek tomu, že vozidlá odbočujúce vpravo z hlavnej cesty (prúdy 3 a 9) nemajú body stretu s prúdmi z vedľajšej cesty (prúdy 4, 5 a 6 alebo 10, 11 a 12), ak nemajú samostatný pruh, ovplyvňujú vstupy podradených prúdov. Keďže sa veľkosť vplyvu nedá všeobecne kvantifikovať, v nemeckom kapacitnom manuáli HBS [18] a slovenských TP 102 [33] sa odporúča pripočítať polovičnú hodnotu intenzity prúdov odbočujúcich vpravo k intenzite priameho smeru s prednosťou v jazde (pozri poznámku 1 v Tab. 6.1 a Tab. 6.2).

Rovnaké predpoklady boli uvažované pri stanovení výpočtu rozhodujúceho dopravného zaťaženia pre podradené dopravné prúdy na neriadených križovatkách so zalomenou hlavnou cestou. Nekolízne nadradené prúdy, ktoré ovplyvňujú vstupy podradených prúdov (tzv. potenciálne kolízne prúdy) boli na týchto križovatkách identifikované pri vyhodnocovaní dopravných prieskumov na vybraných križovatkách a bolo s nimi uvažované pri výpočte rozhodujúcej intenzity dopravy nadradených prúdov.

Tab. 6.1 Rozhodujúca intenzita dopravy nadradeného prúdu q_p na stykovej križovatke [33]

Podradený dopravný prúd	Číslo DP	Rozhodujúca intenzita dopravy nadradeného prúdu q_p [voz/h]
Odbočenie vľavo z hlavnej cesty	7	$q_2 + q_3$
Odbočenie vpravo z vedľajšej cesty	6	$q_2 + 0,5 \cdot q_3^{1)}$
Odbočenie vľavo z vedľajšej cesty	4	$q_2 + q_7 + q_8 + 0,5 \cdot q_3^{1)}$
Označenia a čísla sa vzťahujú na dopravné prúdy vozidiel podľa Obr. 6.1.		
Výpočet platí pre križovatky s dvojpruhovou hlavnou cestou, bez oddelenia prúdov 3 alebo 6 trojuholníkovým ostrovčekom s následnou podradenosťou v jazde a dopravnou značkou P1 na vedľajšom vjazde.		
¹⁾ ak má dopravný prúd 3 samostatný jazdný pruh, tak $q_3 = 0$		

Tab. 6.2 Rozhodujúca intenzita dopravy nadradeného prúdu q_p na priesečnej križovatke [33]

Podradený dopravný prúd	Číslo DP	Rozhodujúca intenzita dopravy nadradeného prúdu q_p [voz/h]
Odbočenie vľavo z hlavnej cesty	1	$q_8 + q_9$
	7	$q_2 + q_3$
Odbočenie vpravo z vedľajšej cesty	6	$q_2 + 0,5 \cdot q_3^{1)}$
	12	$q_8 + 0,5 \cdot q_9^{1)}$
Priamy smer z vedľajšej cesty	5	$q_1 + q_2 + q_7 + q_8 + q_9 + 0,5 \cdot q_3^{1)}$
	11	$q_1 + q_2 + q_3 + q_7 + q_8 + 0,5 \cdot q_9^{1)}$
Odbočenie vľavo z vedľajšej cesty	4	$q_1 + q_2 + q_7 + q_8 + q_{11} + q_{12} + 0,5 \cdot q_3^{1)}) + 0,5 \cdot q_9^{1)}$
	10	$q_1 + q_2 + q_5 + q_6 + q_7 + q_8 + 0,5 \cdot q_3^{1)}) + 0,5 \cdot q_9^{1)}$

Označenia a čísla sa vzťahujú na dopravné prúdy vozidiel podľa Obr. 6.1.
Výpočet platí pre križovatky s dvojpruhovou hlavnou cestou, bez oddelenia prúdov 3, 9, 6 alebo 12 trojuholníkovým ostrovčekom s následnou podriadenosťou v jazde a dopravnou značkou P1 na vedľajších vjazdoch.
¹⁾ ak má dopravný prúd 3 alebo 9 samostatný jazdný pruh, potom q_3 alebo $q_9 = 0$

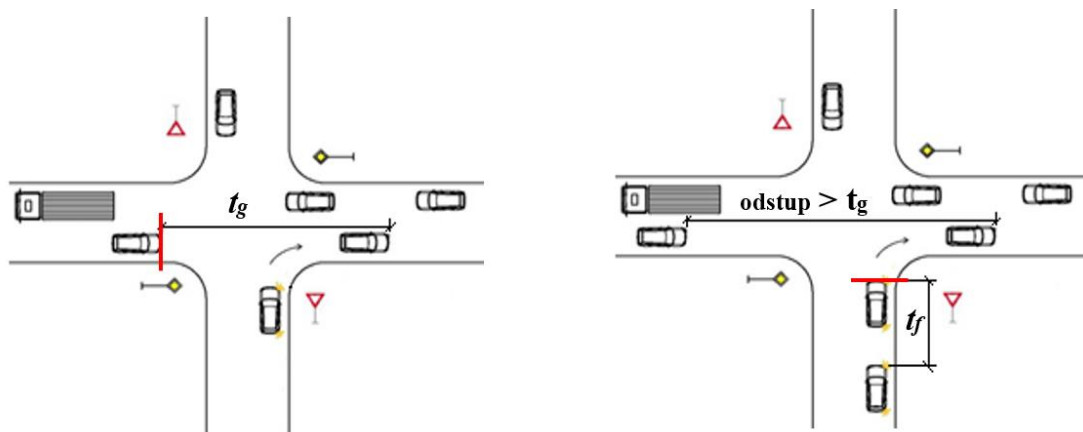
6.2 Časové odstupy

Pri pohybe vozidiel na križovatkách vznikajú medzi vozidlami dopravného prúdu **časové odstupy**. Je to čas, ktorý uplynie medzi prejazdom čiel za sebou nasledujúcich vozidiel v sledovanom reze jazdného pruhu. Pre výpočet základnej kapacity potrebujeme poznať veľkosť kritického časového odstupu a následného časového odstupu.

6.2.1 Definovanie kritického a následného časového odstupu

Kritický časový odstup (t_g) je minimálny časový odstup medzi dvomi vozidlami v nadradených dopravných prúdoch, ktorý je nevyhnutný pre jedno vozidlo z podradeného dopravného prúdu na vykonanie potrebného manévru (zaradenie alebo prekríženie) pri daných vonkajších podmienkach [33]. Znázornený je na Obr. 6.2 vľavo.

Následný časový odstup (t_l) je časový odstup medzi za sebou sa pohybujúcimi vozidlami vedľajšieho prúdu, ktoré vykonávajú požadovaný manéver počas jedného časového odstupu medzi dvomi vozidlami v nadradenom prúde [33]. Ide teda o časové rozpätie medzi vjazdom jedného vozidla z podradeného dopravného prúdu a vjazdom nasledujúceho vozidla z toho istého prúdu, kde je vytvorená kolóna – Obr. 6.2 vpravo. Následný časový odstup sa dá odmerať priamo na križovatke. Z nameraných skutočných následných časových odstupov sa vypočíta priemerná hodnota, ktorá predstavuje strednú hodnotu následného časového odstupu pre daný dopravný prúd.



Obr. 6.2 Grafické vyjadrenie kritického časového odstupu (t_g) a následného časového odstupu (t_f)

6.2.2 Hodnoty kritických a následných časových odstupov

Hodnoty kritických a následných časových odstupov závisia od mnohých faktorov: druh manévru; rýchlosť, intenzita a zloženie nadradeného dopravného prúdu; úprava prednosti v jazde dopravnou značkou; počet jazdných pruhov na hlavnej ceste; počet vstupných ramien križovatky; pozdĺžny sklon vedľajšej cesty; čas čakania a dĺžky kolóny v podradených dopravných prúdoch. K ďalším ovplyvňujúcim faktorom patria aj rozhľadové pomery z vedľajšej cesty, viditeľnosť (deň/noc, husté sneženie, hmla), kvalita vozidla či kvalita vodiča a jeho štýl jazdy.

Všetky uvedené faktory vplývajú na reálnu premávku na križovatke. Preto sú vo väčšej či menšej miere zohľadnené v hodnotách kritického a následného odstupu v kapacitných manuáloch jednotlivých krajín. Obe hodnoty majú výrazný vplyv na základnú kapacitu ako je evidentné z Obr. 6.6. Zvýšením kritického a následného odstupu sa hodnota základnej kapacity môže výrazne znížiť. Zmena základnej kapacity má pochopiteľne zásadný dopad aj na celkovú kapacitu križovatky. Preto je dôležité správne stanovenie hodnôt kritického a následného časového odstupu tak, aby čo najlepšie odrážali dopravné podmienky a typické správanie sa vodičov v danej krajine.

Porovnanie hodnôt kritických a následných odstupov používaných pri kapacitných výpočtoch neriadených križovatiek na Slovensku, TP 102 [33], v Nemecku, HBS [18], v USA, HCM [19] a v ČR, TP 188 [34] je uvedené v Tab. 6.3 a Tab. 6.4. Hodnoty časových odstupov v slovenských TP 102 [33] boli prevzaté z HBS z r. 2000.

Tab. 6.3 Porovnanie hodnôt kritických časových odstupov v rôznych kapacitných manuáloch

Druh dopravného prúdu	Číslo prúdu	Kritický časový odstup t_g [s]			
		TP 102 ¹⁾	HBS 2015 ¹⁾	HCM 2016 ²⁾	TP 188 ³⁾
odbočenie vľavo z hlavnej cesty	7 / 1	5,5	5,5	4,1	4,5
odbočenie vpravo z vedľajšej cesty	6 / 12	6,5	5,9	6,2	4,7
priamy smer z vedľajšej cesty	5 / 11	6,5	6,7	6,5	6,2
odbočenie vľavo z vedľajšej cesty	4 / 10	6,6	6,5	7,1	6,3
¹⁾ platné pre neriadené križovatky v obci					
²⁾ základné hodnoty na dvojpruhových pozemných komunikáciách					
³⁾ pri rýchlosti hlavného dopravného prúdu 50 km/h					

Tab. 6.4 Porovnanie hodnôt následného časových odstupov v rôznych kapacitných manuáloch

Druh dopravného prúdu	Číslo prúdu	Priemerný následný časový odstup t_f [s]			
		TP 102 ¹⁾	HBS 2015 ¹⁾	HCM 2016 ²⁾	TP 188 ³⁾
odbočenie vľavo z hlavnej cesty	7 / 1	2,6	2,8	2,2	2,6
odbočenie vpravo z vedľajšej cesty	6 / 12	3,7	3,9	3,3	3,7
priamy smer z vedľajšej cesty	5 / 11	4,0	3,8	4,0	3,9
odbočenie vľavo z vedľajšej cesty	4 / 10	3,8	3,8	3,5	4,1

¹⁾ platné pre neriadené križovatky v obci
²⁾ základné hodnoty na dvojpruhových pozemných komunikáciách
³⁾ pri dopravnej značke P1 Stoj, daj prednosť v jazde!

6.2.3 Spôsob stanovenia kritických časových odstupov

Na rozdiel od následného odstupe, **kritický časový odstup** nie je možné na križovatke odmerať priamo. Dôvodom je, že jeden vodič môže odmietnuť veľa odstupov, ale prijme vždy len jeden. Ten čo prijme však nemusí byť najmenší, ktorý by bol ochotný pri daných vonkajších podmienkach prijať. Merajú sa preto všetky časové odstupy, ktoré vodiči z podradených prúdov odmietnu a tiež tie, ktoré prijmu. Z uvedeného súboru dát sa pre stanovenie kritického odstupe štandardne berú do úvahy dve hodnoty - najväčší odmietnutý odstup a prijatý odstup každého vodiča z podradeného prúdu. Základným predpokladom je, že kritický odstup sa nachádza práve v tomto rozpätí.

Keďže kritický odstup je stochasticky distribuovaná hodnota, boli pre jej stanovenie vyvinuté metódy založené na teórii odhadu. Pri odhadovaní parametra pravdepodobnostného rozdelenia kritického odstupe pri určitom manévri sa zvyčajne predpokladá, že každý vodič vo vedľajšom prúde sa správa konzistentne, tzn. má svoj vlastný kritický odstup (niekto je opatrný, iný riskuje) a ten vždy dodržiava. Ak sa v hlavnom prúde vyskytne odstup väčší ako je jeho vlastný, vždy ho prijme a naopak.

V súčasnosti je známych viac ako 20 pravdepodobnostných modelov odhadu hodnoty kritického časového odstupe. Patrí k nim napr. metóda od Raffa (1950), Hardersa (1968), Awortha (1970), Sieglocha (1973), Troutbecka (1992), Logit model (napr. Cassidy 1994), Wu (2006) a iné ([5],[9],[15],[16],[28],[38],[40],[47]). K najrozšírenejším patrí metóda Raffa (1950) [28] pre jej jednoduchosť a metóda Troutbecka (1992) [38] pre jej presnosť. V poslednom období sa tiež rozšírilo v rámci výskumu používanie metódy navrhutej Wu (2006) [47], ktorá je v porovnaní s Troutbeckovou metódou MLM oveľa jednoduchšia a na rozdiel do Raffovej metódy odhaduje strednú hodnotu kritického odstupe, namiesto mediánu [47] pri zachovaní pomerne jednoduchého výpočtového postupu.

Podľa rozsiahlej štúdie prof. Brilona a kol. [9], **metóda MLM Troutbecka (1992)** dáva najlepšie výsledky a bola využívaná pri odhade kritických časových odstupov pre kapacitné manuály HCM [19] a HBS [18]. Preto bola použitá aj pre stanovenie kritických odstupov z hodnôt získaných z dopravných prieskumov na vybraných neriadených križovatkách so zalomenou hlavnou cestou. Podrobnejšie je princíp a postup výpočtu podľa tohto modelu uvedený nižšie.

Troutbeckov model (1992) pre odhad kritického odstupe je založený na **metóde maximálnej vierohodnosti**, označovanej ako **MLM** (z anglického „Maximum Likelihood Method“) [38]. Predpokladá sa logaritmicko-normálne rozdelenie prijatých a maximálnych odmietnutých odstupov. Parametre distribučnej funkcie kritických odstupov, stredná hodnota μ a rozptyl σ^2 , sú získané maximalizáciou funkcie vierohodnosti. Táto funkcia je definovaná ako pravdepodobnosť, že distribučná funkcia kritického odstupe leží medzi sledovanou distribučnou funkciou maximálnych odmietnutých odstupov a distribučnou funkciou prijatých odstupov (Obr. 8.15).

Maximálna funkcia vierohodnosti je v nasledovnom tvare:

$$L^* = \prod_{i=1}^n [F(a_i) - F(r_i)] \quad (6.1)$$

kde:

a_i - logaritmus prijatého odstupu vodiča i ,

r_i - logaritmus maximálneho odmietnutého odstupu vodiča i ,

$F(a_i)$ - kumulatívna distribučná funkcia pre normálnu distribúciu prijatých odstupov,

$F(r_i)$ - kumulatívna distribučná funkcia pre normálnu distribúciu max. odmietnutých odstupov.

Logaritmus L funkcie (6.1) je nasledovný:

$$L = \sum_{i=1}^n \ln [F(a_i) - F(r_i)] \quad (6.2)$$

Parametre vierohodnosti μ a σ^2 sa získajú ako výsledok riešenia, keď sú parciálne derivácie rovnice (6.2) rovné nule. Podľa [38] môžu byť zjednodušené nasledovne:

$$\begin{cases} - \sum_{i=1}^n \frac{f(a_i) - f(r_i)}{F(a_i) - F(r_i)} = 0 \\ - \frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^n \frac{(a_i - \mu) \cdot f(a_i) - (r_i - \mu) \cdot f(r_i)}{F(a_i) - F(r_i)} = 0 \end{cases} \quad (6.3)$$

kde:

$f(a_i), f(r_i)$ - funkcie hustoty pravdepodobnosti pre normálnu distribúciu s parametrami μ a σ^2 .

Následne sa môže vypočítať stredná hodnota $E(t_c)$ a rozptyl $D(t_c)$ kritického odstupu rovnicami:

$$E(t_c) = e^{\mu+0,5\sigma^2} \quad (6.4)$$

$$D(t_c) = E(t_c)^2 \cdot (e^{\sigma^2} - 1) \quad (6.5)$$

Funkcie hustoty pravdepodobnosti prijatých odstupov $f(a_i)$ a maximálnych odmietnutých odstupov $f(r_i)$, distribučné funkcie prijatých odstupov $F(a_i)$ a maximálnych odmietnutých odstupov $F(r_i)$ sa vypočítajú pre každý logaritmus hodnoty prijatého odstupu a_i a logaritmus odmietnutého odstupu r_i . Parametre μ a σ^2 sa môžu vypočítať iteračným spôsobom, z ktorých sa následne vypočíta stredná hodnota kritického odstupu $E(t_c)$ a rozptyl kritického odstupu $D(t_c)$.

6.3 Distribúcia časových odstupov v nadradenom dopravnom prúde

Okrem veľkosti časových odstupov v nadradenom dopravnom prúde aj ich samotná distribúcia má významný vplyv na výkonnosť neriadených križovatiek, pričom sa sleduje rozdelenie časových odstupov rovných alebo väčších ako je kritický časový odstup.

Samotné rozdelenie časových odstupov je možné vyjadriť matematicky pomocou analytických alebo stochastických modelov. Najčastejšie sa využívajú **stochastické modely**, ku ktorým patria pravdepodobnostné modely: **diskrétny** (binomický, negatívne binomický, Poissonov model) a **spojitý** (negatívne exponenciálny, Erlangov, Pearsonov, Laplace-Gaussov model).

Z [25],[37],[39] vyplýva, že väčšina modelov neriadených križovatiek používa pre vyjadrenie distribúcie odstupov v dopravnom prúde **spojité negatívne exponenciálne rozdelenie - M1 model**. Použitý je aj v modeloch výpočtu kapacity neriadených križovatiek, ktoré sú súčasťou metodík mnohých štátov Európy a USA (HBS [18] a HCM [19]). Pri negatívnom exponenciálnom rozdelení má intenzita dopravného prúdu Poissonovo rozdelenie a odstupy medzi vozidlami sú exponenciálne distribuované. Hustota rozdelenia pravdepodobnosti $f(t)$ je v tvare:

$$f(t) = q_p \cdot e^{-q_p \cdot t} \quad (6.6)$$

a distribučná funkcia rozdelenia pravdepodobnosti výskytu odstupov rôznej dĺžky $F(t)$ má tvar:

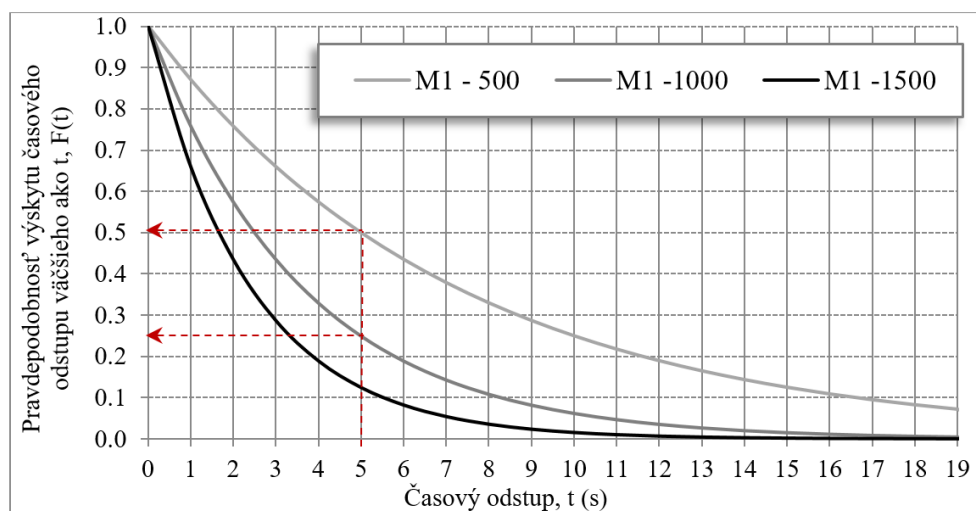
$$F(t) = 1 - e^{-q_p \cdot t} \quad (6.7)$$

kde:

t - čas [s],

q_p - intenzita vozidiel [voz/s].

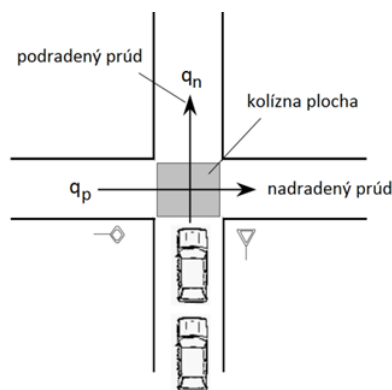
Na Obr. 6.3 je znázornená komplementárna funkcia $1-F(t)$ negatívneho exponenciálneho rozdelenia. Z nej je možné pre konkrétnu intenzitu nadradeného prúdu q_p určiť pravdepodobnosť výskytu odstupov väčších ako je sledovaný odstup t (napr. pri $q_p = 1000$ voz/h sa časový odstup väčší ako 5 s vyskytne s pravdepodobnosťou 25 % a pri $q_p = 500$ voz/h s pravdepodobnosťou až 50 %). To je veľmi dôležité pri posudzovaní výskytu vhodných odstupov na realizáciu požadovaných manévrov na neriadených križovatkách.



Obr. 6.3 Výskyt časových odstupov pri rôznej intenzite dopravného prúdu ($q_p = 500, 1000, 1500$ voz/h)

6.4 Základná kapacita dopravných prúdov

Teoretický výpočet základnej kapacity dopravných prúdov na neriadených križovatkách bol vyvinutý v Nemecku (Grabe, 1954). Vychádza z jednoduchého modelu križovania dvoch jednosmerných dopravných prúdov podľa Obr. 6.4. Prvý dopravný prúd je nadradený (hlavný) prúd s intenzitou q_p (vo voz/h) a druhý je podradený (vedľajší) prúd s intenzitou q_n (vo voz/h). Vozidlá v hlavnom prúde môžu prejsť kolíznou plochou bez akéhokoľvek zdržania. Vozidlá z vedľajšieho prúdu môžu vojsť na kolíznú plochu iba v tom prípade, ak je ďalšie vozidlo z hlavného prúdu mimo túto kolíznú plochu prinajmenšom t_g sekúnd (kritický časový odstup). V opačnom prípade musí čakať. Navyše, vozidlá z vedľajšieho prúdu môžu vstúpiť do križovatky najskôr t_f sekúnd po odjazde predchádzajúceho vozidla z vedľajšieho prúdu (následný časový odstup).



Obr. 6.4 Jednoduchý model križovania dvoch dopravných prúdov na križovatke

Uvažujme, že $g(t)$ je počet vozidiel z podradeného prúdu, ktoré môžu využiť odstup v trvaní t v nadradenom prúde na križovanie. Očakávaný počet odstupov v trvaní t za hodinu je $3600 \cdot q_p \cdot f(t)$, kde $f(t)$ je funkcia rozdelenia odstupov v hlavnom prúde a q_p je intenzita nadradeného prúdu. Základnú kapacitu potom môžeme pre každú hodinu vypočítať ako $3600 \cdot q_p \cdot f(t) \cdot g(t)$. Aby sme získali celkovú kapacitu, vyjadrenú vo voz/s, je potrebné integrovanie v celom rozsahu odstupov v nadradenom prúde podľa [37], [39] nasledovne:

$$q_n = q_p \cdot \int_0^{\infty} f(t) \cdot g(t) dt \quad (6.8)$$

kde:

- q_n - maximálny počet vozidiel, ktorý môže vstúpiť do križovatky z podradeného prúdu = G základná kapacita [voz/s],
- q_p - intenzita nadradeného dopravného prúdu [voz/s],
- $f(t)$ - funkcia rozdelenia odstupov v hlavnom prúde,
- $g(t)$ - počet vozidiel z podradeného prúdu, ktoré môžu vstúpiť do odstupu v trvaní t v nadradenom prúde [voz].

Na základe vzťahu (6.8) môžeme zhrnúť, že **základná kapacita podradeného prúdu** závisí od:

- intenzity nadradeného dopravného prúdu q_p ,
- výskytu časových odstupov t_g v nadradenom prúde, ktorý je vyjadrený funkciou $f(t)$ - napr. pre negatívne exponenciálne rozdelenie podľa vzťahu (6.6),

- počtu vozidiel z podradeného prúdu, ktoré môžu využiť odstup v trvaní t v nadradenom prúde vyjadrený funkciou $g(t)$.

V nadradenom dopravnom prúde vznikajú medzi vozidlami odstupy rôznej veľkosti. Odstupy väčšie ako kritické, môžu byť prijaté jedným vozidlom, alebo dovoľujú vstúpiť niekoľkým vozidlám. Pri stanovení funkcie $g(t)$ vyjadrujúcej počet vozidiel z podradeného prúdu, ktoré využijú odstup v trvaní t v nadradenom prúde sa v teoretických prístupoch uvažovali dva rozdielne predpoklady. Tie následne vyplynuli do dvoch rozdielnych kategórií rovníc výpočtu základnej kapacity.

Prvá skupina predpokladá pre $g(t)$ **postupnú konštantnú funkciu** vyplývajúcu do celočíselných hodnôt (plná čiara na Obr. 6.5). Tento prístup použil napr. Drew (1968) a Harders (1968) [17] pre odvodenie základnej kapacity. Rovnica podľa Hardersa (1968) je základom pre výpočet základnej kapacity G neriadených križovatiek podľa amerického kapacitného manuálu HCM [19] a je v nasledujúcom tvare:

$$G = \frac{q_p \cdot e^{-\frac{q_p \cdot t_g}{3600}}}{1 - e^{-\frac{q_p \cdot t_f}{3600}}} \quad \text{alebo tiež:} \quad G = \frac{q_p \cdot e^{-\frac{q_p \cdot (t_g - t_f)}{3600}}}{e^{\frac{q_p \cdot t_f}{3600}} - 1} \quad (6.9)$$

kde:

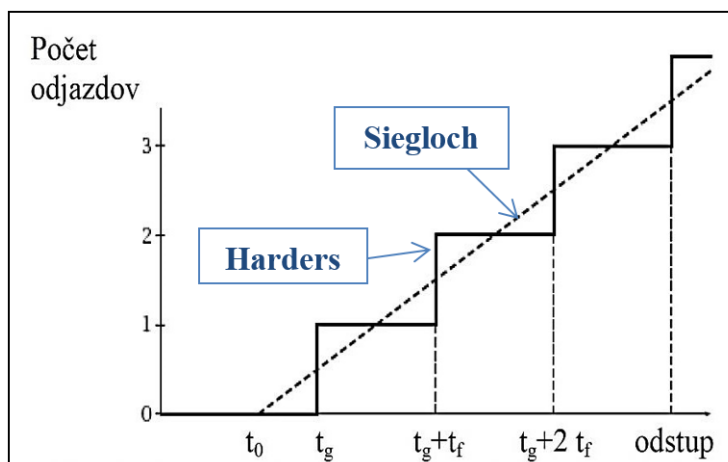
q_p - intenzita nadradeného dopravného prúdu [voz/h],

t_g - kritický časový odstup [s],

t_f - následný časový odstup [s].

Druhá skupina predpokladá pre $g(t)$ **spojitú lineárnu funkciu**, ktorá môže vyplývať do neceločíselných hodnôt (čiarkovaná čiara na Obr. 6.5). Tento prístup ako prvý použil Siegloch (1973) a neskôr McDonald a Armitage (1978). Siegloch odvodil rovnicu pre výpočet základnej kapacity G [30], z ktorej vychádza výpočet základnej kapacity neriadených križovatiek podľa nemeckého kapacitného manuálu HBS [18] (a tiež slovenského TP 102 [33] do nasledovnej formy):

$$G = \frac{3600}{t_f} \cdot e^{-\frac{q_p}{3600} \cdot (t_g - \frac{t_f}{2})} \quad (6.10)$$

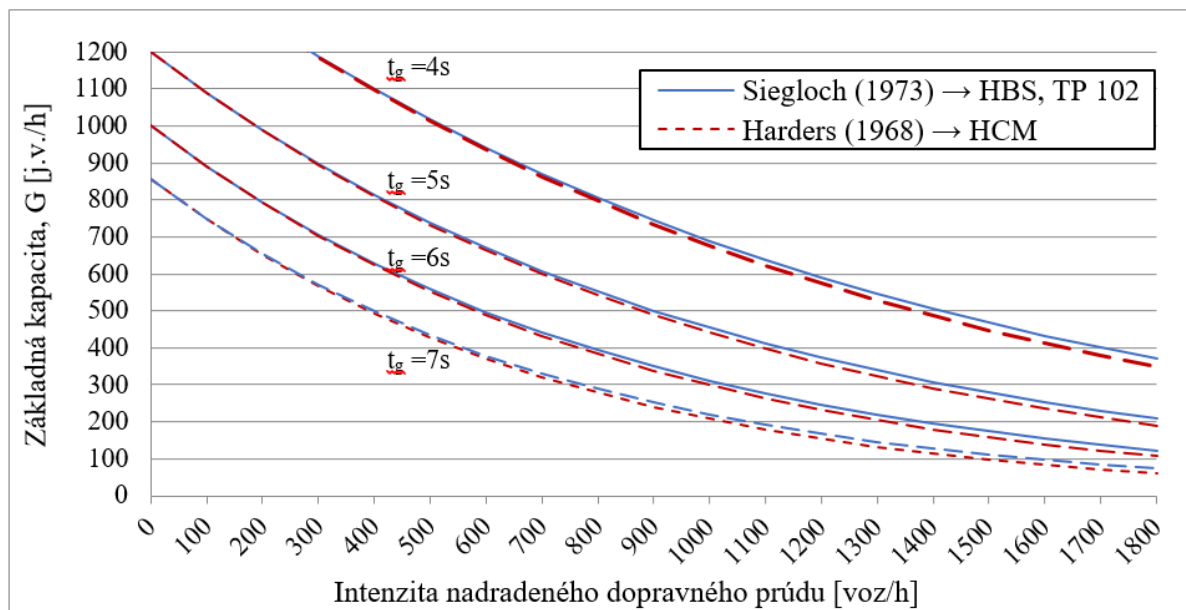


Obr. 6.5 Postupná konštantná a spojitá lineárna funkcia

Obidva vzťahy, podľa Hardersa aj Sieglocha, vychádzajú z negatívneho exponenciálneho rozdelenia odstupov v hlavnom prúde $f(t)$ a predpokladajú, že časové odstupy t_g a t_f sú konštantné

hodnoty pre všetkých vodičov. Grossmann (1991) [37] použitím rôznych simulácií preukázal, že napriek komplikovaným vzorcom správania sa vodičov na neriadených križovatkách, základná kapacita podľa vzťahov Hardersa a Sieglocha, predpokladajúca zidealizované podmienky, dáva dostatočne presné výsledky blízke realite.

Z grafu na Obr. 6.6 môžeme pozorovať, že rozdiely v hodnotách základnej kapacity vypočítanej podľa Sieglocha a Hardersa sú minimálne. Vzhľadom na to, že vzťah podľa Sieglocha sa používa v súčasnom TP 102 [33], je použitý aj pre výpočet základnej kapacity podradených prúdov na neriadenej križovatke so zalomenou hlavnou cestou.



Obr. 6.6 Vzťah medzi základnou kapacitou (G) a intenzitou nadradeného prúdu (q_p) pri rôznych hodnotách časových odstupov (platí pre $t_f = 0,6 \cdot t_g$)

Základná kapacita sa počíta pre každý podradený dopravný prúd s predpokladom, že má samostatný pruh, a že v nadradených prúdoch nevznikajú kolóny. Keďže prúdom II. stupňa sú nadradené prúdy I. stupňa, ktoré nie sú ničím obmedzované (ich základná kapacita sa všeobecne udáva 1 800 j.v./h/pruh), **kapacita prúdov II. stupňa C_{II}** sa uvažuje rovná vypočítanej základnej kapacite G_{II} :

$$C_{II} = G_{II} \quad (6.11)$$

Na stykovej a priesečnej križovatke sa kapacita podľa vzťahu (6.11) počíta pre dopravný prúd 1 a 7 – odbočenie vľavo z hlavnej cesty a prúdy 6 a 12 – odbočenie vpravo z vedľajšej cesty.

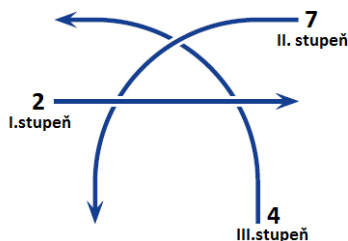
Rovnaké predpoklady sú zachované aj pri výpočte kapacity prúdov II. stupňa na neriadených križovatkách so zalomenou hlavnou cestou. Základná kapacita dopravných prúdov I. stupňa sa predpokladá 1 800 j.v./h/pruh.

6.5 Kapacita dopravných prúdov vyšších stupňov podradenosti - III. a IV. stupeň

Pre dopravné prúdy vyššieho stupňa podradenosti (III. a IV. stupeň) nie je postačujúci výpočet základnej kapacity, ale je potrebný upravený prístup. Musí sa v ňom uvažovať aj s tým, že v nadradených prúdoch II. a III. stupňa môžu vzniknúť kolóny a podradené prúdy môžu vstúpiť do križovatky až keď sa tieto kolóny vyprázdnia. Pre odvodenie kapacity dopravných prúdov III. a IV. stupňa však nie je známe žiadne presné analytické riešenie. Pre aproximáciu sa v teórii prijatých časových odstupov používa tzv. **impedančný faktor** p_0 (nazval ho Harders v r. 1968 vo svojich výpočtoch [17]), ktorý sa používa aj v súčasných kapacitných manuáloch (HBS [18], HCM [19]). Impedančným faktorom sa vo všeobecnosti uvažuje **pravdepodobnosť nevzdutého stavu v nadradených dopravných prúdoch** (t.j. stav bez kolón, resp. stav s nulovou kolónou). Touto pravdepodobnosťou p_0 sa následne redukuje základná kapacita podradených dopravných prúdov. Problém je, že pravdepodobnosť nevzdutého stavu v nadradených prúdoch nie je vždy vzájomne nezávislá, s čím je pri jej výpočte nevyhnutné uvažovať.

6.5.1 Kapacita dopravných prúdov III. stupňa

Kapacitu dopravných prúdov III. stupňa ovplyvňujú prúdy II. stupňa, v ktorých môžu vzniknúť kolóny. Takúto situáciu si môžeme ukázať na jednoduchom príklade troch dopravných prúdov na stykovej križovatke (Obr. 6.7). Podradený prúd III. stupňa - prúd 4 (odbočenie vľavo z vedľajšej cesty) musí dať prednosť prúdom 2 a 7. Dopravné prúdy 2 a 7 však nie sú nezávislé. Dopravný prúd II. stupňa - prúd 7 musí dať prednosť prúdu I. stupňa - prúdu 2. Vozidlá z dopravného prúdu 4 teda môžu vstúpiť do križovatky až vtedy, ak je odstup väčší ako kritický odstup v oboch dopravných prúdoch (2 a 7) a nečakajú na vjazd žiadne vozidlá z dopravného prúdu 7.



Obr. 6.7 Tri stupne priority dopravných prúdov na stykovej križovatke

Pri určovaní **kapacity dopravných prúdov III. stupňa** na stykovej križovatke (prúd 4) sa teda musí zohľadniť pravdepodobnosť, že sa nevytvorí kolóna v nadradenom prúde II. stupňa (prúd 7). Pravdepodobnosť stavu bez kolón v nadradenom prúde p_0 je závislá od stupňa saturácie a pre jeden hlavný dopravný prúd s jednoduchou podradenosťou, t.j. dopravný prúd II. stupňa sa vypočíta:

$$p_{0,i} = 1 - g_i = \frac{q_i}{C_i} \quad (6.12)$$

kde:

$p_{0,i}$ - pravdepodobnosť stavu bez kolón v nadradenom dopravnom prúde i [-],

g_i - stupeň saturácie dopravného prúdu i [-],

q_i - intenzita dopravného prúdu i [voz/h],

C_i - kapacita dopravného prúdu i [voz/h].

Vypočítanou pravdepodobnosťou $p_{0,i}$ sa redukuje základná kapacita, čím dostávame vzťah pre výpočet kapacity dopravných prúdov III. stupňa C_{III} na stykovej križovatke:

$$C_{III} = p_{0,i} \cdot G_{III} \quad (6.13)$$

Na priesečnej križovatke je situácia v porovnaní so stykovou križovatkou zložitejšia. Pri výpočte kapacity dopravných prúdov III. stupňa (priamy smer z vedľajšej cesty - prúdy 5 a 11) je nevyhnuté uvažovať s tým, že môže dochádzať k vzniku kolón v dvoch nadradených dopravných prúdoch zároveň (odbočenie vľavo z hlavnej cesty - prúdy 1 a 7). V takomto prípade musia byť pravdepodobnosti p_0 kombinované, aby sa určil stav bez kolón v oboch prúdoch II. stupňa (p_x). Keďže pravdepodobnosti v dopravných prúdoch rovnakého stupňa sú vzájomne nezávislé, spoločná pravdepodobnosť stavu bez kolón sa vypočíta ich pre násobením:

$$p_x = p_{0,1} \cdot p_{0,7} \quad (6.14)$$

kde:

p_x - pravdepodobnosť, že sa súčasne nevytvoria kolóny v nadradených prúdoch II. stupňa 1 a 7 [-],

$p_{0,1}, p_{0,7}$ - pravdepodobnosť stavu bez kolón v nadradenom dopravnom prúde 1 alebo 7 vypočítaná v prípade dostatočne dlhého odbočovacieho pruhu vľavo na hlavnej ceste podľa vzťahu (6.14), v ostatných prípadoch podľa vzťahu (6.24) alebo (6.27) [-].

Kapacita dopravných prúdov III. stupňa C_{III} na priesečnej križovatke sa potom vypočíta:

$$C_{III} = p_x \cdot G_{III} = p_{0,1} \cdot p_{0,7} \cdot G_{III} \quad (6.15)$$

Výpočet pravdepodobnosti $p_{0,i}$ podľa (6.12) a výpočet kapacity dopravných prúdov III. stupňa podľa (6.13) a (6.15) sa používa v kapacitných výpočtoch podľa HBS [18] aj HCM [19]. Uvedené vzťahy sú použité aj pri modifikácii vzťahov pre výpočet pravdepodobnosti stavu bez kolón pri výpočte kapacity podradených prúdov III. stupňa na neriadených križovatkách so zalomenou hlavnou cestou.

Výpočet pravdepodobnosti $p_{0,i}$ podľa (6.12) platí iba v prípade, ak existujú samostatné pruhy pre odbočenie vľavo z hlavnej cesty a sú dostatočne dlhé. V iných prípadoch (napr. samostatný pruh nie je dostatočne dlhý alebo neexistuje samostatný pruh pre odbočenie vľavo) sa počíta $p_{0,i}^*$, resp. $p_{0,i}^{**}$ podľa vzťahov (6.24), resp. (6.27).

6.5.2 Kapacita dopravných prúdov IV. stupňa

Pri určovaní **kapacity dopravných prúdov IV. stupňa** na priesečnej križovatke (prúd 4 a 10 - odbočenie vľavo z vedľajšej cesty) sa musí zohľadniť pravdepodobnosť, že sa súčasne nevytvoria kolóny v dopravných prúdoch II. stupňa a III. stupňa, čo je vzájomne závislé (pravdepodobnosť stavu bez kolón v prúde III. stupňa je funkciou pravdepodobnosti stavu bez kolón v prúde II. stupňa). Nie je preto možné vypočítať pravdepodobnosť stavu bez kolón v prúdoch rôznych stupňov jednoduchým súčinom, ako to bolo v prípade pravdepodobnosti stavu bez kolón v prúdoch rovnakého stupňa (vzťah (6.14) pre pravdepodobnosť nevzdutia v nadradených prúdoch II. stupňa).

Závislosť medzi hodnotami p_0 v dopravných prúdoch II. a III. stupňa bola stanovená empiricky. Grossmann a Brilon (1990) vykonali množstvo simulácií, na základe ktorých stanovili pre dopravné prúdy IV. stupňa doplnujúce imedančné faktory $p_{z,i}$ vyjadrujúce s dostatočnou presnosťou stav bez

kolón [8]. Takýto prístup je použitý v americkom kapacitnom manuáli HCM [19], podľa ktorého je korelačná funkcia pre prúdy IV. stupňa nasledovná:

$$p_{z,i} = 0,65 \cdot p_{0,II} \cdot p_{0,III} - \frac{p_{0,II} \cdot p_{0,III}}{p_{0,II} \cdot p_{0,III} + 3} + 0,6\sqrt{p_{0,II} \cdot p_{0,III}} \quad (6.16)$$

kde:

$p_{z,i}$ - pravdepodobnosť, že sa súčasne nevytvoria kolóny v nadradených prúdoch II. a III. stupňa [-],

$p_{0,II}$ - pravdepodobnosť stavu bez kolón v nadradených prúdoch II. stupňa [-],

$p_{0,III}$ - pravdepodobnosť stavu bez kolón v nadradených prúdoch III. stupňa [-].

V nemeckom kapacitnom manuáli HBS [18] je použitý iný prístup, ktorý je založený na teórii Wu (1998) podrobne popísanej v [42]. Uvažovalo sa tu s jednou veľkou kolónou vozidiel II. stupňa nasledovanou kolónou III. stupňa, v ktorej sa uvažovalo s M/G/1 systémom hromadnej obsluhy (doba medzi vstupmi jednotlivých vozidiel s exponenciálnym rozdelením, doba obsluhy jedného vozidla so všeobecným rozdelením a s jednou obslužnou linkou). Na základe tejto teórie bol stanovený nový model pre výpočet doplnujúceho impedančného faktora $p_{z,i}$:

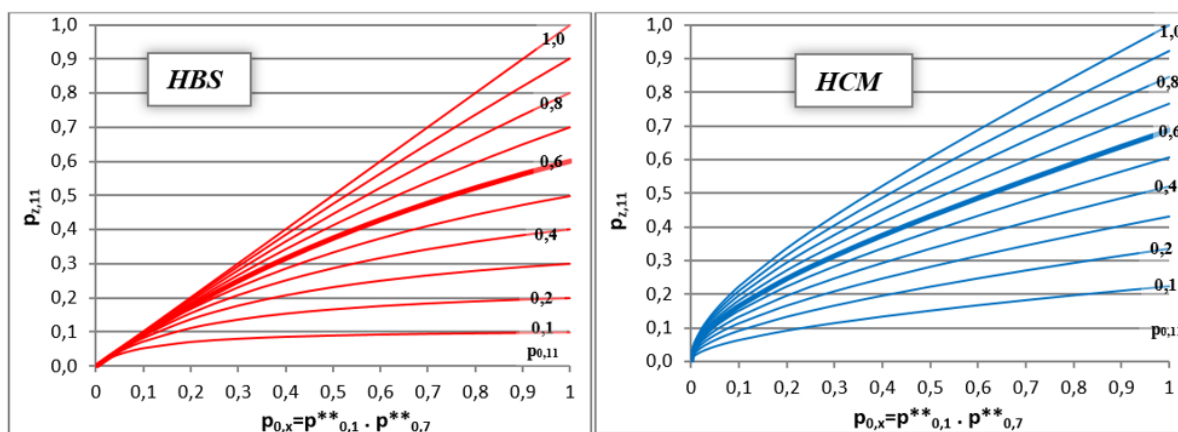
$$p_{z,i} = p_{0,II+III} = \frac{1}{1 + \frac{1 - p_{0,II}}{p_{0,II}} + \frac{1 - p_{0,III}}{p_{0,III}}} = \frac{1}{1 + \frac{1 - p_x}{p_x} + \frac{1 - p_{0,j}}{p_{0,j}}} \quad (6.17)$$

kde:

$p_{x,i}$ - pravdepodobnosť, že sú súčasne nevytvoria kolóny v nadradených prúdoch II. stupňa 1 a 7 vypočítaná podľa vzťahu (6.14) [-],

$p_{0,j}$ - pravdepodobnosť stavu bez kolón pre kolízne prúdy rovno z protiahlého vedľajšieho vjazdu [-].

Porovnanie impedančného faktora $p_{z,11}$ pre dopravný prúd 11, vypočítaný podľa vzťahu v HBS [18] (6.17) a podľa vzťahu v HCM [19] (6.16), je graficky znázornené na Obr. 6.8.



Obr. 6.8 Porovnanie faktora $p_{z,11}$ v závislosti od $p_{0,x}$ a $p_{0,11}$ podľa [18] (vľavo) a podľa [19] (vpravo)

Výsledky porovnania vypočítaných impedančných faktorov $p_{z,i}$ zo simuláciami uvedené v [49] preukazujú lepšiu koreláciu podľa vzťahu v HBS [18] (6.17).

Vypočítanými impedančnými faktormi sa nakoniec redukuje základná kapacita, čím dostávame vzťah pre výpočet kapacity dopravných prúdov IV. stupňa C_{IV} na priesečnej križovatke:

$$C_{IV} = p_{z,i} \cdot p_{0,k} \cdot G_{IV} \quad (6.18)$$

kde:

$p_{0,k}$ - pravdepodobnosť stavu bez kolón pre kolízne vedľajšie prúdy odbočujúce vpravo [-].

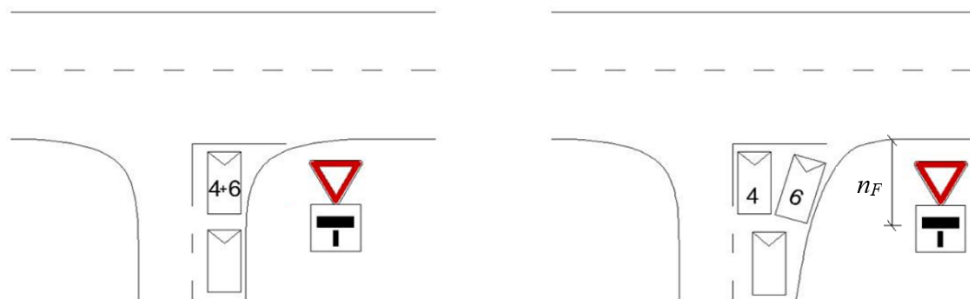
Keďže vzťah pre výpočet pravdepodobnosti $p_{z,i}$ podľa (6.17) nebol stanovený empiricky, ale na základe teoretických predpokladov profesora Ning Wu z Nemecka, pre výpočet kapacity podradených prúdov IV. stupňa na neriadenej križovatkách so zalomenou hlavnou cestou je ako základ pre modifikáciu tejto pravdepodobnosti použitý práve tento prístup.

6.6 Kapacita zmiešaných prúdov na združenom jazdnom pruhu

Teórie výpočtu kapacity zmiešaných prúdov na vjazdoch z vedľajšej cesty a z hlavnej cesty sa odlišujú, preto sú výpočtové postupy uvádzané samostatne.

6.6.1 Kapacita zmiešaných prúdov na vedľajšej ceste

Kapacita zmiešaných prúdov závisí od usporiadania na vedľajšom vjazde a možnosti radenia sa vozidiel. Okrem združeného jazdného pruhu (pozri Obr. 6.9 vľavo) môže byť vedľajší vjazd rozšírený tak, že umožní v mieste rozhl'adu zastavenie vozidiel vedľa seba na stop-čiare (pozri Obr. 6.9 vpravo).



Obr. 6.9 Usporiadanie vedľajšieho vjazdu – združený jazdný pruh (vľavo) a rozšírený vjazd (vpravo)

Združený jazdný pruh na vedľajšej ceste

Ak sú dopravné prúdy na vedľajšej ceste vedené na združenom jazdnom pruhu bez možnosti zastavenia vozidiel vedľa seba na stop-čiare, je potrebné vypočítať kapacitu zmiešaného prúdu. Tento výpočet bol prezentovaný viacerými výskumníkmi, avšak veľmi jednoduchý a široko používaný prístup vo viacerých kapacitných manuáloch bol predstavený Hardersom (1968) [17], podľa ktorého sa kapacita zmiešaného prúdu na združenom jazdnom pruhu vypočíta podľa všeobecného vzťahu nasledovne:

$$C_m = \frac{1}{S_q} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{p_i}{C_i}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{q_i/q}{C_i}} = \frac{\sum_{i=1}^n q_i}{\sum_{i=1}^n g_i} \quad (6.19)$$

kde:

C_m - kapacita zmiešaného prúdu [voz/h],

p_i - podiel intenzity dopravného prúdu i na celkovej intenzite združeného pruhu, $p_i = q_i/q$ [-],

g_i - stupeň saturácie, $g_i = \frac{q_i}{C_i}$ [-].

S_q - priemerný servisný čas, $S_q = \sum_{i=1}^n p_i \cdot S_{q,i} = \sum_{i=1}^n p_i / C_i$, kde: $S_{q,i}$ je priemerný odstup odchádzajúcich vozidiel z kolóny [s].

Všeobecná rovnica podľa Hardersa bola prijatá v oboch kapacitných manuáloch, HBS [18] aj HCM [19], v ktorých sa výpočet kapacity zmiešaného prúdu uvádza podľa vzťahu:

$$C_m = \frac{q_i + q_j + q_k}{g_i + g_j + g_k} = \frac{q_i + q_j + q_k}{\frac{q_i}{C_i} + \frac{q_j}{C_j} + \frac{q_k}{C_k}} \quad (6.20)$$

Rozšírený vedľajší vjazd

Ak je vedľajší vjazd rozšírený tak, že umožní zastavenie vozidiel vedľa seba na stop-čiare, resp. sa tu nachádza samostatný odbočovací pruh vpravo, v takomto prípade sa celková kapacita zmiešaného prúdu počíta rovnako, ako celková kapacita v konfigurácii s krátkym pruhom vyjadrená teoretickým prístupom vyvinutým Wu (1999) [43]. Táto funkcia je odvodená na základe vzniku kolón a pravdepodobnostnej teórie. Berie do úvahy aj stochastické vlastnosti dopravného prúdu, aj pravdepodobnosť blokovania jazdného pruhu v bode spojenia. Podrobne je daný prístup matematicky popísaný v [43]. Jej výsledkom je vzťah pre výpočet kapacity zmiešaného prúdu na rozšírenom vedľajšom vjazde neriadených križovatiek, ktorý sa uvádza aj v HBS [18]. Pre stykové križovatky je to výpočet C_m podľa vzťahu:

$$C_m = \frac{q_i + q_k}{\sqrt[n_F+1]{g_i^{n_F+1} + g_k^{n_F+1}}} \quad (6.21)$$

a pre priesečné križovatky podľa vzťahu:

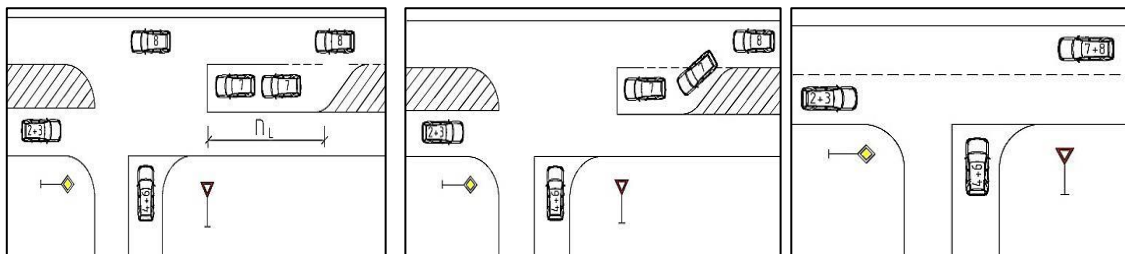
$$C_m = \frac{q_i + q_j + q_k}{\sqrt[n_F+1]{(g_i + g_j)^{n_F+1} + g_k^{n_F+1}}} \quad (6.22)$$

6.6.2 Kapacita zmiešaných prúdov na hlavnej ceste

Napriek absolútnej priorite dopravných prúdov I. stupňa (priamy smer a odbočenie vpravo z hlavnej cesty) môžu podľa [25] nastať na neriadenej križovatke také situácie, ktoré spôsobia zdržanie vozidiel aj v týchto prúdoch:

1. vozidlá na hlavnej ceste nemôžu prejsť v priamom smere kvôli kolóne vľavo odbočujúcich vozidiel z hlavnej cesty a musia čakať na vyprázdnenie kolóny,
2. aj bez toho, aby bola vytvorená kolóna, môžu vozidlá na hlavnej ceste v priamom smere spomaliť, ak idú hneď za vozidlom, ktoré spomaľuje kvôli odbočeniu vpravo,
3. pri vysokých intenzitách na hlavnej ceste môže dôjsť k malému zdržaniu, ak prepúšťajú vozidlá z hlavnej cesty vozidlá z vedľajších smerov.

Kapacita zmiešaných prúdov závisí od usporiadania na vjazde hlavnej cesty a možnosti radenia sa vozidiel. Okrem združeného jazdného pruhu (schéma vpravo na Obr. 6.10), môže na hlavnej ceste existovať odbočovací pruh vľavo, ktorý môže byť dostatočne dlhý (schéma vľavo na Obr. 6.10), alebo krátky (prostredná schéma na Obr. 6.10).



Obr. 6.10 Usporiadanie predrad'ovacieho priestoru na hlavnej ceste stykovej križovatky

Združený jazdný pruh na hlavnej ceste

Zdržanie vozidiel na hlavnej ceste, prípadne ich obmedzovanie, sa sledovalo nielen v zahraničí (v rozmedzí rokov 1980-1999 napr. Kimber a Coombe, Bonneson a Fitts, Troutbeck a Kako) [25], ale aj na pracovisku Stavebnej fakulty Žilinskej univerzity v rámci spracovania dizertačnej práce [20]. Z výskumov vyplynulo, že k obmedzovaniu priebežných prúdov I. stupňa nastáva hlavne vozidlami odbočujúcimi vľavo z hlavnej cesty v prípade, keď na hlavnej ceste nie je navrhnutý samostatný pruh pre ľavé odbočenie (pozri schému vpravo na Obr. 6.10 - združený jazdný pruh). Vtedy je potrebné vypočítať stupeň saturácie zmiešaného prúdu, ktorý je podľa Hardersa (1968) [17] nasledovný:

$$g_s = g_i + g_s \cdot (g_j + g_k) = \frac{g_i}{1 - (g_j + g_k)} \quad (6.23)$$

kde:

i, j, k - dopravné prúdy $i = 1$ (alebo 7), $j = 2$ (alebo 8), $k = 3$ (alebo 9),

g_s - stupeň saturácie zmiešaného prúdu na združenom jazdnom pruhu na hlavnej ceste [-],

g_i, g_j, g_k - stupeň saturácie dopravného prúdu i, j alebo k [-].

Keďže pravdepodobnosť stavu bez kolón je závislá od stupňa saturácie zmiešaného dopravného prúdu g_s , je potrebné pre takýto prípad vypočítať pravdepodobnosť $p_{0,i}^{**}$ podľa vzorca:

$$p_{0,i}^{**} = 1 - g_s = 1 - \frac{g_i}{1 - (g_j + g_k)} \quad (6.24)$$

ktorá sa použije vo výpočtoch (6.13) až (6.18) namiesto $p_{0,i}$.

Kapacita zmiešaného prúdu C_m na hlavnej ceste sa v zmysle aktuálnych kapacitných manuálov HBS [18] a HCM [19] potom vypočíta podľa vzťahu:

$$C_m = \frac{q_i + q_j + q_k}{g_s} = \frac{q_i + q_j + q_k}{\frac{g_i}{1 - (g_j + g_k)}} \quad (6.25)$$

Krátky odbočovací pruh vľavo na hlavnej ceste

V prípade, ak pruh na odbočovanie vľavo z hlavnej cesty je krátky, môže v ňom vytvorená kolóna obmedziť vozidlá v dopravnom prúde I. stupňa, ktoré musia čakať v kolóne (pozri strednú schému Obr. 6.10).. Teoretický prístup a postup odvodenia výpočtu celkovej kapacity zmiešaných prúdov sú uvedené v [49] a aplikované sú v HBS [18].

Stupeň saturácie zmiešaného prúdu g_s sa v prípade krátkeho odbočovacieho pruhu vľavo na hlavnej ceste vypočíta podľa vzťahu:

$$g_s = g_i \cdot \sqrt[n_L+1]{1 + \frac{(g_j + g_k)^{n_L+1}}{1 - (g_j + g_k)}} \quad (6.26)$$

kde:

i, j, k - dopravné prúdy $i = 1$ (alebo 7), $j = 2$ (alebo 8), $k = 3$ (alebo 9),

g_s - stupeň saturácie zmiešaného dopravného prúdu na hlavnom vjazde s krátkym odbočovacím pruhom vľavo [-],

g_i, g_j, g_k - stupeň saturácie dopravného prúdu i, j alebo k [-],

n_L - počet možných miest na zastavenie na pruhu pre odbočenie vľavo [j.v.].

Pre takýto prípad sa vypočíta pravdepodobnosť $p_{0,i}^*$ závislá od stupňa saturácie zmiešaného dopravného prúdu g_s podľa vzorca:

$$p_{0,i}^* = 1 - g_s = 1 - g_i \cdot \sqrt[n_L+1]{1 + \frac{(g_j + g_k)^{n_L+1}}{1 - (g_j + g_k)}} \quad (6.27)$$

ktorá sa použije vo výpočtoch (6.13) až (6.18) namiesto $p_{0,i}$.

Celková kapacita zmiešaných prúdov C_m na hlavnej ceste sa vypočíta podľa vzťahu:

$$C_m = \frac{q_i + q_j + q_k}{g_s} = \frac{q_i + q_j + q_k}{g_i \cdot \sqrt[n_L+1]{1 + \frac{(g_j + g_k)^{n_L+1}}{1 - (g_j + g_k)}}} \quad (6.28)$$

Pre výpočet kapacity zmiešaných prúdov na združených jazdných pruhoch na hlavnej a vedľajšej ceste neriadených križovatiek so zalomenou hlavnou cestou boli modifikované vzťahy, ktoré sa aktuálne používajú v HBS [18] a HCM [19]. Pre výpočet kapacity zmiešaných prúdov na rozšírenom vedľajšom vjazde a na krátkom pruhu na hlavnej ceste sú modifikované vzťahy odvodené profesorom Ning Wu, ktoré sa používajú v súčasnej HBS [18]. Tento prístup bol použitý aj pri výpočte pravdepodobností závislej od stupňa saturácie zmiešaného dopravného prúdu.

7. HODNOTENIE KVALITY DOPRAVY NA KRIŽOVATKE

Pri posúdení dopravného využitia kapacity jednotlivých prúdov neriadenej križovatky sa najčastejšie určuje úroveň kvality dopravy (funkčná úroveň) [37]. Hodnotí sa šiestimi stupňami A až F, kde najvyšší stupeň predstavuje A a najnižší stupeň F (keď je križovatka preťažená a stupeň vytťaženia je viac ako 1,0). Úroveň kvality dopravy sa určuje pre všetky podradené dopravné prúdy a pre všetky zmiešané prúdy. Pre celkové hodnotenie neriadenej križovatky je rozhodujúci dopravný prúd s najmenšou výkonnosťou. Dôležité je vybrať správne kritérium, ktoré bude kvalitu dopravných prúdov na križovatkách čo najlepšie charakterizovať. V súčasnosti je najširšie používaným kritériom kvality **priemerný čas čakania** jedného vozidla (v HCM [19] priemerné zdržanie), ktoré nahradilo kritérium rezervy kapacity používaným v minulosti.

Pre výpočet priemerného času čakania je nevyhnutné poznať okrem intenzity dopravného prúdu aj jeho kapacitu a stupeň saturácie alebo rezervu kapacity. Na základe uvedených hodnôt je potom možné vypočítať aj ďalšie dôležité kritérium – priemernú dĺžku kolóny.

7.1 Priemerný čas čakania

Pri výpočte času čakania na križovatke sa vychádza z teórie systémov hromadnej obsluhy, kde čas čakania v systéme pozostáva z času čakania v kolóne a času čakania na prvej pozícii (tzv. servisný čas). Akcelerácia a decelerácia pri prízjazde do kolóny a odjazdu z prvej pozície sú pri výpočte spolu s fyzikálnymi vlastnosťami vozidiel ignorované. Kolóna vozidiel je na križovatke „obsluhovaná“ v režime FIFO, t.j. v poradí v akom prišli na križovátku.

V teórii hromadnej obsluhy rozlišujeme viaceré typy systémov, ktoré popisujú rozdelenie príchodu jednotiek do systému (príchod vozidiel ku križovatke), rozdelenie doby obsluhy (rozdelenie servisných časov) a počet liniek obsluhy (počet pruhov na vjazde). Pre výpočet priemerného času čakania na neriadených križovatkách bolo vyvinutých niekoľko modelov. Výpočet priemerného času čakania založeného na modeli $M/G/1$ (exponenciálne rozdelenie odstupov prichádzajúcich vozidiel z vedľajšieho dopravného prúdu, všeobecné rozdelenie servisných časov a jeden pruh na vedľajšej ceste) predstavili napr. Gross, Harris (1998). Niektorí autori vychádzali z $M/G2/1$ modelu (napr. Brilon, 1988), v ktorých sa predpokladajú dva typy servisných časov (servisný čas pre vozidlá prichádzajúce do systému bez kolóny a servisný čas pre vozidlá, ktoré prichádzajú už do vytvorenej kolóny). Niektorí autori použili $M/D/1$ model, v ktorom sa predpokladá deterministické rozdelenie servisných časov (D), t.j. každé vozidlo strávi rovnaký čas na prvej pozícii, čo je samozrejme nereálne. $M/D/1$ model sa ukázal ako lepší pre výpočet času čakania na križovatkách riadených SSZ (Webster, 1958). Ďalším využívaným modelom je $M/M/1$ model, v ktorom sa predpokladá exponenciálne rozdelenie servisných časov, napr. Akçelik, Troutbeck (1991).

Každé z riešení stanovené z bežnej teórie hromadnej obsluhy je riešenie v rovnovážnom stave. Avšak dopravné podmienky sa počas sledovaného intervalu na križovatkách často menia. Intenzita dopravy je časovo závislá. V priebehu sledovaného intervalu môže nastať špičková doba, počas ktorej je intenzita väčšia ako pred a po tejto dobe. V niektorých prípadoch môže byť už na začiatku sledovaného intervalu vytvorená počiatočná kolóna. Analýzami takýchto prípadov sa zaoberali napr. Kimber, Hollis (1979), ktorí pre riešenie takých prípadov použili heuristické približné riešenie založené na myšlienke Whitinga, ktorý svoju prácu nikdy nepublikoval. Vzťah pre výpočet priemerného času čakania 1 vozidla počas špičkového intervalu zahrňujúci počiatočnú kolónu je podľa Kimber&Hollisa (1979) [22] nasledovný:

$$D = D_1 + E + \frac{1}{\mu} \quad (7.1)$$

kde:

$$\begin{aligned} D_1 &= \frac{1}{2} \cdot \left(\sqrt{(F^2 + G)} - F \right) & E &= \frac{q_0}{\mu_0 \cdot (\mu_0 - q_0)} \\ F &= \frac{1}{\mu_0 - q_0} \cdot \left[\frac{T}{2} \cdot (\mu - q) \cdot y + \left(y - \frac{h}{\mu} \right) \right] + E & G &= \frac{2 \cdot T \cdot y}{\mu_0 - q_0} \cdot \left[\frac{q}{\mu} - (\mu - q) \cdot E \right] \\ h &= \mu - \mu_0 + q_0 & y &= 1 - h/q \end{aligned}$$

kde:

D - priemerný čas čakania jedného vozidla počas špičkového intervalu T [s/voz],

T - doba trvania špičkového intervalu [s],

μ - kapacita podradeného prúdu počas špičkového intervalu [voz/s],

q - intenzita dopravného prúdu počas špičkového intervalu [voz/s],

μ_0 - kapacita dopravného prúdu v čase pred a po špičkovom intervale [voz/s],

q_0 - intenzita dopravného prúdu pred a po špičkovom intervale [voz/s].

Z uvedeného vzťahu pre výpočet priemerného času čakania sa vychádza v niekoľkých kapacitných predpisoch a normách, ako napr. v rakúskej RVS 03.05.12, švajčiarskej SN 640 022, alebo českých TP 188 [34]. V niektorých je uvedený v celej podobe, v niektorých s určitými zjednodušeniami, čo v konečnom dôsledku už nevystihuje základnú myšlienku nerovnovážneho stavu.

Napriek uvedenému sa pre výpočet priemerného času čakania hľadali zjednodušenia. Jedným z nich je rovnica navrhnutá Akçelikom a Troutbeckom (1991) [2] vychádzajúca z M/M/1 systému, ktorou je možné vypočítať časovo-závislý priemerný čas čakania v systéme bez počiatočnej kolóny:

$$t_w = \frac{1}{C} + \frac{T}{4} \cdot \left((g - 1) + \sqrt{(g - 1)^2 + \frac{8 \cdot g}{C \cdot T}} \right) \quad (7.2)$$

kde:

t_w - priemerný čas čakania jedného vozidla [s/voz],

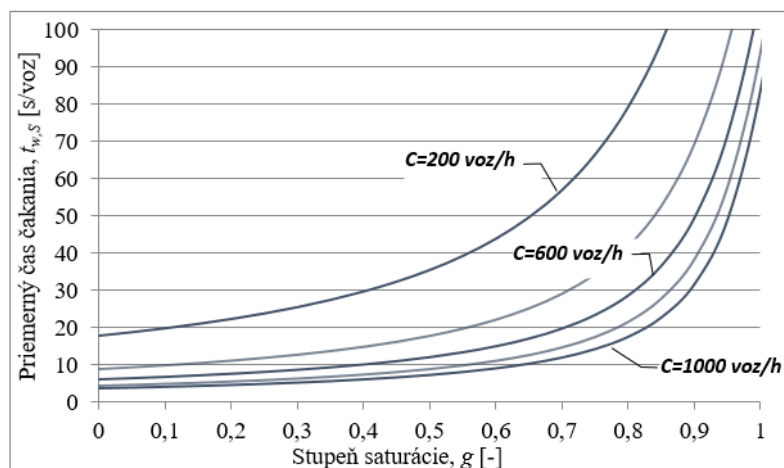
T - sledovaný časový interval [s],

C - kapacita podradeného prúdu i [voz/s],

g - stupeň saturácie [-].

Závislosť priemerného času čakania t_w na kapacite C a stupni saturácie g je podľa vzťahu (7.2) znázornená na Obr. 7.1. **Stupeň saturácie** udáva stupeň vyťaženia dopravného prúdu:

$$g = \frac{q}{C} \quad (7.3)$$



Obr. 7.1 Priemerný čas čakania v závislosti od kapacity C a stupňa saturácie g

Vzťah pre výpočet priemerného času čakania podľa Akçelika a Troutbecka (1991) [2] tvorí základ pre výpočet priemerného času zdržania v HCM [19] (k hodnote priemerného času čakania sa pripočítava konštantná hodnota 5 s/voz. reprezentujúca zdržanie pri decelerácii a akcelerácii).

V súčasnosti sa vo viacerých metodikách posúdenia kapacity využíva závislosť rezervy kapacity a priemerného času čakania. Vďaka vzájomnému vzťahu medzi rezervou kapacity R a stupňom saturácie g ($g = 1 - R/C$), priemerný čas čakania sa vypočíta po príslušnej modifikácii vzťahu (7.2):

$$t_w = \frac{3600}{C} + 900 \cdot \left(\frac{-R}{C} + \sqrt{\left(\frac{R}{C}\right)^2 + \frac{8 \cdot (C - R)}{C^2}} \right) \quad (7.4)$$

kde:

$$R = C - q \quad (7.5)$$

Takto odvodený vzťah pre výpočet priemerného času čakania sa využíva napr. v nemeckej HBS [18] a slovenskej TP 102 [33] a je použitý aj pri posúdení kapacity dopravných prúdov na neriadených križovatkách so zalomenou hlavnou cestou.

7.2 Výpočet dĺžky kolón

Vo viacerých metodikách kapacitného výpočtu sa využíva pri kapacitnom posúdení, a to najmä pri posúdení dĺžky zaraďovacieho alebo odbočovacieho pruhu, **dĺžka kolóny**. Ak je kolóna dlhšia ako dĺžka pruhu, dochádza k obmedzovaniu vozidiel v priebežnom pruhu. Najčastejšie sa počíta 95 % dĺžka kolóny N_{95} (t.j. v 95 % času počas špičkového intervalu je kolóna kratšia ako hodnota N_{95}), ktorá významne závisí od stupňa saturácie a kapacity posudzovaného dopravného prúdu. Výpočet dĺžky kolóny N_{95} , odvodený Akçelikom a Troutbeckom (1991) [2], je podľa vzťahu:

$$N_{95} = \frac{C \cdot T}{4} \cdot \left((g - 1) + \sqrt{(1 - g)^2 + \frac{8 \cdot g}{C \cdot T} \cdot [-\ln(0,05)]} \right) \quad (7.6)$$

Uvedený vzťah je použitý v aktuálnych kapacitných manuáloch HBS [18], HCM [19] a TP 102 [33]. Použitý je aj pri posúdení kapacity dopravných prúdov na neriadených križovatkách so zalomenou hlavnou cestou.

8. REALIZÁCIA A VYHODNOTENIE DOPRAVNÝCH PRIESKUMOV NA KRIŽOVATKÁCH SO ZALOMENOU HLAVNOU CESTOU

V rámci rozborovej úlohy bolo potrebné vykonať a vyhodnotiť dopravné prieskumy na vybraných 2 stykových a 2 priesečných neriadených križovatkách so zalomenou hlavnou cestou: smerovanie intenzít dopravy, zloženie dopravných prúdov, rýchlosti dopravných prúdov, časové odstupy (kritické a priemerné následné časové odstupy), priemerné časy čakania a kolóny.

Pre dosiahnutie cieľov bola zvolená nasledovná metodika riešenia tejto časti RÚ:

- stanovenie kritérií pre výber vhodných neriadených križovatiek so zalomenou hlavnou cestou,
- konkrétny výber neriadených križovatiek,
- organizácia, technické zabezpečenie a vykonanie dopravných prieskumov na vybraných križovatkách,
- vyhodnotenie charakteristík dopravných prúdov (smerovanie intenzít dopravy, zloženie dopravných prúdov) a charakteristík výkonnosti vybraných križovatiek (priemerné časy čakania a kolóny) spracovaním a vyhodnotením kamerových záznamov,
- vyhodnotenie priemerných rýchlostí dopravných prúdov v smere hlavnej cesty z merania rýchlostí radarom,
- vyhodnotenie údajov prezentujúcich správanie sa vodičov v nadradených a podradených dopravných prúdoch na vybraných križovatkách: dodržiavanie pravidiel cestnej premávky a vplyvy potenciálne kolíznych prúdov z kamerových záznamov,
- výpočet kritických časových odstupov a priemerných následných časových odstupov z údajov získaných z kamerových záznamov.

8.1 Stanovenie kritérií pre výber vhodných križovatiek

Pri výbere vhodných križovatiek boli zohľadnené viaceré kritériá:

- typ neriadenej križovatky z hľadiska tvaru – priesečné križovatky / stykové križovatky v dvoch alternatívach prevedenia zalomenej hlavnej cesty,
- stupeň usmernenia dopravných prúdov – križovatky s rôznym stavebným a geometrickým usporiadaním na hlavnej a vedľajšej ceste (jednoduchý vjazd, rozšírený vjazd, samostatné zaraďovacie a odbočovacie pruhy na hlavnej a vedľajšej ceste),
- použitá dopravná značka na vjazde z vedľajšej cesty – P1 „Daj prednosť v jazde!“ / P2 „Stoj, daj prednosť v jazde!“,
- dopravné zaťaženie a výkonnosť križovatky počas dopravnej špičky (dostatočne vysoké dopravné zaťaženie umožňujúce získať dostatok vstupných údajov pre stanovenie kritických a následných časových odstupov, zdržaní, vytváranie kolón v podradených prúdoch),
- smerovanie intenzít dopravy po ploche križovatky – dominantné dopravné zaťaženie v smere navrhnutej hlavnej cesty / v iných smeroch, podiel nákladnej dopravy,
- ďalšie kritériá (uhol križovania, polomer smerového oblúku v osi hlavnej cesty, polomer nárožia, pozdĺžny sklon hlavnej a vedľajšej cesty, rozhlád na križovatke).

8.2 Prehľad vybraných neriadených križovatiek so zalomenou hlavnou cestou

V zadaní rozborovej úlohy bolo vykonanie prieskumov na 4 neriadených križovatkách so zalomenou hlavnou cestou (2 stykové a 2 priesečné križovatky). Vzhľadom na stanovené kritériá sa riešiteľ RÚ rozhodol vybrať 7 križovatiek:

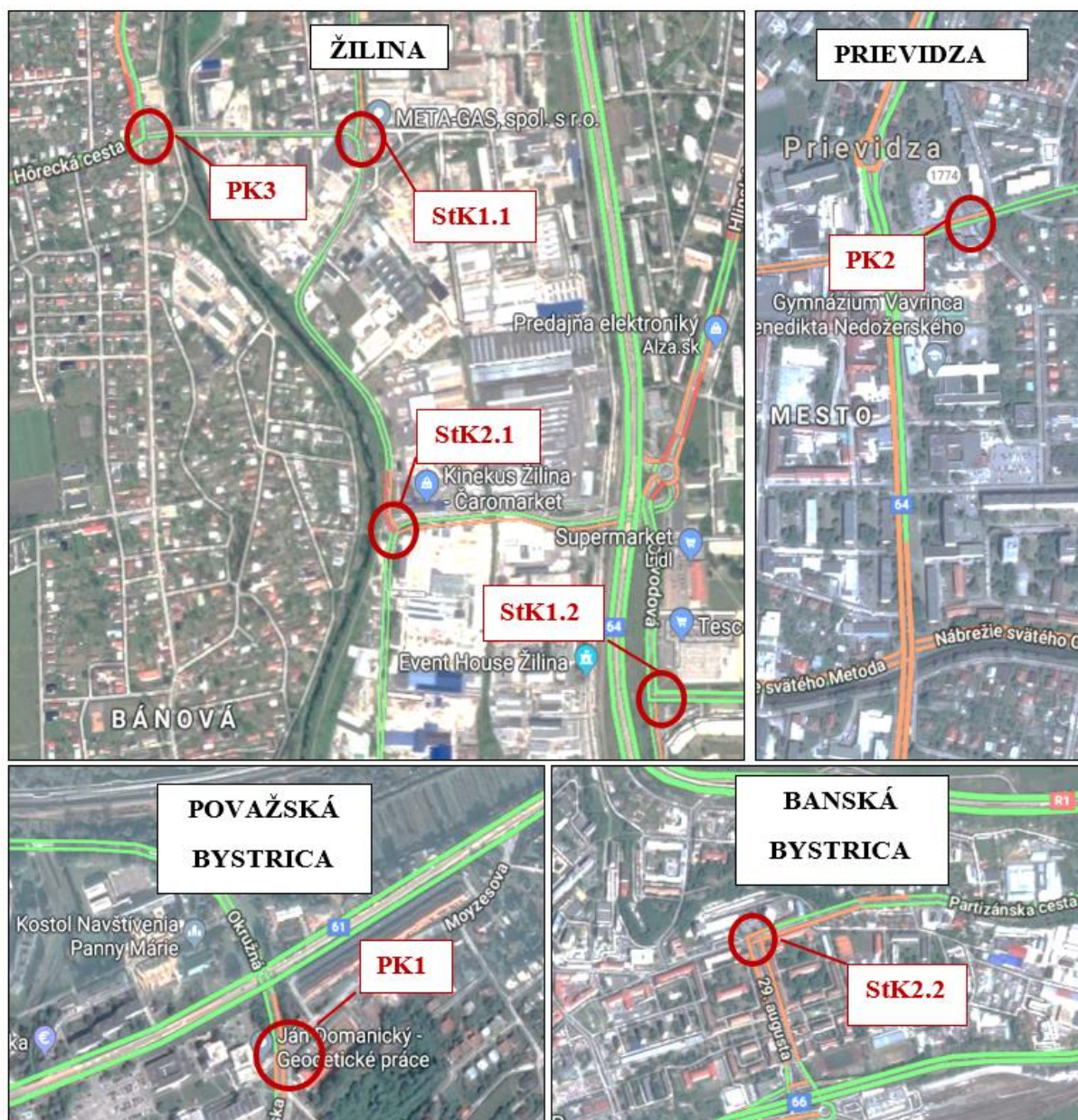
- 3 priesečné,
- 2 stykové križovatky alternatívy 1,
- 2 stykové križovatky alternatívy 2.

Prehľad vytipovaných neriadených križovatiek so zalomenou hlavnou cestou, z ktorých bolo týchto 7 konkrétnych križovatiek vybraných, je uvedený v prílohe 1. Vybrané križovatky, na ktorých boli vykonané podrobné dopravné prieskumy sú z troch rôznych krajov Slovenska - Žilinský kraj (1 priesečná, 3 stykové), Trenčiansky kraj (2 priesečné) a Banskobystrický kraj (1 styková). Poloha vybraných križovatiek v konkrétnych mestách je vyznačená na Obr. 8.1.

Prehľad a základné informácie o vybraných križovatkách sú z hľadiska ich stavebného a geometrického usporiadania spracované v nasledujúcich tabuľkách - Tab. 8.1 (priesečné križovatky), Tab. 8.2 (stykové križovatky alt. 1) a Tab. 8.3 (stykové križovatky alt. 2). V tabuľkách je znázornená schéma križovatky s údajom o veľkosti polomeru smerového oblúka hlavnej cesty a uhla križovania. Pre každý vjazd križovatky je uvedený:

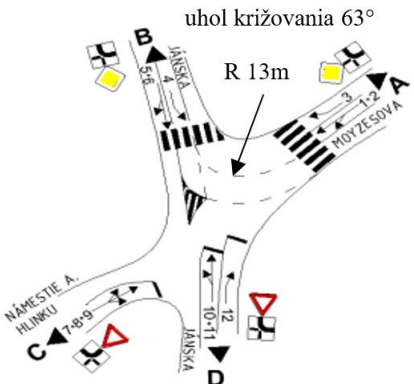
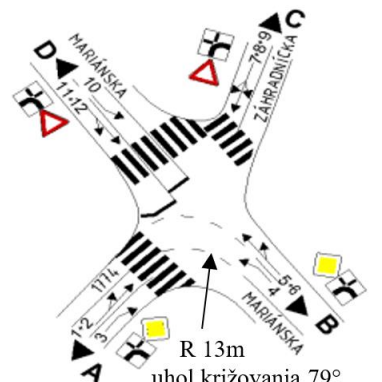
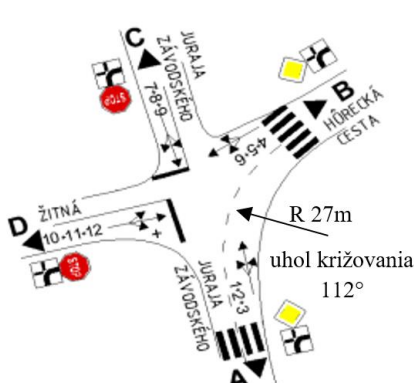
- dopravné značenie (P1, P2 alebo P8),
- označenie vjazdov s očíslovaním dopravných prúdov,
- usporiadanie - združené pruhy, resp. počet pruhov na odbočenie a ich dĺžka v j.v. / rozšírenie vjazdu,
- zabezpečenie rozhl'adu (áno/nie),
- pozdĺžny sklon v % (stúpanie „+“, klesanie „-“).

Základné informácie o križovatkách a dopravnom zaťažení sú spracované v jednotlivých križovatkových listoch Prílohy 2 až 8. V prílohe 9 sú v jednotlivých schémach križovatiek uvedené polomery vjazdov a vyznačené kolízne body (križne a prípojné) a stop-čiary, resp. miesta, na ktorých podradené vozidlá zastavia, aby dali prednosť nadradeným vozidlám. Vzdialenosť kolíznych bodov od týchto stop-čiar je závislá najmä od plochy križovatky danej jej geometrickým a stavebným usporiadaním – združené alebo samostatné pruhy, rozšírený vjazd, šírka pruhov, polomery vjazdov, uhol križovania, polomer smerového oblúka hlavnej cesty, dopravné tieňe, ostrovčeky a pod. Pri križovatkách so združenými pruhmi na všetkých vjazdoch je vzdialenosť od stop-čiar ku kolíznym bodom kratšia v porovnaní s križovatkami so samostatnými pruhmi na vjazdoch. To má vplyv na potrebný čas prejazdu podradeného vozidla cez križovátku a tiež na čas potrebný na prekrižovanie alebo zaradenie sa do nadradených prúdov. Uvedené môže ovplyvniť veľkosť kritických odstupov. Väčšie vzdialenosti môžu znamenať väčší kritický odstup potrebný na zaradenie/prekrižovanie.



Obr. 8.1 Poloha vybraných križoviek v mestách

Tab. 8.1 Základné údaje o priesečných križovatkách

PK1	Jánska – Moyzesova – Námestie A. Hlinku				
 uhol križovania 63° R 13m	Samostatný odbočovací pruh alebo rozšírený vjazd		Zabezpečený rozhl'ad	Pozdĺžny sklon [%]	
	vjazd A	Vpravo	5 j.v.	áno	- 5%
		Vľavo	-		
	vjazd B	Vpravo	-	áno	+ 5,7%
		Vľavo	20 j.v.		
	vjazd C	Vpravo	-	áno	+ 3,4%
		Vľavo	-		
vjazd D	Vpravo	7 j.v.	áno	- 5,2	
	Vľavo	-			
PK2	Mariánska – Záhradnícka – cesta 1774				
 R 13m uhol križovania 79°	Samostatný odbočovací pruh alebo rozšírený vjazd		Zabezpečený rozhl'ad	Pozdĺžny sklon [%]	
	vjazd A	Vpravo	20 j.v.	nie	+ 7,5%
		Vľavo	-		
	vjazd B	Vpravo	-	áno	+ 8%
		Vľavo	10 j.v.		
	vjazd C	Vpravo	-	nie	- 3,7%
		Vľavo	-		
vjazd D	Vpravo	-	áno	- 6,6%	
	Vľavo	7 j.v.			
PK3	Hôrecká cesta – J. Závodského – Žitná				
 R 27m uhol križovania 112°	Samostatný odbočovací pruh alebo rozšírený vjazd		Zabezpečený rozhl'ad	Pozdĺžny sklon [%]	
	vjazd A	Vpravo	-	áno	+ 0,6%
		Vľavo	-		
	vjazd B	Vpravo	-	áno	- 3,3%
		Vľavo	-		
	vjazd C	Vpravo	-	nie	- 0,4%
		Vľavo	-		
vjazd D	Vpravo	-	áno	+ 2,5%	
	Vľavo	rozšírenie 1 j.v.			

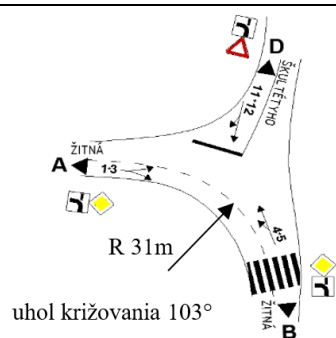
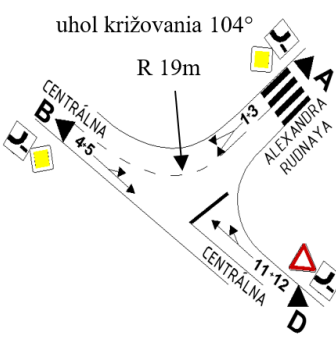
Vybraté priesečné križovatky sú s rôznym geometrickým a stavebným usporiadaním vjazdov na vedľajšej a hlavnej ceste. Križovatky PK1 a PK2 majú rovnaké radenie pruhov na hlavnej ceste – samostatné odbočovacie pruhy v smere hlavnej cesty, ale líšia sa usporiadaním na vedľajšom vjazde D – križovatka PK1 má samostatný pruh pre odbočenie vpravo (pre dopravný prúd 12), križovatka PK2

má samostatný pruh pre odbočenie vľavo (pre dopravný prúd 10). Križovatka PK3 má všetky pruhy na vjazdoch združené a na vedľajšom vjazde D je rozšírenie pre 1 vozidlo na odbočenie vpravo.

Križovatky PK1 a PK2 majú rovnaké dopravné značenie na vedľajších vjazdoch – P2: Daj prednosť v jazde! Križovatka PK3 má na vedľajších vjazdoch – P2: Stoj, daj prednosť v jazde!

Najnepriaznivejšie sklonové pomery sú na križovatke PK2, pozdĺžne sklony jednotlivých vjazdov sa pohybujú od -6,6 % do +8 %. Najpriaznivejšie sklonové pomery sú na križovatke PK3, pozdĺžne sklony jednotlivých vjazdov sa pohybujú od -0,4 % do +3,3 %. Na križovatke PK1 sa pozdĺžne sklony jednotlivých vjazdov pohybujú od -5,2 % do +5,7 %. Zlé rozhľadové podmienky sú na vjazde A z hlavnej cesty pre dopravné prúdy 1 a 2 križovatky PK2, kde je veľký sklon stúpania (až + 7,5%) a zlý rozhľad na vozidlá z dopravných prúdov vjazdu B, ktorým dávajú prednosť. Zlý rozhľad je aj z vjazdu C na križovatkách PK2 a PK3.

Tab. 8.2 Základné údaje o stykových križovatkách - alternatíva 1

StK1.1	Žitná – Škultétyho				
	Samostatný odbočovací pruh alebo rozšírený vjazd		Zabezpečený rozhľad	Pozdĺžny sklon [%]	
	vjazd A	Vpravo	-	áno	+ 1%
		Vľavo	-		
	vjazd B	Priamo	-	áno	- 1%
		Vľavo	-		
	vjazd D	Priamo	rozšírenie 1 j.v.	áno	- 0,7%
Vpravo					
StK1.2	Centrálna – A. Rudnaya				
	Samostatný odbočovací pruh alebo rozšírený vjazd		Zabezpečený rozhľad	Pozdĺžny sklon [%]	
	vjazd A	Vpravo	-	nie	- 2,5%
		Vľavo	-		
	vjazd B	Priamo	-	áno	+ 1%
		Vľavo	-		
	vjazd D	Priamo	-	áno	- 1,5%
Vpravo		-			

Stykové križovatky alternatívy 1 označené ako StK1.1 a StK1.2 sa geometrickým usporiadaním z hľadiska počtu pruhov na vjazdoch a sklonovými pomermi výrazne neodlišujú. Všetky vjazdy na križovatkách majú združené pruhy, pričom na StK1.1 je na vedľajšom vjazde D rozšírenie práve pre 1 jednotkové vozidlo. Sklonové pomery na križovatkách sú tiež pomerne vyrovnané a pohybujú sa v rozmedzí od - 2,5% do + 1%. Výraznejší rozdiel je v spôsobe napojenia vedľajšieho vjazdu D na hlavnú cestu.

Na oboch križovatkách StK1.1 a StK1.2 je rovnaké dopravné značenie na vedľajších vjazdoch – P2: Daj prednosť v jazde! Na križovatke StK1.2 je zlý rozhľad na vjazde hlavnej cesty A na hlavný vjazd B.

Tab. 8.3 Základné údaje o stykových križovatkách - alternatíva 2

StK2.1	Bánovská cesta - Kamenná				

Pri stykových križovatkách alternatívy 2 sa vybrané križovatky StK2.1 a StK2.2 významne odlišujú. Na rozdiel od StK2.1 má StK2.2 všetky pruhy pre dopravné prúdy na svojich vjazdoch samostatné. Plocha križovatky StK2.2 je kvôli prvkom usmernenia dopravných prúdov – samostatné odbočovacie pruhy, dopravné tiene a ostrovčeky, významne väčšia ako na križovatkke StK2.1.

Na oboch križovatkách StK2.1 a StK2.2 je rovnaké dopravné značenie na vedľajších vjazdoch – P2: Daj prednosť v jazde! Sklony na všetkých vjazdoch oboch križoviek sú pomerne nízke a pohybujú sa v rozmedzí od – 1% do + 2,2%.

8.3 Organizácia, technické zabezpečenie a vykonanie dopravných prieskumov

Za účelom získania podrobných údajov o charakteristikách jednotlivých dopravných prúdoch na vybraných križovatkách bol zvolený nepriamy spôsob výkonu prieskumu – kamerovým záznamom s následným spracovaním údajov. Na rozdiel od priameho merania tak bolo možné zabezpečiť väčšiu presnosť získaných dát, bezpečnosť pri ich zbere a možnosť následnej podrobnej analýzy. Kamerové záznamy boli vykonané v dĺžke 2 – 4 hodiny v rámci viacerých dní počas dopravnej špičky (rannej a popoludňajšej), ale aj mimo dopravnej špičky. Dôvodom bolo, aby sa zabezpečilo dostatočné množstvo vstupných údajov zo všetkých dopravných prúdov, rôzne intenzity a smerovanie dopravných prúdov. Kamerové záznamy boli uskutočnené počas pekného počasia v bežné pracovné dni v mesiacoch apríl až jún, september a október. Základné údaje o prieskumoch, počte dní prieskumu a celkovej dĺžke kamerových záznamov sú uvedené v Tab. 8.4 a v jednotlivých križovatkových listoch Prílohy 2 až 8.

Tab. 8.4 Základné údaje o prieskumoch na križovatkách

Typ križovatky		Označenie križovatky	Mesto	Počet dní prieskumu	Celková doba kamerových záznamov
Prieščná križovatka		PK1	Považská Bystrica	5 dní	1146 min.
		PK2	Prievidza	5 dní	1336 min.
		PK3	Žilina	4 dni	646 min.
Styková križovatka	Alt.1	StK1.1	Žilina	6 dní	1053 min.
		StK1.2	Žilina	5 dní	825 min.
	Alt.2	StK2.1	Žilina	3 dni	311 min.
		StK2.2	Banská Bystrica	3 dni	330 min.

V prípade možných priestorových podmienok boli kamerové záznamy vykonané kamerou umiestnenou na teleskopickom statíve umožňujúcom snímanie z výšky 4-6 m nad úrovňou zeme. Kamera sa nastavila do výšky a pod správnym uhlom tak, aby bola v zábere celá križovatka a bolo možné sledovať všetky dopravné prúdy, resp. ich dopravné charakteristiky – intenzita a zloženie dopravných prúdov, časové odstupy a prípadne aj kolóny a časy čakania na sledovaných vjazdoch. V prípade, že v zábere kamery nebol niektorý z vjazdov, dĺžky kolón vozidiel na jednotlivých ramenách križovatky sa zaznamenávali ručne priamo na mieste, príp. boli použité ďalšie kamery.

Počas dopravných prieskumov sa v jeden deň prieskumu merala na každej križovatkke aj rýchlosť vozidiel v smere hlavnej cesty v oboch smeroch. Meranie sa uskutočnilo mimo dopravnej špičky, aby sa zistila rýchlosť pri voľnom dopravnom prúde. Použitý bol radar Bushnell Velocity gun, ktorým bola možnosť odmerať rýchlosť vozidiel priamo v smerovom oblúku hlavnej cesty.

Vykonané dopravné prieskumy boli spracované a vyhodnotené v troch etapách:

- **I. Etapa** – spracovanie kamerových záznamov a vyhodnotenie **charakteristík dopravných prúdov a charakteristík výkonnosti križovatky**. V rámci tejto etapy boli vyhodnotené aj rýchlosti dopravných prúdov v smere hlavnej cesty z meraní radarom.
- **II. Etapa** – spracovanie kamerových záznamov a vyhodnotenie údajov prezentujúcich **správanie sa vodičov** v nadradených a podradených dopravných prúdoch: dodržiavanie pravidiel cestnej premávky a potenciálne kolízne prúdy.
- **III. Etapa** – spracovanie kamerových záznamov a výpočet časových odstupov – **kritických časových odstupov a priemerných následných časových odstupov**.

8.4 I. Etapa – Charakteristiky dopravných prúdov a výkonnosti križovatky

V I. etape spracovania a vyhodnocovania dopravných prieskumov sa pre každú križovátku stanovili:

- základné charakteristiky dopravných prúdov:
 - intenzity dopravných prúdov na križovatkke,
 - zloženie dopravných prúdov,
 - smerovania dopravných prúdov počas rannej a popoludňajšej špičkovej hodiny a mimo špičkovú hodinu,

- charakteristiky výkonnosti križovatky:
 - priemerné časy čakania podradených prúdov,
 - priemerné dĺžky kolón.
- rýchlosti vozidiel na hlavnej ceste.

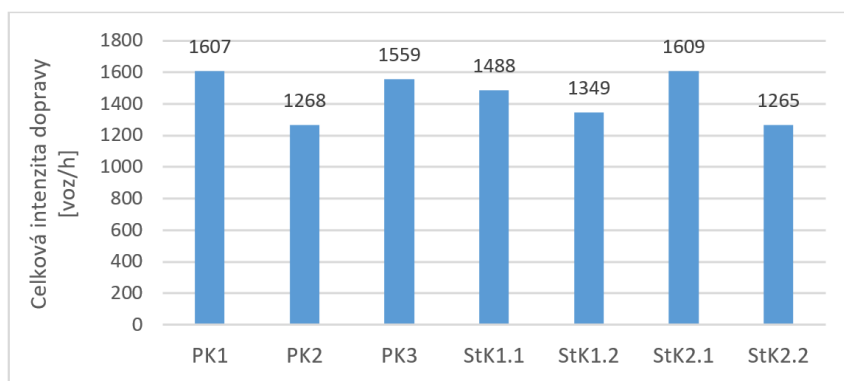
8.4.1 Základné charakteristiky dopravných prúdov

Pre získanie potrebných údajov boli kamerové záznamy z prieskumov spracované v podrobných minútových a následne aj v 15-minútových intervaloch. Do vopred pripravených hárkov sa zaznačili vozidlá prechádzajúce križovatkou z jednotlivých vstupov vzhľadom na ich smer a typ vozidla. Rozlišované boli nasledovné druhy vozidiel s prepočtovým koeficientom na jednotkové vozidlá:

- osobné vozidlá, označené skratkou **OA**, koeficient 1,0,
- jednotopové vozidlá, označené skratkou **M+C**, koeficient 1,0,
- nákladné vozidlá, označené skratkou **NA**, koeficient 1,5,
- nákladné súpravy, označené skratkou **NA+**, koeficient 2,5,
- autobusy a trolejbusy krátke, označené skratkou **BUS**, koeficient 1,5,
- autobusy a trolejbusy kĺbové, označené skratkou **BUS+**, koeficient 2,5.

Základné informácie o križovatkách, rozsahu dopravného zaťaženia a podielu nákladných vozidiel počas prieskumu sú prehľadne zhrnuté v Tab. 8.5. Podrobné výsledky vyhodnotenia dopravných prieskumov sú uvedené v jednotlivých križovatkových listoch Prílohy 2 až 8 (pohľad na križovátku a jej schéma, stužkový diagram a zloženie dopravného prúdu počas špičkovej hodiny). Maximálne dopravné zaťaženie na križovatkách sa počas špičkovej hodiny pohybuje v rozsahu cca. 1300 voz/h až 1600 voz/h. Porovnanie dopravného zaťaženia počas špičkovej hodiny je pre jednotlivé križovatky na Obr. 8.2. Najväčšie zaťaženie je na priesečnej križovatke PK1 a na stykovej križovatke StK2.1. Na stykovej križovatke StK2.1 je aj najväčší podiel nákladnej dopravy, presahujúci 16 % (križovátka je lokalizovaná v priemyselnej zóne). Smerovanie intenzít dopravy podľa zloženia dopravných prúdov počas rannej a popoludňajšej špičkovej hodiny je pre každú križovátku uvedené v Tab. 8.6 až Tab. 8.19.

Údaje o smerovaní dopravných prúdov v čase mimo špičky sú uvedené v Prílohe 10. Dopravné zaťaženia počas vybranej špičkovej hodiny a mimo špičkovej hodiny boli použité pri overovaní mikrosimulácií a teoretického modelu kapacitného posúdenia križovatiek s reálne nameranými hodnotami počas prieskumu.



Obr. 8.2 Porovnanie dopravného zaťaženia počas špičkovej hodiny na sledovaných križovatkách

Tab. 8.5 Základné údaje o dopravnom zaťažení na sledovaných križovatkách

Typ križovatky		Označ.	Mesto	Názov križovatky	Dopr. znač.	Intenzita [voz/h]	Podiel NA [%]
Priešečná križovatka		PK1	Považská Bystrica	Jánska-Moyzesova-Námestie A. Hlinku	P1	1353 - 1607	0,9 - 3,0
		PK2	Prievidza	Mariánska-Záhradnícka - cesta III/1774	P1	562 - 1268	1,0 - 4,7
		PK3	Žilina	Hôrecká cesta -J. Závodského-Žitná	P2	996 - 1559	3,4 - 6,2
Styková križovatka	Alt.1	StK1.1	Žilina	Žitná-Škultétyho	P1	918 - 1488	3,7 - 8,6
		StK1.2	Žilina	Centrálno-A. Rudnaya	P1	959 - 1349	0,4 - 3,4
	Alt.2	StK2.1	Žilina	Bánovská cesta-Kamenná	P1	1289 - 1609	4,5 - 16,2
		StK2.2	Banská Bystrica	Partizánska cesta-29.augusta	P1	1044 - 1265	3,3 - 6,1

Tab. 8.6 Smerovanie dopravných prúdov počas rannej špičkovej hodiny - križovatka PK1

7:30- 8:30			PK1 Jánska – Moyzesova- Námestie A. Hlinku							
Vstup	Smer	Číslo DP	OA	M+C	NA	NA+	BUS	BUS+	voz/h	j.v./h
A	A-B	3	104	0	0	0	1	0	105	105,5
	A-C	2	6	0	0	0	0	0	6	6
	A-D	1	159	1	1	0	3	0	164	166
B	B-A	4	80	0	2	0	0	0	82	83
	B-C	6	15	0	0	0	0	0	15	15
	B-D	5	377	0	2	0	2	0	381	383
C	C-A	8	2	0	0	0	0	0	2	2
	C-B	7	1	0	0	0	0	0	1	1
	C-D	9	0	0	0	0	0	0	0	0
D	D-A	12	139	0	0	0	0	0	139	139
	D-B	11	511	2	2	0	3	2	520	525,5
	D-C	10	26	1	0	0	0	0	27	27
SPOLU									1442	1454

Tab. 8.7 Smerovanie dopravných prúdov počas popoludňajšej špičkovej hodiny - križovatka PK1

15:00-16:00			PK1 Jánska – Moyzesova- Námestie A. Hlinku							
Vstup	Smer	Číslo DP	OA	M+C	NA	NA+	BUS	BUS+	voz/h	j.v./h
A	A-B	3	54	0	0	0	0	0	54	54
	A-C	2	3	0	0	0	0	0	3	3
	A-D	1	215	3	2	0	1	0	221	223
B	B-A	4	146	3	2	0	0	0	151	152
	B-C	6	11	1	0	0	0	0	12	12
	B-D	5	574	6	1	0	2	0	583	585
C	C-A	8	0	1	0	0	0	0	1	1
	C-B	7	7	0	0	0	0	0	7	7
	C-D	9	40	0	1	0	0	0	41	42
D	D-A	12	187	5	5	0	0	0	197	200
	D-B	11	307	6	2	0	2	0	317	319
	D-C	10	18	1	1	0	0	0	20	21
SPOLU									1607	1617

Tab. 8.8 Smerovanie dopravných prúdov počas rannej špičkovej hodiny - križovatka PK2

08:00-09:00			PK2 Mariánska – Záhradnícka – cesta III/1774							
Vstup	Smer	Číslo DP	OA	M+C	NA	NA+	BUS	BUS+	voz/h	j.v./h
A	A-B	3	141	2	2	2	6	0	153	160
	A-C	2	55	0	0	0	0	0	55	55
	A-D	1	91	0	3	0	8	0	102	107.5
B	B-A	4	97	1	5	0	4	0	107	111.5
	B-C	6	93	2	1	0	0	0	96	96.5
	B-D	5	129	2	5	0	1	0	137	140
C	C-A	8	7	0	0	0	0	0	7	7
	C-B	7	10	0	0	0	0	0	10	10
	C-D	9	50	0	1	0	0	0	51	51.5
D	D-A	12	184	0	2	0	1	0	187	188.5
	D-B	11	247	7	6	0	7	0	267	273.5
	D-C	10	93	2	1	0	0	0	96	96.5
SPOLU									1268	1298

Tab. 8.9 Smerovanie dopravných prúdov počas popoludňajšej špičkovej hodiny - križovatka PK2

14:00-15:00			PK2 Mariánska – Záhradnícka – cesta III/1774							
Vstup	Smer	Číslo DP	OA	M+C	NA	NA+	BUS	BUS+	voz/h	j.v./h
A	A-B	3	115	0	0	0	5	0	120	122,5
	A-C	2	32	1	0	0	0	0	33	33
	A-D	1	90	0	1	0	3	0	94	96
B	B-A	4	117	1	0	0	5	0	123	125,5
	B-C	6	93	1	0	0	0	0	94	94
	B-D	5	239	6	1	0	2	0	248	249,5
C	C-A	8	14	0	0	0	0	0	14	14
	C-B	7	9	0	0	0	0	0	9	9
	C-D	9	65	1	0	0	0	0	66	66
D	D-A	12	120	4	1	0	1	0	126	127
	D-B	11	201	8	1	0	7	0	217	221
	D-C	10	91	0	0	0	0	0	91	91
SPOLU									1235	1249

Tab. 8.10 Smerovanie dopravných prúdov počas rannej špičkovej hodiny - križovatka PK3

08:00-09:00			PK3 Hôrecká cesta – J. Závodského – Žitná							
Vstup	Smer	Číslo DP	OA	M+C	NA	NA+	BUS	BUS+	voz/h	j.v./h
A	A-B	3	134	0	14	2	4	7	161	184
	A-C	2	149	0	6	2	5	0	162	171
	A-D	1	45	0	1	0	0	0	46	47
B	B-A	4	287	2	9	1	7	6	312	331
	B-C	6	59	0	1	0	0	0	60	61
	B-D	5	568	7	5	0	0	0	580	583
C	C-A	8	25	0	1	2	5	0	33	39
	C-B	7	2	0	0	0	0	0	2	2
	C-D	9	79	0	1	0	1	0	81	82
D	D-A	12	39	0	2	0	0	0	41	42
	D-B	11	62	0	6	0	0	0	68	71
	D-C	10	13	0	0	0	0	0	13	13
SPOLU									1559	1623

Tab. 8.11 Smerovanie dopravných prúdov počas popoludňajšej špičkovej hodiny - križovatka PK3

14:45-15:45			PK3 Hôrecká cesta – J. Závodského – Žitná							
Vstup	Smer	Číslo DP	OA	M+C	NA	NA+	BUS	BUS+	voz/h	j.v./h
A	A-B	3	351	7	13	1	7	6	385	405.5
	A-C	2	138	5	5	1	2	0	151	156
	A-D	1	34	0	3	1	0	0	38	41
B	B-A	4	208	3	5	0	5	7	228	243.5
	B-C	6	19	1	2	0	0	0	22	23
	B-D	5	165	10	7	0	1	0	183	187
C	C-A	8	49	1	2	1	2	0	55	58.5
	C-B	7	14	1	0	0	0	0	15	15
	C-D	9	77	3	1	0	0	0	81	81.5
D	D-A	12	60	2	1	0	0	0	63	63.5
	D-B	11	228	8	4	0	0	0	240	242
	D-C	10	31	0	1	0	0	0	32	32.5
SPOLU									1493	1549

Tab. 8.12 Smerovanie dopravných prúdov počas rannej špičkovej hodiny - križovatka StK 1.1

08:15-09:15			StK 1.1 Žitná - Škultétyho							
Vstup	Smer	Číslo DP	OA	M+C	NA	NA+	BUS	BUS+	voz/h	j.v./h
A	A-B	3	428	8	9	2	1	0	448	456
	A-D	1	209	2	8	0	0	0	219	223
B	B-A	4	230	10	10	0	0	0	250	255
	B-D	5	233	2	16	0	4	0	255	265
D	D-A	12	21	1	12	1	0	0	35	42,5
	D-B	11	261	1	15	1	3	0	281	291,5
SPOLU									1488	1533

Tab. 8.13 Smerovanie dopravných prúdov počas popoludňajšej špičkovej hodiny - križovatka StK 1.1

14:45-15:45			StK 1.1 Žitná - Škultétyho							
Vstup	Smer	Číslo DP	OA	M+C	NA	NA+	BUS	BUS+	voz/h	j.v./h
A	A-B	3	305	9	28	2	0	0	344	361
	A-D	1	98	0	15	0	0	0	113	120,5
B	B-A	4	339	21	0		0	0	360	360
	B-D	5	278	15	0	0	0	0	293	293
D	D-A	12	22	1	22	0	1	0	46	57,5
	D-B	11	243	6	0	0	0	0	249	249
SPOLU									1405	1441

Tab. 8.14 Smerovanie dopravných prúdov počas rannej špičkovej hodiny - križovatka StK 1.2

7:45-8:45			StK 1.2 Centrálna – A. Rudnaya							
Vstup	Smer	Číslo DP	OA	M+C	NA	NA+	BUS	BUS+	voz/h	j.v./h
A	A-B	3	122	0	9	0	4	2	137	146,5
	A-D	1	241	2	2	0	0	0	245	246
B	B-A	4	136	2	2	0	3	3	146	153
	B-D	5	192	0	10	2	0	0	204	212
D	D-A	12	248	8	2	0	0	1	259	261,5
	D-B	11	259	1	6	0	0	0	266	269
SPOLU									1257	1288

Tab. 8.15 Smerovanie dopravných prúdov počas popoludňajšej špičkovej hodiny - križovatka StK 1.2

15:30-16:30			StK 1.2 Centrálna – A. Rudnaya							
Vstup	Smer	Číslo DP	OA	M+C	NA	NA+	BUS	BUS+	voz/h	j.v./h
A	A-B	3	200	2	5	0	3	2	212	219
	A-D	1	410	15	1	0	0	0	426	427
B	B-A	4	63	1	0	0	3	3	70	76
	B-D	5	243	1	0	0	0	0	244	244
D	D-A	12	189	2	0	0	1	0	192	193
	D-B	11	202	1	2	0	0	0	205	206
SPOLU									1349	1364

Tab. 8.16 Smerovanie dopravných prúdov počas rannej špičkovej hodiny - križovatka StK 2.1

7:15-8:15			StK 2.1 Bánovská cesta - Kamenná							
Vstup	Smer	Číslo DP	OA	M+C	NA	NA+	BUS	BUS+	voz/h	j.v./h
A	A-B	3	304	0	70	34	0	0	408	494
	A-C	2	93	0	7	1	2	0	103	109
B	B-A	4	384	3	41	16	0	0	444	488,5
	B-C	6	163	0	8	3	1	0	175	184
C	C-A	8	193	0	10	5	2	0	210	223,5
	C-B	7	172	1	7	6	0	0	186	198,5
SPOLU									1526	1698

Tab. 8.17 Smerovanie dopravných prúdov počas popoludňajšej špičkovej hodiny - križovatka StK 2.1

15:30-16:30			StK 2.1 Bánovská cesta - Kamenná							
Vstup	Smer	Číslo DP	OA	M+C	NA	NA+	BUS	BUS+	voz/h	j.v./h
A	A-B	3	603	6	28	4	1	0	642	662,5
	A-C	2	141	2	1	1	2	0	147	150
B	B-A	4	311	1	43	10	1	0	366	403
	B-C	6	146	2	5	0	0	0	153	155,5
C	C-A	8	125	1	3	2	1	0	132	137
	C-B	7	164	1	1	3	0	0	169	174
SPOLU									1609	1682

Tab. 8.18 Smerovanie dopravných prúdov počas rannej špičkovej hodiny - križovatka StK 2.2

8:00-9:00			StK 2.2 Partizánska cesta-29.augusta							
Vstup	Smer	Číslo DP	OA	M+C	NA	NA+	BUS	BUS+	voz/h	j.v./h
A	A-B	3	195	0	1	0	15	3	214	226,5
	A-C	2	139	3	2	0	7	1	152	158
B	B-A	4	258	0	2	0	17	3	280	294
	B-C	6	130	1	2	0	11	0	144	150,5
C	C-A	8	323	2	5	1	10	2	343	355
	C-B	7	123	0	0	0	9	0	132	136,5
SPOLU									1165	1229

Tab. 8.19 Smerovanie dopravných prúdov počas popoludňajšej špičkovej hodiny - križovatka StK 2.2

14:00-15:00			StK 2.2 Partizánska cesta-29.augusta							
Vstup	Smer	Číslo DP	OA	M+C	NA	NA+	BUS	BUS+	voz/h	j.v./h
A	A-B	3	195	0	1	0	15	3	214	226,5
	A-C	2	139	3	2	0	7	1	152	158
B	B-A	4	258	0	2	0	17	3	280	294
	B-C	6	130	1	2	0	11	0	144	150,5
C	C-A	8	323	2	5	1	10	2	343	355
	C-B	7	123	0	0	0	9	0	132	136,5
SPOLU									1265	1321

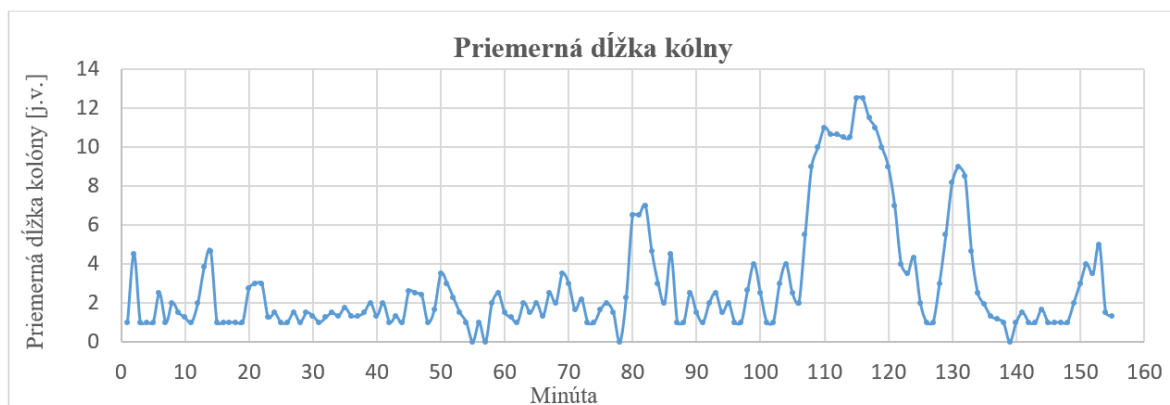
8.4.2 Charakteristiky výkonnosti križovatky

Z kamerových záznamov, resp. zo záznamov vykonaných priamo na mieste počas dopravného prieskumu boli vyhodnocované dĺžky kolón a časy čakania vozidiel na vjazdoch, resp. na jednotlivých pruhoch na vjazde do križovatky.

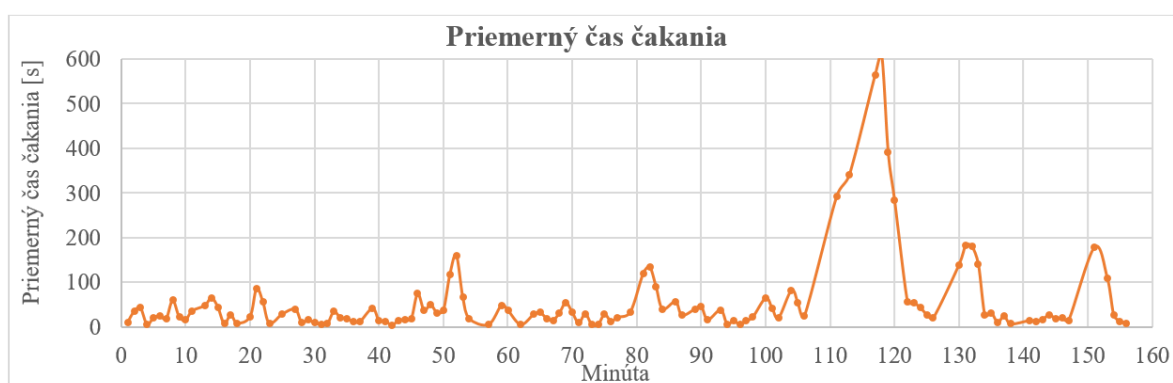
Priemerná dĺžka kolóny (v počte jednotkových vozidiel) bola zaznamenávaná počas prieskumu v 1 až 5 minútových intervaloch. Príklad priebehu v minútových intervaloch je pre zmiešaný dopravný prúd na vjazde C križovatky PK3 uvedený na Obr. 8.3. Pre požadovaný časový interval (napr. v čase špičkovej hodiny) sa z týchto hodnôt vypočítala priemerná hodnota dĺžky kolóny.

Čas čakania v kolóne, vrátane doby čakania na prvej pozícii, bol zaznamenaný pre každé podradené vozidlo. Tieto hodnoty boli následne spracované v 1 až 5 minútových intervaloch (priemer za daný interval). Príklad priebehu v minútových intervaloch je pre zmiešaný dopravný prúd na vjazde C križovatky PK3 uvedený na Obr. 8.4. Pre požadovaný časový interval boli následne vypočítané priemerné hodnoty doby čakania pripadajúce na jedno vozidlo v sledovanom dopravnom prúde. Hodnoty priemernej doby čakania získané z prieskumov v čase špičkovej a mimo špičkovej hodiny boli použité ako hodnotiaci parameter pri posúdení kapacity dopravných prúdov na križovatkách, nastavenie mikrosimulácií a porovnanie s výsledkami z teoretického modelu kapacitného posúdenia.

Priemerné hodnoty dĺžky kolón a časov čakania na jednotlivých križovatkách počas vybranej špičkovej hodiny a tiež mimo špičkovej hodiny sú uvedené v nasledujúcich tabuľkách Tab. 8.20 a Tab. 8.21. Dlhé kolóny boli namerané na vedľajších vjazdoch stykových križovatiek StK1.1, StK1.2, StK2.1, ale aj na priesečných križovatkách PK1 a PK3. Dĺžka kolóny však nie je parametrom vhodným pre posúdenie výkonnosti križovatky. Rozhodujúcim parametrom je priemerný čas čakania jedného vozidla v posudzovanom dopravnom prúde. Na všetkých sledovaných križovatkách okrem PK2 a StK2.2 boli v čase špičkovej hodiny z dôvodu nedostatočnej kapacity zaznamenané dlhé priemerné časy čakania v podradených prúdoch. V niektorých prípadoch, najmä na križovatkách PK1, PK3, StK1.1 a StK1.2, by však tieto hodnoty boli pri štandardnom správaní sa vodičov ešte vyššie. Výsledky sú skreslené tým, že vodiči z podradených prúdov v tomto čase zámerne porušovali pravidlá cestnej premávky (nedávali prednosť v jazde nadradeným vozidlám – pozri kapitolu 8.5.1) a viac riskovali pri vjazde do križovatky, čím vznikali nebezpečné situácie. V čase mimo špičkovej hodiny boli priemerné časy čakania v podradených prúdoch na všetkých križovatkách vyhovujúce. Pohybovali sa na úrovni kvality dopravy B až D, t. j. s maximálnou dobou zdržania do 45 s.



Obr. 8.3 Dĺžka kolóny na vjazde C križovatky PK3 (prieskum 5.6.2018, popoludní)



Obr. 8.4 Čas čakania na vjazde C križovatky PK3 (prieskum 5.6.2018, popoludní)

Tab. 8.20 Priemerné dĺžky kolón a zdržani na križovatkách namerané počas špičkovej hodiny

Križovatka	Čas špičkovej hodiny	Dopravný prúd	Priemerný čas čakania [s]	Priemerná dĺžka kolóny [j.v.]	Intenzita DP [voz/h]	Celková intenzita [voz/h]	Podiel NA [%]
PK1	7:30 - 8:30	1+2	5,6	1	170	1442	1,2
		12	2,7	1	139		
		10+11	51,2	7	547		
		7+8+9	101,5	1	3		
PK2	8:00 - 9:00	1+2	3,4	1	157	1268	4,3
		11+12	7,6	2	454		
		10	13,9	1	96		
		7+8+9	10,2	1	68		
PK3	14:45 - 15:45	1+2+3	3,9	2	574	1493	5,2
		10+11+12	54,9	5	335		
		7+8+9	87,8	4	151		
StK1.1	8:15 - 9:15	1+3	2,9	2	667	1488	5,5
		11+12	131	11	316		
StK1.2	15:30 - 16:30	1+3	4,2	3	638	1349	1,5
		11+12	126,7	12	397		
StK2.1	7:15 - 8:15	2+3	3,1	2	511	1526	14,0
		7+8	78,4	9	396		
StK2.2	14:00 - 15:00	2	4,8	1	152	1265	7,2
		7	13,8	2	132		
		8	5,3	1	343		

Tab. 8.21 Priemerné dĺžky kolón a zdržaní na križovatkách namerané mimo špičkovej hodiny

Križovatka	Čas mimo špičky	Dopravný prúd	Priemerný čas čakania [s]	Priemerná dĺžka kolóny [j.v.]	Intenzita DP [voz/h]	Celková intenzita [voz/h]	Podiel NA [%]
PK1	13:30 - 14:30	1+2	7,5	2	215	1436	1,0
		12	3,3	1	186		
		10+11	34,1	5	313		
		7+8+9	24,7	1	46		
PK2	12:45 - 13:45	1+2	5,1	1	121	1161	3,0
		11+12	7,4	2	322		
		10	11,6	1	69		
		7+8+9	10,8	1	79		
PK3	13:15 - 14:15	1+2+3	2,4	1	374	996	6,0
		10+11+12	7,8	1	183		
		7+8+9	26,8	2	323		
StK1.1	7:15 - 8:15	1+3	1,5	1	310	1020	16,2
		11+12	21,5	2	222		
StK1.2	13:30 - 14:30	1+3	3,1	1	378	994	2,3
		11+12	29,1	4	381		
StK2.1	14:45 - 15:45	2+3	1,8	1	571	1289	5,3
		7+8	26,8	3	308		
StK2.2	15:00 - 16:00	2	4,8	1	110	1012	7,6
		7	12,7	1	104		
		8	5,2	1	293		

8.4.3 Rýchlosť vozidiel na hlavnej ceste

Na každej križovatke bolo radarom odmeraných 40 rýchlostí vozidiel idúcich v smerovom oblúku hlavnej cesty v každom smere samostatne. Merané boli iba vozidlá, ktorých pohyb nebol obmedzovaný inými vozidlami. Z nameraných rýchlostí bola vypočítaná priemerná rýchlosť vozidiel pre každý smer (smery A-B a B-A) a tiež celkovo pre hlavnú cestu (zo všetkých nameraných rýchlostí). Cieľom merania bolo zistiť, aký vplyv má prevedenie hlavnej cesty v zalomení na rýchlosť hlavného dopravného prúdu, ktorý nie je z hľadiska hierarchie obmedzovaný iným dopravným prúdom. Pre sledované križovatky sú namerané údaje uvedené v grafoch v Prílohe 11. Vypočítané priemerné rýchlosti sú pre sledované križovatky zhrnuté v Tab. 8.22. V tabuľke sú uvedené aj uhol križovania a polomer smerového oblúka v osi hlavnej cesty.

Najväčší vplyv na rýchlosť vozidiel má veľkosť polomeru oblúka v osi hlavnej cesty. V obci sú tieto oblúky vzhľadom na obmedzené priestorové možnosti veľmi malé, čomu zodpovedajú aj rýchlosti vozidiel (viď. Tab. 8.22). Priemerné hodnoty rýchlostí vozidiel sa na sledovaných križovatkách, s výnimkou križovatky StK2.2, pohybujú v rozsahu od 22 km/h do 31 km/h. Na križovatke StK2.2 bola nameraná najväčšia priemerná rýchlosť (36 km/h), čo zodpovedá aj najväčšej hodnote polomeru smerového oblúka a ploche križovatky (najrozsiahlejšia križovatka, na ktorej sú všetky pruhy samostatné).

Križovatka	Smer	Priemerná rýchlosť [km/h]		Uhol križovania [°]	Polomer oblúka v osi hlavnej cesty [m]
PK1	A-B	22	22	63	13
	B-A	23			
PK2	A-B	23	24	79	13
	B-A	24			
PK3	A-B	30	31	112	27
	B-A	32			
StK1.1	A-B	31	31	103	31
	B-A	30			
StK1.2	A-B	24	24	104	19
	B-A	25			
StK2.1	A-B	28	28	100	20
	B-A	29			
StK2.2	A-B	36	36	90	35
	B-A	37			

Rýchlosť vozidiel v hlavnom dopravnom prúde má vplyv na hodnoty kritických časových odstupov, ktoré sú v súčasnom TP102 [33] určené zvlášť pre križovatky v obci a mimo obce. Ide však o križovatky, na ktorých je hlavná cesta vedená priamo, t.j. vodiči môžu križovatkou prechádzať v hlavnom smere povolenou rýchlosťou 50 km/h v obci, resp. 90 km/h mimo obce (ak nie je rýchlosť znížená dopravným značením). Aby sa zistili reálne hodnoty rýchlostí vozidiel na križovatke so zalomenou hlavnou cestou mimo obce, vybrané boli 3 stykové križovatky. Lokalizácia, schéma a pohľad na križovatky sú uvedené v Tab. 8.23. Namerané hodnoty rýchlostí sú na týchto križovatkách uvedené v grafoch v Prílohe 11. Vypočítané priemerné rýchlosti sú pre sledované križovatky zhrnuté v Tab. 8.24. V tabuľke sú uvedené aj uhol križovania a polomer smerového oblúka v osi hlavnej cesty.

Označ.	EStK1	EStK2	EStK3
Obec	Myjava	Teplička n. Váhom	Súľov
Kraj	Trenčiansky kraj	Žilinský kraj	Žilinský kraj
Schéma križovatky			
Pohľad na križovatku			

Tab. 8.24 Priemerné rýchlosti vozidiel na hlavnej ceste v smerovom oblúku – križovatky v extraviláne

Križovatka	Smer	Priemerná rýchlosť [km/h]		Uhol križovania [°]	Polomer oblúku v osi hlavnej cesty [m]
EStK1	A-B	49	50	133	100
	B-A	51			
EStK2	A-B	48	48	116	109
	B-A	49			
EStK3	A-B	38	39	103	25
	B-A	40			

Priemerné rýchlosti vozidiel v smerovom oblúku hlavnej cesty sa na sledovaných križovatkách so zalomenou hlavnou cestou lokalizované mimo obce pohybovali v rozmedzí 39 km/h - 50 km/h, čo je približne o 15 km/h viac ako na hlavnej ceste na križovatkách v obci. Dôvodom sú väčšie polomery smerových oblúkov, ale aj rozšírenie jazdných pruhov v oblúku hlavnej cesty. Dosiahnuté priemerné rýchlosti vozidiel sú však výrazne nižšie, ako je povolená rýchlosť 90 km/h mimo obce.

V súvislosti s križovatkami so zalomenou hlavnou cestou mimo obce je dôležité upozorniť na fakt, že na cestnej sieti v extraviláne sa takýto typ križovatiek vyskytuje len ojedinele. Dostatočné priestorové možnosti umožňujú navrhnuť vhodný smerový polygón a primerane veľké smerové oblúky hlavnej cesty, a tiež vhodné zaústenie vedľajšej cesty na stykových križovatkách (kolmé zaústenie, resp. kolmé zaústenie s usmernením dopravy – pozri kapitolu 4.3 a križovatka EStK1 v Tab. 8.23). Priesečné križovatky so zalomenou hlavnou cestou sa na cestnej sieti v extraviláne prakticky nevyskytujú.

Z výsledkov prieskumu rýchlostí na vybraných križovatkách so zalomenou hlavnou cestou v obci a mimo obce vyplýva, že priemerná rýchlosť hlavného dopravného prúdu v smere hlavnej cesty dosahuje hodnoty do 50 km/h, čo predstavuje maximálnu povolenú rýchlosť v obci. Na základe toho možno konštatovať, že vplyv polohy týchto križovatiek, vzhľadom na maximálnu povolenú rýchlosť sa eliminuje, nakoľko samotné prevedenie hlavnej cesty ako zalomenej (s malým smerovým oblúkom) spomaľuje hlavný dopravný prúd a vodiči prechádzajú križovatkou nižšou rýchlosťou aj mimo obce. Vzhľadom na túto skutočnosť je navrhovaný výpočet základnej kapacity križovatiek so zalomenou hlavnou cestou, resp. parametre vstupujúce do výpočtu (kritický a následný časový odstup) jednotné a platné pre priesečné a stykové križovatky v obci a tiež pre stykové križovatky mimo obce, avšak s polomerom smerového oblúka hlavnej cesty do 25 m. V takomto prípade sa predpokladá obdobné správanie sa dopravných prúdov na križovatke bez ohľadu na jej polohu. Pri kapacitnom posúdení stykových križovatiek s väčším polomerom a kolmým zaústením vedľajšej cesty na hlavnú cestu v oblúku je možné postupovať v zmysle TP102 [33] a uvažovať hlavnú cestu ako priamu.

8.5 II. Etapa - Správanie sa vodičov

Špecifické vedenie hlavnej cesty v zalomení prináša so sebou aj isté špecifiká v súvislosti so správaním sa vodičov v nadradených a podradených dopravných prúdoch. Keďže toto správanie následne vplyva na bezpečnosť cestnej premávky a parametre vstupujúce do výpočtu základnej kapacity (kritický časový odstup, rozhodujúca intenzita nadradených prúdov), z kamerových záznamov bolo v rámci II. etapy sledované a vyhodnotené:

➤ dodržiavanie pravidiel cestnej premávky:

- signalizovanie zmeny smeru jazdy vodičmi na hlavnej ceste,
- dávanie prednosti v jazde vodičmi z podradených prúdov nadradeným kolíznym vozidlám,

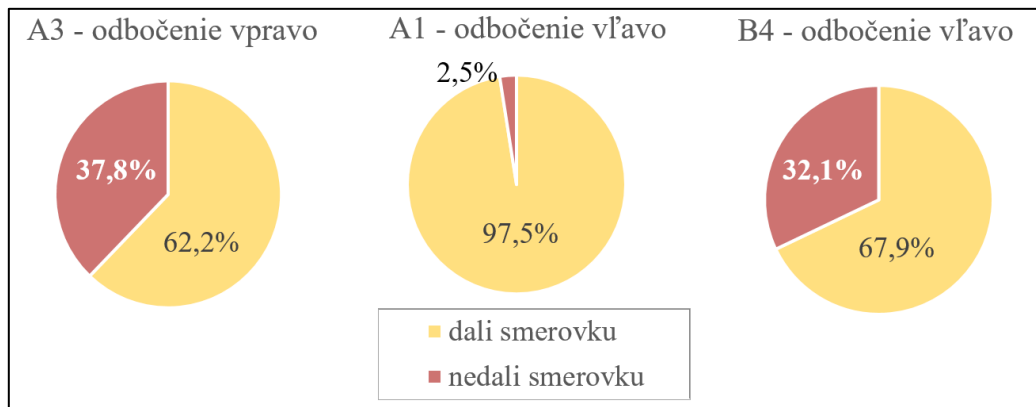
➤ vplyv potenciálne kolíznych dopravných prúdov na podradené prúdy.

8.5.1 Dodržiavanie pravidiel cestnej premávky

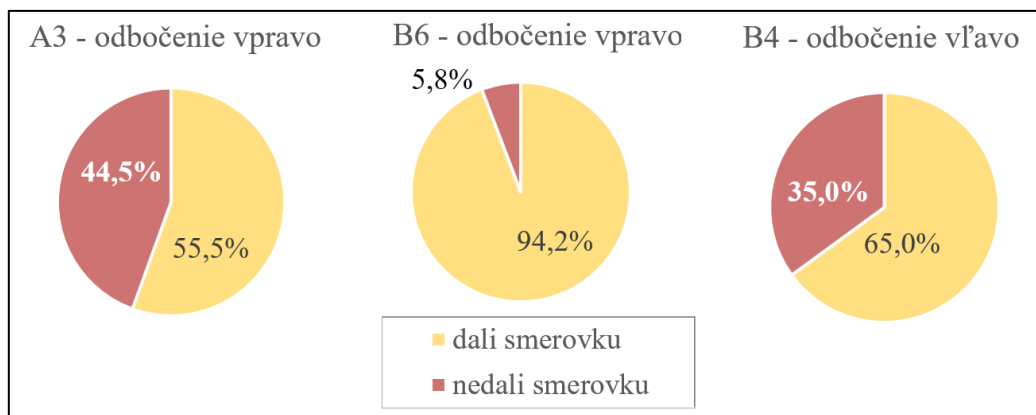
Signalizovanie zmeny smeru jazdy vodičmi na hlavnej ceste

Pre vodičov z podradených prúdov je pri prejazde križovatkou so zalomenou hlavnou cestou veľmi dôležité včasné a jednoznačné rozpoznanie smerovania vozidiel v nadradených prúdoch. Na základe toho potom vedia rozlíšiť, či sú im nadradené vozidlá kolízne a je potrebné im dať prednosť, alebo môžu prejsť križovatkou bezkolízne a bezpečne súčasne s nimi. Častokrát však na križovatkách so zalomenou hlavnou cestou vodiči na hlavnej ceste nesignalizujú zmenu smeru jazdy, aj keď to znamená, že na križovatke odbočujú vpravo či vľavo. Porušujú tým pravidlá cestnej premávky, podľa ktorých je vodič povinný dávať znamenie o zmene smeru jazdy, vybočovaní z neho alebo ak to vyžaduje bezpečnosť alebo plynulosť cestnej premávky.

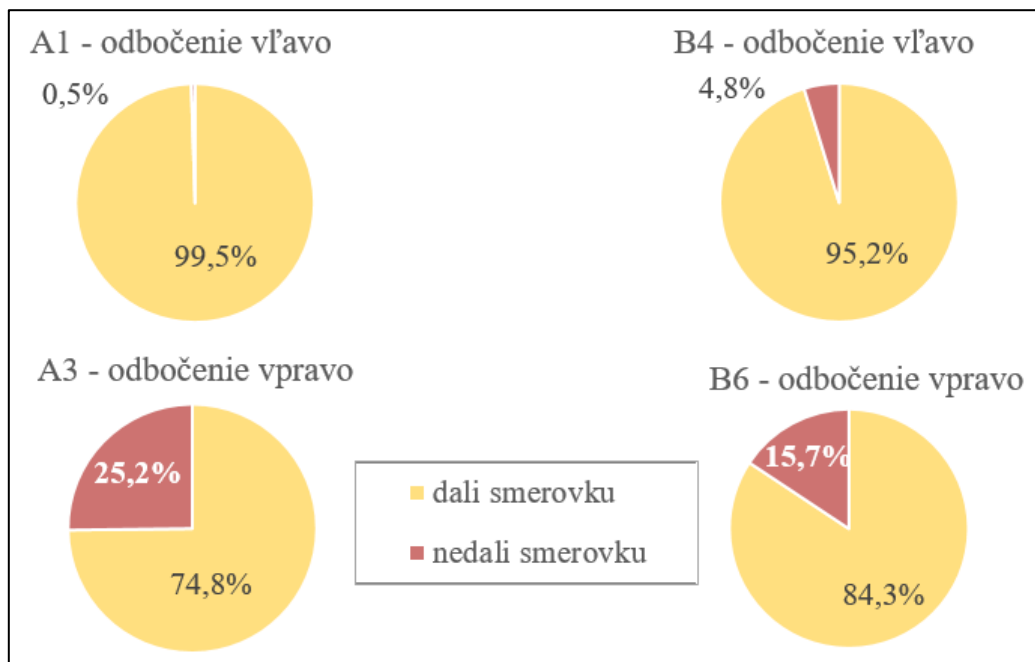
Ak vodiči v nadradených prúdoch s vyššou prioritou neudajú alebo neskoro indikujú smer svojej jazdy smerovými svetidlami, vozidlá z podradených prúdov čakajú pred križovatkou až do chvíle, kedy je jednoznačné, kam nadradené vozidlo smeruje. Znižuje sa tak kapacita vedľajších vjazdov a predlžujú sa časy čakania. Z uvedených dôvodov sa na troch vybraných križovatkách so združenými jazdnými pruhmi na hlavnej ceste pozorovalo, či vozidlá prichádzajúce do križovatky po hlavnej ceste signalizovali alebo nesignalizovali pri odbočovaní vpravo, resp. vľavo zmenu smeru. Na nasledujúcich grafoch (Obr. 8.5 až Obr. 8.7) sú zobrazené výsledky pre vybrané križovatky: styková križovatka Alt.1 StK1.1, styková križovatka Alt.2 StK2.1 a priesečná križovatka PK3. Uvádzaný je %-ny podiel vodičov, ktorí nesignalizovali zmenu smeru z celkového počtu vozidiel v sledovanom dopravnom prúde.



Obr. 8.5 Signalizovanie zmeny smeru jazdy na križovatke StK1.1



Obr. 8.6 Signalizovanie zmeny smeru jazdy na križovatke StK2.1



Obr. 8.7 Signalizovanie zmeny smeru jazdy na križovatke PK3

Potvrdil sa prvotný predpoklad, že najvyšší podiel vodičov, ktorí nesignalizujú zmenu smeru sú tí, ktorí prechádzajú križovatkou v smere hlavnej cesty, t.j. odbočenie vpravo z hlavného vjazdu A (dopravný prúd A3) a odbočenie vľavo z hlavného vjazdu B (dopravný prúd B4). Na stykových križovatkách sa tento podiel pohyboval v rozmedzí až 32 % - 44 %, kde pri pravom odbočení bol tento podiel vyšší ako pri ľavom odbočení z hlavnej cesty. Odbočenie z hlavného vjazdu na vedľajší vjazd nesignalizoval oveľa menší podiel vodičov, cca. 6 % pri odbočovaní vpravo a cca. 2,5 % pri odbočení vľavo.

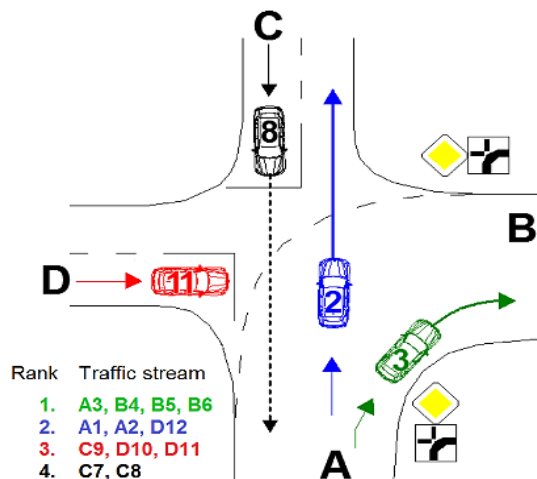
Na priesečnej križovatke, rovnako ako na stykových križovatkách, bol najvyšší podiel vodičov nesignalizujúcich odbočenie vpravo v smere hlavnej cesty, cca. 25 %. Pri ľavom odbočovaní v smere hlavnej cesty to bolo len cca 5 %, avšak pri pravom odbočení z hlavného vjazdu na vedľajší až 15%. Najmenší podiel vodičov nesignalizujúcich zmenu smeru jazdy bolo pri odbočovaní vľavo z hlavného vjazdu na vedľajšiu cestu, len 0,5 %.

Okrem samotného faktu, že mnohí vodiči v nadradených prúdoch nesignalizujú zmenu smeru jazdy, situácia sa komplikuje tým, že z niektorých vedľajších vjazdov vodiči prakticky nevidia smerovky na všetkých prichádzajúcich vozidlách v nadradených prúdoch (vozidlá sa prekrývajú). V praxi to znamená veľmi silný vplyv na neistotu vodičov z podradených prúdov, a teda zvýšenie vplyvu nadradených potenciálne kolíznych dopravných prúdov. Tento vplyv sa sledoval samostatne, výsledky sú v kapitole 8.5.2.

Dávanie prednosti v jazde vodičmi z podradených prúdov nadradeným kolíznym vozidlám

Na križovatkách so zalomenou hlavnou cestou vznikajú špecifické situácie pre vodičov z vedľajších vjazdov, ktoré na križovatkách s priamou hlavnou cestou nevznikajú. Ide o situácie, keď zároveň s nekolíznym vozidlom vyššej priority prechádza križovatkou aj vozidlo z vedľajšieho vjazdu, zatiaľ čo jemu nadradené kolízne vozidlo čaká na prejazd daného vozidla vyššej priority. Vodič z vedľajšieho vjazdu v takejto situácii porušuje pravidlá cestnej premávky, lebo nedal prednosť všetkým jemu nadradeným kolíznym vozidlám v križovatke. Príklad takejto situácie je znázornený na Obr. 8.8

na priesečnej križovatke pre konkrétne podradené vozidlo z vedľajšieho vjazdu (z dopravného prúdu IV. stupňa - C8). Spolu s nekolíznym vozidlom vyššej priority (z dopravného prúdu I. stupňa - A2 alebo II. stupňa - A3) prechádza križovatkou aj podradené vozidlo (C8), zatiaľ čo jemu nadradené kolízne vozidlo (z dopravného prúdu III. stupňa - D11) čaká na vjazde „blokované“ vozidlom vyššej priority.



Obr. 8.8 Príklad nedania prednosti v jazde – podradené vozidlo C8

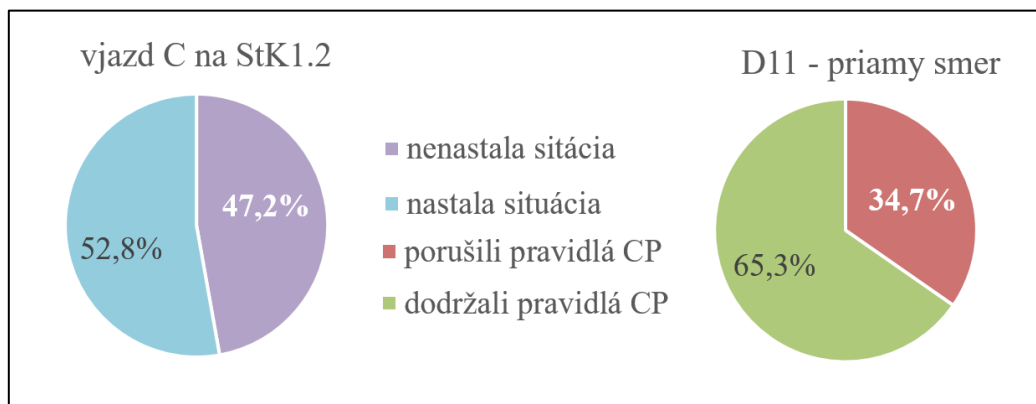
Na Obr. 8.8 je uvedená len jedna z viacerých možných situácií, ktoré môžu nastať na priesečnej križovatke. V Tab. 8.25 sú pre jednotlivé podradené dopravné prúdy uvedené všetky možnosti, t.j. podmienky pre podradené vozidlá, za ktorých vzniká možnosť nedat' prednosť v jazde čakajúcim nadradeným vozidlám. Na stykových križovatkách je takáto situácia len pre jeden podradený dopravný prúd – dopravný prúd D11 na stykovej križovatke Alt. 1, resp. dopravný prúd C7 na stykovej križovatke Alt. 2. Uvádzané dopravné situácie vznikajú predovšetkým na križovatkách so zdieľanými jazdnými pruhmi v čase dopravnej špičky a dlhšej čakacej doby na vedľajších vjazdoch.

Tab. 8.25 Podmienky pre podradené vozidlá, za ktorých vzniká možnosť nedat' prednosť v jazde čakajúcim nadradeným vozidlám

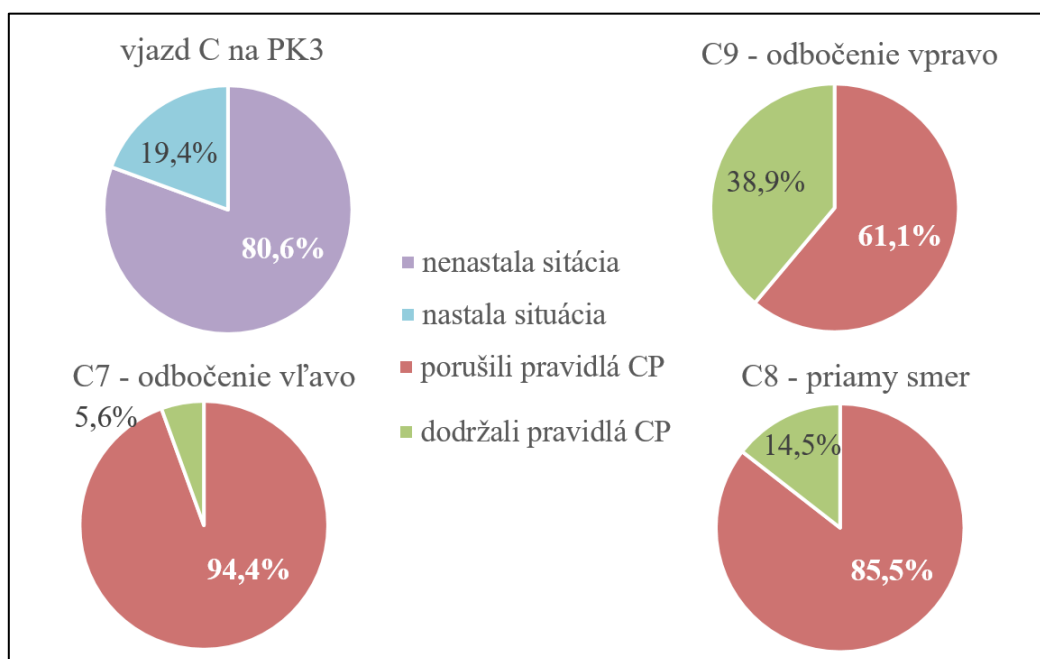
Podradený prúd	Čakajúci kolízny nadradený prúd	Prechádzajúci nekolízny dopravný prúd s vyššou prioritou
C8	D11	A2, A3
C8	D10	A2
C9	A1	B4
C7	D10, D11	A1
C7 alebo D11	A2	B6
D11	A1, A2	B5
D10	A1, A2	B4

Pre pozorovanie situácií porušovania pravidiel cestnej premávky (nedanie prednosti v jazde), boli vybraté dve križovatky – priesečná križovatka PK3 a styková križovatka StK1.2. Z kamerových záznamov sa počas špičkového zaťaženia zaznačovalo, či vznikla, alebo nevznikla predmetná dopravná situácia. V prípade, že nastala situácia, zaznačilo sa, či ju vodič z vedľajšieho vjazdu využil a prešiel cez križovatku, t.j. porušil pravidlá cestnej premávky, alebo ju nevyužil a prešiel križovatkou až po

všetkých jemu nadradených vozidlách, t.j. dodržal pravidlá cestnej premávky. Výsledky sú uvedené na nasledujúcich grafoch na Obr. 8.9 pre vjazd D stykovej križovatky StK1.2 a na Obr. 8.10 pre vjazd C priesečnej križovatky PK3.



Obr. 8.9 Nedávanie prednosti vjazde - križovatka StK1.2



Obr. 8.10 Nedávanie prednosti vjazde - križovatka PK3

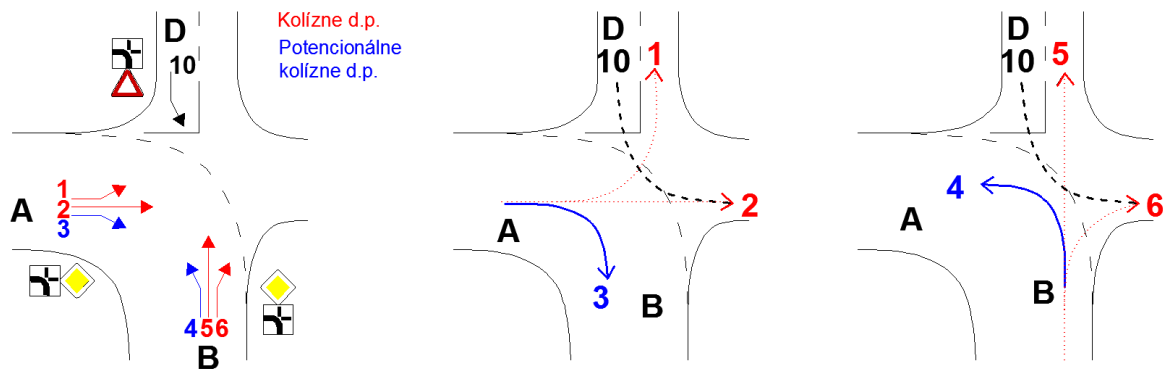
Počas pozorovania na stykovej križovatke StK1.2 nastali veľmi často situácie, kedy vodiči z vedľajšieho vjazdu mali príležitosť porušiť pravidlá cestnej premávky a nedat' prednosť čakajúcemu nadradenému vozidlu. Každý druhý vodič mal takúto príležitosť a takmer 35 % vodičov ju aj využilo, čo je v sumáre nezanedbateľný podiel.

Na priesečnej križovatke PK3 nastala počas sledovania daná situácia približne v 20 % a väčšina vodičov túto príležitosť aj využila, a to najmä pri najpodradenejších dopravných pohyboch – priamo a odbočenie vľavo. Takýto vysoký podiel súvisel s faktom, že v čase dopravnej špičky sledovaný vjazd do križovatky kapacitne nevyhovoval a charakteristický bol dlhými dobami čakania. Tie by boli samozrejme oveľa vyššie v prípade dodržiavania pravidiel a bezpečnosti cestnej premávky.

Porušovanie pravidiel cestnej premávky tým, že podradené vozidlo nedá prednosť čakajúcemu nadradenému vozidlu síce na jednej strane zvyšuje kapacitu vedľajšieho vjazdu (znižujú sa časy čakania), avšak za cenu zníženia bezpečnosti cestnej premávky.

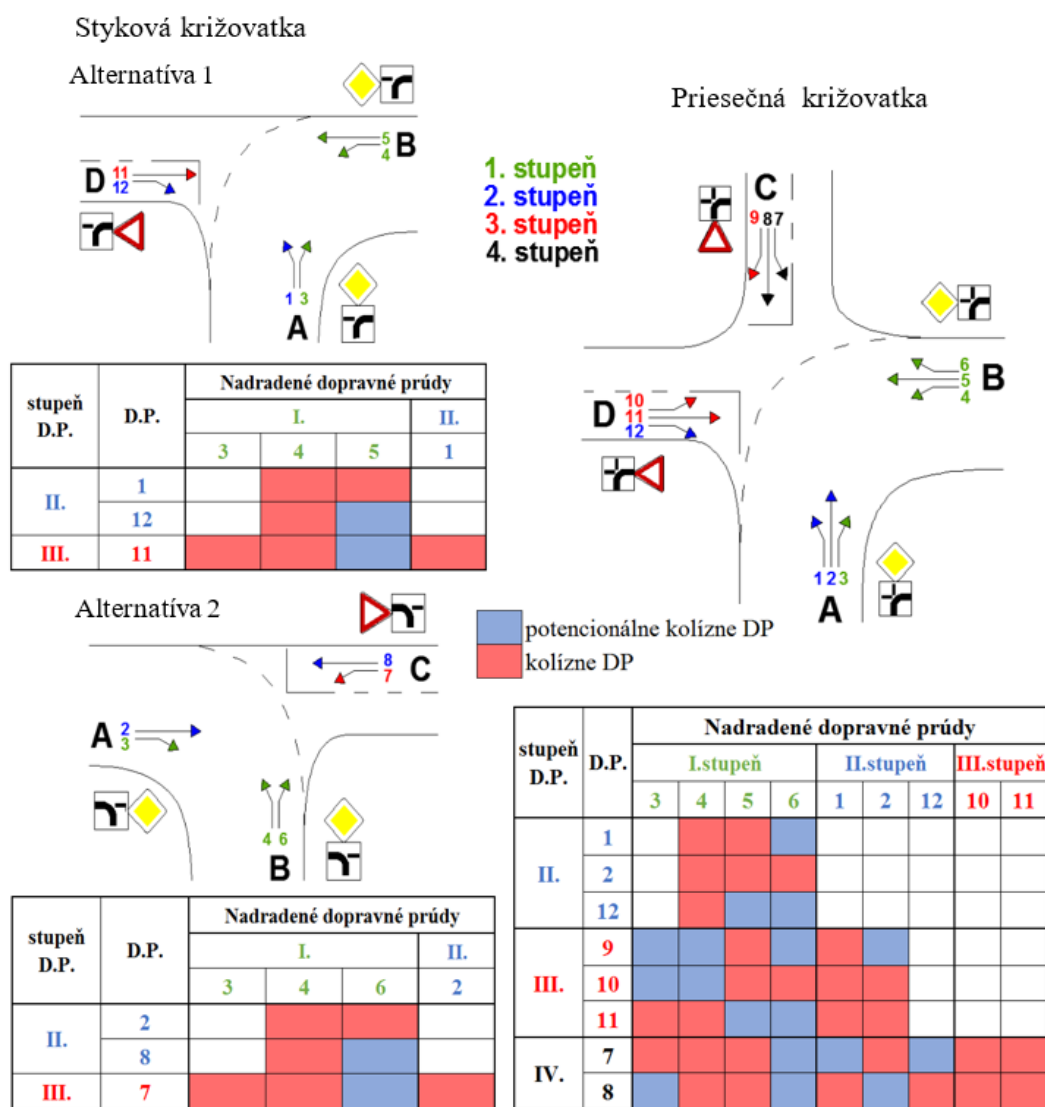
8.5.2 Vplyv potenciálne kolíznych dopravných prúdov na podradené prúdy

Pri spracovaní kamerových záznamov sa pozorovaním zistilo, že na vodičov z podradených prúdov významne vplývajú vozidlá z určitých nekolíznych nadradených prúdov, ak zdieľajú jazdný pruh s nadradenými kolíznymi prúdmi, tzv. **potenciálne kolízne dopravné prúdy**. Napríklad, na Obr. 8.11 je znázornený dopravný prúd 3, resp. 4 s najvyššou prioritou, ktoré nie sú v kolízií s dopravným prúdom 10, avšak, ak zdieľajú jazdný pruh s jemu kolíznymi nadradenými prúdmi 1 a 2, resp. 5 a 6, do určitej miery ho ovplyvňujú. Dôvodom je, že vodiči z podradeného prúdu 10 do poslednej chvíle nemajú istotu, aký manéver vykonajú vozidlá z vstupov A alebo B, čo môže byť zapríčinené nesignalizovaním, alebo neskorým signalizovaním smeru jazdy z hlavných vstupov, alebo vzájomným prekrývaním sa vozidiel, ktoré idú na hlavnej ceste za sebou. Vodiči z podradeného prúdu, ovplyvnení nadradenými potenciálne kolíznymi prúdmi, potom nevyužívajú všetky vhodné odstupy medzi kolíznymi nadradenými vozidlami na vykonanie potrebného manévru. Takéto situácie následne významne vplývajú na veľkosti kritických časových odstupov a rozhodujúcu intenzitu nadradených prúdov, ktoré vstupujú do výpočtu základnej kapacity podradených prúdov.



Obr. 8.11 Príklad nadradených kolíznych a potenciálne kolíznych dopravných prúdov pre podradený prúd 10

V prvom kroku boli identifikované všetky potenciálne kolízne dopravné prúdy, pri ktorých sa predpokladá vplyv na vozidlá z podradených prúdov. Pre jednotlivé podradené dopravné prúdy na priesečných a stykových križovatkách sú znázornené spolu s nadradenými kolíznymi prúdmi v matici na Obr. 8.12. Červenou sú znázornené nadradené kolízne a modrou potenciálne kolízne prúdy.



Obr. 8.12 Nadradené kolízne a potenciálne kolízne dopravné prúdy na stykových a priesečných križovatkách

Pri zachovaní rovnakého predpokladu ovplyvnenia aký je použitý pri križovatkách s hlavnou cestou priamou, vzniká na priesečných križovatkách so zalomenou hlavnou cestou až 17 nadradených potenciálne kolíznych prúdov. V porovnaní s konvenčnou priesečnou križovatkou je to dvojnásobne vyšší počet (o 9 nadradených potenciálne kolíznych prúdov viac). Na stykových križovatkách sa počet nadradených kolíznych a potenciálne kolíznych prúdov nemení.

Výskyt potenciálne kolíznych prúdov a veľkosť ich vplyvu sa zisťovala na jednotlivých križovatkách z kamerových záznamov. Ak sú nadradené nekolízne prúdy vedené v samostatných pruhoch, neovplyvňujú vodičov z podradených prúdov, pretože je vzhľadom na ich zaradenie jasný ich manéver. Z tohto dôvodu sa v rámci prieskumu sledovali na križovatkách len vplyvy nadradených potenciálne kolíznych dopravných prúdov, ktoré zdieľajú jazdný pruh s kolíznymi nadradenými prúdmi konkrétneho podradeného prúdu. Pri vyhodnocovaní kamerových záznamov sa zapisovali prejazdy vozidiel z nadradených potenciálne kolíznych prúdov, pričom sa značilo, či toto vozidlo ovplyvnilo alebo neovplyvnilo vozidlo z konkrétneho podradeného prúdu. Následne bol vyhodnotený %-ny podiel vozidiel z nadradených potenciálne kolíznych prúdov, ktoré ovplyvnili správanie sa vodičov z podradených prúdov na sledovaných priesečných a stykových križovatkách. Toto vyhodnotenie je

tabelárne prezentované v nasledovnej Tab. 8.26. Na stykovej križovatke StK2.2 sú samostatné jazdné pruhy na všetkých vjazdoch, preto nebol vplyv nadradených potenciálne kolíznych prúdov zisťovaný.

Tab. 8.26 Vplyv nadradených potenciálne kolíznych DP na križovatkách so zalomenou hlavnou cestou

Križovatka	Podradený DP	Dopravný pohyb	Nadradený potenciálne kolízny DP						
			3	4	5	6	1	2	12
PK1	1	vľavo z hlavnej	-	-	-	36%	-	-	-
	7	vľavo z vedľajšej	-	-	-	43%	48%	-	-
	8	priamo z vedľajšej	-	-	-	17%	-	30%	-
	9	vpravo z vedľajšej	-	-	-	30%	-	17%	-
PK2	1	vľavo z hlavnej	-	-	-	41%	-	-	-
	7	vľavo z vedľajšej	-	-	-	36%	38%	-	26%
	8	priamo z vedľajšej	-	-	-	18%	-	27%	-
	9	vpravo z vedľajšej	-	-	-	37%	-	18%	-
PK3	1	vľavo z hlavnej	-	-	-	48%	-	-	-
	7	vľavo z vedľajšej	-	-	-	43%	43%	-	27%
	8	priamo z vedľajšej	4%	-	-	16%	-	33%	-
	9	vpravo z vedľajšej	6%	32%	-	42%	-	19%	-
	10	vľavo z vedľajšej	67%	58%	-	-	-	-	-
	11	priamo z vedľajšej	-	-	52%	63%	-	-	-
	12	vpravo z vedľajšej	-	-	70%	50%	-	-	-
StK1.1	11	priamo z vedľajšej	-	-	30%	-	-	-	-
	12	vpravo z vedľajšej	-	-	23%	-	-	-	-
StK1.2	11	priamo z vedľajšej	-	-	52%	-	-	-	-
	12	vpravo z vedľajšej	-	-	43%	-	-	-	-
StK2.1	7	vľavo z vedľajšej	-	-	-	40%	-	-	-
	8	priamo z vedľajšej	-	-	-	29%	-	-	-

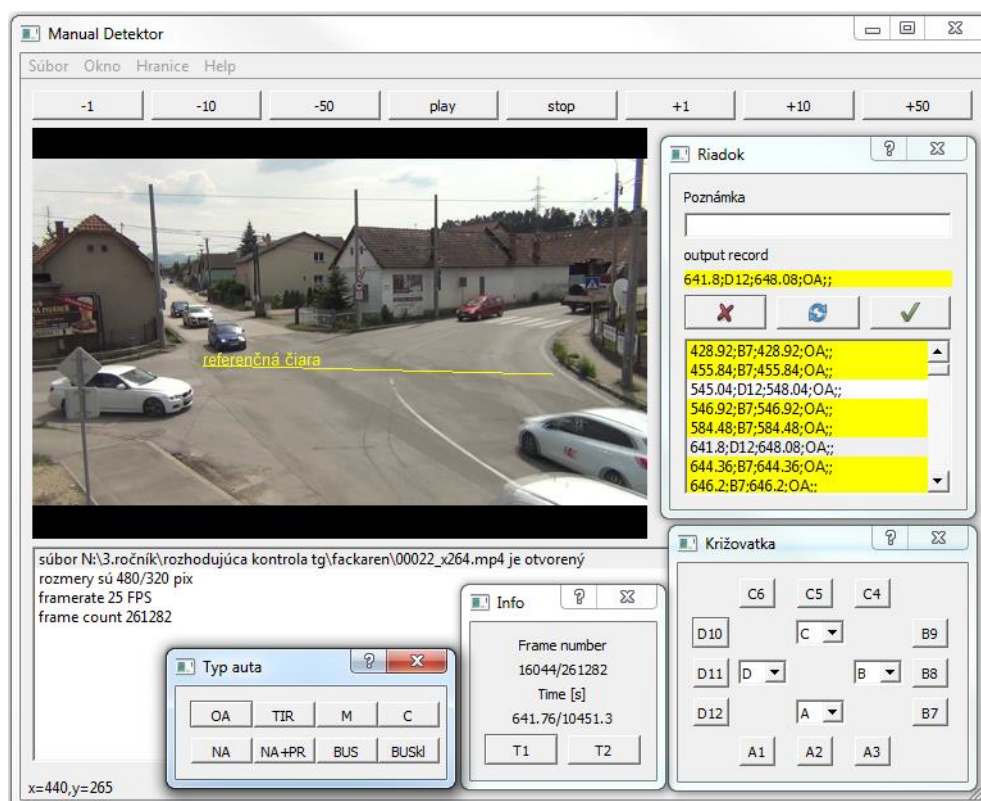
Z celkového vyhodnotenia sa preukázal vplyv všetkých nadradených potenciálne kolíznych prúdov, ktoré sa predpokladali na základe hypotézy zdieľaného jazdného pruhu s kolíznymi prúdmi konkrétnych podradených prúdov. Tento vplyv sa pohyboval zväčša do 50 %. Na priesečnej križovatke PK3 a na stykovej križovatke StK1.2 bol tento vplyv na podradené prúdy z vjazdu D dokonca viac ako 50 %. Najmenší vplyv sa preukázal v prípade nadradeného prúdu 3 z hlavného vjazdu A na priesečnej križovatke PK3 na podradené prúdy 8 a 9 z vjazdu C. Tento vplyv bol len cca. 5% a v porovnaní s ostatnými výrazne nižší.

Na základe výsledkov vyhodnotenia vplyvov potenciálne kolíznych dopravných prúdov na konkrétne podradené prúdy sa navrhol **nový výpočet rozhodujúcej intenzity nadradených prúdov pre priesečné a stykové križovatky so zalomenou hlavnou cestou**. Vo výpočte sa odporúča okrem intenzít dopravy nadradených kolíznych prúdov pripočítať aj polovičnú hodnotu intenzít dopravy všetkých identifikovaných potenciálne kolíznych prúdov, okrem potenciálne kolízneho prúdu 3 pre podradené prúdy 8 a 9. S intenzitou potenciálne kolíznych prúdov sa počíta len v prípade, ak pre tento prúd nie je určený samostatný pruh, a teda je vedený v združenom pruhu spolu s nadradenými kolíznymi prúdmi. Výpočet rozhodujúcich intenzít nadradených prúdov pre konkrétne podradené prúdy je uvedený v Tab. 10.4 a Tab. 10.5 pre obe alternatívy stykovej križovatky a v Tab. 10.6 pre priesečné križovatky.

8.6 III. Etapa - Kritické a následné časové odstupy

V III. etape sa videozáznamy spracovali tak, aby sa získali vstupné údaje pre stanovenie časových odstupov medzi vozidlami - **kritické a priemerné následné časové odstupy**, ktoré sú dôležitými vstupnými parametrami pre výpočet základnej kapacity. Cieľom bolo zistiť, či je možné a za akých podmienok použiť návrhové hodnoty časových odstupov z aktuálnych TP 102 [33] aj pre križovatky so zalomenou hlavnou cestou.

Vzhľadom na časovú náročnosť manuálneho spracovania videí, a pre zefektívnenie celého procesu a získania veľmi presných vstupných údajov pre ďalšie výpočty, bol vytvorený vlastný softvérový nástroj „ManualDetektor“ pre poloautomatické spracovanie obrazu. Softvérový nástroj umožňuje posun videa po snímkach s rôznym nastavením rýchlosti prehrávania a s presnosťou výstupných údajov na 0,01 s. Prostredie softvéru je znázornené na Obr. 8.13. Umožňuje nastaviť označenia vstupov a dopravných prúdov (napr. A2, B5 a pod.), zvoliť typ zaznamenaného vozidla (OA, NA, M a pod.) a interaktívne vykresliť referenčné čiary, vzhľadom na ktoré sa zaznamenávajú časy príchodov, odchodov alebo prejazdov vozidiel z jednotlivých dopravných prúdov. Výstupný xls súbor obsahuje: číslo dopravného prúdu, čas príchodu vozidla, čas odjazdu vozidla, typ vozidla a poznámku. Rozdielom času príchodu a odjazdu vozidla sa zistí čas čakania podradeného vozidla na prvej pozícii (ak je čas nulový, vozidlo prechádzalo referenčnou čiarou bez zdržania, ide predovšetkým o vozidlá v hlavných dopravných prúdoch). Rozdielom časov následných vozidiel v dopravnom prúde, resp. na zvolenej referenčnej čiare sa zistia časové odstupy.

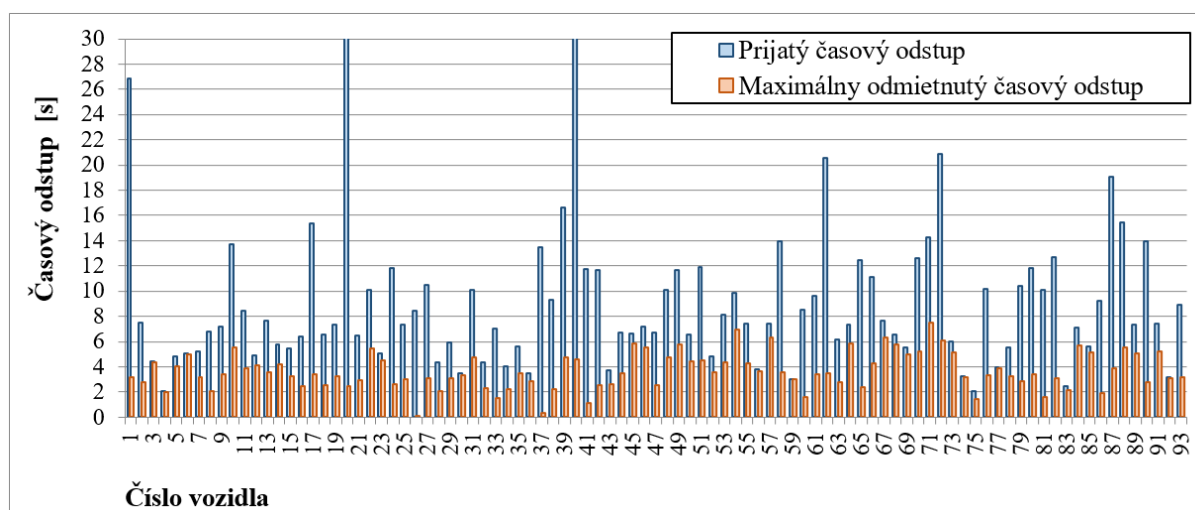


Obr. 8.13 Programové prostredie "ManualDetektor"

8.6.1 Kritické časové odstupy

Kritický časový odstup t_g nie je možné odmerať priamo. Pre potreby jeho stanovenia je potrebné získať pre každé podradené vozidlo: odmietnuté časové odstupy (R_i) a práve jeden prijatý časový odstup (A_i). Zaznamenávané preto boli pomocou SW „ManualDetektor“: čas príchodu a odchodu vozidla z podradeného dopravného prúdu na prvej pozícii a časy prejazdov jemu nadradených kolíznych a potenciálne kolíznych vozidiel cez určenú referenčnú čiaru. Pre každé vozidlo bolo pri zápise okrem týchto časov uvedené: vstup a smer zaznamenávaného vozidla ($A1$, $B4$ a pod.) a jeho typ. Medzi časmi prejazdov nadradených vozidiel počas času čakania podradeného vozidla vnikajú odmietnuté časové odstupy (R_i), z ktorých sa stanovil vždy jeden maximálny odmietnutý odstup ($R_{max,i}$). Zaznamenávaný bol vždy aj čas prejazdu vozidla z nadradeného dopravného prúdu, ktorý nasledoval po zaradení predmetného vozidla z podradeného dopravného prúdu - pre stanovenie prijatého časového odstupu (A_i). Uvažované boli len situácie, kde podradené vozidlo odmietlo minimálne jeden časový odstup v nadradenom prúde. Neboli uvažované špecifické situácie ovplyvnené správaním sa vodičov (napr. zámerné „púšťanie“ podradených vozidiel vozidlami z hlavného prúdu), alebo inými vplyvmi (napr. vozidlo z hlavného prúdu obmedzil chodec na priechode).

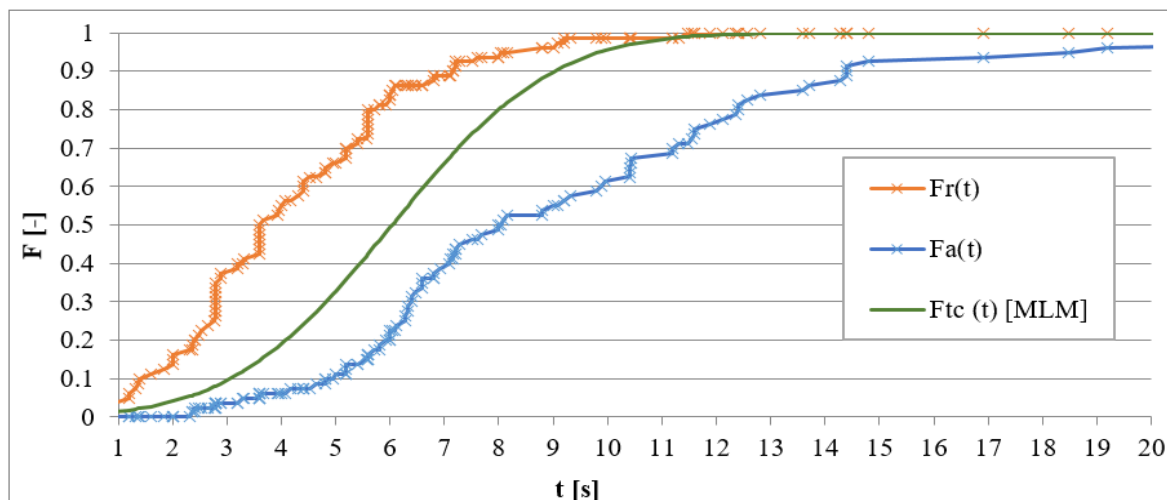
Každý podradený dopravný prúd sa pre jednotlivé križovatky vyhodnocoval samostatne. Pre každé vozidlo v určitom podradenom dopravnom prúde bola stanovená dvojica prijatého odstupu (A_i) a maximálneho odmietnutého odstupu ($R_{max,i}$). Do výpočtu kritického časového odstupu boli uvažované len tie dvojice odstupov, kde sa vodiči správali konzistentne, t.j. ich správanie sa nemenilo v čase - na uskutočnenie manévru neprijali odstup menší ako predtým odmietli. Na Obr. 8.14 je znázornený príklad súboru dvojíc prijatých a im prislúchajúcich maximálnych odmietnutých časových odstupov.



Obr. 8.14 Príklad súboru prijatých a maximálne odmietnutých časových odstupov pre dopravný prúd A2 na križovatke StK2.1

Stanovenie hodnoty kritického časového odstupu pre jednotlivé dopravné prúdy križovatiek bolo realizované metódami podľa Raffa (1950) [28], Wu (2006) [47] a Troutbecka (1992) [38]. Vzhľadom na to, že MLM metóda Troutbecka (1992) podľa [9] dáva najpresnejšie výsledky a bola využitá aj pri odhade kritických časových odstupov v HBS [18] a HCM [19], uvádzané sú len výsledky kritických odstupov odhadované touto metódou. Podrobnejšie je táto metóda popísaná v kapitole 6.2.3 „Spôsob stanovenia kritických časových odstupov“. Príklad konkrétnej distribučnej funkcie maximálnych odmietnutých odstupov $F_{r(t)}$ a prijatých odstupov $F_{a(t)}$, distribučná funkcia odhadovaného kritického odstupu na základe MLM Troutbecka – $F_{tc(t)}$ je uvedená na Obr. 8.15. Pre aplikáciu iteratívnej metódy

MLM Troutbecka bol vzhľadom na jej náročnosť vytvorený pomocný SW nástroj pre výpočet kritického časového odstupu.



Obr. 8.15 Distribučné funkcie $F_{r(t)}$ a $F_{a(t)}$, distribučná funkcia odhadovaného kritického odstupu na základe MLM Troutbecka $F_{tc(t)}$ pre dopravný prúd A2 na križovatke StK2.1

V I. etape riešenia RVT boli hodnoty kritických časových odstupov stanovené na základe časových odstupov odmeraných iba medzi vozidlami v nadradených kolíznych prúdoch pre konkrétny podradený prúd. Takto vypočítané hodnoty však boli pre niektoré podradené prúdy veľmi vysoké. Dôvodom bol veľký počet a významný vplyv potenciálne kolíznych dopravných prúdov na podradené vozidlá (viď. kapitola 8.5.2). Tento vplyv bolo potrebné eliminovať, lebo je zahrnutý už v rozhodujúcej intenzite nadradených prúdov (viď. kapitola 10.2), ktorá spolu s kritickým časovým odstupom vstupuje do výpočtu základnej kapacity. Aby sa predišlo jeho ďalšiemu zohľadneniu vo výpočte, bolo potrebné metodiku získania vstupných údajov pre výpočet kritických odstupov zmeniť.

Na základe konzultácie s Prof. Dr. Ing. Ning Wu, Ruhr-Universität Bochum v Nemecku, ktorý sa podieľal aj pri spracovaní kapacitného manuálu HBS [18], pre získanie vstupných dát na stanovenie kritických odstupov sa odmerali časové odstupy medzi vozidlami nielen z nadradených kolíznych, ale aj z potenciálne kolíznych dopravných prúdov. Takýto postup sa použil aj pre získanie vstupných údajov pre výpočet kritických časových odstupov na štandardných križovatkách s priamym vedením hlavnej cesty, na ktorých sa okrem kolíznych vozidiel uvažovali aj vozidlá z potenciálne kolíznych prúdov – odbočenie vpravo z hlavnej cesty [36].

Po pridaní prejazdov vozidiel z potenciálne kolíznych prúdov sa zmenili vstupné údaje dvojíc maximálnych odmietnutých a prijatých odstupov, z ktorých sa nanovo stanovil kritický časový odstup. Tento postup bol použitý len pre tie podradené dopravné prúdy, pri ktorých sa vplyv potenciálne kolíznych prúdov potvrdil. Nové hodnoty kritických časových odstupov sa významne znížili, najmä na križovatkách so združenými pruhmi pre nadradené prúdy (napr. hodnota t_g pre dopravný prúd 10 na križovatke PK3 sa znížila z pôvodných 8,1 s na 6,4 s). Vypočítané hodnoty kritických časových odstupov sú pre jednotlivé dopravné prúdy uvedené v Tab. 8.27 pre priesečné križovatky, v Tab. 8.28 pre stykové križovatky alternatívy 1 a v Tab. 8.29 pre stykové križovatky alternatívy 2. Okrem časových odstupov je v tabuľkách uvedený počet dvojíc prijatých a maximálnych odmietaných odstupov (n), z ktorých boli hodnoty t_g pre konkrétny dopravný prúd vypočítané.

Tab. 8.27 Kritický časový odstup pre priesečné križovatky - PK1, PK2 a PK3

Vjazd	Dopravný prúd		PK1		PK2		PK3	
	Druh	Číslo	t_g [s]	n [-]	t_g [s]	n [-]	t_g [s]	n [-]
A	vľavo z hlavnej	1	5,86	141	6,24	118	5,27	93
	priamo z hlavnej	2	6,13	17	5,95	136	5,45	109
C	vľavo z vedľajšej	7	6,62	81	6,46	122	6,23	54
	priamo z vedľajšej	8	6,34	35	6,65	93	6,62	102
	vpravo z vedľajšej	9	5,60	95	6,34	107	6,61	112
D	vľavo z vedľajšej	10	5,90	71	6,63	108	6,39	70
	priamo z vedľajšej	11	6,60	125	6,19	45	6,41	81
	vpravo z vedľajšej	12	6,63	47	6,52	99	6,41	61

Tab. 8.28 Kritický časový odstup pre stykové križovatky alternatívy 1 - StK 1.1 a StK 1.2

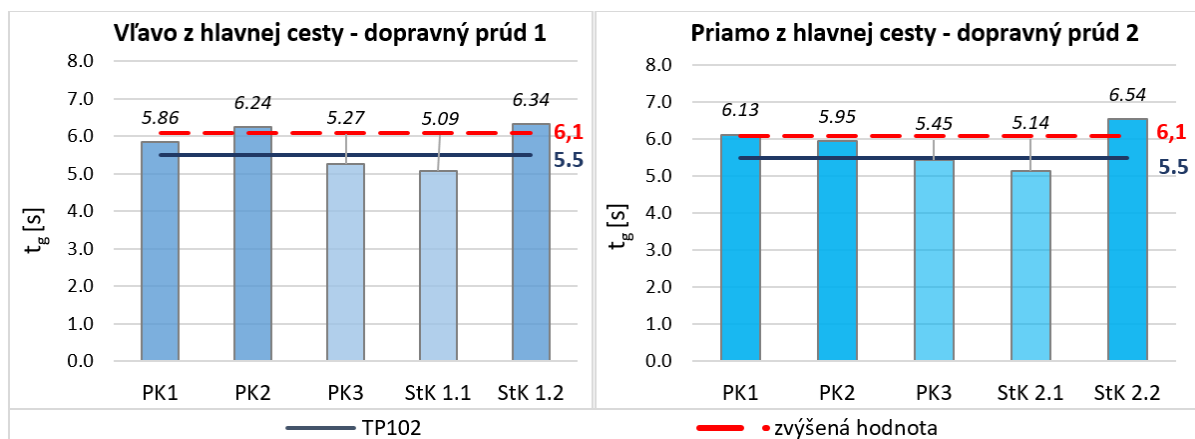
Dopravný prúd			StK 1.1		StK 1.2	
Stupeň	Druh	Číslo	t_g [s]	n [-]	t_g [s]	n [-]
A	vľavo z hlavnej	1	5,09	105	6,34	99
D	priamo z vedľajšej	11	5,46	138	6,29	207
	vpravo z vedľajšej	12	5,74	33	6,17	34

Tab. 8.29 Kritický časový odstup pre stykové križovatky alternatívy 2 - StK 2.1 a StK 2.2

Dopravný prúd			StK 2.1		StK 2.2	
Stupeň	Druh	Číslo	t_g [s]	n [-]	t_g [s]	n [-]
A	priamo z hlavnej	2	5,14	93	6,54	153
C	vľavo z vedľajšej	7	5,80	303	6,33	168
	priamo z vedľajšej	8	5,54	74	6,64	111

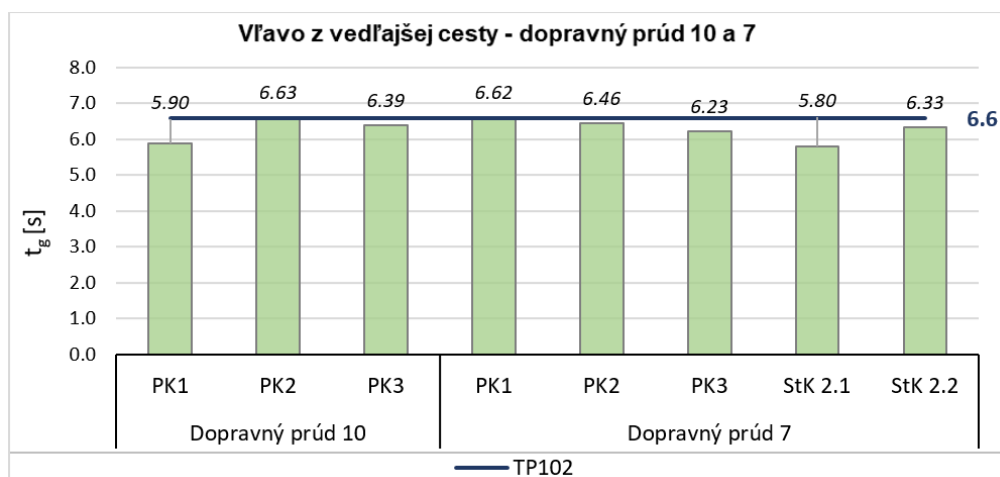
Najnižšie hodnoty kritických časových odstupov (5,1 s – 5,8 s) boli zistené pre dopravné prúdy na stykových križovatkách StK1.1 a StK2.1, na ktorých je zabezpečený dostatočný rozhľad a majú všetky pruhy združené na všetkých vstupoch (čo zabezpečuje menšie vzdialenosti od miesta zastavenia podradeného vozidla ku kolíznym bodom).

Pre lepšie porovnanie sú hodnoty kritických časových odstupov graficky zobrazené podľa druhu dopravného prúdu (vľavo alebo priamo z hlavnej cesty; vľavo, vpravo alebo priamo z vedľajšej cesty) pre všetky križovatky na Obr. 8.16 až Obr. 8.19. V týchto grafoch je zobrazená aj hodnota kritického časového odstupe zodpovedajúceho dopravného prúdu podľa TP 102 [33] platná pre štandardné križovatky s hlavnou cestou vedenou priamo, v obci (viď Tab. 6.3). Dôvodom bolo overiť, či je možné tieto hodnoty použiť ako návrhové hodnoty t_g aj pre križovatky so zalomenou hlavnou cestou.



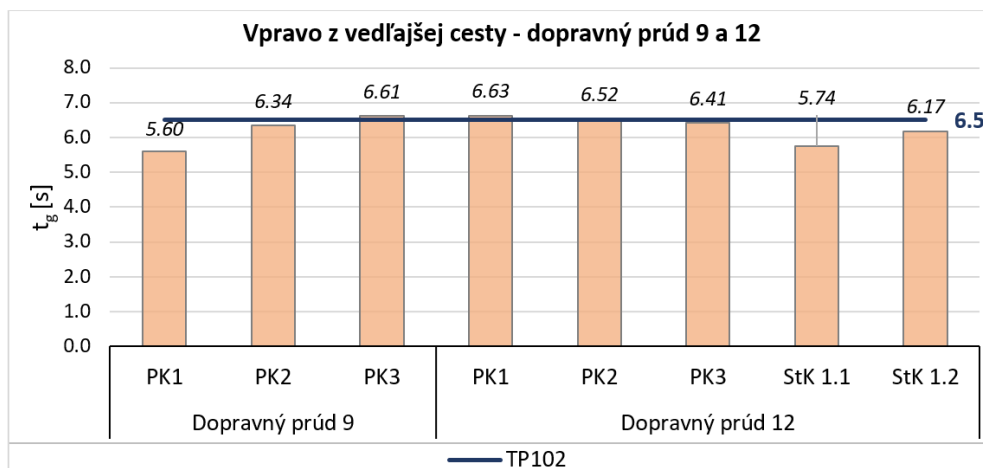
Obr. 8.16 Kritické časové odstupy pre vľavo a priamo z hlavnej cesty

Pre **prúdy priamo a odbočenie vľavo z hlavnej cesty (dopravné prúdy 1 a 2)** sa hodnoty kritických časových odstupov pohybujú na sledovaných križovatkách v rozmedzí od 5,1 s do 6,5 s. Na križovatkách so združenými pruhmi na hlavnom vjazde B (PK3, StK1.1 a StK2.1) sú to hodnoty v rozpätí 5,1 s – 5,5 s a neprekračujú hodnotu $t_g = 5,5$ s určenú v TP 102 [33] pre odbočenie vľavo z hlavnej cesty. Na križovatkách so samostatnými pruhmi na hlavnom vjazde B (PK1, PK2 a StK2.2) a na križovatke s veľmi zlým rozhľadom na hlavnom vjazde (StK1.2 – zlý rozhľad na hlavnom vjazde A smerom na hlavný vjazd B) sú však hodnoty t_g už vyššie. Pohybujú sa v rozmedzí 5,9 s – 6,5 s. V takýchto prípadoch sa odporúča uvažovať s vyššou návrhovou hodnotou ako uvádza TP 102 [33] o 0,6 s, t.j. 6,1 s (vyznačená v grafe červenou farbou).



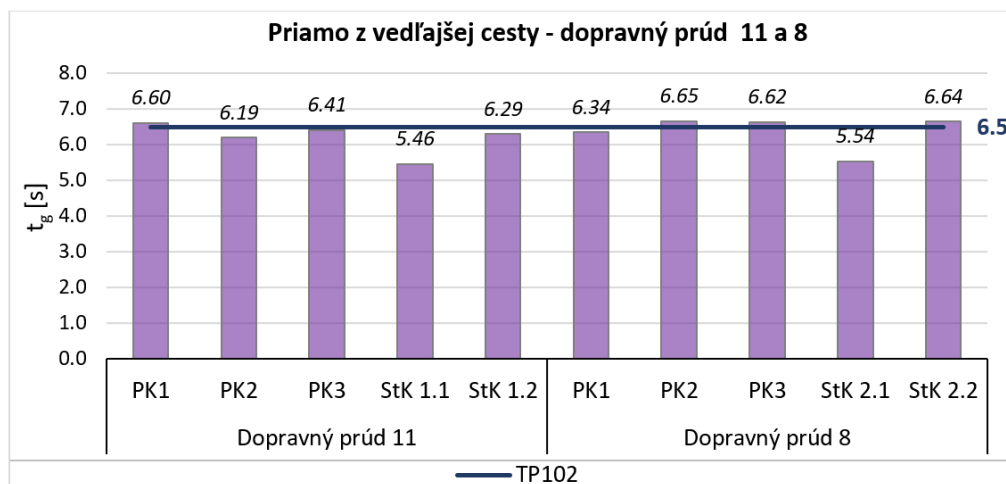
Obr. 8.17 Kritické časové odstupy pre vľavo z vedľajšej cesty

Pre **prúdy odbočujúce vľavo z vedľajšej cesty (dopravné prúdy 10 a 7)** sa hodnoty kritických časových odstupov pohybujú na sledovaných križovatkách v rozmedzí od 5,8 s - 6,6 s, čo je na úrovni hodnoty $t_g = 6,6$ s určenej v TP 102 [33] pre odbočenie vľavo z vedľajšej cesty.



Obr. 8.18 Kritické časové odstupy pre vpravo z vedľajšej cesty

Pre **prúdy odbočujúce vpravo z vedľajšej cesty (dopravné prúdy 12 a 9)** sa hodnoty kritických časových odstupov pohybujú na sledovaných križovatkách v rozmedzí od 5,6 s - 6,6 s. Najnižšie hodnoty t_g sú na križovatke PK1 a StK1.1. Na ostatných križovatkách sa pohybujú približne na úrovni 6,5 s určenej pre tento druh dopravného prúdu v TP 102 [33].



Obr. 8.19 Kritické časové odstupy pre priamo z vedľajšej cesty

Pre **prúdy priamo z vedľajšej cesty (dopravné prúdy 11 a 8)** sa hodnoty kritických časových odstupov pohybujú na sledovaných križovatkách v rozmedzí od 5,5 s do 6,5 s. Najnižšie sú na križovatkách StK1.1 a StK2.1. Na ostatných križovatkách sa pohybujú približne na úrovni 6,5 s určenej pre tento druh dopravného prúdu v TP 102 [33].

Hodnoty kritických časových odstupov jednotlivých druhov dopravných prúdov zistených na sledovaných križovatkách so zalomenou hlavnou cestou sa výrazne neodlišujú od návrhových hodnôt pre štandardné križovatky v zmysle TP 102 [33]. Z tohto dôvodu je možné tieto návrhové hodnoty t_g ponechať s tým, že zvýšené hodnoty pre odbočenie vľavo a priamo z hlavnej cesty (prúdy 1 a 2) sa odporúčajú len v prípade križovatiek so samostatnými pruhmi na hlavnom vjazde B alebo s veľmi zlým rozhľadom z hlavného vjazdu A. Návrhové hodnoty sú uvedené v Tab. 10.7 v kapitole 10.3.

8.6.2 Priemerné následné časové odstupy

Pre stanovenie následných časových odstupov pre jednotlivé dopravné prúdy sa vyhodnocovali len situácie, kde dve a viac vozidiel z podradeného dopravného prúdu využili jeden veľký časový odstup v nadradených prúdoch a za sebou sa zaradili do zvoleného smeru. V zmysle metodiky merania boli uvažované len vozidlá z podradeného prúdu stojace za sebou v kolóne. Zaznamenávané boli časy odchodov vozidiel z podradených dopravných prúdov zo stop čiary, resp. hranice križovatky. Rozdielom týchto časov sa vypočítal následný časový odstup medzi dvomi vozidlami z podradeného prúdu.

Pre potreby získania vstupných údajov na výpočet následných časových odstupov sa vyhodnocovali kamerové záznamy samostatne, nezávisle od extrakcie vstupných dát pre stanovenie kritických časových odstupov. Vznikol tak súbor následných časových odstupov pre jednotlivé dopravné prúdy. Z každého súboru následných odstupov sa vypočítal **priemerný následný časový odstup t_f** . Takto stanovené priemerné následné odstupy boli vypočítané pre každý podradený dopravný prúd a pre každú križovatku samostatne

Vypočítané hodnoty priemerných následných časových odstupov sú uvedené v Tab. 8.30 pre priesečné križovatky, v Tab. 8.31 a Tab. 8.32 pre stykové križovatky alternatívy 1 a alternatívy 2. Okrem následných časových odstupov je tu uvedený aj počet vstupných údajov v súbore (n), z ktorých boli hodnoty t_f pre konkrétny dopravný prúd stanovené.

Tab. 8.30 Priemerný následný časový odstup pre priesečné križovatky - PK1, PK2 a PK3

Dopravný prúd		PK1			PK2			PK3		
Vjazd	Číslo	Dopravná značka	t_f [s]	n [-]	Dopravná značka	t_f [s]	n [-]	Dopravná značka	t_f [s]	n [-]
A	1	P8	2,57	204	P8 ¹⁾	3,20	131	P8	2,27	33
	2		2,42	21		2,73	22		2,67	130
C	7	P1	3,04	10	P1 ¹⁾	3,51	13	P2 ¹⁾	4,34	15
	8		2,92	8		3,61	11		4,52	26
	9		3,20	27		3,46	99		4,56	53
D	10	P1	2,62	6	P1	3,10	130	P2	3,15	26
	11		2,50	246		3,08	216		3,10	121
	12		2,37	50		2,83	154		2,38	20

¹⁾ Zlý rozhľad na vjazde

Tab. 8.31 Priemerný následný časový odstup pre stykové križovatky alternatívy 1 - StK 1.1 a StK1.2

Dopravný prúd		StK 1.1			StK 1.2		
Stupeň	Číslo	Dopravná značka	t_f [s]	n [-]	Dopravná značka	t_f [s]	n [-]
A	1	P8	2,77	65	P8 ¹⁾	2,96	188
D	11	P1	2,57	217	P1	2,53	203
	12		2,24	53		2,54	165

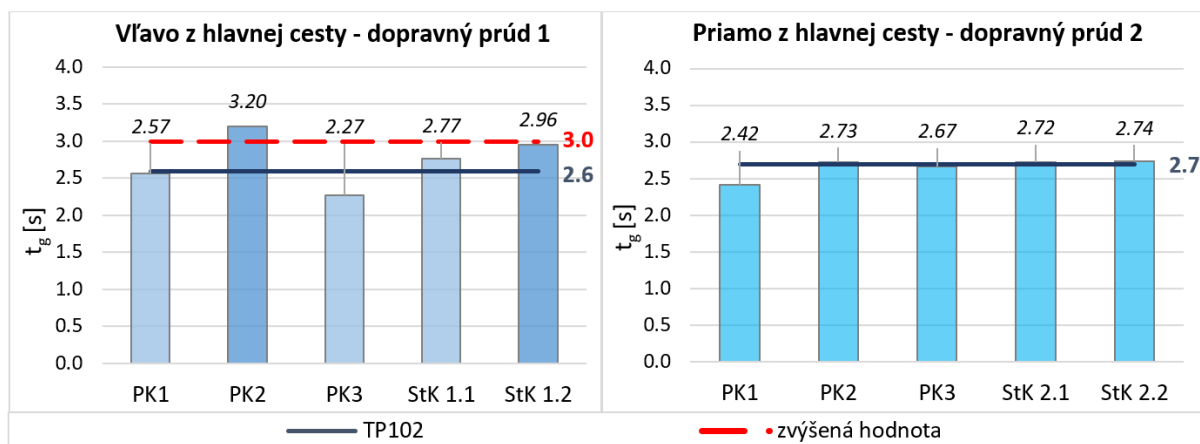
¹⁾ Zlý rozhľad na vjazde

Tab. 8.32 Priemerný následný časový odstup pre stykové križovatky alternatívy 2 - StK 2.1 a StK2.2

Dopravný prúd		StK 2.1			StK 2.2		
Stupeň	Číslo	Dopravná značka	t_f [s]	n [-]	Dopravná značka	t_f [s]	n [-]
A	2	P8	2,72	31	P8	2,74	62
C	7	P1	2,93	204	P1	3,19	88
	8		3,04	33		2,80	90

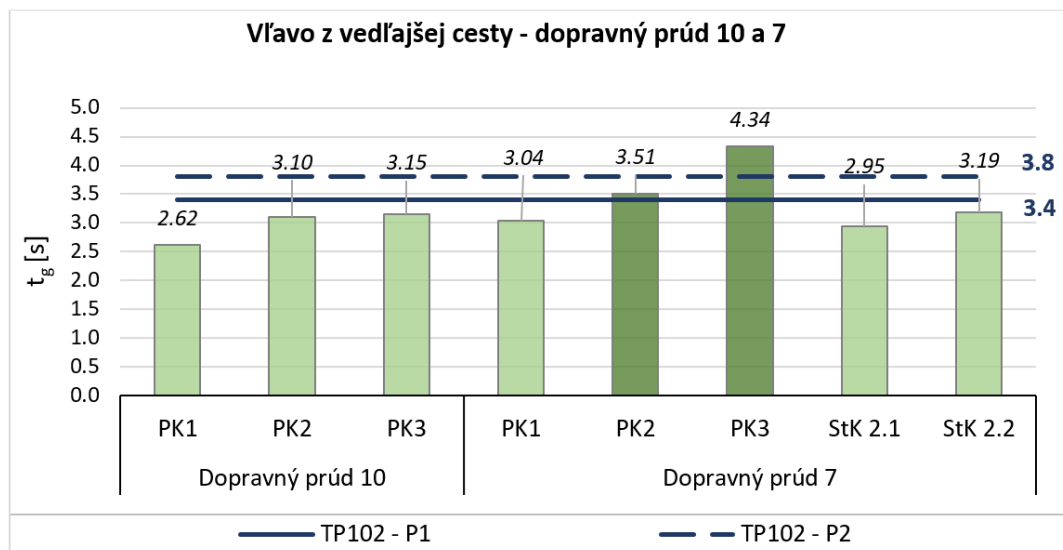
Výrazne najvyššie hodnoty priemerných časových odstupov boli namerané na vedľajšom vjazde C na križovatke PK3 (4,3 s – 4,6 s), na ktorom je zvislá dopravná značka P2 – *Stoj, daj prednosť v jazde!* a zároveň nie je zabezpečený dostatočný rozhľad. Okrem toho sa v týchto hodnotách prejavil výrazný vplyv potenciálne kolíznych prúdov, kvôli ktorým vozidlá vstupovali do križovatky veľmi opatrne. Pomerne vysoké hodnoty t_f boli tiež namerané na vedľajšom vjazde C na križovatke PK2 (3,5 s – 3,6 s), na ktorej napriek značke P1 – *Daj prednosť v jazde!* tiež nie je zabezpečený dostatočný rozhľad.

Pre lepšie porovnanie sú hodnoty priemerných následných odstupov graficky zobrazené podľa druhu dopravného prúdu (vľavo alebo priamo z hlavnej cesty; vľavo, vpravo alebo priamo z vedľajšej cesty) pre všetky križovatky na Obr. 8.20 až Obr. 8.23. V týchto grafoch sú zobrazené aj hodnoty priemerných následných časových odstupov zodpovedajúcich dopravných prúdov podľa TP 102 [33], ktoré sú platné pre štandardné križovatky s priamou hlavnou cestou mimo obce s rozlíšením hodnôt t_f podľa použitej zvislej dopravnej značky P1 – *Daj prednosť v jazde!* alebo P2 – *Stoj, daj prednosť v jazde!* na vedľajšom vjazde. Dôvodom bolo overiť, či je možné tieto hodnoty použiť ako návrhové hodnoty t_f aj pre križovatky so zalomenou hlavnou cestou.



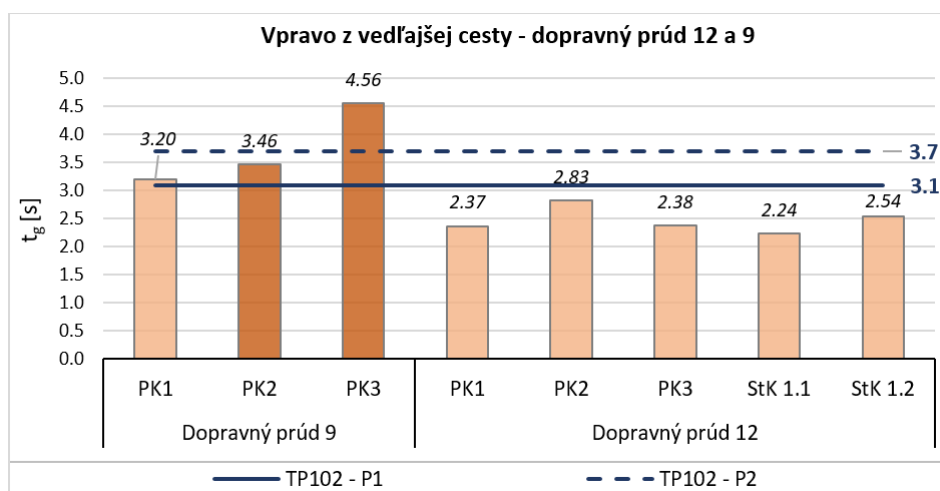
Obr. 8.20 Priemerné následné odstupy pre vľavo a priamo z hlavnej cesty

Pre **prúdy odbočujúce vľavo z hlavnej cesty (dopravné prúdy 1)** sa hodnoty následných časových odstupov pohybujú na sledovaných križovatkách v rozmedzí od 2,3 s do 3,2 s. Na križovatkách so zabezpečeným rozhľadom z hlavného vjazdu A (mimo križovatiek PK2 a StK1.2) sú to hodnoty v rozpätí 2,3 s – 2,8 s. Len v jednom prípade prekračujú hodnotu určenú v TP 102 [33] pre odbočenie vľavo z hlavnej cesty ($t_f = 2,6$ s). Na križovatkách s nedostatočným rozhľadom na hlavnom vjazde A (PK2 a StK1.2) sú však hodnoty t_f už vyššie. Pohybujú sa v rozmedzí 2,8 s – 3,2 s. V takýchto prípadoch sa odporúča uvažovať s vyššou návrhovou hodnotou ako uvádza TP 102 [33] o 0,4 s, t.j. 3,0 s (vyznačená v grafe červenou farbou). Pre **dopravné prúdy priamo** sa hodnoty t_f pohybujú na úrovni 2,7 s. Keďže návrhovou hodnotu pre tento dopravný prúd súčasne TP 102 [33] neuvádzajú, odporúča sa použiť túto mierne vyššiu hodnotu.

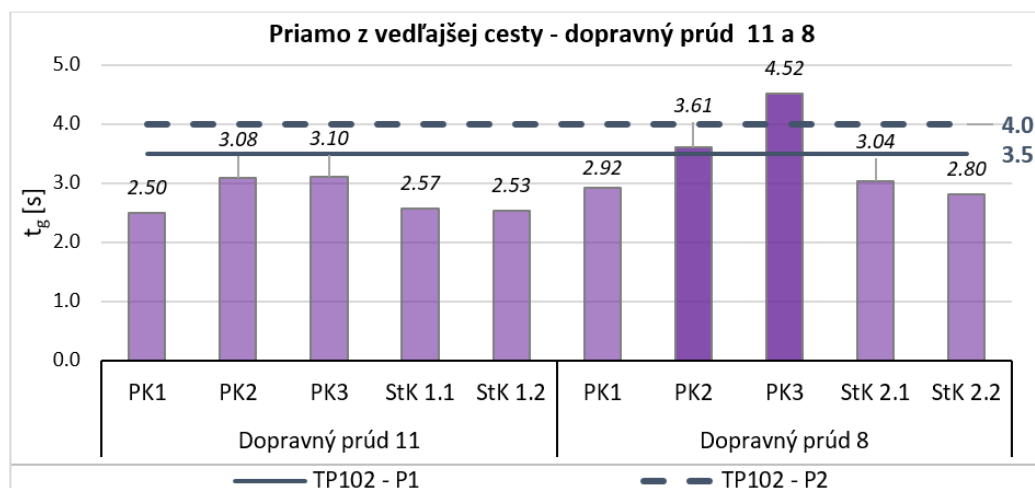


Obr. 8.21 Priemerné následné odstupy pre vľavo z vedľajšej cesty

Pre **prúdy odbočujúce vľavo z vedľajšej cesty (dopravné prúdy 10 a 7)** sa hodnoty priemerných následných odstupov pohybujú na sledovaných križovatkách v rozmedzí od 2,6 s – 4,3 s. Na križovatkách s dopravnou značkou P1 – *Daj prednosť v jazde!* na vedľajšom vjazde a na tých, kde je zabezpečený dostatočný rozhľad (prúd 10 na PK1, PK2 a PK3, prúd 7 na PK1, StK2.1 a StK2.2) sa hodnoty t_f pohybujú v rozpätí 2,6 s – 3,2 s. Neprekračujú hodnotu ($t_f = 3,4$ s) určenú v TP 102 [33] pre odbočenie vľavo z vedľajšej cesty (križovatky mimo obce, značka P1). Na križovatkách, kde na vedľajšom vjazde nie je zabezpečený dostatočný rozhľad (prúd 7 na PK2 a PK3) sú hodnoty t_f vyššie. Pohybujú sa v rozpätí 3,5 s – 4,3 s. Za takýchto podmienok sa odporúča uvažovať s vyššou návrhovou hodnotou, a to v zvýšenej hodnote 3,8 s ako uvádza TP 102 [33] pre križovatky s dopravnou značkou P2 – *Stoj, daj prednosť v jazde!* na posudzovanom vjazde.



Obr. 8.22 Priemerné následné odstupy pre vpravo z vedľajšej cesty



Obr. 8.23 Priemerné následné odstupy pre priamo z vedľajšej cesty

Rovnaká situácia ako pri odbočení vľavo z hlavnej cesty je aj pre **prúdy odbočujúce vpravo (dopravné prúdy 12 a 9)**, resp. **priamy smer z vedľajšej cesty (dopravné prúdy 11 a 8)**. Hodnoty priemerných následných odstupov sa pohybujú na úrovni, ktorá je nižšia ako hodnoty určené v TP 102 [33], t.j. $t_f = 3,1$ s pre odbočenie vpravo z vedľajšej cesty a $t_f = 3,5$ s pre odbočenie vpravo z vedľajšej cesty (križovatky mimo obce, značka P1). Na križovatkách, kde na vedľajšom vjazde nie je zabezpečený dostatočný rozhľad (prúd 9, resp. prúd 8 na PK2 a PK3) sú hodnoty t_f vyššie. V takýchto prípadoch sa odporúča uvažovať s vyššou návrhovou hodnotou, a to v zvýšenej hodnote 3,7 s pre odbočenie vpravo, resp. 4,0 s pre priamy smer ako uvádza TP 102 [33] pre križovatky s dopravnou značkou P2 – Stoj, daj prednosť v jazde! na posudzovanom vjazde.

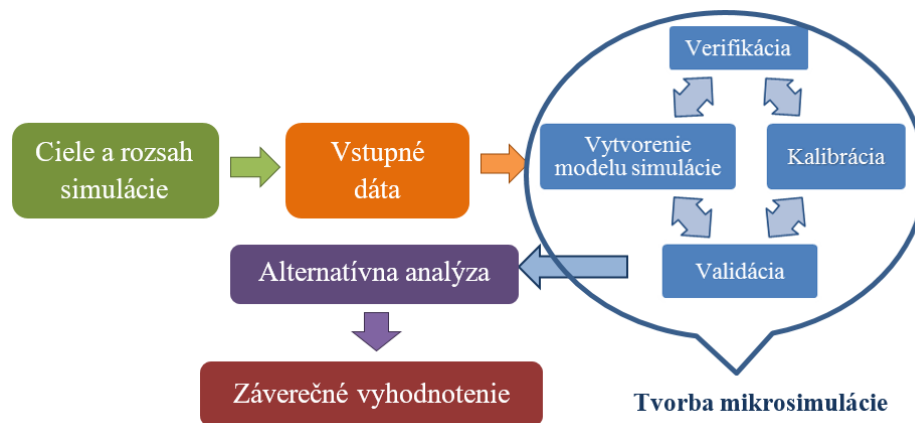
Hodnoty priemerných následných časových odstupov jednotlivých druhov dopravných prúdov zistených na sledovaných križovatkách so zalomenou hlavnou cestou sú vo väčšine prípadov nižšie ako návrhové hodnoty v TP 102 [33] pre štandardné križovatky mimo obce s dopravnou značkou P1 – Daj prednosť v jazde! Tieto hodnoty vyhovujú aj pre vedľajšie vjazdy, na ktorých je dopravná značka P2 – Stoj, daj prednosť v jazde! Nie je to však v prípade, ak je na vjazde zlý rozhľad, v takom prípade je vhodné použiť zvýšené hodnoty t_f . Návrhové hodnoty sú uvedené v Tab. 10.7 v kapitole 10.3.

9. MIKROSIMULAČNÉ MODELY KRIŽOVATIEK

V rámci riešenia rozborovej úlohy sa pre mikrosimulačné modelovanie použil programom PTV Vissim, ktorý je súčasťou balíka PTV Vision Traffic Suite. Vytvorili sa mikroskopické dopravné modely všetkých sledovaných križovatiek. Nastavenie simulácií na reálne podmienky bolo na základe výsledkov z podrobných dopravných prieskumov.

9.1 Vytváranie mikrosimulácií vybraných križovatiek

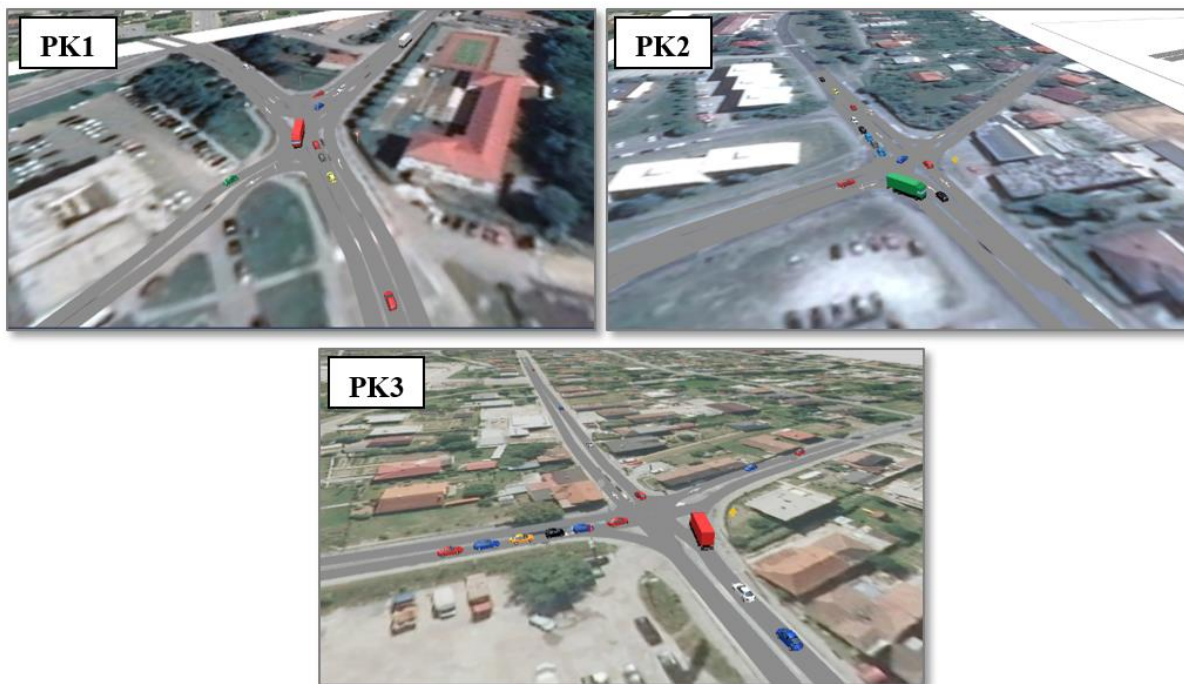
Pri tvorbe a nastavení mikrosimulácií predmetných križovatiek sa postupovalo podľa britského manuálu naznačeného na Obr. 9.1 s lokálnymi modifikáciami. Tento postup je vo veľkej miere používaný aj v Nemecku, Dánsku, Švédsku a USA [12], [24], [27]. Nastavenie mikrosimulácie je pomerne náročné a jej presnosť reflektuje množstvo a kvalitu údajov získaných z dopravných prieskumov, ako aj samotný proces vytvárania, kalibrácie a validácie mikrosimulačného modelu.



Obr. 9.1 Pracovný postup pri vytváraní mikrosimulácie [27]

Jednotlivé modely križovatiek sa v programe PTV Vissim vykresľovali podľa mapových podkladov. Každý jazdný pruh na vstupe do križovatky bol zadefinovaný samostatným líniovým segmentom. Modely boli zaťažované dopravou dynamicky, zadefinované boli zdroj-cieľ matice dopravného zaťaženia. V rámci verifikácie modelov boli nastavené všetky objekty mikrosimulácie (napr. prednosť v jazde, spomalenie v ploche križovatke, odstupy apod.) tak, aby v procese kalibrácie bolo vylúčené nereálne správanie sa modelu (napr. prekrývanie vozidiel, kolízne situácie, príliš veľké rýchlosti a pod.). Samotná kalibrácia modelov (spresňovanie) si vyžadovala najviac pozornosti. Parametre modelov sa upravovali tak, aby sa výstupy čo najviac približovali k pozorovanému reálnemu stavu. Podkladmi v tomto procese boli údaje z prieskumov (smerovanie intenzít dopravy, skladba dopravných prúdov, rýchlosti vozidiel, odstupy a pod.). Výsledky skalibrovaných modelov boli overované v rámci validácie porovnaním s reálnymi údajmi. Pre porovnanie boli použité priemerné časy čakania reprezentujúce výkonnosť križovatky. Získané boli z detektorov v jednotlivých vstupných pruhoch do križovatky ako priemer z viacnásobného spustenia simulácií pri stochastickom variovaní časov príchodu vozidiel do križovatky (pri nemennej intenzite dopravných prúdov). Údaje pre kalibráciu a validáciu boli vzájomne nezávislé. V rozborovej úlohe sa kalibrovali mikrosimulácie na vybranú hodinu z prieskumu, a pri validácii sa pri zadaní inej hodiny v rámci prieskumu porovnala správnosť nastavenia simulácie. Keďže sa uvádzané základné kroky tvorby modelu vzájomne ovplyvňujú, vykonávali sa súbežne.

Mikrosimulačné modely jednotlivých križovatiek vytvorené v programe PTV Vissim sú zobrazené na nasledujúcich obrázkoch Obr. 9.2 až Obr. 9.4.



Obr. 9.2 Mikrosimulačné modely priesečných križovatiek v PTV Vissim



Obr. 9.3 Mikrosimulačné modely stykových križovatiek alternatívy 1 v PTV Vissim

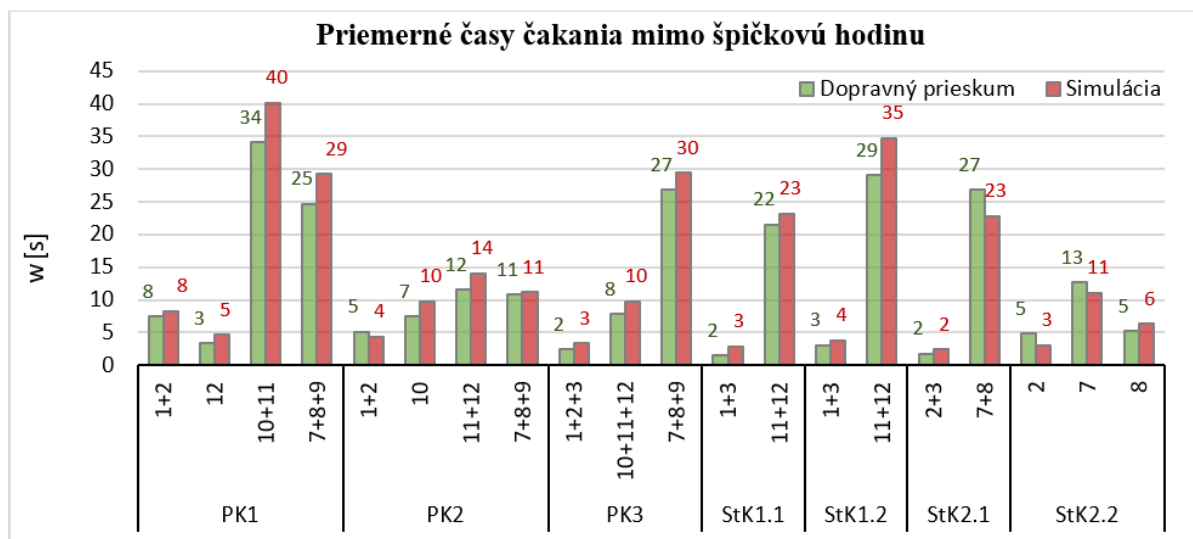


Obr. 9.4 Mikrosimulačné modely stykových križovatiek alternatívy 2 v PTV Vissim

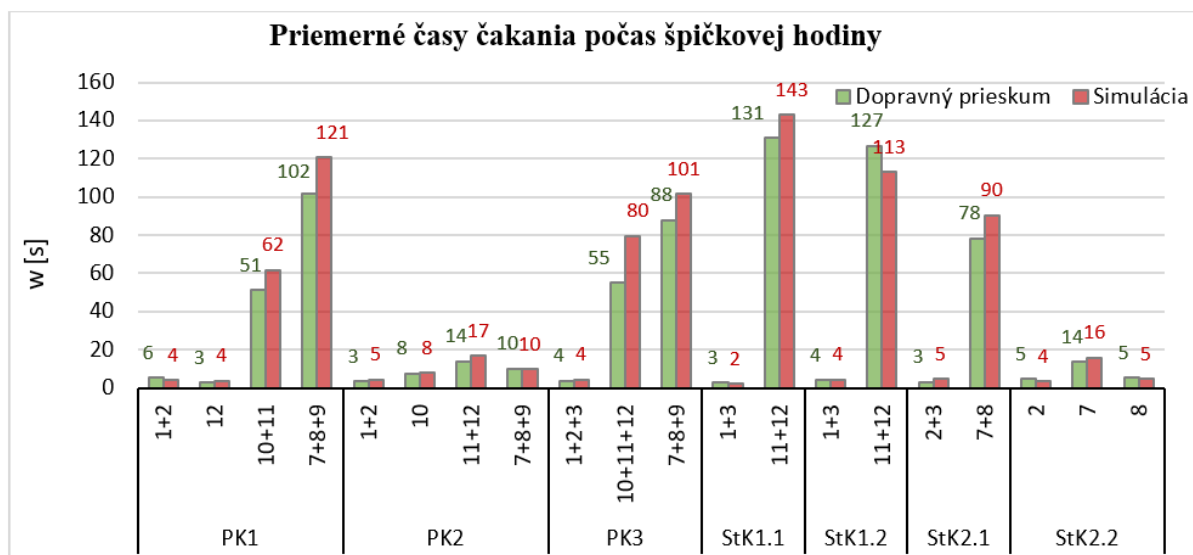
Keďže hodnotiacim kritériom kvality dopravy na križovatke je priemerný čas čakania, jeho hodnoty pre jednotlivé dopravné prúdy a/alebo zmiešané prúdy na jednotlivých pruhoch na vjazdoch do križovatiek získané z vytvorených mikrosimulácií boli porovnané s reálnymi hodnotami z prieskumov.

Stanovené boli pre dopravné zaťaženie v čase mimo špičkovej hodiny (tabuľky v prílohe 10), kedy križovatky vyhovovali dopravnému zaťaženiu a v čase vybranej špičkovej hodiny (Tab. 8.6 až Tab. 8.19), kedy väčšina križovatiek bola na hranici svojej výkonnosti alebo už bola táto hranica prekročená. Výsledky sú zobrazené graficky na Obr. 9.5 a Obr. 9.6.

Rozdiely medzi hodnotami časov odstupov z mikrosimulácie (w_M) a dopravného prieskumu (w_{DP}) sú vyčíslené v Tab. 9.1. Možno konštatovať, že vytvorené simulačné modely veľmi dobre odzrkadľujú reálne správanie sa na križovatkách.



Obr. 9.5 Priemerný čas čakania mimo špičkovú hodinu – mikrosimulácia verzus reálne dáta



Obr. 9.6 Priemerný čas čakania počas špičkovej hodiny – mikrosimulácia verzus reálne dáta

Tab. 9.1 Porovnanie priemerného času čakania – mikrosimulácia a dopravný prieskum

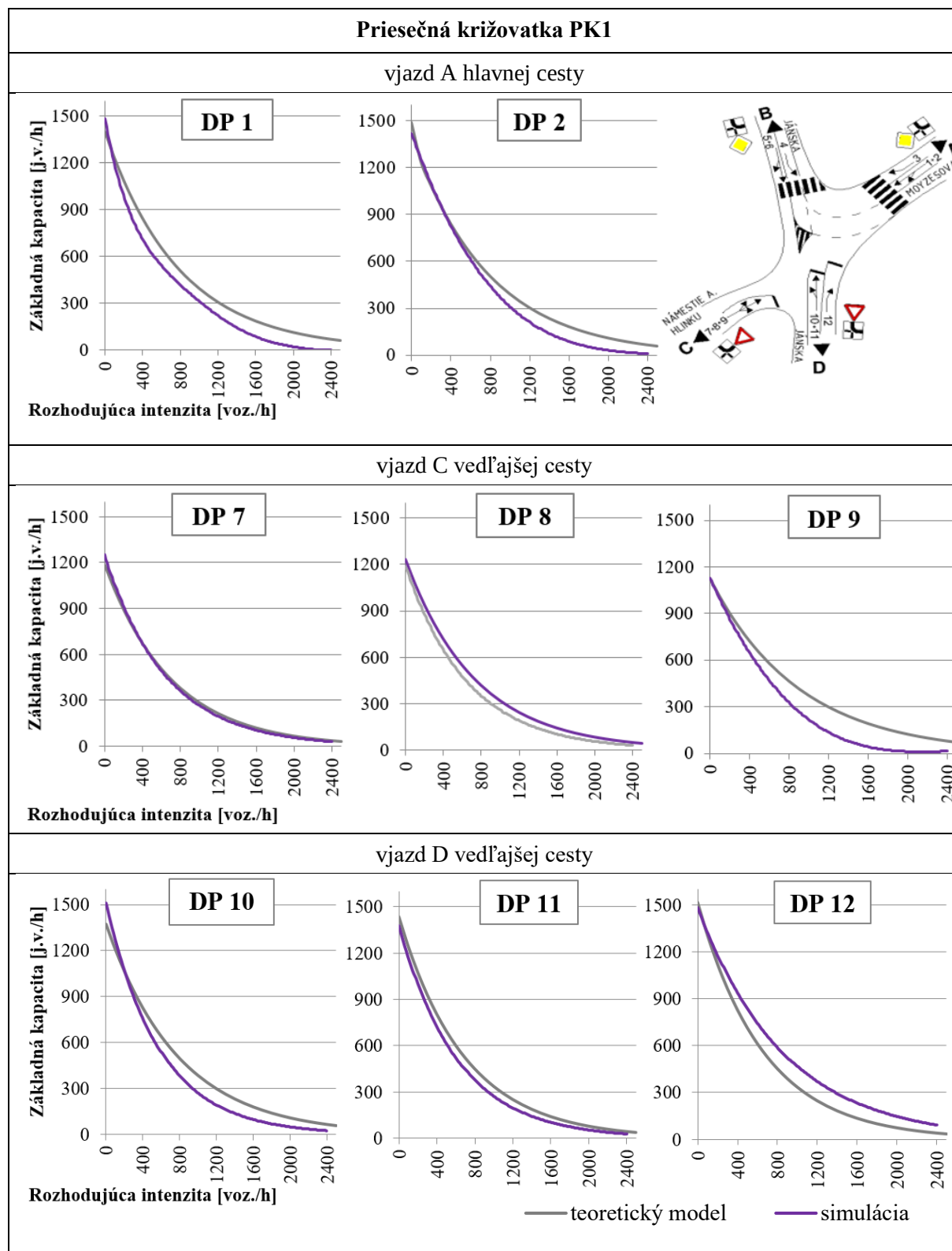
Križovatka	Dopravný prúd	Mimo špičkovej hodiny			Počas špičkovej hodiny		
		WDP [s]	WM [s]	WM-WDP [s]	WDP [s]	WM [s]	WM-WDP [s]
PK1	1+2	7,5	8,3	0,8	5,6	4,1	-1,5
	12	3,3	4,7	1,4	2,7	3,9	1,2
	10+11	34,1	40,2	6,1	51,2	61,9	10,7
	7+8+9	24,7	29,3	4,6	101,5	120,8	19,3
PK2	1+2	5,1	4,4	-0,7	3,4	4,5	1,1
	10	7,4	9,8	2,4	7,6	8,1	0,5
	11+12	11,6	14,1	2,5	13,9	16,7	2,8
	7+8+9	10,8	11,2	0,4	10,2	9,8	-0,4
PK3	1+2+3	2,4	3,4	1,0	3,9	4,4	0,5
	10+11+12	7,8	9,8	2,0	54,9	79,6	24,7
	7+8+9	26,8	29,5	2,7	87,8	101,4	13,6
StK1.1	1+3	1,5	2,9	1,4	2,9	2,1	-0,8
	11+12	21,5	23,2	1,7	131	143,0	12,0
StK1.2	1+3	3,1	3,8	0,7	4,2	4,4	0,2
	11+12	29,1	34,8	5,7	126,7	113	-13,7
StK2.1	2+3	1,8	2,4	0,6	3,1	4,6	1,5
	7+8	26,8	22,8	-4,0	78,4	90,4	12,0
StK2.2	2	4,8	3,1	-1,7	4,8	3,6	-1,2
	7	12,7	11,1	-1,6	13,8	16,0	2,2
	8	5,2	6,3	1,1	5,3	4,7	-0,6

9.2 Základná kapacita podradených dopravných prúdov

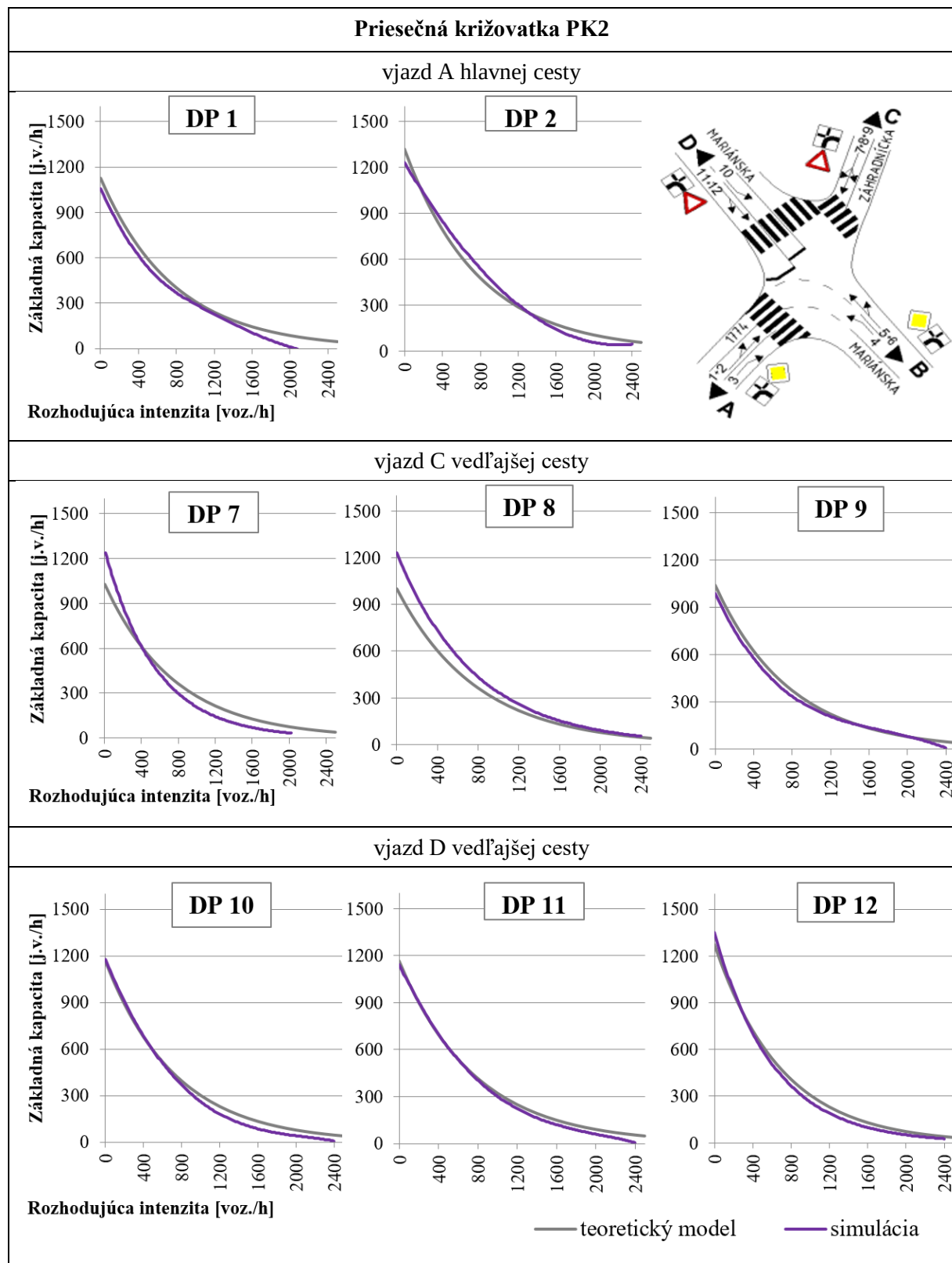
Základná kapacita dopravného prúdu (t.j. maximálny počet vozidiel z príslušného podradeného prúdu, ktoré môžu prejsť križovatkou za predpokladu, že majú k dispozícii samostatný jazdný pruh a nie sú ovplyvnené vzduťm v nadradených prúdoch) je prvým, určujúcim krokom pri teoretickom výpočte kapacity dopravných prúdov. Overenie jej hodnoty získanej výpočtom podľa teoretického modelu však prakticky nie je možné na základe reálnych dát – v reálnych podmienkach ju nie je možné odmerať. Odmerať je možné len intenzitu dopravného prúdu na samostatnom jazdnom pruhu, resp. intenzitu zmiešaného dopravného prúdu na združenom jazdnom pruhu.

Pre overenie funkčnosti teoretického modelu výpočtu základnej kapacity boli preto použité vytvorené mikrosimulačné modely križovatiek. V modeloch sa postupne zvyšovala intenzita nadradených prúdov (rozhodujúca intenzita dopravy) a zisťoval sa maximálny počet vozidiel, ktorý dokáže z daného podradeného dopravného prúdu pri nastavených podmienkach simulácie prejsť križovatkou. Základná kapacita bola zisťovaná pre každý podradený prúd. Porovnaná bola so základnou kapacitou vypočítanou podľa teoretického modelu s použitím príslušného kritického a následného časového odstavu stanoveného z dopravného prieskumu na konkrétnej križovatke (údaje z tabuliek Tab. 8.27 až Tab. 8.32). Výsledky porovnania sú uvedené v grafickej závislosti základnej kapacity od rozhodujúcej intenzity pre všetky križovatky na obrázkoch Obr. 9.7 až Obr. 9.11.

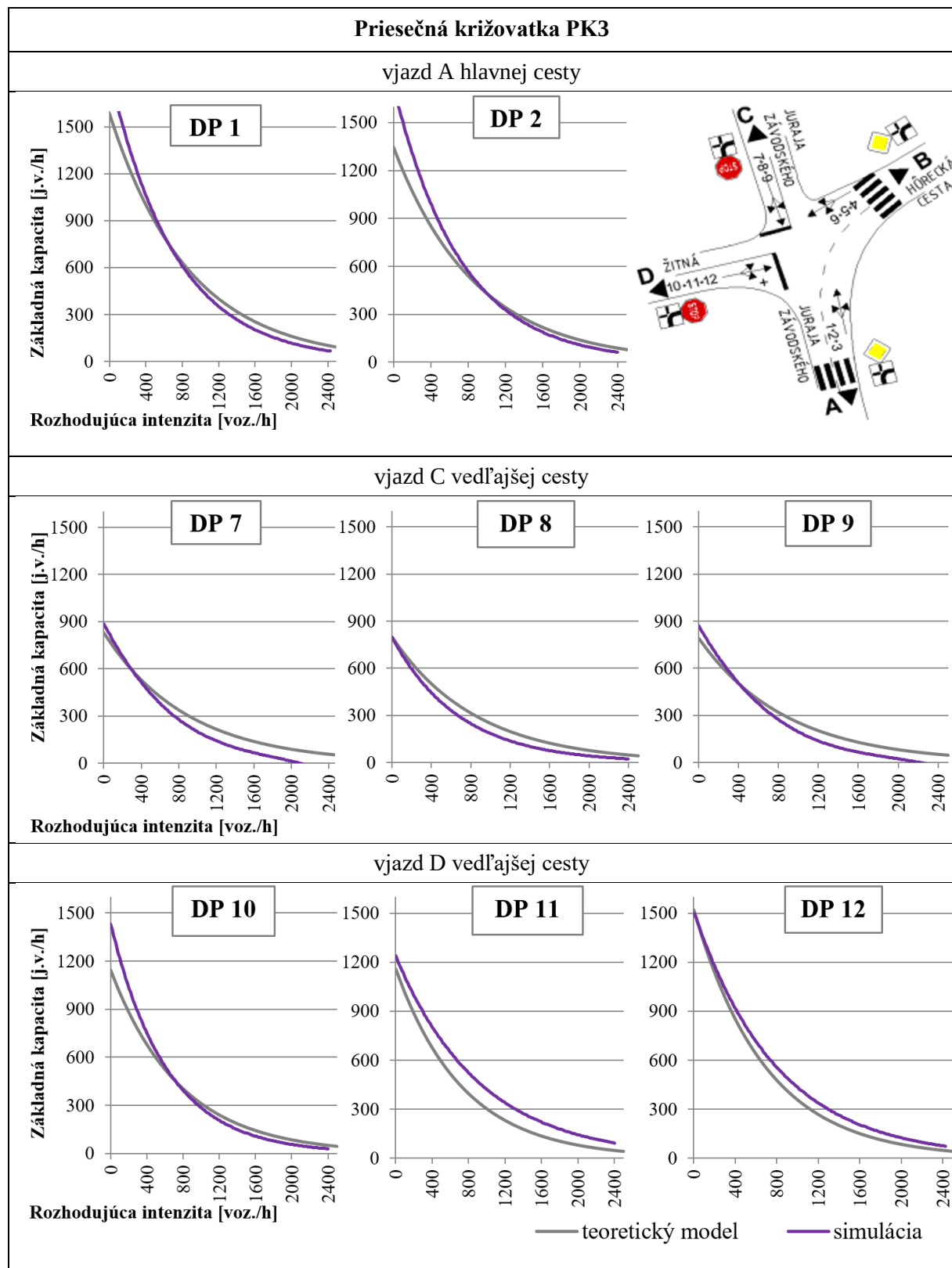
Hodnoty základnej kapacity vypočítané na základe teoretického modelu so vstupnými hodnotami časových odstupov z dopravných prieskumov veľmi dobre korelujú s hodnotami zistenými zo simulačných modelov. Možno teda konštatovať, že základná kapacita dopravných prúdov vypočítaná podľa teoretického modelu podľa vzťahu (6.10) dokáže v dostatočnej miere vystihnúť reálne správanie sa vodičov na sledovaných križovatkách.



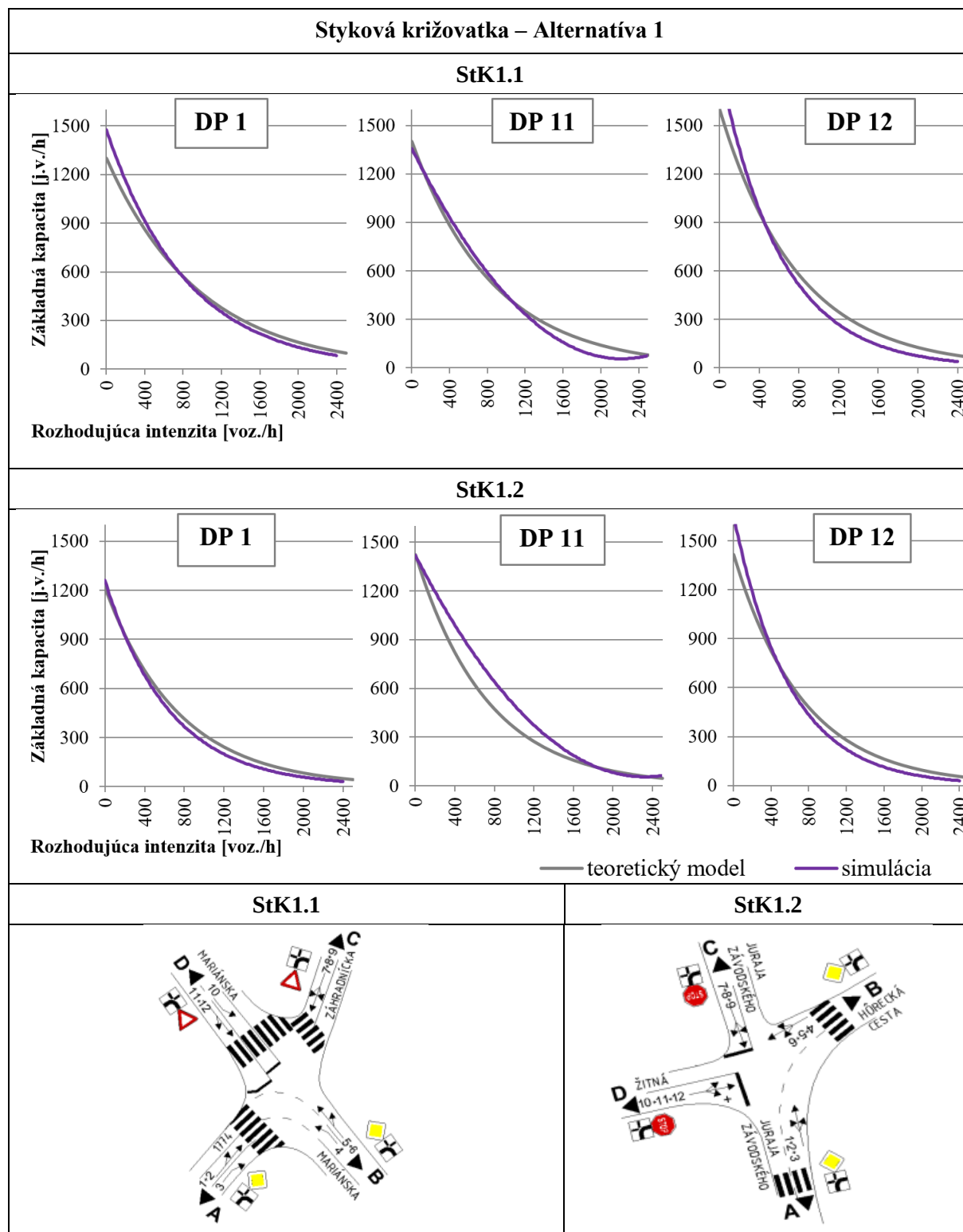
Obr. 9.7 Základná kapacita dopravných prúdov na križovatke PK1: simulácia verzus teoretický výpočet s časovými odstupmi z prieskumov



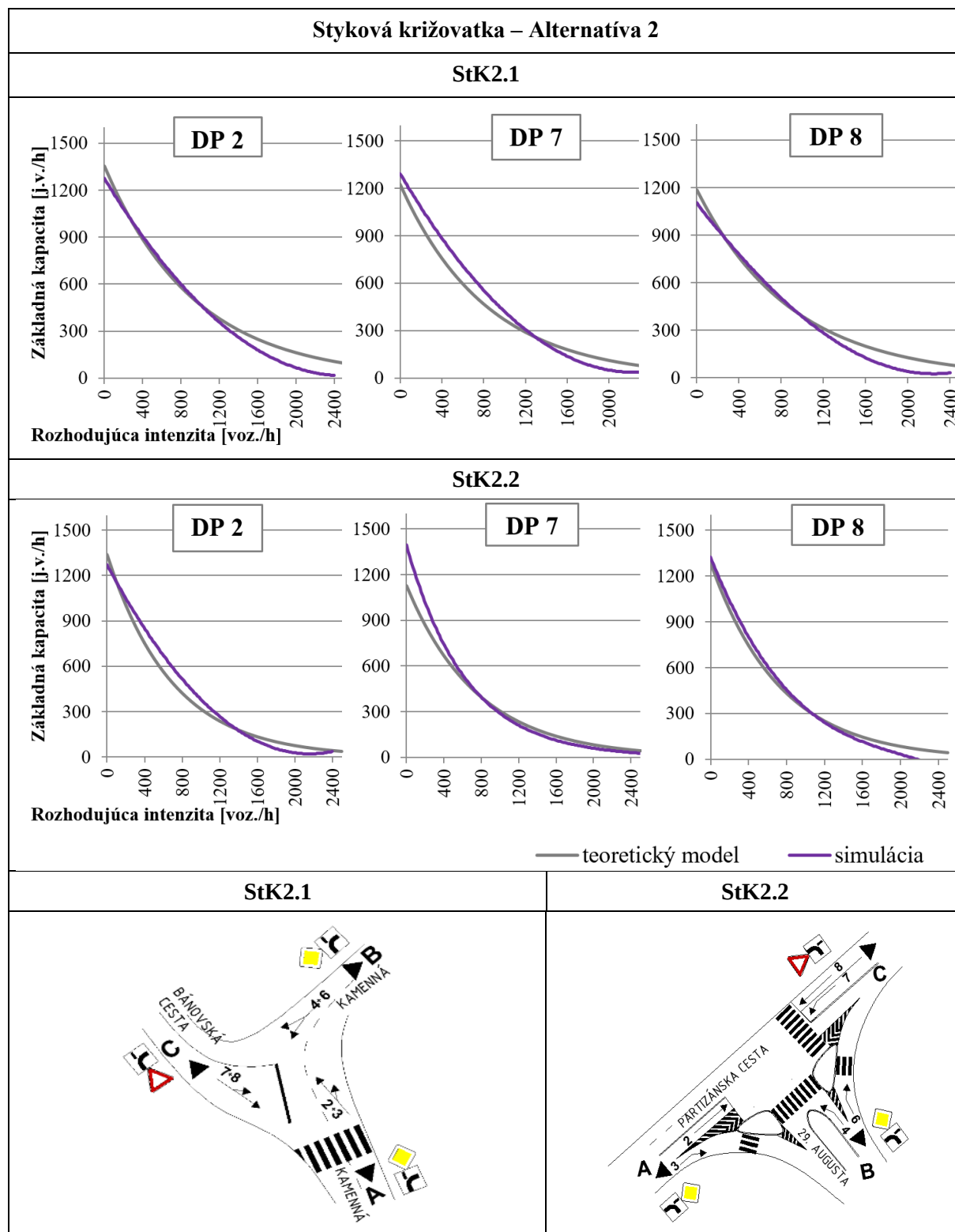
Obr. 9.8 Základná kapacita dopravných prúdov na križovatke PK2: simulácia versus teoretický výpočet s časovými odstupmi z prieskumov



Obr. 9.9 Základná kapacita dopravných prúdov na križovatke PK3: simulácia verzus teoretický výpočet s časovými odstupmi z prieskumov



Obr. 9.10 Základná kapacita dopravných prúdov na križovatkách StK1.1 a StK1.2: simulácia verzus teoretický výpočet s časovými odstupmi z prieskumov



Obr. 9.11 Základná kapacita dopravných prúdov na križovatkách StK2.1 a StK2.2: simulácia verzus teoretický výpočet s časovými odstupmi z prieskumov

10. NÁVRH METODIKY PRE POSÚDENIE KAPACITY NERIADENÝCH KRIŽOVATIEK SO ZALOMENOU HLAVNOU CESTOU

Postup výpočtu kapacity podradených dopravných prúdov je navrhnutý pre základné tvary križovatiek (stykové a priesečné) so zalomenou hlavnou cestou určenou pomocou zvislých dopravných značiek. Postup slúži na zdokumentovanie, že križovatka prepustí očakávané dopravné zaťaženie s požadovanou kvalitou pohybu.

Výpočtové postupy sú zostavené len pre križovatky vytvorené z dvoch komunikácií s jedným jazdným pásom navrhnutými v zmysle STN 73 6102. Zohľadňujú základné geometrické a stavebné usporiadanie vjazdov z hlavnej a vedľajšej cesty vyskytujúce sa v bežnej praxi – samostatný odbočovací pruh vpravo alebo vľavo v smere hlavnej cesty, samostatný odbočovací pruh vpravo alebo vľavo na vedľajšom vjazde, rozšírenie vedľajšieho vjazdu, združené pruhy na hlavných a vedľajších vjazdoch.

Navrhovaná metodika je platná pre priesečné a stykové križovatky v obci a pre stykové križovatky mimo obce s polomerom smerového oblúka hlavnej cesty do 25 m. Pre stykové križovatky s väčším polomerom a kolmým zaústením vedľajšej cesty na hlavnú cestu v oblúku sa odporúča použiť výpočtové postupy platné pre štandardné neriadené križovatky v zmysle TP102 [33] (t.j. hlavnú cestu v oblúku uvažovať ako hlavnú cestu priamu).

Výpočtové postupy nezohľadňujú vplyv chodcov a svetelne riadených križovatiek v blízkosti posudzovanej križovatky.

10.1 Určenie stupňov prednosti v jazde dopravných prúdov

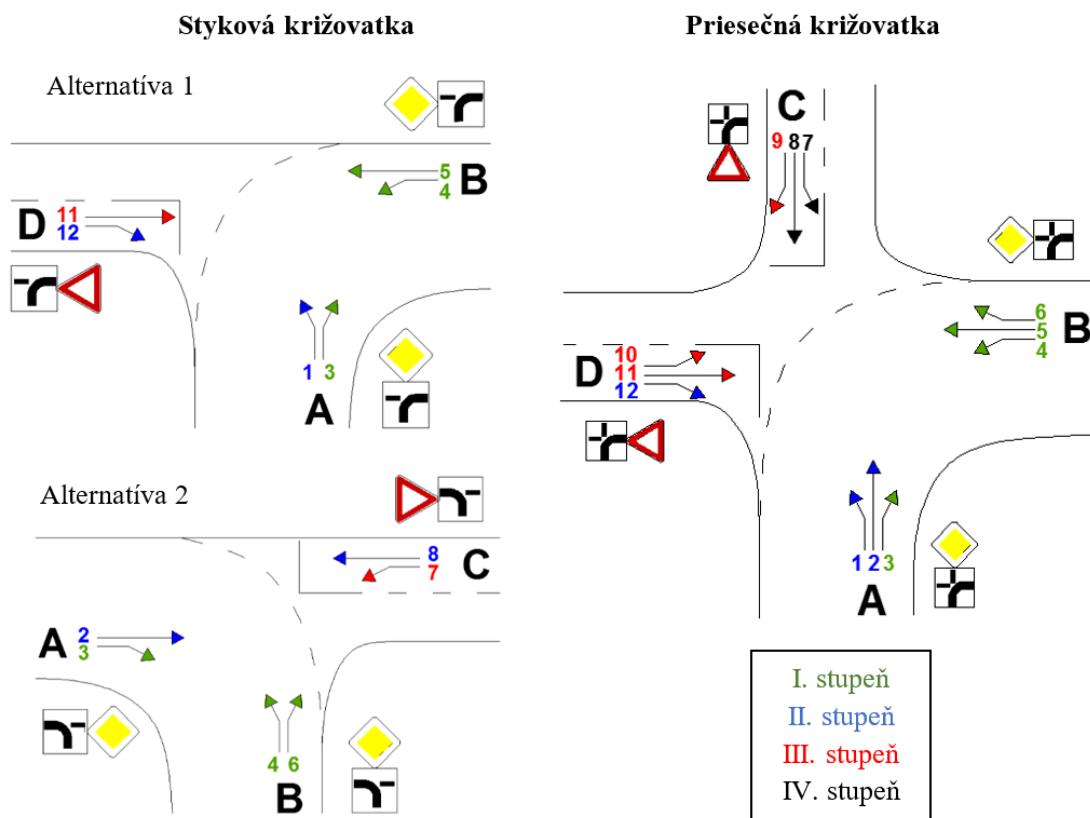
V závislosti od povinnosti dávať prednosť v križovatke sú dopravné prúdy v priesečných a stykových križovatkách so zalomenou hlavnou cestou rozdelené do štyroch stupňov (pozri Obr. 10.1):

- **I. stupeň** - nadradené prúdy,
- **II. stupeň** - raz podradené prúdy prúdom I. stupňa,
- **III. stupeň** - dvojnásobne podradené prúdy prúdom I. a II. stupňa,
- **IV. stupeň** - trojnásobne podradené prúdy prúdom I., II. a III. stupňa

Pri stykových križovatkách rozoznávame dve alternatívy vedenia zalomenej hlavnej cesty a tomu zodpovedajúce rozdelenie dopravných prúdov do troch stupňov. Prvá alternatíva (Alt. 1) predstavuje vedenie zalomenej hlavnej cesty vpravo a druhá alternatíva (Alt. 2) vľavo podľa Obr. 10.1. Rozdelenie dopravných prúdov do jednotlivých stupňov, zodpovedajúce grafickému znázorneniu na Obr. 10.1, je uvedené v Tab. 10.1 pre stykovú križovatku Alt. 1, v Tab. 10.2 pre stykovú križovatku Alt. 2 a v Tab. 10.3 pre priesečnú križovatku. Zároveň sú tu uvedené nadradené dopravné prúdy, ktorým vozidlá z podradených prúdov musia dať v zmysle pravidiel cestnej premávky prednosť (tzv. nadradené kolízne dopravné prúdy).

Rozdelenie dopravných prúdov do jednotlivých stupňov prednosti v jazde je výrazne odlišné ako pri štandardných neriadených križovatkách. Dôvodom je, že vjazdy z hlavnej cesty, rovnako ako aj vjazdy z vedľajšej cesty, nie sú umiestnené oproti sebe, ale vedľa seba. Takéto umiestnenie hlavných a vedľajších vjazdov znamená nesymetrické zaradenie dopravných prúdov do jednotlivých stupňov prednosti v jazde. Zatiaľ čo všetky dopravné prúdy na hlavnom vjazde B sú I. stupňa, všetky dopravné prúdy okrem odbočenia vpravo na hlavnom vjazde A sú II. stupňa. Na vedľajšom vjazde D sú všetky dopravné prúdy okrem odbočenia vpravo III. stupňa, zatiaľ čo všetky dopravné prúdy okrem odbočenia

vpravo na vedľajšom vjazde C sú IV. stupňa. Takáto nesymetrickosť sa výrazne prejaví nielen pri výpočte nadradených prúdov, ale aj pri samotných výpočtoch kapacity podradených prúdov.



Obr. 10.1 Označenie dopravných prúdov na stykovej križovatke v dvoch alternatívach a na priesečnej križovatke so zalomenou hlavnou cestou

Označenie vstupov a jednotlivých dopravných prúdov na stykových križovatkách na Obr. 10.1 vychádza z označenia vstupov a dopravných prúdov na priesečnej križovatke. Všetky výpočtové vzťahy vychádzajú z tohto označenia, a preto je nevyhnutné ho pri kapacitných výpočtoch priesečných a stykových križoviek so zalomenou hlavnou cestou zachovať.

Tab. 10.1 Stupne prednosti v jazde dopravných prúdov na stykovej križovatke - Alternatíva 1

Stupeň	Dopravný prúd	Pohyb	Nadradené prúdy
I. stupeň	3	Odbočenie vpravo z vjazdu A hlavnej cesty	-
	4	Odbočenie vľavo z vjazdu B hlavnej cesty	-
	5	Priamy smer z vjazdu B hlavnej cesty	-
II. stupeň	1	Odbočenie vľavo z vjazdu A hlavnej cesty	4, 5
	12	Odbočenie vpravo z vjazdu D vedľajšej cesty	4
III. stupeň	11	Priamy smer z vjazdu D vedľajšej cesty	1, 3, 4

Označenia a čísla sa vzťahujú na dopravné prúdy vozidiel podľa Obr. 10.1 - Styková križovatka - Alternatíva 1.

Tab. 10.2 Stupne prednosti v jazde dopravných prúdov na stykovej križovatke - Alternatíva 2

Stupeň	Dopravný prúd	Pohyb	Nadradené prúdy
I. stupeň	3	Odbočenie vpravo z vjazdu A hlavnej cesty	-
	4	Odbočenie vľavo z vjazdu B hlavnej cesty	-
	6	Odbočenie vpravo z vjazdu B hlavnej cesty	-
II. stupeň	2	Priamy smer z vjazdu A hlavnej cesty	4, 6
	8	Priamy smer z vjazdu C vedľajšej cesty	4
III. stupeň	7	Odbočenie vľavo z vjazdu C vedľajšej cesty	2, 3, 4
<i>Označenia a čísla sa vzťahujú na dopravné prúdy vozidiel podľa Obr. 10.1 - Styková križovatka - Alternatíva 2.</i>			

Tab. 10.3 Stupne prednosti v jazde dopravných prúdov na priesečnej križovatke

Stupeň	Dopravný prúd	Pohyb	Nadradené prúdy
I. stupeň	3	Odbočenie vpravo z vjazdu A hlavnej cesty	-
	4	Odbočenie vľavo z vjazdu B hlavnej cesty	-
	5	Priamy smer z vjazdu B hlavnej cesty	-
	6	Odbočenie vpravo z vjazdu B hlavnej cesty	-
II. stupeň	1	Odbočenie vľavo z vjazdu A hlavnej cesty	4, 5
	2	Priamy smer z vjazdu A hlavnej cesty	4, 5, 6
	12	Odbočenie vpravo z vjazdu D vedľajšej cesty	4
III. stupeň	9	Odbočenie vpravo z vjazdu C vedľajšej cesty	1, 5
	10	Odbočenie vľavo z vjazdu D vedľajšej cesty	1, 2, 5, 6
	11	Priamy smer z vjazdu D vedľajšej cesty	1, 2, 3, 4
IV. stupeň	7	Odbočenie vľavo z vjazdu C vedľajšej cesty	2, 3, 4, 5, 10, 11
	8	Priamy smer z vjazdu C vedľajšej cesty	1, 4, 5, 10, 11, 12
<i>Označenia a čísla sa vzťahujú na dopravné prúdy vozidiel podľa Obr. 10.1 - Priesečná križovatka.</i>			

10.2 Výpočet rozhodujúcich intenzít dopravy nadradených dopravných prúdov

Rozhodujúce dopravné zaťaženie pre podradený dopravný prúd je dané súčtom intenzít všetkých nadradených dopravných prúdov, ktorým musí dať prednosť v jazde. Priradenie intenzít nadradených prúdov podradeným je prehľadne uvedené v Tab. 10.4 a Tab. 10.5 pre obe alternatívy stykovej križovatky a v Tab. 10.6 pre priesečnú križovatku.

Napriek tomu, že medzi niektorými nadradenými a podradenými dopravnými prúdmi nevznikajú body stretu, vozidlá z nadradeného dopravného prúdu, ak nemajú samostatný pruh, ovplyvňujú vstupy podradených prúdov (napr. dopravný prúd 12 ovplyvňuje vstupy z podradeného prúdu 7). Veľkosť vplyvu sa nedá všeobecne kvantifikovať. Odporúča sa teda, v analógii s platnými TP 102 [33] vychádzajúcimi z HBS [18], pripočítať polovičnú hodnotu intenzity dopravy tohto nadradeného prúdu k intenzite nadradených prúdov s prednosťou v jazde (pozri poznámku 1 a 2 v Tab. 10.4 až Tab. 10.6).

Vplyvy uvádzaných dopravných prúdov, ktoré sa zohľadnili pripočítaním polovičnej hodnoty intenzity dopravy, boli identifikované z vykonaných dopravných prieskumov (kapitola 8.5.).

Pri výpočte rozhodujúceho zaťaženia sa neuvažuje so skladbou dopravného prúdu nadradených prúdov, preto sa vyjadruje počtom vozidiel za hodinu [voz/h].

Tab. 10.4 Rozhodujúca intenzita dopravy nadradeného prúdu q_p na stykovej križovatke Alt. 1

Podradený dopravný prúd	Číslo DP	Rozhodujúca intenzita dopravy nadradeného prúdu q_p [voz/h]
Odbočenie vľavo z hlavnej cesty	1	$q_4 + q_5$
Odbočenie vpravo z vedľajšej cesty	12	$q_4 + 0,5 \cdot q_5^{1)}$
Priamy smer z vedľajšej cesty	11	$q_1 + q_3 + q_4 + 0,5 \cdot q_5^{1)}$
Označenia a čísla sa vzťahujú na dopravné prúdy vozidiel podľa Obr. 10.1 - Styková križovatka - Alternatíva 1. ¹⁾ ak má dopravný prúd 5 samostatný jazdný pruh, tak $q_5 = 0$		

Tab. 10.5 Rozhodujúca intenzita dopravy nadradeného prúdu q_p na stykovej križovatke Alt. 2

Podradený dopravný prúd	Číslo DP	Rozhodujúca intenzita dopravy nadradeného prúdu q_p [voz/h]
Priamy smer z hlavnej cesty	2	$q_4 + q_6$
Priamy smer z vedľajšej cesty	8	$q_4 + 0,5 \cdot q_6^{1)}$
Odbočenie vľavo z vedľajšej cesty	7	$q_2 + q_3 + q_4 + 0,5 \cdot q_6^{1)}$
Označenia a čísla sa vzťahujú na dopravné prúdy vozidiel podľa Obr. 10.1 - Styková križovatka - Alternatíva 2. ¹⁾ ak má dopravný prúd 6 samostatný jazdný pruh, tak $q_6 = 0$		

Tab. 10.6 Rozhodujúca intenzita dopravy nadradeného prúdu q_p na priesečnej križovatke

Podradený dopravný prúd	Číslo DP	Rozhodujúca intenzita dopravy nadradeného prúdu q_p [voz/h]
Odbočenie vľavo z hlavnej cesty	1	$q_4 + q_5 + 0,5 \cdot q_6^{1)}$
Priamy smer z hlavnej cesty	2	$q_4 + q_5 + q_6$
Odbočenie vpravo z vedľajšej cesty	9	$q_1 + q_5 + 0,5 \cdot q_2^{1)}) + 0,5 \cdot q_4^{1)}) + 0,5 \cdot q_6^{1)}$
	12	$q_4 + 0,5 \cdot (q_5 + q_6)^{3)}$
Priamy smer z vedľajšej cesty	8	$q_1 + q_4 + q_5 + q_{10} + q_{11} + q_{12} + 0,5 \cdot q_6^{1)}$
	11	$q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + 0,5 \cdot (q_5 + q_6)^{3)}$
Odbočenie vľavo z vedľajšej cesty	7	$q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_{10} + q_{11} + 0,5 \cdot q_1^{2)}) + 0,5 \cdot q_6^{1)}) + 0,5 \cdot q_{12}^{2)})$
	10	$q_1 + q_2 + q_5 + q_6 + 0,5 \cdot q_3^{1)}) + 0,5 \cdot q_4^{1)}$
Označenia a čísla sa vzťahujú na dopravné prúdy vozidiel podľa Obr. 10.1 - Priesečná križovatka. ¹⁾ ak má dopravný prúd 3 alebo 4 alebo 6 z prvého stupňa nadradenosti samostatný jazdný pruh, potom q_3 alebo q_4 alebo $q_6 = 0$ ²⁾ ak má dopravný prúd 1 alebo 2 alebo 12 z druhého stupňa nadradenosti samostatný jazdný pruh, potom q_1 alebo q_2 alebo $q_{12} = 0$ ³⁾ ak má dopravný prúd 4 samostatný jazdný pruh, tak $(q_5 + q_6) = 0$		

10.3 Výpočet základnej kapacity

Základná kapacita dopravných prúdov I. stupňa sa rovná kapacite voľne sa pohybujúcich dopravných prúdov. Všeobecne sa udáva hodnotou 1800 j.v./h/pruh. Kapacita dopravných prúdov II.

stupňa sa rovná základnej kapacite dopravného prúdu. Kapacita dopravných prúdov III. a IV. stupňa sa určuje zo základnej kapacity znížením podľa podmienok dávania prednosti v jazde.

Základná kapacita G je maximálny počet vozidiel z podradeného prúdu, ktoré môžu prejsť križovatkou počas časových odstupov medzi vozidlami v nadradených dopravných prúdoch. Má význam početnej veličiny, lebo nezohľadňuje skutočnosť, že aj v nadradených dopravných prúdoch môže vzniknúť kolóna, ktorá zapríčiní neprejazdnosť križovatky čakajúcim vozidlám posudzovaného prúdu.

Základná kapacita dopravných prúdov je závislá od rozhodujúceho zaťaženia $q_{p,i}$ nadradených prúdov a hodnôt časových odstupov – kritického časového odstupu a priemerného následného časového odstupu. Vypočíta sa podľa vzťahu (10.1):

$$G = \frac{3600}{t_f} \cdot e^{-\frac{q_p}{3600} \cdot \left(t_g - \frac{t_f}{2}\right)} \quad (10.1)$$

kde:

G - základná kapacita dopravného prúdu [j.v./h].

q_p - rozhodujúce zaťaženie hlavného prúdu (podľa Tab. 10.4, Tab. 10.5 alebo Tab. 10.6) [voz/h],

t_g - kritický časový odstup (z Tab. 10.7) [s],

t_f - priemerný následný časový odstup (z Tab. 10.7) [s].

Tab. 10.7 Návrhové hodnoty kritických a priemerných následných časových odstupov

Dopravný prúd		Kritický časový odstup t_g [s]	Priemerný následný časový odstup t_f [s]
Druh	Číslo		
Odbočenie vľavo z hlavnej cesty	1	5,5 (6,1) ^{*1}	2,6 (3,0) ^{*2}
	2		2,7
Odbočenie vpravo z vedľajšej cesty	12	6,5	3,1 (3,7) ^{*2}
	9		
Priamy smer z hlavnej cesty	11	6,5	3,5 (4,0) ^{*2}
	8		
Odbočenie vľavo z vedľajšej cesty	10	6,6	3,4 (3,8) ^{*2}
	7		

^{*1} Zvýšená hodnota t_g platí v prípade samostatného pruhu vľavo na vjazde B alebo nedostatočného rozhľadu pre posudzovaný dopravný prúd.

^{*2} Zvýšená hodnota t_f platí v prípade značky P2 v kombinácii s V5c-Priečna súvislá čiara s nápisom STOP, alebo v prípade nedostatočného rozhľadu.

Návrhové hodnoty t_g a t_f pre neriadené križovatky so zalomenou hlavnou cestou vychádzajú z výsledkov prieskumov na týchto križovatkách a návrhových hodnôt v TP 102 [33], so zohľadnením určitých špecifik. Platné sú pre priesečné a stykové križovatky v obci a pre stykové križovatky mimo obce s polomerom smerového oblúka hlavnej cesty max. 25 m.

10.4 Výpočet kapacity dopravných prúdov II. stupňa

Kapacita dopravných prúdov II. stupňa (t.j. dopravné prúdy 1 a 12 na stykovej križovatke Alt. 1, dopravné prúdy 2 a 8 na stykovej križovatke Alt. 2, dopravné prúdy 1, 2 a 12 na priesečnej križovatke) sa rovná základnej kapacite dopravného prúdu:

$$C_{II} = G_{II} \quad (10.2)$$

kde:

C_{II} - kapacita dopravného prúdu II. stupňa [j.v./h],

G_{II} - základná kapacita dopravného prúdu II. stupňa [j.v./h].

10.5 Výpočet kapacity dopravných prúdov III. a IV. stupňa

Pri výpočtoch kapacity podradených prúdov III. alebo IV. stupňa je nutné zohľadniť pravdepodobnosť nevzdutia rozhodujúcich nadradených dopravných prúdov, ktorá znižuje ich základnú kapacitu. Výpočet pravdepodobnosti nevzdutého stavu (stavu bez kolón) $p_{0,i}$ závisí od počtu ramien križovatky (styková alebo priesečná) a geometrického usporiadania vjazdu A hlavnej cesty a vjazdu D vedľajšej cesty. Výpočet kapacity podradených dopravných prúdov a zmiešaných dopravných prúdov je závislé od usporiadania konkrétneho hlavného alebo vedľajšieho vjazdu.

Navrhnuté výpočtové postupy vychádzajú zo základných teoretických postupov uvedených v kapitole 6.5 Kapacita dopravných prúdov vyšších stupňov podradenosti - III. a IV. stupeň a kapitoly 6.6 Kapacita zmiešaných prúdov na združenom jazdnom pruhu. Modifikované sú tak, aby zodpovedali nesymetrickému umiestneniu hlavných a vedľajších vjazdov vedľa seba a tým zodpovedajúcemu stupňu prednosti v jazde každého jedného dopravného prúdu.

10.5.1 Výpočet kapacity dopravných prúdov III. stupňa

Výpočet pravdepodobnosti nevzdutého stavu a kapacity jednotlivých podradených dopravných prúdov III. stupňa je ďalej uvádzaný zvlášť pre stykovú križovatku (obe alternatívy) a zvlášť pre priesečnú križovatku.

a) Styková križovatka – Alternatíva 1

Prúd III. stupňa na stykovej križovatke Alt. 1 je dopravný prúd 11 (priamy smer) z vjazdu D vedľajšej cesty. V nadradenom dopravnom prúde II. stupňa, v dopravnom prúde 1 (odbočenie vľavo z vjazdu A hlavnej cesty), môžu vzniknúť kolóny, čo ovplyvní kapacitu posudzovaného prúdu III. stupňa. **Kapacita dopravného prúdu 11** sa teda vypočíta podľa vzťahu:

$$C_{11} = G_{11} \cdot p_{0,1} \quad (10.3)$$

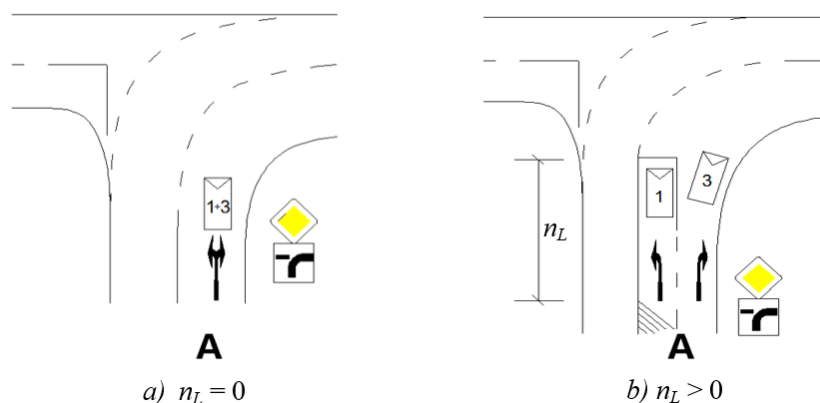
kde:

C_{11} - kapacita dopravného prúdu 11 [j.v./h],

$p_{0,1}$ - pravdepodobnosť stavu bez kolón v nadradenom prúde 1 na stykovej križovatke Alt. 1 (podľa Tab. 10.8) [-],

G_{11} - základná kapacita dopravného prúdu 11 [j.v./h].

Výpočet pravdepodobnosti $p_{0,1}$ je závislý od usporiadania na vjazde A hlavnej cesty – združený jazdný pruh alebo samostatný odbočovací pruh vpravo (pozri Obr. 10.2). Tieto výpočtové vzťahy sú v závislosti od usporiadania na vjazde A uvedené v Tab. 10.8. V prípade existencie odbočovacieho pruhu vpravo je potrebné preveriť, či je dostatočne dlhý (dĺžka pruhu n_L je väčšia ako dĺžka kolóny N_{95}), alebo je krátky (dĺžka pruhu n_L je menšia ako dĺžka kolóny N_{95}). V prípade rozšíreného vjazdu sa použije rovnaký vzťah ako pre krátky odbočovací pruh.



Obr. 10.2 Usporiadanie na vjazde A hlavnej cesty na stykovej križovatke Alt. 1
a) združený jazdný pruh; b) odbočovací pruh vpravo

Tab. 10.8 Výpočet pravdepodobnosti nevzdutého stavu $p_{0,1}$ na stykovej križovatke Alt. 1

Usporiadanie na vjazde A hlavnej cesty			Pravdepodobnosť nevzdutého stavu $p_{0,1}$	
Popis	Označenie	Schéma	[-]	
Združený jazdný pruh ($n_L = 0$)	(1+3)		$\max \left\{ 1 - \frac{g_1}{1 - g_3} \right\}_0$	(10.4)
Dostatočne dlhý odbočovací pruh vľavo ($N_{95} \leq n_L > 0$)	1 / 3		$\max \left\{ 1 - g_1 \right\}_0$	(10.5)
Krátky odbočovací pruh vľavo ($N_{95} > n_L > 0$)	1' / 3		$\max \left\{ 1 - g_1 \cdot \frac{n_L + 1}{\sqrt{1 + \frac{g_3^{n_L + 1}}{1 - g_3}}} \right\}_0$	(10.6)
kde: g_1, g_3 - stupeň saturácie dopravného prúdu 1 a 3 (podľa vzťahu (10.35)) [-], n_L - počet možných miest na zastavenie na odbočovacom pruhu vľavo [j.v.], N_{95} - dĺžka kolóny na odbočovacom pruhu vľavo (podľa vzťahu (10.41)) [j.v.].				

b) Styková križovatka – Alternatíva 2

Prúd III. stupňa na stykovej križovatke Alt. 2 je dopravný prúd 7 (odbočenie vľavo) z vjazdu C vedľajšej cesty. V nadradenom dopravnom prúde II. stupňa, v dopravnom prúde 2 (priamy smer z vjazdu A hlavnej cesty), môžu vzniknúť kolóny, čo ovplyvní kapacitu posudzovaného prúdu III. stupňa. **Kapacita dopravného prúdu 7** sa teda vypočíta podľa vzťahu:

$$C_7 = G_7 \cdot p_{0,2} \quad (10.7)$$

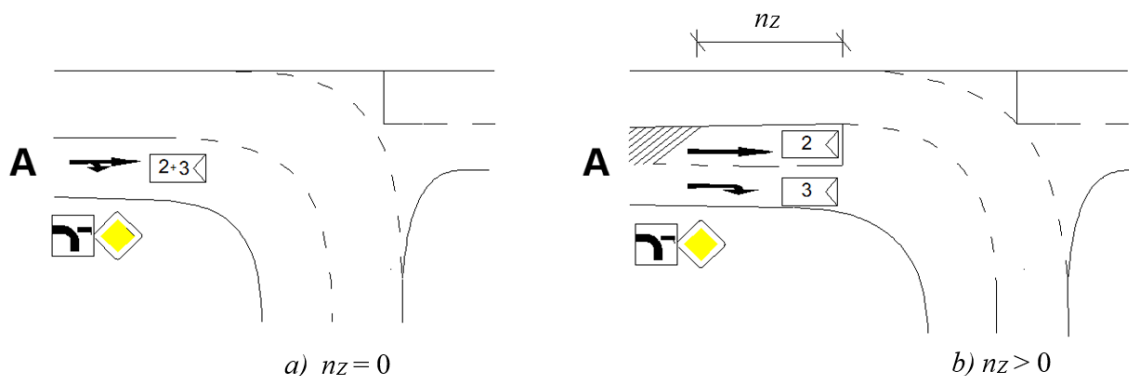
kde:

C_7 - kapacita dopravného prúdu 11 resp. 7 [j.v./h],

$p_{0,2}$ - pravdepodobnosť stavu bez kolón v nadradenom prúde 2 na stykovej križovatke Alt. 2 (podľa Tab. 10.8) [-],

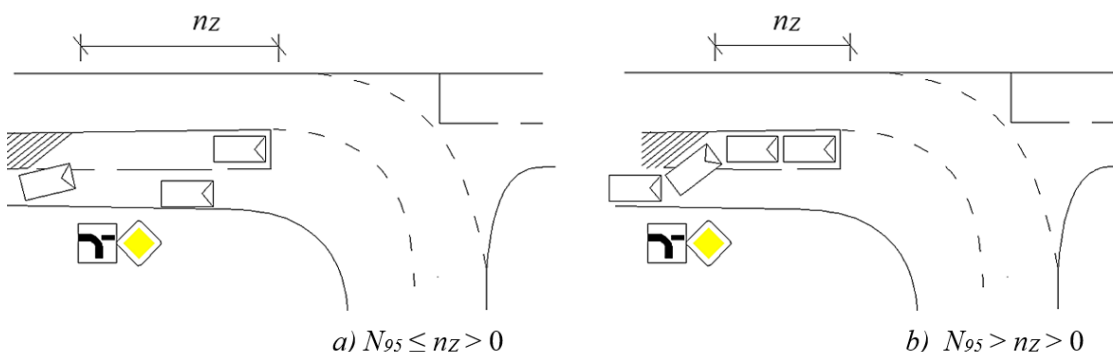
G_7 - základná kapacita dopravného prúdu 11 resp. 7 [j.v./h].

Výpočet pravdepodobnosti $p_{0,2}$ je závislý od usporiadania na vjazde A hlavnej cesty – združený jazdný pruh alebo zaraďovací pruh pre vozidlá idúce rovno (pozri Obr. 10.3). Tieto výpočtové vzťahy sú v závislosti od usporiadania na vjazde A uvedené v Tab. 10.8. V prípade existencie zaraďovacieho pruhu rovno je potrebné preveriť, či je dostatočne dlhý (dĺžka pruhu n_z je väčšia ako dĺžka kolóny N_{95}), alebo je krátky (dĺžka pruhu n_z je menšia ako dĺžka kolóny N_{95}), ako je znázornené na Obr. 10.4.



Obr. 10.3 Usporiadanie na vjazde A hlavnej cesty na stykovej križovatke Alt. 2

a) združený jazdný pruh; b) zaraďovací pruh rovno



Obr. 10.4 Zaraďovací pruh rovno: a) dostatočne dlhý; b) krátky

Tab. 10.9 Výpočet pravdepodobnosti nevzdutého stavu $p_{0,2}$ na stykovej križovatke Alt. 2

Usporiadanie na vjazde A hlavnej cesty			Pravdepodobnosť nevzdutého stavu $p_{0,2}$	
Popis	Označenie	Schéma	[-]	
Združený jazdný pruh ($n_Z = 0$)	(2+3)		$\max \left\{ 1 - \frac{g_2}{1 - g_3} \right\}$ 0	(10.8)
Dostatočne dlhý zaraďovací pruh rovno ($N_{95} \leq n_Z > 0$)	2 / 3		$\max \{ 1 - g_2 \}$ 0	(10.9)
Krátky zaraďovací pruh rovno ($N_{95} > n_Z > 0$)	2- / 3		$\max \left\{ 1 - g_2 \cdot \sqrt[n_Z+1]{1 + \frac{g_3^{n_Z+1}}{1 - g_3}} \right\}$ 0	(10.10)
kde: g_2, g_3 - stupeň saturácie dopravného prúdu 2 resp. 3 (podľa vzťahu (10.35)) [-], n_Z - počet možných miest na zastavenie na zaraďovacom pruhu rovno [j.v.], N_{95} - dĺžka kolóny na zaraďovacom pruhu rovno (podľa vzťahu (10.41)) [j.v.].				

c) Priesečná križovatka

Prúdmi III. stupňa sú na priesečnej križovatke dopravný prúd 9 (odbočenie vľavo) z vjazdu C vedľajšej cesty a dopravné prúdy 10 a 11 (odbočenie vľavo a priamy smer) z vjazdu D vedľajšej cesty. V nadradených dopravných prúdoch II. stupňa 1 a 2 (odbočenie vľavo a priamy smer) z vjazdu A hlavnej cesty môžu vzniknúť kolóny, čo ovplyvní kapacitu posudzovaných prúdov III. stupňa. **Kapacita dopravných prúdov 9, 10 a 11** sa vypočíta podľa vzťahu:

$$\begin{aligned}
 C_9 &= G_9 \cdot p_{0,1+2} \\
 C_{10} &= G_{10} \cdot p_{0,1+2} \\
 C_{11} &= G_{11} \cdot p_{0,1+2}
 \end{aligned}
 \tag{10.11}$$

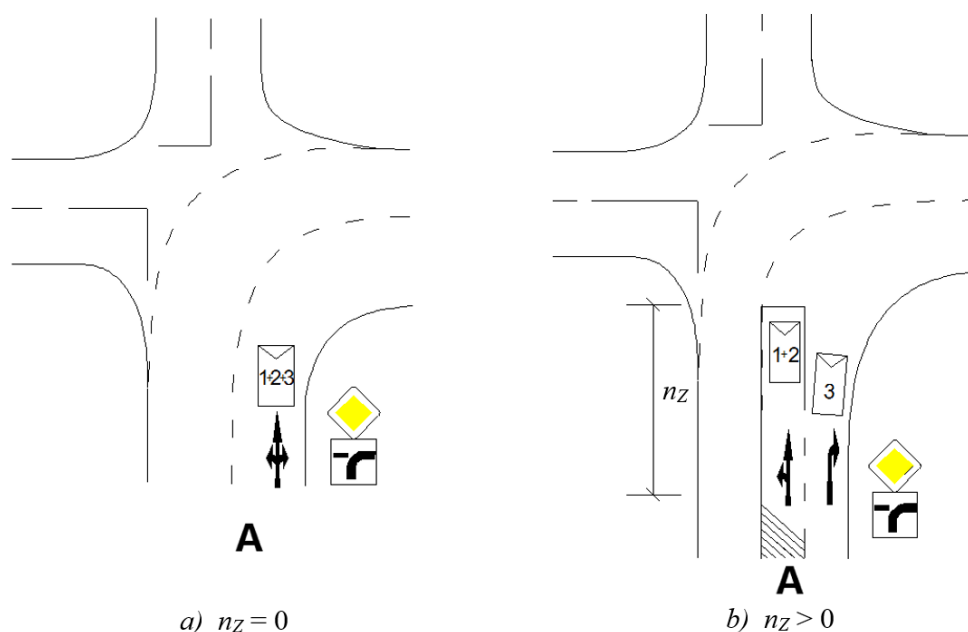
kde:

C_9, C_{10}, C_{11} - kapacita dopravného prúdu 9, 10 resp. 11 [j.v./h],

$p_{0,1+2}$ - pravdepodobnosť stavu bez kolón v nadradených prúdoch 1 a 2 (podľa Tab. 10.10) [-],

G_9, G_{10}, G_{11} - základná kapacita dopravného prúdu 9, 10 resp. 11 [j.v./h].

Na vjazde A hlavnej cesty sa predpokladá usporiadanie, ktoré je bežne vyskytujúce sa v praxi - združený jazdný pruh pre všetky dopravné prúdy alebo existuje zaraďovací pruh pre vozidlá idúce rovno a odbočujúce vľavo (pozri Obr. 10.5). Vzťahy pre výpočet pravdepodobnosti $p_{0,1+2}$ sú v závislosti od usporiadania na vjazde A hlavnej cesty uvedené v Tab. 10.10. V prípade existencie zaraďovacieho pruhu je potrebné preveriť, či je dostatočne dlhý (dĺžka pruhu n_Z je väčšia ako dĺžka kolóny N_{95}), alebo je krátky (dĺžka pruhu n_Z je menšia ako dĺžka kolóny N_{95}). Vzťah pre krátky pruh je použiteľný aj v prípadoch rozšíreného hlavného vjazdu pre 1 a viac jednotkových vozidiel.



Obr. 10.5 Usporiadanie na vjazde A hlavnej cesty na priesečnej križovatke

a) združený jazdný pruh; b) zaraďovací pruh

Tab. 10.10 Výpočet pravdepodobnosti nevzdutého stavu $p_{0,1+2}$ na priesečnej križovatke

Usporiadanie na vjazde A hlavnej cesty			Pravdepodobnosť nevzdutého stavu $p_{0,1+2}$	
Popis	Označenie	Schéma	[-]	
Združený jazdný pruh ($n_z = 0$)	(1+2+3)		$\max \left\{ 1 - \frac{g_1 + g_2}{1 - g_3} \right\}$	(10.12)
Dostatočne dlhý zaraďovací pruh ($N_{95} \leq n_z > 0$)	(1+2) / 3		$\max \left\{ 1 - (g_1 + g_2) \right\}$	(10.13)
Krátky zaraďovací pruh ($N_{95} > n_z > 0$)	(1+2) / 3		$\max \left\{ 1 - (g_1 + g_2) \cdot \frac{n_L + 1}{\sqrt{1 + \frac{g_3^{n_L + 1}}{1 - g_3}}} \right\}$	(10.14)

kde:

g_1, g_2, g_3 - stupeň saturácie dopravného prúdu 1,2 resp. 3 (podľa vzťahu (10.35)) [-],

n_z - počet možných miest na zastavenie na zaraďovacom pruhu [j.v.],

N_{95} - dĺžka kolóny na zaraďovacom pruhu (podľa vzťahu (10.41)) [j.v.].

10.5.2 Výpočet kapacity dopravných prúdov IV. stupňa

Prúdmi IV. stupňa sú na priesečnej križovatke dopravné prúdy 7 a 8 (odbočenie vľavo a priamy smer) z vjazdu C vedľajšej cesty. Pri výpočte kapacity prúdov IV. stupňa sa musí zohľadniť pravdepodobnosť, že sa súčasne nevytvoria kolóny v nadradených dopravných prúdoch II. stupňa (prúdy 1 a 2 z vjazdu A hlavnej cesty) a III. stupňa (prúdy 10 a 11 z vjazdu D vedľajšej cesty), čo však nie je vzájomne nezávislé. Okrem toho, sa musí zohľadniť aj pravdepodobnosť stavu bez kolón v dopravnom prúde 12 (odbočenie vpravo z vjazdu D), ktorý je nadradený dopravnému prúdu 8. Vzhľadom na to, že dopravný prúd 12 je obmedzovaný prúdmi 10 a 11, v závislosti od usporiadania vedľajšieho vjazdu D, pre oba prúdy IV. stupňa, dopravné prúdy 7 a 8, sa počíta pravdepodobnosť stavu bez kolón $p_{z,10+11+12}$ podľa vzťahu:

$$p_z = \frac{1}{\frac{1}{p_{0,1+2}} + \frac{1}{p_{0,10+11+12}} - 1} \quad (10.15)$$

kde:

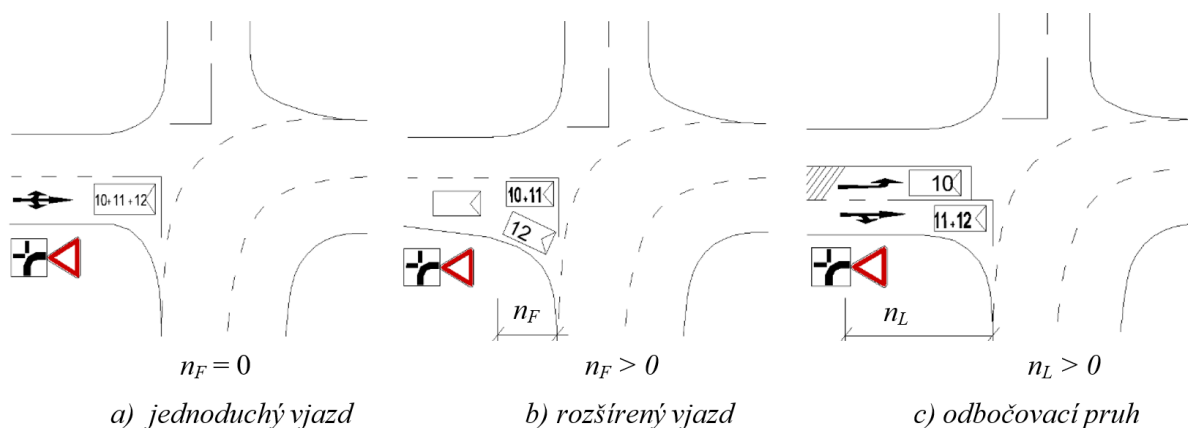
$p_{0,1+2}$ - pravdepodobnosť stavu bez kolón v zmiešanom prúde 1 a 2 (podľa Tab. 10.10) [-],

$p_{0,10+11+12}$ - pravdepodobnosť stavu bez kolón v zmiešanom prúde 10, 11 a 12 (podľa Tab. 10.11) [-],

p_z - pravdepodobnosť stavu bez kolón v nadradených prúdoch 1 a 2 a v prúdoch 10, 11 a 12 [-].

Výpočet pravdepodobnosti $p_{0,1+2}$ je závislý od usporiadania na vjazde A hlavnej cesty - združený jazdný pruh alebo samostatný zaraďovací pruh (pozri Obr. 10.5). Vzťahy pre výpočet pravdepodobnosti $p_{0,1+2}$ sú uvedené v Tab. 10.10.

Výpočet pravdepodobnosti $p_{0,10+11+12}$ je závislý od usporiadania na vjazde D vedľajšej cesty – združený jazdný pruh, rozšírený vjazd, alebo samostatný odbočovací pruh vľavo (pozri Obr. 10.6). Vzťahy pre výpočet pravdepodobnosti $p_{0,10+11+12}$ sú uvedené v Tab. 10.11.



Obr. 10.6 Usporiadanie na vjazde D vedľajšej cesty na priesečnej križovatke

Kapacita dopravného prúdu 7 a 8 sa vypočíta podľa vzťahu:

$$\begin{aligned} C_7 &= G_7 \cdot p_z \\ C_8 &= G_8 \cdot p_z \end{aligned} \quad (10.16)$$

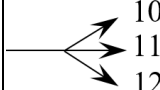
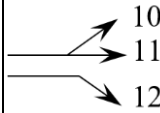
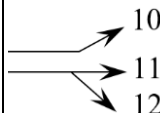
kde:

C_7, C_8 - kapacita dopravného prúdu 7 resp. 8 [j.v./h],

p_z - pravdepodobnosť stavu bez kolón v nadradených prúdoch 1 a 2 a v prúdoch 10, 11 a 12 (podľa vzťahu (10.15)) [-],

G_7, G_8 - základná kapacita dopravného prúdu 7 resp. 8 [j.v./h].

Tab. 10.11 Výpočet pravdepodobnosti nevzdutého stavu $p_{0,10+11+12}$ na priesečnej križovatke

Usporiadanie na vjazde D vedľajšej cesty			Pravdepodobnosť nevzdutého stavu $p_{0,10+11+12}$ [-]	
Popis	Označenie	Schéma		
Združený jazdný pruh	(10+11+12)		$\max \left\{ 1 - (g_{10} + g_{11} + g_{12}) \right\}_0$	(10.17)
Odbočovací pruh vpravo alebo rozšírený vjazd ($n_F > 0$)	(10+11) / 12		$\max \left\{ 1 - \frac{n_F+1}{\sqrt{(g_{10} + g_{11})^{n_F+1} + g_{12}^{n_F+1}}} \right\}_0$	(10.18)
Odbočovací pruh vľavo ($n_L > 0$)	10 / (11+12)		$\max \left\{ 1 - \frac{n_L+1}{\sqrt{g_{10}^{n_L+1} + (g_{11} + g_{12})^{n_L+1}}} \right\}_0$	(10.19)
kde: g_{10}, g_{11}, g_{12} - stupeň saturácie dopravného prúdu 10, 11 resp. 12 (podľa vzťahu (10.35)) [-].				

10.6 Kapacita zmiešaných prúdov

Na jazdnom pruhu, ktorý súčasne používajú rôzne dopravné prúdy – združenom jazdný pruh – si vozidlá navzájom prekážajú a ovplyvňujú sa. Pre každý takýto jazdný pruh je potrebné vypočítať kapacitu zmiešaného prúdu. Okrem toho je kapacitu zmiešaného prúdu potrebné vypočítať v prípade, ak je vedľajší vjazd rozšírený a umožňuje zastavenie vozidiel vedľa seba na stop-čiare, príp. ak je na vedľajšom vjazde odbočovací pruh. Na hlavnej ceste sa spoločná kapacita zmiešaného prúdu počíta v prípade, ak je odbočovací pruh na vjazde hlavnej cesty krátky.

Výpočet kapacity zmiešaných prúdov sa odlišuje v závislosti od usporiadania na vjazde a typu vjazdu - vjazd na vedľajšej ceste alebo hlavnej ceste. Ďalej je uvádzaný zvlášť pre stykovú križovatku (obe alternatívy) a zvlášť pre priesečnú križovatku.

10.6.1 Vjazd z vedľajšej cesty

a) Styková križovatka – Alternatíva 1

Spoločná kapacita C_m zmiešaného prúdu 11+12 na vedľajšom vjazde D stykovej križovatky
Alt. 1 sa vypočíta podľa vzťahu:

$$C_{m,11+12} = \min \left\{ \frac{q_{11} + q_{12}}{g_{11+12}}, 1800 \right\} \quad (10.20)$$

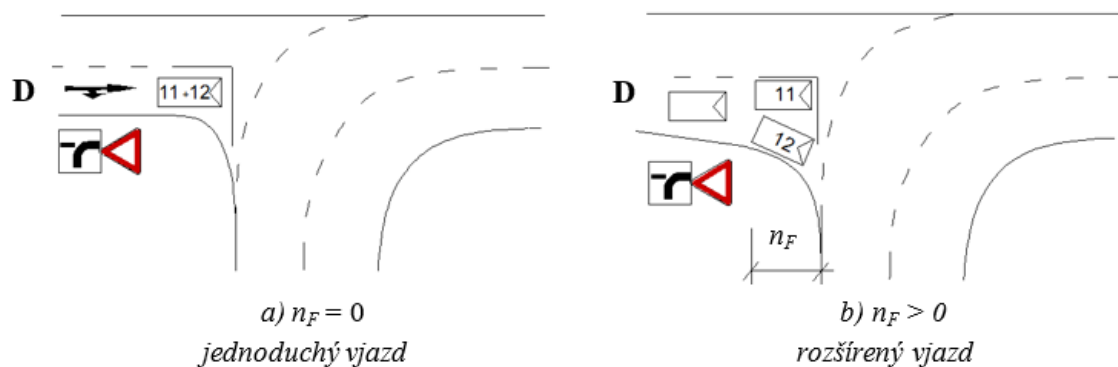
kde:

$C_{m,11+12}$ - kapacita zmiešaného prúdu 11+12 [j.v./h],

q_{11}, q_{12} - intenzita dopravného prúdu 11 resp. 12 na stykovej križovatke Alt. 1 [j.v./h],

g_{11+12} - stupeň saturácie zmiešaného dopravného prúdu 11+12 (podľa Tab. 10.12) [-].

Výpočet stupňa saturácie zmiešaného dopravného prúdu g_{11+12} závisí od usporiadania na vjazde D vedľajšej cesty – jednoduchý vjazd (združený jazdný pruh) alebo rozšírený vjazd (pozri Obr. 10.7). Vzťahy pre výpočet stupňa saturácie zmiešaného prúdu g_{11+8} sú uvedené v Tab. 10.12.



Obr. 10.7 Usporiadanie na vedľajšom vjazde D na stykovej križovatke Alt. 1

Tab. 10.12 Výpočet stupňa saturácie zmiešaného prúdu na vedľajšom vjazde D stykovej križovatky Alt.1

Usporiadanie na vjazde D vedľajšej cesty			Stupeň saturácie zmiešaného dopravného prúdu na vedľajšom vjazde g_{11+12} [-]	
Popis	Označenie	Schéma		
Združený jazdný pruh ($n_F = 0$)	(11+12)		$g_{11} + g_{12}$	(10.21)
Odbočovací pruh vpravo alebo rozšírený vjazd ($n_F > 0$)	11 / 12		$n_F + 1 \sqrt{g_{11}^{n_F+1} + g_{12}^{n_F+1}}$	(10.22)

kde:

g_{11}, g_{12} - stupeň saturácie dopravného prúdu 11 resp. 12 na stykovej križovatke Alt. 1 (podľa vzťahu (10.35)) [-],

g_{11+12} - stupeň saturácie zmiešaného dopravného prúdu 11+12 [-],

n_F - počet miest v predrad'ovacom priestore na odbočovacom pruhu vpravo alebo na rozšírení vedľajšieho vjazdu [j.v.].

b) Styková križovatka – Alternatíva 2

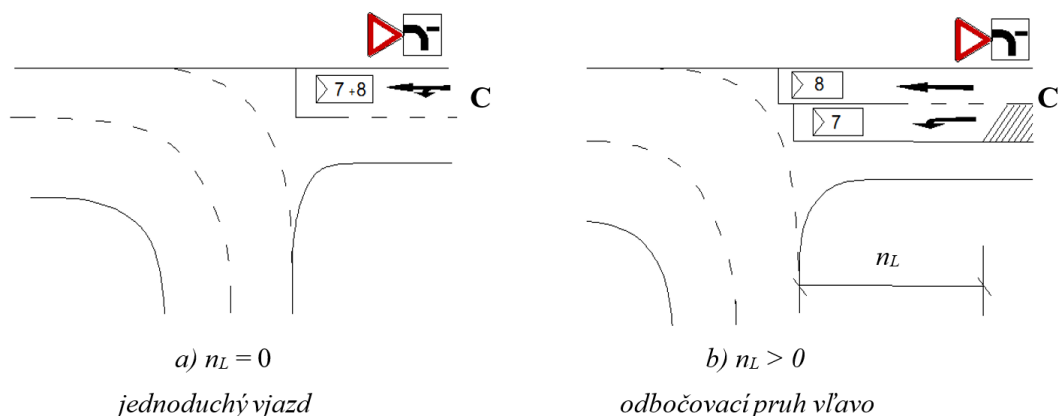
Spoločná kapacita C_m zmiešaného prúdu 7+8 na vedľajšom vjazde C stykovej križovatky Alt. 2 sa vypočíta podľa vzťahu:

$$C_{m,7+8} = \min \left\{ \frac{q_7 + q_8}{g_{7+8}}, 1800 \right\} \quad (10.23)$$

kde:

- $C_{m,7+8}$ - kapacita zmiešaného prúdu 7+8 [j.v./h],
 q_7, q_8 - intenzita dopravného prúdu 7 resp. 8 na stykovej križovatke Alt. 2 [j.v./h],
 g_{7+8} - stupeň saturácie zmiešaného dopravného prúdu 7+8 (podľa Tab. 10.13) [-].

Výpočet stupňa saturácie zmiešaného dopravného prúdu g_{7+8} závisí od usporiadania na vjazde C vedľajšej cesty – jednoduchý vjazd (združený jazdný pruh) alebo samostatný odbočovací pruh vľavo (pozri Obr. 10.8). Vzťahy pre výpočet stupňa saturácie zmiešaného prúdu g_{7+8} sú uvedené v Tab. 10.13.



Obr. 10.8 Usporiadanie na vedľajšom vjazde C na stykovej križovatke Alt. 2

Tab. 10.13 Výpočet stupňa saturácie zmiešaného prúdu na vedľajšom vjazde C stykovej križovatky Alt.2

Usporiadanie na vjazde C vedľajšej cesty			Stupeň saturácie zmiešaného dopravného prúdu na vedľajšom vjazde g_{7+8} [-]	
Popis	Označenie	Schéma		
Združený jazdný pruh ($n_L = 0$)	(7+8)		$g_7 + g_8$	(10.24)
Odbočovací pruh vpravo alebo rozšírený vjazd ($n_L > 0$)	7 / 8		$n_L + 1 \sqrt{g_7^{n_L+1} + g_8^{n_L+1}}$	(10.25)

kde:
 g_7, g_8 - stupeň saturácie dopravného prúdu 7 resp. 8 na stykovej križovatke Alt. 2 (podľa vzťahu (10.35)) [-],
 g_{7+8} - stupeň saturácie zmiešaného dopravného prúdu 7+8 [-],
 n_L - počet miest v predrad'ovacom priestore na odbočovacom pruhu vľavo [j.v.].

c) Priesečná križovatka

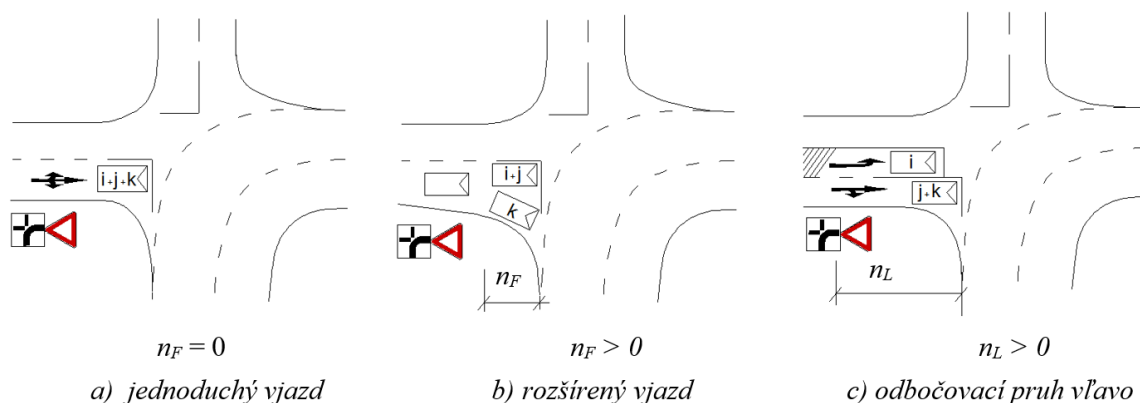
Spoločná kapacita C_m zmiešaného prúdu 7+8+9 na vedľajšom vjazde C alebo **10+11+12** na vedľajšom vjazde D priesečnej križovatky sa vypočíta podľa vzťahu:

$$C_m = \min \left\{ \frac{q_i + q_j + q_k}{g_m} \right\} \quad (10.26)$$

kde:

- i - index pre dopravný prúd 7 a 10 (odbočenie vľavo z vjazdu vedľajšej cesty) [-],
- j - index pre dopravný prúd 8 a 11 (priamy smer z vjazdu vedľajšej cesty) [-],
- k - index pre dopravný prúd 9 a 12 (odbočenie vpravo z vjazdu vedľajšej cesty) [-],
- m - index pre zmiešané dopravné prúdy 7+8+9 a 10+11+12 [-],
- C_m - kapacita zmiešaného prúdu [j.v./h],
- q_i, q_j, q_k - intenzita dopravného prúdu i, j resp. k [j.v./h],
- g_m - stupeň saturácie zmiešaného dopravného prúdu na vedľajšom vjazde [-].

Výpočet stupňa saturácie zmiešaného dopravného prúdu g_m závisí od usporiadania na posudzovanom vedľajšom vjazde C a D – jednoduchý vjazd (združený jazdný pruh), rozšírený vjazd (príp. odbočovací pruh vpravo) alebo samostatný odbočovací pruh vľavo (pozri Obr. 10.9). Vzťahy pre výpočet stupňa saturácie zmiešaného prúdu g_m sú uvedené v Tab. 10.14.



Obr. 10.9 Usporiadanie na vedľajšom vjazde priesečnej križovatky

Tab. 10.14 Výpočet stupňa saturácie zmiešaného prúdu na vedľajšom vjazde priesečnej križovatky

Usporiadanie na vjazde C a D vedľajšej cesty			Stupeň saturácie zmiešaného dopravného prúdu na vedľajšom vjazde g_m [-]	
Popis	Označenie	Schéma		
Združený jazdný pruh ($n_F = 0$)	$(i+j+k)$		$g_i + g_j + g_k$	(10.27)
Odbočovací pruh vpravo alebo rozšírený vjazd ($n_F > 0$)	$(i+j) / k$		$\sqrt[n_F+1]{(g_i + g_j)^{n_F+1} + g_k^{n_F+1}}$	(10.28)
Odbočovací pruh vľavo ($n_L > 0$)	$i / (j+k)$		$\sqrt[n_L+1]{g_i^{n_L+1} + (g_j + g_k)^{n_L+1}}$	(10.29)
kde: i - index pre dopravný prúd 7 a 10 [-], j - index pre dopravný prúd 8 a 11 [-], k - index pre dopravný prúd 9 a 12 [-], m - index pre zmiešané dopravné prúdy 7+8+9 a 10+11+12 [-],				

g_i, g_j, g_k	- stupeň saturácie dopravného prúdu i, j resp. k (podľa vzťahu (10.35)) [-],
n_F	- počet miest v predrad'ovacom priestore na odbočovacom pruhu vpravo alebo na rozšírení vedľajšieho vjazdu [j.v.],
n_L	- počet možných miest na zastavenie na odbočovacom pruhu vľavo [j.v.].

10.6.2 Vjazd z hlavnej cesty

a) Styková križovatka – Alternatíva 1

Kapacita zmiešaného prúdu 1+3 na vjazde z hlavnej cesty stykovej križovatky Alt. 1 sa vypočíta podľa vzťahu:

$$C_{m,1+3} = \min \left\{ \frac{q_1 + q_3}{1 - p_{0,1}} \right\}_{1800} \quad (10.30)$$

kde:

$C_{m,1+3}$ - kapacita zmiešaného prúdu 1+3 [j.v./h],

q_1, q_3 - intenzita dopravného prúdu 1 resp. 3 [j.v./h],

$p_{0,1}$ - pravdepodobnosť stavu bez kolón v nadradenom prúde 1 (podľa Tab. 10.8) [-].

b) Styková križovatka – Alternatíva 2

Kapacita zmiešaného prúdu 2+3 na vjazde z hlavnej cesty stykovej križovatky Alt. 2 sa vypočíta podľa vzťahu:

$$C_{m,2+3} = \min \left\{ \frac{q_2 + q_3}{1 - p_{0,2}} \right\}_{1800} \quad (10.31)$$

kde:

$C_{m,2+3}$ - kapacita zmiešaného prúdu 2+3 [j.v./h],

q_2, q_3 - intenzita dopravného prúdu 2 resp. 3 [j.v./h],

$p_{0,2}$ - pravdepodobnosť stavu bez kolón v nadradenom prúde 1 (podľa (10.8)) [-].

c) Priesečná križovatka

Kapacita zmiešaného prúdu na vjazde A hlavnej cesty sa v závislosti od jeho usporiadania vypočíta podľa základného vzťahu:

$$C_m = \min \left\{ \frac{q_m}{1 - p_{0,1+2}} \right\}_{1800} \quad (10.32)$$

kde:

C_m - kapacita zmiešaného prúdu na vjazde A hlavnej cesty [j.v./h],

q_m - intenzita zmiešaného prúdu na vjazde A hlavnej cesty 1+2 alebo 1+2+3 [j.v./h],

$p_{0,1+2}$ - pravdepodobnosť stavu bez kolón v nadradených prúdoch 1 a 2 (podľa Tab. 10.10) [-].

10.7 Hodnotenie kvality pohybu dopravy na križovatke

10.7.1 Kritériá a stupne kvality dopravného prúdu

Vzhľadom na to, že neriadená križovatka so zalomenou hlavnou cestou patrí ku križovatkám bez riadenia cestnou svetelnou signalizáciou, odporúča sa stanoviť rovnaké hodnotiace kritérium a stupne kvality dopravy ako sú pre neriadené križovatky v zmysle platných TP 102 [33]. Kritériom pre stanovenie stupňa kvality dopravy na križovatke by mal byť priemerný čas čakania (w) na jazdných pruhoch vstupujúcich do križovatky (vypočítaný pomocou zjednodušenej rovnice navrhutej Akçelikom a Troutbeckom (1991) v modifikovanej forme s využitím vypočítanej hodnoty rezervy kapacity).

Hraničné hodnoty priemerného času čakania sú v zmysle [33] pre jednotlivé stupne kvality dopravy v Tab. 10.15.

Odporúča sa stanoviť požadovanú funkčnú úroveň pre jednotlivé vstupné ramená podľa dopravného významu križujúcich sa ciest v zmysle STN 73 6101 alebo podľa funkčnej skupiny miestnych komunikácií v zmysle STN 73 6110.

Navrhovaná križovatka musí vyhovovať pre predpokladané dopravné zaťaženie a smerovanie dopravných prúdov na križovatke pre celé výhľadové obdobie, t.j. minimálne 20 rokov od jej uvedenia do prevádzky. Musí zabezpečiť požadovanú úroveň kvality dopravy na všetkých jazdných pruhoch na križovatke.

Tab. 10.15 Prípustné hodnoty času čakania pre jednotlivé stupne kvality dopravy [33]

Stupeň kvality dopravy - QSV		Priemerný čas čakania - w [s]
Označenie	Charakteristika doby čakania	
A	Čakacia doba je veľmi krátka	≤ 10
B	Krátka čakacia doba bez vytvárania kolón	≤ 20
C	Prijateľná doba čakania a ojedinele krátke kolóny	≤ 30
D	Stabilný stav s vysokými časovými stratami	≤ 45
E	Nestabilný stav	> 45
F	Prekročená kapacita	--- ¹⁾

¹⁾ Stupeň F sa dosahuje len vtedy, ak je stupeň saturácie väčší ako 1.

10.7.2 Posúdenie kvality dopravného prúdu

Pre všetky posudzované podradené a zmiešané dopravné prúdy je nevyhnutné stanoviť:

- rezervu kapacity,
- stupeň saturácie a
- čas čakania.

Rezerva kapacity sa vypočíta podľa vzťahu:

$$R_i = C_i - q_i \quad (10.33)$$

alebo

$$R_m = C_m - q_m \quad (10.34)$$

kde:

- i - index pre dopravné prúdy 1, 2, 7, 8, 9, 10, 11 resp. 12 [-],
 m - index pre zmiešaný prúd, napr. 1+2, 7+8+9 alebo 10+11+12 [-],
 R_i, R_m - rezerva kapacity pre dopravný prúd i resp. m [j.v./h],
 q_i, q_m - intenzita dopravy dopravného prúdu i resp. m [j.v./h],
 C_i, C_m - kapacita dopravného prúdu i resp. m [j.v./h].

Stupeň saturácie sa vypočíta podľa vzťahu:

$$g_i = \frac{q_i}{C_i} \quad (10.35)$$

alebo

$$g_m = \frac{q_m}{C_m} \quad (10.36)$$

kde:

- g_i, g_m - stupeň saturácie pre dopravný prúd i resp. m [-],
 q_i, q_m - intenzita dopravy dopravného prúdu i resp. m [j.v./h],
 C_i, C_m - kapacita dopravného prúdu i resp. m [j.v./h].

Priemerný čas čakania vozidiel podradeného prúdu sa vypočíta podľa vzťahu:

$$w_i = \frac{3600}{C_i} + 900 \cdot \left(\frac{-R_i}{C_i} + \sqrt{\left(\frac{R_i}{C_i} \right)^2 + \frac{8 \cdot (C_i - R_i)}{C_i^2}} \right) \quad (10.37)$$

alebo

$$w_m = \frac{3600}{C_m} + 900 \cdot \left(\frac{-R_m}{C_m} + \sqrt{\left(\frac{R_m}{C_m} \right)^2 + \frac{8 \cdot (C_m - R_m)}{C_m^2}} \right) \quad (10.38)$$

kde:

- w_i, w_m - priemerný čas čakania vozidiel v dopravnom prúde i resp. m [s],
 R_i, R_m - rezerva kapacity pre dopravný prúd i resp. m [j.v./h],
 C_i, C_m - kapacita dopravného prúdu i resp. m [j.v./h].

Priemerný čas čakania stanovený pre všetky podradené dopravné prúdy a aj pre zmiešané dopravné prúdy nesmie prekročiť hodnotu priemerného času čakania w , ktorá určuje požadovanú kvalitu pohybu dopravy:

$$w_i \leq w \quad (10.39)$$

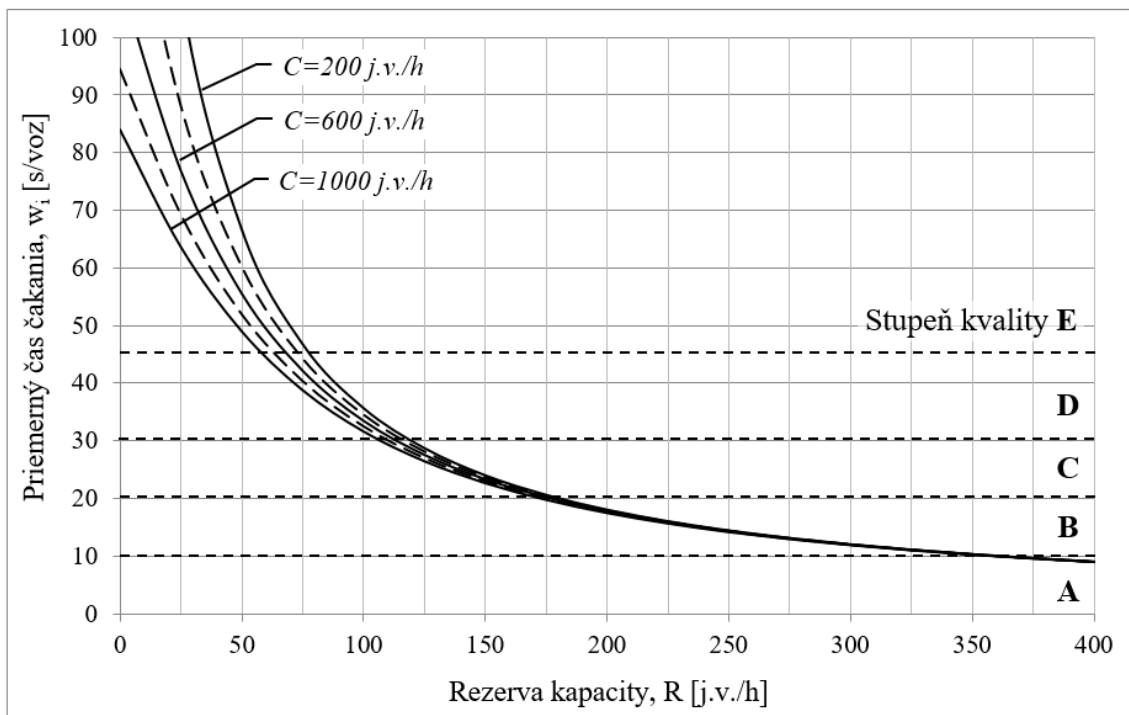
alebo

$$w_m \leq w \quad (10.40)$$

kde:

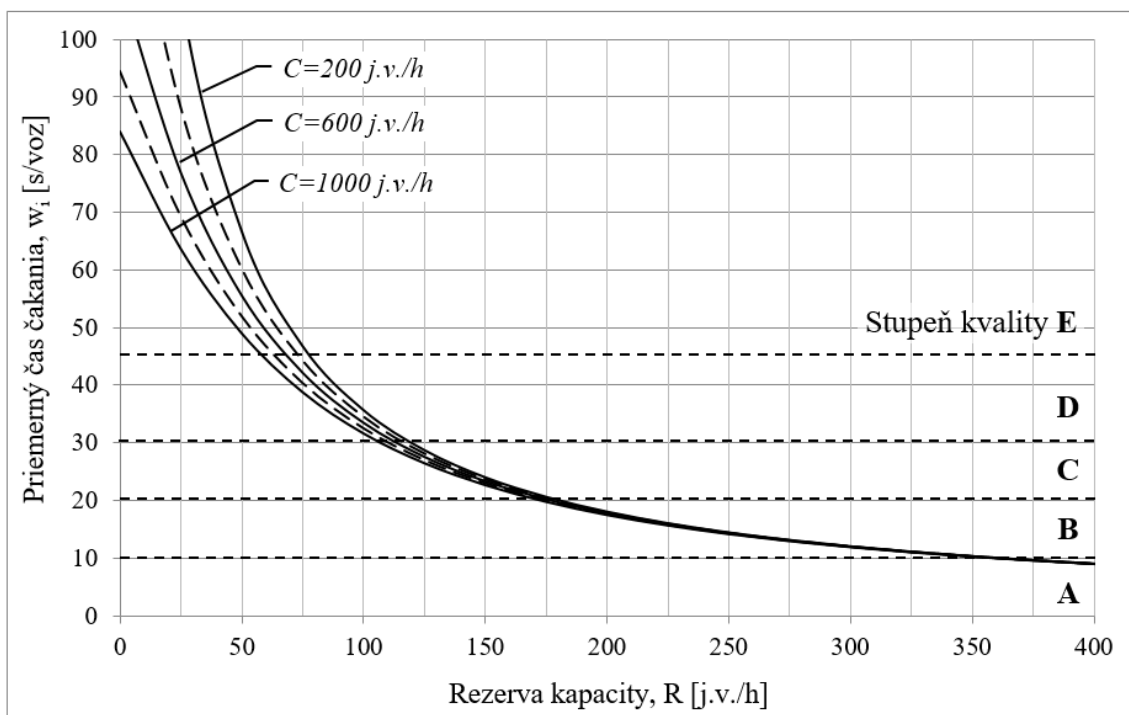
- w_i - priemerný čas čakania vozidiel v dopravnom prúde i [s],
 w_m - priemerný čas čakania vozidiel v zmiešanom prúde m [s],
 w - priemerný čas čakania pre zadaný stupeň kvality dopravy [s].

Príslušný priemerný čas čakania sa môže odčítať aj z kriviek na



Obr. 10.10 v závislosti od rezervy kapacity a kapacity príslušného jazdného pruhu na vjazde. Následným porovnaním s požadovaným časom čakania w sa preukáže dosiahnutie požadovaného stupňa kvality dopravy.

Pre celkové posúdenie kvality pohybu dopravy na križovatke výsledným stupňom kvality QSV (A až F) je rozhodujúca najmenšia rezerva kapacity $\min\{R_i, R_m\}$, alebo najväčší čas čakania $\max\{w_i, w_m\}$ všetkých podradených dopravných prúdov i a zmiešaných dopravných prúdov m .



Obr. 10.10 Priemerný čas čakania v závislosti od rezervy kapacity R a od kapacity C

10.7.3 Posúdenie dĺžky kolón

Pri posudzovaní križovatky so zalomenou hlavnou cestou môže byť rozhodujúcim kritériom vznik kolón v podradených dopravných prúdoch. Dĺžka kolóny sa musí preveriť predovšetkým na zaradovacom pruhu určenom pre podradený dopravný prúd rovno a odbočenie vľavo z vjazdu A hlavnej cesty. Dôvodom je, že v prípade preťaženia, resp. ak je priestor na zastavovanie v tomto pruhu obmedzený (je nedostatočnej dĺžky), môže vzniknúť kolóna obmedzovať vozidlá pohybujúce sa v hlavnom smere (odbočenie vpravo). Dĺžka pruhu sa má dimenzovať na 95 % dĺžku kolóny N_{95} . N_{95} znamená, že v 95 % času meraného intervalu je kolóna kratšia ako N_{95} [j.v.], v zostávajúcich 5 % času dĺžka na zastavenie nepostačuje. Dĺžky kolóny sú uvádzané v počtoch jednotkových vozidiel, dĺžka jedného vozidla sa počíta cca 6 m. Pre zmiešané jazdné prúdy platia hodnoty zistených dĺžok kolóny od rozdeľovacieho bodu (bod, v ktorom začína rozšírenie pre odbočujúce vozidlá).

Stanoviť 95% dĺžku kolóny N_{95} možno podľa grafu na Obr. 10.11 alebo podľa vzťahu:

$$N_{95,i} = \frac{C_i}{4} \cdot \left((g_i - 1) + \sqrt{(1 - g_i)^2 + \frac{8 \cdot g_i}{C_i} \cdot [-\ln(0,05)]} \right) \quad (10.41)$$

alebo

$$N_{95,m} = \frac{C_m}{4} \cdot \left((g_m - 1) + \sqrt{(1 - g_m)^2 + \frac{8 \cdot g_m}{C_m} \cdot [-\ln(0,05)]} \right) \quad (10.42)$$

kde:

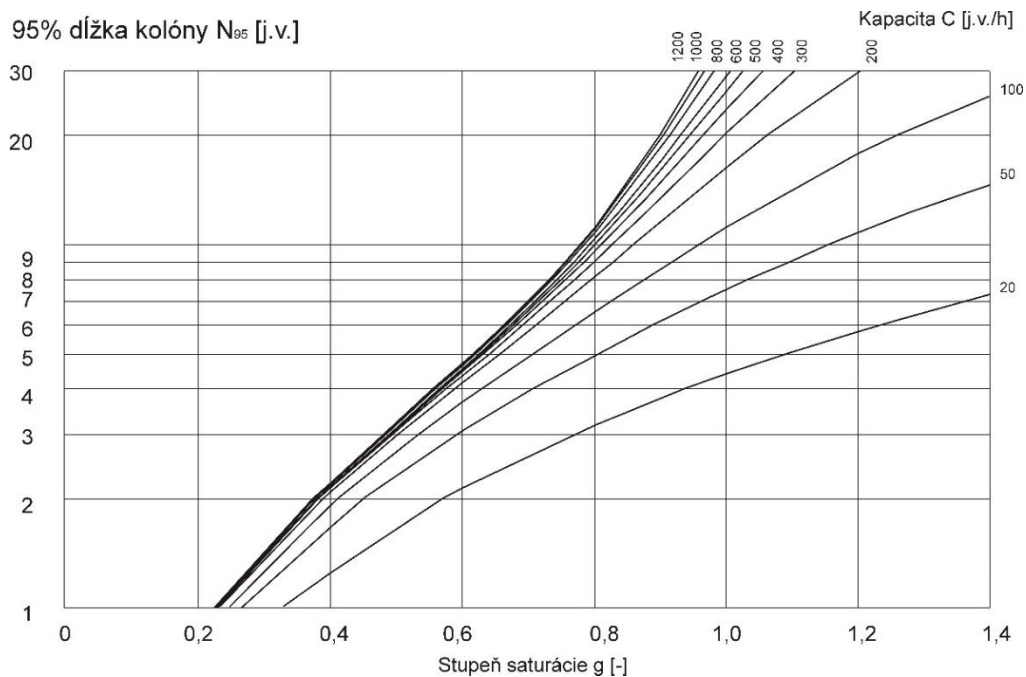
i - index pre dopravné prúdy 1, 2, 7, 8, 9, 10, 11 resp. 12 [-],

m - index pre zmiešaný prúd, napr. 1+2, 7+8+9 alebo 10+11+12 [-],

$N_{95,i}$, $N_{95,m}$ - dĺžka kolóny v dopravnom prúde i resp. m [j.v.],

g_i , g_m - stupeň saturácie pre dopravný prúd i resp. m [-],

C_i , C_m - kapacita dopravného prúdu i resp. m [j.v./h].



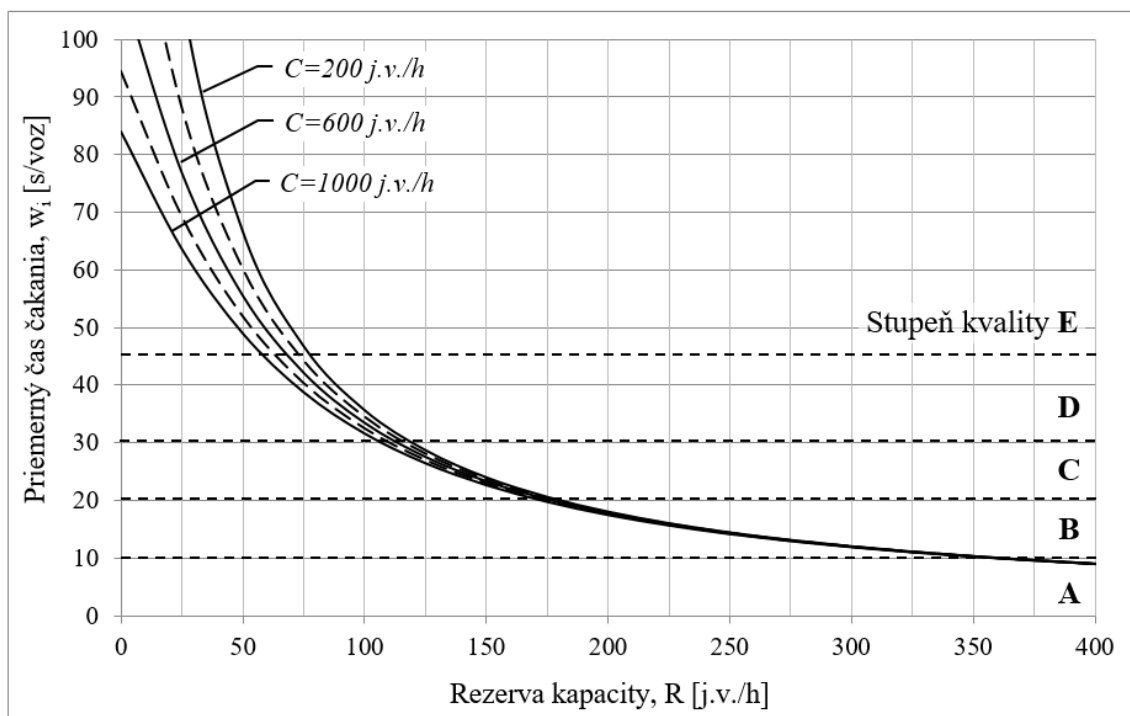
Obr. 10.11 95 % dĺžka kolóny N95 [33]

11. POROVNANIE VÝSLEDKOV TEORETICKÉHO MODELU, SIMULÁCIÍ A DOPRAVNÝCH PRIESKUMOV

Funkčnosť navrhnutého teoretického modelu výpočtu a posúdenia kapacity s použitím návrhových hodnôt časových odstupov so zohľadnením konkrétnych dopravných a stavebných podmienok križovatky (kapitola 10) je overovaná konfrontáciou s výsledkami z dopravných prieskumov a mikrosimulácií.

Podľa teoretického modelu boli vypočítané hodnoty priemerných časov čakania pre podradené dopravné prúdy a zmiešané dopravné prúdy všetkých sledovaných križovatiek. Vypočítané boli pri dvoch odlišných dopravných podmienkach – v čase mimošpičkového dopravného zaťaženia a v čase vybranej špičkovej hodiny. Konkrétne stavebné a geometrické usporiadanie križovatiek bolo zohľadnené v použitých návrhových hodnotách časových odstupov, pri výpočte rozhodujúcej intenzity nadradených prúdov a výpočtových vzťahoch kapacity podradených prúdov, resp. zmiešaných prúdov.

Vypočítané hodnoty priemerných časov čakania spolu so zodpovedajúcou funkčnou úrovňou sú porovnané s hodnotami získanými z prieskumov a simulácií. Uvedené sú v Tab. 11.1 a Tab. 11.2 pre príslušný podradený dopravný prúd (ak má samostatný odbočovací pruh), resp. zmiešaný dopravný prúd (ak sú na združenom pruhu). V prípade prekročenia kapacity posudzovaného dopravného prúdu zistenej teoretickým modelom (t.j. stupeň nasýtenia je viac ako 1,0, rezerva kapacity je menej ako 0; funkčná úroveň je hodnotená F), nie je uvádzaný konkrétny čas čakania (uvedené je $w_i > 100$ s). Dôvodom sú veľmi vysoké hodnoty zodpovedajúce exponenciálnemu priebehu priemerného času čakania v závislosti od rezervy kapacity (viď.



Obr. 10.10). V takýchto prípadoch je nevyhovujúci dopravný prúd zvýraznený červenou farbou.

Tab. 11.1 Porovnanie výsledkov kapacitného posúdenia – dopravné zaťaženie mimo špičkovej hodiny

Križovatka	DP	Teoretický model		Dopravný prieskum		Simulácia	
		w_i [s]	QSV	w_i [s]	QSV	w_i [s]	QSV
PK1	1+2	9,0	A	7.5	A	8.3	A
	12	4,4	A	3.3	A	4.7	A
	10+11	44,3	D	34.1	D	40.2	D
	7+8+9	35,7	D	24.7	C	29.3	C
PK2	1+2	6,2	A	5.1	A	4.4	A
	10	8,9	A	7.4	A	9.8	A

	11+12	11,5	B	11.6	B	14.1	B
	7+8+9	10,1	B	10.8	B	11.2	B
PK3	1+2+3	2,6	A	2.4	A	3.4	A
	10+11+12	8,1	A	7.8	A	9.8	A
	7+8+9	32,1	D	26.8	C	29.5	C
StK1.1	1+3	2,5	A	1.5	A	2.9	A
	11+12	26,3	C	21.5	C	23.2	C
StK1.2	1+3	4,2	A	3.1	A	3.8	A
	11+12	32,0	D	29.1	C	34.8	D
StK2.1	2+3	2,6	A	1.8	A	2.4	A
	7+8	24,5	C	26.8	C	22.8	C
StK2.2	2	6,7	A	4.8	A	3.1	A
	7	15,6	B	12.7	B	11.1	B
	8	8,0	A	5.2	A	6.3	A

V reálnych podmienkach a pri simuláciách je možné určiť priemerný čas čakania, ale nie je možné exaktne určiť, kedy je už kapacita posudzovaného dopravného prúdu vyčerpaná. Nevyhovujúce dopravné prúdy sú v takých prípadoch určené pri vyšších priemerných časoch čakania – viac ako 1 minúta. Uvažované sú aj v prípadoch o čosi nižšej doby čakania, keď vodiči z vedľajšieho vjazdu v čase špičkovej hodiny už ignorovali pravidlá cestnej premávky, nedávali prednosť im nadradeným kolíznym vozidlám, prípadne vstupovali do križovatky agresívnejšie (s nižšou mierou bezpečnosti a vyššou mierou obmedzovania vodičov v nadradených prúdoch). Priemerný čas čakania odmeraný počas prieskumu je teda skreslený a je významne nižší, ako by bol v prípade štandardného správania sa vodičov. Takýmto prípadom sú napr. zmiešané dopravné prúdy na križovatke PK1 (10+11) alebo na križovatke PK3 (10+11+12).

Tab. 11.2 Porovnanie výsledkov kapacitného posúdenia – dopravné zaťaženie mimo špičkovej hodiny

Križovatka	DP	Teoretický model		Dopravný prieskum		Simulácia	
		w _i [s]	QSV	w _i [s]	QSV	w _i [s]	QSV
PK1	1+2	6,3	A	5,6	A	4,1	A
	12	4,0	A	2,7	A	3,9	A
	10+11	> 100	F	51,2	F	61,9	F
	7+8+9	> 100	F	101,5	F	120,8	F
PK2	1+2	5,6	A	3,4	A	4,5	A
	10	9,0	A	7,6	A	8,1	A
	11+12	24,5	C	13,9	B	16,7	B
	7+8+9	19,7	B	10,2	B	9,8	A
PK3	1+2+3	3,0	A	3,9	A	4,4	A
	10+11+12	> 100	F	54,9	F	79,6	F
	7+8+9	> 100	F	87,8	F	101,4	F
StK1.1	1+3	3,6	A	2,9	A	2,1	A
	11+12	> 100	F	131	F	143	F
StK1.2	1+3	4,9	A	4,2	A	4,4	A

	11+12	> 100	F	126,7	F	113	F
StK2.1	2+3	3,0	A	3,1	A	4,6	A
	7+8	> 100	F	78,4	F	90,4	F
StK2.2	2	6,7	A	4,8	A	3,6	A
	7	16,7	B	13,8	B	16	B
	8	10,1	B	5,3	A	4,7	A

Z porovnania výsledkov kapacitného posúdenia v Tab. 11.1 a Tab. 11.2 možno konštatovať, že posúdenie podľa navrhovaného teoretického modelu dokáže v dostatočnej miere vystihnúť reálny stav na križovatke. V čase mimo špičkovej hodiny je toto hodnotenie v porovnaní so skutočným stavom o niečo prísnejšie (vyššia hodnota času čakania). Rozdiel je však maximálne o jednu funkčnú úroveň. V čase špičkovej hodiny sa teoretickým výpočtom dokážu identifikovať dopravné prúdy, ktoré z hľadiska kapacity nevyhovujú, a na ktorých boli v reálnych podmienkach aj napriek agresívnejšiemu správaniu sa vodičov odmerané vyššie priemerné doby čakania.

12. ZÁVER

Navrhovaný teoretický model výpočtu kapacity križovatiek so zalomenou hlavnou cestou je založený na teórii prijatých časových odstupov a s určitou analógiou a zohľadnením špecifik využíva základné teoretické modely platné pre štandardné neriadené križovatky. Špecifiká týchto križovatiek sú zohľadnené pri stanovení stupňov nadradenosti dopravných prúdov, výpočte rozhodujúcich intenzít nadradených prúdov, v návrhových hodnotách časových odstupov a modifikácii vzťahov pre výpočet kapacity prúdov III. a IV. stupňa a zmiešaných dopravných prúdov. Výpočet rozhodujúcej intenzity nadradených prúdov a tiež návrhové hodnoty kritických a následných časových odstupov reprezentujúce charakteristické správanie sa vodičov vychádzajú z výsledkov dopravných prieskumov na týchto križovatkách a návrhových hodnôt v súčasnom TP 102 [33].

Je potrebné si uvedomiť, že metodický postup zahrňuje viaceré kroky, v ktorých sú použité určité zovšeobecnenia, zjednodušenia a teoretické modely, ako aj návrhové hodnoty, ktoré môžu len do určitej miery obsiahnuť stochastické správanie sa vodičov závislé od mnohých faktorov a špecifik. Tie vyplývajú z rôzneho geometrického a stavebného usporiadania križovatiek, výškového vedenia, rozhládových pomerov, momentálnych dopravných podmienok a vyťaženia jednotlivých dopravných prúdov, stavu povrchu, viditeľnosti, dodržiavania pravidiel cestnej premávky a mnoho ďalších. Výsledok kapacitného posúdenia - jedno číslo priemernej doby zdržania reprezentujúce celkový stav dopravných a výkonnostných podmienok na križovatke – teda môže len do určitej miery vystihnúť všetky tieto faktory. Porovnaním teoretických a skutočných hodnôt na skúmaných križovatkách sa však ukazuje, že navrhovaný teoretický model je schopný identifikovať nevyhovujúci stav na križovatke a tiež ohodnotiť kvalitu dopravy na nich.

Vzhľadom na to, že teoretický model bol preverený len na obmedzenom počte križovatiek a obsahuje aj originálne, doteraz nepublikované výpočtové vzťahy, či výsledky prieskumov, v budúcnosti bude potrebné ho preveriť v širšom rozsahu. Po preverení na väčšom počte križovatiek bude možné navrhnutú metodiku spracovanú v rámci tejto rozvojovej úlohy využiť ako základ pre prípadné spracovanie metodického pokynu alebo technických podmienok.

13. PRÍLOHY

PRÍLOHA 1: Prehľad neriadených križovatiek so zalomenou hlavnou cestou vo vybraných mestách

Mesto	Križovatka	Typ
Žilina	Veľká Okružná-Legionárska	Priesečná
	Horecká cesta – J. Závodského - Žitná	Priesečná
	Žitná – Škultétyho	Styková – Alt. 1
	Centrálňa – A. Rudnaya	Styková – Alt. 1
	Komenského-Zajmusa	Styková – Alt. 1
	1. Mája – Hviezdoslava	Styková – Alt. 1
	Bytčická – Kamenná	Styková – Alt. 1
	Háľkova-Kuzmányho	Styková – Alt. 1
	Bánovská cesta - Kamenná	Styková – Alt. 2
Banská Bystrica	Československej armády- Kukučínova	Priesečná
	Námestie Vajanského – Janka Kráľa	Styková – Alt. 1
	Kuzmányho – Martina Rázusa – Dolná	Styková – Alt. 1
	Jana Cikkera - Kapitulská	Styková – Alt. 1
	Janka Kráľa – Tajovského	Styková – Alt. 1
	Vansovej - Katovná	Styková – Alt. 1
	Partizánska cesta – 29. augusta	Styková – Alt. 2
Prešov	Škultétyho – Masarykova – Kuzmányho	Priesečná
	Solivarská – Ar., Gen. Svobodu – Švábska	Priesečná
	Zlatobanská – Soľnobanská – Námestie osloboditeľov – Kysucká	Priesečná
	Hviezdoslavova - Štefánikova	Priesečná
	Jazdecká – Čapajevova	Styková – Alt. 1
	Čapajevová – Komenského	Styková – Alt. 1
	Jána Hollého - Šafárikova	Styková – Alt. 2
Košice	Myslavská – Moskovská trieda	Priesečná
	Klimkovičova – Čordáková	Styková – Alt. 1

	Jasuschova	Styková – Alt. 2
	Alvinczyho – Slovenskej jednoty	Styková – Alt. 2
	Mauerová	Styková – Alt. 2
Prievidza	Mariánska – Zahradnícka – cesta 1774	Priesečná
	Nemocničná - Školská	Styková – Alt. 1
Považská Bystrica	Jánska – Moyzesova – Námestie A. Hlinku	Priesečná

PRÍLOHA 2: PK1 - Jánska – Moyzesova – Námestie A. Hlinku

Poloha	Považská Bystrica, obytná zóna
Dátumy prieskumov	14.6.2018 + 21.6.2018 + 6.9.2018 + 7.9.2018 + 10.9.2018
Dĺžka trvania prieskumov spolu	1146 min. / 19,1 hod
Špičková hodina	15:00-16:00
Maximálna nameraná hod. intenzita	1607 voz/h / 1617 j.v./h
Minimálna nameraná hod. intenzita	1353 voz/h / 1365 j.v./h
Hlavná cesta	Moyzesova – Jánska
Vedľajšia cesta	- vjazd A - samostatný pruh na odbočenie vpravo - vjazd B - samostatný pruh na odbočenie vľavo Námestie A. Hlinku – Jánska - dopravné značenie P1 „Daj prednosť v jazde!“ - vjazd D - samostatný pruh na odbočenie vpravo - vjazd C - združený jazdný pruh pre všetky DP



Pohľad na križovatku

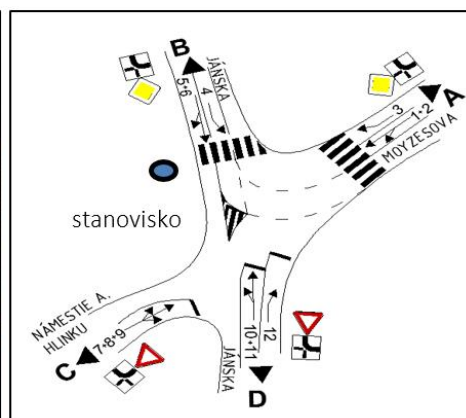
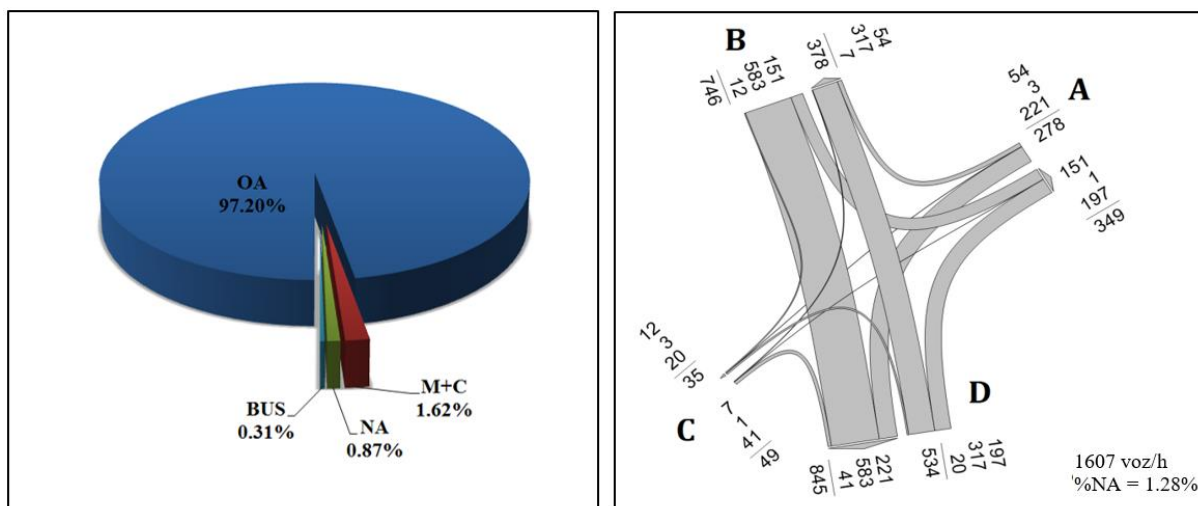


Schéma križovatky



Zloženie dopravy počas špičkovej hodiny Kartogram zaťaženia počas špičkovej hodiny

PRÍLOHA 3: PK2 - Mariánska, Záhradnícka a cesta III/1774

Poloha	Prievidza, obytná zóna
Dátumy prieskumov	7.6.2018 + 20.6.2018 + 21.6.2018 + 25.6.2018 + 26.6.2018
Dĺžka trvania prieskumov spolu	1072 min. / 17,7 hod
Špičková hodina	8:00 - 9:00
Maximálna nameraná hod. intenzita	1268 voz/h / 1298 j.v./h
Minimálna nameraná hod. intenzita	562 voz/h / 571 j.v./h
Hlavná cesta	Mariánska – 1774
Vedľajšia cesta	- vjazd A - samostatný pruh na odbočenie vpravo - vjazd B - samostatný pruh na odbočenie vľavo - Mariánska – Záhradnícka - dopravné značenie P1 „Daj prednosť v jazde!“ - vjazd D - samostatný pruh na odbočenie vľavo - vjazd C - združený jazdný pruh pre všetky DP



Pohľad na križovatku

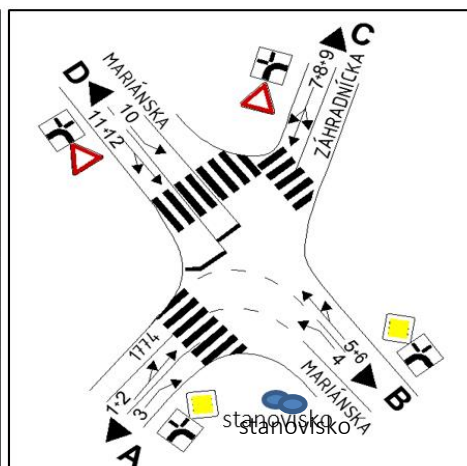
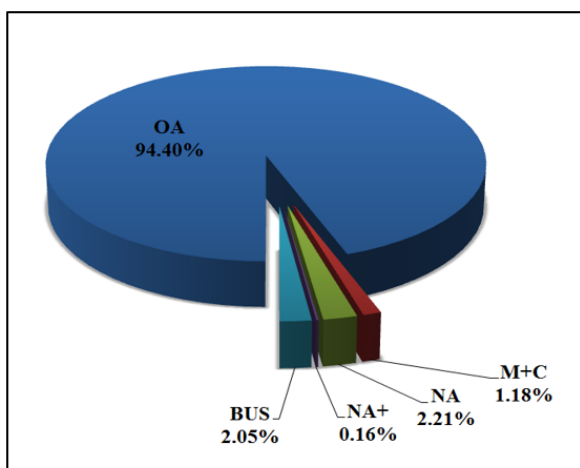
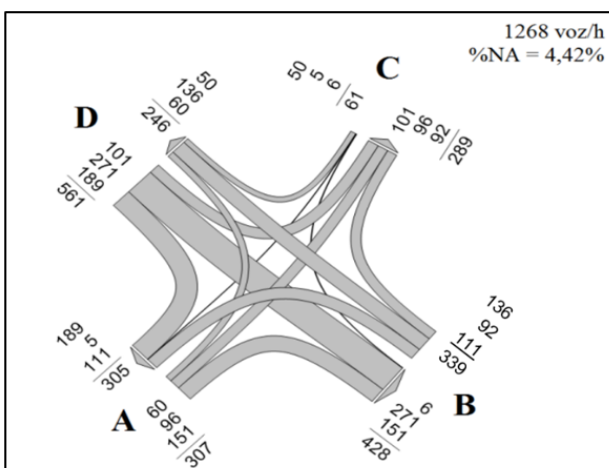


Schéma križovatky



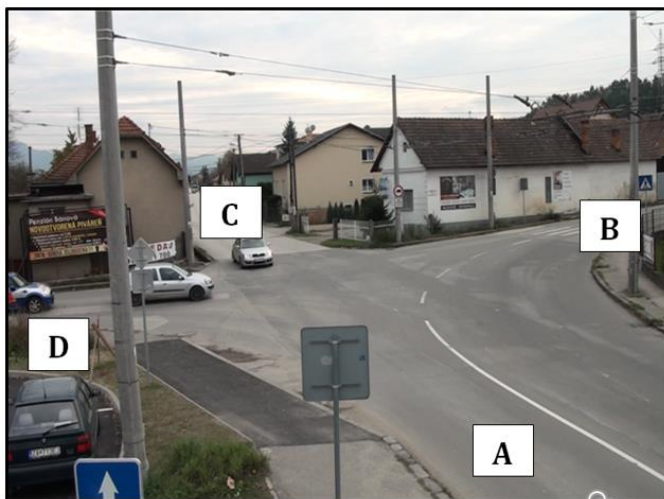
Zloženie dopravy počas špičkovej hodiny



Kartogram zaťaženia počas špičkovej hodiny

PRÍLOHA 4: PK3 - Hôrecká cesta – J. Závodského – Žitná

Poloha	Žilina, obytná zóna
Dátumy prieskumov	27.10.2016 + 30.5.2018 + 4.6.2018 + 5.6.2018
Dĺžka trvania prieskumov spolu	886 min. / 14,8 hod.
Špičková hodina	8:15 – 9:15
Maximálna nameraná hod. intenzita	1559 voz/h / 1623 j.v./h
Minimálna nameraná hod. intenzita	996 voz/h / 1037 j.v./h
Hlavná cesta	Juraja Závodského – Hôrecká cesta - vjazd A a B - združené jazdné pruhy Žitná – Závodského - dopravné značenie P2 „Stoj, daj prednosť v jazde!“
Vedľajšia cesta	- vjazd C a D - združené jazdné pruhy na vjazde - vjazdu D - rozšírenie - vjazd C - zlý rozhľad na vjazd B



Pohľad na križovatku

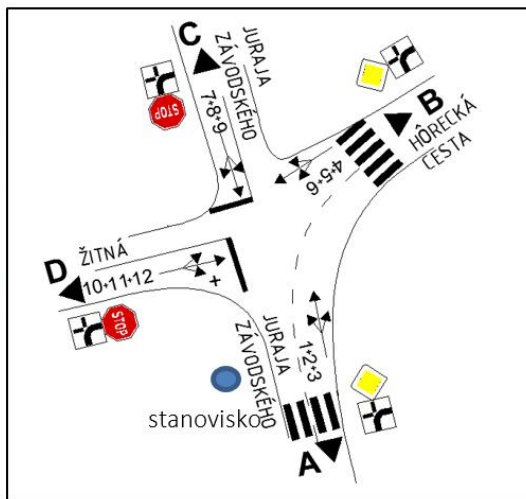
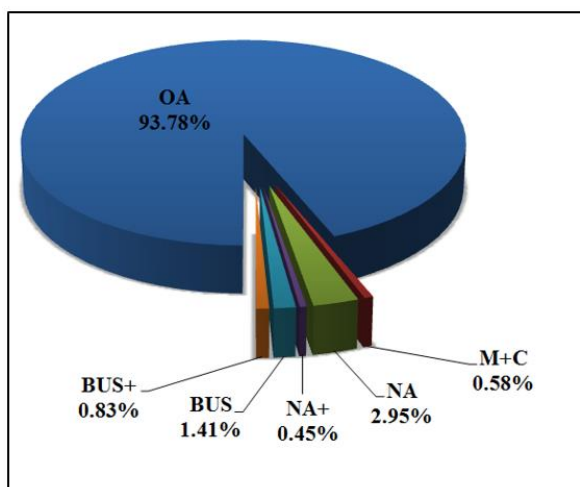
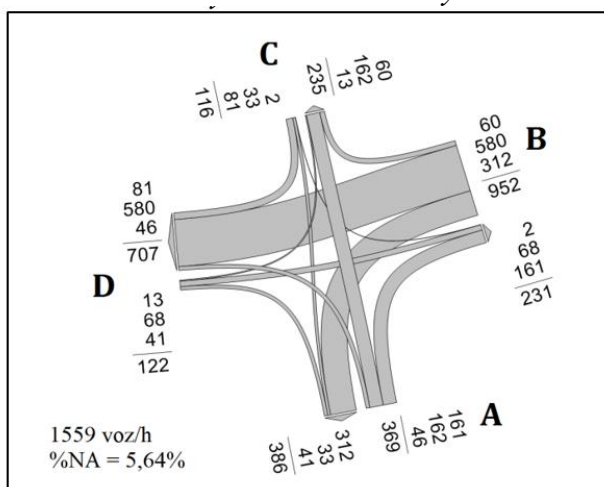


Schéma križovatky



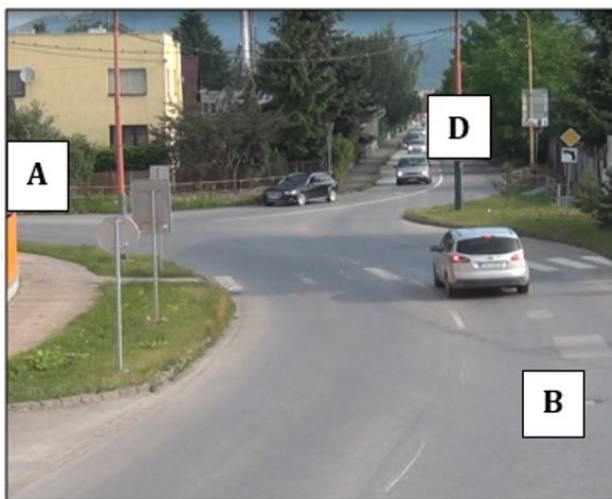
Zloženie dopravy počas špičkovej hodiny



Kartogram zaťaženia počas špičkovej hodiny

PRÍLOHA 5: StK1.1 - Žitná – Škultétyho

Poloha	Žilina, priemyselno-obytná zóna
Dátumy prieskumov	25.5.2018 + 28.5.2018 + 6.6.2018 + 11., 12., 13.9.2018
Dĺžka trvania prieskumov spolu	1053 min. / 17,55 hod
Špičková hodina	8:15-9:15
Maximálna nameraná hod. intenzita	1488 voz/h / 1533 j.v./h
Minimálna nameraná hod. intenzita	918 voz/h / 943 j.v./h
Hlavná cesta	Žitná
	- vjazd A a B - združené jazdné pruhy
	Škultétyho
	- dopravné značenie P1 „Daj prednosť v jazde!“
Vedľajšia cesta	- vjazd D - združené jazdné pruhy, rozšírený vjazd



Pohľad na križovatku

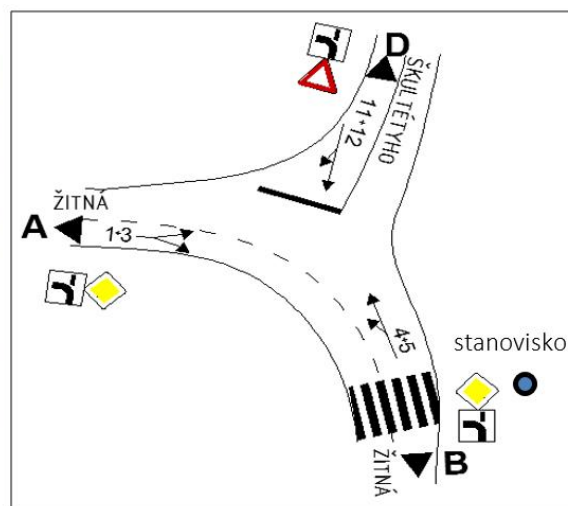
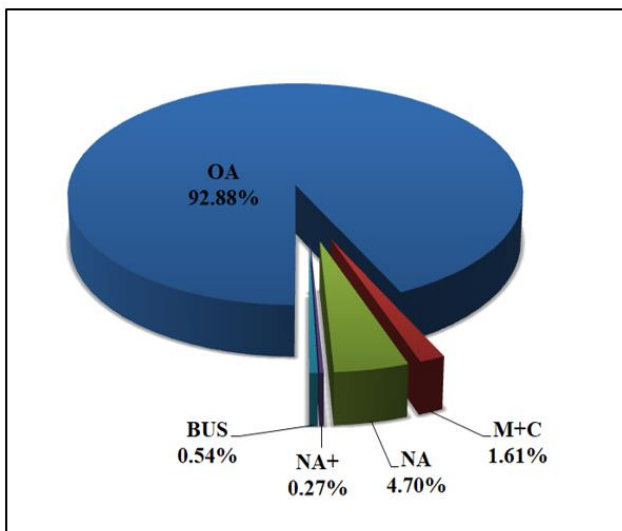
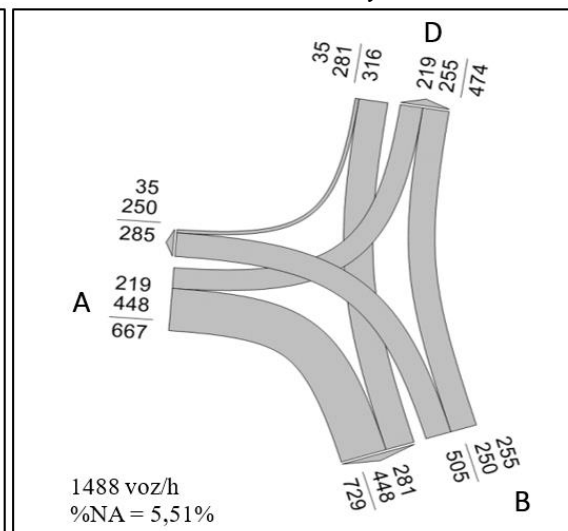


Schéma križovatky



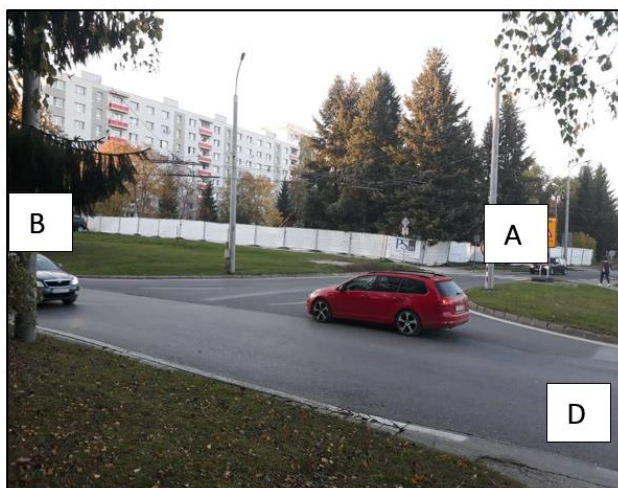
Zloženie dopravy počas špičkovej hodiny



Kartogram zaťaženia počas špičkovej hodiny

PRÍLOHA 6: StK1.2 - Centrálna – A. Rudnaya

Poloha	Žilina, obytná zóna
Dátumy prieskumov	7.11.2018 + 11.5.2018 + 14.5.2018 + 22.5.2018 + 23.5.2018
Dĺžka trvania prieskumov spolu	825 min. / 13,75 hod
Špičková hodina	15:30-16:30
Maximálna nameraná hod. intenzita	1349 voz/h / 1364 j.v./h
Minimálna nameraná hod. intenzita	959 voz/h / 972 j.v./h
Hlavná cesta	Centrálna – Alexandra Rudnaya
	- vjazd A a B - združené jazdné pruhy
	Centrálna
Vedľajšia cesta	- dopravné značenie P1 „Daj prednosť v jazde!“
	- vjazd D - združené jazdné pruhy



Pohľad na križovatku

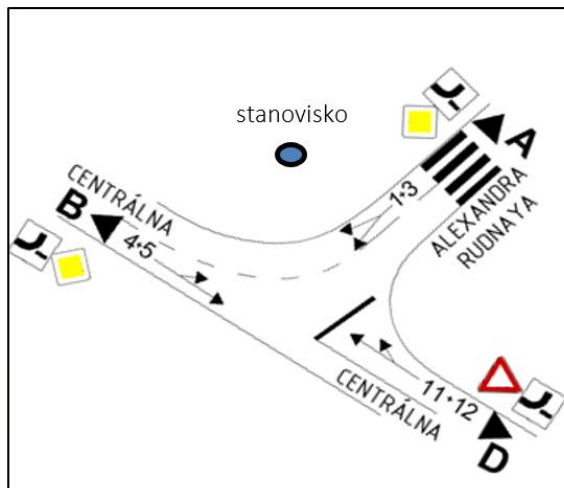
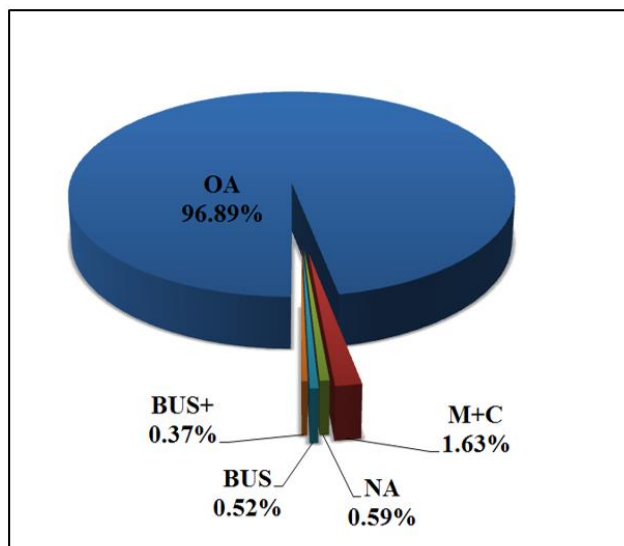
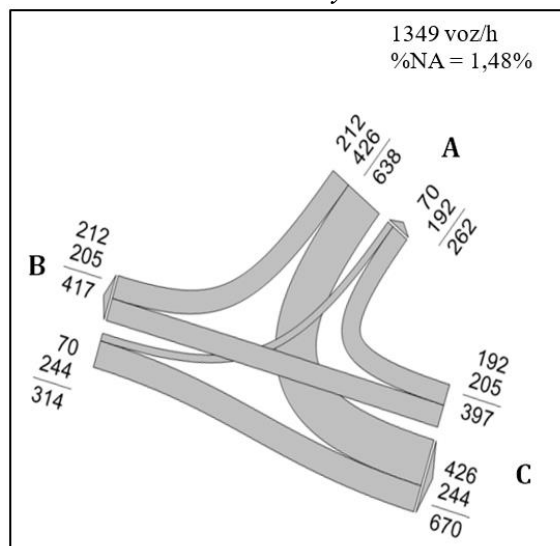


Schéma križovatky



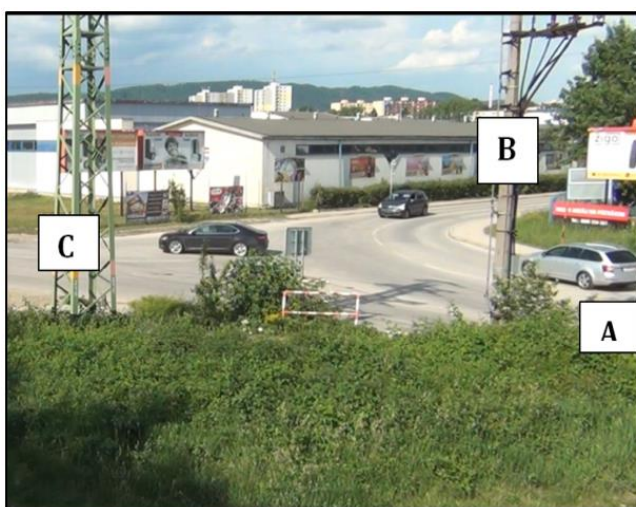
Zloženie dopravy počas špičkovej hodiny



Kartogram zaťaženia počas špičkovej hodiny

PRÍLOHA 7: StK2.1 - Kamenná – Bánovská cesta

Poloha	Žilina, priemyselná zóna
Dátumy prieskumov	23.5.2018 + 24.5.2018 + 5.6.2018
Dĺžka trvania prieskumov spolu	311 min. / 5,2 hod
Špičková hodina	14:45 – 15:45
Maximálna nameraná hod. intenzita	1609 voz/h / 1682 j.v./h
Minimálna nameraná hod. intenzita	1289 voz/h / 1337 j.v./h
Hlavná cesta	Kamenná - vjazd A a B - združené jazdné pruhy
Vedľajšia cesta	Bánovská cesta - dopravné značenie P1 „Daj prednosť v jazde!“ - vjazd C - združené jazdné pruhy, rozšírený vjazd



Pohľad na križovatku

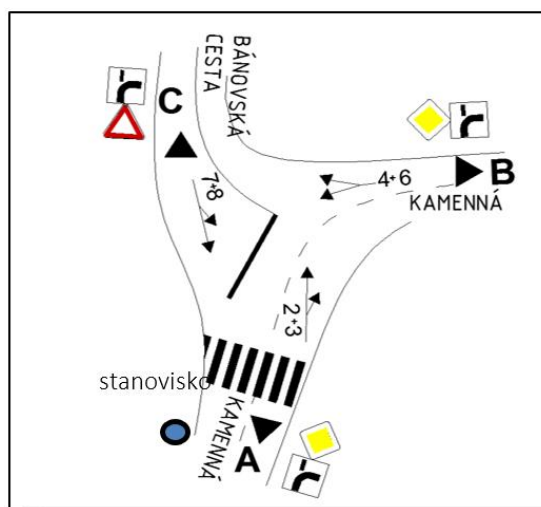
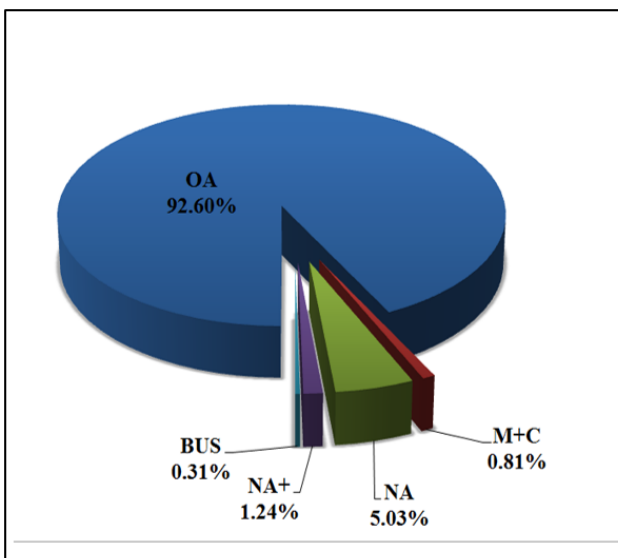
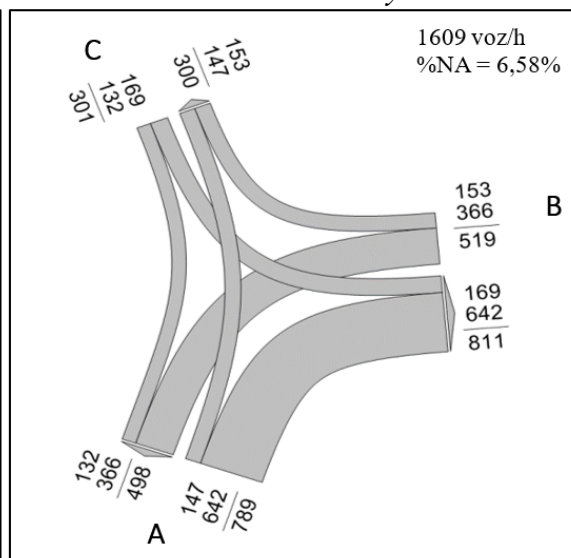


Schéma križovatky



Zloženie dopravy počas špičkovej hodiny



Kartogram zaťaženia počas špičkovej hodiny

PRÍLOHA 8: StK2.2 - Partizánska – 29.augusta

Poloha	Bánska Bystrica, centrum obytná zóna
Dátumy prieskumov	12.9.2018 + 26.9.2018 + 27.9.2018
Dĺžka trvania prieskumov spolu	330 min / 5,5 hod.
Špičková hodina	14:00 – 15:00
Maximálna nameraná hod. intenzita	1265 voz/h / 1321 j.v./h
Minimálna nameraná hod. intenzita	1044 voz/h / 1107 j.v./h
Hlavná cesta	Partizánska cesta – 29.augusta
	- vjazd A - samostatný pruh na odbočenie vpravo
	- vjazd B - samostatný pruh na odbočenie vľavo
	Partizánska cesta
	- dopravné značenie P1 „Daj prednosť v jazde!“
	- vjazd C - samostatný pruh na odbočenie vľavo
Vedľajšia cesta	



Pohľad na križovatku

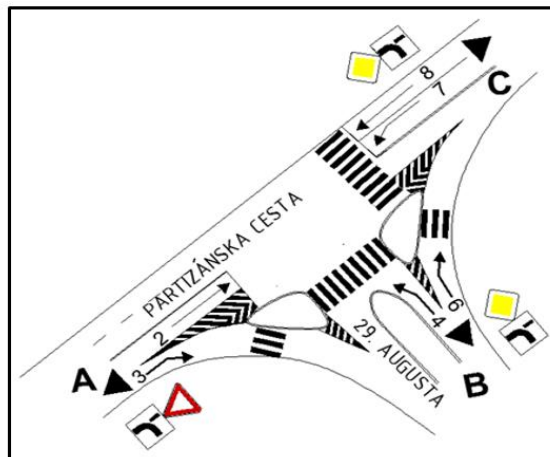
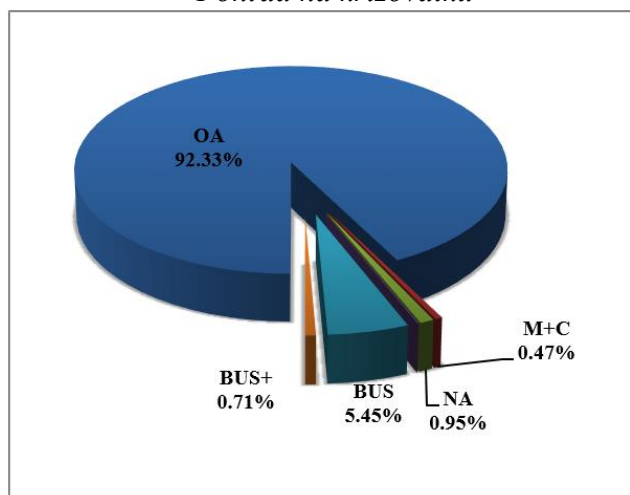
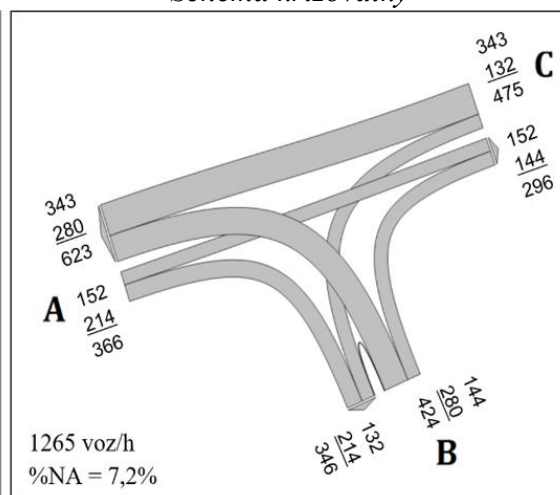


Schéma križovatky

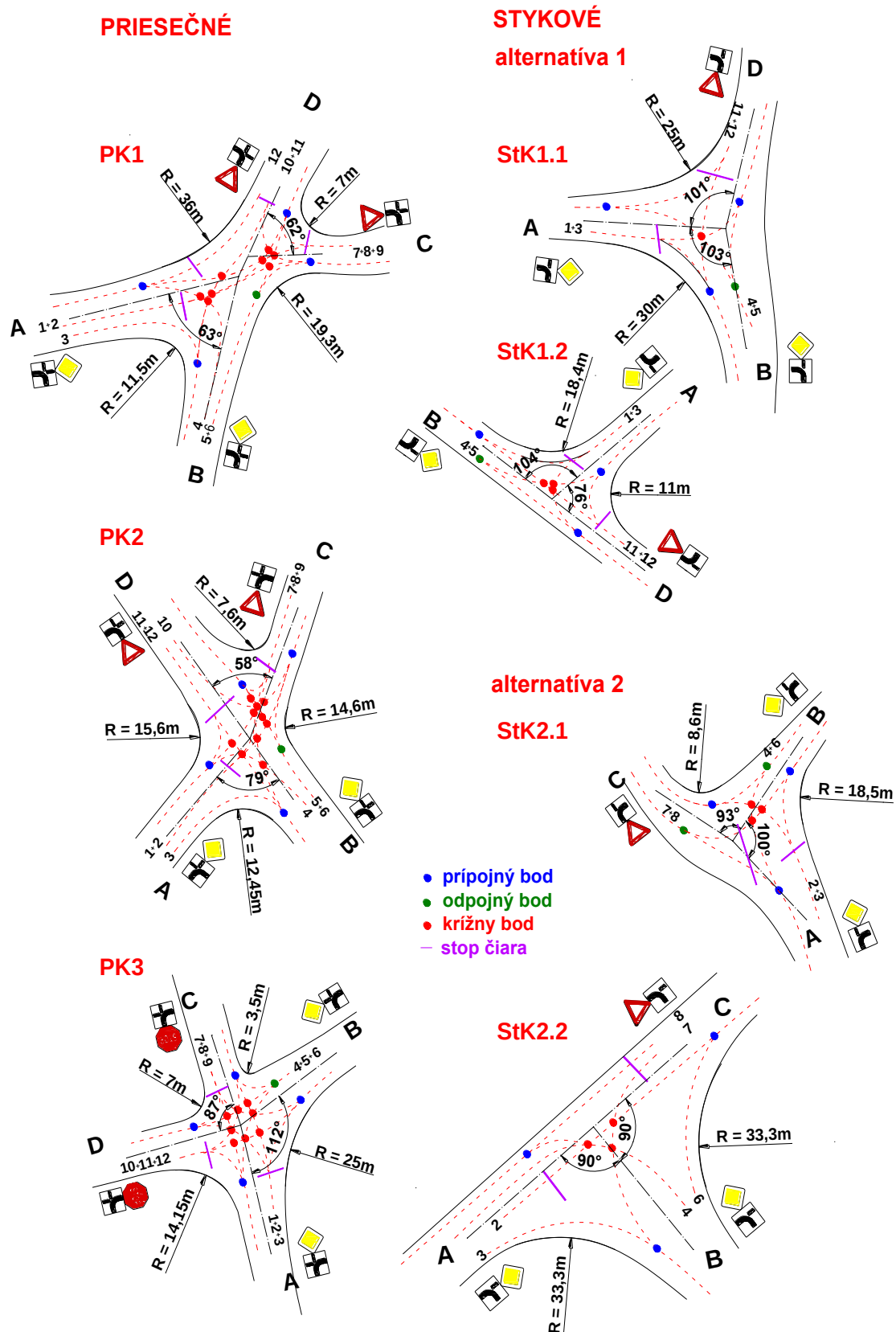


Zloženie dopravy počas špičkovej hodiny



Kartogram zaťaženia počas špičkovej hodiny

PRÍLOHA 9: Kolízne body na križovatkách



PRÍLOHA 10: Smerovanie DP na križovatkách mimo špičkovej hodiny*Smerovanie dopravných prúdov mimo špičkovej hodiny - križovatka PK1*

13:15-14:15			PK1 Jánska – Moyzesova- Námestie A. Hlinku							
Vstup	Smer	Číslo DP	OA	M+C	NA	NA+	BUS	BUS+	voz/h	j.v./h
A	A-B	3	60	1	1	0	0	0	62	62.5
	A-C	2	2	1	0	0	0	0	3	3
	A-D	1	208	1	3	0	0	0	212	213.5
B	B-A	4	107	0	0	0	0	0	107	107
	B-C	6	12	0	0	0	0	0	12	12
	B-D	5	489	4	1	0	1	0	495	496
C	C-A	8	3	0	0	0	0	0	3	3
	C-B	7	8	0	0	0	0	0	8	8
	C-D	9	35	0	0	0	0	0	35	35
D	D-A	12	175	6	5	0	0	0	186	188.5
	D-B	11	290	3	1	0	2	0	296	297.5
	D-C	10	17	0	0	0	0	0	17	17
SPOLU									1436	1443

Smerovanie dopravných prúdov mimo špičkovej hodiny - križovatka PK2

12:45-13:45			PK2 Mariánska – Záhradnícka – cesta III/1774							
Vstup	Smer	Číslo DP	OA	M+C	NA	NA+	BUS	BUS+	voz/h	j.v./h
A	A-B	3	117	2	2	0	3	0	124	126.5
	A-C	2	28	1	0	0	1	0	30	30.5
	A-D	1	86	0	2	0	3	0	91	93.5
B	B-A	4	112	0	1	0	5	0	118	121
	B-C	6	74	2	0	0	0	0	76	76
	B-D	5	245	2	3	0	2	0	252	254.5
C	C-A	8	11	2	0	0	0	0	13	13
	C-B	7	8	0	0	0	0	0	8	8
	C-D	9	58	0	0	0	0	0	58	58
D	D-A	12	120	0	4	0	0	0	124	126
	D-B	11	184	5	2	0	7	0	198	202.5
	D-C	10	68	1	0	0	0	0	69	69
SPOLU									1161	1179

Smerovanie dopravných prúdov mimo špičkovej hodiny - križovatka PK3

13:15-14:15			PK3 Hôrecká cesta – J. Závodského – Žitná							
Vstup	Smer	Číslo DP	OA	M+C	NA	NA+	BUS	BUS+	voz/h	j.v./h
A	A-B	3	196	3	3	1	6	5	214	227.5
	A-C	2	111	1	3	1	2	0	118	122
	A-D	1	39	0	2	0	1	0	42	43.5
B	B-A	4	32	1	1	0	0	0	34	34.5
	B-C	6	12	0	1	0	0	0	13	13.5
	B-D	5	64	0	2	0	3	0	69	71.5
C	C-A	8	115	3	5	0	0	0	123	125.5
	C-B	7	18	0	3	0	0	0	21	22.5
	C-D	9	160	2	5	0	6	6	179	193.5
D	D-A	12	42	1	1	0	0	0	44	44.5
	D-B	11	107	3	3	0	0	0	113	114.5
	D-C	10	25	1	0	0	0	0	26	26
SPOLU									996	1039

Návrh metodiky pre posúdenie kapacity neriadených križovatiek so zalomenou hlavnou cestou

Rozborová úloha RVT 2018

Smerovanie dopravných prúdov mimo špičkovej hodiny - križovatka StK 1.1

07:15-08:15			StK 1.1 Žitná - Škultétyho							
Vstup	Smer	Číslo DP	OA	M+C	NA	NA+	BUS	BUS+	voz/h	j.v./h
A	A-B	3	195	2	34	0	1	0	232	249.5
	A-D	1	64	0	14	0	0	0	78	85
B	B-A	4	249	8	31	2	0	0	290	308.5
	B-D	5	163	3	29	1	2	0	198	215
D	D-A	12	12	2	3	0	0	0	17	18.5
	D-B	11	157	0	42	4	2	0	205	233
SPOLU									1020	1110

Smerovanie dopravných prúdov mimo špičkovej hodiny - križovatka StK 1.2

13:30-14:30			StK 1.2 Centrálna – A. Rudnaya							
Vstup	Smer	Číslo DP	OA	M+C	NA	NA+	BUS	BUS+	voz/h	j.v./h
A	A-B	3	116	2	1	0	3	1	123	126.5
	A-D	1	240	13	1	0	1	0	255	256
B	B-A	4	49	1	2	0	3	3	58	65
	B-D	5	172	2	3	0	0	0	177	178.5
D	D-A	12	156	8	3	0	0	0	167	168.5
	D-B	11	212	0	2	0	0	0	214	215
SPOLU									994	1010

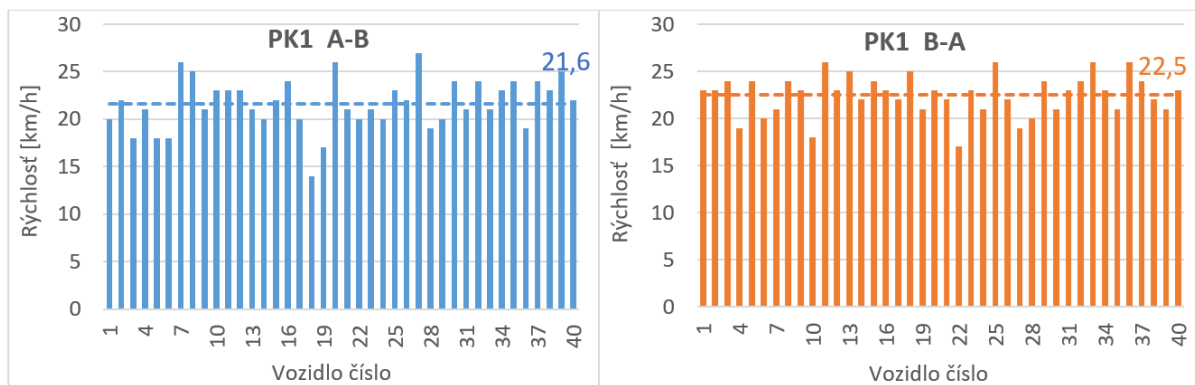
Smerovanie dopravných prúdov mimo špičkovej hodiny - križovatka StK 2.1

14:45-15:45			StK 2.1 Bánovská cesta - Kamenná							
Vstup	Smer	Číslo DP	OA	M+C	NA	NA+	BUS	BUS+	voz/h	j.v./h
A	A-B	3	446	5	20	7	0	0	478	498,5
	A-C	2	89	1	0	1	2	0	93	95,5
B	B-A	4	198	4	23	3	0	0	228	244
	B-C	6	180	0	0	1	1	0	182	184
C	C-A	8	107	3	7	2	1	0	120	127
	C-B	7	187	1	0	0	0	0	188	188
SPOLU									1289	1337

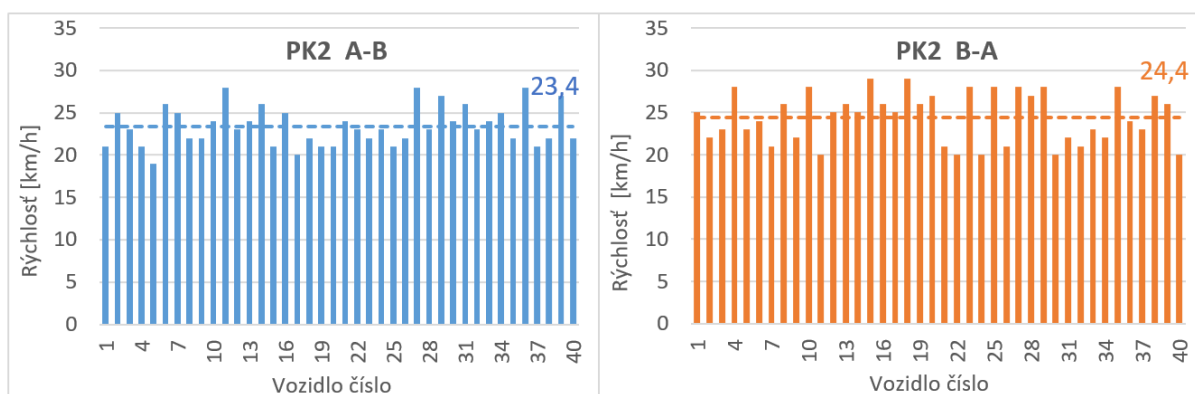
Smerovanie dopravných prúdov mimo špičkovej hodiny - križovatka StK 2.2

15:00-16:00			StK 2.2 Partizánska cesta-29.augusta							
Vstup	Smer	Číslo DP	OA	M+C	NA	NA+	BUS	BUS+	voz/h	j.v./h
A	A-B	3	145	3	0	0	17	2	167	178.5
	A-C	2	98	1	1	0	8	2	110	117.5
B	B-A	4	214	1	0	0	15	1	231	240
	B-C	6	97	0	1	0	9	0	107	112
C	C-A	8	277	5	2	0	8	1	293	299.5
	C-B	7	91	3	0	0	10	0	104	109
SPOLU									1012	1057

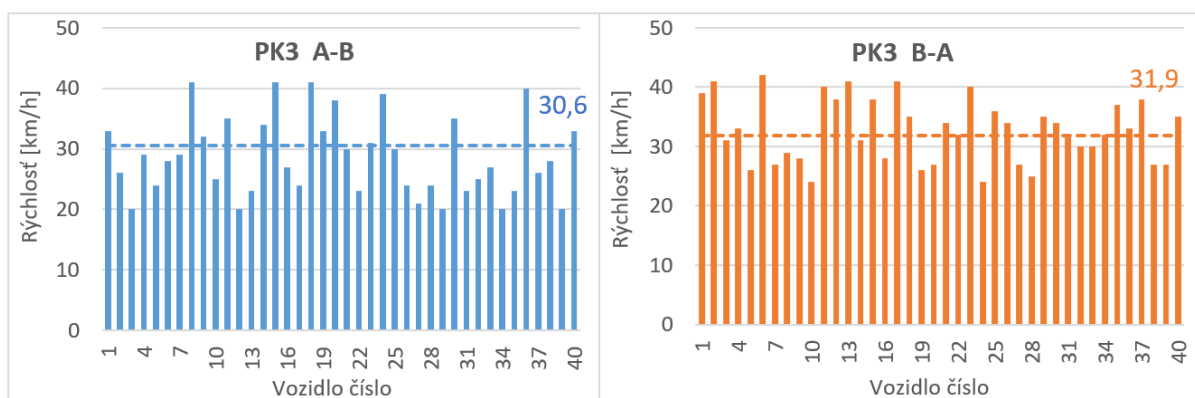
PRÍLOHA 11: Rýchlosti vozidiel namerané v smerovom oblúku hlavnej cesty



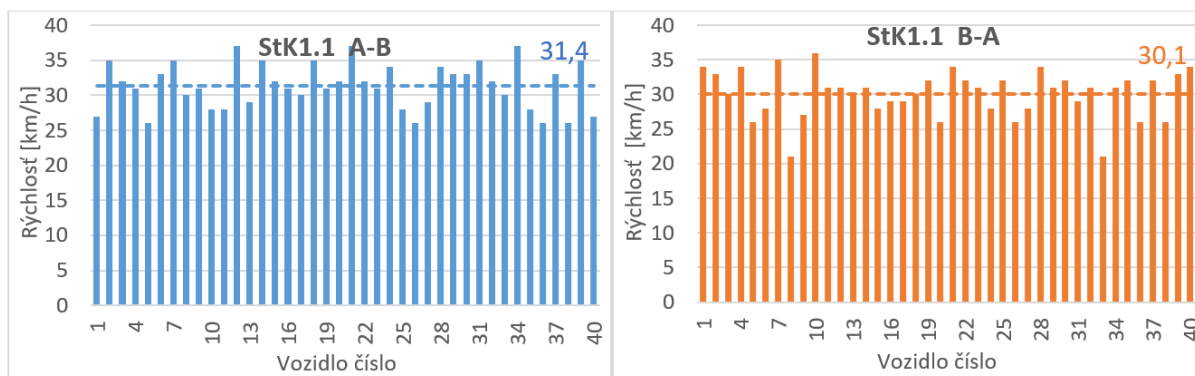
Rýchlosti vozidiel namerané v smere hlavnej cesty na križovatke PK1



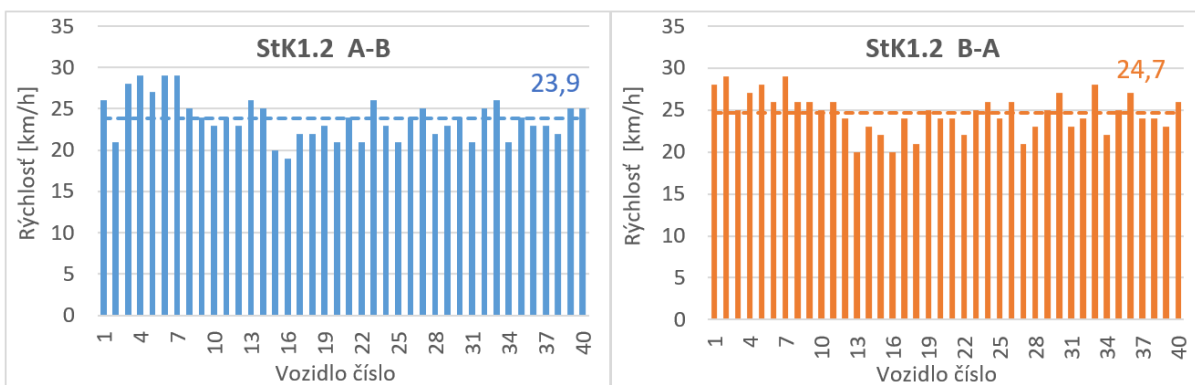
Rýchlosti vozidiel namerané v smere hlavnej cesty na križovatke PK2



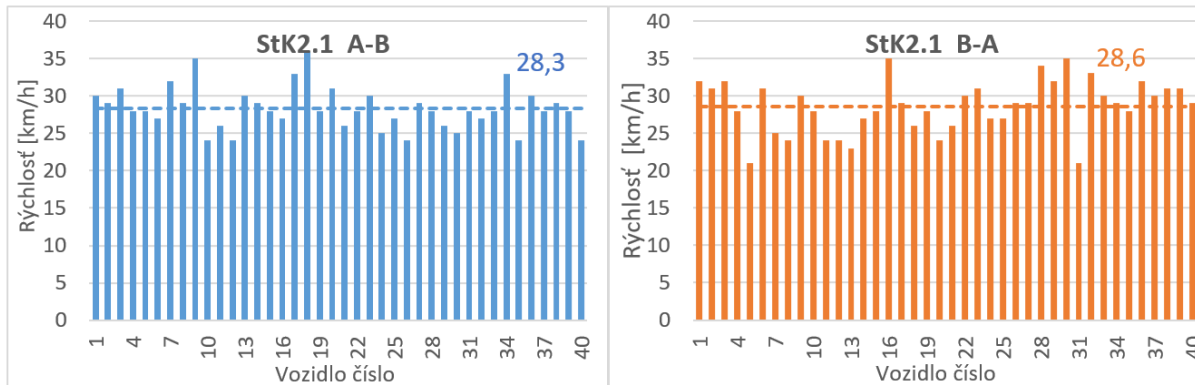
Rýchlosti vozidiel namerané v smere hlavnej cesty na križovatke PK3



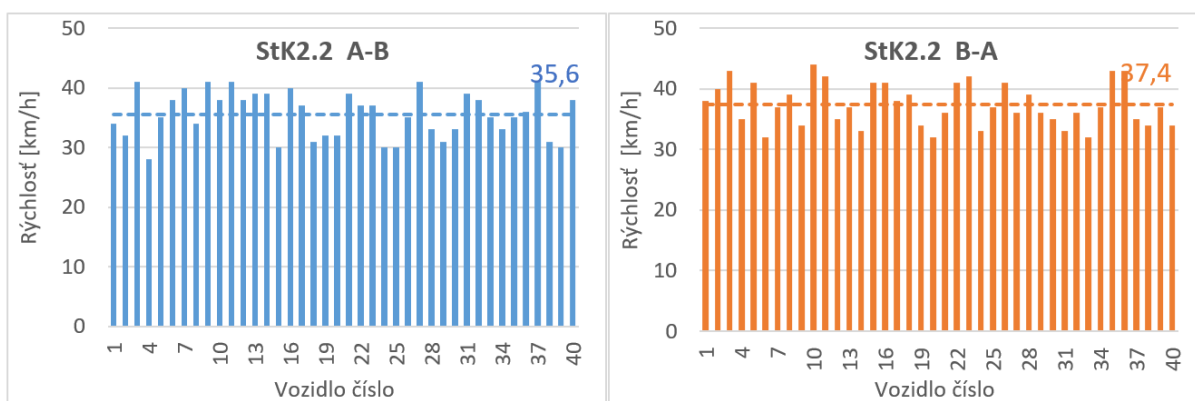
Rýchlosti vozidiel namerané v smere hlavnej cesty na križovatke StK1.1



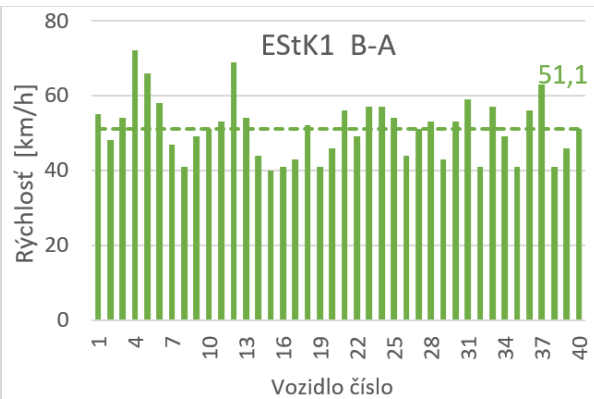
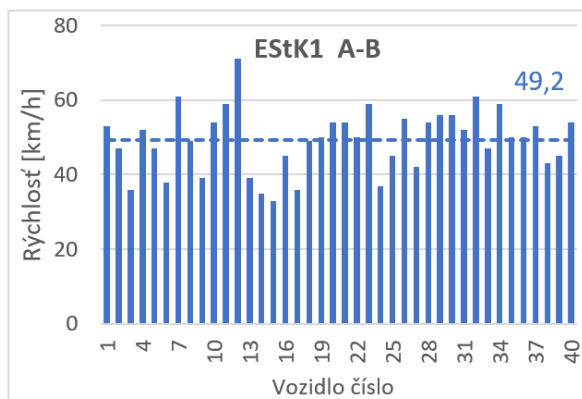
Rýchlosti vozidiel namerané v smere hlavnej cesty na križovatke StK1.2



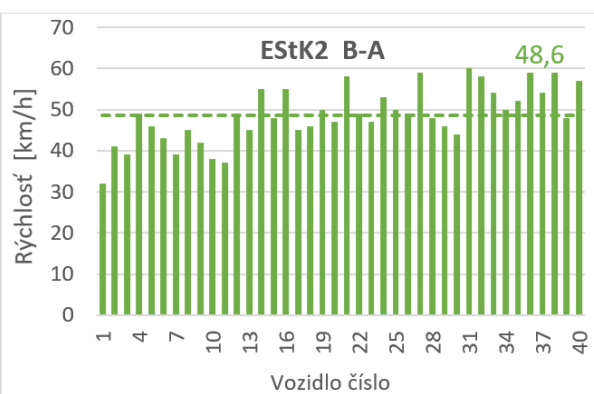
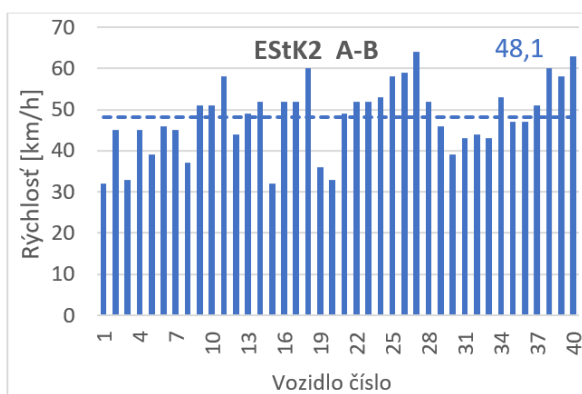
Rýchlosti vozidiel namerané v smere hlavnej cesty na križovatke StK2.1



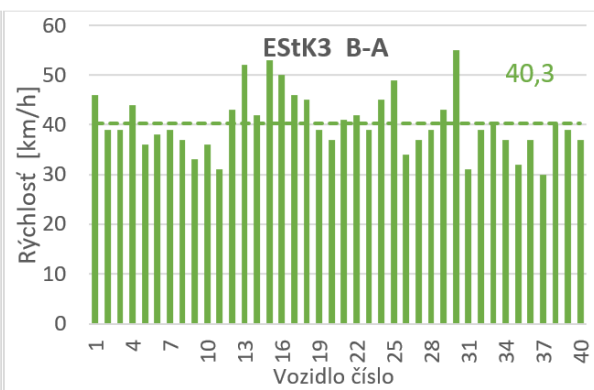
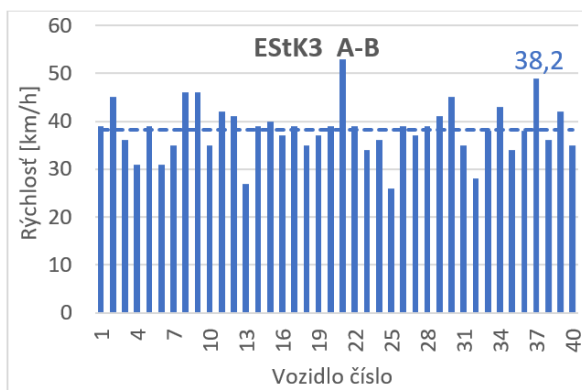
Rýchlosti vozidiel namerané v smere hlavnej cesty na križovatke StK2.2



Rýchlosti vozidiel namerané v smere hlavnej cesty na križovatke EStK1



Rýchlosti vozidiel namerané v smere hlavnej cesty na križovatke EStK2



Rýchlosti vozidiel namerané v smere hlavnej cesty na križovatke EStK3

14. LITERATÚRA

- [1] Adebisi, O.: Driver Gap Acceptance Phenomena. *Journal of Transportation Engineering*. ASCE, 108(6). November 1982, p. 677-688.
- [2] Akçelik, R., Troutbeck, R.: Implementation of the Australian roundabout analysis method in SIDRA. In Brannolte (1991), p. 17–34, 1991.
- [3] Akçelik, R.: Issues in performance assessment of sign-controlled intersections. Paper presented at the 25th ARRB Conference, Perth, Australia, Sep 2012.
- [4] Akçelik, R.: A review of Gap-Acceptance Capacity Models. 29th Conference of Australian Institutes of Transport research (CAITR2007). University of South Australia, Adelaide, Australia, 5-7 December 2007.
- [5] Amin, H. J., Maurya, A. K. (2015): A review of critical gap estimation approaches at uncontrolled intersection in case of heterogeneous traffic conditions. *The Journal of Transport Literature*, 9(3), 5-9, July, 2015.
- [6] Bartoš, L –EDIP, s.r.o.: Hodnoty kritického časového odstupu na neriadenej úrovňovej križovatke, *Silniční obzor*, 5/2009, ISSN 0322-7154 47 320, s. 119-123, 2009.
- [7] Bartoš, L., Martalos, J.: Závislost' hodnoty kritického časového odstupu na stupni vyčerpání kapacity neřízené úrovňové křižovatky, *Dopravní inženýrství*, 02/2010, ISSN 1801-8890, s. 2-6.
- [8] Brilon, V., Grossmann, M.: Aktualisiertes Berechnungsverfahren für Knotenpunkte ohne Lichtsignalanlagen. Forschungsbericht (Aktualizovaná metóda výpočtu križovatiek bez svetelnej signalizácie, Výskumná správa), Ruhr Universität, Bochum, Germany, 1990.
- [9] Brilon, W., König, R., Troutbeck, R. (1997): Useful Estimation Procedures for Critical Gaps. *Proceedings of the 3rd International Symposium on Intersections without Traffic Signals*, July 21-23, 1997 (pp. 71-87). Portland Oregon, U.S.A: University of Idaho, National Center for Advanced Transportation Technology, 1997.
- [10] Brilon, W., Wu, N.: Unsignalized Intersections – A Third Method for Analysis. In.: *Proceedings of the 15th International Symposium on Transportation and Traffic Theory*, Pergamon-Elsevier Publications, Adelaide, Australia, p. 157 –178, 2002.
- [11] ČSN 73 6102, ed. 2 Projektování křižovatek na pozemních komunikacích, 2012
- [12] Dowling, Skabardonis, Alexiadis: Guidelines for applying traffic microsimulation modeling software. *Traffic analysis toolbox: volume III*, FHWA-HRT-04-040. McLean, VA: Federal Highway Administration
- [13] Gavulová, A.: Vplyv stavebného usporiadania neriadených križovatiek na ich kapacitu, *Habilitačná práca*. Stavebná fakulta, Žilinská univerzita, Žilina, 2013.
- [14] Gavulová, A.: Vplyv aktualizácie HBS 2001 na kapacitné posúdenie neriadených križovatiek. *Dopravní inženýrství*, č. 01/12, Vedecká časť p. 2-6. ISSN 1801-8890, 2012.
- [15] Gavulová, A.: Use of statistical techniques for critical gaps estimation. In. *12th International Conference RelStat'12*. 17.-20. October 2012, Riga, Latvia, CD nosič ISBN 978-9984-818-49-8, p. 20-26, 2012.

- [16] Guo, R. (2010): Estimating Critical Gap of Roundabouts by Different Methods. Proceedings of the 6th Advanced Forum on Transportation of China 2010. October 16, 2010 (pp. 84-89). Beijing, China: Curran Associates, Inc.2011. ISBN: 978-1-84919-316-0, 2010.
- [17] Harders, J.: Die Leistungsfähigkeit nicht signalgeregelter städtischer Verkehrsknoten (Kapacita mestských neriadených križovatiek). Série časopisu "Strassenbau und Strassenverkehrstechnik", Vol. 76, Bonn, 1968.
- [18] HBS 2015, Handbuch für die Bemessung von Strassenverkehrsanlagen, FSGV Verlag GmbH, Köln, 2015.
- [19] HCM 2016, Highway Capacity Manual, Transportation Research Board, Washington DC, 2016.
- [20] Huszárová, K.: Kapacitné výpočty miestnych komunikácií. Dizertačná práca, Stavebná fakulta, Žilinská univerzita, Žilina 2011.
- [21] Kimber, R. M., Hollis, E. M.: Traffic queues and delays at road junctions, TRRL LR 909, 1979.
- [22] Kimber, R. M., Hollis, E. M.: Traffic queues and delays at road junctions, TRRL LR 909, 1979.
- [23] Kimber, R. M., Coombe, R. D.: The Capacity of Major/Minor Priority Junctions, Transport and Road Research Laboratory, Supplementary Report 582, Crowthorne, Berkshire, 1980.
- [24] Law, A. M.: *Guidelines for the use of Microsimulation Software*, Highways Agency, 2007.
- [25] Luttinen, R. T.: Capacity and Level of Service at Finnish Unsignalized Intersections. Helsinki 2004, Finnish Road Administration, Finnra Reports 1/2004, ISBN 951-803-180-0, ISSN 1457-9871, TIEH 3200849E, 2004.
- [26] Medelská, V., Jirava, P., Nop, D., Rojan, J.: Dopravné inžinierstvo. I. vydanie 05/92, vydavateľstvo Alfa, Bratislava. ISBN 80-05-00737-X, 1992.
- [27] Novák, J. Pracovní postup tvorby dopravní mikrosimulace. Silničný obzor – Road Review, č. 10-2017, s.270 – 273, MK ČR E 4707, ISSN 0322-7154
- [28] Raff, M. S., & Hart, J. W. : A Volume Warrant for Urban Stop Signs. Eno Foundation for Highway Traffic Control. Saugatuck, Connecticut, 1950.
- [29] RVS 03.05.12 Strassenplanung, Knoten, Planung, Dimensionierung, Gestaltung. 03/2007.
- [30] Siegloch, W.: Die Leistungsermittlung an Knotenpunkten ohne Lichtsignalsteuerung (Výpočet kapacity križovatiek bez svetelnej signalizácie). Série časopisu "Strassenbau und Strassenverkehrstechnik", Vol. 154, 1973.
- [31] Slabý, P.. Faktory ovlivňující kapacitu neřízené křižovatky, Silniční obzor, 1/2007, ISSN 0322-7154 47 320, s. 16-17, 2007.
- [32] STN 73 6102 Projektovanie križovatiek na pozemných komunikáciách, 2004.
- [33] TP 102 Výpočet kapacit pozemných komunikácií, MDPaT SR, 2015.
- [34] TP 188, Posuzování kapacity neřízených úrovnových křižovatek, EDIP s.r.o., 2011, 1. vydání.
- [35] Tian, Z., Troutbeck, R., Kyte, M., Brilon, W., Vandehey, M., Kittelson, W., Robinson, B.: A further Investigation on Critical Gap and Follow-Up Time. Transportation research circular E-C108. Zborník z: 4th International Symposium on Highway Capacity. Maui, Hawai, ISSN 0097-8515, p. 397 – 408, 2000.

- [36] Tian, Z., Vandehey, M., Robinson, B. W., Kittelson, W., Kyte, M., Troutbeck, R., Brilon, W., Wu N.: Implementing the maximum likelihood methodology to measure a driver's critical gap. *Transportation Research Part A* 33, p. 187-197, 1999.
- [37] Transportation Research Board (TRB): NCHRP Web Doc 5 Capacity and Level of Service at Unsignalized Intersections: Final Report Volume 1 – Two-Way Stop-Controlled Intersections, 1996.
- [38] Troutbeck, R. J.: Estimating the Critical Acceptance Gap from Traffic Movements. *Physical Infrastructure Center Research Report 92-5*. Queensland University of Technology, Brisbane, Australia, 1992.
- [39] Troutbeck, R. J., Brilon, W.: Unsignalized intersection theory, Kapitola 8, Správa FHWA, jún 1992.
- [40] Vasconcelos, A. L. P, Seco, Á. J. M. S, Silva, A. M. C. B.: Comparison of procedures to estimate critical headways at roundabouts, *Promet - Traffic&Transportation*, Vol. 25, 2013, No. 1, 43-53, 2013.
- [41] Weitnert, A. (2000): Estimation of Critical Gaps and Follow-up Times at Rural Unsignalized Intersection in Germany, *Proceeding of the 4th International Symposium on Highway Capacity*. June 27–July 1, 2000 (pp. 409 – 421). Maui, Hawaii: Transport Research Board, 2000.
- [42] Wu, N.: Impedance Effects for Streams of Higher Ranks at Unsignalized Intersections. *Proceedings of the Third International Symposium on Highway Capacity*, Copenhagen, Denmark, June, 1998.
- [43] Wu, N.: Capacity of Shared/Short Lanes at Unsignalized Intersections. *Transportation Research*, 33A, 1999.
- [44] Wu, N.: Determination of Capacity at All-Way Stop-Controlled (AWSC) Intersections. *Transportation Research Record* 1710, 2000.
- [45] Wu, N.: Capacity at All-Way Stop-Controlled and First-In-First-Out Intersections. In: Brilon (ed.): *Proceedings of the 4th International Symposium on Highway Capacity*, Hawaii, *Transportation Research Circular E-C018*, 2000.
- [46] Wu, N.: A Universal Procedure for Capacity Determination at Unsignalized (prioritycontrolled) Intersections. *Transportation Research*, B35, Issue 3, 2001.
- [47] Wu, N.: A new model for estimating critical gap and its distribution at unsignalized intersections based on the equilibrium of probabilities. *Proceedings of the 5rd International Symposium on Highway Capacity and Quality of Services*. July 25-29, 2006. Yokohama, Japan: Japan Society of Traffic Engineers, 2006. ISBN 4905990610, 2006.
- [48] Wu, N.: ACF Procedure for TWSC Intersections - Extensions and Modifications, In.: *ICCTP 2010: Integrated transportation Systems, Green-Intelligent-Reliable*, 4-8. August, 2010, ASCE, Beijing, China, ISBN 978-0-7844-1127-8, p. 1963-1972, 2010.
- [49] Wu N., Brilon, W.: Modeling Impedance Effects of Left Turners from Major Streets with Shared-Short Lanes at TWSC intersections. *Transportation Research Record* 2173, pp. 11-19, TRB, National Academies, Washington, D.C., USA, 2010. 11-19, TRB, National Academies, Washington, D.C., USA, 2010.