

UNIVERZITA PARDUBICE
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

DIZERTAČNÍ PRÁCE

2015

Ing. Pavel Lopour

Univerzita Pardubice

Dopravní fakulta Jana Pernera

Matematický model bezpečnosti vybraného typu křižovatky v závislosti
na dispozičním řešení

Ing. Pavel Lopour

Dizertační práce

2015

PROHLÁŠENÍ AUTORA

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 1. 4. 2015

Ing. Pavel Lopour

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji panu doc. Ing. Vladimíru Doleželovi, CSc. a panu doc. Ing. Petru Slabému, CSc. za odborné vedení dizertační práce, cenné rady a názory.

Za odbornou pomoc při vypracování a cenné rady také dále děkuji Ing. Petru Novotnému, Ph.D. a za pomoc při experimentálním měření charakteristik průjezdu vozidel křižovatkou Ing. Janu Pokornému, Ph.D.

V neposlední řadě patří můj dík mé rodině a přátelům, kteří mě v průběhu let významně podporovali.

ANOTACE

Dizertační práce se zabývá matematickým modelováním bezpečnosti dopravy v závislosti na dispozičním řešení – typů křižovatek na místních komunikacích za použití bezpečnostních ukazatelů teorie konfliktních situací a dopravní simulace.

Práce obsahuje rozbor použitých TCT metod zjišťování závažnosti konfliktů a potenciálních kolizí a upravenou aplikaci hodnocení nepřímých bezpečnostních ukazatelů získaných z dopravní simulace (PTV Vissim a SSAM). Dopravní simulace a hodnocení nepřímých ukazatelů bezpečnosti bylo provedeno na teoretických modelech nejběžnějších typů křižovatek v ČR (styková s/bez odbočovacího pruhu, průsečná s/bez odbočovacího pruhu, malá okružní křižovatka a velká okružní křižovatka s jedním pruhem na vjezdu i na okružním pásu). Zvolené typy křižovatek jsou podrobeny hodnocení bezpečnosti vybranými metodami s doporučením pro další použití. Pro ověření poznatků je provedena případová studie hodnocení variantního návrhu okružní křižovatky.

V rámci vyhodnocení výsledků bylo navrženo několik potřebných výzkumných úkolů a doporučení pro vývojáře používaného softwaru.

KLÍČOVÁ SLOVA

bezpečnost, konfliktní situace, nehoda, dopravní simulace, nepřímé ukazatele, kritická mezera, křižovatka, závažnost, dopravní proud

TITLE

Mathematical model of intersection traffic safety according to design layout

ANNOTATION

This dissertation – thesis deals with mathematical model of traffic safety according to design layout – types of local intersections using safety indicators of Traffic Conflict Theory and traffic simulation.

The thesis contains an analysis of the TCT method to determine the severity of traffic conflicts and potential collisions and modified application evaluation of surrogate safety measures obtained from the traffic simulation (PTV VISSIM and SSAM).

The traffic simulations and the assessments of surrogate safety measures were performed on theoretical models of the most common types of intersections in Czech Republic (T junction with / without left turning lane, direct intersection with / without left turning lane, small roundabout and large roundabout with one lane at the entrance and the circular lane).

The intersections are subjected to safety evaluation by selected methods with recommendations for further use. The case study of variant roundabout design was performed to verify the findings about traffic safety evaluation.

Within the evaluation results was proposed several necessary research tasks and recommendations for the software developer (PTV VISSIM and SSAM).

KEYWORDS

road safety, traffic conflict, accident – collision, traffic simulation, surrogate safety indicators (measures), time gap, intersection, severity, traffic flow

OBSAH

0. ÚVOD DO PROBLEMATIKY BEZPEČNOSTI SILNIČNÍHO PROVOZU	25
0.1. Národní strategie bezpečnosti silničního provozu	25
0.2. Mezinárodní dokumenty bezpečnosti silničního provozu	27
0.2.1. Bílá kniha.....	27
0.2.2. Vize nula (Vision ZERO)	28
1. ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU HODNOCENÍ BEZPEČNOSTI SILNIČNÍHO PROVOZU	31
1.1. Vývoj výzkumu hodnocení bezpečnosti silničního provozu	31
1.2. Hodnocení bezpečnosti silničního provozu	34
1.2.1. Tradiční přístup analýzy nehodových záznamů	34
1.2.2. Alternativní přístup analýzy proximálních bezpečnostních ukazatelů.....	35
1.3. Bezpečnostní kontinuum silničního provozu	36
1.4. Modelování bezpečnosti silničního provozu	38
1.4.1. Popisné modely bezpečnosti – metody hodnotících koeficientů	38
1.4.2. Prediktivní modely pro agregovaná data a nehody (analytické makromodely)	42
1.5. Přístupy modelování bezpečnosti založené na dopravní simulaci	52
1.5.1. Způsoby dělení simulačních modelů.....	54
1.5.2. Simulační submodely	54
1.6. Teorie konfliktních situací a význam proximálních bezpečnostních ukazatelů	55
1.6.1. Představení teorie konfliktních situací	56
1.6.2. Definování kritérií proximálních bezpečnostních ukazatelů	67
1.6.3. Faktory ovlivňující bezpečnost při určování bezpečnostních ukazatelů	68
1.6.4. Analytické hodnocení trajektorií pomocí SSAM (Surrogate Safety Assessment Model).....	68
1.7. Přehled metod sledování teorie konfliktních situací v ČR	76
1.7.1. Metoda vyvíjená na FSv ČVUT	77
1.7.2. Metoda vyvíjená na VŠB-TU Ostrava	80
1.7.3. Sjednocená metodika sledování konfliktních situací v ČR	81
1.8. Shrnutí současného stavu	85
2. CÍLE DIZERTAČNÍ PRÁCE.....	91
3. METODY ZPRACOVÁNÍ A ZPŮSOB ŘEŠENÍ	93
3.1. Zásady návrhu bezpečné křižovatky	94
3.2. Zkoumané faktory ovlivňující bezpečnost na křižovatkách	95
3.2.1. Vliv střetných (kolizních) bodů na bezpečnost křižovatek.....	97

3.2.2.	Vliv intenzity dopravních proudů na zkoumání konfliktních situací.....	98
3.2.1.	Vliv kapacity a UKD na zkoumání konfliktních situací	99
3.3.	Metody hodnocení závažnosti dopravních konfliktů a bezpečnosti	100
3.3.1.	TTC – hodnocení bezpečnosti pomocí Time To Collision	100
3.3.2.	PET – hodnocení bezpečnosti pomocí Post–Encroachment Time	101
3.3.3.	USZ (Uniform Severity Zone) – Švédská TCT	102
3.3.4.	CL – DST (Conflict Level – Deceleration–to–Safety Time) podle Hydéna	105
3.3.5.	TCS Score (Total conflict severity score) – Kanadská TCT	105
3.3.6.	ICI (Intersection conflict index) – Kanadská TCT	108
3.3.7.	Odvozené a ostatní bezpečnostní ukazatele	111
3.4.	Mikrosimulační model PTV Vissim	111
3.4.1.	Modely a algoritmy v PTV Vissim	112
3.4.2.	Stavba mikrosimulačního modelu	117
3.4.3.	Kalibrace mikrosimulačního modelu	118
3.5.	Použité ukazatele a parametry v SSAM	119
3.5.1.	Nepřímé bezpečnostní ukazatele v SSAM	119
3.5.2.	Typy konfliktních situací v SSAM	120
4.	VYHODNOCENÍ MODELŮ TEORETICKÝCH KŘÍŽOVATEK ZABÝVAJÍCÍCH SE VZÁJEMNOU INTERAKCÍ VOZIDEL V DOPRAVNÍM PROUDU	123
4.1.	Datové podklady pro hodnocení teoretických modelů křižovatek	123
4.1.1.	Ukazatelé nehodovosti dle typu křižovatek města Pardubice	123
4.1.2.	Vzory dispozičního uspořádání křižovatek	128
4.1.3.	Hodnoty intenzit dopravního proudu	129
4.2.	Modelování posuzovaných teoretických modelů křižovatek	130
4.3.	Vyhodnocení trajektorií teoretických modelů křižovatek pomocí SSAM	134
4.3.1.	Nastavení okrajových podmínek SSAM pro vyhodnocení trajektorií	134
4.3.2.	Výsledky SSAM pro teoretické modely křižovatek	136
4.3.3.	Rozbor základních ukazatelů TTC, PET a MaxDeltaV.....	146
4.4.	Vyhodnocení bezpečnosti modelů křižovatek a závažnosti konfliktů	157
4.4.1.	USZ (Uniform Severity Zone) vyhodnocení	157
4.4.2.	CL – DST (Conflict Level – Deceleration–to–Safety Time) vyhodnocení.....	161
4.4.3.	TCS Score (Total conflict severity score) vyhodnocení.....	162
4.4.4.	ICI (Intersection conflict index) vyhodnocení.....	166
5.	VYHODNOCENÍ MODELŮ VARIANTNÍCH NÁVRHŮ ÚPRAV ORGANIZACE DOPRAVY V PARDUBICÍCH NA SILNICI III/32224 TÝKAJÍCÍ SE OKRUŽNÍ KŘÍŽOVATKY U OBCHODNÍHO DOMU GLOBUS	171
5.1.	Popis posuzované lokality a přehled nehodovosti	171
5.2.	Datové podklady pro vytvoření modelu	174
5.2.1.	Mapové podklady a situace vodorovného značení.....	174
5.2.2.	Provádění sběru dat dopravním průzkumem	174
5.2.3.	Experimentální měření charakteristiky dopravního proudu	176
5.3.	Modelování posuzovaných dispozičních řešení OK	176

5.4.	Vyhodnocení trajektorií OK „U Globusu“ pomocí SSAM	180
5.4.1.	Nastavení okrajových podmínek SSAM pro OK“U Globusu“	181
5.4.2.	Výsledky SSAM pro OK“U Globusu“	182
5.4.3.	Rozbor základních ukazatelů TTC a PET	183
5.4.4.	Závislost mezi TTC a PET ukazateli	186
5.5.	Vyhodnocení bezpečnosti OK „U Globusu“ a závažnosti konfliktů	187
5.5.1.	USZ vyhodnocení OK "U Globusu"	187
5.5.2.	CL – DST vyhodnocení OK "U Globusu"	190
5.5.3.	TCS Score vyhodnocení OK "U Globusu"	191
5.5.1.	ICI vyhodnocení OK "U Globusu"	195
6.	SHRnutí VÝSLEDKŮ A DISKUSE.....	201
6.1.	Shrnutí výsledků teoretických modelů typů křižovatek	201
6.2.	Shrnutí výsledků variantních návrhů úprav OK „U Globusu“	208
6.3.	Využití nejdůležitějších výsledků v praxi a jejich přínos ke zvýšení celkové bezpečnosti na úrovních křižovatkách.	210
6.4.	Návrhy na využití výsledků pro další práce	211
7.	ZÁVĚR	213
8.	POUŽITÁ LITERATURA	215

SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK

Seznam ilustrací

Obrázek 1 – Koncept modelu klíčových prvků dopravního systému	33
Obrázek 2 – Bezpečnostní kontinuum popisující vztah mezi konflikty a nehodami podle Klebelsburga	36
Obrázek 3 – Bezpečnostní kontinuum podle Hydéna.....	36
Obrázek 4 – Bezpečnostní kontinuum podle Svenssona	37
Obrázek 5 – Bezpečnostní kontinuum podle Glauze a Migletze.....	37
Obrázek 6 – Popisný model bezpečnosti – riziko, expozice a následky (Rumar)	39
Obrázek 7 – Korelační schéma pro data volných úseků	46
Obrázek 8 – Proaktivní plánování bezpečnosti silničního provozu (podle DeLeur a Sayed) ..	47
Obrázek 9 – Vztah mezi konflikty a nehodami (výskyt a závažnost) podle Hydéna	50
Obrázek 10 – Víceprvkové rozpoznávání vozidel za účelem využití ukazatelů v TCT	61
Obrázek 11 – Životní cyklus NGSIM.....	62
Obrázek 12 – Ukázka konfliktní linie a bodů na průjezdu křižovatkou při křížení drah (SSAM).....	70
Obrázek 13 – Časoprostorový popis konfliktního bodu	70
Obrázek 14 – Nepřímé ukazatele ve schématu kolizního bodu.....	71
Obrázek 15 – Ukázka modelu simulovaného připojení v PTV Vissim.....	74
Obrázek 16 – Ukázka z videozáznamu pozorované křižovatky	75
Obrázek 17 – Znázornění situace a simulace zkoumaného úseku.....	75
Obrázek 18 – Záznam pozorování v diagramu dopravních konfliktů	78
Obrázek 19 – Příklad závislosti mezi počty nehod a konfliktů po „homogenizaci“ dat	80
Obrázek 20 – Grafy typické konfliktnosti na čtyřech typech úrovnových křižovatek v intravilánu	83
Obrázek 21 – Vývojové schéma kroků vedoucích ke konfliktu nebo nehodě.....	84
Obrázek 22 – Vyjádření bezpečnostního kontinua (pyramida bezpečnosti)	86
Obrázek 23 – Mikrosimulace v PTV Vissim.....	88
Obrázek 24 – Schémata kolizních pohybů na křižovatce	97
Obrázek 25 – Kolizní body podle typu křižovatek	98
Obrázek 26 – Zobrazení definice TTC	100

Obrázek 27 – Schéma zobrazující určení jednotlivých veličin pro ukazatele TAdv podle Lareshyna.....	101
Obrázek 28 – Zobrazení definice PET.....	102
Obrázek 29 – Jednotná úroveň závažnosti mezi závažnými a nezávažnými konflikty podle Hydéna.....	103
Obrázek 30 – TA/CS graf definující různé úrovně závažnosti podle Hydéna.....	103
Obrázek 31 – TA/CS graf definující různé úrovně závažnosti (hodnota 1 protíná osu x v TA = 13 s).....	104
Obrázek 32 – Závislost pravděpodobnosti následku úmrtí a zranění při maxDeltaV v intravilánu.....	107
Obrázek 33 – ICI závislost ACS a AHC/TEV dvou hodnocených křižovatek.....	109
Obrázek 34 – ICI závislost AHC4+/PEV a AHC/PEV pro sledovanou křižovatku.....	110
Obrázek 35 – Schéma modelu „Car following logic“ (Wiedemann 1974).....	114
Obrázek 36 – Nastavení parametrů Wiedemann 74 modelu v PTV Vissim.....	115
Obrázek 37 – Nastavení parametrů „Lane change“ modelu v PTV Vissim.....	115
Obrázek 38 – Nastavení parametrů akcelerace skupiny vozidel v PTV Vissim.....	116
Obrázek 39 – Nastavení parametrů „Priority rule“ v PTV Vissim.....	117
Obrázek 40 – Nastavení parametrů „Konflikt area“ v PTV Vissim.....	117
Obrázek 41 – Schéma konfliktního úhlu a druhu konfliktní situace v SSAM.....	121
Obrázek 42 – Město Pardubice – uzly – ukazatel absolutního počtu dopravních nehod.....	124
Obrázek 43 – Město Pardubice – uzly – ukazatel relativní nehodovosti.....	125
Obrázek 44 – Město Pardubice – uzly – ukazatel celospolečenských ztrát.....	125
Obrázek 45 – Město Pardubice – uzly – ukazatel relativních osobních nehod.....	126
Obrázek 46 – Město Pardubice – uzly – ukazatel bezpečnostního potenciálu za rok 2010 ...	127
Obrázek 47 – Město Pardubice – uzly – ukazatel bezpečnostního potenciálu za rok 2011 ...	127
Obrázek 48 – Orientační určení intenzit dopravy na hlavní a vedlejší pozemní komunikaci dle typu křižovatky.....	129
Obrázek 49 – Modely posuzovaných dispozičních uspořádání křižovatek.....	131
Obrázek 50 – Směrové rozdělení dopravního proudu na stykové křižovatce.....	132
Obrázek 51 – Směrové rozdělení dopravního proudu na průsečné a okružní křižovatce.....	132
Obrázek 52 – Simulace teoretických modelů křižovatek.....	133
Obrázek 53 – Definování zkoumaných oblastí hranic zájmové oblasti od hranice křižovatky.....	136
Obrázek 54 – Ukázka grafického vyhodnocení konfliktů dle druhu v SSAM.....	137

Obrázek 55 – Ukázka zobrazení konfliktu s vysokou hodnotou TTC a PET na vjezdu do OK	137
Obrázek 56 – Závislost počtu hodinových konfliktů (AHC) na nárůstu intenzity – bez hranic	140
Obrázek 57 – Závislost počtu hodinových konfliktů (AHC) na stupni vytížení – bez hranic	140
Obrázek 58 – Závislost intenzity a rozdílu nárůstu AHC [%] mezi nárůsty intenzity o 200 voz/h – bez hranic	141
Obrázek 59 – Závislost počtu hodinových konfliktů (AHC) na nárůstu intenzity – hranice 20 m	142
Obrázek 60 – Závislost počtu hodinových konfliktů (AHC) na stupni vytížení – hranice 20 m	143
Obrázek 61 – Závislost intenzity a rozdílu nárůstu AHC [%] mezi nárůsty intenzity o 200 voz/h – hranice 20 m.....	144
Obrázek 62 – Závislost počtu hodinových konfliktů (AHC) na nárůstu intenzity – hranice 0 m	145
Obrázek 63 – Závislost počtu hodinových konfliktů (AHC) na stupni vytížení – hranice 0 m	145
Obrázek 64 – Závislost intenzity a rozdílu nárůstu AHC [%] mezi nárůsty intenzity o 200 voz/h – hranice 0 m.....	146
Obrázek 65 – Histogram TTC pro všechna uspořádání pro všechny typy křižovatek v závislosti na intenzitě a velikosti zkoumané oblasti	150
Obrázek 66 – Histogram PET pro všechny typy křižovatek v závislosti na intenzitě a velikosti zkoumané oblasti	153
Obrázek 67 – Histogram MaxDeltaV pro všechny typy křižovatek v závislosti na intenzitě a velikosti zkoumané oblasti.....	155
Obrázek 68 – Kumulativní četnost MaxDeltaV pro všechny typy křižovatek v závislosti na intenzitě a velikosti zkoumané oblasti	156
Obrázek 69 – Závislost intenzity na vyhodnocení USZ 1+	158
Obrázek 70 – Závislost stupně vytížení na vyhodnocení USZ 1+.....	158
Obrázek 71 – Závislost intenzity na vyhodnocení USZ 1+ (vážený průměr dle výše ztrát z nehodovosti 2012).....	159
Obrázek 72 – Závislost stupně vytížení na vyhodnocení USZ 1+ (vážený průměr dle výše ztrát z nehodovosti 2012).....	160
Obrázek 73 – Závislost intenzity na vyhodnocení CL1+ (DST)	161

Obrázek 74 – Závislost intenzity na vyhodnocení TCS Score 1	164
Obrázek 75 – Závislost stupně vytížení na vyhodnocení TCS Score 1	164
Obrázek 76 – Závislost intenzity na vyhodnocení TCS Score 1 (vážený průměr dle výše ztrát z nehodovosti 2012).....	165
Obrázek 77 – Závislost stupně vytížení na vyhodnocení TCS Score 1 (vážený průměr dle výše ztrát z nehodovosti 2012).....	166
Obrázek 78 – Ukázka vyhodnocení ICI 1 pro I = 1400 voz/h.....	168
Obrázek 79 – Ukázka vyhodnocení ICI4+ 1 pro I = 1400 voz/h	168
Obrázek 80 – Ortofotomapa uspořádání OK „U Globusu“	172
Obrázek 81 – Ukázka grafického výstupu z „Jednotné dopravní vektorové mapy Policie ČR	173
Obrázek 82 – Schéma značení paprsků OK „U Globusu“	176
Obrázek 83 – Situace vodorovného dopravního značení OK „U Globusu“	177
Obrázek 84 – Nastavení cest dopravního proudu OK „U Globusu“	178
Obrázek 85 – Nastavení priority rules OK „U Globusu“	179
Obrázek 86 – Simulace OK „U Globusu“ 1 pruh na okruhu.....	179
Obrázek 87 – Simulace OK „U Globusu“ 2 pruhy na okruhu.....	180
Obrázek 88 – Simulace OK „U Globusu“ atypické spirálové uspořádání jízdních pruhů na okruhu	180
Obrázek 89 – Nastavení prahových hodnot pro vyhodnocení trajektorií v SSAM.....	181
Obrázek 90 Grafické vyhodnocení konfliktů dle druhu v SSAM OK „U globusu“	183
Obrázek 91 – Kumulativní četnost TTC pro všechna uspořádání	184
Obrázek 92 – Klouzavý průměr TTC pro všechna uspořádání	184
Obrázek 93 – Histogram PET pro všechna uspořádání	185
Obrázek 94 – Klouzavý průměr PET pro všechna uspořádání.....	186
Obrázek 95 – Závislost TTC a PET na OK „UGlobusu“ s / bez použití filtru (1,5 s a 1,7 s) 187	
Obrázek 96 – USZ – závislost MaxSpeed a TTC na OK „U Globusu“ podle typu uspořádání	188
Obrázek 97 – Histogram konfliktů s USZ 1+ a 3+.....	189
Obrázek 98 – Vyhodnocení USZ1+ a USZ1+podle váženého průměru výše ztrát z nehodovosti na PK.....	190
Obrázek 99 – Histogram konfliktů s CL – DST 1+ a 2+.....	191
Obrázek 100 – Vyhodnocení TTC Score 1+ pro obě řešené metody	192
Obrázek 101 – ROC Score – četnosti pro jednotlivá uspořádání OK „U Globusu“	193

Obrázek 102 – Zobrazení ACS 1+ pro jednotlivá uspořádání OK „U Globusu“	194
Obrázek 103 – Zobrazení ICI1 pro jednotlivé typy uspořádání OK „U Globusu“.....	196
Obrázek 104 – Zobrazení ICI1,5 pro jednotlivé typy uspořádání OK „U Globusu“	197
Obrázek 105 – Zobrazení ICI14+pro jednotlivé typy uspořádání OK „U Globusu“	198
Obrázek 106 – Zobrazení ICI1,5 4+ pro jednotlivé typy uspořádání OK „U Globusu“	199
Obrázek 107 – Porovnání výsledků hodnocení bezpečnosti podle jednotlivých metodik	208
Obrázek 108 – Porovnání výsledků hodnocení bezpečnosti OK „U Globusu“	209

Seznam tabulek

Tabulka 1 – Hodnocení úseku komunikace na základě metody koeficientu bezpečnosti	41
Tabulka 2 – Hodnocení úseku komunikace na základě metody souhrnného koeficientu nehodovosti.....	42
Tabulka 3 – Konverzní faktory (hodnoty dělené 10^{-5}) a intervaly spolehlivosti ($1-\alpha = 0,05$ úrovně, hodnoty dělené 10^{-5}) mezi konflikty a nehodami podle Hydéna na základě údajů z Malmö.....	49
Tabulka 4 – Konverzní faktory (hodnoty dělené 10^{-5}) a intervaly spolehlivosti ($1-\alpha = 0,05$ úrovně, hodnoty dělené 10^{-5}) mezi konflikty a nehodami podle Hydéna na základě údajů ze Stockholmu	49
Tabulka 5 – Konverzní faktory mezi konflikty a nehodami podle Hydén (2011).....	50
Tabulka 6 – DST úrovně podle Hydéna	60
Tabulka 7 – Přehled charakteristik jednotlivých TCT, které se účastnily kalibrační studie v Malmö.....	64
Tabulka 8 – Přehledná tabulka stupňů závažnosti a příklad zápisu.....	77
Tabulka 9 – Srovnání základních rysů přímého a nepřímého sledování	82
Tabulka 10 – Souhrn jednotlivých stupňů závažnosti	84
Tabulka 11 – Počet kolizních bodů podle typu křižovatky	97
Tabulka 12 – USZ a přiřazená výše ztrát z nehodovosti na pozemních komunikacích (2012)	104
Tabulka 13 – CL – DST úrovně podle Hydéna	105
Tabulka 14 – TCS Score – Celkové hodnocení závažnosti konfliktů podle Sayeda.....	106
Tabulka 15 – TTC Score – Upravené hodnocení závažnosti konfliktů dle TTC	106
Tabulka 16 – Indexy konfliktnosti ICI a vyjádření závažnosti konfliktů	110
Tabulka 17 – Přehled simulačních submodelů v PTV Vissim	113
Tabulka 18 – Intenzity na vjezdech [voz/hod] do teoretických modelů křižovatek (osa X – hlavní a Y – vedlejší komunikace)	129
Tabulka 19 – Průměrné zastoupení druhů konfliktu podle vymezené oblasti.....	137
Tabulka 20 – Zavedení stupně vytížení a_v pro jednotlivé typy křižovatek.....	139
Tabulka 21 – Závislost počtu hodinových konfliktů (AHC) na nárůstu intenzit – bez hranic	139
Tabulka 22 – Závislost intenzity a rozdílu nárůstu AHC [%] mezi nárůsty intenzity o 200 voz/h – bez hranic.....	141

Tabulka 23 – Závislost počtu hodinových konfliktů (AHC) na nárůstu intenzit – hranice 20 m	142
Tabulka 24 – Závislost intenzity a rozdílu nárůstu AHC [%] mezi nárůsty intenzity o 200 voz/h – hranice 20 m.....	143
Tabulka 25 – Závislost počtu hodinových konfliktů (AHC) na nárůstu intenzit – hranice 0 m	144
Tabulka 26 – Závislost intenzity a rozdílu nárůstu AHC [%] mezi nárůsty intenzity o 200 voz/ – hranice 0 m.....	146
Tabulka 27 – Kumulativní četnost a % závažných konfliktů TTC $\leq 1,5$ s ve zkoumaných oblastech	147
Tabulka 28 – Nárůst závažných konfliktů TTC $\leq 1,5$ s ve zkoumaných oblastech	148
Tabulka 29 – Závislost intenzity na vyhodnocení USZ 1+	157
Tabulka 30 – Závislost intenzity na vyhodnocení USZ 1+ (vážený průměr dle výše ztrát z nehodovosti 2012).....	159
Tabulka 31 – Závislost intenzity na vyhodnocení CL1+ (DST).....	161
Tabulka 32 – Závislost intenzity na vyhodnocení CL2+ (DST).....	162
Tabulka 33 – Závislost intenzity na vyhodnocení CL2+ (DST).....	162
Tabulka 34 – 85% Percentil MaxDeltaV jednotlivých uspořádání v závislosti na intenzitě na vjezdech	163
Tabulka 35 – Závislost intenzity na vyhodnocení TCS Score 1	163
Tabulka 36 – Závislost intenzity na vyhodnocení TCS Score1 (vážený průměr dle výše ztrát z nehodovosti 2012).....	165
Tabulka 37 – Závislost intenzity na vyhodnocení ICI 1	167
Tabulka 38 – Závislost intenzity na vyhodnocení ICI4+ 1	167
Tabulka 39 – Přehled nehod v posuzované lokalitě v období od 01/2007 do 06/2014	173
Tabulka 40 – Přehled nehod v posuzované lokalitě v jednotlivých obdobích.....	174
Tabulka 41 – Intenzity vozidel ze směrového dopravního průzkumu	175
Tabulka 42 – Časové mezery na vjezdech v jednotlivých uspořádáních OK.....	178
Tabulka 43 – Výsledky počtu a druhů konfliktů ve 2. hodině OK „U Globusu“	182
Tabulka 44 – Porovnání počtu konfliktů za hodinu, střední hodnoty a medián TTC.....	185
Tabulka 45 – Porovnání počtu konfliktů a střední hodnoty PET	186
Tabulka 46 – Četnosti konfliktů a jejich zařazení v USZ pro OK „U Globusu“	188
Tabulka 47 – Vyhodnocení USZ1+ podle váženého průměru výše ztrát z nehodovosti na PK	189

Tabulka 48 – Četnosti konfliktů a jejich zařazení v CL – DST pro OK „U Globusu“	190
Tabulka 49 – Vyhodnocení TTC Score 1 pro OK „U Globusu“	191
Tabulka 50 – Vyhodnocení TTC Score 1,5 pro OK „U Globusu“	192
Tabulka 51 – Hodnocení závažnosti ROC pro OK „U Globusu“	192
Tabulka 52 – Vyhodnocení ROC Score pro OK „U Globusu“	193
Tabulka 53 – Vyhodnocení TCS Score 1 pro OK „U Globusu“	194
Tabulka 54 – Vyhodnocení TCS Score 1,5 pro OK „U Globusu“	194
Tabulka 55 – Vyhodnocení TCS Score 1 a 1,5 pro OK „U Globusu“ (vážený průměr dle výše ztrát z nehodovosti 2012).....	195
Tabulka 56 – AHC pro jednotlivé typy uspořádání OK „U Globusu“	195
Tabulka 57 – AHC/TEV pro jednotlivé typy uspořádání OK „U Globusu“	196
Tabulka 58 – Vyhodnocení ICI1 pro jednotlivé typy uspořádání OK „U Globusu“	196
Tabulka 59 – Vyhodnocení ICI1,5 pro jednotlivé typy uspořádání OK „U Globusu“	197
Tabulka 60 – AHC/PEV pro jednotlivé typy uspořádání OK „U Globusu“	198
Tabulka 61 – Vyhodnocení ICI1 4+ pro jednotlivé typy uspořádání OK „U Globusu“	198
Tabulka 62 – Vyhodnocení ICI1,5 4+ pro jednotlivé typy uspořádání OK „U Globusu“	199
Tabulka 63 – Průměrné četnosti závažných konfliktů podle zvolené velikosti zkoumané oblasti s vyjádřením % zastoupení závažných konfliktů $TTC \leq 1,5$ s	203
Tabulka 64 – Průměrný nárůst četnosti závažných konfliktů $TTC \leq 1,5$ s podle zvolené velikosti zkoumané oblasti (nárůst velikosti oblasti a % zastoupení dle oblasti).....	203
Tabulka 65 – Porovnání výsledků hodnocení bezpečnosti podle jednotlivých metodik.....	207
Tabulka 66 – Porovnání výsledků hodnocení bezpečnosti OK „U Globusu“.....	209

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

AHC	Průměrný počet konfliktů za hodinu (Average Hourly Conflict), příp. AHC/TEV (Average Hourly Conflicts per Thousand Entering Vehicles)
ACS	Průměrná závažnost konfliktů (Average Conflict Severity)
CDV	Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.
CL – DST	Úroveň konfliktu – čas decelerace (Conflict Level – Deceleration to Safety Time)
ČVUT	České vysoké učení technické v Praze
DeltaS	Maximální rozdíl rychlostí (Maximum Speed Differential)
DeltaV	Změna rychlosti vozidla vedoucí k nehodě (Delta Velocity)
DR	Míra zpomalení (Deceleration Rate)
DR	Počáteční rychlost zpomalení (Initial Deceleration Rate)
DST	Čas bezpečného zpomalení (Deceleration-to-Safety Time)
DST	Úroveň bezpečného zpomalení (Deceleration-to-Safety)
ECMT	Evropská konference ministrů dopravy (European Conference of Ministers of Transport)
ET	Doba ovlivněného průjezdu (Encroachment Time)
Euro – RAP	Evropský program hodnocení komunikací (European Road Assessment Program)
Euro-NCAP	Evropský program hodnocení moderních vozidel (European New Car Assessment Programme)
FHWA	Správa federálních dálnic (USA – The Federal Highway Administration)
FOT	Metoda sledování používání bezpečnostních technologií za jízdy (Field Operational Tests)
GLIM	Zobecněný lineární model (Generalised Linear Modelling)
GT	Časová mezera (Gap Time)
IAPT	Počátek ovlivněného průjezdu po kolizi (Initially Attempted Post Encroachment Time)
ICI	Index křižovatkové konfliktnosti (Intersection Conflict Index)
ICTCT	Asociace mezinárodní spolupráce v oblasti teorií a konceptů bezpečnosti silničního provozu (International Co-operation on Theories and Concepts in Traffic Safety)

MAPE	Střední absolutní procentuální chyba (Mean Absolute Prevent Error)
MaxD	Maximální rychlost zpomalení (Maximum Deceleration Rate)
MaxDeltaV	Maximální rozdíl vektoru rychlostí (Maximum Delta Velocity)
MaxS	Maximální rychlost (Maximum Speed)
NDS	Sledování chování řidičů a interakcí za jízdy (Naturalistic Driving Studies)
NGSim	Národní program pro sběr dat videozáznamem (Next Generation Simulation)
OA	Osobní automobil
OECD	Organizace pro ekonomickou spolupráci a rozvoj (Organisation for Economic Co-operation and Development)
OK	Okružní křižovatka
PET	Čas po kolizi (Post-Encroachment Ttime)
PEV	druhá odmocnina součinu vjíždějících vozidel (Product of Entering Vehicles)
PSD	Podíl brzdné dráhy (Proportion of Stopping Distance)
RISMET	Nástroj managementu bezpečnosti silniční infrastruktury (Road Infrastructure Safety Management Evaluation Tools)
ROC	Riziko kolize (Risk of Collision)
RPDI	Roční průměr denních intenzit
SDLP	Standardní odchylka boční vzdálenosti (Standard Deviation of Lateral Position)
SSAM	Model pro zjišťování bezpečnosti pomocí nepřímých ukazatelů (Surrogate Safety Assesment Model)
SSZ	Světelně signalizační zařízení
SWOV	Holandský institut pro výzkum dopravní bezpečnosti (Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid)
TAdv	Čas přednosti (Time Advantage)
TCS	Celková konfliktnost dle závažnosti (Total Conflict Severity Score)
TCT	Teorie konfliktních situací (Traffic Conflict Technique)
TLC	Čas přejezdu jízdního pruhu (Time to Line Crossing)
TNV	Těžké nákladní vozidlo
TTC	Čas do kolize – (Time to Collision)
TTI	Čas ke křižovatce (Time to Intersection)

TTS	Čas dojezdu ke stop čáře (Time to Stopline)
TTZ	Čas k přechodu pro chodce (Time-to Zebra)
ÚSMD	Ústav silniční a městské dopravy (Praha)
USZ	Jednotná oblast bezpečnosti (Uniform Severity Zone)
VIDARTS	Videoanalýza událostí dopravního provozu (Video Analysis of Road Traffic Scenes)
VŠB-TU Ostrava	Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

0. ÚVOD DO PROBLEMATIKY BEZPEČNOSTI SILNIČNÍHO PROVOZU

Velký počet vážných dopravních nehod včetně smrtelných je významným problémem současné společnosti. Problematika dopravních nehod se tak dotýká nejen celospolečenského a ekonomického hlediska, ale i hlediska osobního, čímž se zde míní především fyzické, psychické a sociální ovlivnění zúčastněných osob.

Celosvětově na silnicích každý rok umírá na 1,3 milionů osob a 20 až 50 milionu je zraněno. Finanční ztráty z dopravní nehodovosti jen v ČR přesahují částku 50 miliard Kč, v EU dosahují téměř 200 miliard Eur, celosvětové škody způsobené při dopravních metodách jsou odhadovány na částku výrazně přesahující půl bilionů dolarů. I když v posledním desetiletí v ČR došlo k výraznému poklesu smrtelných nehod (z 1441 v roce 1997 na 629 v roce 2014), stále patříme z hlediska počtu obětí na ujeté vozokilometry k nejhorším státům v Evropě. [1]

Z tohoto důvodu je nutno v oblasti dopravního plánování a inženýrství vyvinout rychlé, spolehlivé a efektivní metody k predikci a posouzení dopadů nových bezpečnostních opatření. Tyto metody musí zajistit kvalitu bezpečnostního systému a splnění další důležité cíle, jako dopravní výkonnost, kapacitu a vliv na životní prostředí. Společně utváří prvky udržitelného rozvoje dopravní infrastruktury.

Dopravní nehody na křižovatkách v intravilánu jsou nejběžnějšími a nejčastějšími případy vůbec. Analýza a provádění opatření na zvýšení bezpečnosti jsou hlavním cílem pro dopravní inženýry a správce těchto komunikací. Řešení nehodových míst se často provádí bez znalosti dopadů prováděných opatření pouze z podkladů záznamů o nehodách. Pro optimalizaci řešení nehodových míst a navrhování bezpečnostních opatření v rámci národní politiky je důležité analyzovat konkrétní místo se zavedením metodiky hodnocení rizika dopravní nehodovosti/bezpečnosti.

0.1. Národní strategie bezpečnosti silničního provozu

Oproti motoristicky vyspělým státům není ve společnosti bezpečnost silničního provozu vnímána jako priorita; právní vědomí účastníků silničního provozu na pozemních komunikacích je oproti vyspělým státům na velice nízké úrovni, stejně jako vymahatelnost

práva. Nápravu současného stavu lze docílit pouze koordinovaným přístupem v oblasti represe i prevence, včetně přijetí některých nutných změn v právní úpravě provozu na pozemních komunikacích.

Národní strategie bezpečnosti silničního provozu na období 2011 – 2020 je koncipována jako samostatný materiál Ministerstva dopravy, který vytyčuje cíle, základní principy i návrhy konkrétních opatření směřujících k zásadnímu snížení nehodovosti na silnicích v České republice. Současně vytváří podmínky pro zapojení dalších resortů i všech ostatních subjektů, které mohou svou činností bezpečnost silničního provozu ovlivnit. Vychází z Dopravní politiky České republiky pro r. 2005 – 2013, která zakotvuje zlepšování vnitřní a vnější bezpečnosti dopravy za jeden z pěti specifických cílů české dopravní politiky.

Národní strategie byla schválena usnesením Vlády České republiky ze dne 10. srpna 2011 č. 599. Tento dokument poukazuje ve své analytické části na vývoj nehodovosti v České republice ve vztahu s legislativními a strategickými milníky. Zaobírá se následujícími třemi problematikami:

- analýzou vývoje nehodovosti v České republice,
- analýzou vývoje nehodovosti v zahraničí,
- evropským plánem bezpečnosti silničního provozu.

Analytická část slouží jako podklad pro vypracování Národní strategie bezpečnosti silničního provozu na období 2011–2020, která je dále rozpracována v části:

- koncepční (strategický plán),
- realizační (akční plán).

Akční plán podrobně specifikuje jednotlivé aktivity k naplnění strategického plánu.

Hlavním cílem je snížit do roku 2020 počet usmrcených v silničním provozu na úroveň průměru evropských zemí a současně oproti roku 2009 snížit o 40 % počet těžce zraněných osob. Celý bezpečný dopravní systém tvoří tři základní složky, na které se zaměřuje akční plán:

- bezpečná pozemní komunikace,
- bezpečné dopravní prostředky,
- bezpečné chování.

Postupné vytváření bezpečného dopravního systému by mělo vést ke zlepšení všech aspektů bezpečnosti silničního provozu.

0.2. Mezinárodní dokumenty bezpečnosti silničního provozu

Naplňování cílů národní strategie vychází z celoevropského snažení zlepšení situace v oblasti udržitelného rozvoje a snižování dopravní nehodovosti.

0.2.1. Bílá kniha

Mezi zásadní dokumenty patří tzv. Bílá kniha – Plán jednotného dopravního prostoru – vytvoření konkurenceschopného dopravního systému účinně využívajícího zdroje. Tento dokument navazuje na Bílou knihu z roku 2001.

Dokument reaguje na hlavní výzvy v dopravní oblasti, kterými jsou zejména omezenost energetických zdrojů a závislost Evropy na těchto zdrojích, emise CO₂, neudržitelná situace v oblasti dopravní bezpečnosti, fragmentace území, dopravní zácpy a hluk z dopravy.

Cíle Bílé knihy obecně tak lze stručně popsat jako výrazný krok směrem k větší efektivitě dopravy. Evropská doprava by měla spotřebovávat méně energie, používat čistší energie a zlepšit efektivitu ve využívání stávající i nově budované dopravní infrastruktury.

Bílá kniha má **4 hlavní cíle** (všechny by měly být splněny do roku 2050):

- 40% využívání udržitelných nízkouhlíkových paliv v letecké dopravě a nejméně 40% snížení emisí z lodní dopravy,
- 50% přesun cest na střední vzdálenosti v meziměstské osobní a nákladní dopravě ze silniční dopravy na železniční a lodní dopravu,
- 60% snížení emisí CO₂ z dopravy (tento cíl je vztažen k roku 1990; do roku 2030 by nicméně mělo dojít alespoň k 20 % snížení emisí CO₂ oproti roku 2008),
- postupné omezování až zákaz vjezdu vozidel s konvenčním palivem do center měst.

Uvedené cíle jsou dále specifikovány pro městskou dopravu, meziměstskou dopravu a dopravu na dlouhé vzdálenosti (včetně mezikontinentální dopravy). Tyto cíle má doplnit 40 konkrétních iniciativ mezi r. 2011–2020.

0.2.2. Vize nula (Vision ZERO)

Další významný dokument, který stojí osamocen nad cíli národní strategie i cíli EU, je švédská iniciativa Vize nula (Vision Zero). Ta byla poprvé představena již v roce 1995 a od samého počátku mění pohled na zodpovědnost za dopravní nehody. Tvůrci zdůrazňují, že silniční dopravu je třeba považovat za systém, v jehož rámci musí jeho vzájemně reagující a závislé základní prvky (pozemní komunikace, silniční vozidla a účastníci silničního provozu) reagovat způsobem zajišťujícím potřebnou míru bezpečnosti.

Podstatným způsobem je změněn tradiční způsob pohledu na odpovědnost za bezpečnost silničního provozu. Ti, kdo navrhují dopravně bezpečnostní systém a jeho jednotlivé prvky, nesou hlavní odpovědnost za úroveň reálně dosahovaného stupně bezpečnosti silničního provozu – jedná se o výrobce vozidel, dopravce, správce komunikací, politiky, zákonodárce, příslušné zaměstnance veřejného sektoru, policii. Odpovědností každého jednotlivce pak je podřídit se příslušným závazným regulím. V souhrnu se jedná o přístup diametrálně odlišný od tradičního pojetí, kdy odpovědnost za vznik nehody je kladena na individuálního účastníka silničního provozu.

Základem je stanovisko k akceptovatelné hodnotě smrtelných zranění v souvislosti se silniční dopravou. Přijatelná ztráta je pouze nula. Tudiž srovnatelně akceptovaná hodnota jako při úrazech na pracovištích. Etický základ je, že nahlížení na úroveň bezpečnosti silničního provozu musí odpovídat celkové úrovni bezpečnostních hodnot společnosti.

Vize Nula akceptuje, že k nehodám dochází, nikoliv pak to, že při nich jsou usmrcováni či těžce zraňováni. Dopravně bezpečnostní opatření by měla být zaměřena na zabránění vzniku úmrtí či vážných zranění. Při realizaci opatření zaměřených na prevenci vzniku dopravních nehod je třeba pamatovat, že systém silniční dopravy musí být navrhován s vědomím, že lidé dělají chyby, a tedy že nelze s absolutní jistotou vyloučit vznik dopravních nehod.

Základní postřehy:

- navrhování tzv. odpouštějící komunikace, která netrestá případné chyby účastníků silničního provozu těžkými případně dokonce smrtelnými zraněními),
- limity lidského organismu při nárazu během dopravní nehody a prosazování navrhování zón 30 (většina chodců přežije, je-li zachycena automobilem jedoucím rychlostí 30 km/hod – většina chodců je usmrcena, je-li zachycena automobilem jedoucím rychlostí 50 km/hod),
- bezpečný dopravní prostředek se špičkovými bezpečnostními parametry podle Euro-NCAP (bezpečný automobil ochrání své pasažéry v případě čelního nárazu rychlostí 65–70 km/hod a v případě bočního nárazu rychlostí 45–50 km/hod, samozřejmě za předpokladu řádného použití bezpečnostních pásů),
- odpovědnost každého účastníka silničního provozu, aby dodržoval příslušná dopravně bezpečnostní pravidla.

Podle výše uvedeného vyplývá, že řidič jedoucí bezpečným automobilem (Euro – NCAP) po komunikaci s nejvyšší uváděnou bezpečností (Euro – RAP), může cestovat s pocitem jistoty. Ovšem za předpokladu používání bezpečnostních pásů, dodržování rychlostních limitů a bez vlivu omamných látek.

1. ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU HODNOCENÍ BEZPEČNOSTI SILNIČNÍHO PROVOZU

Analýzu současného stavu lze rozdělit na komplexní pojetí hodnocení bezpečnosti a definování základních modelů dopravního systému, tradiční metody analýzy bezpečnosti silničního provozu ze záznamů dopravních nehod (reaktivní metody) a metody analýzy bezpečnosti silničního provozu založené na teorii konfliktních situací (proaktivní metody).

Tyto metody se používají zejména jako diagnostické nástroje současného stavu, hodnotící nástroje pro porovnání účinnosti dopravních opatření a prediktivní metody bezpečnosti (nehodovosti). Každý přístup má své výhody i nevýhody podle oblasti použití (validace a reliabilita metod).

V některých případech ovšem současné tradiční metody analýzy bezpečnosti silničního provozu ze záznamů dopravních nehod nemají vypovídající schopnost nebo je nelze vůbec použít. Jedná se o případy malého počtu nehod, podregistraci nehod oproti skutečnému stavu nebo záznamy s nepřesnými a neúplnými údaji. V těchto případech nelze provádět statistické analýzy a posuzování dané lokality. V případech nového řešení, které je fází projektové dokumentace, nelze tradiční metody použít vůbec.

"WE DON'T NEED ACCIDENTS IN ORDER TO PREVENT ACCIDENTS!"
because we are aware of "Danger indicators" [2]

V následujícím textu jsou shrnuty přístupy s detailním popisem metod a dosažených výsledků ve vývoji metod zohledňující bezpečnostní ukazatele tzv. „proximální nepřímé ukazatele“.

1.1. Vývoj výzkumu hodnocení bezpečnosti silničního provozu

Již počátkem 60. let stanovil Goldstein [3], že úspěšný výzkum bezpečnosti silničního provozu má dva základní a podstatné požadavky: věcné znalosti předmětu studie (tj. oblasti nehod), a dovednost v příslušných vyšetřovacích technikách (tj. vědecká metodologie výzkumu). Protože lidé jsou zřídka odborníky ve více než v jedné vědecké oblasti, Goldstein naznačuje, že multidisciplinární koordinace a spolupráce je klíčovou otázkou všech dopravně

bezpečnostních výzkumů. Toto nazývá jako „konceptně metodická přirozenost“. Ve své „filosofické“ zprávě Goldstein identifikoval počet konceptně metodických otázek, které se nedají řešit samostatně a jsou příznačné pro dopravně – bezpečnostní výzkum. Patří mezi ně následující:

- Jak můžeme klasifikovat bezpečnostní kritické události, kdy nehody nevznikají téměř nikdy ze stejných důvodů, ale spíše souhrou mnoha faktorů?
- Jak se vypořádat s otázkou dopravně – bezpečnostních studií, kdy nehody jsou velmi vzácné události ve vztahu k intenzitě dopravy? Je potřeba si položit otázku měření a stanovení váhy jednotlivých relevantních proměnných.
- Je nutné dosáhnout plného poznání nehodových kauzalit, abychom vyřešili otázku prevence nehod? Nehodám se může předcházet tím, že se odstraní známá rizika navržením nových dopravních opatření v návrhu komunikace, aniž bychom znali přesnou povahu skutečné "příčiny nehod". Tento vztah je v oblasti výzkumu dopravní bezpečnosti důležitý a nabízí nová témata k řešení. Zejména vztah návrhů operativních bezpečnostních opatření a znalost metodologie výzkumu bezpečnosti silničního provozu.

V jiné zprávě z 60. let, popisuje Blumenthal [4] přístup, který nazývá "makrostruktura problému bezpečnosti dopravy", který zahrnuje myšlenky teorie obecných systémů, politického vlivu a politiku státní správy rozeznávající důležitost hodnot na individuální úrovni.

Na základě tohoto makrostrukturního modelu Blumenthal popsal bezpečnost silničního provozu jako problém "technologických, behaviorálních, sociologických a individuálních parametrů", kde byly nehody považovány jako výsledek nerovnováhy mezi schopností řidičů a požadavků systému silniční dopravy. Blumenthal rovněž uznává odpovědnost "správní infrastruktury" za funkčnost systému a žebříček „společenských hodnot“, který představuje rostoucí společenskou poptávku po přijímání aktivních opatření.

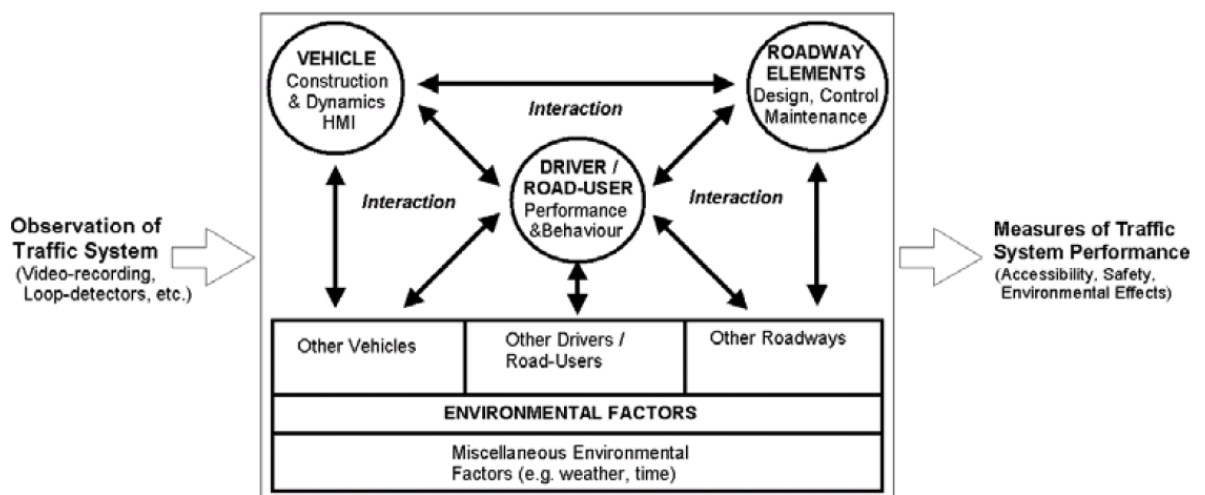
Blumenthalův model makrostruktury může být porovnáván s kontroverzními myšlenkami Smeeda (1949), který již dříve naznačil, že je to společnost jako celek, která určuje uznávanou úroveň rozvoje dopravní bezpečnosti na základě převládajících potřeb a požadavků, hledisek bezpečnosti silničního provozu, které jsou v daný okamžik nejvíce prominentní. Smeed uvedl, že politika bezpečnosti silničního provozu je z velké části výsledkem dočasných a komplexních vztahů daných z pozic politického vlivu, které existují v současné politické,

sociální a ekonomické sféře. Takto se dá vhodně popsat situace dopravní politiky ve vztahu k bezpečnosti ve většině zemí na světě.[5]

Blumenthal se ve svém popisu dopravní bezpečnosti plně zaměřuje na přístup „Obecné teorie systému“. Dopravu můžeme označit jako otevřený systém, který vychází z obecné teorie systémů a byl poprvé popsán biologem Von Bertalanffy ve 40. letech. Na základě tohoto přístupu můžeme popsat a vysvětlit inherentní vlastnosti, hierarchickou strukturu a složité, dynamické a interaktivní procesy, které společně tvoří dopravní systém.

Při použití obecné teorie systémů k popisu dopravního systému je možné složité a dynamické vztahy popsat interakcí mezi účastníky silničního provozu, dopravní infrastrukturou a vozidly na nejvyšší úrovni abstrakce (Obrázek 1).

Obrázek 1 – Koncept modelu klíčových prvků dopravního systému



Zdroj:[5]

Bezpečnost silničního provozu a další ukazatele dopravního systému lze popsat jako naléhavé stavy vznikající nevhodnými (a často nebezpečnými) interakcemi mezi jednotlivými prvky dopravního systému v průběhu času, jak přechází celý systém z jednoho stavu do druhého. Z toho vyplývá, že je možné pohlížet na dopravní nehody jako na chyby systému – nikoliv chyby samostatného prvku systému. Zkoumáním daných interakcí mezi prvky dopravního systému vznikají nové přístupy při vytváření abstraktních koncepčních modelů bezpečnosti silničního provozu. [6]

1.2. Hodnocení bezpečnosti silničního provozu

Analýza bezpečnosti se dá především dělit na dvě základní metody, zda je metoda založena na zkoumání a pozorování dopravních událostí nebo ne.

Obecněji se současné metody dělí na:[7]

- Tradiční bezpečnostní analýzy spoléhající na záznamy o nehodách.
 - "Nehodová analýza je nástroj k práci od stolu, nikoli polní nástroj" (C. Hydén)
- Rekonstrukce automobilových nehod skrze hloubkové analýzy nehod.
- Identifikace a analýza skutečných nehodových lokalit.
- Sledování chování řidičů a interakcí za jízdy (NDS).
- Analýzy nepřímých bezpečnostních ukazatelů skrze pozorování konfliktních situací.

Dále jsou podrobněji popsány jen vybrané metody.

1.2.1. Tradiční přístup analýzy nehodových záznamů

Bezpečnost silničního provozu se běžně zjišťuje ze záznamů dopravních nehod, které se dají dále dělit podle jejich závažnosti. Tento způsob záznamu je považován v oblasti identifikace lokalit s bezpečnostním rizikem za velmi užitečný a často používaný. Tento přístup má ovšem řadu nevýhod. Největší nevýhodou identifikace takového místa je nutnost záznamu dostatečného počtu dopravních nehod, které by tento problém odhalilo. Teprve následně je možné navrhnout vhodné bezpečnostní opatření k odstranění bezpečnostního rizika. [8]

Další nevýhodou je kvalita a dostupnost údajů o nehodách a dostatečná doba ke statistickému ověření těchto bezpečnostních opatření daných nahodilou a výjimečnou povahou dopravních nehod. Výskyt dopravních nehod je obvykle výsledkem řetězce komplexních a dynamických událostí a je často složité provádět bezpečnostní analýzu na základě slabě zdokumentovaných záznamech o nehodách s omezenými údaji, které neobsahují veškeré informace týkající se základní podstaty vzniku dopravní nehody.

Aby bylo možné provádět kvalifikované a komplexní bezpečnostní analýzy včetně posouzení a predikce stupně bezpečnosti silničního provozu na různých dopravních řešení, je nutné používat moderní metody popisující chování prvků dopravního systému, které přinášejí validní a spolehlivé výstupy k provádění bezpečnostních opatření, bez potřeby znalosti záznamů o dopravních nehodách.

1.2.2. Alternativní přístup analýzy proximálních bezpečnostních ukazatelů

Efektivnější přístup hodnocení bezpečnosti silničního provozu představuje použití proximálních bezpečnostních ukazatelů reprezentující časové a prostorové charakteristiky nebezpečných interakcí a tzv. konfliktních situací – skoronehod. Hlavní výhodou tohoto přístupu je vyšší četnost výskytu nebezpečných situací oproti dopravním nehodám a také kratší časové období pozorování za účelem získání statisticky spolehlivých výsledků.

Tento způsob posouzení stupně bezpečnosti/nebezpečnosti je zejména užitečný v případě posuzování vlivu navržených dopravních opatření na bezpečnost v různorodých případech včetně specifické interakce mezi jednotlivými účastníky silničního provozu. Výsledky velmi citlivě ovlivňuje vliv konkrétního stavebně–technického návrhu komunikace a z toho vyplývající komplexní a dynamické vztahy jednotlivých složek dopravního proudu jako průměrná rychlost a rozložení pohybů dopravního proudu.

Navzdory zjevným výhodám přístupu posuzování bezpečnosti silničního provozu pomocí proximálních bezpečnostních ukazatelů existuje mnoho základních otázek kolem spolehlivosti metodických postupů a validace výsledků. Z tohoto důvodů mají tyto metody po celém světě pouze omezené využití v oborech dopravního plánování a dopravního inženýrství.

Tento názor vychází z dlouholetého využívání analýz pomocí záznamů o dopravních nehodách a je považován za základní a přímý ukazatel bezpečnosti silničního provozu. Je zde otázka, zdali důležitost validace této metody a porovnání s analýzou nehodovostních dat, není nadsazená nebo dokonce zbytečná. Validace výsledků vychází ze statistické analýzy a použití vhodných rozdělení pravděpodobností. Při validaci se velmi často objevují komplikace s úplností záznamů o nehodách. [9]

Bezpečnostní ukazatele v tomto případě slouží hlavně jako vhodný hodnotící nástroj a použité bezpečnostní analýzy nám dávají informace k zavedení preventivních opatření, neboť hlavním cílem tohoto přístupu není predikce dopravní nehodovosti. [10]

Zároveň existují případy, kdy je použití proximálních bezpečnostních ukazatelů vhodnější než záznamy z nehodovosti. [11]

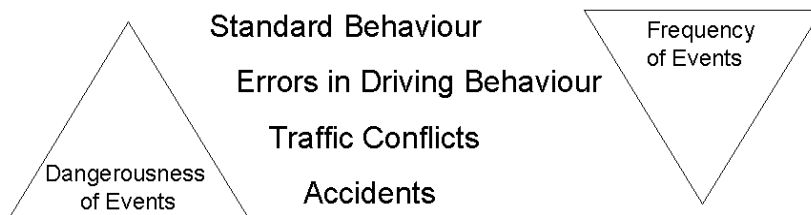
1.3. Bezpečnostní kontinuum silničního provozu

Bezpečnostní kontinuum reprezentuje předpoklad pro většinu bezpečnostních ukazatelů. Popisuje konfliktní mechanismy vzájemných interakcí mezi vozidly od nenarušeného průjezdu až po nehody s různou závažností na straně druhé. Bezpečnostní kontinuum uvádí přímou závislost mezi úrovní kvality dopravy reprezentované stupněm vytížení kapacity dopravního proudu a bezpečností provozu reprezentované závažností konfliktu nebo nehody.

Tento koncept je velmi užitečný pro výzkum dopravní bezpečnosti a udává vztah mezi behaviorálními a makroskopickými pohledy na bezpečnost silničního provozu vyjádřených četností a závažností události.

Tento vztah je popisován v nejrůznějších modelech od 80. let. [12]

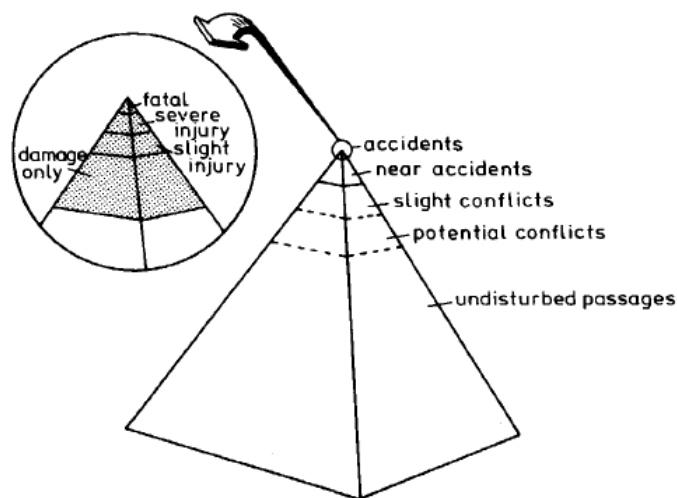
Obrázek 2 – Bezpečnostní kontinuum popisující vztah mezi konflikty a nehodami podle Klebelsburga



Zdroj: [12]

Další schematické zobrazení uvádí Hydén, kde popisuje bezpečnostní kontinuum jako pyramidu bezpečnosti. [13]

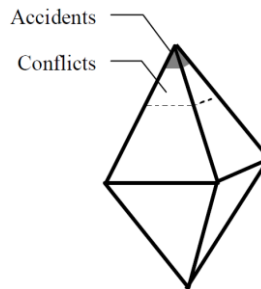
Obrázek 3 – Bezpečnostní kontinuum podle Hydéna



Zdroj: [13]

Následně tento popis upravil ve své práci Svensson, kde upřesňuje výskyt jednotlivých interakcí mezi účastníky silničního provozu.[14]

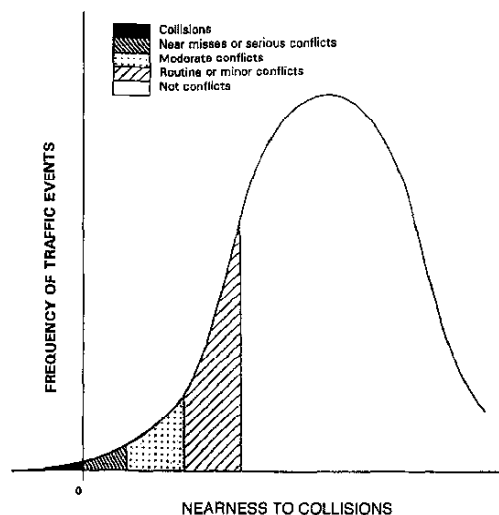
Obrázek 4 – Bezpečnostní kontinuum podle Svenssona



Zdroj: [15]

Bezpečnostní kontinuum lze popsat také pomocí distribuční funkce pravděpodobnosti výskytu, jak popisuje Glauz a Migletz.

Obrázek 5 – Bezpečnostní kontinuum podle Glauze a Migletze



Zdroj: [10]

Koncepty znázorňují, že nekolizní (bezpečný a nerušený) průjezd tvoří hlavní podíl v pozorovaných událostech. S klesající frekvencí (nebo pravděpodobností) roste závažnost konfliktu až ke kolizi.

K otázce bezpečnostního kontinua lze dodat vyjádření z ECMT (Evropská konference ministrů dopravy). Podle zprávy jsou uznávány tzv. „přímé“ a „nepřímé“ indikátory bezpečnosti silničního provozu. Mezi přímé patří počet nehod a počet usmrcených osob při nehodách, které zajišťují validní a spolehlivý stupeň platnosti na lokální, národní i mezinárodní úrovni. Nepřímé bezpečnostní indikátory reprezentují skoronehody, stupně hodnocení bezpečnosti silničního provozu, různé behaviorální pohledy, měřítko spojená

s komunikací a vozidly, míra vymáhání a prosazování legislativních pravidel silničního provozu a míra všeobecného povědomí o dopravní bezpečnosti v kruzích veřejnosti.

1.4. Modelování bezpečnosti silničního provozu

Z důvodu nárůstu komplexních problémů v dopravě, zejména týkajících se bezpečnosti, vyjadřuje OECD (Organizace pro ekonomickou spolupráci a rozvoj) v reportu z roku 1997 potřebu multidisciplinárního a diverzifikovaného výzkumu nových teorií a modelů bezpečnosti silničního provozu. [16]

OECD ve své zprávě, která je určena hlavně vědeckým pracovníkům v oblasti dopravního výzkumu, zmiňuje potřebu po zkoumání nových vědeckých přístupech bezpečnosti v dopravě a jejich implementaci v praxi. Ve svém prohlášení rozlišuje základní čtyři přístupy modelování nehodovosti a možné přístupy k hodnocení bezpečnosti. [17]

1.4.1. Popisné modely bezpečnosti – metody hodnotících koeficientů

Bezpečnost silničního provozu může být popisována v různých ohledech:

- uživatelé/řidiči – druh dopravy, věk, pohlaví,
- vozila – druhy vozidel, rychlosti,
- infrastruktura – intravilán/extravilán, rychlostní limity,
- cesty – účel cesty, vzdálenost a čas cesty.

Popisné bezpečnostní analýzy jsou založeny na principech porovnání dvou zdrojů informací. První jsou zdroje informací o dopravních nehodách, jako jsou záznamy policie, záznamy nehod pojišťoven a záznamy úrazů nemocničních zařízení. Druhý zdroj představuje srovnávací úroveň a je klíčovou informací k porovnání různých dopravních problémů. Nejběžnějšími jednotkami používanými k porovnání jednotlivých situací jsou:

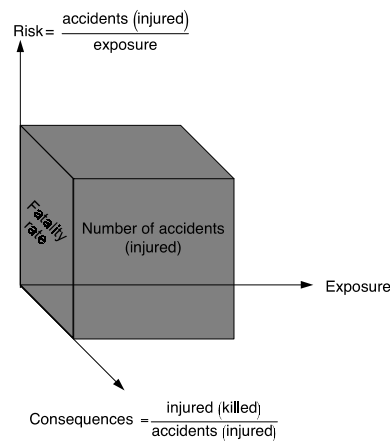
- počet obyvatel,
- počet registrovaných vozidel,
- vozokilometry,
- osobokilometry,
- osobohodiny,
- počet cest,
- dopravní situace.

Nevýhody těchto metod jsou většinou spojeny s dostupností a kvalitou jednotlivých zdrojů dat.

Velmi často je tedy bezpečnost silničního provozu popisována pomocí třírozměrného principu. Tento popisný model navrhl Rumar v 80. letech a představuje vztah mezi třemi základními dimenzemi. Tyto dimenze v sobě zahrnují:

- riziko nehody,
- expozice – porovnávací veličina intenzit dopravního proudu,
- následky nehod – závažnost nehod.

Obrázek 6 – Popisný model bezpečnosti – riziko, expozice a následky (Rumar)



Zdroj: [17]

Tyto tři dimenze expozice, rizika a následků zahrnují tři základní účinky bezpečnosti. Změny jedné z těchto veličin změny celkovou bezpečnostní situaci.

Dvě poslední zmiňované veličiny představují míru nehodovosti a poměr smrtelných nehod. Dohromady určují míru smrtelných nehod.

Modely založené na historických záznamech nehodovosti a poměrových veličinách – expozicích se velmi často používají k vyjádření míry rizika dopravní nehody na národní a mezinárodní úrovni.

Základní popisné veličiny jsou následující:

- riziko závažnosti zranění – počet smrtelných nehod /zranění za milion hodin,
- riziko nehody – počet nehod za milion osobokilometrů,
- riziko zranění – počet nehod se zraněním za milion osobokilometrů,

- riziko smrtelného zranění – počet nehod se smrtelným zraněním za milion osobokilometrů,
- míra nehod – počet nehod za milion vozokilometrů,
- míra zranění – počet nehod se zraněním za milion vozokilometrů,
- míra smrtelného zranění – počet nehod se smrtelným zraněním za milion vozokilometrů,
- podíl vozidel / nehoda – počet vozidel podílejících se na nehodách na milion ujetých kilometrů na vozidlo,
- míra zaznamenaných zranění – počet zraněných k počtu nehod hlášených na policii,
- míra smrtelných nehod – počet usmrcených osob plus počet vážných zranění plus počet drobných poranění.

Modely rizika nehody představují užitečný nástroj ze skupiny popisných modelů a většinou se používají pro popisné a porovnávací analýzy bezpečnosti silničního provozu.

Tuto skupinu reprezentují metody, kdy je hodnocení bezpečnosti vyjádřeno pomocí vypočtených hodnotících koeficientů. Jedná se především o: [18]

- metodu koeficientu bezpečnosti,
- metodu souhrnného koeficientu nehodovosti.

Metoda koeficientu bezpečnosti

Metoda koeficientu bezpečnosti je jednou z jednodušších metod hodnocení bezpečnosti silničního provozu na úseku komunikace. Obecně vychází z předpokladu, že hlavní charakteristikou režimu jízdy vozidla je jeho rychlost. Nepředvídaná změna rychlosti pohybu vozidla v důsledku objektivní změny hlavních návrhových prvků nebo charakteristik komunikace pak určuje pravděpodobnost vzniku dopravní nehody. Koeficient bezpečnosti se pak určuje jako poměr ještě přípustné bezpečné rychlosti jízdy umožňující návrhové prvky komunikace a rychlosti, kterou může vozidlo do daného úseku vjíždět. Tento poměr je dán vztahem:

Rovnice 1

$$K_b = \frac{v_0}{v_{vstup}}$$

kde: K_b je koeficient bezpečnosti,

V_0 je ještě přípustná bezpečná rychlost na daném úseku komunikace v km/h,

V_{vstup} je vstupní rychlost do daného úseku komunikace v km/h.

Úsek komunikace se pak hodnotí dle následujících kritérií (údaj mimo závorku platí pro jednotlivé vozidlo, údaj v závorce platí pro celý dopravní proud):

Tabulka 1 – Hodnocení úseku komunikace na základě metody koeficientu bezpečnosti.

$K_b > 0,8$ (0,85)	úsek je bezpečný
$0,6$ (0,7) $< K_b < 0,8$ (0,85)	úsek je málo bezpečný
$0,4$ (0,6) $< K_b < 0,6$ (0,7)	úsek je nebezpečný
$K_b < 0,4$ (0,6)	úsek je velmi nebezpečný

Zdroj:[18]

Jedná se o metodu původně vyvíjenou v SSSR (prof. V. F. Babkov). Tento princip posuzování bezpečnosti komunikace na základě dosahovaných a projektovaných rychlostí je velice jednoduchý, ale nezahrnuje ostatní vlivy, které se mohou podílet na vzniku nehody a ovlivňují ostatní prvky dopravního systému. Metoda koeficientu bezpečnosti např. nezohledňuje intenzity provozu na posuzovaných úsecích, opomíjí i vlivy technického stavu komunikace nebo jejího uspořádání – hlavním kritériem je rychlost.

Metoda souhrnného koeficientu nehodovosti

Metodou souhrnného koeficientu nehodovosti lze na daném úseku silniční komunikace definovat potenciální nehodová místa nebo lokality.

Princip metody spočívá v určení souhrnného koeficientu nehodovosti součinem jednotlivých dílčích koeficientů (K_1, K_2, \dots, K_n), které vyjadřují vlivy intenzity provozu, rychlosti nebo geometrického uspořádání komunikace. Hodnoty dílčích koeficientů představují poměr mezi celkovým počtem dopravních nehod na posuzovaném úseku komunikace a středním počtem nehod na tzv. srovnávacím úseku (jedná se o přímý úsek komunikace s nulovým sklonem ve stejné šířkové kategorii se stejnými konstrukčními charakteristikami a při shodné intenzitě dopravního provozu).

Jejich hodnoty jsou dle konkrétního uspořádání komunikace a dopravního zatížení dosazeny do vztahu:

Rovnice 2

$$K_c = K_1 \cdot K_2 \cdot \dots \cdot K_n$$

Kde: K_c je souhrnný koeficient nehodovosti,

K_1, K_2, \dots, K_n jsou tabelární hodnoty dílčích koeficientů.

Úsek komunikace se pak hodnotí dle následujících kritérií:

Tabulka 2 – Hodnocení úseku komunikace na základě metody souhrnného koeficientu nehodovosti

$K_c < 10$	úsek je bezpečný
$10 < K_b < 20$	úsek je málo bezpečný
$20 < K_b < 40$	úsek je nebezpečný
$K_b > 40$	úsek je velmi nebezpečný

Zdroj:[18]

Výhodou metody souhrnného koeficientu nehodovosti je její všeobecná jednoduchost (hodnoty dílčích koeficientů lze dohledat v tabulkách) a to, že zohledňuje intenzity provozu na posuzovaných úsecích i vlivy technického stavu komunikace nebo jejího uspořádání v každém posuzovaném úseku. Mezi nevýhody lze však zařadit fakt, že podobně jako metoda koeficientu bezpečnosti neposkytuje údaje o počtu dopravních nehod za určité období.

1.4.2. Prediktivní modely pro agregovaná data a nehody (analytické makromodely)

Prediktivní modely se používají k predikci vlivu změn závislých proměnných na nezávislých podle matematického modelu, který popisuje jejich vzájemný vztah. Tyto modely se často používají k odhadu účinků alternativ konkrétních bezpečnostních opatření v návrzích stavebních úprav. Slouží jako alternativa k tzv. „před a po studii“, která k vyhodnocení vyžaduje velmi dlouhý časový úsek datového sběru dopadů navrženého protioopatření.

Tento typ je velmi výhodný v případech s výskytem velkého počtu ovlivňovaných proměnných, které se jen stěží dají experimentálně provést. Nejčastěji se používají tyto matematické modely:

- prostorově a časově profilované modely,
- lineární model,
- zobecněné lineární model,
- multikolineární model,
- vícerozměrný pravděpodobnostní (ekonometrický) model,
- Poissonův model rozložení pravděpodobnosti,
- negativně binomické rozdělení.

Samotný analytik by měl být schopen říci, zdali je jeho model naddimenzovaný, poddimenzovaný nebo vhodný z hlediska vysvětlujících proměnných. Nehodová data sama vybízejí k použití v ekonometrickém modelování jako několik dalších jevů v oblasti behaviorálních věd. Na druhou stranu literatura uvádí, že mnoho prediktivních modelů trpí nedostatkem pružnosti a postrádají solidní teoretický základ. Tím se omezují jejich predikční schopnosti a možnosti zobecnění.

Predikční modely založené na statistické analýze záznamů dopravních nehod jsou dnes nejběžněji používané metody navzdory problémům s dostupností a kvalitou zdrojových dat. Také se dá tento přístup ve své podstatě označit za reaktivní než aktivní, kdy se musí nejprve významný počet těchto nehod uskutečnit, než je možné provést identifikaci a následnou úpravu těchto míst vhodným bezpečnostním opatřením. [19]

Metody tedy lze dle výše zmíněného obecně definovat jako:[20]

- **Reaktivní metody** – jejich cílem je odhalit faktory související se vznikem dopravních nehod a utvářením pozemní komunikace pomocí analýzy dopravních nehod, které se na pozemní komunikaci již staly a napravit stávající nebezpečný stav návrhem vhodných nápravných opatření.
- **Proaktivní metody** – jejich cílem je odhalit rizika související s utvářením pozemní komunikace a možným vznikem dopravních nehod před tím, než se dopravní nehody stanou a navrhnout nápravná opatření k zabránění vzniku nehod, popř. zlepšení jejich následků (tzn. prevence vzniku dopravních nehod).

Predikční modely založené na nehodových záznamech (reaktivní)

Většina statistických predikčních modelů nehodovosti je v literatuře založena na určení vztahu mezi různými dopravními parametry a počtem dopravních nehod na úseku komunikační sítě nebo na konkrétním uzlu – křižovatce. Jejich výstupem je predikovaná nehodovost vyjádřena počtem nehod, počtem úmrtí nebo relativní či absolutní nehodovostí za daný časový úsek. Souhrnně je lze nazvat metodami určení pravděpodobnosti vzniku dopravní nehody. Tyto metody obecně definují pravděpodobný počet dopravních nehod, případně počet zraněných osob nebo smrtelných zranění, a to buď na daném úseku komunikace, nebo v dané oblasti.

Dopravní nehody se často charakterizují jako diskrétní, sporadické a náhodné jevy, které se vhodně popisují pomocí Poissonových regresních modelů. Variace nehodových událostí jsou tedy systematickými variacemi pozorovaných dopravních ukazatelů např. intenzitou dopravních proudů, rychlostí a návrhových parametrů křižovatek. [21]

Prediktivní model pravděpodobného počtu usmrcených osob

Metoda britského prof. R. J. Smeeda, také nazývána Smeedův zákon (Smeed's law), byla poprvé zveřejněna v 50. letech 20. století. Smeedův zákon definuje na základě vztahů mezi celkovým počtem registrovaných motorových vozidel a počtem obyvatel pravděpodobný počet osob usmrcených při dopravních nehodách. Empirická závislost z období 1909 – 1947 mezi uvedenými faktory je dána vztahy [22]:

Rovnice 3

$$D = 0,0003 \cdot (n \cdot p^2)^{1/3} \quad \text{nebo} \quad D/p = 0,0003 \cdot (n/p)^{1/3}$$

kde D je pravděpodobný počet usmrcených osob,

D/p je pravděpodobný počet usmrcených osob na jednoho obyvatele,

n je počet registrovaných motorových vozidel,

p je počet obyvatel.

Z uvedených vztahů (Rovnice 3) vyplývá, že nárůst počtu automobilů vede ke zvyšování počtu usmrcených osob na jednoho obyvatele, ale zároveň se snižuje počet usmrcených na jedno vozidlo.

V poslední době se však díky dopravní politice, která je stále více zaměřena na bezpečnost provozu a modernějším bezpečnostním prvkům ve vozidlech v porovnání s 50. lety 20. století, ukazuje, že Smeedův zákon v původní podobě již neodpovídá současným trendům, kdy i přes vzrůstající stupeň motorizace dochází ke stále méně dopravním nehodám s fatálními následky a jejich skutečný počet je nižší než pravděpodobný počet odhadnutý pomocí Smeedova pravidla.

Proto dochází ke snahám Smeedův zákon upravit tak, aby více odpovídal současným trendům a bylo jej možno nadále využít k dopravně – inženýrským analýzám (např. náhradou počtu registrovaných vozidel za ujetou vzdálenost na osobu, zahrnutím dalších ovlivňujících faktorů apod.).

Modely predikce počtu dopravních nehod

Modely predikce dopravních nehod se vyvíjí již od 50. let 20. století bez jasné upřednostňované metodiky. Každý model je použitelný vždy jen pro určitý region nebo oblast a jeho aplikace v jiných lokalitách může poskytovat zkreslené výsledky. Je to dáno především odlišnými zvyky řidičů a jejich chováním v dopravním provozu a v některých případech, zejména při aplikaci zahraničních modelů, také odlišnými návrhovými standardy.

Predikční modely se obecně dělí podle umístění a podmínek dopravy na:

- modely pro intravilán,
- modely pro extravilán.

Dále se modely rozdělují dle umístění na:

- modely predikující počet nehod na komunikacích,
- modely predikující počet nehod na křižovatkách.

Obecně se však dají predikční modely nehodovosti popsat následujícím tvarem [20]:

Rovnice 4

$$E(k) = f\{x_i, \beta_j\},$$

kde $E(k)$ je očekávaný počet dopravních nehod,
 x_i , kde ($i=1, 2, 3, \dots, n$) jsou rizikové faktory (proměnné veličiny) ovlivňující nehodovost, jedná se o tzv. modifikační faktory,
 β_j jsou koeficienty získané při kalibraci modelu na konkrétní lokalitu.

Tento obecný vztah (Rovnice 4) se používá pro stanovení počtu nehod za danou časovou jednotku (obvykle počet nehod za rok). Hlavním problémem při formulaci modelu je nalezení správných hodnot koeficientů β_j . Rizikové faktory (modifikační) x_i jsou pak faktory přímo ovlivňující nehodovost a dají se rozlišit na data pro úseky a pro křižovatky.[23]

Faktory pro volné úseky:

- intenzita dopravy,
- délka posuzovaného úseku komunikace,
- rychlostní limit nebo střední rychlost,
- počet pruhů na komunikaci v obou směrech,
- počet pruhů na komunikaci v jednom směru,

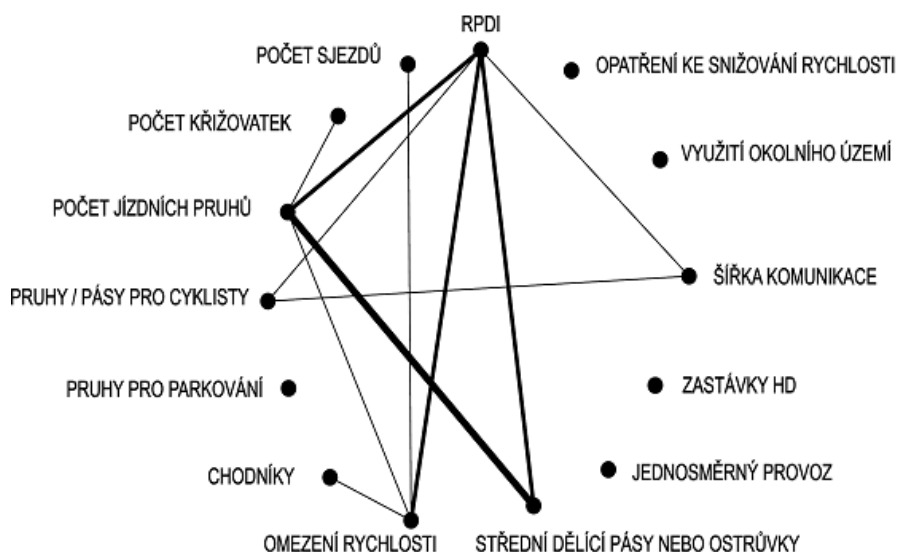
- šířkové uspořádání komunikace,
- lokální omezení rychlosti,
- počet křižovatek, sjezdů,
- vybavenost komunikace pruhu nebo pásy pro cyklisty,
- vybavenost komunikace chodníky,
- existence středních dělicích pásů,
- možnost parkování v prostoru komunikace,
- zastávky hromadné dopravy osob,
- využití okolního území.

Faktory pro křižovatky:

- intenzita dopravy,
- počet pruhů na komunikaci v obou směrech,
- existence dopravních ostrůvků,
- počet odbočovacích pruhů,
- vybavenost komunikace pruhu nebo pásy pro cyklisty,
- počet prasků křižovatky.

Jedná se pouze o základní výčet ovlivňujících elementů, jejichž počet se může v případě nestandardních podmínek navýšit. Základní korelační vztahy mezi jednotlivými prvky vyjadřuje obrázek dole.

Obrázek 7 – Korelační schéma pro data volných úseků



Zdroj: upravené [23]

Nejsilnější míra korelace je vyjádřena spojnicemi s tloušťkou dle míry korelace. Spojnice slabou čarou nebo žádnou vyjadřují slabou míru korelace. Znamená to, že např. vícepruhová komunikace znamená z hlediska dopravní nehodovosti zvýšené riziko. To se však významně snižuje realizací středních dělicích pásů. Ze schématu je dále patrné, že hlavním faktorem ovlivňující bezpečnost na komunikace je intenzita provozu (RPDI).

Slabou stránkou predikčních modelů nehodovosti v extravilánu se zabývá v rámci projektu Road Infrastructure Safety Management Evaluation Tools (RISMET) holandský institut pro výzkum dopravní bezpečnosti SWOV (Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid). Na základě sběru dat nehodovosti z několika evropských zemí a porovnání národních modelů vznikl průvodce analýzy modelů predikce dopravní nehodovosti s doporučeními pro jednotlivé modely [8].

Predikční modely založené na teorii konfliktních situací (proaktivní)

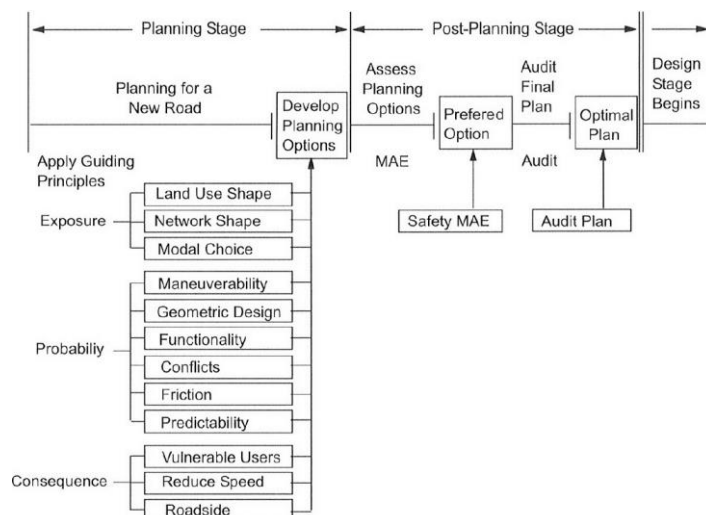
Pochopením problémů reaktivních modelů, DeLeur a Sayed (2002) navrhli strukturu pro proaktivní plánování bezpečnosti, tj. plánování, které není zcela založena na údajích historických nehod, ale používá jiná opatření, jako je používání bezpečnostních ukazatelů a prediktivních modelů.[24]

Fundamentální vyjádření bezpečnostního rizika vyjádřili ve své práci jako funkci tří vstupujících proměnných. Tyto kvantitativně měřitelné veličiny implementovali jako základ plánovacího procesu hodnocení v proaktivní fázi vývoje komunikací. Tento vztah je obecně dán: [25]

Rovnice 5

RISK = funkce (intenzity dopravního proudu, pravděpodobnosti výskytu a následků)

Obrázek 8 – Proaktivní plánování bezpečnosti silničního provozu (podle DeLeur a Sayed)



Zdroj: [25]

Alternativní nebo doplňkový přístup k predikci bezpečnosti silničního provozu spočívá ve zjišťování častých konfliktních situací za použití proximálních nepřímých ukazatelů a ověření vztahu k vlastním dopravním nehodám. Tímto přístupem například ve své studii zkoumal Sayed a Zein (1999) vztah frekvence a závažnosti konfliktních situací z pozorování na 94 křižovatkách řízených i neřízených světelnou signalizací. Výstupem je hodnotící ukazatel ve formě ICI (Intersection Conflict Index), pomocí kterého je možné porovnávat relativní míru rizika na různých typech křižovatek.

Ve své studii odvodili pomocí regresní analýzy několik ukazatelů bezpečnosti vyjadřujících vztah mezi intenzitou dopravy a výskytem dopravních nehod. Byla zjištěna velmi dobrá korelace mezi průměrným hodinovým výskytem konfliktních situací a intenzitou dopravy na řízených křižovatkách se SSZ ($R^2 = 0,70 - 0,77$). Toto se ovšem nepotvrdilo u křižovatek bez světelné signalizace. Důvodem je pravděpodobně kvalita údajů z dopravních nehod spojená s nahodilostí a malou četností nehod. [26]

Výzkum v oblasti prediktivních modelů bezpečnosti založených na konfliktních situacích je velmi široký a jednotlivé platnosti modelů je potřeba ověřit na národních úrovních.

Vztah mezi konfliktními situacemi a nehodami

Nalezení statistického vztahu mezi konfliktními situacemi a nehodami patří mezi základní úlohy nově navrhovaných přístupů TCT (Traffic Conflict Theory). [13]

Nalezení této závislosti je ovlivněno výběrem nehodových lokalit s významným počtem dopravních nehod i vlastním dopravním proudem (pohybem vozidel). Z toho vyplývá, že ne každý vybraný dopravní uzel (křižovatka) nebo dopravní proud (pohyb dopravního proudu v křižovatce) vykazuje přímou závislost počtu konfliktních situací s počtem dopravních nehod.

Zde je důležité připomenout, že teorie konfliktních situací (TCT) je pouze doplňková nebo alternativní metoda k hodnocení bezpečnosti silničního provozu. Nelze touto metodou zcela nahradit hodnocení bezpečnosti míst a úseků z nehodových záznamů.

Typické ukazatele převodu konfliktů na nehody představují tyto přepočtové metody, které se odlišují původem TCT a postupy zjišťování konfliktů. Jako hlavní představitele přepočtových vztahů za TCT přímého sledování a simulace konfliktů uvádím tyto:

- konverzní faktory (conversion factors – Švédsko),
- poměrná míra nehoda/konflikt (accident/conflict ratio – USA).

Konverzní faktory predikce nehod z dopravních konfliktů

Jeden z prvních pokusů o nalezení tohoto vztahu se uskutečnil ve Švédsku a pomocí více jak 50 studií konfliktních situací hledal Hydén vhodný statistický model, kterým by popsal vzájemnou závislost. Mezi proměnnými při vytváření matice závislosti určil: [13]

- rychlostní roztřídění,
- organizace dopravy (SSZ, bez SSZ, rychlostní omezení),
- existence dopravních ostrůvků,
- dohledná vzdálenost,
- interakce mezi účastníky (vozidlo – vozidlo, vozidlo – chodec apod.),
- čas výskytu / sledování,
- proměnné související se směry jízdy.

Z dané studie navrhl upravenou matici konverzních faktorů roztříděných podle třídy komunikace a typu interakce mezi účastníky silničního provozu.

Tabulka 3 – Konverzní faktory (hodnoty dělené 10^{-5}) a intervaly spolehlivosti ($1-\alpha = 0,05$ úrovně, hodnoty dělené 10^{-5}) mezi konflikty a nehodami podle Hydéna na základě údajů z Malmö

	Interaction Type: Car-Car	Interaction Type: Car-Vulnerable Road-User
Traffic Class 1+2	3.2 (2.0-6.9)	15.3 (12.2-19.6)
Traffic Class 3+4	11.1 (8.2-16.1)	89.2 (70.5-113.3)

Zdroj: [5]

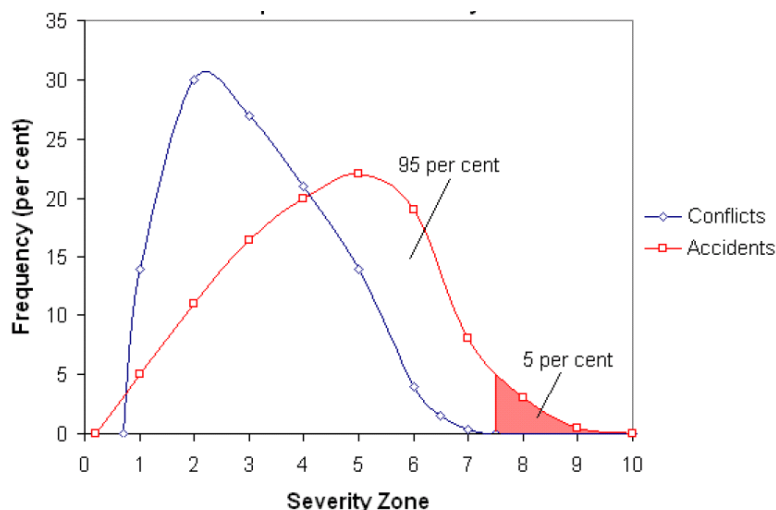
Tabulka 4 – Konverzní faktory (hodnoty dělené 10^{-5}) a intervaly spolehlivosti ($1-\alpha = 0,05$ úrovně, hodnoty dělené 10^{-5}) mezi konflikty a nehodami podle Hydéna na základě údajů ze Stockholmu

	Interaction Type: Car-Car	Interaction Type: Car-Vulnerable Road-User
Traffic Class 1+2	3.1 (1.8-8.7)	12.8 (9.3-18.7)
Traffic Class 3+4	14.1 (11.6-17.6)	62.1 (44.7-85.7)

Zdroj: [5]

Na základě dalších studií včetně výpovědí obětí nehod a přímého záznamu nehod Hydén určil vztah mezi konflikty a dopravními nehodami.

Obrázek 9 – Vztah mezi konflikty a nehodami (výskyt a závažnost) podle Hydéna



Zdroj: [13]

Výsledkem jsou tyto konverzní faktory uvedené v tabulce níže.

Tabulka 5 – Konverzní faktory mezi konflikty a nehodami podle Hydén (2011)

Car-Car	Car-Car	Car-Pedestrian Car-Cyclist
$\pi = 2.8 \cdot 10^{-5}$	$11.9 \cdot 10^{-5}$	$33.9 \cdot 10^{-5}$

Zdroj: [15]

Poměrná míra nehoda/konflikt predikce nehod z dopravních konfliktů

Tento přepočtový koeficient byl určen v rámci projektu FHWA (The Federal Highway Administration) na využití mikrosimulace k analýze bezpečnosti silničního provozu v podobě SSAM (Surrogate Safety Assesment Model) pro automatickou analýzu konfliktních situací.

Studie probíhala na 83 čtyř – paprskových křižovatkách (se SSZ) v městském prostředí (USA a Kanada) pozorovaných v terénu pomocí TCT a vyhodnoceny SSAM.

Díky validovanému modelu SSAM porovnávali tradiční predikční modely založené na RPDI. Výsledné hodnoty korelovaly s hodnotou Spearmanova korelačního koeficientu 0,463 s údaji ze záznamů nehod (vyjma levého odbočení) a stanovili tento poměr:

Rovnice 6

$$\frac{Crashes}{Year} = 0,119 \left(\frac{Conflicts}{Hour} \right)^{1,419} \quad (R^2 = 0,41)$$

Tento korelační koeficient je srovnatelný s hodnotami z tradičních přístupů predikce dopravních nehod založených na RPDI. Na základě těchto vstupů byl stanoven poměr nehoda / konflikt jako 1:20 000 s upřesněním, že přesný poměr je závislý na typu konfliktní situace.

Modely rizikového faktoru na individuální úrovni

Cílem rizikových modelů je identifikovat a kvantifikovat rizikové faktory, které vysvětlují a předpovídají individuální chování účastníků silničního provozu. Zároveň se snaží posoudit bezpečnost na základě míry snížení rizika nehod v podobě navržených protopatření.

Díky komplexnosti dopravního systému a jeho vlastního řízení zahrnuje analýza rizik řadu vědních oborů:

- otázka chování řidičů při přímé konfrontaci s rizikem:
 - ekonomie (pojištění, rozhodování pod tlakem),
 - psychologie (procento nebezpečí, výběr pod tlakem, výcvik řidičů),
 - ergonomie (sběr informací, interakce uživatel / stroj, přizpůsobení se podmínkám komunikace ve vztahu řidič / infrastruktura),
 - fyziologie (schopnosti a handicapu při řízení),
 - psycho – sociologie (postoje a rozhodnutí při rizikových situacích, společenské normy),
 - sociologie (kulturní aspekty, vymahatelnost práva).

- otázky přímo související s nehodovým dějem:
 - mechanika (trakce a konstrukce vozidla),
 - dopravní inženýrství (infrastruktura a provoz),
 - ergonomie (pochopení systému silničního provozu),
 - fyziologie (únava, alkohol, fyzické schopnosti).

- otázky traumatických zkušeností během a těsně po nehodě:
 - bio – mechanika (odolnost vůči šoku),
 - medicína (závažnost traumatu).

Dále rozeznáváme dva základní přístupy:

- analytický přístup – systémově orientovaný přístup k identifikaci rizikových faktorů a určení mechanismů ovlivňujících výskyt a závažnost nehod,
- kvantitativní přístup k odhadu účinků pomocí schémat rizik ve formě rovnic.

Nevýhodou mnoha rizikových modelů je jejich velká specifická závislost na detailech a chybí pozornost na ostatní důležité prvky dopravního systému.

Modely následků dopravních nehod

Hlavním cílem těchto modelů je snížení následků dopravních nehod prostřednictvím identifikace ovlivňujících faktorů, které přímo souvisí s prostředím komunikace, bezpečností vozidel a záchrannými prvky. Alternativně se zabývají podporou bezpečnostních zařízení nebo ovlivňováním dopravního chování.

Za účelem získání potřebných zdrojů informací se často provádí tzv. hloubková analýza dopravních nehod podle vlastní speciální metodiky. V souvislosti s použitím těchto modelů jsou výsledkem návrhy legislativních úprav týkající se např. dodržování rychlosti, vlivu drog a alkoholu, používání bezpečnostních pásů apod.

Z výše uvedeného textu vyplývá, že největším problémem spojeným s výzkumem bezpečnosti dopravy je její nedostatečná jednotnost mezi teorií a modelem na různých úrovních abstrakce, zejména na makroskopické a mikroskopické úrovni. Za důvod jsou považovány rozdílný způsob provádění řešení bezpečnosti silničního provozu (přístup řešení tzv. od shora dolů a naopak) a rozdílné cíle těchto přístupů.

Integrace modelu vyžaduje vhodnou kombinaci různých vědních oborů v jednotný teoretický rámec. [16]

1.5. Přístupy modelování bezpečnosti založené na dopravní simulaci

Jeden z typů prediktivně analytického modelování, který se v posledních letech v oblasti dopravního plánování a dopravního inženýrství stal velice populární, je simulační modelování. Dopravní simulace znázorňuje matematickými a logickými vztahy chování dopravního systému na různých stupních abstrakce. Takto definovaný model slouží k získání kvantitativního popisu výkonu dopravního systému. Simulační metody se staly účinným nástrojem pro analýzu široké palety komplexních a dynamických dopravních jevů, které nemohou být studovány s dostatečnou přesností jinými tradičními analytickými metodami.

Samotnou definici simulace – modelování lze vyjádřit jako napodobování reálného děje nebo jeho částí [28]. Hovoříme o tzv. selektivní aproximaci, tj. výběrové přiblížení reality skrze podstatné vlivy. Ostatní podružné vlivy se zanedbávají (např. počasí). Tyto reálné vztahy a závislosti se na základě pozorování přetváří do matematických algoritmů, které vytvářejí sofistikovaný matematický model pozorovaného děje.

Dopravní simulace se často používají jako užitečné nástroje k následujícím úkolům:

- posouzení alternativních návrhů,
- testování a vizualizace návrhu,
- kapacitní posouzení při novém návrhu,
- integrovaná součást ostatních analytických nástrojů,
- výcvik odborníků – světelné signalizace,
- bezpečnostní analýzy.

V rámci bezpečnosti silničního provozu je simulace nástroj s velkým potenciálem. Přestože se dopravní nehody dají označit za děje náhodné s malou četností a dopravní simulace je simulací bezpečné jízdy, stále je zde prostor pro hodnocení bezpečnosti. Dopravní simulace dokáže modelovat situace blízké konfliktním situacím tzv. skoronehody. Takto generované události se mohou následně vyhodnocovat pomocí nepřímých ukazatelů s přiměřenou úrovní statistické přesnosti v porovnání s pozorovanými ději v terénu.

Z dopravních simulací se díky behaviorálnímu modelu mohou získat údaje o trajektoriích jednotlivých vozidel a v oboru teorie konfliktních situací dále zkoumat. Samotné trajektorie vozidel v dopravním modelu se např. používají v posuzování bezpečnosti pomocí SSAM za použití nepřímých ukazatelů jak uvedl Gettman [29]. Další příklad využití simulace dopravního modelu řeší Sobhani a Young [30] ve své práci hodnocení závažnosti nehod a hodnocení bezpečnosti.

Detailní mikroskopické simulace posuzování bezpečnosti silničního provozu mají do budoucna v oblasti dopravního plánování a dopravního inženýrství velký potenciál. Při vytvoření dostatečně přesného, kalibrovaného a validovaného modelu získáme flexibilní a řízenou testovací platformu, která nám umožní testovat jednotlivé alternativy návrhu, různá dopravní zatížení a následně vyhodnocovat dopravní systém po stránce výkonnostní

(kapacitní) i bezpečnostní. Citlivostní analýzy následně mohou vyhodnocovat vlivy jednotlivých opatření na celý systém již v raných fázích procesu plánování a rozvoje. V současné době tato oblast použití vyžaduje rozšíření výzkumu a vývoje, než se tento přístup hodnocení bezpečnosti silničního provozu pomocí mikroskopické simulace a teorie konfliktních situací stane uznávanou metodou v oborech dopravního plánování a dopravního inženýrství.

1.5.1. Způsoby dělení simulačních modelů

Existuje mnoho způsobů dělení simulačních modelů. Nejčastěji se dělí podle úrovně podrobnosti na modely:

- makroskopické,
- mezoskopické,
- mikroskopické,
- ostatní.

Dále je možné simulační modely dělit podle závislosti na čase na modely:

- spojité,
- diskrétní modely.

Většina dnešních běžně používaných simulačních modelů je diskrétních s dostatečnou přesností kroku (1/10 s). V každém krokovém intervalu se vyhodnocuje a propočítávají vztahy mezi jednotlivými prvky dopravního systému pomocí vnitřních modelů – submodelů.

Alternativa k užitému modelu diskrétního časového intervalu existuje model diskrétní události. Modely diskrétních událostí reagují na jednotlivé změny stavu a jsou obecně ekonomičtější než modely založené na časovém intervalu. Jejich použití se upřednostňuje v případech omezení velikosti systému a malé frekvence změn stavů jednotlivých prvků dopravního systému.

1.5.2. Simulační submodely

Simulační dopravní model se tedy skládá z několika specifických submodelů, z nichž se každý stará o svoji vlastní úlohu v procesu simulace reálného děje (car following model, lane change model apod.)

Modely řídicí následování vozidla, které řídí interakci vozidla s před ním jedoucím vozidlem (car following model), je možno rozdělit na modely bezpečné vzdálenosti (safety distance model), psycho – fyzikální modely a modely jiného typu.

Tímto principem se řídí i ostatní parametry, ovlivňující chování vozidla (řidiče). Zřejmě nejnámějšími aplikacemi psycho – fyzikálního modelu je „Wiedemannův“ model a jeho implementace v prostředí VISSUM, nebo „Fritzscheův“ model implementovaný v PARAMICSu.

V posledních letech se do mikrosimulačních modelů přidávají stále dokonalejší submodely pro pohyby chodců včetně interakce s ostatní dopravou. Matematické algoritmy popisující jejich chování v dopravním proudu se stále zdokonalují včetně kalibračních parametrů umožňujících nastavení přibližující se specifickým podmínkám/ charakteristikám dopravního proudu v čase a místě podle národních specifik.

V měřítku modelování trajektorií jízd jednotlivých vozidel v křižovatkovém prostoru lze popsat simulaci jako dynamické a stochastické modelování individuálních pohybů vozidel v systému dopravních komunikací. Pohyb každého vozidla na simulované síti je počítáno po malých časových krocích (< 1 s) v souladu s fyzickými vlastnostmi vozidla (rozměry, maximální zrychlení, poloměr otáčení apod.), zákonitostmi pohybu (vztah mezi rychlostí, dráhou, zrychlením apod.) a pravidly dopravního chování řidičů (následování vozidla v jednom jízdním pruhu, přejíždění do druhého pruhu apod.).

1.6. Teorie konfliktních situací a význam proximálních bezpečnostních ukazatelů

Proximální bezpečnostní ukazatelé slouží jako měřitelná veličina v postupech teorie konfliktních situací (TCT – Traffic Conflict Technique) a řadí se tedy mezi proaktivní ukazatele bezpečnosti silničního provozu. Existuje mnoho ukazatelů, které popisují možné nastalé konfliktní situace. Ne všechny jsou však běžně používány pro jejich horší vypovídající hodnotu nebo obtížnou měřitelnost při pozorování. [10]

Aby bylo používání této metodiky a těchto ukazatelů validní a spolehlivé i při posuzování jednotlivých studií na mezinárodní úrovni, je potřeba jasně definovat požadavky na tyto ukazatele.

1.6.1. Představení teorie konfliktních situací

První zmínka týkající se sledování konfliktních situací sahá do 60. let 20. století. Již v roce 1968 pánové S. R. Perkins a J. J. Harris z General Motors (USA) vyvinuly metodu sledování konfliktních situací na křižovatkách. Prováděli vizuální pozorování a záznam situací, odehrávajících se na vstupních ramenech křižovatek. Zaznamenávali takové situace, kdy došlo buď k prudkému brzdění (evidováno rozsvícením brzdových světel) nebo k prudkému vybočení z jízdního pruhu jednoho z účastníků konfliktu. Šlo o pozorování tzv. „skoronehod“, tj. situací hrozících bezprostředně střetem dvou účastníků provozu. Konflikt zde byl definován jako „interakce mezi dvěma nebo více účastníky silničního provozu, která vyvolá chování potřebné k vyhnutí se kolize“.[31]

Během 70. a 80. let byl koncept vylepšen o časové mezery a závažnost kolizí. Dopravní konflikt je veličinou popisující riziko komunikace s přihlédnutím na chování řidiče, stav vozovky a dopravní situaci v daném okamžiku.

V první polovině 70. let se obdobné aplikace objevily v Evropě: nejprve ve Velké Británii (TRL – Transport Research Laboratory), následně ve Švédsku (univerzita v Lundu). Následně byl projevem zájem v dalších zemích zejména severní a západní Evropy, dále v Austrálii, Kanadě, Izraeli a v dalších zemích. [32]

S tímto vývojem je nedílně spojena činnost asociace ICTCT (International Co-operation on Theories and Concepts in Traffic Safety). Tato asociace vznikla na počátku 70. let nejprve na popud výzkumníků z Velké Británie a Švédska. Později se ke spolupráci přidali i další výzkumníci z ostatních zemí z celého světa a na jejím prvním workshopu v roce 1977 byla stanovena následující definice konfliktu: „Konflikt je pozorovatelná situace, při které se k sobě dva nebo více účastníků silničního provozu přiblíží v prostoru a čase natolik, že hrozí riziko kolize, pokud se jejich pohyb nezmění.“ [2]

Z definice vyplývají následující skutečnosti:

- Jedná se o situace zjišťované pozorováním, což má jistá omezení (denní doba, počasí, osvětlení, viditelnost atd.).
- Jedná se o situace mezi dvěma a více účastníky, jsou tedy vyloučeny konflikty jen s jedním vozidlem (např. sjetí z komunikace nebo srážka s pevnou překážkou).

Závažnost a charakter dopravních konfliktů umožňuje kvalitativní analýzu a diagnostiku nevhodného řízení dopravy, geometrického návrhu křižovatky a chování účastníků silničního provozu. To vede ke správné identifikaci nehodového místa a druhu nehody s navržením vhodného bezpečnostního opatření. V případech lokalit s malým nebo neúplným záznamem o nehodách (podregistrace nehod) se predikční metody založené na prognóze nehodovosti ze záznamů o nehodách nedají použít. V těchto případech může analýza konfliktních situací poskytnout cenné informace.

Výskyt konfliktů je jedním z nepřímých ukazatelů bezpečnosti. Základní využití TCT analýz jsou následující:

- hodnotící nástroj k provádění studií rychlé účinnosti bezpečnostních opatření (short-term evaluation) popř. „před“ a „po“ opatření (before-and-after studies) nebo hodnocení bezpečnosti obecně, včetně např. seřazení křižovatek ve vybraném městě podle úrovně jejich bezpečnosti,
- diagnostický nástroj ke stanovení diagnózy vybraných míst včetně návrhu opatření (týká se zejména dopravně inženýrských opatření, ale i např. studií chování). Jedná se zejména o místa, kde nehodová data (jako tradiční přímý ukazatel bezpečnosti) nejsou spolehlivá nebo úplně chybí. Výběr míst se většinou provádí na základě zvýšeného výskytu nehod (objektivní bezpečnost) nebo na základě stížností a požadavků obyvatel nebo úřadů (subjektivní bezpečnost).

Obecně se TCT častěji používá pro druhý jmenovaný účel. První účel je náročnější, protože klade vyšší nároky na reliabilitu a validitu TCT.

Vedle tradičního přístupu k hodnocení bezpečnosti, který je založen na analýze nehod, nelze TCT považovat za náhradu. Je nutné uvažovat TCT jako doplňující nástroj k nehodovostním analýzám nehodovosti nebo ideálně jako nedílná součást spojená v nástroj hodnotící bezpečnost silničního provozu z nehod a konfliktů.

Zásadní omezení analýzy dopravních konfliktů z pozorování se dají vytyčit v několika bodech:

1. Konfliktní situace jsou záznamy pouze o úspěšných úhybných manévrech a nemohou se rovnat komplexnímu záznamu z dopravní nehody.
2. Tato technika je omezena především na křižovatky. Efektivní metoda pro sledování a kvantifikaci konfliktních situací na silničních úsecích přímým sledováním nejsou prokázány.
3. Náklady na provádění bezpečnostní studie s použitím metodiky hodnocení a analýzy konfliktních situací mohou být velmi nákladné, protože současné metody vyžadují až 32 hodin přímého sledování vyškolenými pozorovateli na každé křižovatce s následným zdlouhavým zpracováním dat.
4. Tento přístup neposkytuje hodnocení efektivnosti nápravných opatření.

Rozdělení přístupů konfliktních situací

Definice konfliktních situací je jasně dána jako konflikt dvou účastníků. Tato definice je zcela srozumitelná a obecně uznávaná. Metodika popisu konfliktních situací a jejich záznam během průzkumů již ovšem jednotná není.

Z toho důvodu vznikla ve světě celá řada metodik, které lze rozdělit následovně: [33]

Podle způsobu hodnocení:

- kvalitativní – konflikty se hodnotí na základě dojmu pozorovatele (subjektivně),
- kvantitativní – konflikty se hodnotí na základě časoprostorových bezpečnostních ukazatelů odvozených např. ze vzdáleností a rychlostí účastníků (objektivně).

Podle způsobu sledování:

- s využitím pozorovatelů – sledují pozorovatelé, ať už v terénu nebo z videozáznamu,
- s využitím automatizace – různé způsoby (polo)automatizovaného sledování s využitím videodetekce, počítačové analýzy obrazu apod.

Podle místa sledování:

- na místě – sledování na vybraných místech (stacionární),
- za jízdy – sledování z tzv. plovoucího vozidla (dynamické),
- speciální – využití simulací a metod hodnocení konfliktních simulací.

Manuální řešení teorie konfliktních situací (TCT – Traffic Conflict Technique)

Velký rozvoj probíhal v 80. letech a byl používán německou policií, silniční správou ve Švédsku nebo úřady ve Francii. Zde se projevil nepříznivý vliv vlastností manuálního přístupu a také slabou nebo nulovou validací, která bránila vědeckému uznání metody.

Manuální TCT se dnes ve světě používají pouze v rozvojových zemích. V těchto zemích, kde je nízká úroveň bezpečnosti a chybí databáze potřebných dat, slouží TCT jako jednoduchý nástroj hodnocení bezpečnosti. Často se jedná o aplikaci švédské TCT, která je považována za „standard“ mezi TCT.

Postupně zájem o tuto metodu ustal i v Německu. Důvodem, proč se zde manuální TCT více neujala, je nedostatečná informovanost dopravních inženýrů na úřadech a opozice odborníků, kteří prosazují analýzu nehod a ovlivňují tak příslušné orgány. Na univerzitě v Kaiserslautern byl dále vyvinut poloautomatický systém ViVAtraffic, jehož výstupem jsou hodnoty TTC a PET; provoz systému je však nákladný.

Ani v USA a Kanadě nedošlo k širšímu uplatnění TCT. Důvodem opuštění manuálního konceptu byly především náklady na sledování, zejména při přesunech na vzdálené lokality. Dalším důvodem mohla být absence závažnosti v americké TCT.

Automatizace teorie konfliktních situací (TCT – Traffic Conflict Technique)

Aktuálním trendem je sledování v širším kontextu: kombinace videa, TCT a analýzy místa („road scene analyse“). Jsou zde studovány nejen kritické, ale i normální manévry, tj. celé spektrum (ne)bezpečných situací (unsafety). Aby bylo zajištěno množství zaznamenaných konfliktů, vybírají se místa se zvýšeným počtem nehod.

Další krok v automatizaci probíhal vyhodnocováním pořízeného záznamu. Byli využiti zkušení pozorovatelé, kteří sledovali video při osminásobném zrychlení a identifikovali kritické okamžiky. V takto filtrovaných záznamech byly vektorizovány trajektorie vozidel a ty následně transformovány z obrazu videa do skutečného prostoru s následným určením

polohy, vzdálenosti, rychlosti atd. (technologie VIDARTS, Video Analysis of Road Traffic Scenes). Z výstupních hodnot rychlosti, zrychlení a odstupů se odvozuje TTC a PET.

Další zjišťované ukazatele z pozorování rychlosti a odstupů bylo určením tzv. indikátoru zpomalení pomocí DST (deceleration-to-safety). Tyto hodnoty navrhl Hydén (1996) v návaznosti na použití videozáznamu. [34]

Tabulka 6 – DST úrovně podle Hydéna

Conflict Level	Deceleration-to-Safety	Description
No Conflict	Braking rate ≤ 0 m/s ²	Evasive action not necessary
No Conflict	Braking rate 0 to -1 m/s ²	Adaptation necessary
1	Braking rate -1 to -2 m/s ²	Reaction necessary
2	Braking rate -2 to -4 m/s ²	Considerable reaction necessary
3	Braking rate -4 to -6 m/s ²	Heavy reaction necessary
4	Braking rate < -6.00 m/s ²	Emergency reaction necessary

Zdroj: [34]

Ve studii z Velké Británie byla z indukčních smyček před přechody pro chodce získávána data a z nich odvozena závislost mezi časem do kolize – TTC (označeným jako mTAh) a zpomalením vozidel (mdh). Jedná se o rychlé vyhodnocení bezpečnosti chodců na přechodech.

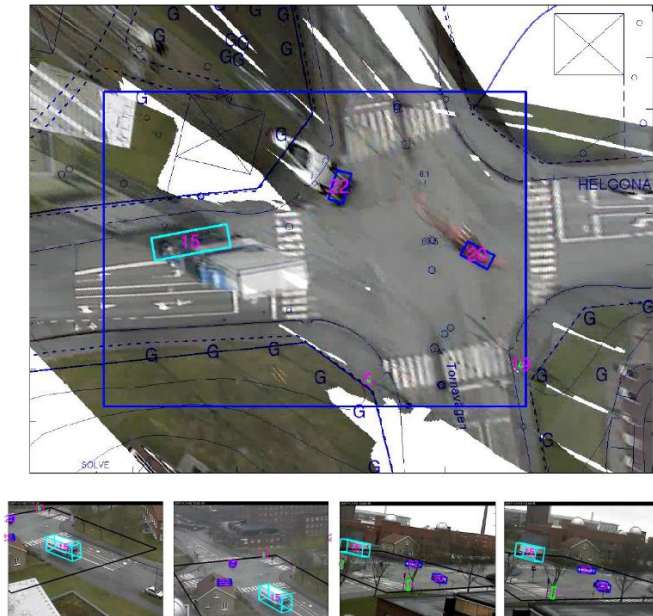
Videodetekce a teorie konfliktních situací (TCT – Traffic Conflict Technique)

Hlavní vývoj momentálně probíhá ve Švédsku pod vedením Svenssona na University of Lund a v Kanadě pod vedením Sauniera a Sayeda na École Polytechnique de Montréal a University of British Columbia.[25]

Hlavní předností videodetekce je možnost zkrácení doposud nutného sledování videozáznamu a výběr událostí. Systém události sám identifikuje na základě rozpoznávacích algoritmů nebo na základě blízkosti trajektorií vozidel. To otvírá možnosti pro dlouhodobé záznamy, rozsáhlejší sběr dat (vhodné i kvůli validaci) málo častých událostí, navíc i v situacích, kdy doposud nebylo efektivní využívat manuálního záznamu pozorovateli. Přínos videodetekce je tedy, ve srovnání s manuálním sledováním (včetně školení a vyhodnocení), v úspoře nákladů.

Tento přístup víceprvkového rozpoznávání pohybu objektů je relativně nový, ale je velice úspěšný včetně aplikace záznamu drah vozidel a neobvyklých manévrů typických pro konfliktní situace [35]. Tento přístup lze kategorizovat podle výše uvedeného dělení jako kvantitativní, s využitím automatizace, na místě.

Obrázek 10 – Víceprvkové rozpoznávání vozidel za účelem využití ukazatelů v TCT

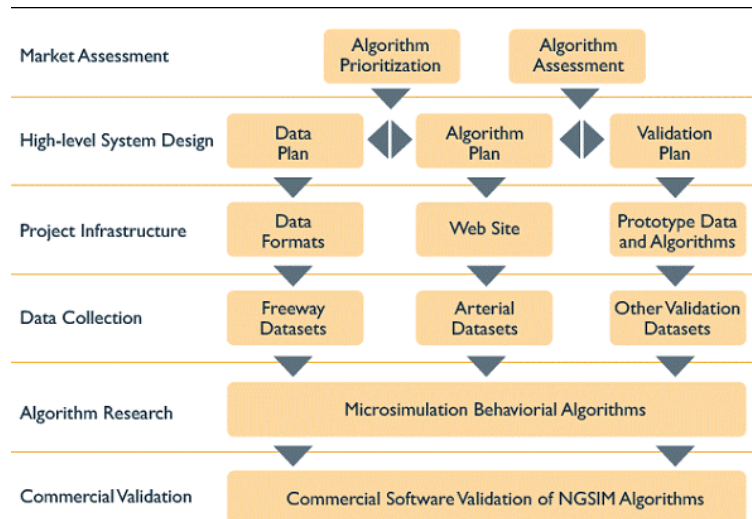


Zdroj: [35]

Videodetekčních systémů je na trhu velké množství a ceny postupně klesají. Nevýhodou je absence jednotného automatického systému. Metoda navíc ještě není plně validována pro praxi.

Videozáznamu využívají např. v USA v národním programu pro sběr dat *NGSim* (Next generation simulation) – program pro podporu sběru dat a posuzování rychlostních komunikací.

Obrázek 11 – Životní cyklus NGSIM



Zdroj: [37]

Sběr dat probíhá záznamem trajektorií vozidel záznamem na videokameru. Následně se vyhodnocená data používají pro upřesnění simulačních modelů. Dalším plánovaným krokem je validace výsledků ve 3 nejrozšířenějších mikrosimulačních programech – PTV Vissim, TSS – Transport Simulation Systems AIMSUN NG a Quadstone Paramics.

Dopravní simulace a teorie konfliktních situací (TCT – Traffic Conflict Technique)

Kromě videodetekce existují i další přístupy, kde dochází k uplatnění TCT. Jeden ze slibných přístupů je využití dat (TTC, PET) v simulačních modelech. Zde je cílem odvození tzv. nepřímých ukazatelů (surrogate safety measures) ze simulačních modelů křižovatek. Nepřímou veličinou může být TTC, PET, míra zpomalení nebo max. rychlost. Tyto veličiny pak mohou sloužit k hodnocení bezpečnosti.

V této oblasti vyhodnocení dat ze simulací představují hlavní směr v USA Gettman a Head.[38] Ve Švédsku vývoj probíhá ve zkoumání využitelnosti tohoto přístupu validací s ostatními dopravními studiemi a uplatnění těchto ukazatelů pro hodnocení bezpečnosti. [39]

Dalším doslova revolučním oborem jsou tzv. field operational tests (FOT – sledování používání bezpečnostních technologií za jízdy) a naturalistic driving studies (NDS – sledování chování řidičů a interakcí za jízdy).

Rozdělení jednotlivé přístupů na světové úrovni

Rozdělení přístupů, které se nyní vyvíjejí po světě, nejlépe reprezentují odborníci sdružení v organizaci ICTCT. Jedná se zejména o tyto přístupy TCT:

- Švédsko – Univerzita Lund: prof. Hydén a dr. Laureshyn,
- Nizozemí – TNO: dr. van der Horst ,
- Velká Británie – Univerzita Leeds: prof. Carsten,
- Francie – INRETS: dr. Muhrad ,
- Německo – TU Braunschweig: dr. Gstalter,
- Německo – TU Kaiserslautern: dr. Hupfer,
- Kanada – ICBC: dr. de Leur ,
- Finsko – VTT: prof. Kulmala ,
- USA – Siemens Gardner Transportation Systems: dr. Gettman, dr. Head.

Kalibrace, reliabilita a validita teorie konfliktních situací

Spolu se souběžným vývojem teorie konfliktních situací v mnoha zemích vyvstala potřeba srovnání jednotlivých přístupů a metodik pozorování. Proto asociace ICTCT v průběhu 80. let zorganizovala několik tzv. *kalibračních studií*, které měly odpověď na otázky definování konfliktů a hodnocení míry závažnosti v jednotlivých národních přístupech.

Nejrozsáhlejší z nich proběhla v roce 1983 ve švédském Malmö. Hlavním cílem bylo vzájemné srovnání jednotlivých TCT, především co se týče závažnosti zaznamenaných konfliktů. Byl pořizován videozáznam, který posloužil jako zdroj „objektivních“ dat a získání hodnot intenzity dopravy.

V závislosti na plánovaném srovnání výsledků a tudíž jednotlivých TCT byl zamýšlen dlouhodobější cíl:

- pokud budou výsledky rovnocenné, bude možno spojit databáze studií různých TCT z více zemí a vytvořit tak jednu rozsáhlou databázi; ta bude zároveň ideálním podkladem pro validaci. [27]

Stručný přehled zúčastněných týmů a charakteristik jejich TCT podává tabulka dole. Každý tým měl 2 pozorovatele, sledovalo se max. 2 hod. v kuse, celkem po dobu 3 dnů. Celkově se experimentu účastnilo 12 zemí, tj. 9 různých TCT:

- 5 aktivně používaných (Finsko, Francie, Německo, Velká Británie, Švédsko),
- 1 nerozšířená (Spojené státy),
- 2 vyvíjené (Rakousko, Kanada),
- 1 pouze výzkumná, pro praxi nákladná (Nizozemí).

Tabulka 7 – Přehled charakteristik jednotlivých TCT, které se účastnily kalibrační studie v Malmö

	Conflict definition			Severity scaling	
	Estimation of Time to Collision (TTC)	Estimation of Post Encroachment Time (PET)	Interpretation of evasive action	Based on proximity to collision (any type)	Based on proximity to injury accident
Sweden 1 Finland	fixed threshold			X	
Sweden 2	fixed threshold				average speed and type of road user
Sweden 4	threshold function of speed			X	
Canada		fixed threshold	(X)	X	
Great Britain France 2			intensity and result		X
France 1 United States Sweden 3			intensity and result	X	
Germany Austria			intensity and result	X	
Netherlands	calculated minimum value			X	

Zdroj: [27]

Při praktickém sledování byly zjištěny jisté rozdíly, mj. vyplývající z národních specifik jednotlivých zemí a jejich zvyklostí při aplikaci TCT:

- americký tým byl zvyklý na signalizované křižovatky, anglický tým zase na křižovatky v extravilánu,
- v Kanadě a podobně i v USA není zvykem sledovat chodce,

- ve Francii se vyskytuje zase málo cyklistů.

Závěrem však byla zjištěna celková shoda, zejména co se týče závažných konfliktů: pozorovatelé jich jsou schopni zaznamenat až 75 %, naopak přebytečné záznamy jsou maximálně v rozsahu 5 %. Jako nejvhodnější kvantitativní indikátor se prokázal čas do kolize (TTC – Time to Collision), což však mohlo být způsobeno městským prostředím (smíšená doprava); pozdější studie v extravilánu v Trautenfels totiž prokázala i vhodnost PET.

„Věrohodnost“ jakékoli vědecké metody se prokazuje pomocí reliability a validity; to se týká i TCT. Reliabilita je nutným předpokladem validity; avšak naopak metoda může být reliabilní a přitom nemá validitu. Vztah mezi reliabilitou a validitou lze chápat jako vztah mezi *přesností a správností*.

Při sledování účinnosti „před“ a „po“ opatření lze také zvýšit reliabilitu tím, že sledování provádí stejný člověk. Rozdíly lze minimalizovat důkladným školením pozorovatelů. Reliabilita bývá nejvyšší u závažných konfliktů; s klesající závažností roste subjektivita pozorovatelova úsudku.

Validace, tj. prokázání statistické korelace mezi konflikty a nehodami, provází celou historii existence TCT. Protože řada studií nedokázala tento vztah popsat, objevily se pochybnosti o konceptu TCT a její vypovídací schopnosti. Bez nadsázky lze říci, že tam, kde se nepodařilo závislost dokázat (Německo), TCT nezískala vědecké uznání; naopak kde prokázána byla (Švédsko), metoda uznání získala.

Nepřímý ukazatel bezpečnosti, mezi něž patří i konflikty, je validní, pokud reprezentuje skutečnou úroveň bezpečnosti systému. Konflikty jsou téměř jediný z nepřímých ukazatelů bezpečnosti, který byl důkladně podroben validaci.

Ve své studii Chin a Quek [10] poukazují, že otázka dostatečné míry validace alespoň částečně souvisí s kvalitou a rozsahem (registrací) údajů o nehodách. Za účelem vyřešit otázku validity byly navrženy dva odlišné přístupy:

- omezení používání této techniky pouze na případy, kdy údaje o nehodách byly nedostačující k jejich využití v analýzách nehod,

- redefinování pojmů konfliktů a měřicí techniky tak, aby byla nalezena vhodnější korelace s nehodami nebo vhodné vysvětlení nedostatečné korelace.

Dále uvádějí, že hledání validity pomocí statistické korelace s nehodami může být v případech používání TCT jako diagnostický a hodnotící nástroj (nikoliv jako prediktivní nástroj) zbytečné a nepotřebné. Z tohoto argumentu vyplývá důraz na kvantitativní přístup za použití proximálních nepřímých ukazatelů bezpečnosti.

Dlouhotrvající tradice využívání záznamů o nehodách, jako míry bezpečnosti, založila svou obecnou přijatelnost a do značné míry nezpochybnitelnou platnost validity. Naproti tomuto přesvědčení validační studie TCT (Migletz a spol. [11] a Svensson [14]) prokázaly, že bezpečnostní studie dopravních konfliktů mohou určit výskyt nehod stejně dobře nebo i lépe než bezpečnostní studie na základě záznamů o nehodách (přičemž vyžadují podstatně kratší sběr dat za časový úsek). V případě nízkého počtu nehod (< 3 – 4/rok nebo krátká historie záznamů) jsou konflikty lepším prediktorem bezpečnosti než nehody samotné, zvláště pokud se jedná o nehody s chodci.

Při dlouhodobé snaze o validaci TCT byly mj. zjištěny následující skutečnosti: [27]

- Validita závisí mj. na definici konfliktů:
 - pokud každé nehodě předchází úhybný manévr, pak existuje přímý vztah mezi nehodami a konflikty,
 - přestupky (bez zjevného nebezpečí) by se neměly považovat za konflikty.
- Zkreslení může být způsobeno podregistrací, neboť policejní databáze nikdy neobsahují všechny nehody, zvláště ty s nižší závažností (Nizozemí 33 %, Švédsko 59 % závažných zranění a 32 % lehkých zranění, USA 40 – 50 %).
- Nejvyšší korelace byly zjištěny mezi závažnými konflikty a nehodami se zraněním (osobními nehodami).
- Aby byla validace vypovídající, je zapotřebí velké množství dat, čímž se však zároveň zvyšuje jejich rozptyl. Proces je tedy velmi náročný.
- Významnější korelace lze získat při stratifikaci (rozčlenění) dat podle druhu pohybu, kolize a času.
- Existuje názor, že pokud TCT nemá sloužit k predikci, validace není nutná. Z toho vyplývá, že použitelnost TCT se odvíjí od schopnosti detekce bezpečnostních rizik a ne od schopnosti predikce.

- Odlišným pohledem na validaci je hodnotit vypovídací schopnost TCT podle velikosti rozptylu odhadu poměru nehod a konfliktů. Nejvalidnější TCT by pak měla být ta, která poskytuje nezkreslený odhad s nejmenším rozptylem.
- Existuje náhled na TCT, že konflikty vyjadřují „pocit bezpečí“ neboli subjektivní bezpečnost, která není totožná s objektivní bezpečností (tj. nehodami). [5], [40]

1.6.2. Definování kritérií proximálních bezpečnostních ukazatelů

Předchozí kapitola představila jednotlivé pohledy na využití TCT při hodnocení bezpečnosti silničního provozu. Matematický model bezpečnosti s využitím simulací je vymezen na kvantitativní popis konfliktů. K tomuto popisu slouží bezpečnostní veličiny často nazývané také proximální bezpečnostní ukazatelé.

Základní požadavky na zavedení a používání proximálních ukazatelů v teorii konfliktních situací uvedli ve své práci Chin a Quek (1997). [10]

Popisuje základní požadavky ve třech bodech:

- kvantitativní definice konfliktů,
- měřitelnost pozorovaných konfliktů,
- odvozené a pozorované ukazatele musí být vhodně aplikovány.

Podobným způsobem ve své práci uvádí Svensson (1998) požadavky na proximální ukazatele: [41]

- doplňující charakter nehod s častějším výskytem než nehody,
- statistický a příčinný vztah k nehodám,
- charakteristiky konfliktů v pyramidě bezpečnostního kontinua (tj. vyskytovat se v celém spektru interakce uživatelů silničního provozu od dopravních nehod na nejvyšším stupni po bezpečný průjezd na nejnižším stupni).

První kritérium většinou nepředstavuje pro dnes používané bezpečnostní ukazatele a přístupy žádný problém. Druhé kritérium podmiňuje vztah validity a prediktivní schopnosti ve vztahu k nehodám. Samotný příčinný vztah k nehodám se dá také vysvětlit existencí proximálního ukazatele před vznikem samotné nehody. Zároveň ukazatel i nehoda jsou součástí jedné události.

Třetí konečné kritérium, týkající se existence bezpečnostního kontinua, má podobný charakter jako druhé kritérium statistického a příčinného vztahu. Vymezuje se tím jasné oddělení proximálních bezpečnostních ukazatelů k použití v teorii konfliktů od ostatních uznávaných bezpečnostních ukazatelů závislých např. na intenzitě dopravního proudu nebo rychlosti.

1.6.3. Faktory ovlivňující bezpečnost při určování bezpečnostních ukazatelů

Faktory ovlivňující bezpečnost mají přímý vliv na měření a určování konfliktů bezpečnostními ukazateli. Tyto faktory z podstaty definice bezpečnostních ukazatelů nemůžeme zařadit mezi tyto ukazatele, i když ovlivňují bezpečnost silničního provozu. Řada z nich má dobře zdokumentovaný přímý vliv na nehody a jejich závažnost. Mezi ně patří např.:

- rychlost a rozdíl rychlostí,
- přijmutí mezery při vjíždění do hlavního proudu,
- časové a prostorové mezery mezi vozidly v dopravním proudu,
- intenzita dopravního proudu (včetně odvozených veličin jako hustota dopravního proudu, stupeň zatížení apod.),
- četnost projetí na červenou,
- počet kolizních bodů na křižovatce,
- další vlivy týkající se dopravního návrhu nebo regulace dopravy (vliv levého odbočení přes jízdní dráhu protijedoucích vozidel).

1.6.4. Analytické hodnocení trajektorií pomocí SSAM (Surrogate Safety Assesment Model)

Problematikou použití dopravní simulace ke sledování a vyhodnocení konfliktních situací jako nástroj k hodnocení bezpečnosti se významným způsobem zabývali Gettman a Head (2003) v rámci projektu FHWA (Federal Highway Administration). Výsledkem řešené problematiky je analytický nástroj SSAM (Surrogate Safety Assesment Model) pro automatizaci analýzy konfliktních situací, které jsou vyhodnocené z trajektorií simulovaných vozidel. [38]

Tento nástroj je poskytován odborné veřejnosti zdarma jako výsledek společného projektu americké FHWA a významných vývojářů mikrosimulačního softwaru.

Stávající poznání v mikrosimulacích a jejich aplikace se soustředí pouze na simulace konfliktních simulací vozidel. Nejsou zde řešeny konflikty s chodci či cyklisty nebo více účastníky současně. Jednotlivé trajektorie vozidel jsou na základě hraničních hodnot bezpečnostních ukazatelů analyzovány a tabulkovým způsobem vypsány k dalšímu zpracování.

SSAM poskytuje možnost provádět posouzení bezpečnosti dopravních řešení pomocí mikrosimulačního softwaru tam, kde tradiční predikční metody nehodovosti založené na záznamech o nehodách nestačí. Jedná se zejména o alternativy návrhu geometrického tvaru nebo druhu řízení dopravy na křižovatkách.

Popis konfliktní situace a ukazatelů v SSAM

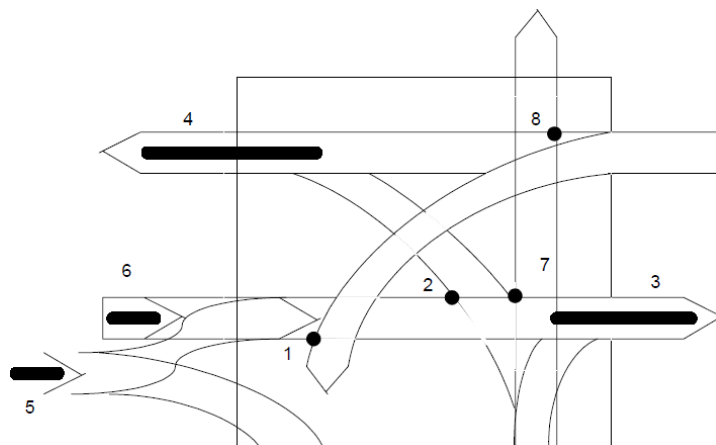
Konfliktní situace v mikrosimulacích se dají definovat jako měřitelné situace s různou mírou bezpečnosti. Konfliktní situace vzniknou mezi dvěma vozidly, která jsou na kolizním kurzu, ale nedojde k nehodě díky úhybnému manévru.

Konfliktní situace jsou v simulacích popsány konfliktními liniemi (v časovém intervalu a prostoru) a konfliktními body (konkrétní čas a prostor). Konfliktní body jsou definovány na střetu obrysů vozidla a konfliktní linie jsou vyjádřeny osou trajektorie.

Software nepoužívá zažitý popis zobecněnými kolizními body v osách drah a plochami vymezující průjezdní prostor (vlečné křivky), ale konkretizuje kvantifikaci konfliktů kolizními body / liniemi podle druhu manévru (viz. obrázek níže):

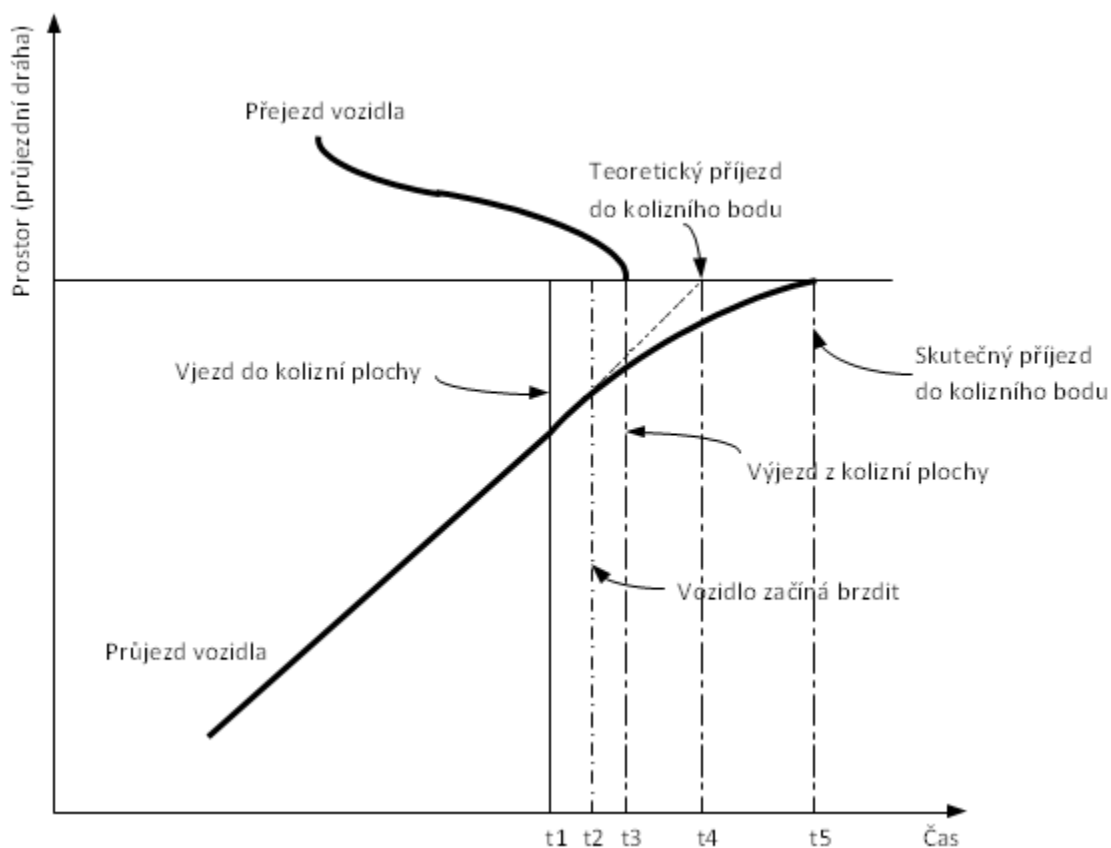
- křížení průjezdné – konfliktní body 1, 2, 7 a 8,
- křížení připojovací – konfliktní linie 3 a 4,
- změna jízdních pruhů – konfliktní linie 6,
- předo – zadní konflikt – konfliktní linie 5.

Obrázek 12 – Ukázka konfliktní linie a bodů na průjezdu křižovatkou při křížení drah (SSAM)



Zdroj: upravené [29]

Obrázek 13 – Časoprostorový popis konfliktního bodu



Zdroj: upravené [29]

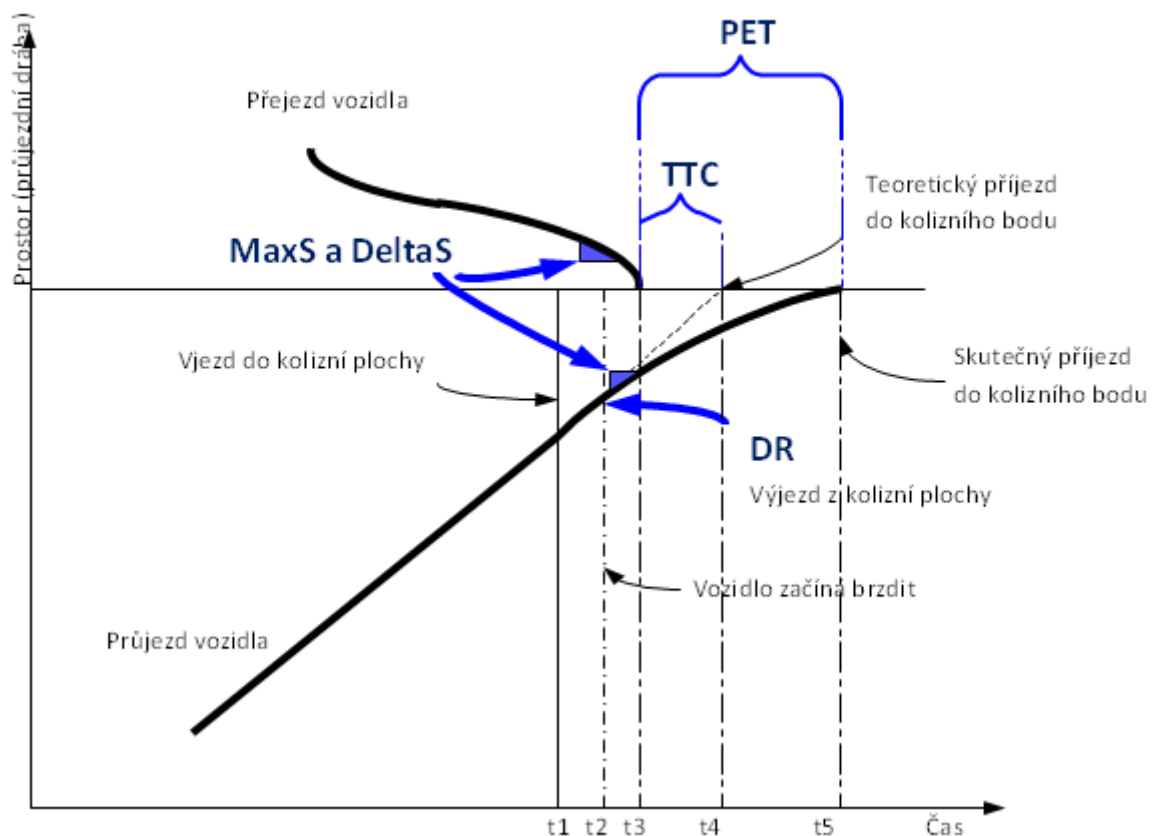
Časoprostorový popis konfliktního bodu pro levé odbočení se skládá z těchto kroků:

- t1 odbočující (křížící) vozidlo vjelo do kolizní plochy (kolizní bod),
- t2 vozidlo na nadřazeném proudu (projíždějící) reaguje na nastalou situaci změnou jízdy (brzdění),
- t3 křížící vozidlo opouští kolizní plochu celým svým půdorysem,

- t_4 teoretický průjezd vozidla kolizním bodem (bez reakce na možnou kolizi),
- t_5 skutečný průjezd vozidla kolizním bodem.

Následující obrázek definuje nepřímé ukazatele v časoprostorovém znázornění konfliktního bodu. TTC je přesně definována jako rozdíl mezi úplným vyklizením kolizní plochy a příjezdem do teoretického konfliktního bodu (příjezd bez reakce na konfliktní situaci). PET je definován jako čas mezi úplným vyklizením kolizní plochy a skutečným projetím konfliktního bodu.

Obrázek 14 – Nepřímé ukazatele ve schématu kolizního bodu



Zdroj: upravené [29]

Při definování kolizní linie se v průběhu kolizního kurzu zaznamenávají průběžné minimální hodnoty TTC a PET, které se mění podle průběhu jízdy nadřazeného vozidla a zároveň reagujícího vozidla podřazeného. V takovém případě může nastat situace, kdy nastalá konfliktní situace má velmi malou závažnost a minTTC je v řádech několika sekund (přijetí k čekací frontě) a následné projetí kolizního bodu PET v řádech desetin sekund (plynulá jízda rozjíždějící kolony).

Ukazatelé TTC a PET určují závažnost dopravního konfliktu a ukazatelé MaxS , DeltaS a DR určují závažnost potenciální kolize (nehody). Konfliktní body přesně definují TTC a PET, zatímco v průběhu konfliktní linie a předto – zadní konfliktní linie je nutné vyhledat minimální hodnoty TTC a PET v průběhu celé konfliktní události.

Výstupy poskytované SSAM

Určení nepřímých veličin hodnotících konfliktní situace je založeno na identifikaci, klasifikaci a hodnocení dopravních konfliktů získaných ze simulací. Porovnáním simulovaných návrhů umožňuje SSAM statisticky analyzovat relativní bezpečnost těchto návrhů. Software používá otevřený standard záznamu trajektorií ze čtyř simulačních programů, které se podíleli na vývoji tohoto nástroje – PTV (VISSIM), TSS (AIMSUN), Quadstone (Paramics), and Rioux Engineering (TEXAS). Záznam je určen s podrobností 10 záznamů za sekundu.

Při použití metody SSAM se nejprve namodeluje daný úsek nebo křižovatka ve výše zmiňovaném mikrosimulačním programu. Obvykle se připraví několik modelových situací s rozdílnými vstupy dopravního proudu představující různé charakteristiky provozu. Každá simulace nám poskytne výsledky v podobě výstupních dat trajektorií v souboru s příponou *.trj.

Následně je použit nástroj SSAM k analýze souboru výstupů TRJ (postprocesor). Z těchto údajů jsou na základě nastavení prahových hodnot TTC a PET vypočteny nepřímé bezpečnostní ukazatele pro každou konfliktní situaci vzniklou v simulaci. Cílem je odvození nepřímých veličin (surrogate safety measures). Software umožňuje filtrovat záznamy podle nastavitelných parametrů:

- prahových hodnot proximálních ukazatelů,
- typu konfliktu,
- jízdního pásu (linku) definovaného v simulaci,
- vstupních souborů trajektorií a
- souřadnic v simulačním modelu.

Jako grafický výstup je možné použít schematický záznam konfliktních situací s mapovým podkladem. Zobrazení konfliktů je možné barevně a tvarově rozlišit podle kritérií prahových hodnot TTC nebo typu konfliktu.

Validace SSAM

Validace SSAM modelu proběhla ve třech stupních sestávající se z těchto částí:

1. 11 teoretických testů na simulovaných modelech dvou alternativních návrhů a porovnány relativní bezpečnosti. Z této analýzy plyne doporučení pro další vývoj metodiky pro posouzení bezpečnosti pomocí např. indexu konfliktnosti (conflict index) nebo indexu bezpečnosti (safety index).
2. 83 validačních studií na skutečných čtyřpruhových křižovatkách se SSZ z Britské Kolumbie a Kanady pomocí simulace dopravní špičky a posouzeno pomocí SSAM. Tato validační studie má za výsledek určení vztahu mezi konflikty a nehodami ve tvaru: $\frac{Crashes}{Year} = 0,119 \left(\frac{Conflicts}{Hour} \right)^{1,419} (R^2 = 0,41)$.
3. Citlivostní analýzy za účelem porovnání rozdílů mezi použitými mikrosimulačními softwary. Jednotlivé rozdíly jsou přidávány rozdílností modelu chování řidičů v jednotlivých simulačních softwarech. [38]

SSAM prokázal významnou korelaci s aktuálními nehodovostními daty na podobné úrovni jako stávající predikční modely založené na RPDI. V absolutních číslech tradiční modely ovšem vykazují lepší výsledky. Na druhou stranu je síla TCT v možnostech predikce a posuzování nových návrhů a úprav bez možnosti posouzení tradičními metodami.

Validace SSAM ve světě

Přístup hodnocení bezpečnosti pomocí simulace a nepřímých ukazatelů vzbudil velký zájem odborné veřejnosti, a proto zde stručně uvádím několik validačních studií použití SSAM a mikrosimulačního přístupu.

Studie validace SSAM a PTV Vissim na připojovacích pruzích dálnic

První uvedená validační studie v Číně byla provedena na připojovacích pruzích dálnice. Fan zde uvádí vhodnou dvoustupňovou kalibraci modelu, která snížila ukazatel MAPE (mean

absolute prevent error) pro všechny konflikty z 78,1% na 33,4% a ověřil vztah mezi konflikty a nehodami. [42]

Střední absolutní procentuální chyba MAPE je dána vztahem: [28]

Rovnice 7

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|e_i - m_i|}{e_i},$$

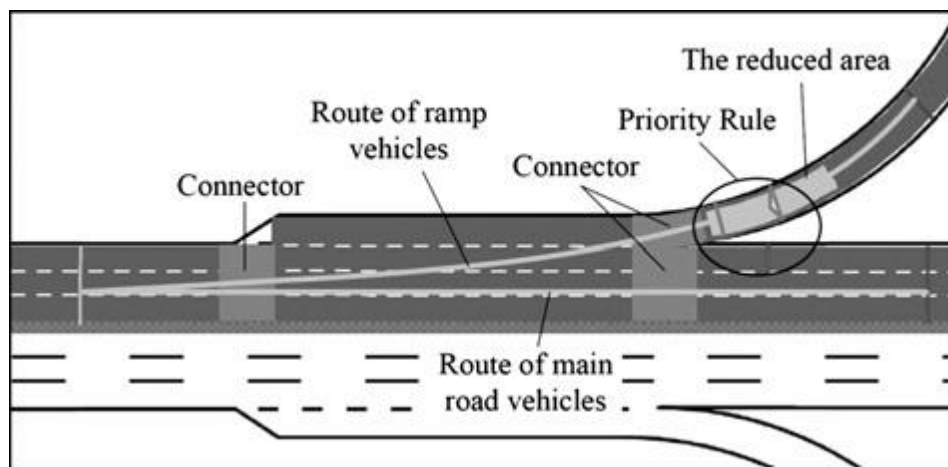
kde:

N je počet měření,

e je měřená hodnota,

m je modelovaná hodnota.

Obrázek 15 – Ukázka modelu simulovaného připojení v PTV Vissim



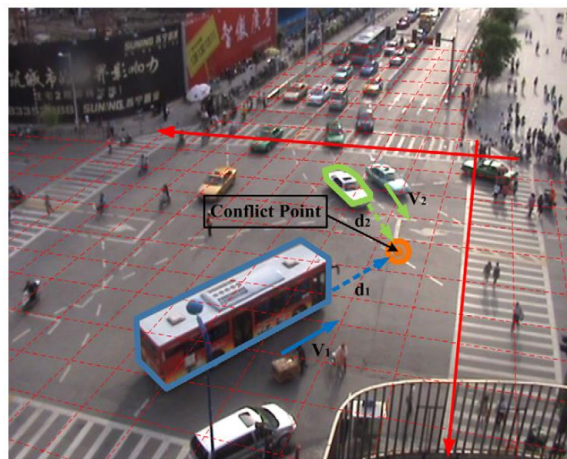
Zdroj: [42]

Studie validace SSAM a PTV Vissim na světelně řízené křižovatce

Tato studie byla provedena podobně jako validační studie projektu FHWA na čtyřprahové světelně řízené křižovatce v Číně. Porovnáván byl 80 hodinový videozáznam pozorování konfliktních situací na 10 křižovatkách se simulovanými výstupy z PTV Vissim a SSAM.

Po dvoustupňové kalibraci a validaci modelu byly výsledky porovnány s pozorováním a nalezena shoda. Predikční schopnost pro konflikty vykazovali hodnoty MAPE 18–20% pro konflikty zezadu, ale pouze 31–38% pro konflikty změny jízdního pruhu.

Obrázek 16 – Ukázka z videozáznamu pozorované křižovatky



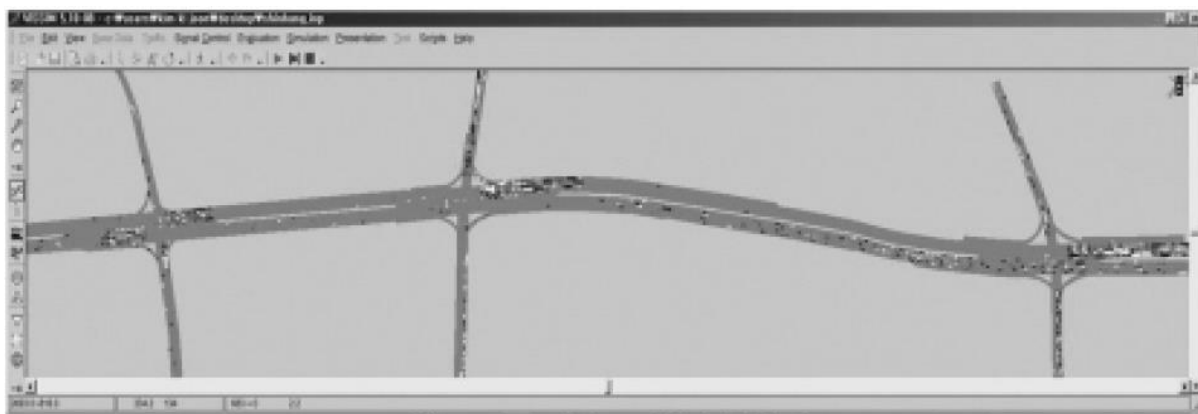
Zdroj: [43]

Autor Huang zde ovšem poukazuje na nevhodnost simulace vzhledem k nelegálním manévřům při změnách jízdního pruhu apod. Tento manévr je již ve své podstatě vypuštěn z teorie konfliktních situací, která nepopisuje nelegální chování a kolizní situace bez účasti dalšího účastníka silničního provozu.[43]

Studie validace SSAM a PTV Vissim na úseku komunikace se 3 křižovatkami v Sungnamu Aplikace ve městě Sungnam v Jižní Koreji na úseku 8 – 10 pruhové komunikace se třemi úrovněvými křižovatkami s rychlostním limitem 60 – 70 km/h. V takovémto rozsahu se běžně TCT teorie nepoužívají. Kim a Sul uvádí vhodnost použití simulací na dopravně – inženýrské analýzy a hodnocení, ale neprokázali vhodnost na bezpečnostní analýzy. Tento nedostatek přisuzují nevhodnému dopravnímu modelu vyžívající simulační software. Další poznatek směřoval na další výzkum prahových hodnot v SSAM.[19]

Obrázek 17 – Znázornění situace a simulace zkoumaného úseku





Zdroj: [19]

K podobnému názoru na potřebu upřesnění psycho – fyzikálního modelu v simulačních softwarech se přiklání ve své práci Apeltauer. Zde uvádí jako hlavní důvod především nespojitost chování a z toho plynoucí nestabilita a složitost a nepřehlednost algoritmů.

„Při nesouladu je třeba zejména hledat jeho příčiny (malá výstižnost mikroskopického modelu), nikoli kalibrovat mikroskopický model tak, aby si patřičné statistické výsledky odpovídaly.“ [44]

1.7. Přehled metod sledování teorie konfliktních situací v ČR

Česká metodika sledování konfliktních situací se zabývá metodami, nejčastěji používanými v ČR, které jsou dle uvedeného dělení, kvalitativní (s využitím pozorovatelů) prováděné na místě.

Metody sledování konfliktů používané v ČR lze rozdělit do dvou kategorií:

- sledování v terénu (přímé sledování),
- sledování ve videozáznamu (nepřímé sledování).

Oba způsoby vychází z metody, kterou od roku 1972 rozvíjel Doc. Folprecht na tehdejším Ústavu silniční a městské dopravy. Po jeho přesunu na VŠB-TU Ostrava se metoda, založená na hodnocení ve videozáznamu, dále rozvíjela jako „videoanalýza konfliktních situací“. Druhá varianta této metody využívá sledování na místě a rozvíjel ji doc. Slabý na Českém vysokém učení technickém v Praze.

1.7.1. Metoda vyvíjená na FSv ČVUT

Autorem této metody je Doc. Slabý působící na Fakultě stavební ČVUT v Praze. Tato metoda je inspirována rakouskou TCT vyvíjena od roku 1985. Na základě několika výzkumných projektů vznikla upravená metoda doc. Kocourka.

Dopravní konflikt („skoronehoda“) je definován jako pozorovatelná situace, ve které se dva nebo více účastníků silničního provozu k sobě přiblíží v takovém prostoru a čase, že hrozí bezprostřední nebezpečí kolize, pokud jejich pohyb zůstane nezměněn.

Definice vyjímá:

- dopravní přestupky,
- situace, při nichž se jedná o parkující vozidla,
- nehody jednoho vozidla.

Stanovené stupně závažnosti konfliktů reflektují definici dopravního konfliktu. Podle druhu účastníka konfliktu je záznam prováděn písmenným znakem a podle stupně závažnosti číselnou hodnotou.

Tabulka 8 – Přehledná tabulka stupňů závažnosti a příklad zápisu

Tabulka použité stupnice vyhodnocování s charakteristikou jednotlivých stupňů			
Stupeň závažnosti konfliktu		Interpretace stupně	
0		Porušení pravidel bez následků	
1		Kontrolovaný manévr bez omezení (např. změna rychlosti)	
2		Výrazný manévr, s omezením (např. změna směru)	
3		Kritický manévr, s ohrožením	
4		Fyzický konflikt, nehoda	
Způsob zápisu „skoronehody“:		O / B – 1	
		zavinil / reagoval – stupeň závažnosti	
Použité zkratky:			
O	osobní vozidlo	B	autobus
N	lehké nákladní vozidlo	T	tramvaj
NT	těžké nákladní vozidlo	Ch/C	chodec / cyklista

Zdroj:[45]

V rámci metodiky je dále definováno 12 typizovaných konfliktů mezi dvěma vozidly a jeden typ tzv. druhotného konfliktu se zapojením tří účastníků. Některé z těchto konfliktů však vykazují velmi nízkou míru výskytu, což omezuje jejich prospěšnost. Doplní – li se seznam o možné konflikty mezi motorizovanými a nemotorizovanými účastníky (chodci, cyklisté a další), počet typů konfliktů rychle narůstá.

Pro možnost srovnání “skoronehod“ mezi jednotlivými zkoumanými křižovatkami byl vybrán jednoduchý ukazatel míry bezpečnosti a to ukazatel relativní konfliktnosti k_R .

Rovnice 8

$$k_R = (P_{ks} / I) * 100 \quad [\text{konfliktní situace} / 100 \text{ vozidel}],$$

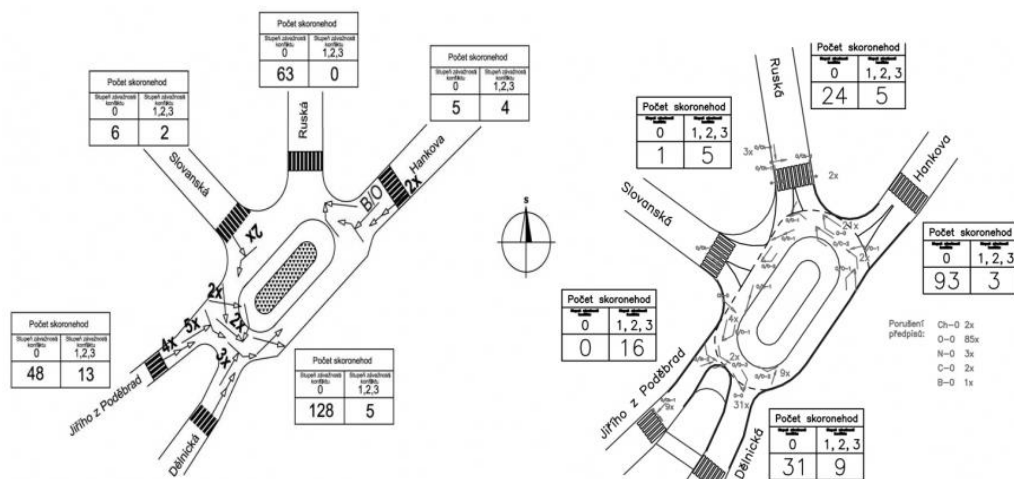
kde:

P_{ks} je počet konfliktních situací za hodinu (jen konfliktní situace se závažností 1–3),

I je hodinová intenzita v přepočtených vozidlech.

Vyhodnocení se dále upravuje do diagramů dopravních konfliktů s vyznačenými sledovanými manévry, četností a jejich závažností.

Obrázek 18 – Záznam pozorování v diagramu dopravních konfliktů



Zdroj: [45]

Bylo zjištěno, že manuální sledování na místě je více vypovídající. Metoda tedy principiálně nevyužívá videozáznam (video by „mělo sloužit pouze jako doplněk přímého pozorování v terénu“).

Je kladen velký důraz na instruktáž pozorovatelů a následující doporučení:

- rozlišení mezi stupni 1 a 2 (omezení nebo ohrožení) bývá problematické, jinak ale byla zjištěna reliabilita $> 80 \%$,
- doporučuje se sledovat jen v místech s intenzitou > 300 vozidel v jednom směru za hodinu,
- sledování probíhá 1 – 2 hod,
- při výpočtu relativní konfliktnosti se uvažují konflikty závažnosti 1, které odpovídají definici konfliktní situace.

Kromě sledování na křižovatkách v intravilánu zmiňuje metodika i možnosti sledování konfliktů na mezikřižovatkových úsecích, zejména v extravilánu. Nabízí se 3 způsoby:

- sledovat obdobně jako křižovatky,
- sledovat z plovoucího vozidla,
- sledovat pomocí dat ze statistického radaru (rychlosti, intenzita, odstupy).

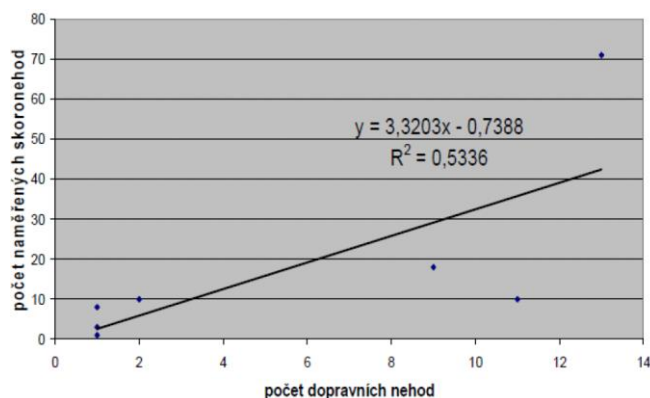
Metodika ČVUT zmiňuje i reliabilitu, reprezentativitu a validitu:

Reliabilita: „Musí být splněn základní požadavek a to že různí pozorovatelé musí zaznamenávat tytéž konflikty jednotně. Délka školení by měla vycházet z doby, potřebné k dosažení jednotnosti pozorování. Ta se může vyšetřit porovnáním počtů dopravních konfliktů, zaznamenaných zkušenými a nezkušenými pozorovateli v téže lokalitě nebo porovnáním odpovídajícího videozáznamu a konfliktů zapsaných ručně. Měla by být dosažena vysoká úroveň jednotnosti. Studenti, kteří měřili dané lokality, byli školeni šesti vyučovacími hodinami (přednáška a cvičení).“

Reprezentativita: „Období pozorování se může lišit od několika hodin po několik dní, v závislosti na době potřebné ke shromáždění dostačujících údajů. Typický rozsah období pozorování je mezi dvěma a pěti dny.“ Měření je nutné provádět vždy ve špičkové hodině, která je nejčastěji dosahována na většině komunikací mezi 14. a 18. hod. S ohledem na soustředění pozorovatelů by mělo sledování zahrnovat přestávky. Pokud intenzita vozidel ve špičkové hodině v lokalitě klesne pod 100 pvoz/h, je nutné provádět měření déle než 1 hod.

Validita – Na vybraném místě byly „homogenizovány“ údaje o konfliktech a nehodách (tj. redukce na srovnatelné typy a období) a byla zjišťována vzájemná závislost:

Obrázek 19 – Příklad závislosti mezi počty nehod a konfliktů po „homogenizaci“ dat



Zdroj: [46]

1.7.2. Metoda vyvíjená na VŠB-TU Ostrava

První aplikace TCT v ČR se objevily roku 1973 na pražském ÚSMD, patřily tedy mezi první v Evropě (hned po Velké Británii). Inspirací byla americká TCT. Konflikty jsou definovány jako „takové okamžiky a situace v silničním provozu, kdy vzniká pro některé jeho účastníky větší než obvyklá míra nebezpečí“. Uvádí se, že statisticky významný soubor konfliktů lze získat již po hodinovém sledování.

Za účelem diagnózy se vyhodnocené konflikty zakreslují do schématu pomocí kódů podle účastníků, druhu konfliktu a jeho závažnosti. Registrují se 4 stupně závažnosti: [47]

1. bez reakce,
2. bez násilné reakce,
3. ostrá reakce neboli „skoronehoda“,
4. nehoda.

Postup vyhodnocení je následující:

- Vyhodnocení obrazového záznamu se provádí v zatemněné místnosti ve větším počtu osob. Doba sledování záznamu by neměla přesáhnout 3 hodiny; záznam lze pozastavit, zpomalit a opakovat.
- Výsledné počty jednotlivých druhů konfliktů lze sčítat v rámci jejich kategorií a jejich četnost vztahovat k intenzitám dotyčných (nebo veškerých) dopravních proudů.
- Výpočet relativní konfliktnosti (uvažují se jen konflikty mezi účastníky) se provádí podle stejného vztahu, jako v metodě ČVUT tzn. relativní konfliktnost.

Přínos popsané videoanalýzy je v možnosti přenesení reálné dopravní situací z ruchu ulice do klidu kanceláře s následnou kolektivní analýzou včetně možnosti zpomalení a opakování. Videozáznam zároveň slouží jako zdroj dopravních dat a průkazný materiál.

Postup doc. Folprechta byl následně upraven dr. Křivdou pomocí koeficientu závažnosti na váženou relativní konfliktnost:

Rovnice 9

$$k_R = (P_{ks} \cdot K_z / I) \cdot 100 \quad [\text{konflikt. situací / 100 vozidel}],$$

kde:

P_{ks} je počet konfliktních situací za hodinu (jen konfliktní situace se závažností 1–3),

K_z je koeficient závažnosti

$K_z = 1$ pro stupeň 1,

$K_z = 3$ pro stupeň 2,

$K_z = 6$ pro stupeň 3.

I je hodinová intenzita v přepočtených vozidlech.

A pro všechny konflikty celkem:

Rovnice 10

$$k_R = (\text{Suma } (P_{ks}) \cdot K_z / I) \cdot 100 \quad [\text{konflikt. situací / 100 vozidel}],$$

Další aplikované úpravy:

- rozlišení vlastních konfliktů (souvisí přímo s provozem na místě, s její stavebním uspořádáním apod.) a nevlastních konfliktů (ovlivněny jinými situacemi vzniklými mimo sledované místo a nesouvisejícími přímo se samotným místem, např. vlivem jiné blízké křižovatky),
- rozlišení prvotních a následných konfliktů (vyvolány jinou situací, zpravidla prvotní nebo jinou následnou),
- rozlišení statické (výše popsané) a dynamické metody (plovoucí vozidlo).

1.7.3. Sjednocená metodika sledování konfliktních situací v ČR

Pokračovateli v těchto aktivitách jsou zmínění doc. Křivda (VŠB-TU) a doc. Kocourek (ČVUT), postupy dále aplikovali např. pracovníci Centra dopravního výzkumu, v.v.i.

Z existence těchto dvou tradic (VŠB a ČVUT) by se mohlo zdát, že metody jsou diametrálně odlišné; ve skutečnosti si však jsou velmi podobné. Protože však sdílení zkušeností mezi uživateli obou metod bylo velmi omezené, a ani nikdy nedošlo k rozsáhlejšímu srovnání metod, nelze jednoznačně hodnotit podobnost nebo rozdílnost metod. Každá z nich má své výhody i nevýhody; některé z nich jsou pro srovnání uvedeny.

Tabulka 9 – Srovnání základních rysů přímého a nepřímého sledování

	Přímé sledování	Nepřímé sledování
Příprava na sledování	Je vhodné místo předem rekognoskovat, zvolit potřebný počet pozorovatelů a jejich umístění. Při rekognoskaci je navíc nutno zvolit umístění videokamery, příp. zařídit povolení ke vstupu, napájení apod.	Na některých místech nelze kameru vhodně umístit tak, aby bylo plně pokryto celé sledované místo.
Sběr dat v terénu	Počet pozorovatelů závisí na komplexnosti sledované lokality.	Na pořízení videozáznamu stačí 1 člověk.
Celkový vjem	Pozorovatelé jsou blíže sledovanému ději, jejich vjem je autentický, včetně zvuků a prostorového dojmu celkové situace. Pozorovatel může měnit stanoviště, např. při nečekaném omezení výhledu.	Videozáznam bývá od sledovaného děje vzdálený. Vjem hodnotitelů je více soustředěný, zároveň však méně autentický. Záznam může být omezen světelnými podmínkami (oslnění, stíny apod.), stanoviště nelze měnit.
Celkové náklady	Náklady na větší množství personálu.	Náklady na pořízení videokamery.

Zdroj: [33]

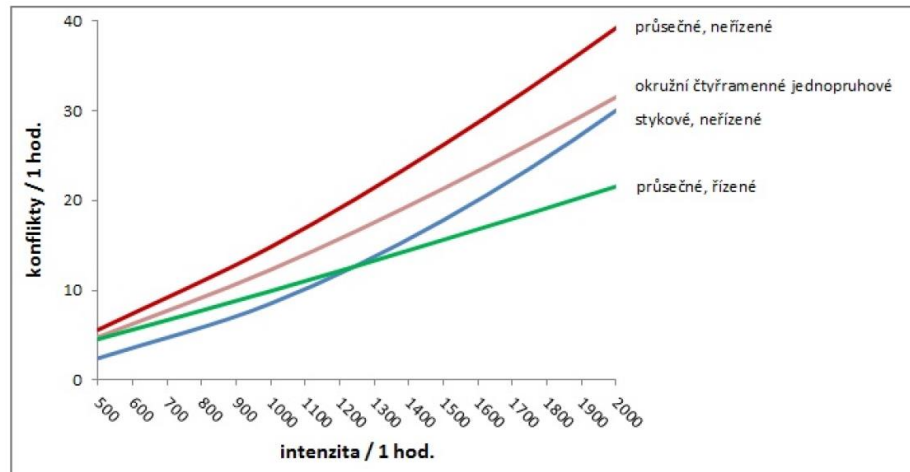
Z popsáných metod pozorování konfliktních situací používaných v ČR vznikla v rámci projektu KONFLIKT metodika sjednocující postupy a vyhodnocení konfliktních situací pomocí přímého a nepřímého sledování.

Metodika používá k hodnocení pozorované lokality absolutní konfliktnost (četnost pozorovaných konfliktních situací) během jedné hodiny sledování. Nepoužívá hodnocení relativní konfliktnosti (četnost dělená intenzitou dopravního proudu).

Tyto údaje se vyhodnotí podle čtyř typických křížovatkových uspořádání:

- průměrná – neřízená,
- okružní čtyřramenná jednopruhová,
- stykové neřízené,
- průměrné – řízené.

Obrázek 20 – Grafy typické konfliktnosti na čtyřech typech úrovnových křižovatek v intravilánu



Zdroj: [33]

Tato závislost byla zjišťována na 238 křižovatkách typického uspořádání. Uvedená intenzita vozidel se uvádí v přepočtených vozidlech podle platných technických podmínek popisující kapacity jednotlivých křižovatek.

Na základě intenzity a údajů z pozorování lze provádět kvantifikaci konfliktnosti. Četnost konfliktů lze dělit následovně.

Podle pokrytí:

- celková, tj. jedna hodnota za celou lokalitu,
- dílčí, tj. vztažená k jednotlivým kolizním proudům.

Podle dělení:

- bez rozlišení typů a závažnosti,
- s rozlišením typů,
- s rozlišením stupňů závažnosti.

Většinou se používá celková konfliktnost bez rozlišení typů a závažnosti.

Samotné konflikty se při pozorování dělí podle závažnosti do čtyř skupin od 0 do 4. Podle definice neodpovídá dopravnímu konfliktu stupeň 0 (chování – porušení pravidel bez omezení jiného účastníka) a stupeň 4 (dopravní nehoda). Do výpočtů vstupují tedy jen konflikty stupně závažnosti 1 – 3.

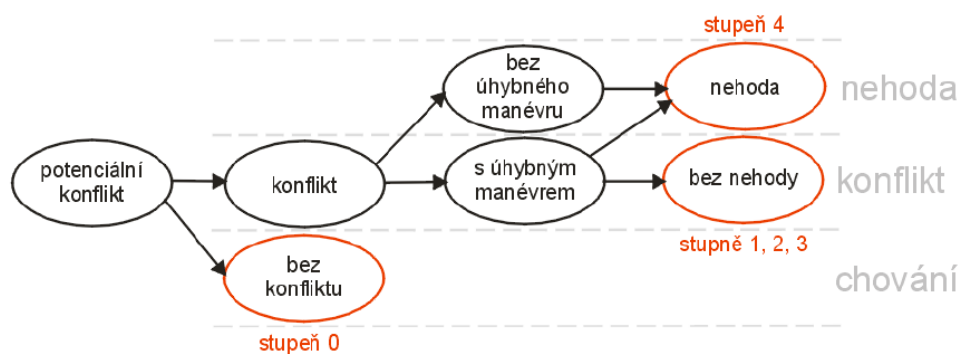
Tabulka 10 – Souhrn jednotlivých stupňů závažnosti

č.	termín	závažnost	fyzické projevy	popis		další projevy	
				ve vztahu k vozidlům	ve vztahu k chodcům		
0	chování	žádná	žádné reakce	porušení pravidel bez následků, chování jednotlivých účastníků	porušení pravidel (např. přecházení mimo přechod)		
1	konflikt	lehký	nízká	běžné reakce	plynulé, kontrolovatelné, očekávané manévry	změna směru chůze (např. obcházení)	
2		střední	omezení	náhlé reakce	výrazné, bezprostřední, nečekané manévry	změna rychlosti chůze, dále např. náhlý vstup na přechod	např. zvuky brzd
3		těžký	ohrožení	prudké reakce	kritické, nouzové manévry	zkratové manévry	
4	nehoda	různé (pouze hmotná škoda nebo nehody se zraněním)					

Zdroj: [33]

Závažnost nesouvisí s vinou (kdo zavinil nebo způsobil konflikt). Jedná se o míru vzniklého rizika, nezávisle na jeho původci. To se však může lišit podle toho, kdo se konfliktu účastní – např. v případě konfliktu mezi vozidlem a chodcem by mělo mít větší váhu ohrožení chodce, vzhledem k jeho vyšší zranitelnosti.

Obrázek 21 – Vývojové schéma kroků vedoucích ke konfliktu nebo nehodě



Zdroj: [33]

Z metodiky plynou závěry týkající se dalšího nutného zkoumání popisované metodiky. Autoři si jsou také vědomi slabých stránek tohoto přístupu plynoucí zejména z novosti ucelené metodiky. Mezi tyto lze zařadit zejména:

- účinnost školicího systému pracovníků,

- ověření dlouhodobých změn reliability pozorovatelů,
- rozsáhlejší srovnání výsledků přímého a nepřímého sledování,
- časové variace konfliktnosti z dlouhodobých sledování, příp. za různých podmínek,
- ověření konfliktnosti za slabého provozu (při intenzitě < 1000 pvoz/h),
- výpočty dílčí konfliktnosti (s rozlišením jednotlivých kolizních proudů, typů konfliktů a stupňů závažnosti),
- upřesnění grafů typické konfliktnosti na základě většího počtu delších sledování a se zohledněním rozdílných stupňů závažnosti (také pro extravilán),
- větší zaměření na sledování mezikřižovatkových úseků, nestandardních typů křižovatek a jiných prvků silniční sítě,
- rozlišení typických a netypických konfliktů,
- ověření vztahu mezi nehodami a konflikty u delších sledování,
- srovnání hodnocení stupňů závažnosti se zahraničními metodikami,
- další úpravy školicí a vizualizační aplikace na základě získaných zkušeností,
- vývoj aplikace pro digitalizovaný záznam sledování (na principu vizualizační aplikace).

K výše uvedenému lze tedy dodat vývoj automatizovaných sběrů dat pomocí videozáznamů, které se vyvíjí např. ve Švédsku – Svensson a Laureshyn [15], ale i v ČR na VŠB Ostrava.

1.8. Shrnutí současného stavu

Současný trend vývoje bezpečnosti silničního provozu je na národní i mezinárodní úrovni jednotný a směřuje k minimalizaci vzniku nehod a nulovému počtu úmrtí nebo těžkého zranění při nehodách na komunikacích. Odpovědnost a zodpovědnost za bezpečnost se přesouvá z jednotlivce na tvůrce dopravně bezpečnostního systému, přičemž odpovědností každého jednotlivce je podřídit se příslušným závazným regulím. Základ pro návrh bezpečnostního systému jsou odpouštějící komunikace, limity lidského organismu (návrhování zón 30), bezpečné vozidlo a odpovědnost každého jednotlivce.

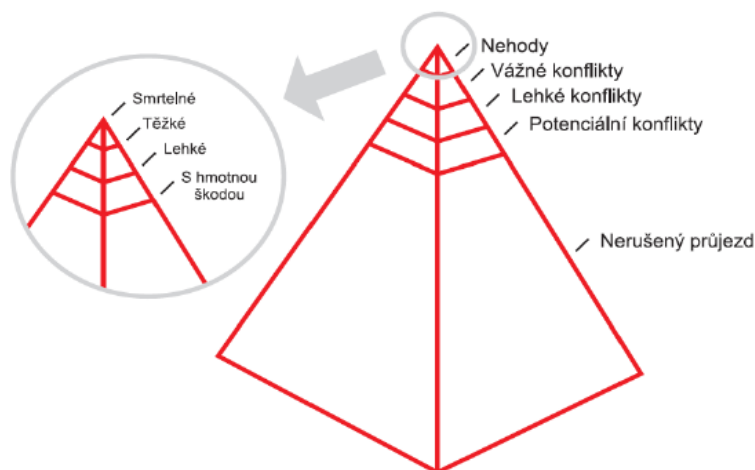
Modelování a hodnocení bezpečnosti lze rozdělit na komplexní pojetí hodnocení bezpečnosti a definování základních modelů dopravního systému, tradiční metody analýzy bezpečnosti

silničního provozu ze záznamů dopravních nehod (reaktivní metody) a metody analýzy bezpečnosti silničního provozu založené na teorii konfliktních situací (proaktivní metody).

Jednou z nevýhod hodnocení bezpečnosti silničního provozu na základě statistických analýz záznamů z dopravních nehod je skutečnost, že se hodnotí stav dopravního systému, který se již udál v minulosti. Přes nespornou objektivnost a statistickou průkaznost této metody nemají dostatečnou vypovídající schopnost nebo je nelze vůbec použít z důvodu podregistrace nebo neúplnosti záznamů. Z tohoto důvodu se vyvíjí metody, které dokáží prognózovat dopravní nehody a hodnotit bezpečnost silničního provozu na komunikacích dříve než k těmto nehodám dojde.

Proaktivní metody založené na teorii konfliktních situací (TCT – Traffic Conflict Technique) se opírají o existenci tzv. bezpečnostního kontinua, které popisuje konfliktní mechanismy vzájemných interakcí mezi vozidly od nenarušeného průjezdu až po nehody s různou závažností na straně druhé. Závislost bezpečného nerušeného průjezdu se odvíjí od hustoty provozu popř. úrovní kvality dopravy při určení výkonosti (kapacity) křižovatek.

Obrázek 22 – Vyjádření bezpečnostního kontinua (pyramida bezpečnosti)



Zdroj: [33]

V TCT je dopravní konflikt („skoronehoda“) definován jako pozorovatelná situace, ve které se dva nebo více účastníků silničního provozu k sobě přiblíží v takovém prostoru a čase, že hrozí bezprostřední nebezpečí kolize, pokud jejich pohyb zůstane nezměněn.

Definice vyjímá dopravní přestupky, situace, při nichž se jedná o parkující vozidla a nehody jednoho vozidla. Bezpečnost resp. nebezpečnost představuje v teorii konfliktních situací nulový/malý počet nehod a závažných dopravních konfliktů a nebezpečnost na druhou stranu

reprezentuje přítomnost nehod a dopravních závažných konfliktů. Studie konfliktních situací tradičně používá pro identifikaci a záznam konfliktů proškolené osoby přímým nebo nepřímým (videozáznam) pozorováním pohybů vozidel zejména na křižovatkách.

Validace TCT byla řešena v řadě studií po celém světě. Lze říci, že tam kde se nepodařilo závislost dokázat (Německo), TCT nezískala vědecké uznání; naopak kde prokázána byla (Švédsko), metoda uznání získala.

TCT nelze považovat za náhradu tradičního přístupu k hodnocení bezpečnosti, který je založen na analýze nehod. Je nutné uvažovat TCT jako doplňující nástroj.

Výskyt konfliktů je jedním z nepřímých ukazatelů bezpečnosti a analýze TCT se nejčastěji používá jako:

- hodnotící nástroj k provádění studií rychlé účinnosti bezpečnostních opatření nebo hodnocení bezpečnosti obecně (hodnocení křižovatek ve vybraném městě podle úrovně jejich bezpečnosti),
- diagnostický nástroj ke stanovení diagnózy vybraných míst včetně návrhu opatření. Jedná se zejména o místa, kde nehodová data (jako tradiční přímý ukazatel bezpečnosti) nejsou spolehlivá nebo úplně chybí. Výběr míst se většinou provádí na základě zvýšeného výskytu nehod (objektivní bezpečnost) nebo na základě stížností a požadavků obyvatel nebo úřadů (subjektivní bezpečnost).

Jeden z typů prediktivně analytického modelování dopravy je mikrosimulace – dopravní simulace „bezpečné jízdy“. Simulace znázorňuje matematickými a logickými vztahy chování dopravního systému na různých stupních abstrakce. Takto definovaný model slouží k získání kvantitativního popisu výkonu dopravního systému. Simulační metody se staly účinným nástrojem pro analýzu široké palety komplexních a dynamických dopravních jevů, které nemohou být studovány s dostatečnou přesností jinými tradičními analytickými metodami.

Obrázek 23 – Mikrosimulace v PTV Vissim



Zdroj: autor

Na základě vývoje simulačních metod s moderními modely dopravního chování vznikla snaha o alternativní přístup hodnocení bezpečnosti s využitím analýzy četnosti a charakteru konfliktních situací jako náhrada za skutečná nehodová data. Tato metoda analyzuje frekvenci a charakter manévrů vozidel na komunikaci, které by bez změny jízdy vedly k nehodě mezi dvěma vozidly. Hodnocení tedy není závislé na statistickém zkoumání míst s častým výskytem nehod. Klasické metody jsou díky potřebě sběru nehodových dat pro statistické zpracování velmi časově náročné a nejsou vhodné pro místa s malým počtem záznamů. Ať už díky malému počtu nehod nebo neúplnosti dat.

Pro automatizaci zpracování trajektorií vozidel z mikrosimulačních softwarů byl vyvinut nástroj SSAM (Surrogate Safety Assessment Model), který na základě vložených okrajových podmínek bezpečnostních ukazatelů dokáže analyzovat trajektorie vozidel ze simulačního softwaru. [19]

Ke shrnutí současného stavu uvádím základní výhody a nevýhody klasické teorie konfliktních situací při hodnocení bezpečnosti silničního provozu na křižovatkách.

Výhody klasické TCT:

- dokáže odhalit bezpečnostní rizika i při nízkém či neúplném výskytu záznamů o nehodách,
- lze získat dostatečně velký vzorek již při krátkém pozorování,
- spojující nedílný článek mezi nerušenou jízdou a nehodami vozidel v bezpečnostním kontinuu (pyramidě bezpečnosti),

- pokud TCT nemá sloužit k predikci, validace není nutná (z toho vyplývá, že použitelnost TCT se odvíjí od schopnosti detekce bezpečnostních rizik a ne od schopnosti predikce).

Nevýhody klasické TCT:

- časová náročnost zpracování dat včetně použití klasické videodetekce,
- subjektivní hodnocení konfliktních situací,
- nevhodné na studie účinnosti bezpečnostních opatření (reliabilita a validita).

Nově vyvíjený přístup, využití simulačního modelu jako zdroj dat pro TCT analýzu, ovšem mínusy klasické TCT ze své podstaty neobsahuje. Naopak se zde vyskytují jiné problémy související s mikrosimulačním modelováním obecně.

Výhody simulace a TCT:

- hodnocení projektových návrhů variant křižovatek,
- objektivní hodnocení konfliktních situací pomocí proximálních bezpečnostních ukazatelů,
- odpadá problém s reliabilitou a reprezentativitou.

Nevýhody simulace a TCT:

- simulace „bezpečné jízdy“, kde ojedinělé střety nepředstavují kolize vozidel, ale reprezentují nevhodně nastavené parametry simulačního modelu,
- obtížná kalibrace a validace simulačního modelu na teoretických návrzích.

2. CÍLE DIZERTAČNÍ PRÁCE

Dizertační práce předkládaná pod názvem „Matematický model bezpečnosti vybraného typu křižovatky v závislosti na dispozičním řešení“ je zaměřena na hodnocení bezpečnosti neřízených úrovnových křižovatek novým přístupem pomocí dopravní simulace a nepřímých bezpečnostních ukazatelů TCT. Použití nového přístup hodnocení bezpečnosti je zaměřeno na případy, kdy nelze tradičními metodami skrze analýzu dopravní nehodovosti určit vhodnost / nevhodnost navrhovaného řešení.

Pole zkoumání je omezeno na konflikty mezi vozidly na intravilánové neřízené křižovatce bez účasti ostatních účastníků silničního provozu jako chodci a cyklisté. Křižovatky jsou kanalizované s usměrněním dopravy modelované v simulaci bezpečné jízdy. Pro zkoumání dispozičního řešení byly zvoleny základní typy: styková a průsečná křižovatka s/bez usměrnění pomocí levého odbočení z hlavní komunikace, malá okružní křižovatka ($D = 27\text{m}$) a okružní křižovatka ($D = 50\text{m}$) s jedním pruhem na vjezdu i na okružním páse.

Jako hodnotící nástroje jsou použity nepřímé bezpečnostní ukazatele (proximální ukazatele) z oblasti teorie konfliktních situací (TCT – Traffic Conflict Technique).

Hlavní cíle dizertační práce:

1. Provéřit pořadí uznávaného bezpečnostního hodnocení křižovatek podle dispozičního uspořádání v městském prostředí. Platí zásady hodnocení bezpečnosti také na vybraných modelech křižovatek v závislosti na počtu střetných (kolizních) bodů a výskytu dopravních nehod?
2. Provéřit respektování dopravně inženýrských zásady návrhu bezpečné křižovatky. Respektuje simulovaný model při hodnocení bezpečnosti TCT dopravně inženýrské zásady návrhu bezpečné křižovatky (plynulost, výkonnost a bezpečnost)?
 - a. Provéřit vlivu nárůstu intenzity na vjezdech do křižovatky (změna UKD) na vyhodnocení konfliktů a posouzení bezpečnosti křižovatek. Platí též, že kapacita souvisí s kvalitou – bezpečností dopravy?
 - b. Platí předpoklad, že při nárůstu intenzity dopravy a překročení limitního stupně vytížení se vozidla pohybují opatrněji a zvyšuje se „bezpečnost“ na křižovatce?

- c. Provéřit doporučenou oblast zkoumání (celá křižovatka) při hodnocení dopravních konfliktů (bezpečnosti) pomocí mikrosimulace. Jak ovlivňuje velikost zkoumané oblasti hodnocení bezpečnosti křižovatky?
3. Posoudit aplikaci a vhodnost známých přístupů určení závažnosti dopravních konfliktů (určení bezpečnosti křižovatky) dle dispozičního řešení křižovatky.
 - a. Rozbor základních bezpečnostních ukazatelů TTC a PET
 - b. USZ (Uniform Severity Zone)
 - c. CL DST (Conflict Level – Deceleration to Safety Time)
 - d. TCS Score (Total Conflict Severity Score)
 - e. ICI (Intersection Conflict Index)
4. Aplikovat hodnotící metody na variantních návrzích úprav organizace dopravy pomocí změny dispozičního řešení okružní křižovatky na silnici III/32224 u obchodního domu Globus v Pardubicích – případová studie OK „U Globusu“:
 - a. Ověřit prahové hodnoty TTC a PET pro určení konfliktní situace.
 - b. Provéřit aplikaci a vhodnost vybraných metod určení bezpečnosti křižovatek na variantním řešení stejného typu.

Předložená práce analyzuje vliv nárůstu intenzity dopravy, velikost zkoumané oblasti na bezpečnostních ukazatelích TCT jednotlivých typů křižovatky. Získané závěry by měly poukazovat na vzájemné vazby, případné nedostatky, včetně návrhů dalšího zkoumání použitých metodik a doporučujících doplnění pro vývojáře použitého softwaru.

3. METODY ZPRACOVÁNÍ A ZPŮSOB ŘEŠENÍ

Při zpracování předložené práce byly použity následující metody:

- Metoda sběru dat a zpracování informací při shromažďování rešerše, podkladů, informací a jejich třídění.
- Metody analýzy při zkoumání předpokladů pro řešení problémů při získávání jednotlivých konkrétních údajů potřebných při porovnání.
- Metody sběru dat při dopravním průzkumu zjišťování dopravních intenzit a směrového rozložení dopravních proudů na posuzované lokalitě.
- Metody experimentální při měření jízdních charakteristik vozidel pomocí plovoucího vozidla se záznamovým zařízením tzv. „pátým kolem“ a měření rychlostí v posuzované lokalitě ručním multifunkčním měřičem rychlosti, které byly použity jako vstupy při kalibraci modelu.
- Metody simulační při vytváření teoretických modelů různých dispozičních řešení křižovatek a reálné nesymetrické pětipaprskové okružní křižovatky za pomoci mikrosimulačního softwaru PTV Vissim verze 5.4.
- Metody analytické při zpracování trajektorií vozidel ve vyhodnocovacím softwaru SSAM verze 2.1.6 a vyhodnocení jednotlivých bezpečnostních ukazatelů.

Způsob řešení spočívá v postupné analýze vyvíjených postupů, stanovení zásad návrhu bezpečné křižovatky, určení měřitelných ukazatelů bezpečnosti, experimentálního měření charakteristik dopravního proudu ke kalibraci modelu, simulací uvažovaných stavů, vyhodnocení výsledků, posouzení reprezentativních ukazatelů závažnosti konfliktních situací podle dílčích přístupů.

V následujícím textu jsou popsány použité rámcové přístupy a upřesňující popisy modelů, které nejsou podrobně popsány v předcházející kapitole analýzy současného stavu.

3.1. Zásady návrhu bezpečné křižovatky

Základní zásady návrhu bezpečné křižovatky musí zajistit maximální bezpečnost všech účastníků silničního provozu a zároveň maximální potřebnou plynulost (kapacitu) dopravního proudu. Pro návrh a posouzení je nutná znalost kvantitativních i kvalitativních údajů dopravního proudu tzn. správné posouzení dopravně – technických podmínek s maximální bezpečností silničního provozu.

Výkonost křižovatky (kapacita) a UKD

Správné navržení křižovatky závisí na technickém návrhu a z toho plynoucí kapacitě. Kapacita je dána jako maximální intenzita při přijatelné UKD a je závislá na intenzitě nadřazeného jízdniho proudu. UKD je reprezentována střední dobou zdržení popř. rezervou kapacity daného dopravního proudu.

Z bezpečnostního kontinua vyplývá, že nerušený (neovlivněný) průjezd je určující pro určení závažnosti konfliktní situace na komunikaci. Čím je vlivem horšího UKD ovlivněn plynulý pohyb vozidel po komunikaci, tím vzniká vyšší pravděpodobnost výskytu konfliktních situací.

Bezpečný návrh křižovatky

Bezpečný návrh křižovatky musí obecně splňovat kritéria včasné viditelnosti křižovatky při příjezdu ke křižovatce, přehlednost při průjezdu s minimálním počtem střetných bodů nebo ploch, jednoznačnost organizace dopravy a logická psychologická přednost nadřazených dopravních proudů.

Včasná viditelnost křižovatky:

- správně v předstihu osazené dopravní značky,
- zřízení dělicích ostrůvků na vedlejší komunikace,
- optické odlišení prostoru křižovatky (např. změnou okolní výsadby),
- odlišné osvětlení křižovatky (oranžové nebo intenzivnější osvětlení),
- z hlediska *směrových poměrů* umístit křižovatku do přímé nebo z vnější strany směrových oblouků s velkým poloměrem,
- s ohledem na *výškové vedení* trasy situovat křižovatku do výškové přímky sklonu $\leq 3\%$ či do vydutého oblouku.

Přehlednost křižovatky a bezpečnost průjezdu:

- použití *kolmého křížení* (zajištění co největšího rozhledového pole a jeho udržování),

- **počet střetných (kolizních) bodů** zmenšuje a zjednodušuje manévry (volit úpravy s maximálním počtem 4 paprsků, průsečné křižovatky nahrazovat dvojicí stykových křižovatek tam, kde je to vhodné),
- **rozlehlé střetné (kolizní) plochy** křižovatek bez kanalizace dopravy (dlouhá doba přejíždění napříč, nejasná dráha projíždějících vozidel, vysoké riziko konfliktu),
- **nebezpečné křížení** nahrazovat méně nebezpečným připojováním (v praxi znamená převážně náhradu průsečných křižovatek malými okružními),
- **velké střední trojúhelníkové ostrůvky** na vedlejších větvích stykových křižovatek (pak se z jedné stykové křižovatky stávají tři s nepříznivými rozhledovými poměry, komplikovanou předností a velkým počtem kolizních bodů),
- častou chybou je odsouvání přechodů od křižovatek – do míst, kde řidič přechod méně očekává a jede rychleji (bývá motivováno snahou o domnělé zvyšování kapacity).

Jednoznačná srozumitelnost organizace dopravy na křižovatce:

- použití jednoduchých vzorů křižovatek,
- usměrnění a vedení jednotlivých jízdních proudů v křižovatce – opticky (vodorovným značením) nebo fyzicky (ostrůvky),
- dostatečně a včas viditelné a srozumitelné vyznačení tvaru a řazení,
- zajistit u vícepruhových komunikací, aby pravý jízdní pruh v mezikřižovatkovém úseku procházel v křižovatce jako přímý.

Psychologickou jistotu řidiče lze zajistit následovně:

- hlavní komunikace širší než vedlejší,
- přímý průběh hlavní komunikace,
- zřízení odbočovacích a připojovacích pruhů na hlavní komunikaci,
- umístění směrových ostrůvků a dopravních stínů do vedlejší komunikace,
- opatření ke snížení rychlosti na vedlejší komunikaci před vjezdem do křižovatky (snížit počet jízdních pruhů, zúžit krajnici).

3.2. Zkoumané faktory ovlivňující bezpečnost na křižovatce

V práci jsou zohledněny následující faktory ovlivňující bezpečnost na křižovatkách. Analýza jednotlivých faktorů je provedena pomocí simulačních metod a bezpečnost silničního provozu je následně vyhodnocena pomocí TCT. Obecně se dají rozdělit na faktory kvantitativní a kvalitativní z pohledu výkonnosti křižovatky.

Kvantitativní faktory

- Intenzita dopravy:
 - intenzita dopravy na vjezdech je uvažována v 5 stupních 1400 – 2200 voz/h.
- Počet pruhů na komunikaci v obou směrech (vliv kolizních bodů):
 - vybrané dispoziční modely a počty jízdních pruhů charakterizují zastoupení křižovatek na místních komunikacích v ČR a je použit vždy jeden průjezdní pruh na vjezdu do křižovatky.
- Počet paprsků křižovatky (vliv kolizních bodů):
 - vybrané křižovatky jsou symetrické a počet paprsků vychází ze základního uspořádání pro stykové, průsečné a okružní křižovatky.

Kvalitativní faktory

- Úroveň kvality dopravy – UKD:
 - UKD je reprezentováno stupněm vytížení a_v v 5 stupních odpovídající kapacitě typů křižovatek v rozmezí 0,52 – 1,22 (kapacity v rozmezí 1800 – 2700 voz/h).
- Existence dopravních ostrůvků:
 - z charakteru simulačního modelu pohybu vozidel po vyznačených jízdních pruzích (linky) je pohyb vozidel kanalizován pomocí dopravních ostrůvků.
- Počet odbočovacích pruhů (vliv kolizních bodů):
 - vybrané dispoziční modely charakterizují zastoupení druhů křižovatek v ČR a jsou použity varianty s / bez odbočovacího pruhu vlevo z hlavní komunikace.
- Vybavenost komunikace pruhy nebo pásy pro cyklisty a přechody pro chodce:
 - popisované metody hodnocení závažnosti konfliktních situací uvažují pouze interakce mezi vozidly a uvažované simulační modely nezahrnují pohyby ani cyklistů ani chodců.
- Vzájemná vzdálenost křižovatek na síti (vliv na hranice řešené oblasti):
 - Modely křižovatek jsou řešeny jako izolované bez vlivu dopravy u okolních křižovatek. Hranice zkoumané oblasti jsou definovány pro 3 různé režimy podle velikosti zkoumané oblasti (bez hranic oblasti, hranice oblasti jsou vzdáleny 20 m od hranice křižovatky a hranice odpovídají hranicím křižovatky na vjezdech).

3.2.1. Vliv střetných (kolizních) bodů na bezpečnost křižovatek

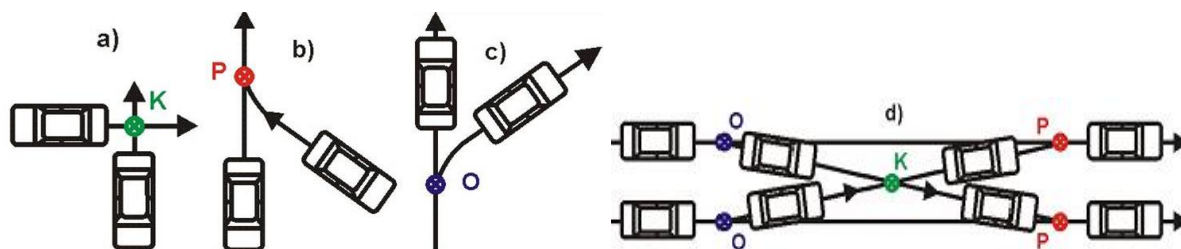
Střetné body (počet a druh) jsou v hodnocení bezpečnosti základním ukazatelem napovídající o možných následcích nehody.

Střetný (kolizní) bod je místo na křižovatce, na němž dochází k vzájemnému křížení, připojování nebo rozvětňování jízdních směrů (obvykle uvažovaných v ose jednotlivých jízdních pruhů a větví).

Podle vzájemné polohy střetávajících trajektorií rozdělujeme kolizní body na:

- křížný bod – nenormově někdy nazývaný také jako přímý kolizní bod,
- přípojný bod,
- odbočný bod,
- průpletový kolizní bod – není normou přímo definován a vyjadřuje napojení průpletem.

Obrázek 24 – Schémata kolizních pohybů na křižovatce



Zdroj: [48]

Tabulka 11 – Počet kolizních bodů podle typu křižovatky

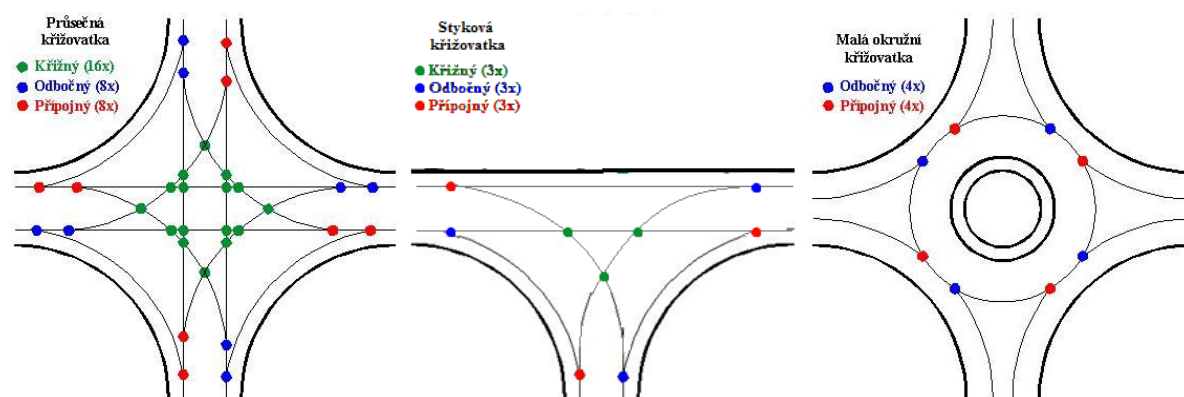
	křížné	odbočné	přípojné	celkem
Průsečná k.	16	8	8	32
Styková k.	3	3	3	9
MOK	0	4	4	8

Je důležité, že malá okružní křižovatka nemá žádné křížné kolizní body, kdežto průsečná křižovatka jich má 16. Oproti průsečné křižovatce došlo u malé okružní křižovatky ke snížení odbočných kolizních bodů z 8 na 4 a u přípojných kolizních bodů rovněž z 8 na 4. Odbočné a přípojné kolizní body nejsou navíc tolik závažné jako křížné kolizní body.

Toto snížení kolizních bodů se však týká pouze malé okružní křižovatky, nikoli okružních křižovatek obecně. U okružních křižovatek s dvoupruhovým okružním pásem a možným průpletem počet kolizních bodů opět stoupá na 32. Tím se zvyšuje i riziko dopravní nehody.

Obecně lze ale říci, že okružní křižovatka zásadně vylučuje střet s protijedoucími vozidly. Odbočení vlevo, které představuje průjezd křížnými kolizními body je nahrazeno jízdou po okružním páse a odbočením vpravo.

Obrázek 25 – Kolizní body podle typu křižovatek



Zdroj: autor

Zásadní vliv na skutečný počet kolizních bodů má kanalizace dopravy. Na reálné křižovatce se v důsledku neuspořádaných pohybů vozidel (závislých na stupni vytížení křižovatky) mohou kolizní body znásobit počtem preferovaných pohybů vozidel v každém dopravním proudu. Tento vliv zahrnuje hodnocení kolizních ploch, které více napovídají o případné kanalizaci dopravy.

3.2.2. Vliv intenzity dopravních proudů na zkoumání konfliktních situací

Vliv intenzity na konfliktní situace je v práci zkoumán rovnoměrným zatěžováním teoretických modelů křižovatek širokým spektrem intenzit dopravy na vjezdech do křižovatek se zachováním stejného procentuálního rozložení jednotlivých dopravních proudů.

Úrovňové křižovatky musí mít vždy jednu komunikaci určenou jako hlavní a jednu jako vedlejší. Zpravidla hlavní komunikace bývá s vyšší intenzitou a vedlejší s nižší intenzitou (nemusí být pravidlem u obslužných komunikací). Výjimkou je okružní křižovatka, kdy nadřazený dopravní proud je na okružním páse a každé vozidlo vjíždějící do křižovatky současně dává přednost i dostává přednost (OK bez spojovací větve tzv. bypassu).

Vliv intenzity nadřazeného dopravního proudu se v TCT zohledňuje dvěma veličinami TEV a PEV. Veličina TEV (thousand entering vehicles) zohledňuje posuzované parametry na tisíc vozidel vjíždějících do křižovatky. Druhá veličina PEV (product of the hourly entering volumes in thousands) vyjadřuje vliv intenzit na hlavní a vedlejší komunikaci nebo také intenzity na paprscích ve směru X a Y.

Rovnice 11

$$PEV = \sqrt{\frac{I_X}{1000} \times \frac{I_Y}{1000}}$$

Tento přístup je jednoduše interpretovatelný na křižovatky stykové a průsečné, kde jednotlivé osy vyjadřují hlavní a vedlejší komunikaci. Na okružních křižovatkách se ovšem stává tato popisná veličina neobjektivní a je třeba uvažovat okružní křižovatku při určení PEV jako několik stykových křižovatek s jednosměrnou hlavní komunikací za sebou. Vozidla vjíždějící do OK tvoří intenzitu dopravního proudu na vedlejší komunikaci a zároveň všechna vozidla jedoucí na okružním pásu reprezentují intenzitu dopravního proudu na hlavní komunikaci.

3.2.1. Vliv kapacity a UKD na zkoumání konfliktních situací

Vliv kapacity a UKD (úroveň kvality dopravy) na konfliktní situace je zohledněno skrze parametr kvality dopravy tzv. stupeň vytižení a_v [-]. Tento ukazatel vyjadřuje míru nasycení kapacity křižovatky vjezdovými intenzitami.

Rovnice 12

$$a_v = \frac{I}{C},$$

kde: I je intenzita dopravního proudu (všech vjezdů křižovatky),

C je kapacita (celé křižovatky).

Kvalita dopravy je vyjádřena UKD ve stupních A – F, kde stupeň A představuje velmi malou dobu zdržení na křižovatce a stupeň F překročení kapacity $a_v > 1$.

Stupeň zatížení je v práci zahrnut při ověření předpokladu, že kapacita souvisí s bezpečností. Prověřuje platnost definice a tvaru bezpečnostního kontinua (vycházející z hustoty provozu) o přímé návaznosti neovlivněného proudu, konfliktů a nehod.

3.3. Metody hodnocení závažnosti dopravních konfliktů a bezpečnosti

Jak je zmíněno výše, TCT přístupy se dělí podle popisu konfliktní situace na kvalitativní přístup se subjektivním hodnocením dané situace a kvantitativní přístup s hodnocením objektivním pomocí časoprostorových veličin. Hodnocení je tedy subjektivní v případě hodnocení pomocí přímého pozorování nebo objektivní při vyhodnocování pomocí měřitelných veličin. Hodnocení bezpečnosti na křižovatkách pomocí TCT s využitím simulace je kvantitativním přístupem s hodnocením pomocí proximálních nepřímých ukazatelů bezpečnosti.

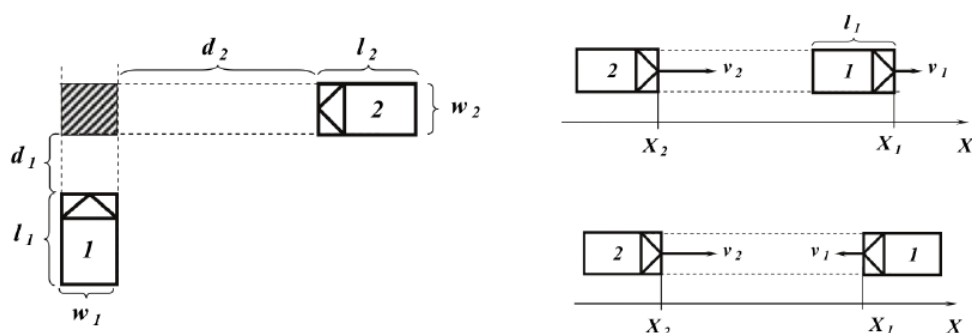
V následující kapitole jsou popsány hlavní přístupy pro určení závažnosti konfliktních situací a pro hodnocení bezpečnosti. V práci jsou tyto metody použity pro posouzení na nejčastěji se vyskytujících dispozičních uspořádání křižovatek u nás.

3.3.1. TTC – hodnocení bezpečnosti pomocí Time To Collision

Nejběžnější ukazatel je uváděn jako čas do kolize TTC (TTC – time-to-collision, TMTC – time measured to collision nebo také TA – time to accident) určený z rychlostí a vzdálenosti vozidel ve chvíli úhybného manévru (popis je uveden v kapitole současného stavu popisu SSAM).

Definici TTC lze popsat jako: „...čas do kolize dvou vozidel, který by zbyval, kdyby jejich trajektorie zůstaly nezměněny“. TTC je čas od počátku reakce na kolizní situaci tzn. bez prodlevy reakce řidiče.

Obrázek 26 – Zobrazení definice TTC



Zdroj: [7]

TTC je možné potom pro různé případy kolizí vypočítat jako:

Rovnice 13

$$TTC = \frac{d_2}{v_2} \text{ když } \frac{d_1}{v_1} < \frac{d_2}{v_2} < \frac{d_1+l_1+w_2}{v_1} \text{ a } TTC = \frac{d_1}{v_1} \text{ když } \frac{d_2}{v_2} < \frac{d_1}{v_1} < \frac{d_2+l_2+w_1}{v_2} \text{ (boční konflikt)}$$

$$TTC = \frac{X_1-X_2-l_1}{v_1-v_2} \text{ když } v_2 > v_1 \text{ (předo – zadní konflikt)}$$

$$TTC = \frac{X_1-X_2}{v_1+v_2} \text{ (protijedoucí konflikt),}$$

kde d je vzdálenost od kolizní plochy,

l je délka vozidla,

v je rychlost vozidla,

X je vzdálenost mezi vozidly.

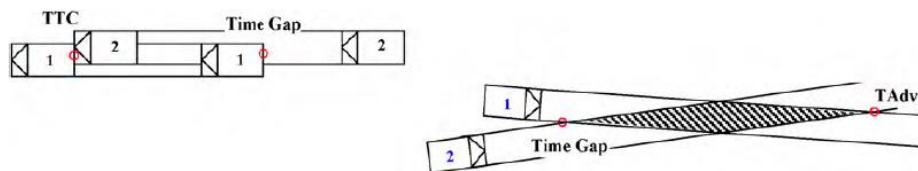
Limitní hodnota času do kolize TTC (TA) mezi závažnými a nezávažnými konflikty vyplývající z předchozích studií je velmi často uvažována při $TTC = 1,5$ s.

Závažnost konkrétní kolizní situace je odvozována z měřené rychlosti a vzdálenosti. To znamená, že všechny případy s hraniční hodnotou TTC rovnu 1,5 s mají stejnou závažnost při rychlostech 10 km/h i při rychlostech 100 km/h. Proto může samotný ukazatel být méně vhodný jako porovnávací měřítko závažnosti.

V těchto případech je vhodné použít další ukazatele jako např. potřebná míra brzdění apod. Indikátor lze vztáhnout k vybranému studovanému prvku; odtud např. TTZ (time-to-zebra), TTS (time-to-stopline) nebo TTI (time-to-intersection).

Vliv křížení trajektorií drah vozidel je dále popisován ukazatelem nazývaným čas přednosti TAdv (Time advantage). (Laureshyn [49])

Obrázek 27 – Schéma zobrazující určení jednotlivých veličin pro ukazatele TAdv podle Laureshyna



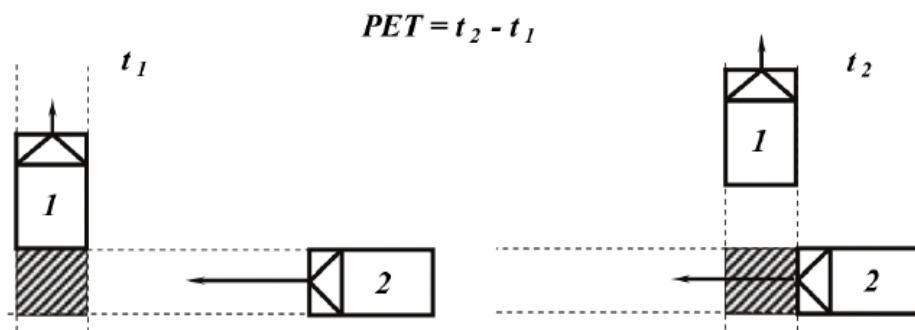
Zdroj:[49]

3.3.2. PET – hodnocení bezpečnosti pomocí Post-Encroachment Time

Další ukazatel vycházející z koncepce TTC je tzv. čas po průjezdu vozidel PET (Post-encroachment time). Tato veličina se používá v situacích, kdy dva uživatelé silničního provozu, které (již) nejsou na kolizním kurzu, projedou přes společný konfliktní bod / plochu

s časovým rozdílem pod předem danou prahovou hodnotou. Významný rozdíl v definici je vynechání podmínky kolizního kurzu. PET ukazatel představuje míru přijetí bezpečné časové mezery po projetí konfliktního bodu.

Obrázek 28 – Zobrazení definice PET



Zdroj:[7]

PET je definován jako doba mezi průjezdem vozidla „omezujícího“ nebo „ohrožujícího“ a průjezdem kříženého vozidla. Díky tomu je PET velice užitečný nástroj, který je velmi málo závislý na zdrojových datech a jejich zpracování oproti TTC.

Ovšem PET ukazatel má stejné nedostatky jako TTC a není zahrnut vliv rychlosti.

3.3.3. USZ (Uniform Severity Zone) – Švédská TCT

Švédská TCT využívá několik proximálních ukazatelů pro určení závažnosti dopravních konfliktů. Základní ukazatel je zde čas do kolize (TTC) a k tomuto ukazateli se v různých přístupech uvažuje vliv konfliktní rychlosti.

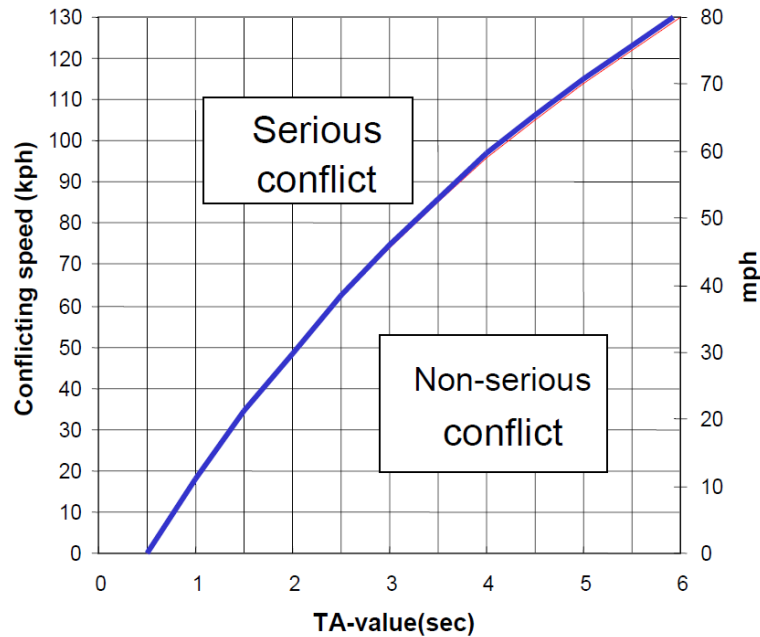
Jedním z hlavních přínosů Švédské TCT je použití jednotné úrovně závažnosti a zavedení zón závažnosti založené na závislosti doby do kolize a konfliktní rychlosti (TA/CSpeed). Tento přístup hodnocení vnáší vliv rychlosti a je závislý na vzdálenosti (času), rychlosti do kolizního bodu, míře brzdění a koeficientu tření (což je vztah nelineární).

Je stanovena hierarchie závažnosti založené na jednotném rozměru vztahu TTC/CSpeed. Tímto vztahem je možné popsat blížící se nehodu a získat ucelené pochopení mezi chováním řidičů a mírou bezpečnosti při uvažování úspěšného nebo neúspěšného manévru.

Konfliktní rychlost (CSpeed) je rychlost vozidla, které zahájí úhybný manévr v definovaném konfliktu. Čas do nehody (TA) je tedy dán časem, který zbývá do kolize od doby, kdy započal úhybný manévr.

Limitní hodnota určující hranici mezi závažným a nezávažným konfliktem je stanovena experimentálně do následujících závislostí.

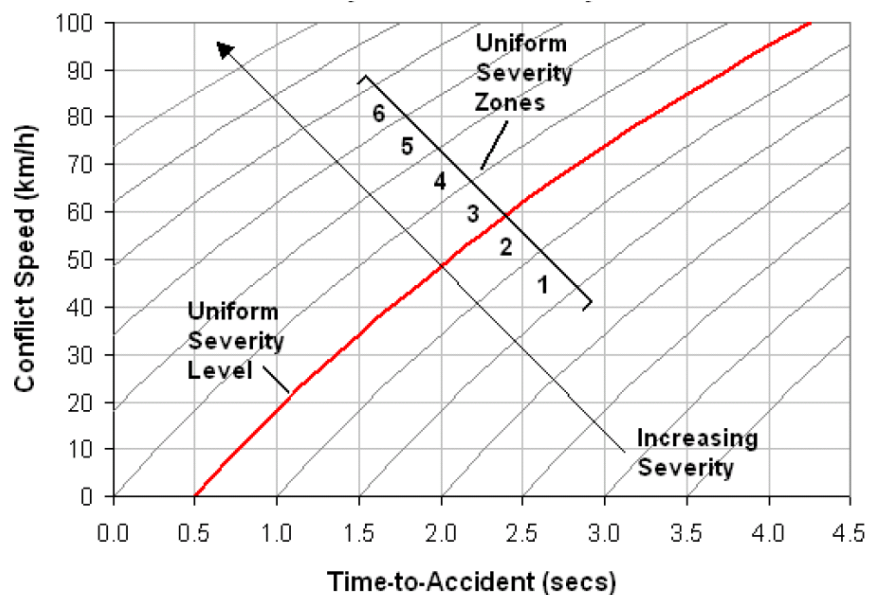
Obrázek 29 – Jednotná úroveň závažnosti mezi závažnými a nezávažnými konflikty podle Hydéna



Zdroj: [15]

Jednotlivé úrovně závažnosti jsou znázorněny na obrázku dole. Hraniční hodnota mezi závažnými a nezávažnými konflikty podle Hydéna je dána mezi úrovní 2 a 3 v textu dále značeno jako „3+“.

Obrázek 30 – TA/CS graf definující různé úrovně závažnosti podle Hydéna



Zdroj: [13]

Vyhodnocení takto určeného zařídění jednotlivých konfliktů je možné provést průměrnými hodnotami pro všechny konflikty USZ 1+ a závažné konflikty USZ 3+ nebo váženým průměrem podle zvolené závažnosti konfliktu.

V práci je jednotlivým úrovním závažnosti přiřazena výše ztrát v tis. Kč. Pro nezávažné konflikty (USZ 1 – 2) na limitní hodnotě hmotné škody a pro závažné konflikty (USZ 3 – 4) podle výše ztrát z dopravní nehodovosti na pozemních komunikacích určené podle metodiky CDV pro rok 2012. [50]

Zvolené hodnoty výše ztrát pro jednotlivé úrovně závažnosti (USZ) jsou uvedeny v následující tabulce v tis. Kč:

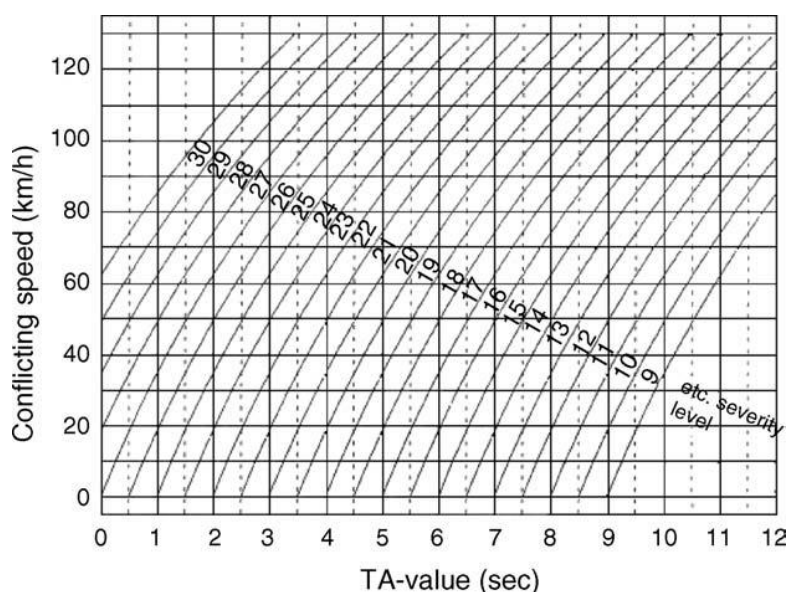
Tabulka 12 – USZ a přiřazená výše ztrát z nehodovosti na pozemních komunikacích (2012)

Výše ztrát z nehodovosti na pozemních komunikacích (2012)		
USZ	Závažnost nehody	ztráta v tis. Kč
1	1 nehoda s malou hmotnou škodou (bez Policie ČR)	50
2	1 nehoda s velkou hmotnou škodou (s Policií ČR)	100
3	1 nehoda pouze s hmotnou škodou	227
4	1 lehce zraněná osoba	433
5	1 těžce zraněná osoba	5001
6	1 usmrcená osoba	19022

Zdroj: autor a [50]

Podrobnější dělení úrovní závažnosti podle Svenssona a Hydéna je uvedeno níže. Limitní úroveň mezi závažnými a nezávažnými konflikty je definována na hranici mezi úrovněmi 25 a 26.

Obrázek 31 – TA/CS graf definující různé úrovně závažnosti (hodnota 1 protíná osu x v TA = 13 s)



Zdroj: [51]

3.3.4. CL – DST (Conflict Level – Deceleration-to-Safety Time) podle Hydéna

Určení stupně závažnosti maximální mírou decelerace podle Hydéna je popsáno v tabulce níže. Jednotlivé stupně vyjadřují míru reakce od neovlivněné jízdy, přes přizpůsobení se dopravnímu proudu až po krizové brzdění. Hraniční hodnota decelerace mezi nutným přizpůsobením provozu (omezení v jízdě) a vyhnutí se nebezpečné kolize (ohrožení) je uvažována $a_d = -2 \text{ m/s}^2$.

Ohrožení a omezení je definováno takto:

„ ... nesmět ohrozit znamená povinnost řidiče počínat si tak, aby jinému účastníku provozu na pozemních komunikacích nevzniklo žádné nebezpečí.“

„ ... nesmět omezit znamená povinnost řidiče počínat si tak, aby jinému účastníku provozu na pozemních komunikacích nijak nepřekážel.“

Maximální decelerace (MaxD) je v PTV Vissim podle druhu vozidla a rychlosti nastavena od $8,5 \text{ m/s}^{-1}$ (OA) do 6 m/s^{-1} (TNV.)

Toto členění je dále použito v práci jako jedno z možností určení závažností konfliktních situací. Hraniční hodnota mezi závažnými a nezávažnými konflikty je mezi hodnotou 1 a 2 v textu dále značeno jako „2+“.

Tabulka 13 – CL – DST úrovně podle Hydéna

Conflict Level	Deceleration-to-Safety	Description
No Conflict	Braking rate $\leq 0 \text{ m/s}^2$	Evasive action not necessary
No Conflict	Braking rate 0 to -1 m/s^2	Adaptation necessary
1	Braking rate -1 to -2 m/s^2	Reaction necessary
2	Braking rate -2 to -4 m/s^2	Considerable reaction necessary
3	Braking rate -4 to -6 m/s^2	Heavy reaction necessary
4	Braking rate $< -6.00 \text{ m/s}^2$	Emergency reaction necessary

Zdroj:[34]

3.3.5. TCS Score (Total conflict severity score) – Kanadská TCT

Kanadská TCT obdobně také používá stupně závažnosti. Zde je ovšem celková konfliktnost TCS Score (Total Conflict Severity Score) dána součtem bodového hodnocení závažnosti

TTC ve třech „časových intervalech“ (T. Sayed [26]) a subjektivního hodnocení brzdění při přímém pozorování ROC (Risk of Collision). Hodnocení je tedy dáno vztahem:

Rovnice 14

$$\text{TCS Score} = \text{TTC} + \text{ROC}$$

Ze součtu TOC a ROC vyplývá výsledný stupeň závažnosti (TCS Score, total conflict severity score) v rozsahu 2 – 6. Hodnota ROC je nezávislá na hodnocení TTC, ačkoliv konflikty s vysokým hodnocením TTC obvykle (ovšem ne vždy) vykazují také vysokou hodnotu ROC. [26]

Hodnocení TTC Score má dvě metody hraničních hodnot TTC. První metoda vychází z TCT s přímým pozorováním. Hraniční hodnoty jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 14 – TCS Score – Celkové hodnocení závažnosti konfliktů podle Sayeda

TTC and ROC Score	TTC (sec)	ROC
1 (Potential)	$1.5 < \text{TTC} \leq 2.0$	Low Risk
2 (Slight)	$1.0 \leq \text{TTC} \leq 1.5$	Moderate Risk
3 (Serious)	$< 1.0 \text{ second}$	High Risk

Zdroj: [26]

Z důvodu malého reprezentativního vzorku konfliktů při hodnocení konfliktů pomocí simulací pod hodnotou $\text{TTC} = 1 \text{ s}$ byla vyvinuta modifikovaná stupnice závažnosti. [52]

Tato metoda využívá odlišných hraničních hodnot se širším spektrem stupnice. Hraniční hodnota nejzávažnějšího konfliktu je $\text{TTC} = 1,5 \text{ s}$ je totožná s USZ hraniční hodnotou mezi závažnými a nezávažnými konflikty podle Hydéna.

Tabulka 15 – TTC Score – Upravené hodnocení závažnosti konfliktů dle TTC

TTC Score	TTC Range (sec)	Collision Propensity Level
0	$4.00 < \text{TTC}$	Low
1	$2.50 < \text{TTC} \leq 4.00$	Moderate
2	$1.50 < \text{TTC} \leq 2.50$	High
3	$\text{TTC} \leq 1.50$	Extreme

Zdroj: [52]

Samotné vyjádření ukazatele ROC je v původní metodě definováno kvalitativním způsobem, tedy hodnocením samotného pozorovatele. Hodnocení závažnosti podle ROC je možné dále

zkoumat s přiřazením kvantitativních ukazatelů na základě hmotnostního poměru kolizních vozidel podle Evanse [53] nebo pomocí rozdílu rychlostí při konfliktu podle Bagdadiho [54].

ROC score – mass ratio (MaxDeltaV)

Kritérium určení závažnosti konfliktu a pravděpodobnost následku dopravní nehody vychází z vlivu maximálního rozdílu rychlosti před a po kolizi MaxDeltaV.

Toto kritérium bylo určeno ze studie pravděpodobnosti následků dopravních nehod připoutaných a nepřipoutaných řidičů podle Evanse. [55]

Pro případy hodnocení kolizních situací pomocí simulací jsou uvažováni pouze připoutaní řidiči. Pravděpodobnosti fatálních následků a následků se zraněním v závislosti na maxDeltaV jsou dány následujícím vztahem:

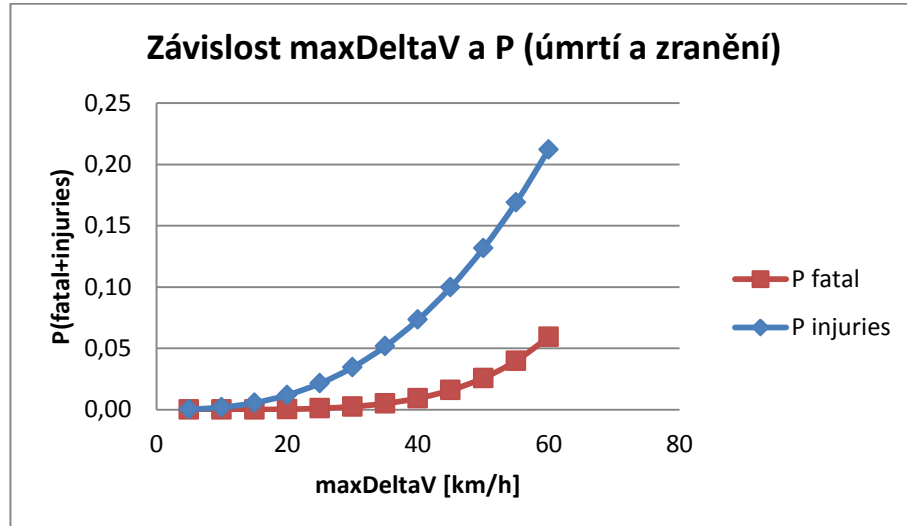
Rovnice 15

$$P_{fatal} = \left(\frac{\Delta v}{69,2}\right)^{4,57} P_{injuries} = \left(\frac{\Delta v}{67,4}\right)^{2,62},$$

kde:

Δv – rozdíl rychlostí při kolizi [mph]

Obrázek 32 – Závislost pravděpodobnosti následku úmrtí a zranění při maxDeltaV v intravilánu



Zdroj: autor

Určení hraničních hodnot ROC je provedeno na základě četnosti ukazatele MaxDeltaV ze všech variant uspořádání (průměrné zastoupení u všech typů křižovatky). Hraniční hodnota byla stanovena při hodnotě 15% kvantilu.

MaxDeltaV je definována jako maximální rozdíl rychlosti na počátku zaznamenaného konfliktu v čase tMinTTC rychlosti FirstVMinTTC a rychlosti v čase po teoretické srážce PostCrashV.

3.3.6. ICI (Intersection conflict index) – Kanadská TCT

Index konfliktnosti křižovatek je metoda zahrnující při hodnocení vliv intenzity na křižovatce. Byly vyvinuty dvě základní metody pro posuzování ICI.

První metoda ICI vyjadřuje vztah kvantitativního ukazatele AHC/TEV (průměrný hodinový počet konfliktů / intenzita vozidel na vjezdech v tis.) a kvalitativního ukazatele ACS (průměrná závažnost konfliktů). Druhá metoda ICI 4+ vyjadřuje vztah ukazatele AHC4+/PEV (průměrný počet konfliktů za hodinu se závažností 4 a více / PEV) a AHC/PEV (průměrný počet konfliktů za hodinu / PEV). Jednotlivé ukazatele jsou dále podrobně popsány.

K určení této závažnosti využívá TCS Score ve své původní podobě hodnocení pomocí hraničních hodnot TTC a subjektivního hodnocení míry rizika při vzniku konfliktní situace. [26]

Základní popisné veličiny vyjadřující konfliktnost křižovatky jsou AHC (average hourly conflict) a AHC/TEV (average hourly conflicts per thousand entering vehicles).

AHC je ukazatel vyjadřující průměrný počet sledovaných konfliktů za hodinu na daném úseku nebo křižovatce.

Rovnice 16

$$AHC = \frac{\text{počet konfliktů}}{\text{doba sledování}}$$

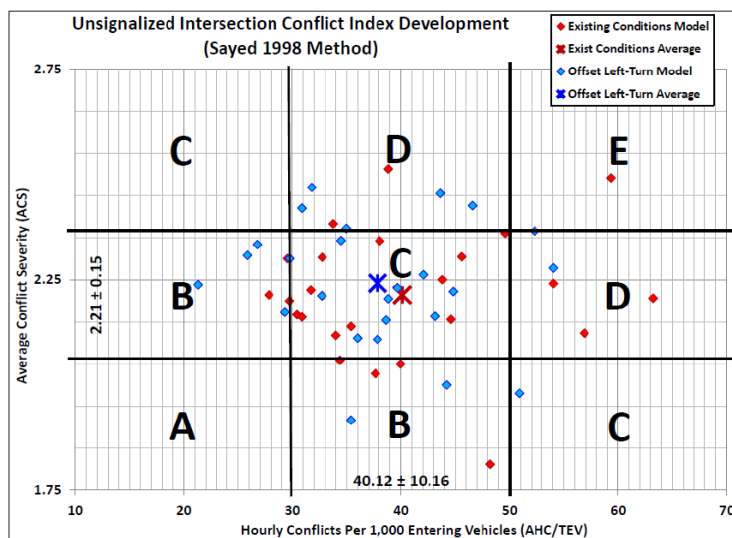
Ukazatel AHC/TEV již zahrnuje vliv intenzity dopravního proudu projíždějícím úsekem nebo křižovatkou.

Rovnice 17

$$\frac{AHC}{TEV} = \frac{AHC \cdot 1000}{\text{průměrná hodinová intenzita}}$$

Index konfliktnosti je možné vyjádřit dvěma odlišnými metodami. První metoda určení ICI vyjadřuje vztah mezi průměrnou hodinovou konfliktností přepočtenou na TEV a průměrnou závažností všech konfliktů (ACS – average conflict severity). Tato závislost je vyjádřena v následujícím grafu. [26]

Obrázek 33 – ICI závislost ACS a AHC/TEV dvou hodnocených křižovatek



Zdroj: [52]

Druhá metoda určení ICI 4+ vyjadřuje vztah mezi průměrným počtem konfliktů za hodinu se závažností 4+ vztaženou na PEV a průměrným počtem konfliktů za hodinu vztaženou na PEV.

Rovnice 18

$$AHC4+ = \frac{\text{počet konfliktů s hodnocením 4 +}}{\text{doba sledování}}$$

AHC4+ vyjadřuje průměrný počet hodinových konfliktů s bodovým hodnocením TCS Severity 4 a více.

Výše zmíněné veličiny ovšem nezahrnují rozložení intenzit na jednotlivých paprscích křižovatek. Tyto vlivy uvažuje ukazatel AHC/PEV (average hourly conflicts per product of the hourly entering volumes in thousands).

Rovnice 19

$$\frac{AHC}{PEV} = \frac{AHC \cdot 1000}{\sqrt{\text{součin průměrných hodinových intenzit}}}$$

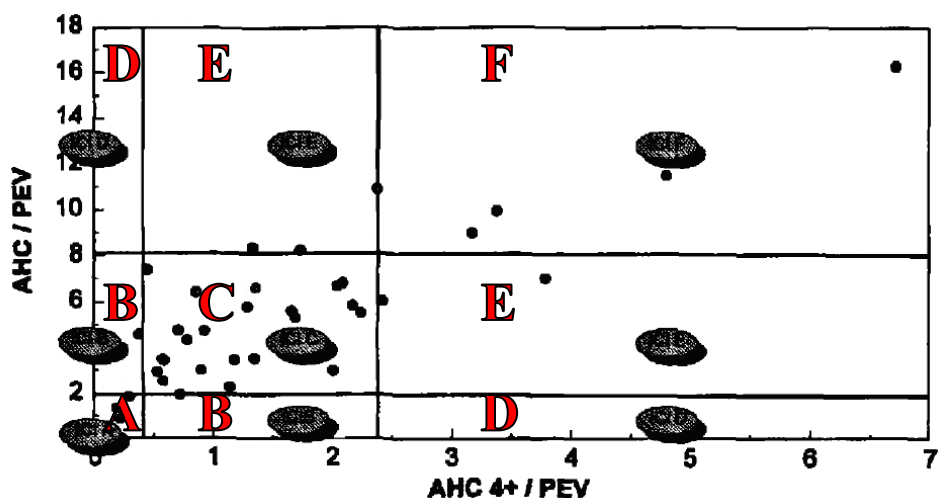
Rovnice 20

$$\frac{AHC4+}{PEV} = \frac{(AHC4+) \cdot 1000}{\sqrt{\text{součin průměrných hodinových intenzit}}}$$

AHC4+/PEV vyjadřuje průměrný počet hodinových konfliktů vztažených k celkovému průjezdu vozidel na hlavní a vedlejší komunikaci s bodovým hodnocením TCS Severity 4 a více.

Index konfliktnosti neřízených křižovatek s vyjádřením vztahu mezi všemi konflikty a konflikty s vyšší závažností (4+) je vyjádřen v následujícím grafu a tabulce.

Obrázek 34 – ICI závislost AHC4+/PEV a AHC/PEV pro sledovanou křižovatku



Zdroj: [26]

Hranice mezi jednotlivými stupni konfliktnosti jsou určeny průměrnou hodnotou AHC/PEV a AHC 4+/PEV výchozího stavu zvětšené a zmenšené o směrodatnou odchylku těchto hodnot. Jednotlivé stupně ICI představují rizikovost křižovatek v rozmezí A (nízký výskyt konfliktů s nízkou závažností) až F (vysoký výskyt konfliktů s vysokou závažností).

Tabulka 16 – Indexy konfliktnosti ICI a vyjádření závažnosti konfliktů

<i>Intersection conflict index (ICI)</i>	<i>Conflict risk</i>
A	Negligible
B	Low
C	Moderate
D	Moderate to high
E	High
F	Extreme

Zdroj: [26]

Popsané metody jsou primárně určeny ke vzájemnému porovnání bezpečnosti křižovatek uspořádání. Metody nemají přesně určené hranice pro jednotlivé stupně bezpečnosti (index konfliktnosti).

3.3.7. Odvozené a ostatní bezpečnostní ukazatele

Odvozené PET ukazatele

Odvozené ukazatele PET zavádí ve své zprávě FHWA o použití mikrosimulací k posuzování bezpečnosti. Zavádí tyto odvozené ukazatele PET: [29]

- časová mezera (Gap time – GT) – časová mezera mezi dokončeným průjezdem a příjezdem dalšího vozidla, pokud budou pokračovat se stejnou rychlostí a trajektorií,
- doba ovlivněného průjezdu (Encroachment time – ET) – doba průjezdu, při kterém vozidlo porušuje přednost uživatele na hlavní komunikaci při zařazovacím manévru,
- Initially attempted post encroachment time (IAPT) – doba mezi zahájením ovlivňovaného průjezdu plus čas, za který dosáhne řidič na hlavní komunikaci kolizního bodu.

Ostatní bezpečnostní ukazatele

Existuje mnoho dalších ukazatelů, které se v běžném kvalitativním pozorování hůře zjišťují a jsou využitelné v modernějších automatizovaných přístupech. O některých je již zmínka v textu výše uvedeném, proto uvádím pouze výčet:

- Proportion of Stopping Distance (PSD),
- Jerks (kombinace vlivu gravitace a rychlosti),
- Shock–Wave Frequency,
- Time–to–Line Crossing (TLC),
- Standard Deviation of Lateral Position (SDLP).

3.4. Mikrosimulační model PTV Vissim

Programový balík PTV Vissim patří mezi nejpoužívanější mikrosimulační modely. Mikrosimulační model dopravního chování slouží k simulaci jak městského provozu včetně cyklistů, veřejné dopravy a dopravních proudů pěších, tak provozu na kapacitních komunikacích v extravilánu. Jedná se o stochastický a diskretní (po časových krocích 1/10 s) model zohledňující chování a vzájemnou interakci řidičů vozidel.

Tento software je navržen ke zkoumání osobní i hromadné dopravy na základě vstupů zohledňujících stavební uspořádání komunikační sítě, skladbu dopravního proudu, světelnou

signalizaci, zastávky veřejné dopravy atd. Na základě těchto vlastností je Vissim velice cenným nástrojem pro vyhodnocování nejrůznějších úloh z oblasti dopravního inženýrství a dopravního plánování. Nejčastější aplikace jsou v inženýrské praxi např.:

- optimalizace statického a dynamického signálního plánu,
- studie proveditelnosti a dopravní dopady při zavedení lehké kolejové dopravy do městské komunikační sítě,
- analýza zavedení plošného zklidnění na celky městských čtvrtí,
- porovnání návrhů úprav křižovatek včetně změn organizace dopravy,
- analýza řízení a kapacit terminálů hromadné dopravy včetně návaznosti na lehkou kolejovou dopravu,
- analýza dopadů na dopravní síti při aplikaci preference veřejné dopravy pomocí vyhrazených jízdnic pruhů,
- díky vestavěnému modelu dynamického přiřazování (Dynamic Assignment Model) umožňuje řešit úlohy se zavedením časově proměnného dopravního značení,
- modelování a simulaci dopravního proudu pěších na volném prostranství a uvnitř budov, což nabízí nové možnosti aplikace, včetně interakce se silničním provozem.

Samotný simulační model byl vyvinut na německé univerzitě v Karlsruhe počátkem 70. let (komerční distribuce započala v roce 1993).

V roce 2009 Rakha (RITA – Research and Innovative Technology Administration) ve své zprávě uvádí možnosti simulování nepříznivého počasí a jeho aplikaci v mikroskopických analýzách dopravy. Tyto vlivy simulují pomocí uživatelského nastavení „Driver Behavior Parameter Sets“ jednotlivých submodelů. [56]

3.4.1. Modely a algoritmy v PTV Vissim

PTV Vissim obsahuje několik modelů ovlivňujících chování jednotlivých vozidel na komunikační síti. Na základě uživatelsky nastavitelných parametrů můžeme kalibrovat model na hodnoty skutečné situace, následně navrhnout výjimečné ojedinělé stavy na síti nebo simulovat povětrnostní podmínky a jejich vliv na kapacitu a bezpečnost silničního provozu.

Tabulka 17 – Přehled simulačních submodelů v PTV Vissim

Modely	Nastavení v PTV VISSIM
Car-Following Model	“Driving Behavior Parameter Sets” <ul style="list-style-type: none"> • Wiedemann 74 parameters • Wiedemann 99 parameters
Lane change model	“Base Data – Functions” <ul style="list-style-type: none"> • „Necessary lane changes and free lane changes
Deceleration Model	“Base Data – Functions” “Maximum deceleration”
Acceleration Model	“Base Data – Functions” <ul style="list-style-type: none"> • “Maximum acceleration”
Gap-Acceptance Model	“Priority Rules” and “Conflict Areas”

Zdroj: upravené [56]

Car Following Model

PTV Vissim obsahuje dva „Car Following“ modely. První model reprezentuje pohyb vozidel v extravilánu – Wiedemann 99 a druhý model Wiedemann 74 reprezentuje pohyb vozidel při nižších rychlostech v intravilánu.

V práci je použit psycho – fyzikální model pro chování řidičů v intravilánu model Wiedemann 74. Tento model je popsán vztahem:

Rovnice 21

$$d = ax + bx,$$

$$bx = (bx_{add} + bx_{mult} * z) * \sqrt{v},$$

kde

d je minimální vzdálenost mezi následovanými vozidly,

ax je průměrná vzdálenost mezi zastavenými vozidly (2 m),

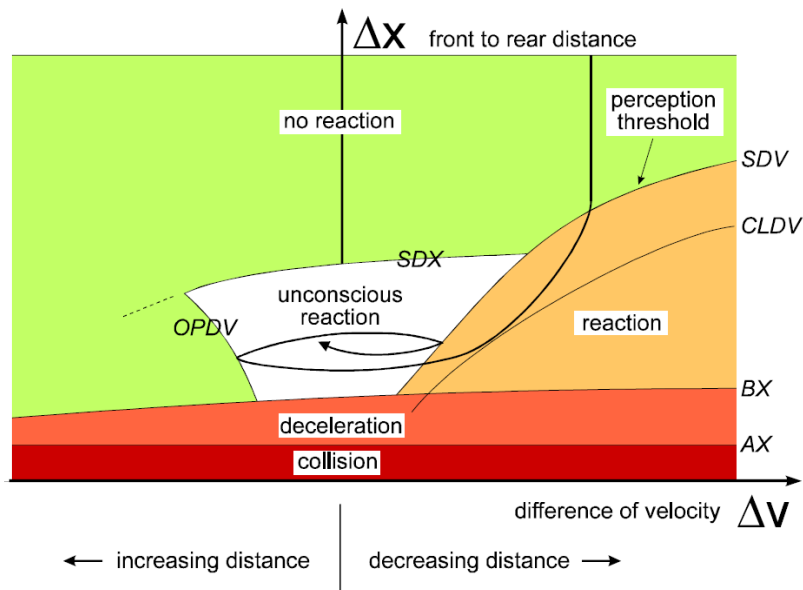
bx proměnná bezpečná vzdálenost,

bx_{add} bezpečná vzdálenost (2 m),

bx_{mult} proměnná bezpečná vzdálenost (3 m) variabilní s normálním rozdělením parametru z (normální rozdělení (0,1) se střední hodnotou 0,5 a s odchylkou 0,15)

v rychlost vozidla v m/s.

Obrázek 35 – Schéma modelu „Car following logic“ (Wiedemann 1974)



Zdroj: [36]

Legenda:

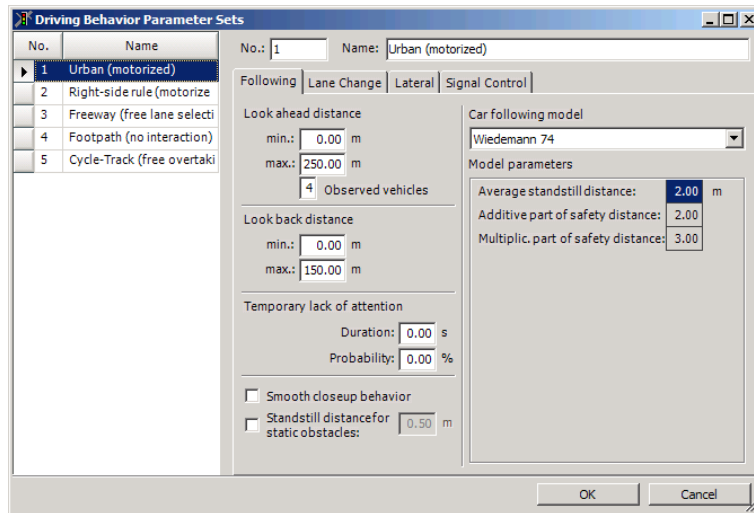
- SDV reakce na dojíždění pomalejšího vozidla,
- $CLDV$ reakce na dojíždění pomalejšího vozidla brzděním,
- $OPDV$ reakce na rychlejší následované vozidlo akcelerací.

Model tedy rozeznává 4 základní režimy pohybu vozidla v dopravním proudu:

- Volný režim pohybu je režim, ve kterém není vozidlo ovlivněno předchozím vozidlem. V tomto režimu se snaží řidič udržet svoji individuální „touženou“ rychlost. Ve skutečnosti není rychlost konstantní vzhledem k nedokonalému ovládní škrtkicí klapky plynu. To je jedním z důvodů, proč se zadává ve Vissimu rychlost intervalově.
- Režim přibližování vozidel je režim, ve kterém vozidlo prochází procesem přizpůsobování své rychlosti na nižší rychlost vozidla jedoucím před ním. Během přibližování řidič zpomaluje tak, aby rozdíl rychlostí obou vozidel byl roven nule v okamžiku dosažení požadované bezpečné vzdálenosti.
- Režim následování vozidla je režim, ve kterém vozidlo následuje předcházející vozidlo bez jakékoliv změny rychlosti (kromě kolísání v zadaném intervalu). Jede tedy shodnou rychlostí jako vozidlo před ním a stále udržuje bezpečnou vzdálenost.
- Režim brzdění je režim, ve kterém řidič zpomaluje na požadovanou rychlost (zastavení) tak, aby udržel bezpečnou vzdálenost od vozidla jedoucím před ním.

Právě mezi těmito režimy se vozidlo na síti neustále pohybuje.

Obrázek 36 – Nastavení parametrů Wiedemann 74 modelu v PTV Vissim



Zdroj: autor

V případě nedodržení minimální vzdálenosti d se vozidlo dostane do nouzového režimu, kdy využije nouzové brzdění (Maximum Deceleration).

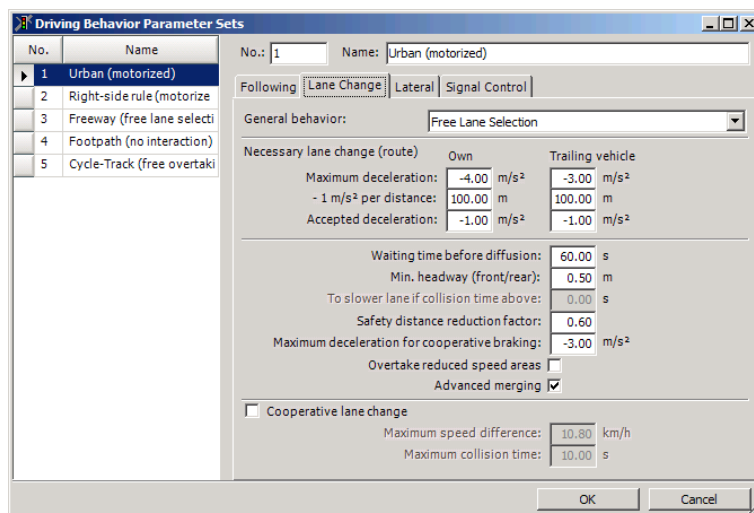
Lane-Changing Model

Stanovuje ve dvou režimech přejíždění z jednoho pruhu do druhého. První režim je potřebný pro rychlé zařazení a druhý je tzv. volný režim.

Agresivita změny jízdního pruhu ovlivňují následující parametry:

- maximální zpomalení,
- -1 m/s^2 (jednotka zpomalení) na zadanou vzdálenost,
- akceptované zpomalení pro vozidlo (včetně vozidla na novém pruhu).

Obrázek 37 – Nastavení parametrů „Lane change“ modelu v PTV Vissim

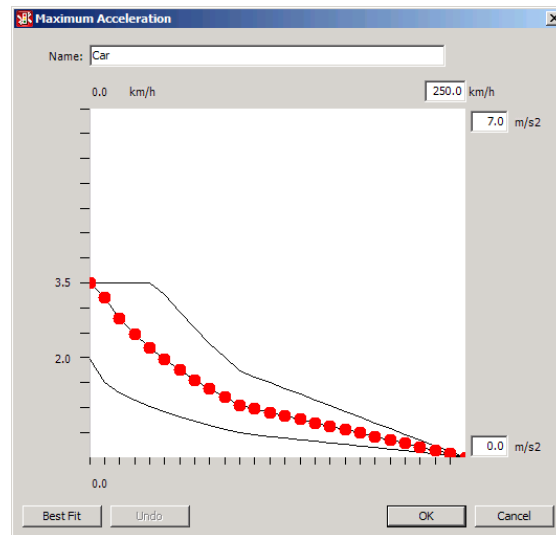


Zdroj: autor

Vehicle Acceleration and Deceleration Models

Modely akcelerace a decelerace se mohou upravovat pomocí nelineárních křivek pro každé navrhované vozidlo zvláště včetně uživatelsky definovaného vozidla (skupiny vozidel) z měření plovoucího vozidla.

Obrázek 38 – Nastavení parametrů akcelerace skupiny vozidel v PTV Vissim



Zdroj: autor

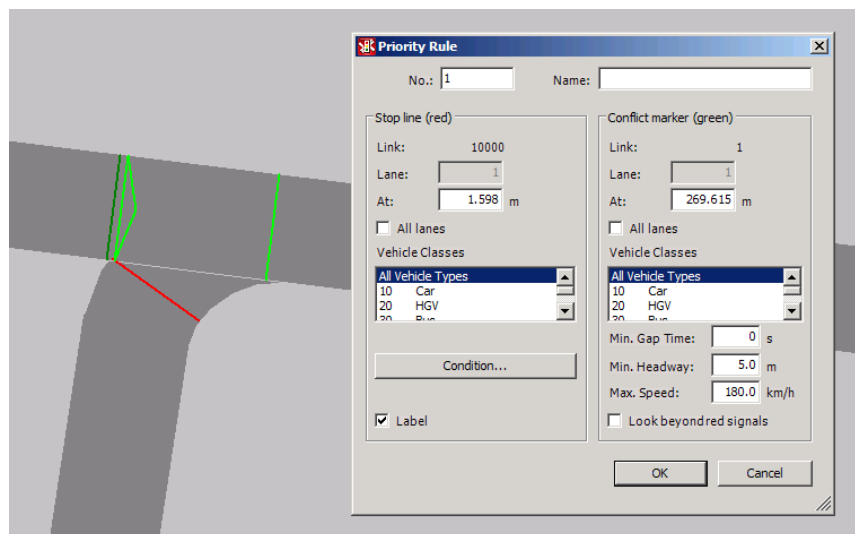
Gap Acceptance Model

Model přijetí mezer v dopravním proudu je ve VISSIM softwaru rozdělen do dvou kategorií: „Priority Rule“ a „Conflict Area“, jak je popsáno níže.

Priority Rule Control

PTV Vissim umožňuje uživateli nastavit dva parametry ovlivňující přijetí mezery a vjetí do kolizního bodu. První veličina je časová mezera a druhá vzdálenost. Vozidlo na vedlejší komunikaci tuto mezeru přijme v případě splnění obou podmínek. Kombinací těchto veličin je možné zohlednit rychlost nadřazeného dopravního proudu.

Obrázek 39 – Nastavení parametrů „Priority rule“ v PTV Vissim

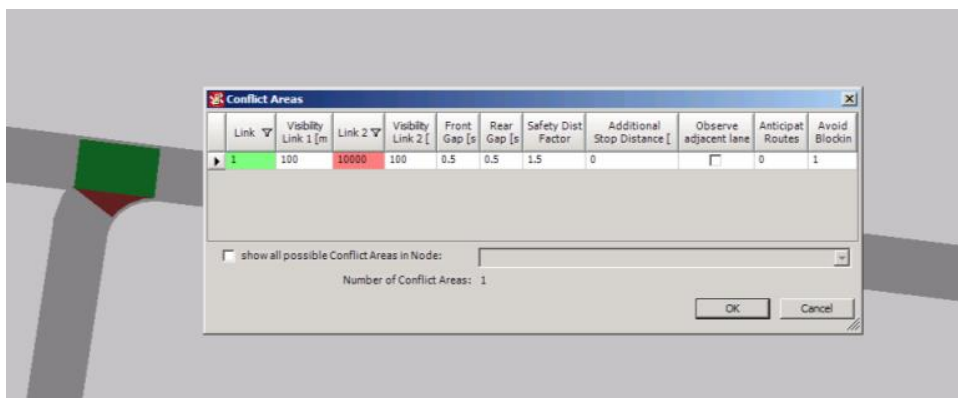


Zdroj: autor

Conflict Area

Konfliktní oblast je definována jako plocha, kde se překrývají jízdní pásy. Pro takovou plochu lze definovat pravidla přednosti v jízdě.

Obrázek 40 – Nastavení parametrů „Conflict area“ v PTV Vissim



Zdroj: autor

3.4.2. Stavba mikrosimulačního modelu

Komunikační síť

Samotná stavba modelu se skládá z vytvoření komunikační sítě pomocí jízdních pásů (v PTV Vissim značené jako linky a konektory), díky čemuž je možné simulovat dopravní cestu včetně nekonvenčních křižovatek s atypickým dispozičním uspořádáním.

Intenzity a směrové rozložení dopravních proudů na paprscích křižovatky

Intenzity dopravního proudu se zadávají na jednotlivé paprsky pomocí hodinových intenzit ve špičkové hodině. Pro simulaci postupných změn intenzit v čase je potřeba zadat jednotlivé časové intervaly pro přidělování vozidel na síť. Přidělování na síť řídí generátor náhodných čísel „random seed“. Vstupní hodnota pro generátor je uživatelsky nastavitelná, čehož se využívá při multisimulacích.

Směrové rozložení dopravních proudů projíždějících křižovatkou se provádí pomocí nastavení tras a procentuálního zastoupení z objemu vozidel na paprsku. Jako zdrojová data se používají směrové dopravní průzkumy prováděné ve špičkovou hodinu.

Upřesnění pohybu vozidel na křižovatce

Po zadání výše zmíněných parametrů do jednotlivých submodelů pro přesné vyjádření reálného pohybu vozidel je možné specifikovat danou oblast např.:

- omezenou rychlostí pomocí „reduced speed areas“ za účelem simulace příčného prahu, vjezdu do simulovaného modelu z oblasti s omezenou rychlostí (blízká křižovatka) nebo omezení svislou dopravní značkou,
- „stop signals“ pro nucené zastavení vozidla,
- návrhem veřejné dopravy a zastávek,
- pohybem pěších a specifikací pravidel přednosti na přechodu pro chodce apod.

3.4.3. Kalibrace mikrosimulačního modelu

Pro kalibraci modelu neřízené křižovatky jsou doporučovány tyto kroky:

- kontrola dopravní sítě – šířkové a směrové řešení křižovatky (podélné řešení do 2% lze zanedbat),
- kalibrace kapacity – kritická mezera pro změnu jízdních pruhů (Emergency Stopping Distance + Lane-Change Distance), reakční doba řidičů, akceptovatelná mezera při křížení,
- kalibrace poptávky – poptávka je reprezentována úsekovými intenzitami, složením dopravního proudu a křižovatkovými intenzitami (intenzity dopravních proudů),
- kalibrace dopravních výkonů – cestovní čas, zdržení a délka kolony,
- kalibrace rychlosti – požadovaná rychlost (Desired Speed Distribution), omezení rychlosti (Reduced Speed Areas), akcelerace a decelerace,

- kalibrace objemů dopravy/intenzit – samostatná data z měření (v průběhu čas) odlišné od vstupních parametrů modelu,
- kalibrace parametrů modelu – počet pozorovaných předchozích vozidel (Number of Observed Preceding Vehicles), průměrná vzdálenost zastavených vozidel (Average Standstill Distance), čas do odstranění vozidla z modelové sítě (Waiting Time Before Diffusion), délka kolizní plochy (Minimum Headway).

3.5. Použité ukazatele a parametry v SSAM

SSAM vyhodnocuje načtené trajektorie na základě vstupních hraničních hodnot a u zaznamenané konfliktní situace vypočte parametry a nepřímé ukazatele, které je možné dále použít jako hodnotící kritéria.

3.5.1. Nepřímé bezpečnostní ukazatele v SSAM

Základní bezpečnostní ukazatele používané v teorii konfliktních situací jsou v SSAM definovány takto:

- minimální čas do kolize [s] (Minimum time-to-collision – **TTC**) – je definován jako minimální hodnota TTC pozorovaná během konfliktu a je založena na pozici, rychlosti a trajektorii dvou vozidel v daném okamžiku,
- minimální čas po kolizi [s] (Minimum post-encroachment – **PET**) – je definován jako minimální hodnota PET pozorovaná během konfliktu a je dána jako časová mezera, kdy první vozidlo opustí danou pozici a druhé vozidlo bezprostředně na tuto pozici dorazí (hodnota 0 reprezentuje kolizi),
- maximální rychlost [m/s] (Maximum speed – **MaxS**) – je vyšší rychlost z rychlostí pozorovaných vozidel během konfliktu,
- rozdíl rychlostí [m/s] (Speed differential – **DeltaS**) – je dána jako hodnota rozdílu vektoru rychlostí pozorovaných vozidel v čase t_{MinTTC} (na počátku manévru pozorovaného konfliktu),
- počáteční míra zpomalení druhého vozidla [m/s^2] (Initial deceleration rate – **DR**) – je dána počáteční mírou zrychlení/zpomalení (brzdění) druhého vozidla na počátku pozorovaného konfliktu,

- maximální míra zpomalení druhého vozidla [m/s^2] (**Maximum deceleration rate – MaxD**) – je dána jako maximální hodnota okamžitého zrychlení/zpomalení, (brzdění) během pozorovaného konfliktu,
- maximální změna rychlosti vozidla (první/druhé vozidlo) před a po teoretické kolizi [m/s] (**Maximum delta velocity – maxDeltaV**) – tento parametr je možné použít také jako ukazatel závažnosti konfliktu vyjadřující teoretickou kolizi (rozdíl rychlosti v čase t_{MinTTC} a v čase teoretické srážky při rychlosti PostCrashV).

Méně používané ukazatele a parametry pozorovaných konfliktů je definováno takto:

- simulační čas pro minimální TTC [s] (**tMinTTC**) – simulační čas pozorovaného konfliktu, kdy byl zjištěn minimální čas do kolize (TTC),
- souřadnice x a y prvního vozidla v konfliktu PET [–] (**xMinPET a yMinPET**),
- úhel teoretické kolize [$^\circ$] (**ConflictAngle a Clock Angle**) – je definován jako přibližný úhel svírající trajektorie vozidel během pozorovaného konfliktu (od počátku do konce) a je vyjádřen ve stupních popř. v míře hodinových ručiček,
- typ konfliktu (**ConflictType**) – je určen zejména z informací obsažených v souboru trajektorie (počátek a konec trajektorie vozidel v pozorovaném konfliktu je upřesněn – jízdní pruh a pás) a nastavenými prahovými hodnotami úhlu teoretické kolize,
- informace polohy vozidel (**xFirstCSP/xSecondCSP, yFirstCSP/ySecondCSP, xFirstCEP/xSecondCEP, yFirstCEP/ySecondCEP**), směru vozidel (**PostCrashHeading, FirstLane/SecondLane, FirstHeading/SecondHeading**) a informace o samotných vozidlech během konfliktu (**FirstVID/SecondVID, FirstLenght/SecondLenght, FirstWidth/SeconWidth**).

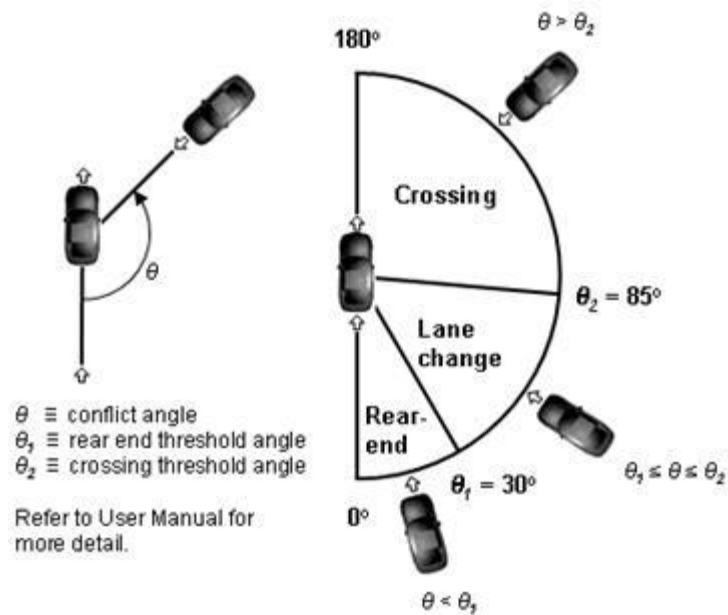
3.5.2. Typy konfliktních situací v SSAM

Podle teorie konfliktů jsou dráhy vozidel klasifikovány a zatříděny podle úhlu kolizních drah a podle informací ze souboru trajektorií vyprodukovaném simulačním modelem takto:

- předozadní konflikt (**rear-end**) – platí pro většinu manévřů, kdy obě vozidla jsou na začátku pozorovaného konfliktu ve stejném jízdním pruhu,
- změna jízdního pruhu (**lane-change**) – platí pro manévry, kdy jsou na začátku pozorovaného konfliktu vozidla zařazena v jiném nebo i stejném jízdním pruhu a platí pravidlo zatřídění dle úhlu kolizních drah,

- křížení drah (**path-crossing**) – platí pro manévry, kdy jsou na začátku pozorovaného konfliktu vozidla zařazena v jiném jízdním pruhu a platí pravidlo zatřídění dle úhlu kolizních drah,
- neklasifikovány (**unclassified**) – výjimečný stav zatřídění konfliktu zapříčiněným chybou v simulaci (překrývání vozidel apod.).

Obrázek 41 – Schéma konfliktního úhlu a druhu konfliktní situace v SSAM



Zdroj: [57]

4. VYHODNOCENÍ MODELŮ TEORETICKÝCH KŘIŽOVATEK ZABÝVAJÍCÍCH SE VZÁJEMNOU INTERAKCÍ VOZIDEL V DOPRAVNÍM PROUDU

Dizertační práce se zaměřuje na posuzování bezpečnosti křižovatek v závislosti na dispozičním řešení za použití teorie TCT a simulačních metod. Z tohoto důvodu jsou pro posouzení jednotlivých přístupů hodnocení závažnosti konfliktů zvoleny nejčastější typy úrovnových neřízených křižovatek a jejich variantní dispoziční uspořádání:

- styková křižovatka s odbočovacím pruhem na hlavní komunikaci (Styk. K. OP),
- styková křižovatka bez odbočovacího pruhu na hlavní komunikaci (Styk. K. BOP),
- průsečná křižovatka s odbočovacím pruhem na hlavní komunikaci (Prus. K. OP),
- průsečná křižovatka bez odbočovacího pruhu na hlavní komunikaci (Prus. K. BOP),
- malá okružní křižovatka s průměrem 26 m (MOK 27),
- okružní křižovatka s průměrem 50 m (OK 50).

4.1. Datové podklady pro hodnocení teoretických modelů křižovatek

Vstupní podklady pro tvorbu simulačních modelů byly rozděleny do tří skupin:

- vyhodnocení nehodovosti dle typu křižovatek v intravilánu,
- vzory dispozičního uspořádání modelů křižovatek,
- hodnoty intenzit dopravního proudu na teoretických modelech křižovatek.

4.1.1. Ukazatelé nehodovosti dle typu křižovatek města Pardubice

Z uvedené analýzy vyplývá hodnocení objektivní bezpečnosti (na základě nehodových dat). Uvedená analýza slouží k prověření předpokladu pořadí bezpečnosti jednotlivých typů křižovatek, přičemž uvažuje základní předpoklad, že každé nehodě předcházela konfliktní situace s hodnotou času do kolize TTC (time to collision) rovné nule.

Uvedené datové podklady ukazatelů nehodovosti intravilánových uzlů byly získány z diplomové práce Bc. Jakuba Nováčka. Ve své práci uvádí také ukazatel bezpečnostního potenciálu – BEPO, který je převzat z Německa a u nás se běžně nepoužívá. [58]

Uvedené výsledky znázorňují tzv. permanentně rizikové křižovatky dělené podle druhu křižovatek. Uzle jsou vyhodnoceny jako permanentně rizikové tehdy, pokud vykazují rizikovost v obou řešených letech 2010 a 2011.

Ukazatel absolutního počtu dopravních nehod

Ukazatel vyjadřuje pouze absolutní počet DN vztažených na daný uzel a rok. Jeho vypovídací schopnost je omezena pouze na počet nehod bez vlivu intenzit dopravních proudů, následků nehod včetně hmotné škody.

Rovnice 22

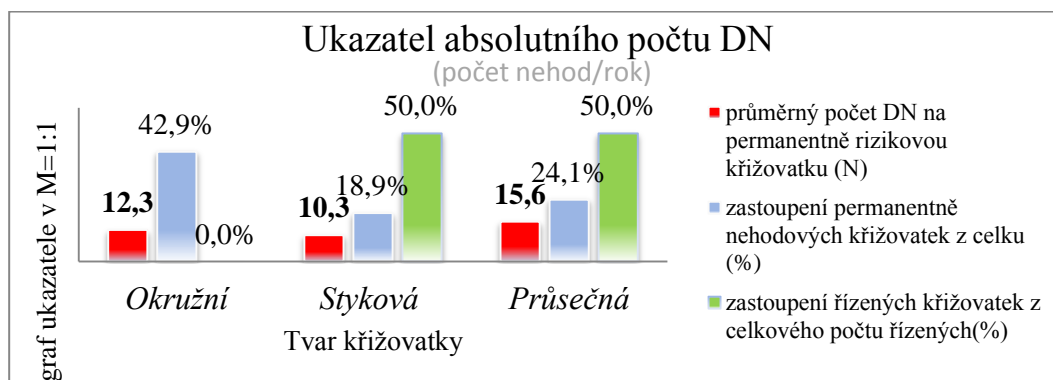
$$P_{DN} = \frac{N}{t} \quad [\text{počet nehod/rok}],$$

P_{DN} – Ukazatel absolutního počtu DN,

N – Počet DN na uzlu,

t – Sledované období [rok].

Obrázek 42 – Město Pardubice – uzly – ukazatel absolutního počtu dopravních nehod



Zdroj: [58]

Ukazatel relativní nehodovosti

Ukazatel již zohledňuje vliv intenzity dopravy vztažených na daný uzel a rok.

Rovnice 23

$$R = \frac{N}{365 \cdot I \cdot t} * 10^6 \quad [\text{Počet nehod/mil.voz./rok}],$$

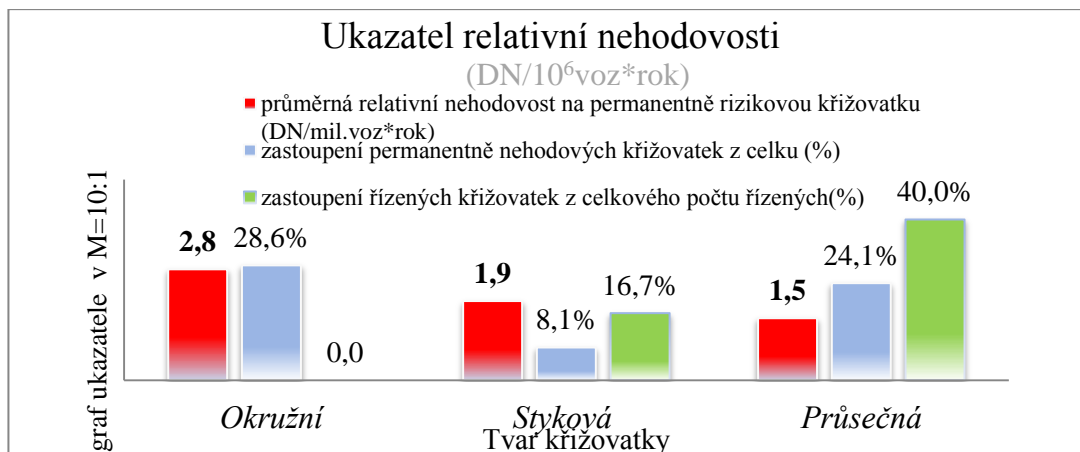
R – Ukazatel relativní nehodovosti,

N – Počet dopravních nehod,

I – Denní intenzita dopravy [voz/24hod],

t – Sledované období [rok].

Obrázek 43 – Město Pardubice – uzly – ukazatel relativní nehodovosti



Zdroj: [58]

Ukazatel relativních celospolečenských ztrát

Ukazatel na rozdíl od předchozího neuvažuje počet dopravních nehod, ale interpretuje celospolečenskou ztrátu dle aktuální sazby.

Rovnice 24

$$R_e = \frac{E}{365 * I * t} * 10^6 \quad [\text{Kč}/\text{mil.voz.}/\text{rok}],$$

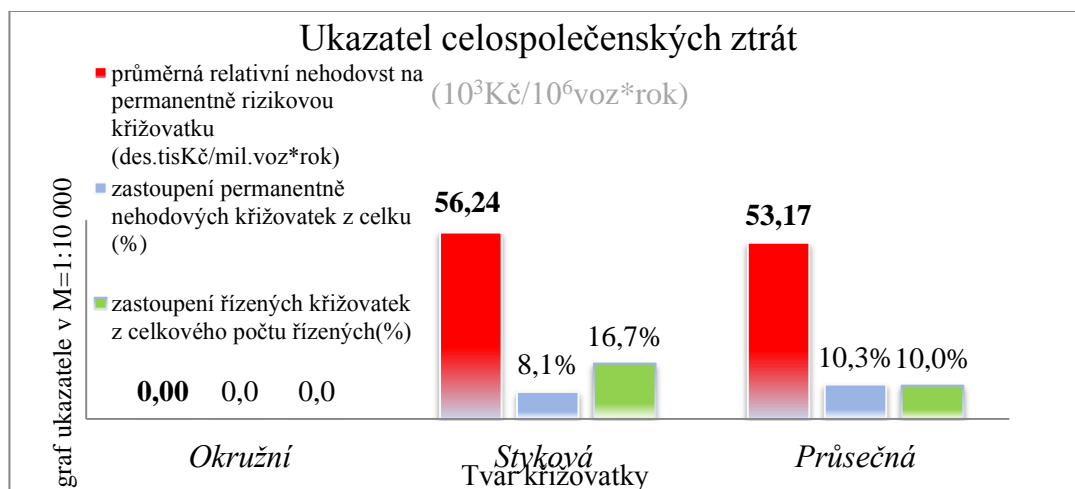
R_e – Ukazatel celospolečenských ztrát,

E – Součet celospolečenských ztrát následkem dopravních nehod,

I – Denní intenzita dopravy [voz/24hod],

t – Sledované období [rok].

Obrázek 44 – Město Pardubice – uzly – ukazatel celospolečenských ztrát



Zdroj: [58]

Ukazatel relativních osobních nehod

Ukazatel opět vychází z relativní nehodovosti a vyjadřuje počet zraněných při nehodách (nezahrnuje hmotné škody vzniklé při nehodě).

Rovnice 25

$$R_z = \frac{Z}{365 \cdot I \cdot t} * 10^6 \quad [\text{počet zraněných/mil.voz./rok}],$$

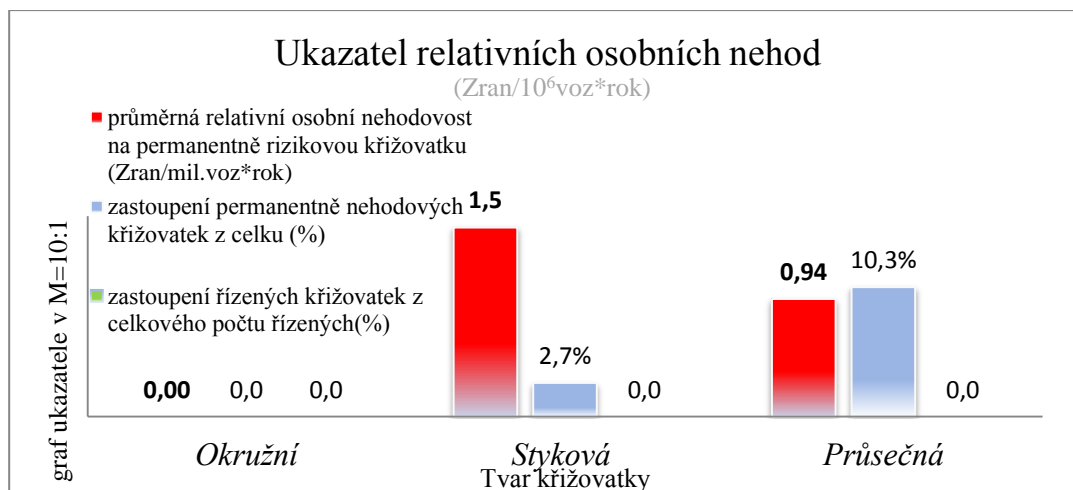
R_z – Ukazatel relativního počtu zraněných osob,

Z – Součet zraněných osob následkem dopravních nehod na daném úseku,

I – Denní intenzita dopravy [voz/24hod],

t – Sledované období [rok].

Obrázek 45 – Město Pardubice – uzly – ukazatel relativních osobních nehod



Zdroj: [58]

Ukazatel bezpečnostního potenciálu

Ukazatel bezpečnostního potenciálu vycházející z německé předlohy SIPO (Sicherheitspotential) a vyjadřuje celospolečenské ztráty (pouze lehká zranění a hmotná škoda) zároveň s tzv. „základním rizikem“ (vliv intenzity dopravního proudu).

Rovnice 26

$$BEPO = He_{uzly} - gRE \quad [\text{Kč/rok}],$$

He_{uzly} – Celospolečenské ztráty pro uzly [Kč/rok],

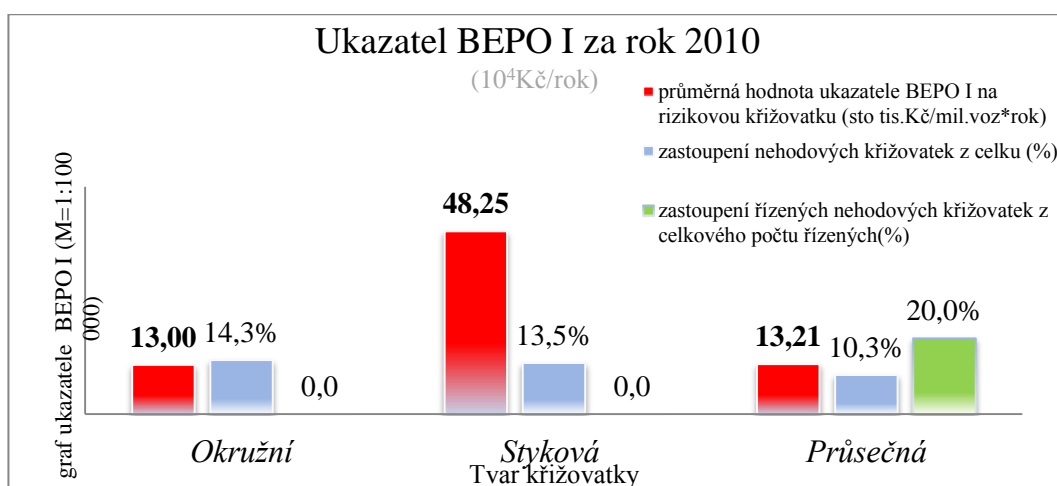
$$gRE = \frac{gRe \cdot I \cdot 365}{10^6} \quad [\text{Kč/rok}],$$

I – Denní intenzita dopravy [voz/24hod],

gRe – „základní riziko“ [Kč/mil.voz./rok] (vypočtená hodnota pro každý z typů potenciálu a tvaru uzlu; popis níže).

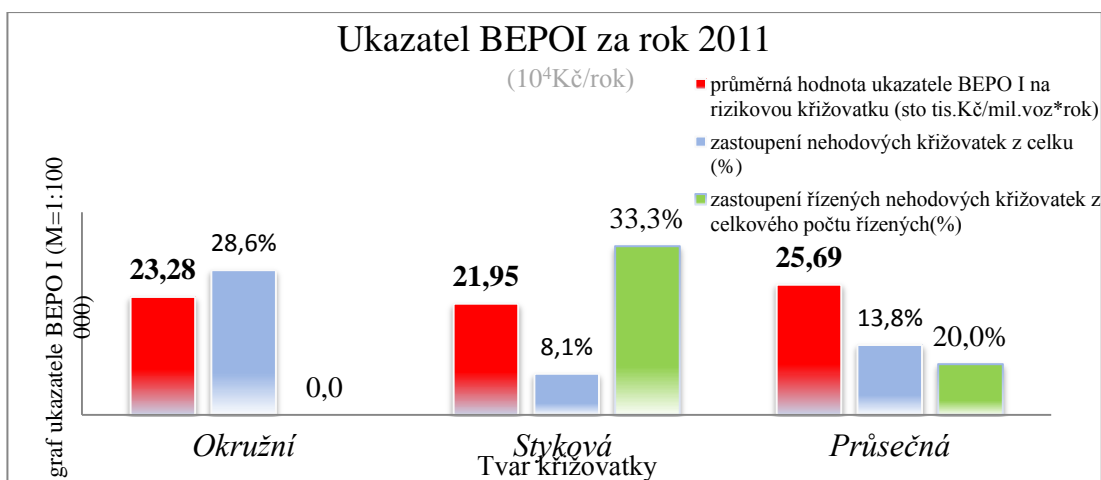
BEPO I je jeden ze tří ukazatelů, který vyjadřuje obě složky celospolečenských ztrát (osobní nehody a nehody s hmotnou škodou), a proto byl vybrán k posouzení.

Obrázek 46 – Město Pardubice – uzly – ukazatel bezpečnostního potenciálu za rok 2010



Zdroj: [58]

Obrázek 47 – Město Pardubice – uzly – ukazatel bezpečnostního potenciálu za rok 2011



Zdroj: [58]

Shrnutí analýzy nehodovosti intravilánových uzlů města Pardubice

Analýza nehodovosti křižovatek v Pardubickém intravilánu naznačuje bezpečnost/rizikovost jednotlivých tvarů křižovatek.

V porovnání základního ukazatele absolutního počtu dopravních nehod bez vlivu intenzity vozidel a závažnosti nehod jsou křižovatky seřazeny: průsečná, okružní a styková. V případě

relativní nehodovosti s vlivem intenzity a bez závažnosti jsou křižovatky seřazeny od nejrizikovější: průsečná, styková a okružní. Tento pohled sice zohledňuje intenzitu celého uzlu, ale ne přímo organizaci dopravy s tvarem křižovatky naznačující intenzitu na hlavní a vedlejší komunikaci.

Ukazatelé relativních celospolečenských ztrát a relativních osobních nehod uvažují závažnost skrze finanční ztrátu popř. újmu na zdraví člověka. V těchto hodnocení se nevyskytují permanentně rizikové okružní křižovatky, ale pouze stykové a průsečné.

Ukazatel BEPO I kombinující osobní nehody a nehody s hmotnou škodou zohledňuje závažnost nehod i intenzitu dopravního proudu. V tomto hodnocení jsou jednotlivé křižovatky vyrovnané v řazení bezpečnosti styková, průsečná a okružní.

Pro většinu ukazatelů platí, že zohledňují intenzitu dopravy uzlu, ale nezohledňují intenzity na hlavní a vedlejší komunikaci. Hodnocení okružní křižovatky, v tomto případě se čtyřmi přednostmi na okruhu a dvojnásobnými intenzitami v poměru hlavní/vedlejší.

Souhrnně lze vyjádřit orientační „pořadí“ objektivní bezpečnosti na základě zahrnutí daného typu křižovatky do permanentně rizikových a na základě ukazatelů nehod. Pořadí je určeno od nejrizikovějšího jako průsečná, styková a okružní křižovatka.

4.1.2. Vzory dispozičního uspořádání křižovatek

Vzory dispozičního uspořádání se řídí návrhem dle ČSN 73 6102 – Projektování křižovatek na pozemních komunikacích a vzorovými listy pozemních komunikací VL 3 – Křižovatky.

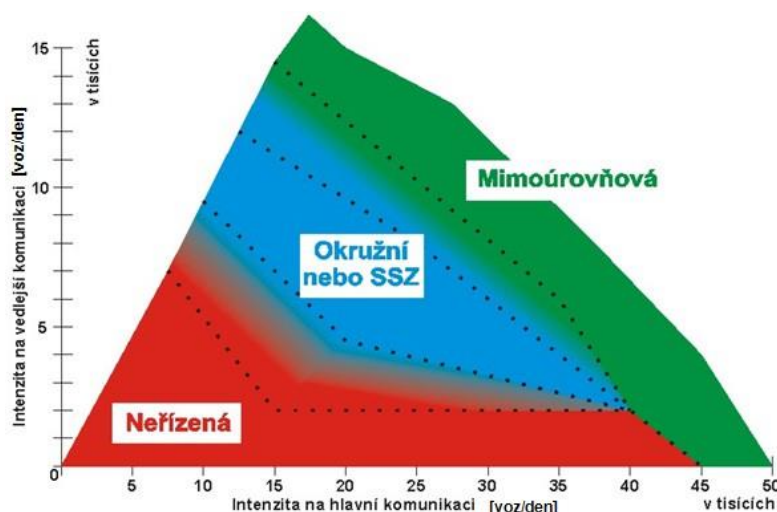
- styková křižovatka s/bez odbočovacího pruhu vlevo na hlavní komunikaci:
 - šířka jízdního pruhu na hlavní a vedlejší komunikaci $a = 3,5$ m,
 - poloměr přípojovacích a odbočovacích směrových oblouků $r = 12$ m,
 - šířka jízdního pruhu pro odbočení $a = 3,0$ m,
 - délka odbočovacího pruhu (ČSN 73 6102) pro místní komunikace $L = 100$ m.
- průsečná křižovatka s/bez odbočovacího pruhu vlevo na hlavní komunikaci:
 - šířka jízdního pruhu na hlavní a vedlejší komunikaci $a = 3,5$ m,
 - poloměr přípojovacích a odbočovacích směrových oblouků $r = 12$ m,
 - šířka jízdního pruhu pro odbočení $a = 3,0$ m,
 - délka odbočovacího pruhu (ČSN 73 6102) pro místní komunikace $L = 100$ m.
- malá/velká okružní křižovatka:
 - šířka jízdního pruhu na okruhu $a = 5,5$ m,
 - průměr okružní křižovatky $D = 27$ m a $D = 50$ m,

- poloměr připojovacích směrových oblouků $r = 15$ m,
- šířka jízdnic pruhů na vjezdu $a = 4,5$ m,
- poloměr odbočovacích směrových oblouků $r = 21$ m,
- šířka jízdnic pruhů na výjezdu $a = 4,5$ m.

4.1.3. Hodnoty intenzit dopravního proudu

Výběr hodnot intenzit dopravního proudu na paprscích křižovatky se řídil doporučeními dle technických podmínek posuzování kapacit na úrovnových neřízených křižovatkách (TP 188 a 234) a ČSN 73 6102 – Projektování křižovatek na pozemních komunikacích.

Obrázek 48 – Orientační určení intenzit dopravy na hlavní a vedlejší pozemní komunikaci dle typu křižovatky



Zdroj: [48]

Hodnoty intenzit byly zvoleny tak, aby UKD na vjezdech pokryla většinu stupňů při kapacitních limitech daných typů křižovatek. Hodnocení bezpečnosti je tedy uvažováno se vstupní hodnotou jednotné intenzity pro všechny typy křižovatek bez uvažování jednotné UKD.

Tabulka 18 – Intenzity na vjezdech [voz/hod] do teoretických modelů křižovatek (osa X – hlavní a Y – vedlejší komunikace)

Styková křižovatka (3 – paprsková)		
Celkem [voz/h]	Vjezdy na ose X	Vjezdy na ose Y
1400	633	134
1600	700	200
1800	766	268
2000	833	334
2200	900	400

Průsečná a okružní křižovatka (4 – paprsková)		
Celkem [voz/h]	Vjezdy na ose X	Vjezdy na ose Y
1400	600	100
1600	650	150
1800	700	200
2000	750	250
2200	800	300

Zdroj: autor

Pro výkonnostní hodnocení křižovatek se používá zohlednění skladby pomocí přepočtových koeficientů na jednotková vozidla (pvoz/hod). Jednotkové vozidlo je tedy srovnávací výpočetní jednotka, vyjadřující vliv různých druhů vozidel v dopravním proudu. Jednotkové vozidlo reprezentuje průměrné osobní vozidlo se svými průměrnými jízdními charakteristikami a prostorovými potřebami.

PTV Vissim nevyužívá pro simulace jednotková vozidla, ale charakterizuje dopravní proud procentuálním zastoupením jednotlivých skupin vozidel. Jízdní a prostorové charakteristiky skupin vozidel jsou zastoupeny intervaly rozpětí hodnot a do simulace jsou rozděleny distribučními funkcemi.

Homogenita dopravního proudu má výrazný vliv na plynulost (výkonnost) a bezpečnost dopravy. Čím je větší nehomogenita, tím vznikají větší časoprostorové nároky na projetí vozidel křižovatkou a UKD se snižuje. Při hodnocení bezpečnosti konfliktními situacemi nehomogenita jízdních charakteristik má vliv na závažnost (porovnání hmotností vozidel) a počtu kolizí (rozdílné decelerační vlastnosti vozidel).

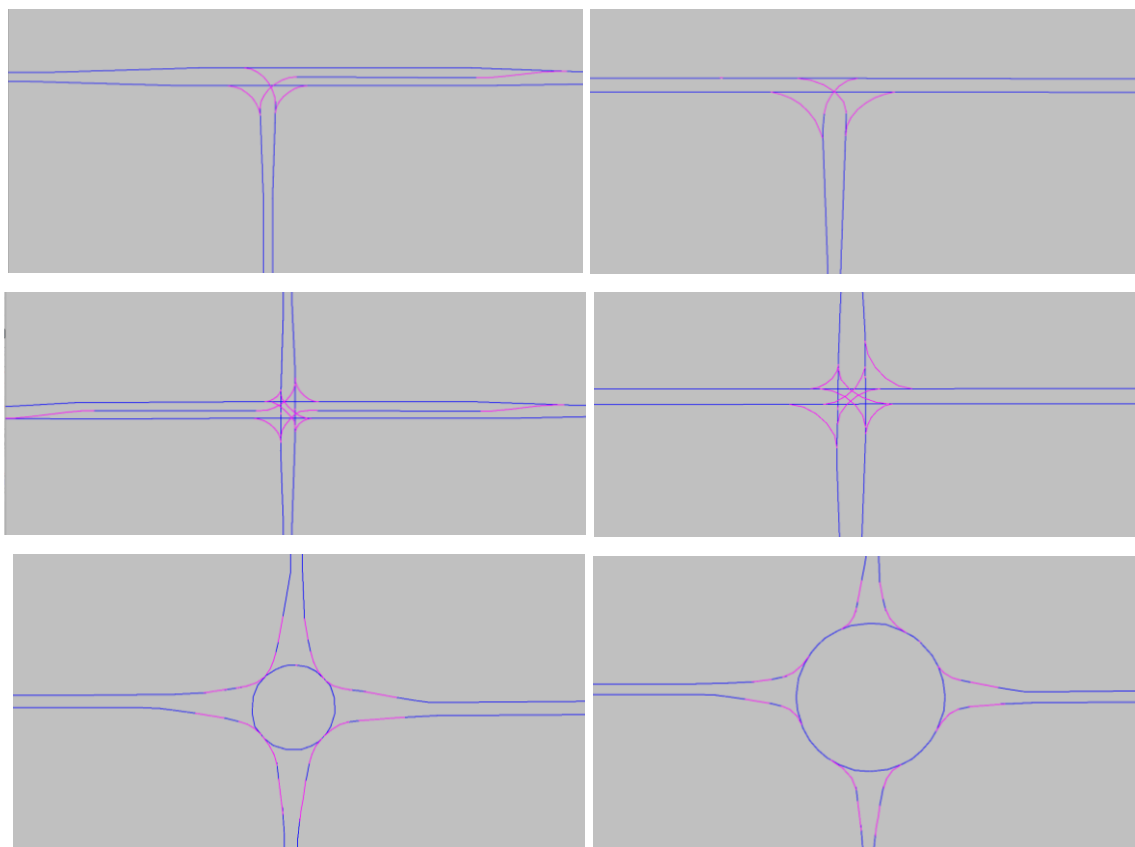
4.2. Modelování posuzovaných teoretických modelů křižovatek

V simulačním softwaru PTV Vissim bylo vymodelováno 6 teoretických modelů křižovatek různého uspořádání.

Dispoziční návrh teoretických modelů křižovatek

Modelování dispozičního řešení spočívalo ve vypracování modelů pomocí tzv. linků a konektorů podle grafické předlohy popsané v kapitole nahoře. Jedná se o teoretické případy úrovnových křižovatek v intravilánu a výškové řešení je uvažováno pouze v jedné úrovni bez vlivu podélných sklonů trasy.

Obrázek 49 – Modely posuzovaných dispozičních uspořádání křižovatek



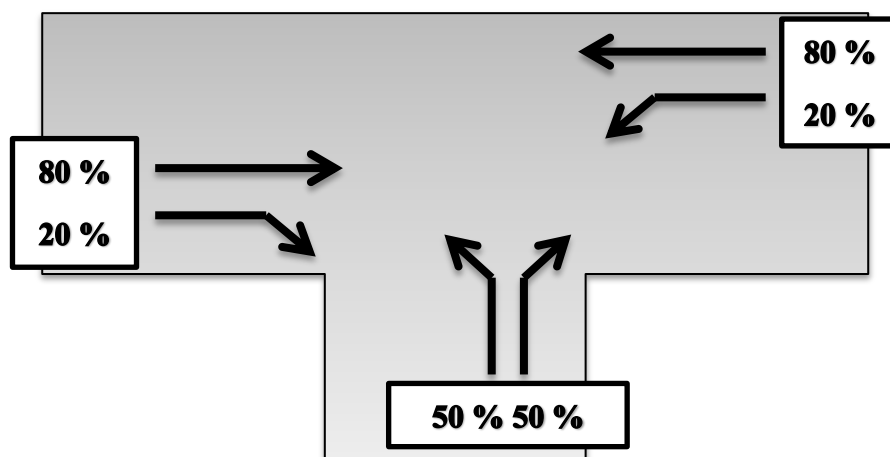
Zdroj: autor

Hodnoty intenzit, skladby a směrové rozdělení dopravního proudu

Hodnoty intenzit dopravního proudu na větvích byly přiděleny podle zvolených hodnot a skladba byla zvolena procentuálním zastoupením 90 % osobních vozidel a 10 % těžkých nákladních vozidel.

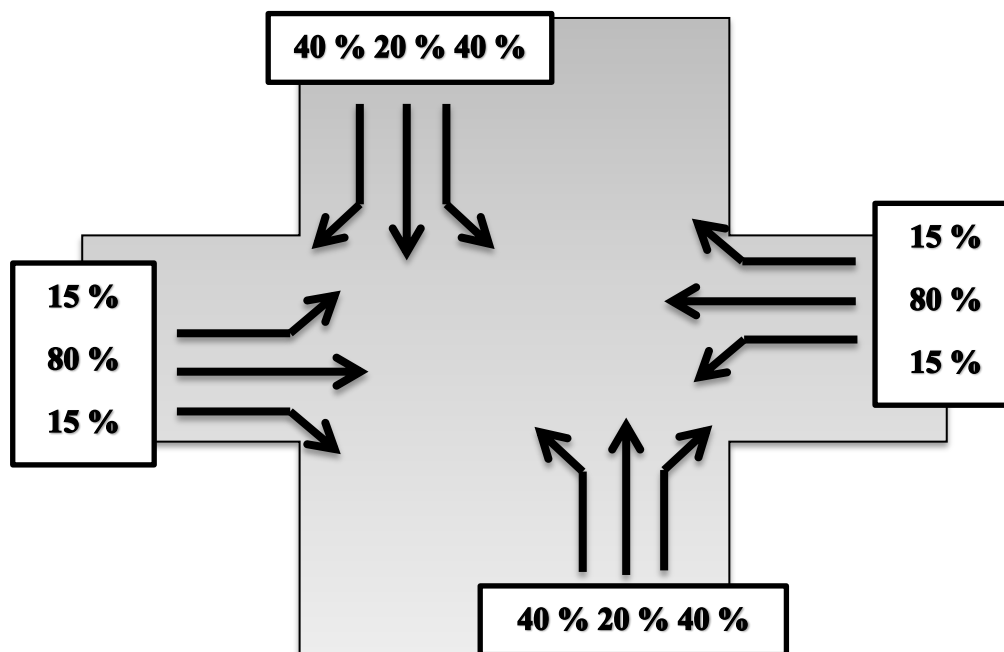
Směrové rozdělení dopravního proudu bylo zvoleno procentuálním podílem vstupních intenzit na větvích křižovatek podle schématu níže.

Obrázek 50 – Směrové rozdělení dopravního proudu na stykové křižovatce



Zdroj: autor

Obrázek 51 – Směrové rozdělení dopravního proudu na průsečné a okružní křižovatce



Zdroj: autor

Omezení rychlosti průjezdu okružními křižovatkami

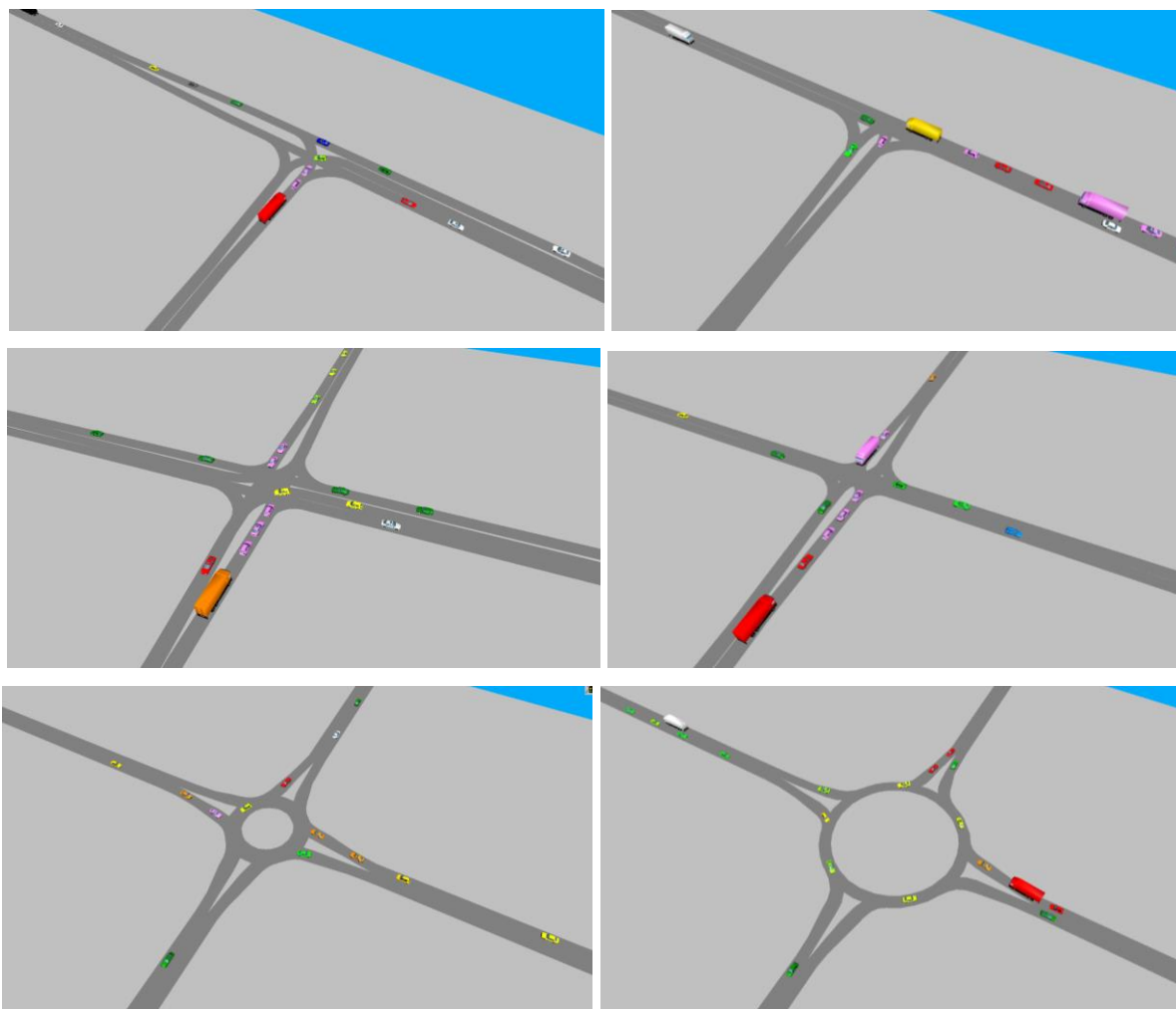
Omezení rychlostí na okružním páse bylo stanoveno podle TP 135 – Projektování okružních křižovatek pomocí tzv. „reduced speed areas“. Omezení rychlostí pro vozidla byla na základě měření stanovena takto:

- osobní vozidla $v = 30 - 35$ km/h,
- těžká nákladní vozidla $v = 20$ km/h.

Přednost v jízdě nadřazených dopravních proudů

Přednost v jízdě nadřazených dopravních proudů byla nastavena stanovením tzv. „priority rules“ na kolizních plochách. Zamezení vjetí do průsečné křižovatky před vyklizením všech nadřazených proudů z kolizních ploch bylo provedeno pomocí definování časových a délkových mezer.

Obrázek 52 – Simulace teoretických modelů křižovatek



Zdroj: autor

Délkové mezery byly určeny podle velikosti kolizních ploch. Časové mezery do teoretických modelů byly určeny na základě terénního měření stejných typů intravilánových křižovatek podle stupně podřazenosti dopravních proudů a manuálu PTV Vissim v rozmezí 3,1 – 3,4 s. [59], [60]

Simulace teoretických modelů křižovatek

Na teoretických modelech dispozičních řešení křižovatek bylo provedeno 20 hodinových simulací s rozlišením 10 simulačních kroků / sekundu při variabilních vjezdových hodnotách špičkové intenzity v rozmezí $I = 1400 - 2200$ voz/h.

Nahodilost přidělování vozidel na síť bylo zajištěno vstupním parametrem náhodného generátoru (random seed) se stejnou vstupní hodnotou $s_r = 11 - 30$. Díky tomu bylo získáno variabilní chování modelu se stejnými hodnotami intenzit dopravního proudu.

Výstupy ze simulací v podobě trajektorií *.trj byly posouzeny za nastavených okrajových podmínek pomocí softwaru SSAM.

4.3. Vyhodnocení trajektorií teoretických modelů křižovatek pomocí SSAM

Vyhodnocení proběhlo automatickým výpočtem trajektorií vozidel získaných z 20 simulací na 6 – ti teoretických modelech křižovatek různého dispozičního řešení při pěti rozdílných intenzitách na vjezdech $I = 1400 - 2200$ voz/h (celkem 600 simulačních hodin).

4.3.1. Nastavení okrajových podmínek SSAM pro vyhodnocení trajektorií

Okrajové podmínky výběru a hodnocení konfliktu reprezentují následující parametry:

- TTC – čas do kolize – (Time to collision)
- PET – čas po kolizi (Post-encroachment time)
- nastavení kolizního úhlu pro určení druhu konfliktu,
- vymezení hranic zkoumané oblasti a filtrace výsledků.

Čas do kolize TTC prahové hodnoty

Prahové hodnoty jsou od vývojáře nastaveny na hodnotu TTC rovnu 1,5 s. Tato hodnota odpovídá kritické hodnotě mezi závažnými a nezávažnými konflikty z předešlého výzkumu pro malé rychlosti se zohledněním vztahu mezi konfliktní rychlostí, času do kolize a závažnosti kolize podle Hydéna (Obrázek 30, str. 103). Pro účely práce je tato hodnota stanovena na $TTC = 4,5$ s z důvodu zahrnutí všech uvažovaných stupňů závažnosti v klasifikaci USZ (1 – 6).

Čas po kolizi PET prahové hodnoty

Hodnota PET je přednastavena na hodnotě 5 s. Zde není příliš jasné, proč je volena vývojáři tato hodnota. Daná hodnota se dá určit na základě minimální kritické mezery na vjezdu

do křižovatky. Tato hodnota se podle TP 234 pohybuje v rozmezí 3,7 – 4,5 s a podle TP 188 v rozmezí 4,5 – 6,3 s. Hodnota byla zvolena hranicí $PET = 6,3$ s.

Kolizní úhly prahové hodnoty

Bylo použito základní nastavení kolizních úhlů SSAM a upravené kolizní úhly vyplývající z doporučení studií validace SSAM.[42] a [52]

Kolizní úhly jsou stanoveny následovně:

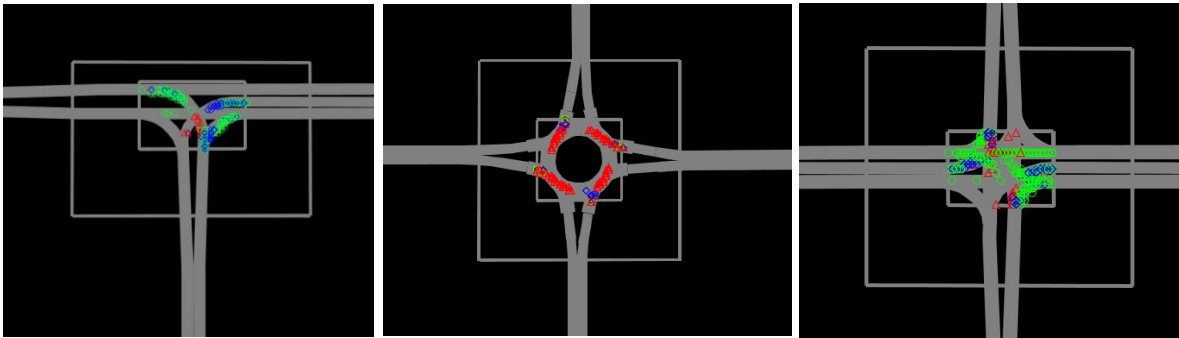
- předo–zadní konflikt (**rear–end**) $<30^\circ$
- změna jízdního pruhu (**lane–change**) $30^\circ – 80^\circ$
- křížení drah (**path–crossing**) $>80^\circ$

Vymezení hranic zkoumané oblasti a filtrace výsledků

Hranice zkoumané oblasti jsou z hlediska hodnocení vlivu nárůstu intenzity na konfliktní situace izolovaných křižovatek určeny ve 3 režimech (včetně uvažovaných faktorů ovlivňující bezpečnost křižovatek). Oblast zkoumání je tedy dána jako:

- cela křižovatka bez omezujících hranic, ale oblast je omezená velikostí modelu (standardně se zahrnují všechny konfliktní situace, které vzniknou provozem na křižovatce),
 - faktor nárůstu intenzity (UKD), počet a délka paprsků včetně jízdních pruhů (kolizní body a plochy);
- křižovatka a blízká oblast omezena ve vzdálenosti 20 m od hranic křižovatky na vjezdech dané počátkem zakřivení krajnice na nároží včetně křižovatek s odbočovacím pruhem (vymezením této oblasti se eliminují konflikty, které vznikají v důsledku nárůstu čekacích front při hodnotách intenzit blížících se kapacitě křižovatky),
 - faktor nárůstu intenzity (UKD), počet a omezená délka paprsků včetně jízdních pruhů (kolizní body a plochy);
- křižovatková plocha omezena hranicemi křižovatky na vjezdech, dané počátkem zakřivení krajnice na nároží včetně křižovatek s odbočovacím pruhem.
 - faktor nárůstu intenzity (UKD), počet a nulová délka paprsků včetně jízdních pruhů (kolizní body a plochy).

Obrázek 53 – Definování zkoumaných oblastí hranic zájmové oblasti od hranice křižovatky



Zdroj: autor

Před samotným zpracováním proběhla kontrola výsledků SSAM s modelem v simulačním čase a proběhla filtrace ojedinělých nevhodných výsledků. Takto vyhodnocená data vznikla v důsledku modelování křižovatek v simulačním programu:

- kolize vzniklé na komunikaci a nenacházejí se v blízkosti křižovatky,
- kolize na počátku linku při nasycení paprsku křižovatky,
- kolize při odbočení vlevo a vpravo z vedlejší – kolizní plochy,
- kolize při malém překrytí dvou protisměrných linků.

4.3.2. Výsledky SSAM pro teoretické modely křižovatek

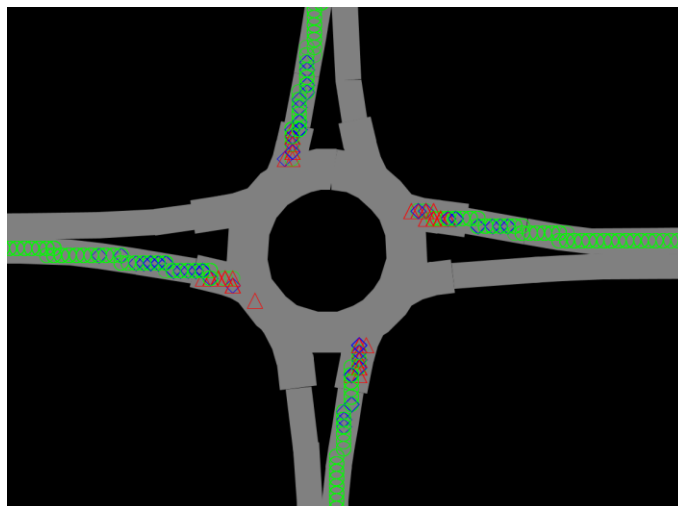
Trajektorie získané simulací byly vyhodnoceny pomocí SSAM. Na základě nastavení okrajových podmínek byly vypočteny (určeny) parametry a hodnoty bezpečnostních ukazatelů.

Následující vyhodnocení obsahuje souhrnné výsledky z jednotlivých variant zkoumání. Podrobné výsledky jsou obsaženy v příloze práce.

Zastoupení druhů konfliktů

Zastoupení konfliktů bylo vyhodnoceno podle okrajových podmínek. Následující obrázek zobrazuje druhy konfliktu na okružní křižovatce (trojúhelník – křížení drah, kruh – zado – přední náraz, kosočtverec – změna jízdního pruhu). Grafické vyhodnocení v závislosti na růstu intenzity pro celou oblast je uvedeno v příloze.

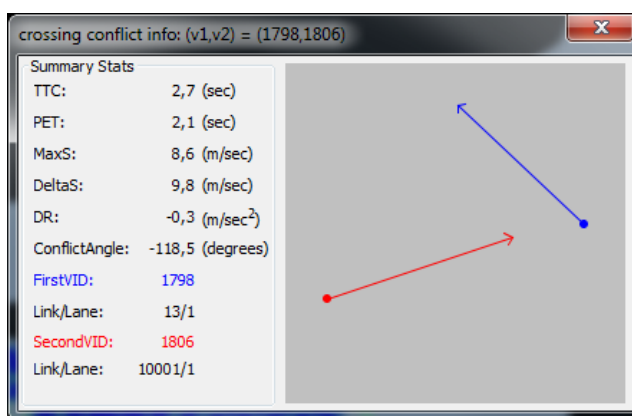
Obrázek 54 – Ukázka grafického vyhodnocení konfliktů dle druhu v SSAM



Zdroj: autor

Jednotlivé rozdělení druhu konfliktu spočívá v kolizním úhlu na počátku změny dráhy vozidla (úhybný manévr nebo změna rychlosti). Počáteční úhel vektorů drah se při nastavení příliš vysokých hodnot TTC nebo PET liší od úhlu při teoretickém střetu ve střetném (kolizním) bodě jak je uvedeno na obrázku níže. Pro účely práce je tedy tento parametr neobjektivní.

Obrázek 55 – Ukázka zobrazení konfliktu s vysokou hodnotou TTC a PET na vjezdu do OK



Zdroj: autor

Výsledky zastoupení druhů konfliktů podle oblasti (tabulka níže) znázorňuje výrazný vliv uvažované délky paprsku na zastoupení předo – zadních konfliktů.

Tabulka 19 – Průměrné zastoupení druhů konfliktu podle vymezené oblasti

Oblast bez hranic						
Druh konfliktu	Styk. K. OP	Styk. K. BOP	Prus. K. OP	Prus. K. BOP	MOK 27	OK 50
Předo – zadní náraz	81.39%	88.23%	77.22%	87.82%	97.69%	90.25%
Změna j.p.	17.62%	10.82%	20.47%	10.94%	1.44%	9.57%
Křížení drah	0.98%	0.95%	2.31%	1.24%	0.87%	0.17%

Oblast s hranicemi 20 m

Druh konfliktu	Styk. K. OP	Styk. K. BOP	Prus. K. OP	Prus. K. BOP	MOK 27	OK 50
Předo – zadní náraz	68.31%	65.96%	64.28%	67.85%	93.33%	72.45%
Změna j.p.	30.03%	31.32%	32.12%	28.88%	4.09%	27.05%
Křížení drah	1.66%	2.72%	3.60%	3.27%	2.58%	0.50%

Oblast s hranicemi 0 m

Druh konfliktu	Styk. K. OP	Styk. K. BOP	Prus. K. OP	Prus. K. BOP	MOK 27	OK 50
Předo – zadní náraz	51.80%	46.37%	52.48%	50.50%	34.51%	44.72%
Změna j.p.	45.58%	49.32%	42.79%	44.09%	12.90%	51.54%
Křížení drah	2.62%	4.31%	4.73%	5.41%	52.59%	3.74%

Zdroj: autor

Předo – zadní náraz se vyskytuje u všech posuzovaných křižovatek ve velké převaze oproti ostatním druhům. Vznik tohoto konfliktu je z drtivé většiny způsobené dojezdem vozidel ke koloně čekajících vozidel. Na okružních křižovatkách je tento typ zastoupen v maximální míře a je způsoben čtyřmi vjezdy s prvním stupněm podřazenosti.

Nárůst druhu konfliktů vyhodnocené SSAM jsou v závislosti na nárůstu intenzity lineární (více v příloze). Velký rozdíl v zastoupení druhů konfliktů u MOK mezi změnou jízdního pruhu nebo křížení drah vychází ze samotného definování těchto druhů. Obě kolize jsou definovány pro konflikty, kdy vozidla jedou na odlišných trasách (linky a konektory) a jediný určující parametr je kolizní úhel. V případě malého poloměru (neustálá změna kolizního úhlu) okružní křižovatky a vysokých hodnotách TTC a PET není toto určení druhu konfliktů objektivní (vhodně).

Otázkou vhodnosti a správnosti použití hraničních hodnot úhlů pro rozlišení druhů konfliktů se zabývají jiné práce ve světě. Vzhledem k míře poznání a definice určení druhů konfliktu na základě kombinace informací o lincích/konektorech a konfliktních úhlech v SSAM, se dále touto problematikou práce nezabývá.

Vliv nárůstu intenzity na počty konfliktů – kvantitativní hodnocení

Hodnocení vlivu nárůstu intenzity na počet konfliktů nepopisuje nárůst nebezpečnosti, ale je hodnocením kvantitativním bez uvažování závažnosti jednotlivých konfliktů. Vyhodnocené výsledky konfliktů obsahují konflikty závažné i nezávažné ($TTC_{lim} = 1,5$ s) definované okrajovými podmínkami vyhodnocení trajektorií v SSAM ($TTC = 0 - 4,5$ s).

Pro jednotlivé typy křižovatek byla zavedena veličina stupně vytížení a_v v závislosti na intenzitě a orientačních hodnotách kapacit křižovatek takto:

Tabulka 20 – Zavedení stupně vytížení a_v pro jednotlivé typy křižovatek

Kapacita [voz/h]	Styk. K. OP	Styk. K. BOP	Prus. K. OP	Prus. K. BOP	MOK 27	OK 50
Intenzita [voz/h]	1800	1700	2000	1900	2200	2700
1400	0.78	0.82	0.70	0.74	0.64	0.52
1600	0.89	0.94	0.80	0.84	0.73	0.59
1800	1.00	1.06	0.90	0.95	0.82	0.67
2000	1.11	1.18	1.00	1.05	0.91	0.74
2200	1.22	1.29	1.10	1.16	1.00	0.81

Zdroj: autor

Oblast bez hranic

Počet hodinových konfliktů souvisí s nárůstem intenzity na vjezdu a se zvyšující se UKD na vjezdech při kapacitních limitech jednotlivých uspořádání. Nárůst absolutního počtu konfliktů je nejvýraznější u okružních křižovatek, následují křižovatky bez odbočovacího pruhu (styková a průsečná) a nejméně u křižovatek s odbočovacím pruhem. Vzhledem k dominantnímu narůstajícímu zastoupení před – zadních konfliktů odpovídá pořadí počtu konfliktů v čekací frontě s rostoucím stupněm vytížení.

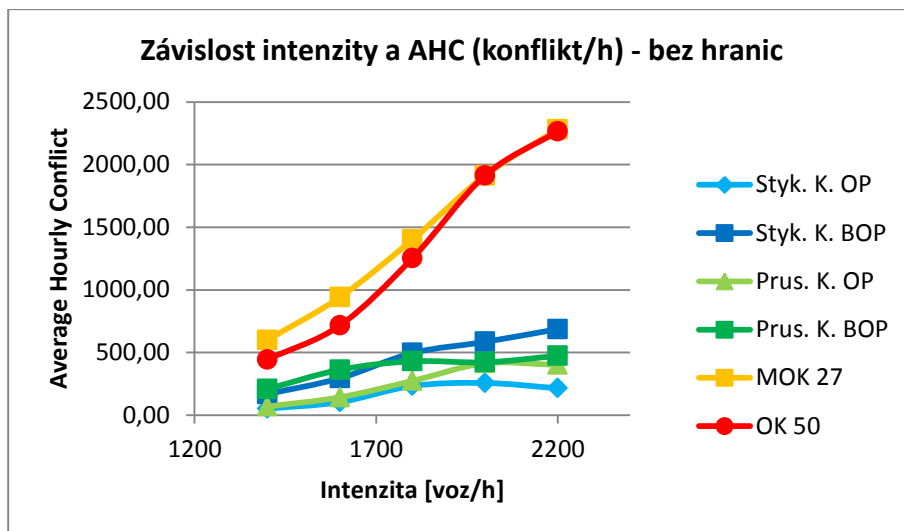
Nárůst průměrného počtu konfliktů vzhledem k nárůstu intenzity podle typu křižovatky a dispozičního uspořádání je znázorněno níže.

Tabulka 21 – Závislost počtu hodinových konfliktů (AHC) na nárůstu intenzit – bez hranic

Intenzita [voz/h]	Styk. K. OP	Styk. K. BOP	Prus. K. OP	Prus. K. BOP	MOK 27	OK 50
1400	51.85	168.00	68.70	208.10	599.50	444.05
1600	104.20	294.50	142.55	362.10	940.90	715.55
1800	232.95	495.75	273.40	430.00	1401.60	1252.10
2000	256.85	584.95	413.80	421.80	1912.70	1912.85
2200	215.05	686.55	401.25	473.45	2281.25	2265.25

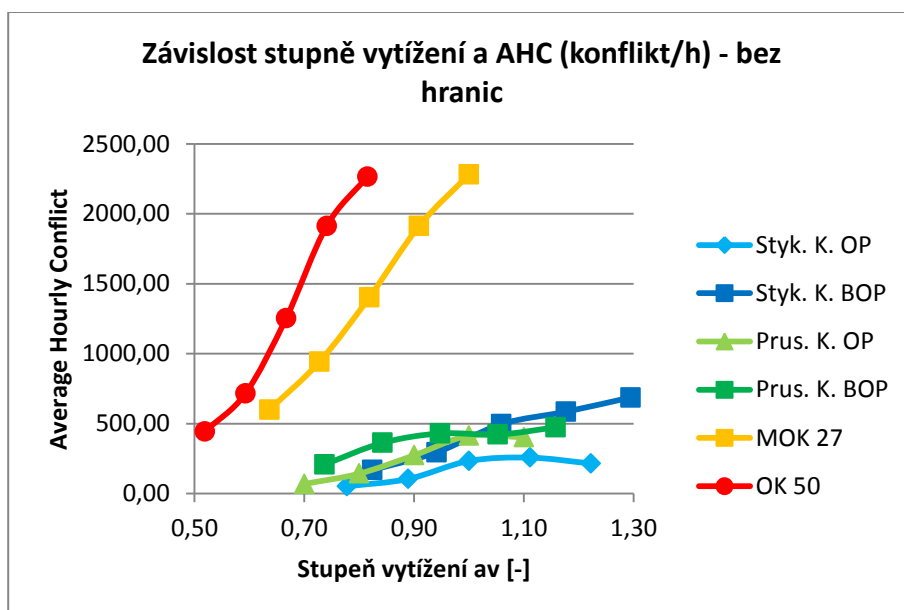
Zdroj: autor

Obrázek 56 – Závislost počtu hodinových konfliktů (AHC) na nárůstu intenzity – bez hranic



Zdroj: autor

Obrázek 57 – Závislost počtu hodinových konfliktů (AHC) na stupni vytížení – bez hranic



Zdroj: autor

Vyjádření stupně vytížení a AHC poukazuje na nárůst konfliktů související s tvorbou čekacích front. Čekací fronty i malé velikosti se vytvářejí na všech vjezdech okružních křižovatek již od malého stupně vytížení a tím narůstají konflikty druhu přední – zadní náraz. Při postupném zvyšování intenzity se u stykových a průsečných křižovatek bez odbočovacího pruhu vytvářejí čekací fronty a narůstá počet konfliktů.

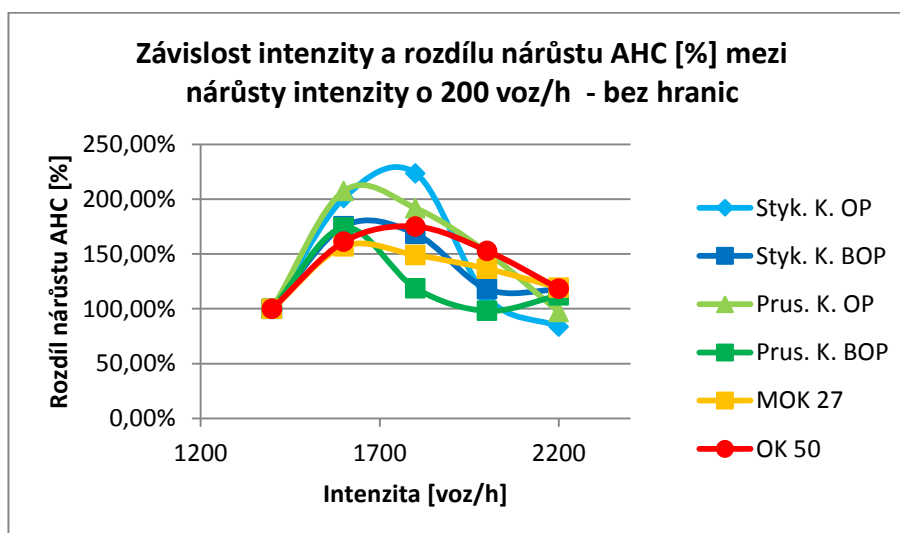
Procentuální nárůst konfliktů mezi jednotlivými intenzitami (nárůst intenzity o 200 voz/h) je pro lepší přehlednost uveden níže.

Tabulka 22 – Závislost intenzity a rozdílu nárůstu AHC [%] mezi nárůsty intenzity o 200 voz/h – bez hranic

Intenzita [voz/h]	Styk. K. OP	Styk. K. BOP	Prus. K. OP	Prus. K. BOP	MOK 27	OK 50
1400	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
1600	200.96%	175.30%	207.50%	174.00%	156.95%	161.14%
1800	223.56%	168.34%	191.79%	118.75%	148.96%	174.98%
2000	110.26%	117.99%	151.35%	98.09%	136.47%	152.77%
2200	83.73%	117.37%	96.97%	112.25%	119.27%	118.42%

Zdroj: autor

Obrázek 58 – Závislost intenzity a rozdílu nárůstu AHC [%] mezi nárůsty intenzity o 200 voz/h – bez hranic



Zdroj: autor

Z vyjádření nárůstu AHC [%] vyplývá vliv kapacitního omezení jednotlivých typů křižovatek. Nárůst je nejvyšší u křižovatek, které mají nejmenší kapacitní rezervu (rychlý nárůst front) tj. křižovatek stykových.

Oblast s hranicemi 20 m

Omezením zkoumané oblasti na 20m od hranice křižovatky se omezil růst počtu konfliktů v čekací frontě paprsků.

Nejvíce konfliktů je zaznamenáno u okružních křižovatek, křižovatek s odbočovacím pruhem a nejméně u křižovatek bez odbočovacího pruhu. Znatelný rozdíl je ovšem v absolutních počtech konfliktů při eliminaci konfliktů od vozidel ve frontě na podřazeném dopravním proudu.

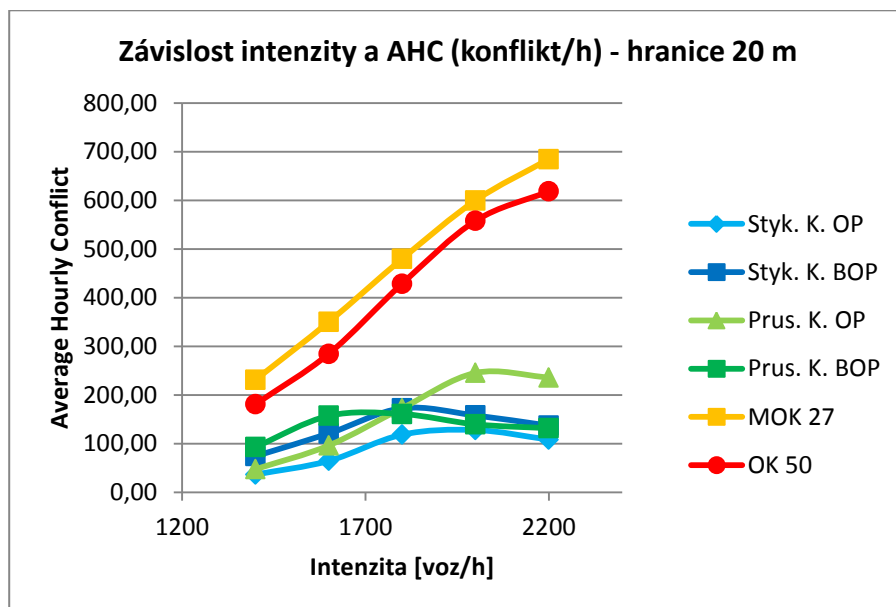
Nárůst průměrného počtu konfliktů vzhledem k nárůstu intenzity podle typu křižovatky a dispozičního uspořádání je znázorněno níže.

Tabulka 23 – Závislost počtu hodinových konfliktů (AHC) na nárůstu intenzit – hranice 20 m

Intenzita [voz/h]	Styk. K. OP	Styk. K. BOP	Prus. K. OP	Prus. K. BOP	MOK 27	OK 50
1400	36.50	74.25	47.45	93.10	231.10	180.85
1600	64.55	120.85	96.25	157.10	350.20	284.55
1800	118.40	172.65	172.80	160.90	479.70	428.65
2000	127.95	157.90	245.25	139.60	599.60	557.70
2200	108.30	136.90	235.95	131.70	684.55	618.35

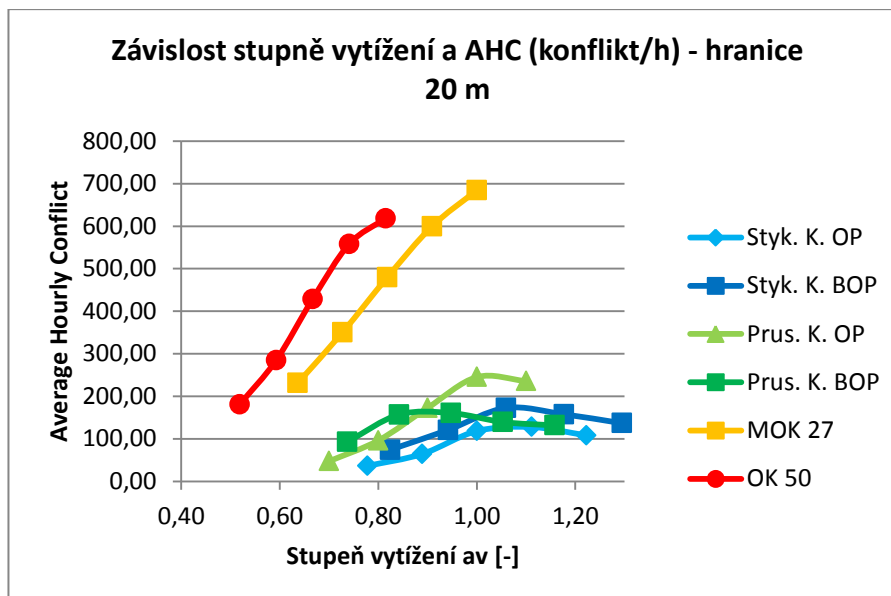
Zdroj: autor

Obrázek 59 – Závislost počtu hodinových konfliktů (AHC) na nárůstu intenzity – hranice 20 m



Zdroj: autor

Obrázek 60 – Závislost počtu hodinových konfliktů (AHC) na stupni vytížení – hranice 20 m



Zdroj: autor

Omezením hranic zkoumané oblasti lze pozorovat zejména u průsečné křižovatky vliv počtu jízdnic pruhů ve zkoumané oblasti. Bez odbočovacího pruhu se vytvoří fronta mimo zkoumanou oblast (konflikty od nadřazeného přímého průjezdu na hlavní a levé odbočení), zatímco u odbočovacího pruhu se výrazný podíl konfliktů odehraje uvnitř zkoumané oblasti.

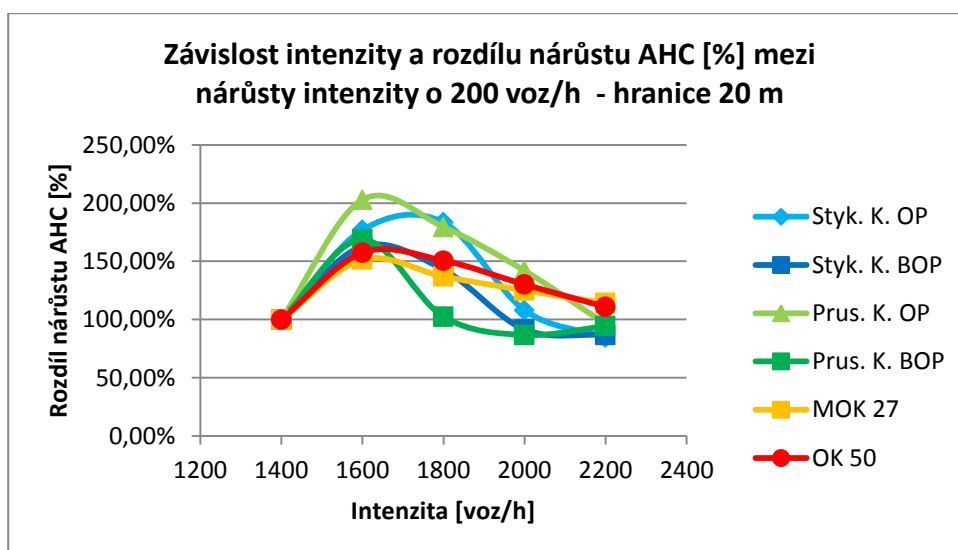
Procentuální nárůst konfliktů mezi jednotlivými intenzitami (nárůst intenzity o 200 voz/h) je pro lepší přehlednost uveden níže.

Tabulka 24 – Závislost intenzity a rozdílu nárůstu AHC [%] mezi nárůsty intenzity o 200 voz/h – hranice 20 m

Intenzita [voz/h]	Styk. K. OP	Styk. K. BOP	Prus. K. OP	Prus. K. BOP	MOK 27	OK 50
1400	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
1600	176.85%	162.76%	202.85%	168.74%	151.54%	157.34%
1800	183.42%	142.86%	179.53%	102.42%	136.98%	150.64%
2000	108.07%	91.46%	141.93%	86.76%	124.99%	130.11%
2200	84.64%	86.70%	96.21%	94.34%	114.17%	110.88%

Zdroj: autor

Obrázek 61 – Závislost intenzity a rozdílu nárůstu AHC [%] mezi nárůsty intenzity o 200 voz/h – hranice 20 m



Zdroj: autor

Při omezení hranic zkoumané oblasti můžeme opět říci, že vyjádření nárůstu AHC [%] poukazuje na vliv intenzity/ kapacity na nárůst konfliktních situací (omezený vliv konfliktů v důsledku nárůstu čekacích front).

Oblast s hranicemi 0 m

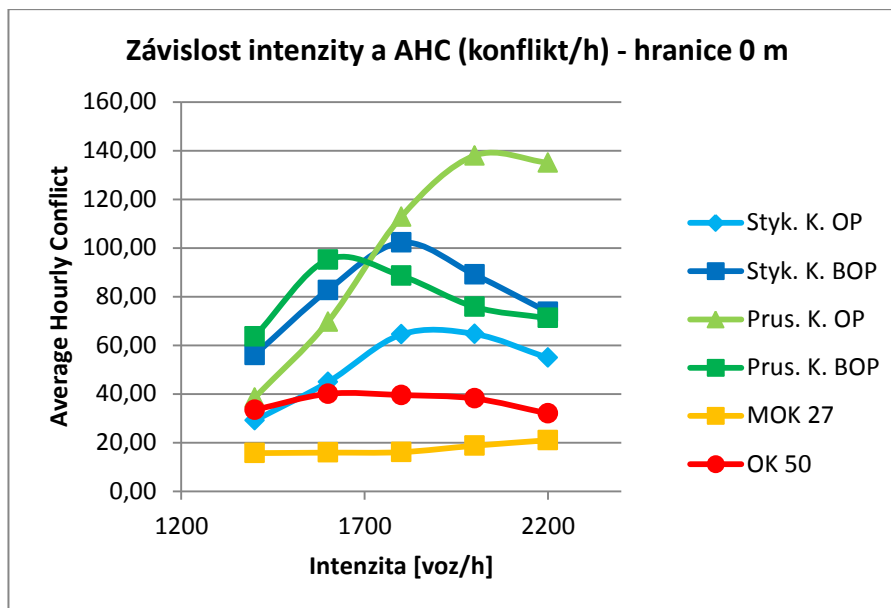
Poslední zkoumaná oblast na hranici křižovatky eliminuje konflikty z čekacích front a hodnotí pouze konflikty v oblasti křižovatky. Nejvíce konfliktů v oblasti křižovatky je zaznamenáno u křižovatek s odbočovacími pruhy, křižovatek bez odbočovacího pruhu a nejméně u okružních křižovatek. V pořadí křižovatek stykových a průsečných je hlavní faktor počet jízdních pruhů (paprsků) v řešené oblasti.

Tabulka 25 – Závislost počtu hodinových konfliktů (AHC) na nárůstu intenzit – hranice 0 m

Intenzita [voz/h]	Styk. K. OP	Styk. K. BOP	Prus. K. OP	Prus. K. BOP	MOK 27	OK 50
1400	29.05	56.00	38.45	63.60	15.70	33.45
1600	44.85	82.70	69.65	95.20	15.90	40.05
1800	64.45	102.20	112.80	88.55	16.10	39.55
2000	64.65	89.05	137.95	75.80	18.75	38.15
2200	54.85	73.70	135.05	71.15	21.00	32.00

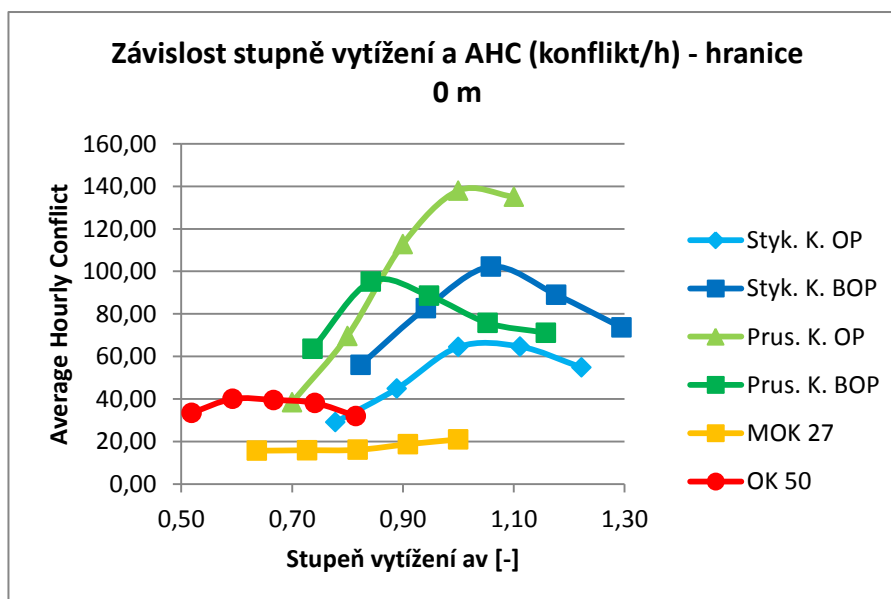
Zdroj: autor

Obrázek 62 – Závislost počtu hodinových konfliktů (AHC) na nárůstu intenzity – hranice 0 m



Zdroj: autor

Obrázek 63 – Závislost počtu hodinových konfliktů (AHC) na stupni vytížení – hranice 0 m



Zdroj: autor

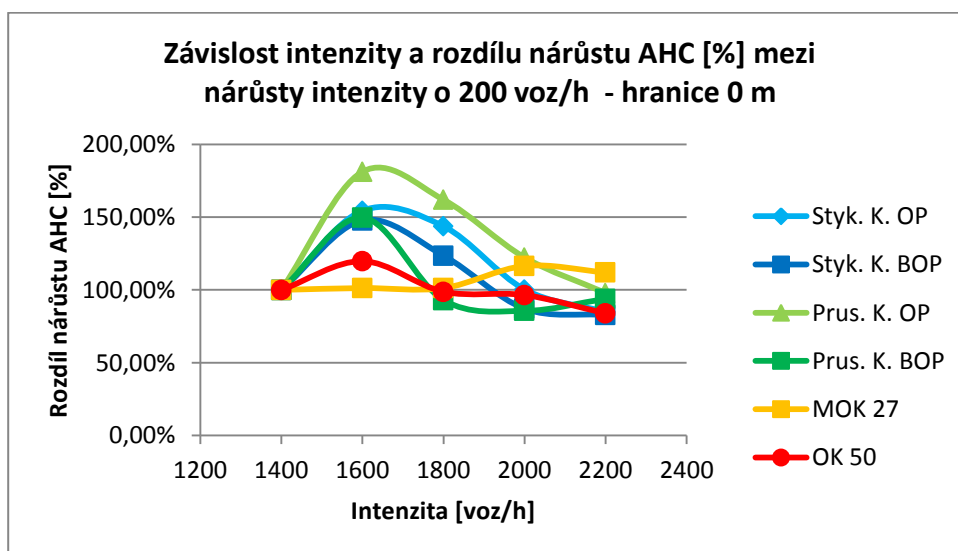
Vymezená oblast křižovatkové plochy poukazuje na maxima počtu konfliktů, které se mohou udát při daném stupni vytížení (intenzitě). Pořadí v hodnocení počtem konfliktů mají zásadní vliv faktory počtu jízdních pruhů a konfliktní body popř. konfliktní plochy.

Tabulka 26 – Závislost intenzity a rozdílu nárůstu AHC [%] mezi nárůsty intenzity o 200 voz/ – hranice 0 m

Intenzita [voz/h]	Styk. K. OP	Styk. K. BOP	Prus. K. OP	Prus. K. BOP	MOK 27	OK 50
1400	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
1600	154.39%	147.68%	181.14%	149.69%	101.27%	119.73%
1800	143.70%	123.58%	161.95%	93.01%	101.26%	98.75%
2000	100.31%	87.13%	122.30%	85.60%	116.46%	96.46%
2200	84.84%	82.76%	97.90%	93.87%	112.00%	83.88%

Zdroj: autor

Obrázek 64 – Závislost intenzity a rozdílu nárůstu AHC [%] mezi nárůsty intenzity o 200 voz/h – hranice 0 m



Zdroj: autor

Závislost počtu konfliktů v křižovatkové ploše nám ukazuje základní poznatky:

- průsečné a stykové vykazují nelineární závislost v nárůstu konfliktů podle intenzity,
- okružní křižovatky vykazují nezávislost nárůstu konfliktů podle intenzity (hodnoty jsou téměř stejné).

Potvrzuje předpoklad, že při postupném nasycení křižovatky se vozidla pohybují opatrněji a zvyšuje se bezpečnost (klesá počet konfliktních situací). Okružní křižovatky klasického typu jsou v tomto pohledu bezpečné stále (počet konfliktních situací je konstantní).

4.3.3. Rozbor základních ukazatelů TTC, PET a MaxDeltaV

Pro rozbor ukazatelů byly zvoleny veličiny TTC, PET a MaxDeltaV. Čas do kolize (TTC) vyjadřuje závažnost konfliktu, čas po průjezdu (PET) kolizního bodu vyjadřuje bezpečnou

časovou rezervu (závažnost konfliktu) a MaxDeltaV vyjadřuje závažnost následku kolize maximálním rozdílem součtu vektorů rychlosti zúčastněných vozidel.

TTC vyhodnocení prahových hodnot

Prahové hodnoty

Prahové hodnoty lze určit z histogramu a kumulativní četnosti (inflexní body):

$$TTC = 1,5 \text{ s a } 2,4 \text{ s}$$

Zastoupení prahových hodnot je závislé na intenzitě a na velikosti zkoumané oblasti. Při zkoumání křivek četností pro jednotlivé typy křižovatek je nutné uvažovat kapacitu a odpovídající stupeň vytížení (styková X průsečná X okružní). Vyšší intenzity u křižovatek nižších kapacit znázorňují překročení kapacity a nárůst front vozidel bez ohledu na dobu čekání.

Následující tabulka zobrazuje shrnutí TTC závažných konfliktů s nárůstem intenzit a procentuálním zastoupení vzhledem ke všem konfliktům.

Tabulka 27 – Kumulativní četnost a % závažných konfliktů TTC ≤1,5 s ve zkoumaných oblastech

Kumulativní četnost a % závažných konfliktů TTC ≤1.5 s ve zkoumaných oblastech												
Intenzita	Styk. K. OP		Styk. K. BOP		Prus. K. OP		Prus. K. BOP		MOK 27		OK 50	
	četn.	%	četn.	%	četn.	%	četn.	%	četn.	%	četn.	%
hran. 0												
1400	20	3.44%	39	3.48%	28	3.64%	39	3.07%	0	0.00%	11	1.64%
1600	30	3.34%	73	4.41%	48	3.45%	53	2.78%	1	0.31%	16	2.00%
1800	32	2.48%	71	3.47%	67	2.97%	38	2.15%	0	0.00%	20	2.53%
2000	26	2.01%	66	3.71%	32	1.16%	41	2.70%	0	0.00%	4	0.52%
2200	29	2.64%	31	2.10%	56	2.07%	45	3.16%	1	0.24%	5	0.78%
hran. 20												
1400	31	4.25%	46	3.10%	34	3.58%	62	3.33%	88	1.90%	58	1.60%
1600	44	3.41%	90	3.72%	68	3.53%	79	2.51%	135	1.93%	113	1.99%
1800	50	2.11%	84	2.43%	89	2.58%	61	1.90%	136	1.42%	164	1.91%
2000	36	1.41%	73	2.31%	46	0.94%	59	2.11%	141	1.18%	107	0.96%
2200	40	1.85%	33	1.21%	68	1.44%	58	2.20%	110	0.80%	85	0.69%
bez hran.												
1400	32	3.09%	48	1.43%	35	2.55%	64	1.54%	94	0.78%	58	0.65%
1600	46	2.21%	93	1.58%	68	2.39%	87	1.20%	144	0.77%	115	0.80%
1800	53	1.14%	88	0.89%	95	1.74%	66	0.77%	143	0.51%	169	0.67%
2000	36	0.70%	76	0.65%	48	0.58%	62	0.73%	157	0.41%	118	0.31%
2200	42	0.98%	34	0.25%	69	0.86%	65	0.69%	121	0.27%	93	0.21%

Zdroj: autor

Pro přehlednost jsou uvedeny absolutní počty nárůstu a procentuální zastoupení nárůstu závažných konfliktů ($< 1,5$ s) ve zkoumaných oblastech. Hodnoty uvádějí počty rozdílu závažných konfliktů větší oblasti a vnořené oblasti. Přesněji řečeno: kolik závažných konfliktů se nachází uvnitř oblasti křižovatky, kolik na paprscích do 20 m od hranice křižovatky a kolik na paprscích více jak 20 m za hranicí křižovatky. Při narůstající intenzitě je patrný přeliv závažných konfliktů vzniklých příjezdem vozidel k čekací frontě.

Tabulka 28 – Nárůst závažných konfliktů TTC $\leq 1,5$ s ve zkoumaných oblastech

Nárůst závažných konfl. TTC $\leq 1,5$ s ve zkoumaných oblastech												
Intenzita	Styk. K. OP		Styk. K. BOP		Prus. K. OP		Prus. K. BOP		MOK 27		OK 50	
	četn.	<1.5s %	četn.	<1.5s %	četn.	<1.5s %	četn.	<1.5s %	četn.	<1.5s %	četn.	<1.5s %
hran. 0												
1400	20	62.50%	39	81.25%	28	80.00%	39	60.94%	0	0.00%	11	18.97%
1600	30	65.22%	73	78.49%	48	70.59%	53	60.92%	1	0.69%	16	13.91%
1800	32	60.38%	71	80.68%	67	70.53%	38	57.58%	0	0.00%	20	11.83%
2000	26	72.22%	66	86.84%	32	66.67%	41	66.13%	0	0.00%	4	3.39%
2200	29	69.05%	31	91.18%	56	81.16%	45	69.23%	1	0.83%	5	5.38%
hran. 20												
1400	11	34.38%	7	14.58%	6	17.14%	23	35.94%	88	93.62%	47	81.03%
1600	14	30.43%	17	18.28%	20	29.41%	26	29.89%	134	93.06%	97	84.35%
1800	18	33.96%	13	14.77%	22	23.16%	23	34.85%	136	95.10%	144	85.21%
2000	10	27.78%	7	9.21%	14	29.17%	18	29.03%	141	89.81%	103	87.29%
2200	11	26.19%	2	5.88%	12	17.39%	13	20.00%	109	90.08%	80	86.02%
bez hran.												
1400	1	3.13%	2	4.17%	1	2.86%	2	3.13%	6	6.38%	0	0.00%
1600	2	4.35%	3	3.23%	0	0.00%	8	9.20%	9	6.25%	2	1.74%
1800	3	5.66%	4	4.55%	6	6.32%	5	7.58%	7	4.90%	5	2.96%
2000	0	0.00%	3	3.95%	2	4.17%	3	4.84%	16	10.19%	11	9.32%
2200	2	4.76%	1	2.94%	1	1.45%	7	10.77%	11	9.09%	8	8.60%

Zdroj: autor

Zastoupení závažných konfliktů (TTC $\leq 1,5$ s) je nejvýraznější v oblasti křižovatková plocha pro stykové a průsečné křižovatky (60 – 80%) a v oblasti hranice 20 m od hranic křižovatky pro křižovatky okružní (80 – 90 %).

S narůstající intenzitou klesá procentuální četnost závažných konfliktů ze všech zaznamenaných konfliktů ve všech zkoumaných oblastech u všech typů křižovatek. Pokles závažných konfliktů při růstu intenzity před hranicí kapacity (stupeň vytížení $a_v < 1$) se prokázal pouze u křižovatek okružních.

Podrobné tabulkové vyhodnocení závažných konfliktů je uvedeno v příloze.

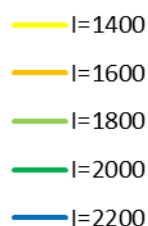
Štíhlost křivky

Štíhlost histogramu (malý rozptyl) u typu křižovatky okružní poukazuje na vyrovnanost závažnosti (plynulý nárůst s intenzitou) křižovatkových pohybů dané jedním nadřazeným proudem vozidel na okruhu. U četností stykových a průsečných křižovatek je patrná plochost křivek, které v sobě zahrnují pohyby dalších stupňů podřazenosti a větší počet kolizních bodů a ploch.

Vrcholy průběhu křivky četnosti

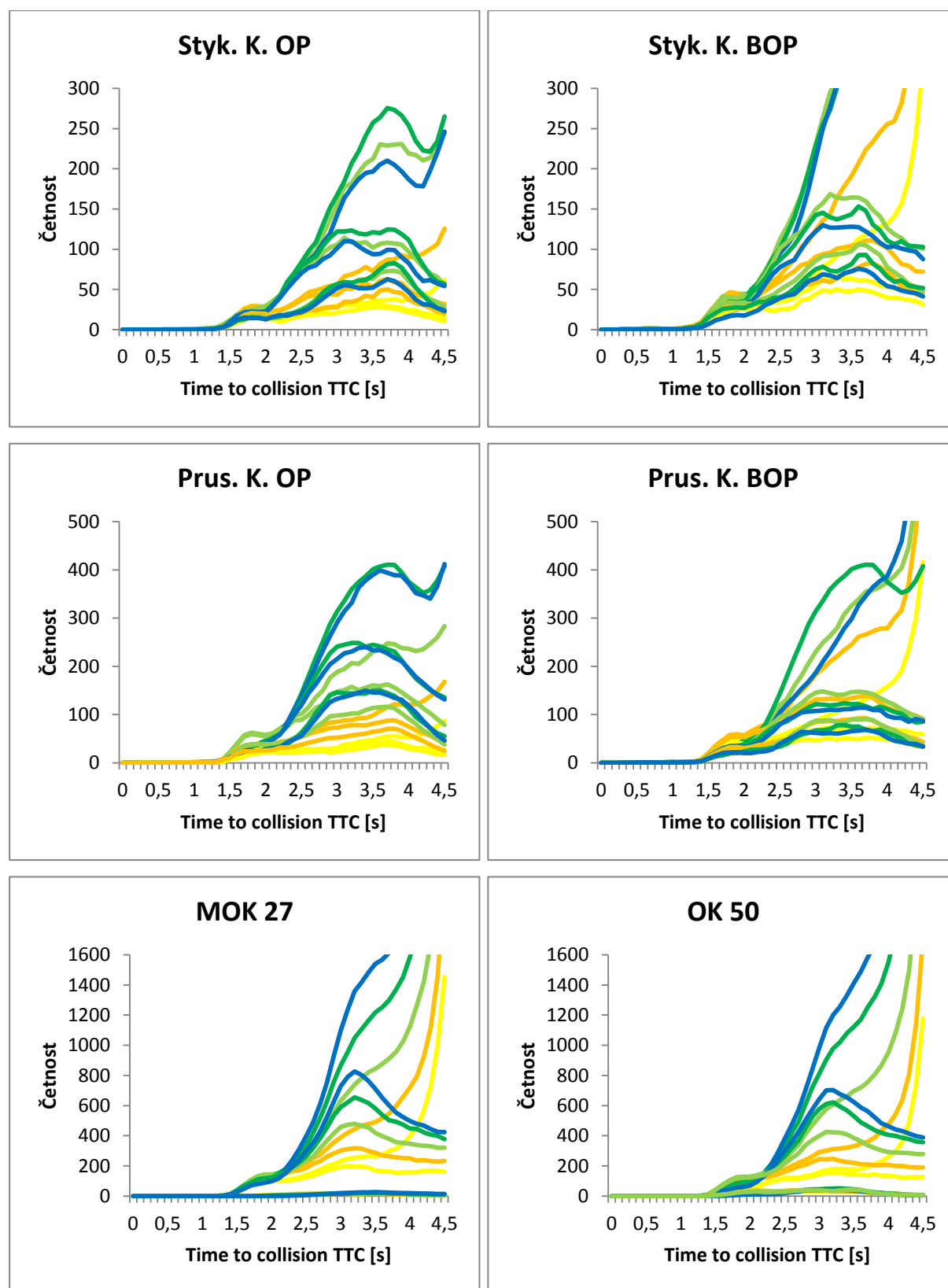
Vrcholy křivky zobrazené v hodnotách 3,3 s pro zkoumané oblasti reprezentuje dopravní chování následného modelu proudu při průjezdu křižovatkou. Pohyb dopravního proudu je definován simulačními modely následné bezpečné vzdálenosti mezi vozidly (závislost minimální vzdálenosti a rychlosti). Tento vrchol je reprezentován také ve zkoumané oblasti bez hranic, kde toto maximum překrývá četnost TTC vlivu volného úseku z dojezdu vozidel. Četnosti jsou zobrazeny pro všechny tři velikosti zkoumaných oblastí. Vymezení oblasti je dáno snížením četností ukazatelů (nejvyšší spektrum intenzit odpovídá omezené oblasti zkoumání modelem a nejnižší křižovatkovou plochou).

Legenda: I [voz/hod]



Podrobné grafické znázornění je uvedeno v příloze.

Obrázek 65 – Histogram TTC pro všechna uspořádání pro všechny typy křižovatek v závislosti na intenzitě a velikosti zkoumané oblasti



Zdroj: autor

PET vyhodnocení prahových hodnot

Prahové hodnoty

Prahové hodnoty lze určit z histogramu a kumulativní četnosti (inflexní body):

PET = 1,7 s a 3,0 s

PET je nepřímým znakem závažnosti (znak kvality přijetí bezpečné mezery po projetí konfliktního bodu). Ukazatel nezohledňuje rychlosti vozidel (závažnost kolize), ale udává pouze časovou hodnotu. Opět je nutné upozornit na rozdílný stupeň vytížení pro jednotlivé typy křižovatek při simulovaných intenzitách.

Štíhlost křivky

Rozborem podle velikosti zkoumané oblasti lze hodnoty blízké intervalu 3 – 3,4 s přiřadit nastaveným kritickým časovým mezerám na modelech křižovatek.

Vrcholy průběhu křivky četnosti

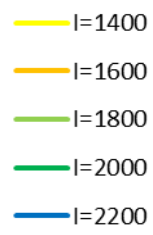
Vysoká hodnota četnosti v hodnotách kolem 1,7 s pro oblast neomezenou hranicemi (pouze modelem), je způsobena příjezdem vozidel ve vyšších rychlostech ke křižovatce na konec čekací fronty. Tento vliv je patrný zejména na křižovatkách bez odbočovacího pruhu a na okružních křižovatkách. U typů s odbočovacím pruhem je tento konflikt méně častý (volný průjezd na hlavní komunikaci).

Při omezení oblasti na 20 m od hranic křižovatky a méně se již tento výrazný trend neprojevuje (model následné bezpečné vzdálenosti).

Při bližším zkoumání oblasti křižovatkové plochy lze pozorovat u okružních křižovatek dvouvrcholový průběh, který charakteristický znak vlivu rozdílného poměru intenzit na hlavní a vedlejší komunikaci (osa paprsků X a Y). Zde jsou prahové hodnoty při vyšších intenzitách na hodnotách PET = 2,7 a 5,6 s. Tento znak nepoměru intenzit je patrnější na OK s malým poloměrem tzv. MOK. Podrobné zobrazení je uvedeno v příloze.

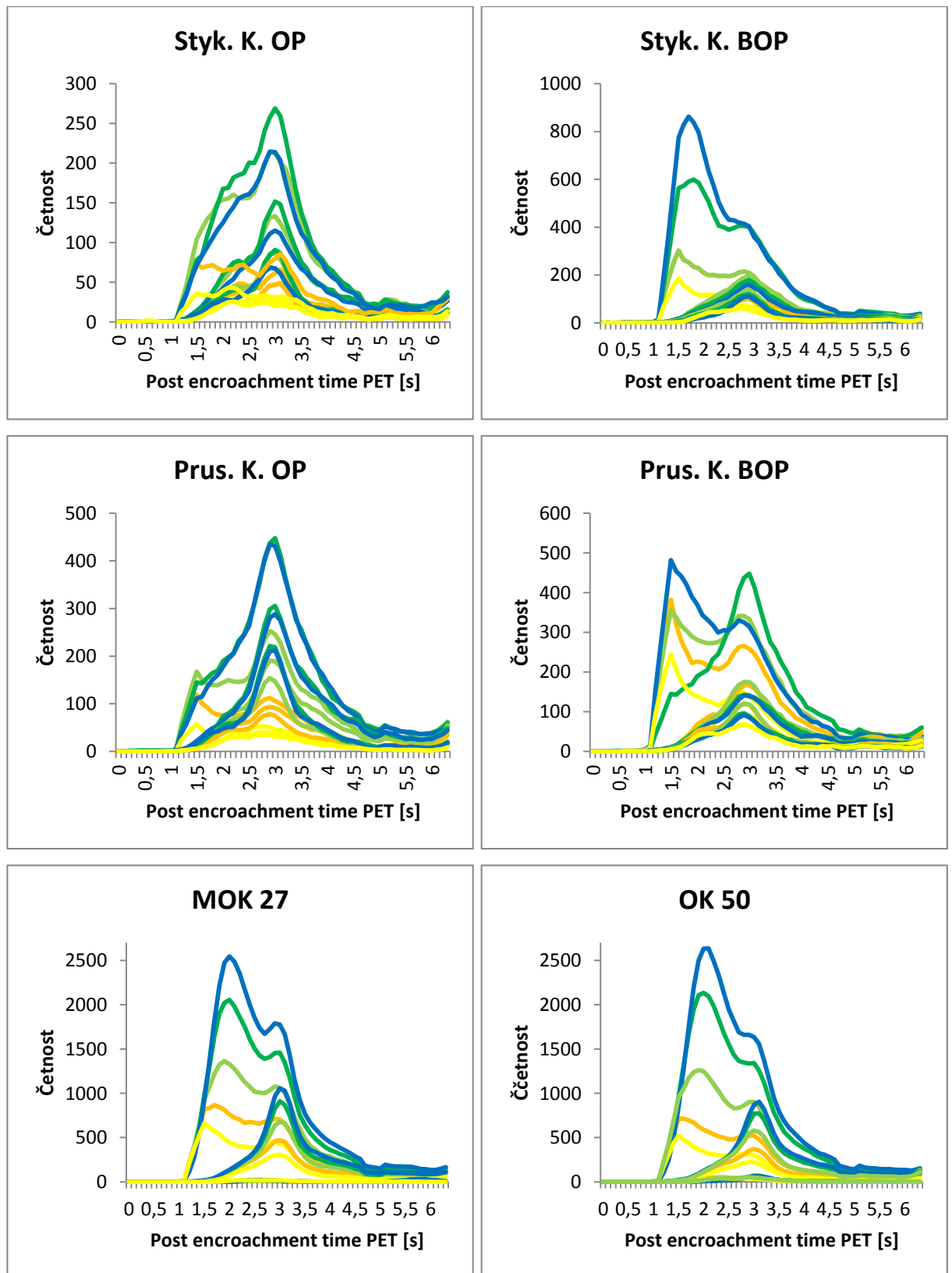
Četnosti jsou zobrazeny pro všechny tři velikosti zkoumaných oblastí. Vymezení oblasti je dáno snížením četností ukazatelů (nejvyšší spektrum intenzit odpovídá omezené oblasti zkoumání modelem a nejnižší křižovatkovou plochou).

Legenda: I [voz/hod]



Podrobné grafické znázornění je uvedeno v příloze.

Obrázek 66 – Histogram PET pro všechny typy křižovatek v závislosti na intenzitě a velikosti zkoumané oblasti



Zdroj: autor

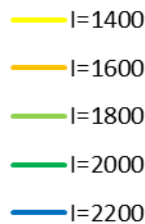
MaxDeltaV vyhodnocení

MaxDeltaV je znakem závažnosti následků potenciální nehody a je závislý na rychlostech kolizních vozidel, hmotnostech a kolizním úhlu (otázka kolizního úhlu je popsána výše). Výsledný maximální rozdíl je dán vektorovým součtem rychlostí. Opět je nutné upozornit na rozdílný stupeň vytížení pro jednotlivé typy křižovatek při simulovaných intenzitách.

Otázka použitelnosti ukazatele je dána určením konfliktu (rozsah TTC a PET) a trajektorií (možnou změna kolizního úhlu při jízdě po okruhu u OK). Je tedy nutné pro určení celkové závažnosti definovat rozsah i pro hraniční hodnoty TTC a vhodnost podle druhu pohybu (typu konfliktu).

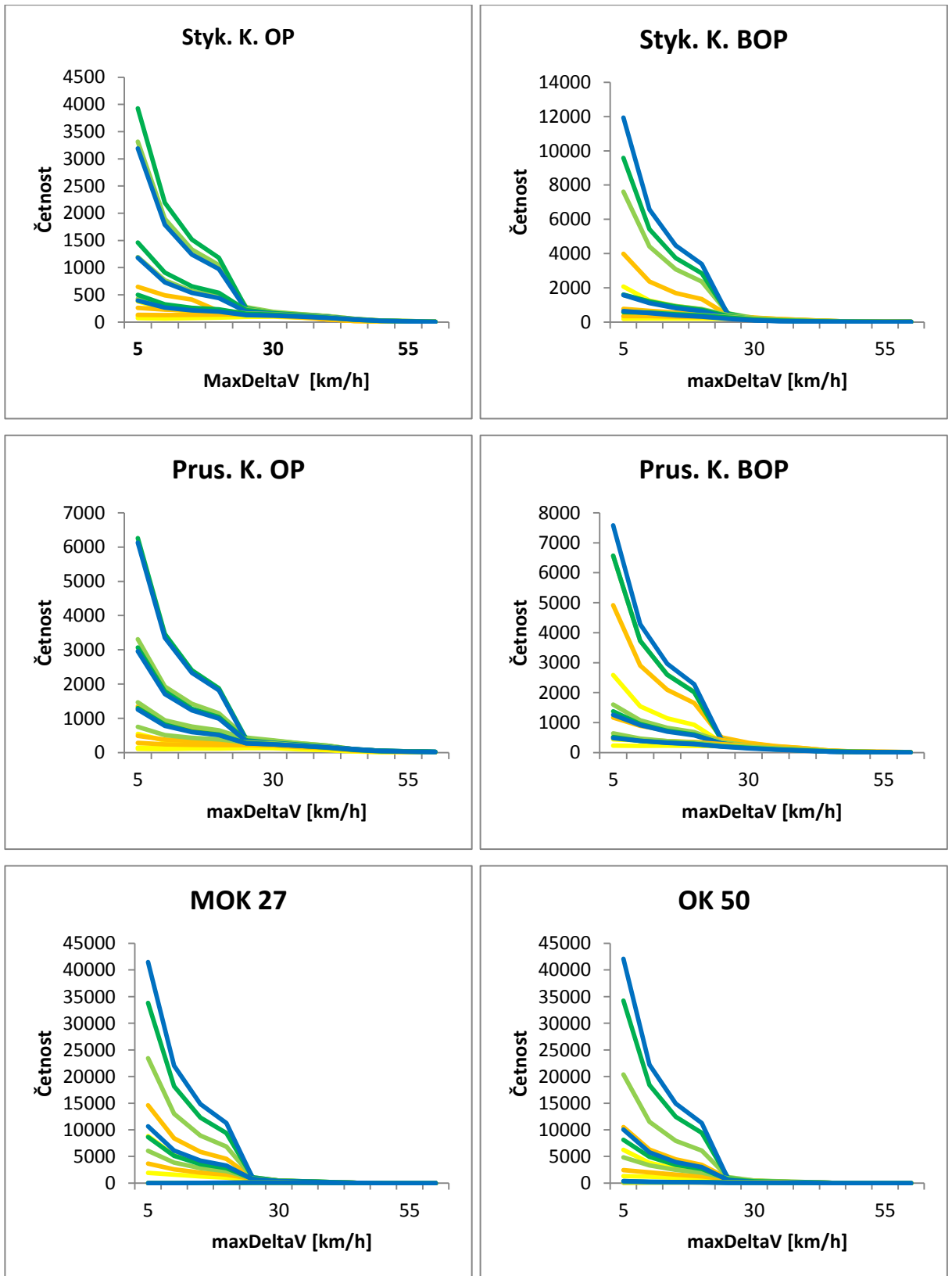
Četnosti jsou zobrazeny pro všechny tři velikosti zkoumaných oblastí. Vymezení oblasti je dáno snížením četností ukazatelů (nejvyšší spektrum intenzit odpovídá omezené oblasti zkoumání modelem a nejnižší křižovatkovou plochou).

Legenda: I [voz/hod]



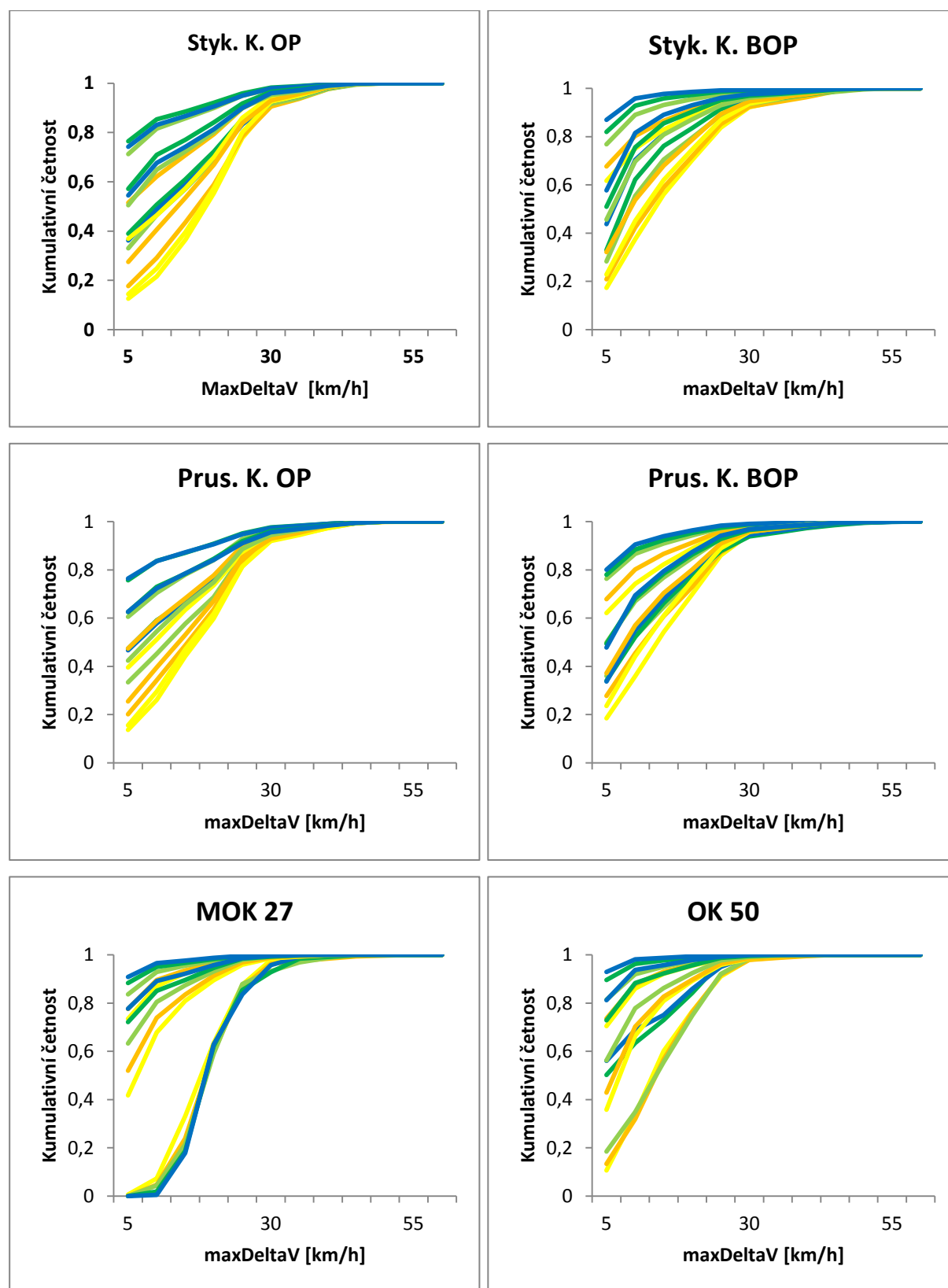
Podrobné grafické znázornění je uvedeno v příloze.

Obrázek 67 – Histogram MaxDeltaV pro všechny typy křižovatek v závislosti na intenzitě a velikosti zkoumané oblasti



Zdroj: autor

Obrázek 68 – Kumulativní četnost MaxDeltaV pro všechny typy křižovatek v závislosti na intenzitě a velikosti zkoumané oblasti



Zdroj: autor

4.4. Vyhodnocení bezpečnosti modelů křižovatek a závažnosti konfliktů

Vyhodnocení bezpečnosti modelů je řešeno v oblasti vymezené do 20 m od hranice křižovatky (od zaoblení směrových oblouků včetně křižovatek s odbočovacím pruhem). Vymezením hranic je snaha oddělit místa s nebezpečnými kolizními body od paprsku křižovatky, kde se projevují převážně předo – zadní liniové konflikty.

Z rozboru základních ukazatelů vyplývají pro zvolení této hranice následující důvody:

1. Nárůst intenzity při vyhodnocení zkresluje výsledky z důvodu tvorby dlouhých čekacích front – nutné vymezení oblasti.
2. V oblasti do 20 m od hranic křižovatky se vyskytuje 90 – 100 % závažných konfliktů ($TTC \leq 1,5$ s).
3. Konflikty 20m a více před hranicí křižovatky vykazují vyšší četnost až při hodnotě $TTC > 2,7$ s, která je považována již za bezpečnou časovou mezeru mezi následnými vozidly ($T_{bezp} = 2$ s) – simulace bezpečné jízdy.
4. Při zkoumání konfliktů v křižovatkové ploše zásadně ovlivňuje hodnocení velikost plochy a počet jízdních pruhů, což jsou parametry, které jsou diametrálně odlišné u jednotlivých typů křižovatek.

4.4.1. USZ (Uniform Severity Zone) vyhodnocení

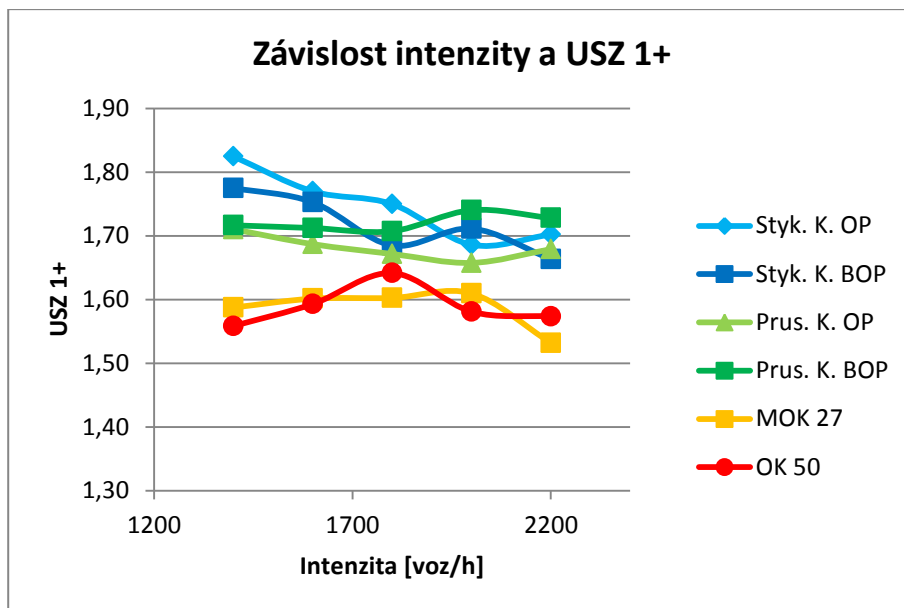
Metoda USZ hodnotí konfliktní situace na základě maximální rychlosti vozidla (závažnost následku kolize a času do kolize (závažnost konfliktu)). Výsledky jsou uvedeny pro intenzity v rozmezí 1400 – 2200 voz/hod a představují průměrnou hodnotu závažnosti kolizí (průměrné umístění kolizí v jednotné úrovni závažnosti USZ podle Hydéna). Čím větší hodnota, tím vyšší závažnost konfliktu.

Tabulka 29 – Závislost intenzity na vyhodnocení USZ 1+

Závislost intenzity a USZ 1+					
USZ 1+	1400	1600	1800	2000	2200
Styk. K. OP	1.82	1.77	1.75	1.69	1.70
Styk. K. BOP	1.78	1.75	1.69	1.71	1.66
Prus. K. OP	1.71	1.69	1.67	1.66	1.68
Prus. K. BOP	1.72	1.71	1.71	1.74	1.73
MOK 27	1.59	1.60	1.60	1.61	1.53
OK 50	1.56	1.59	1.64	1.58	1.57

Zdroj: autor

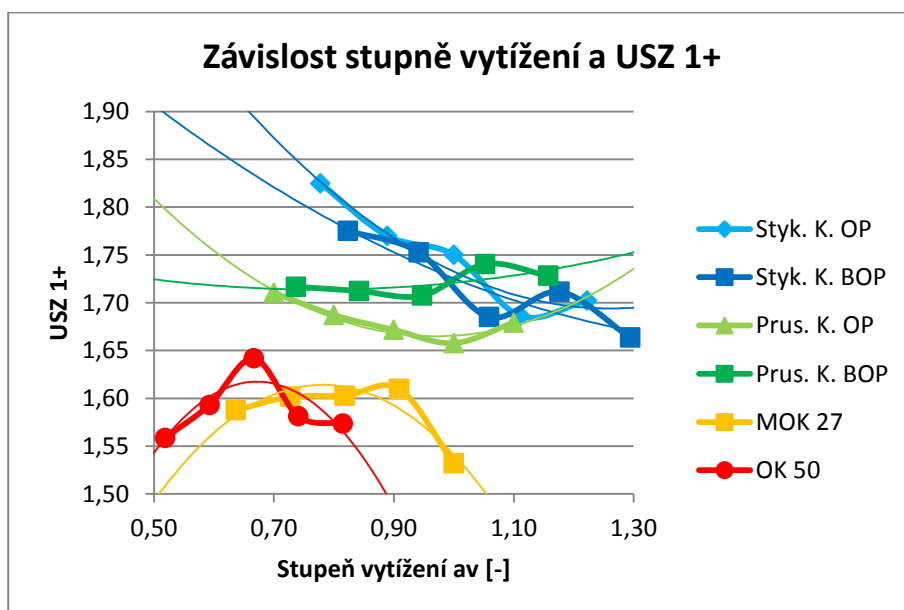
Obrázek 69 – Závislost intenzity na vyhodnocení USZ 1+



Zdroj: autor

Výsledky jsou na následujícím grafu znázorněny v závislosti na stupni vytížení. Pro jednotlivé typy křižovatek jsou zobrazeny spojnice trendu (polynomické 2. stupně).

Obrázek 70 – Závislost stupně vytížení na vyhodnocení USZ 1+



Zdroj: autor

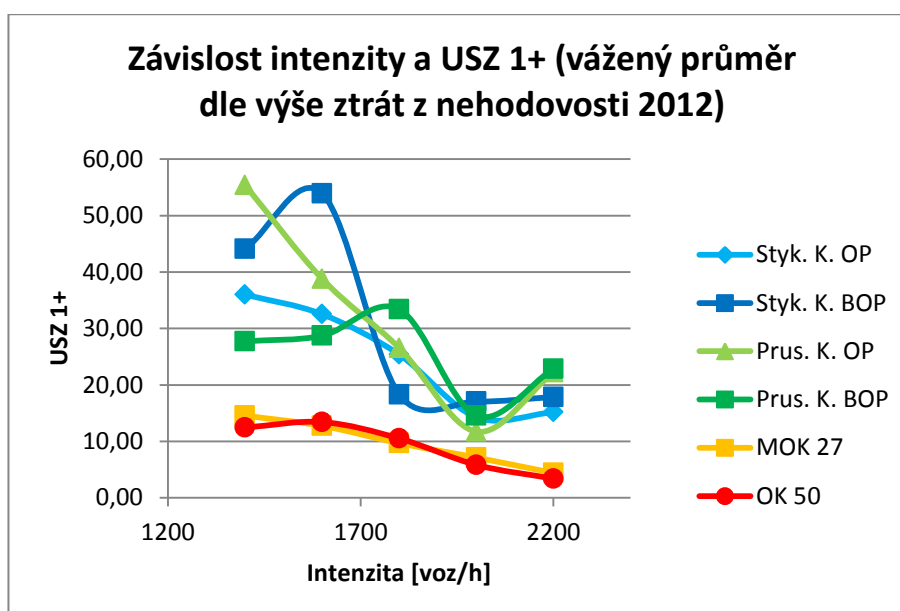
Následující tabulka uvádí přepočtené hodnoty podle váženého průměru dle výše ztrát z nehodovosti na pozemních komunikacích 2012. Hodnoty jsou uváděny v tis. Kč.

Tabulka 30 – Závislost intenzity na vyhodnocení USZ 1+ (vážený průměr dle výše ztrát z nehodovosti 2012)

Závislost intenzity a USZ 1+ (vážený průměr dle výše ztrát z nehodovosti 2012)					
USZ 1+	1400	1600	1800	2000	2200
Styk. K. OP	36.01	32.52	25.38	14.28	15.16
Styk. K. BOP	44.09	53.92	18.30	17.07	17.87
Prus. K. OP	55.40	38.80	26.54	11.72	22.23
Prus. K. BOP	27.74	28.72	33.39	14.56	22.85
MOK 27	14.56	12.75	9.68	7.14	4.40
OK 50	12.46	13.42	10.52	5.83	3.40

Zdroj: autor

Obrázek 71 – Závislost intenzity na vyhodnocení USZ 1+ (vážený průměr dle výše ztrát z nehodovosti 2012)



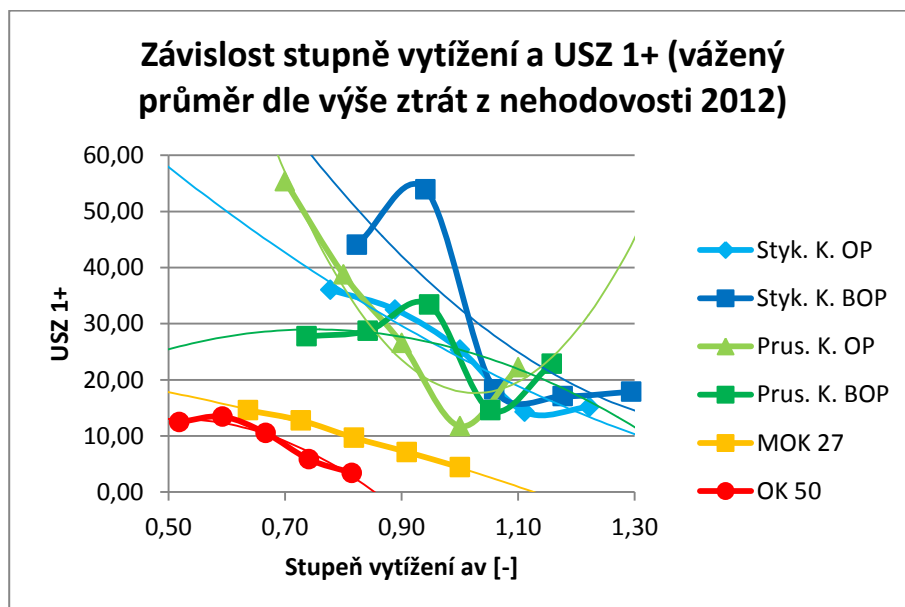
Zdroj: autor

Přiřazení závažnosti hodnoceným konfliktům podle výše ztrát z nehodovosti potvrzuje předpoklady o hodnocení bezpečnosti na jednotlivých typech křižovatek. Vzhledem k velmi nízkému počtu výskytu závažných konfliktů (0 konfliktů u 4+) na okružních křižovatkách, nedošlo k výrazné změně průběhu závislosti závažnosti na intenzitě po přepočtu dle výše ztrát z nehodovosti.

Okružní křižovatky ve sledovaném intervalu intenzit nepřekračují své maximální kapacity. S nárůstem stupně vytížení klesají i rychlosti vozidel přijíždějící ke vjezdu z důvodu vytváření fronty vozidel na vedlejší komunikaci (komunikace s menší intenzitou na vjezdu) a následně i na vjezdech na hlavní komunikaci (komunikace s větší intenzitou na vjezdu).

Závislost kvality dopravy (UKD) a bezpečnost znázorňuje následující graf.

Obrázek 72 – Závislost stupně vytížení na vyhodnocení USZ 1+ (vážený průměr dle výše ztrát z nehodovosti 2012)



Zdroj: autor

Z výsledků lze konstatovat následující závěry:

- Okružní křižovatky jsou hodnoceny při daných intenzitách jako nejbezpečnější a s narůstající intenzitou klesá závažnost konfliktů (roste bezpečnost).
- Stykové a průsečné křižovatky potvrzují předpoklad, že existuje limitní intenzita blízká kapacitě, od které závažnost konfliktů klesá (roste bezpečnost).
- Pozitivní vliv odbočovacího pruhu na hodnocení závažnosti konfliktních situací a bezpečnost křižovatky je zásadní. UKD na křižovatkách s odbočovacím pruhem pozitivně ovlivňuje počet zaznamenaných kolizí.
- Při použití váhy podle výše ztrát z nehodovosti negativně ovlivňují hodnocení vyšší rychlosti na nadřazeném hlavním dopravním proudu (vyšší závažnost kolize) a při nižším stupni vytížení je průsečná křižovatka s odbočovacím pruhem nebezpečnější než bez odbočovacího pruhu.
- Hodnocení bezpečnosti od nejbezpečnějšího typu podle USZ je pro společnou hodnotu stupně vytížení $a_v = 0,9$: OK 50, MOK 27, Prus. K. OP, Prus. K. BOP, Styk K. OP a Styk. K. BOP

Podrobné výsledky pro jednotlivé intenzity jsou uvedeny v příloze.

4.4.2. CL – DST (Conflict Level – Deceleration-to-Safety Time) vyhodnocení

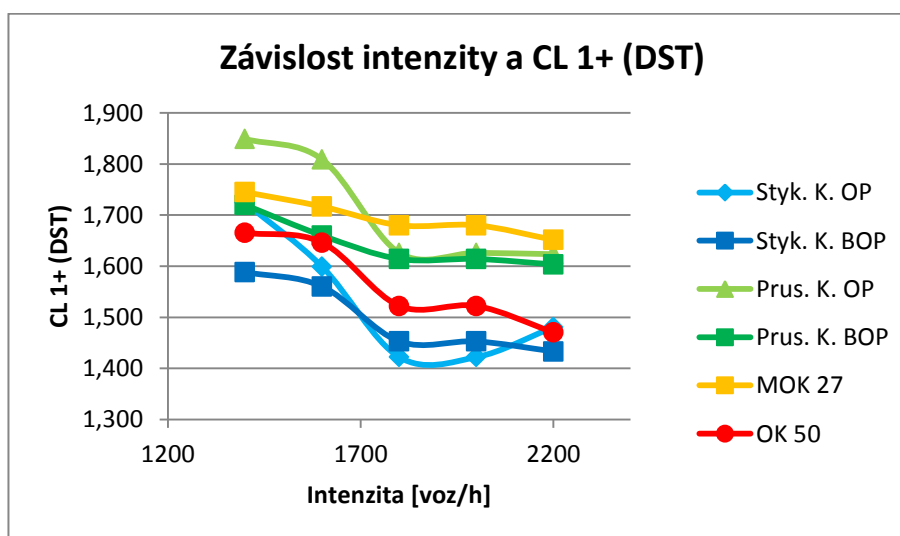
Hodnoceny jsou pouze konflikty, které dosáhly CL DST 1+. Závažné konflikty popisuje veličina CL DST 2+. Výsledky jsou uvedeny pro intenzity v rozmezí 1400 – 2200 voz/hod a představují průměrnou hodnotu závažnosti kolizí. Čím větší hodnota, tím vyšší závažnost konfliktu.

Tabulka 31 – Závislost intenzity na vyhodnocení CL1+ (DST)

Závislost intenzity a CL 1+ (DST)					
CL 1+ (DST)	1400	1600	1800	2000	2200
Styk. K. OP	1.724	1.599	1.422	1.422	1.481
Styk. K. BOP	1.588	1.560	1.453	1.453	1.433
Prus. K. OP	1.849	1.809	1.626	1.626	1.623
Prus. K. BOP	1.720	1.660	1.614	1.614	1.603
MOK 27	1.745	1.717	1.680	1.680	1.651
OK 50	1.665	1.646	1.522	1.522	1.470

Zdroj: autor

Obrázek 73 – Závislost intenzity na vyhodnocení CL1+ (DST)



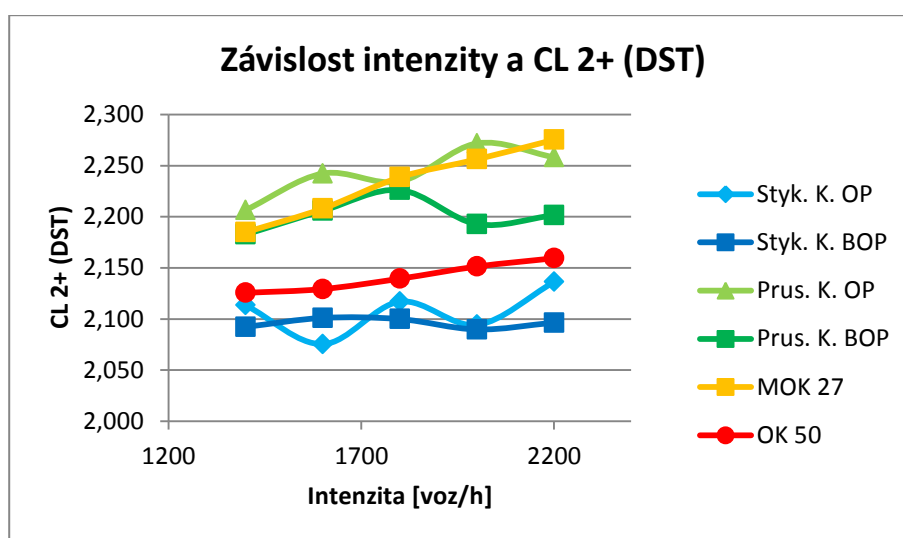
Zdroj: autor

Tabulka 32 – Závislost intenzity na vyhodnocení CL2+ (DST)

Závislost intenzity a CL 2+ (DST)					
CL 2+ (DST)	1400	1600	1800	2000	2200
Styk. K. OP	2.113	2.075	2.117	2.094	2.136
Styk. K. BOP	2.092	2.101	2.100	2.090	2.096
Prus. K. OP	2.207	2.242	2.234	2.272	2.258
Prus. K. BOP	2.183	2.206	2.226	2.193	2.202
MOK 27	2.185	2.208	2.239	2.256	2.275
OK 50	2.126	2.129	2.139	2.151	2.159

Zdroj: autor

Tabulka 33 – Závislost intenzity na vyhodnocení CL2+ (DST)



Zdroj: autor

Hlavními znaky tohoto ukazatele jsou počet a míra brzdění (závažnost kolize). Vyhodnocení CL – DST vykazuje lineární závislost na narůstající intenzitě. Pořadí hodnocení průměrné CL1+ a CL2+ odpovídá počtu paprsků křižovatky, velikosti kolizních ploch a tvorbě čekacích front. Není vhodná pro hodnocení celé křižovatky (nezohledňuje vliv závažnosti konfliktu).

Tato metoda je vhodná pro hodnocení jednotlivých dopravních pohybů nebo všech pohybů v křižovatkové ploše (jak naznačovaly výsledky hodnocení křižovatkové plochy s hranicemi 0 m).

Podrobné výsledky pro jednotlivé intenzity jsou uvedeny v příloze.

4.4.3. TCS Score (Total conflict severity score) vyhodnocení

Metoda TCS Score hodnotí konfliktní situace na základě bodového hodnocení MaxDeltaV a času do kolize TTC.

Rovnice 27

$$TCS\ Score = TTC\ Score + ROC\ Score$$

Pro vyhodnocení bylo použito členění TTC Score podle Sayeda s prahovou hodnotou $TTC = 1\ s$.

ROC Score bylo získáno na základě rozdělení četností a hodnotě 85% percentilu MaxDeltaV. V následující tabulce je uveden 85% percentil pro jednotlivé typy křižovatek a zvolené hranice ROC bodového hodnocení.

Tabulka 34 – 85% Percentil MaxDeltaV jednotlivých uspořádání v závislosti na intenzitě na vjezdech

85% percentil MaxDeltaV [km/h]					
Intenzita	1400	1600	1800	2000	2200
Styk. K. OP	26.09	25.42	22.50	20.59	22.47
Styk. K. BOP	24.52	23.08	17.86	14.63	11.88
Prus. K. OP	25.92	24.95	23.62	20.38	20.61
Prus. K. BOP	23.58	22.39	20.00	19.02	18.25
MOK 27	17.17	15.79	13.28	9.86	6.52
OK 50	17.32	16.24	14.00	7.81	5.51
Průměr	22.43	21.31	18.54	15.38	14.21
ROC 2	22	22	19	15	15
ROC 3	44	44	38	30	30

Zdroj: autor

Velké rozdíly mezi hodnotami u jednotlivých typů křižovatek a zvolenými hranicemi u bodového hodnocení zvýhodňují ve vzájemném porovnání okružní křižovatky. Křižovatky stykové a průsečné budou hodnoceny díky vyšším hodnotám MaxDeltaV (vyšší rychlosti na nadřazených proudech) vždy s větší závažností.

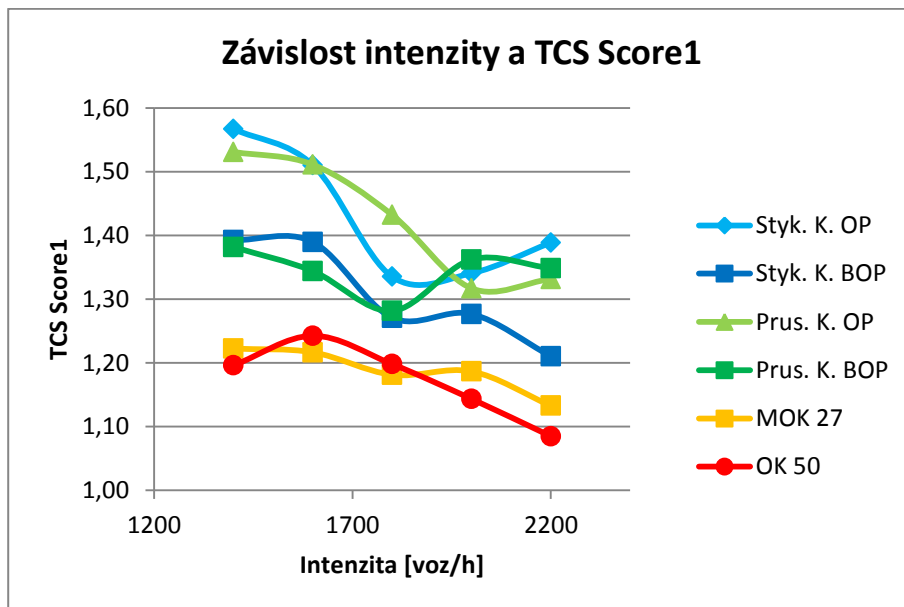
Tabulka 35 – Závislost intenzity na vyhodnocení TCS Score 1

Závislost intenzity a TCS Score1					
	1400	1600	1800	2000	2200
Styk. K. OP	1.57	1.51	1.34	1.34	1.39
Styk. K. BOP	1.39	1.39	1.27	1.28	1.21
Prus. K. OP	1.53	1.51	1.43	1.32	1.33
Prus. K. BOP	1.38	1.34	1.28	1.36	1.35
MOK 27	1.22	1.22	1.18	1.19	1.13
OK 50	1.20	1.24	1.20	1.14	1.08

Zdroj: autor

Celkové bodové hodnocení TCS Score uvažuje vliv času do kolize a následku nehod v podobě ukazatele MaxDeltaV. Vyhodnocení zobrazuje závažnost typu křižovatky v závislosti na intenzitě.

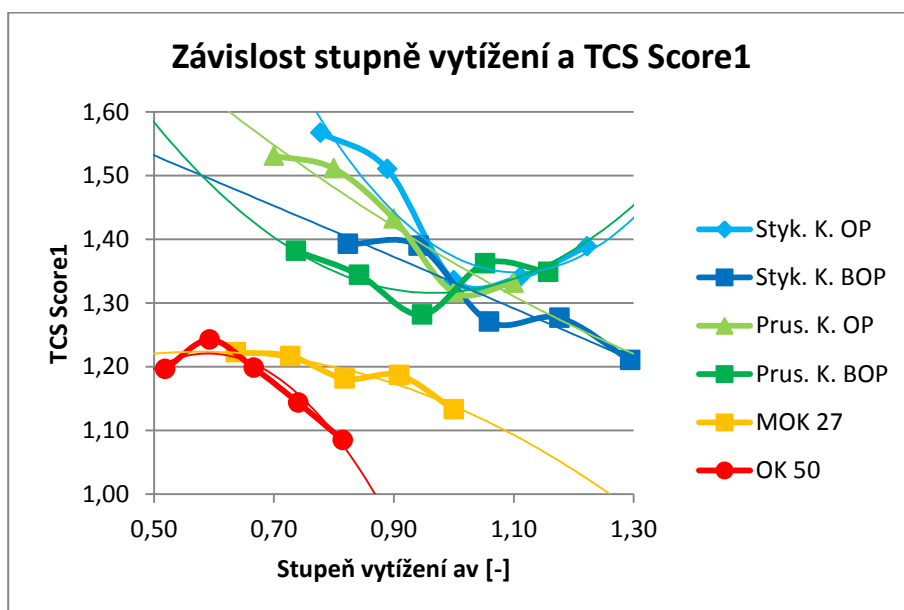
Obrázek 74 – Závislost intenzity na vyhodnocení TCS Score 1



Zdroj: autor

Pro posouzení bezpečnosti je dále zohledněna UKD, která udává konečné pořadí hodnocení. Výsledky jsou na následujícím grafu znázorněny v závislosti na stupni vytížení. Pro jednotlivé typy křižovatek jsou zobrazeny spojnice trendu (polynomické 2. stupně).

Obrázek 75 – Závislost stupně vytížení na vyhodnocení TCS Score 1



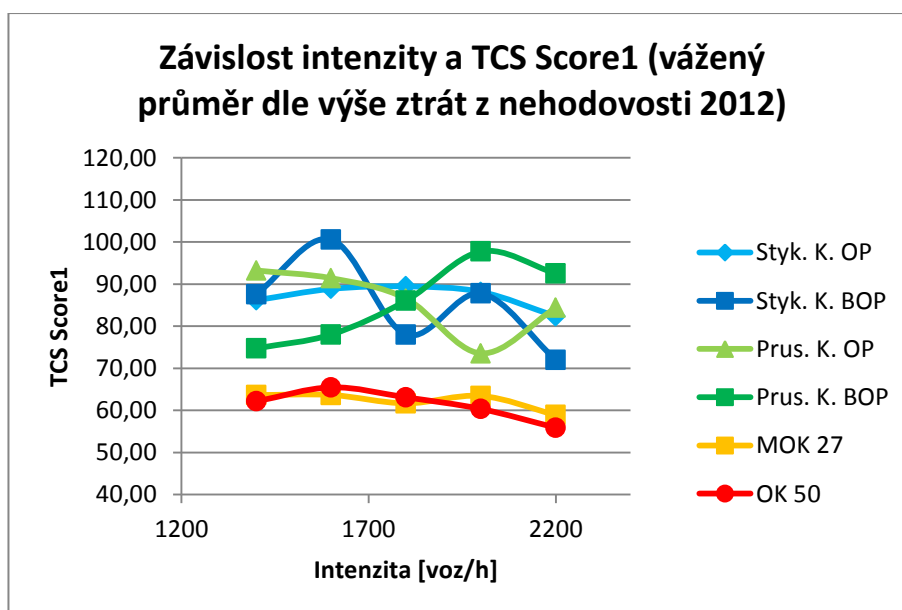
Zdroj: autor

Tabulka 36 – Závislost intenzity na vyhodnocení TCS Score1 (vážený průměr dle výše ztrát z nehodovosti 2012)

Závislost intenzity a TCS Score1 (vážený průměr dle výše ztrát z nehodovosti 2012)					
USZ 1+	1400	1600	1800	2000	2200
Styk. K. OP	86.17	88.86	89.46	88.15	82.35
Styk. K. BOP	87.62	100.58	78.01	87.78	72.00
Prus. K. OP	93.23	91.41	86.55	73.55	84.36
Prus. K. BOP	74.73	78.02	86.05	97.74	92.54
MOK 27	63.64	63.66	61.67	63.43	58.89
OK 50	62.15	65.46	63.09	60.34	55.89

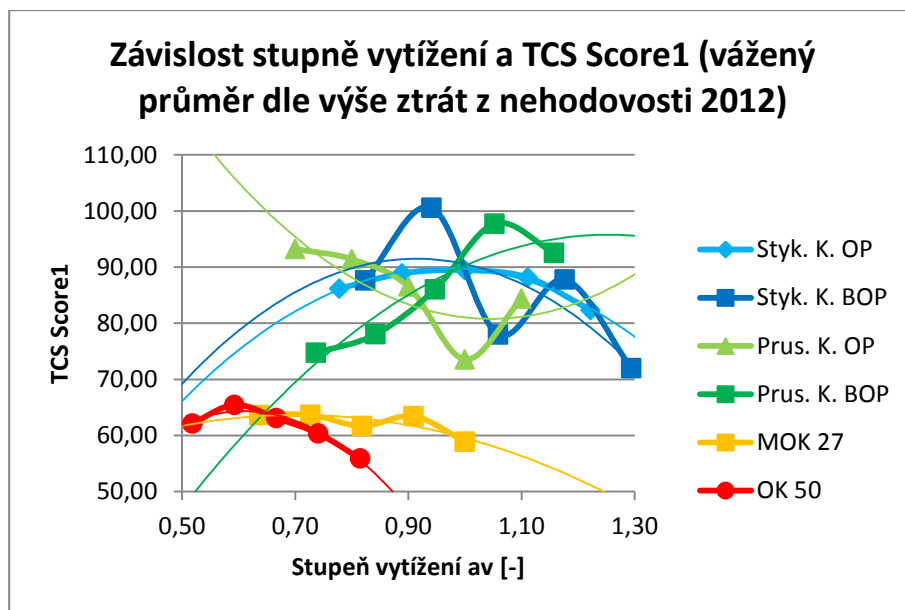
Zdroj: autor

Obrázek 76 – Závislost intenzity na vyhodnocení TCS Score 1 (vážený průměr dle výše ztrát z nehodovosti 2012)



Zdroj: autor

Obrázek 77 – Závislost stupně vytížení na vyhodnocení TCS Score 1 (vážený průměr dle výše ztrát z nehodovosti 2012)



Zdroj: autor

Z výsledků lze konstatovat následující závěry:

- Okružní křižovatky jsou hodnoceny při daných intenzitách jako nejbezpečnější a s narůstající intenzitou klesá závažnost konfliktů (roste bezpečnost).
- U křižovatek s odbočovacím pruhem se na celkovém hodnocení projevuje zastoupení vyšších hodnot MaxDeltaV (vyšší rychlosti na nadřazeném proudu).
- Na křižovatkách bez odbočovacího pruhu dochází k omezení rychlostí na hlavní komunikaci a tím snížení hodnot MaxDeltaV, které se projeví menší závažností konfliktů.
- Hodnocení bezpečnosti od nejbezpečnějšího typu podle TCS Score je pro společnou hodnotu stupně vytížení $a_v = 0,9$: OK 50, MOK 27, Prus. K. OP, Prus. K. BOP, Styk. K. OP a Styk. K. BOP

Podrobné výsledky pro jednotlivé intenzity jsou uvedeny v příloze.

4.4.4. ICI (Intersection conflict index) vyhodnocení

Křižovatky jsou hodnoceny na základě hodnocení závažnosti konfliktů (TTC) a závažnosti potenciálních kolizí (MaxDeltaV). Konečné zařazení křižovatky podle bezpečnosti je uváděno písmenným znakem A – F (velmi bezpečná s malým počtem závažných situací až vysoce nebezpečná s vysokým počtem závažných situací). Jsou použity obě výše zmíněné metody.

První metoda ICI 1 vyjadřuje vztah kvantitativního ukazatele AHC/TEV a ACS (pro hodnocení ACS bylo použito kritérium první hraniční hodnoty $TTC = 1$ s podle Sayeda). Druhá metoda ICI 4+ 1 vyjadřuje vztah ukazatele AHC4+/PEV a AHC/PEV (pro hodnocení AHC4+ použito kritérium $TTC = 1$ s podle Sayeda).

Tabulka 37 – Závislost intenzity na vyhodnocení ICI 1

Závislost intenzity a ICI 1					
	1400	1600	1800	2000	2200
Styk. K. OP	C	C	C	C	D
Styk. K. BOP	C	C	C	C	C
Prus. K. OP	D	D	D	C	C
Prus. K. BOP	C	C	C	D	C
MOK 27	C	C	C	C	C
OK 50	B	C	C	C	C

Zdroj: autor

Tabulka 38 – Závislost intenzity na vyhodnocení ICI4+ 1

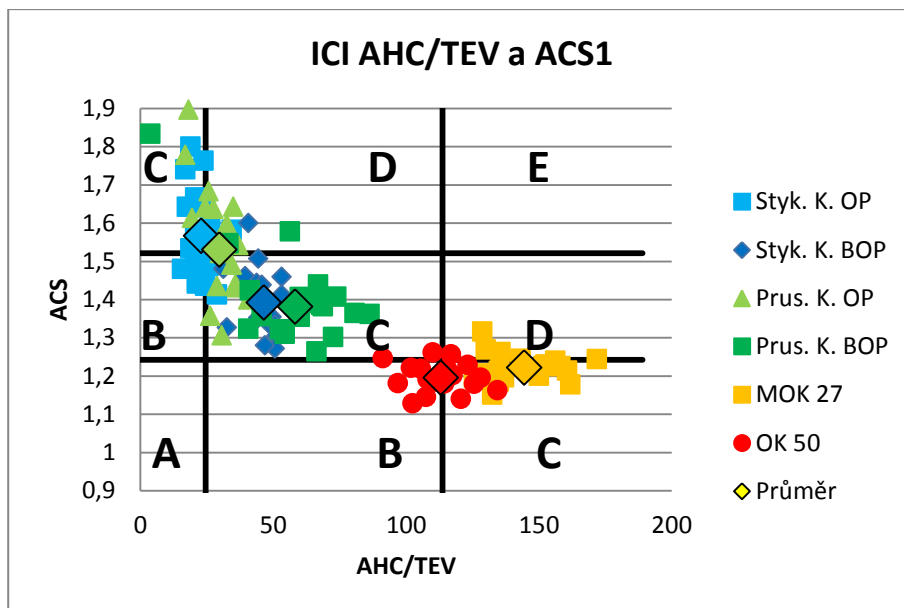
Závislost intenzity a ICI4+ 1					
	1400	1600	1800	2000	2200
Styk. K. OP	A	A	B	C	C
Styk. K. BOP	C	E	C	C	B
Prus. K. OP	C	C	C	C	C
Prus. K. BOP	E	C	C	C	C
MOK 27	E	E	F	F	F
OK 50	C	E	E	E	E

Zdroj: autor

Hraniční hodnoty mezi jednotlivými stupni včetně podrobných výsledků jsou uvedeny v příloze.

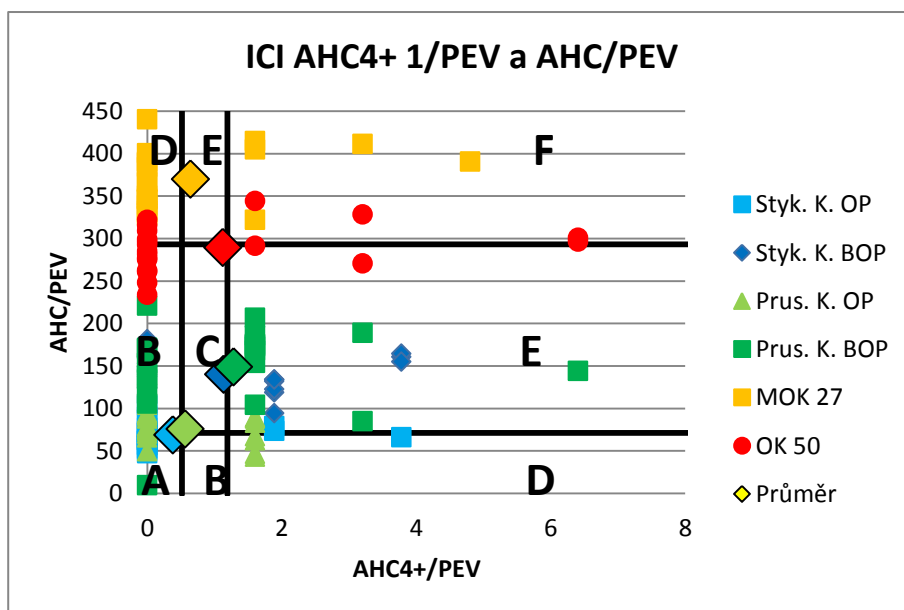
Jednotlivé body v grafu představují průměrnou hodnotu ACS pro jednotlivé hodinové simulace (určují rozptyl simulovaných sledování). Na základě těchto hodnot byly určeny hranice pro jednotlivé stupně závažnosti podle průměrné hodnoty a směrodatné odchylky.

Obrázek 78 – Ukázka vyhodnocení ICI 1 pro I = 1400 voz/h



Zdroj: autor

Obrázek 79 – Ukázka vyhodnocení ICI4+ 1 pro I = 1400 voz/h



Zdroj: autor

První metoda díky velmi rozdílným dispozičním parametrům (počty paprsků) a typům křižovatky (pravidla silničního provozu na OK) vykazuje ve výsledcích velký rozptyl a stanovené hranice jsou málo citlivé pro vyhodnocení v celém rozsahu stupnice A – E. Hodnocení ACS je ovlivněné i velikostí zkoumané oblasti, kde velký počet málo závažných konfliktů zkresluje průměrnou hodnotu ACS.

Druhá metoda zohledňuje pouze závažné konflikty, které mají v součtu TCS Score hodnocení 4 a více. Pomocí veličiny PEV je zohledněn poměr intenzit na hlavní a vedlejší komunikaci (osa X a osa Y). V případě okružních křižovatek je tento parametr díky přednosti na okružním páse pro všechny paprsky neobjektivní a vyhodnocení je v porovnání se stykovou nebo průsečnou křižovatkou zkreslené.

V případě první metody je hodnocení vyrovnané a pro nepříznivé hodnocení typů křižovatek s odbočovacím pruhem platí stejný komentář jako v předchozí metodě TCS Score.

Druhá metoda díky hodnocení pouze závažných konfliktů není zkreslena rozdílným počtem nezávažných konfliktů. Vliv veličiny PEV degraduje hodnocení OK s ostatními typy křižovatek.

Celkové hodnocení je uvažováno pro $I = 1400$ voz/h (provoz na stupni vytižení < 0.9). Pořadí je OK 50 (hodnoceno odhadem), MOK 27(hodnoceno odhadem), Styk. K. OP, Prus. K. OP, Styk. K. BOP a Prus. K. BOP.

Podrobné výsledky pro jednotlivé intenzity jsou uvedeny v příloze.

5. VYHODNOCENÍ MODELŮ VARIANTNÍCH NÁVRHŮ ÚPRAV ORGANIZACE DOPRAVY V PARDUBICÍCH NA SILNICI III/32224 TÝKAJÍCÍ SE OKRUŽNÍ KŘÍŽOVATKY U OBCHODNÍHO DOMU GLOBUS

Pro případovou studii a ověření interpretovatelnosti výsledků vybraných postupů byla vybrána okružní křižovatka, která nabízí dispoziční uspořádání mnoha variant. Tyto varianty bývají, při dostatečném prostoru v okolí křižovatky, součástí předkládaných studií v projektové dokumentaci. V současné době je hlavním kritériem pro přijetí daného návrhu kapacitní posouzení a dodržení platných technických předpisů reflektující bezpečný a plynulý provoz všech účastníků silničního provozu.

Z těchto důvodů byl za typ zvolen právě typ okružní křižovatky. Konkrétní umístění pro aplikaci modelu na reálné křižovatce byla použita OK III/32224 „U Globusu“ – Pardubice v několika variantních řešeních, která se v průběhu let aplikovala a funkčně využívala. Křižovatka je řešena jako celek včetně spojovací větve (by-pass).

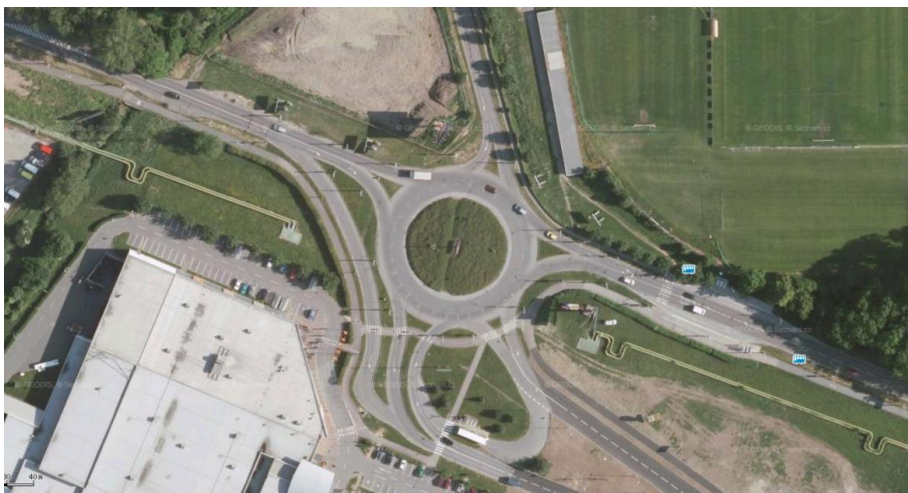
Byly vytvořeny tři základní modelové situace OK:

1. OK s 1 pruhem na okruhu – simuluje stav nefunkčního vodorovného dopravního značení, kdy řidiči využívají na jízdním páse na okruhu pouze jeden jízdni pruh a nerespektují pravidla silničního provozu jízdy v pruzích.
2. OK s 2 pruhy na okruhu – simuluje stav obnovovaného vodorovného značení, kdy řidiči využívají oba jízdni pruhy a řídí se pravidly silničního provozu jízdy v pruzích.
3. OK s atypickým spirálovým uspořádáním jízdni pruhů na okruhu – toto uspořádání je považováno za nové a nevšední v provozu od léta 2013. Některá vodorovná značení se stala během provozu nečitelná, nefunkční a nerespektovaná. Jedná se o podélnou čáru souvislou zakazující v daném úseku přejíždění z jednoho pruhu do druhého. Tento stav je dále popsán v modelování OK.

5.1. Popis posuzované lokality a přehled nehodovosti

Daná lokalita je umístěna v Pardubickém kraji ve městě Pardubice na komunikaci III/32224. Jedná se o nesymetrickou 5 – ti paprskovou okružní křižovatku se smíšeným provozem s převážným vyloučením cyklistické dopravy z důvodu přilehlé stezky pro pěší a cyklisty.

Obrázek 80 – Ortofotomapa uspořádání OK „U Globusu“



Zdroj: [61]

Přehled nehodovosti byl získán ze standardních veřejně přístupných serverů vzniklých ve spolupráci s CDV a Policií ČR.

Prvním zdrojem je „Jednotná dopravní vektorová mapa“ se statistickým vyhodnocením nehodovosti v silničním provozu v zadané oblasti [62]. Druhým zdrojem je mapa „Nehodové lokality“ vzniklá v roce 2008 ve spolupráci CDV a MD. [63]

Pro oba servery platí následující omezení. Od 1. ledna 2009 nabyla účinnosti novela zákona o silničním provozu provedená zákonem č. 274/2008 Sb. V otázkách ohlašovací povinnosti dopravních nehod se některé věci změnily:

- Je zvýšen limit pro oznamovací povinnost – od ledna 2009 činí rovných 100 000 Kč.
- Přítomnost policie se nevyžaduje v případě, kdy půjde o škodu na vozidle, které je sice v majetku třetí osoby (např. leasingové společnosti, zaměstnavatele, ale třeba i někoho z rodiny), ale jeho řidič měl na nehodě účast.

V důsledku této změny od poč. roku 2009 razantně ubylo dopravních nehod, které byly hlášeny Policii ČR. Tedy i do těchto aplikací se dostává daleko méně záznamů o dopravních nehodách. Není-li zavolána PČR, záznam se zde neobjeví.

Obrázek 81 – Ukázka grafického výstupu z „Jednotné dopravní vektorové mapy Policie ČR



Zdroj: [62]

Na posuzované lokalitě bylo v období od 01/2007 do 06/2014 zjištěno celkem 67 nehod. Podrobné vyčíslení podle závažnosti nehod je uveden v následující tabulce:

Tabulka 39 – Přehled nehod v posuzované lokalitě v období od 01/2007 do 06/2014

Všeobecný přehled o nehodách v zadané lokalitě	
Počet nehod celkem	67
Počet nehod s následky na zdraví	14
Počet usmrcených osob (do 24 hodin od nehody)	0
Počet těžce zraněných osob	0
Počet lehce zraněných osob	18
Počet nehod pod vlivem alkoholu	3

Zdroj: [62]

Z podrobného výpisu jsou v souladu s definicí konfliktních situací vyjmuty nehody s pevnou překážkou. Dále jsou pro účely porovnání s mikrosimulací vyloučeny nehody jiné než střet vozidel (chodci, cyklisti apod.).

Po odečtu těchto nehod se dostáváme na číslo 52. Tato hodnota je v tomto případě příliš malá pro další statistické analýzy a validace modelu k predikčnímu použití. Následující tabulka uvádí přehled nehod (hodnoty v závorce upraveny podle výše zmíněných parametrů):

Tabulka 40 – Přehled nehod v posuzované lokalitě v jednotlivých obdobích

Všeobecný přehled o nehodách v zadané lokalitě	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Počet nehod celkem	21 (15)	15 (15)	4 (2)	5 (4)	9 (8)	8 (5)	3 (1)
Počet nehod s následky na zdraví	5	0	0	0	3	5	1
Počet usmrcených osob (do 24 hodin od nehody)	0	0	0	0	0	0	0
Počet těžce zraněných osob	0	0	0	0	0	0	0
Počet lehce zraněných osob	7	0	0	0	3	7	1
Počet nehod pod vlivem alkoholu	1	0	0	0	1	0	1

Zdroj: [62]

5.2. Datové podklady pro vytvoření modelu

Datové podklady pro tvorbu simulačních modelů je možné rozdělit do tří skupin:

- mapy a situace,
- dopravní průzkum,
- experimentální měření charakteristiky dopravního proudu pro kalibraci modelu.

5.2.1. Mapové podklady a situace vodorovného značení

Situace stávajícího řešení OK se zakótovanými rozměry dispozičního řešení byla poskytnuta přímo projektantem Ing. Petrem Novotným, Ph.D. v pdf formátu [64] a doplňkové mapové podklady použity z internetu. [61]

5.2.2. Provádění sběru dat dopravním průzkumem

Směrový dopravní průzkum byl uskutečněn dne 19. 5. 2010 v odpolední dopravní špičce v rozmezí 15:00 – 17:00 hod se zohledněním doporučení podle TP 189 – Stanovení intenzit dopravy na pozemních komunikacích. Výsledky z tohoto dopravního průzkumu byly zpracovány a následně porovnány s dopravními průzkumy a modely prováděnými na území města Pardubice. [65]

V tomto ohledu bych zmínil celostátní sčítání dopravy z roku 2010, dopravní průzkum prováděný pro Magistrát města Pardubice firmou Edip, s.r.o. se spoluúčastí DFJP a dopravní

model prováděný firmou DHV v rámci tvorby územního plánu města Pardubice. Na základě směrového dopravního průzkumu a kontroly s výše uvedenými zdroji byly stanoveny zdrojové hodnoty pro simulační model.

Tabulka 41 – Intenzity vozidel ze směrového dopravního průzkumu

Paprsek	Směr	Intenzita [voz/h]
1	5	48
	4	417
	3	16
	2	53
2	1	168
	5	14
	4	312
	3	0
3	2	2
	1	54
	5	3
	4	49
4	3	17
	2	218
	1	567
	5	70
5	4	40
	3	4
	2	19
	1	56
Spojovací větev	2	250
Celkem	–	2377

Zdroj: autor

Výše uvedené hodnoty jsou uvedeny ve skutečných vozidlech za hodinu z důvodu přímého použití takto upravených dat do simulačního softwaru. Jednotlivé zastoupení podílu osobních vozidel a těžkých nákladních vozidel je vyjadřováno na vstupu do paprsku procentuálním podílem.

Během dopravního průzkumu se vyskytlo několik porušení zákazu vjezdu nákladních automobilů do paprsku č. 5 – směr Ohrazenice. Toto bylo dále zohledněno při vkládání vstupů do simulačního modelu.

Obrázek 82 – Schéma značení paprsků OK „U Globusu“



Zdroj: [61]

5.2.3. Experimentální měření charakteristiky dopravního proudu

Jízdní charakteristiky dopravního proudu byly zohledněny v modelu pomocí rychlostí jízdy skupin vozidel na okružním páse a vyznačení ploch s redukovanou rychlostí.

Tyto rychlosti byly získány pomocí terénního měření plovoucím vozidlem s použitím záznamového zařízení tzv. pátého kola. Výsledky jsou přiloženy ve formě grafů v příloze. Další kontrolní měření proběhlo pomocí ručního multifunkčního měřiče rychlosti Bushnell Speedster II na příslušných úsecích mezi výjezdy a vjezdy na OK.

Z výsledků měření byly stanoveny charakteristiky skupiny vozidel na okružním páse v rozmezích:

- pro osobní automobily – 30 – 35 km/h,
- pro těžké nákladní automobily – 20 – 25 km/h.

Na základě těchto hodnot proběhla kalibrace simulačního modelu stávajícího dispozičního řešení OK s atypickým spirálovitým uspořádáním jízdních pruhů na okruhu. [28]

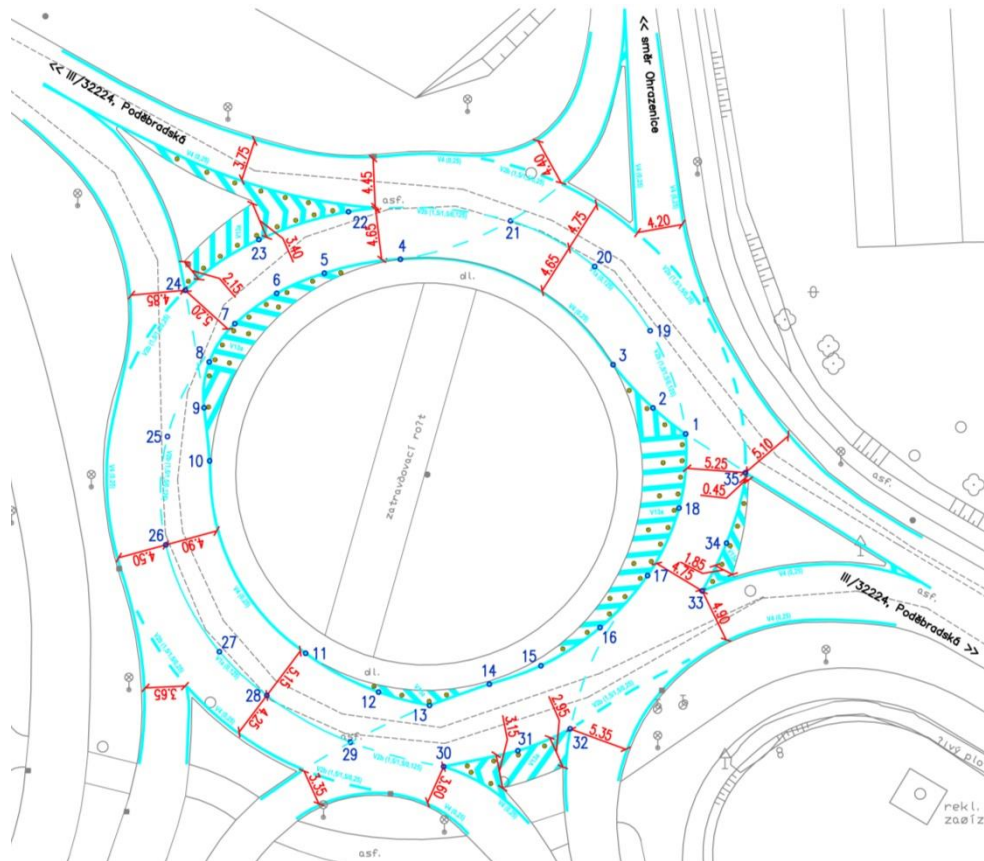
5.3. Modelování posuzovaných dispozičních řešení OK

V simulačním softwaru PTV Vissim byla vymodelována tato dispoziční řešení:

1. OK s 1 pruhem na okruhu – uvažován jako výchozí stav vzhledem k nerespektování vyznačených jízdních pruhů.

2. OK s 2 pruhy na okruhu – tento stav je uvažován jako první varianta návrhu s respektováním pravidel silničního provozu.
3. OK s atypickým spirálovým uspořádáním jízdních pruhů na okruhu – tento stav je simulován podle pozorovaného respektování / nerespektování vyznačených jízdních pruhů. V tomto případě je zahrnuto nerespektování podélné čáry souvislé (V1a) na jízdním pásu na okruhu.

Obrázek 83 – Situace vodorovného dopravního značení OK „U Globusu“



Zdroj: [64]

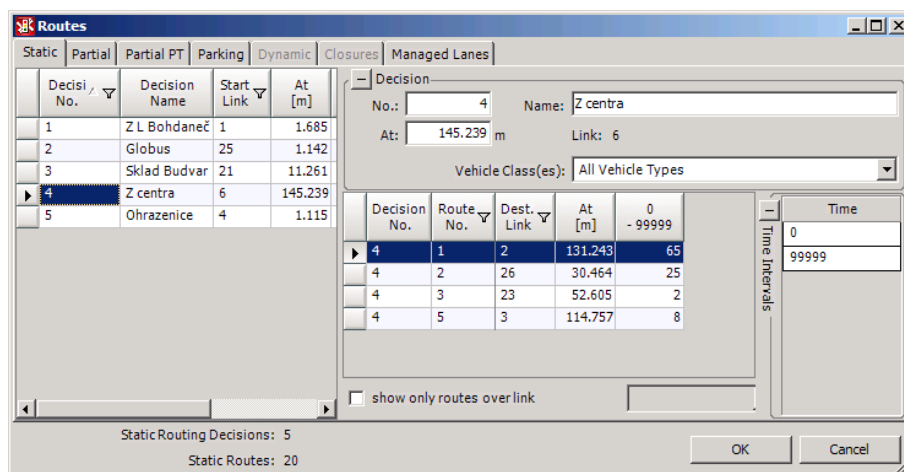
Dispoziční návrh modelových návrhů OK „U Globusu“

Vytvoření jednotlivých modelů spočívalo ve vypracování dispozičního řešení pomocí tzv. linků a konektorů z mapových podkladů a přiřazení vhodných parametrů dopravních submodelů. V modelu je zahrnuta také stávající spojovací větev pro hodnocení křižovatky jako celku.

Hodnoty intenzit, skladby a směrové rozdělení dopravního proudu na OK „U Globusu“

Hodnoty dopravního proudu byly přiděleny podle hodnot z dopravního průzkumu a vytyčeny cesty procentuálního podílu dopravního proudu za každého vjezdu.

Obrázek 84 – Nastavení cest dopravního proudu OK „U Globusu“



Zdroj: autor

Omezení rychlosti průjezdu OK „U Globusu“

Omezení rychlostí spočívalo v nastavení úseků na okružním páse pomocí tzv. „reduced speed areas“ na požadované rychlosti určené z dat terénního měření plovoucím vozidlem a ručním měřičem rychlosti. Omezení pro vozidla byla stanovena takto:

- osobní vozidla $v = 30 - 35$ km/h,
- těžká nákladní vozidla $v = 20 - 25$ km/h.

Přednost v jízdě nadřazených dopravních proudů OK „U Globusu“

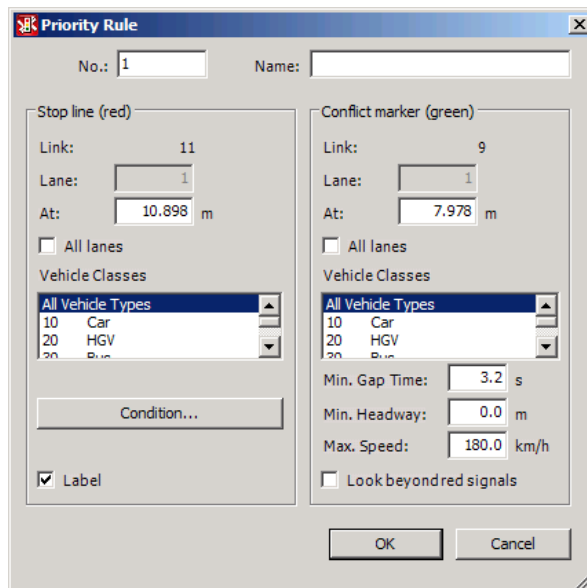
Nastavení proběhlo pomocí konfliktních ploch a dále nastavením pravidel přednosti tzv. „priority rules“ časovou a délkovou mezerou. Hodnota délkové mezery byla určena z délky kolizní plochy pro požadovanou skupinu vozidel a časová mezera určena na základě výzkumu v českých podmínkách podle Mertvy a manuálu PTV Vissim takto (hodnota v závorce vnější pruh): [59]

Tabulka 42 – Časové mezery na vjezdech v jednotlivých uspořádáních OK

OK s 1 pruhem:	OA $t = 3,3$ s	TNV $t = 3,6$ s
OK s 2 pruhy:	OA $t = 3,2$ (1,8) s	TNV $t = 3,6$ s
OK spirála:	OA $t = 3,1$ (1,8) s	TNV $t = 3,6$ s

Zdroj: [59], [60]

Obrázek 85 – Nastavení priority rules OK „U Globusu“



Zdroj: autor

Pro ostatní uspořádání je možné použít i jako zdroj hodnoty z amerického výzkumu, které se ovšem mohou výrazněji lišit od českých podmínek. [66]

Obrázek 86 – Simulace OK „U Globusu“ 1 pruh na okruhu



Zdroj: autor

Obrázek 87 – Simulace OK „U Globusu“ 2 pruhy na okruhu



Zdroj: autor

Obrázek 88 – Simulace OK „U Globusu“ atypické spirálové uspořádání jízdnic pruhů na okruhu



Zdroj: autor

Simulace OK „U Globusu“

Bylo provedeno 25 simulací po dobu 2 hodin s rozlišením 10 simulačních kroků / sekundu při hodnotách špičkové intenzity. Náhodný generátor přiřazování vozidel na síť (random seed) byl nastaven $s_r = 101 - 125$. Vzhledem k použití reálné předlohy křižovatky byla první hodina použita pro nasycení sítě a ustálení dopravního proudu. Druhá simulační hodina byla vybrána k hodnocení pomocí SSAM.

5.4. Vyhodnocení trajektorií OK „U Globusu“ pomocí SSAM

Vyhodnocení proběhlo automatickým výpočtem trajektorií vozidel získaných z 25 simulací na 3 typech dispozičního řešení (celkem 75 dvouhodinových záznamů trajektorií vozidel).

5.4.1. Nastavení okrajových podmínek SSAM pro OK „U Globusu“

Nastavení okrajových podmínek vyhodnocení trajektorií v SSAM:

- TTC – čas do kolize – (Time to collision),
- PET – čas po kolizi (Post-encroachment time),
- nastavení konfliktního úhlu pro určení druhu konfliktu.

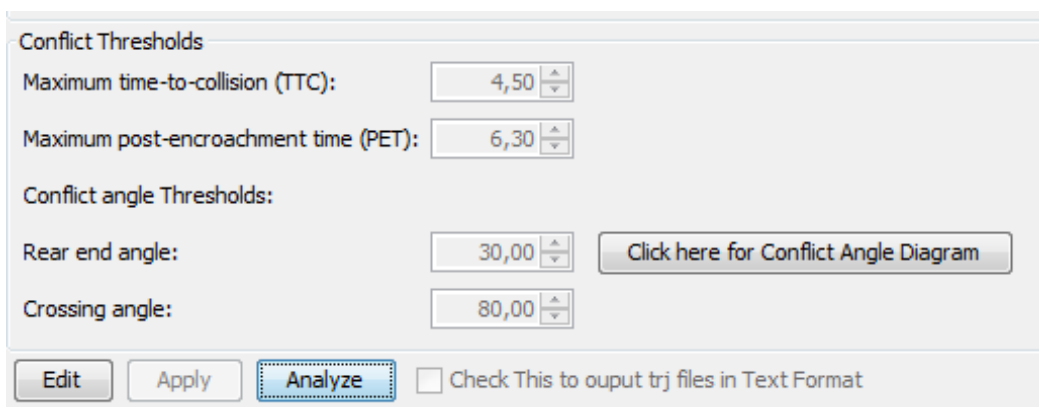
Čas do kolize TTC prahové hodnoty

Vzhledem k umístění křižovatky v blízkosti silnice I. třídy s daleko vyššími rychlostmi a na základě pozorování skutečných rychlostí byla zvolena prahová hodnota pro výpočet kolizních situací na OK „U Globusu“ $TTC = 4,5$ s.

Čas po kolizi PET prahové hodnoty

Hodnota kritické mezery se podle TP 234 pohybuje v rozmezích 3,7 – 4,5 s. Zvolil jsem hodnotu $PET = 6,3$ s (stejná hodnota jako výše zvolená pro všechna dispoziční uspořádání), která s dostatečnou rezervou zahrne všechny konflikty.[67]

Obrázek 89 – Nastavení prahových hodnot pro vyhodnocení trajektorií v SSAM



Conflict Thresholds

Maximum time-to-collision (TTC): 4,50

Maximum post-encroachment time (PET): 6,30

Conflict angle Thresholds:

Rear end angle: 30,00 [Click here for Conflict Angle Diagram](#)

Crossing angle: 80,00

Edit Apply Analyze Check This to output trj files in Text Format

Zdroj: autor

Kolizní úhly prahové hodnoty

Bylo použito základní nastavení kolizních úhlů SSAM následovně:

- předo – zadní konflikt (**rear-end**) $<30^\circ$
- změna jízdního pruhu (**lane-change**) $30^\circ - 80^\circ$
- křížení drah (**path-crossing**) $>80^\circ$

5.4.2. Výsledky SSAM pro OK“U Globusu“

Vyhodnocené výsledky umožňuje SSAM filtrovat podle hraničních hodnot bezpečnostních ukazatelů, typů konfliktů, linků, *.trj souboru a podle souřadnic z mapového podkladu. Neumožňuje ovšem filtraci pomocí parametru tMinTTC představující simulační čas. Jelikož výsledky v první simulační hodině (0 – 3600 s) sloužily jako naplnění a ustálení vozidel na síti, bylo nutné tyto hodnoty odfiltrovat v softwaru MO Excel.

Výsledky počtu průměrných hodinových konfliktů (AHC) určených ze tří rozdílných modelů jsou shrnuty v následující tabulce:

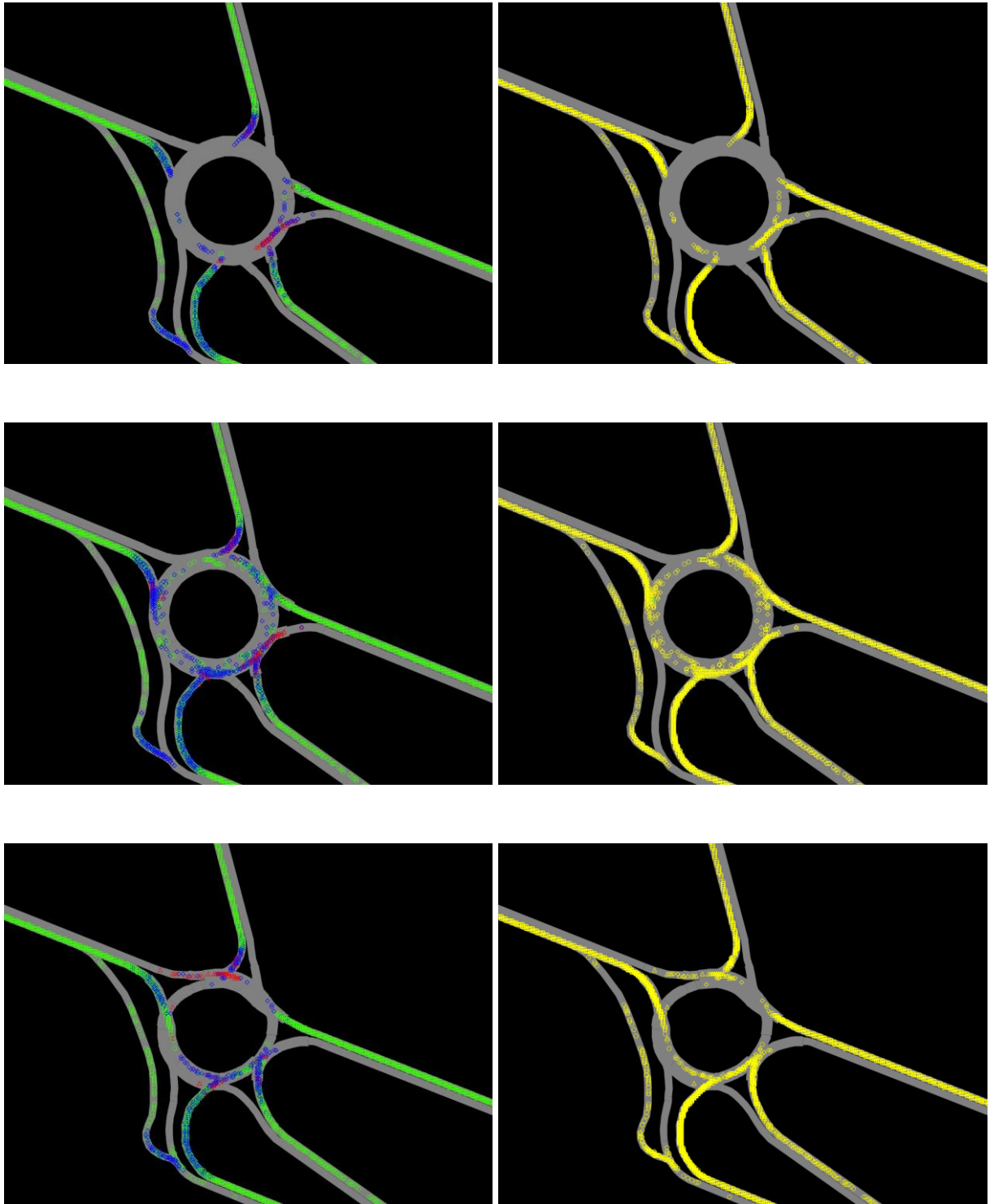
Tabulka 43 – Výsledky počtu a druhů konfliktů ve 2. hodině OK „U Globusu“

	OK 1p	AHC	OK 2p	AHC	OK s	AHC
Celkový počet konfliktů	63856.0	2554.2	32567.0	1302.7	48464.0	1938.6
zadní náraz	58182.0	2327.3	25018.0	1000.7	43029.0	1721.2
změna j.p.	5598.0	223.9	7341.0	293.6	5183.0	207.3
křížení	76.0	3.0	208.0	8.3	252.0	10.1
zadní náraz	91.11%		76.82%		88.79%	
změna j.p.	8.77%		22.54%		10.69%	
křížení	0.12%		0.64%		0.52%	

Zdroj: autor

Nejvyšší počet hodinových konfliktů na jednotlivých návrzích při dané špičkové intenzitě byl zaznamenán u OK s 1 pruhem, dále u OK spirálové a nejméně u OK s 2 jízdními pruhy na okruhu. Jak je vidět na následujících vyobrazeních, tak nejvyšší počet konfliktů se odehrává mimo okružní pás. Z toho plyne závěr, že návrh OK s nižší UKD (1 pruhem na okruhu) má více konfliktů. Z toho ovšem neplyne určení bezpečnosti celé křižovatky bez zohlednění závažnosti jednotlivých konfliktů (hodnoty TTC a PET jsou nataveny velkoryse). Vliv kritických hodnot TTC zahrnují metody určení závažnosti konfliktů, které jsou hodnoceny dále.

Obrázek 90 Grafické vyhodnocení konfliktů dle druhu v SSAM OK „U globusu“



Zdroj: autor

5.4.3. Rozbor základních ukazatelů TTC a PET

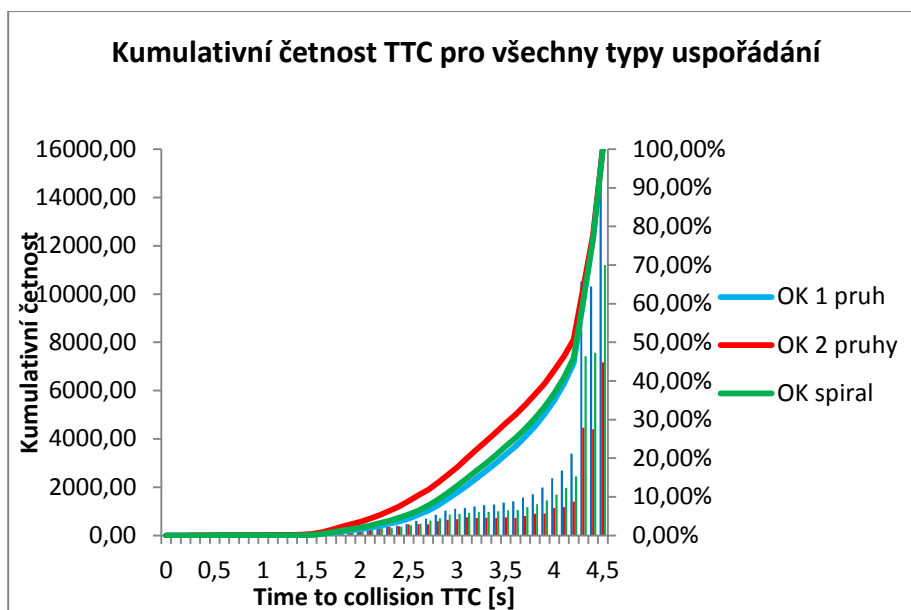
Předpokladem pro porovnání konfliktnosti křižovatek je nalezení prahových hodnot dělící závažnost jednotlivých konfliktů. Princip vychází z bezpečnostního kontinua a rozložení

pravděpodobnosti nehody a závažných konfliktů. Prahové hodnoty ukazatelů TTC a PET jsou určeny z četnosti konfliktů s těmito ukazateli.

Prahové hodnoty TTC

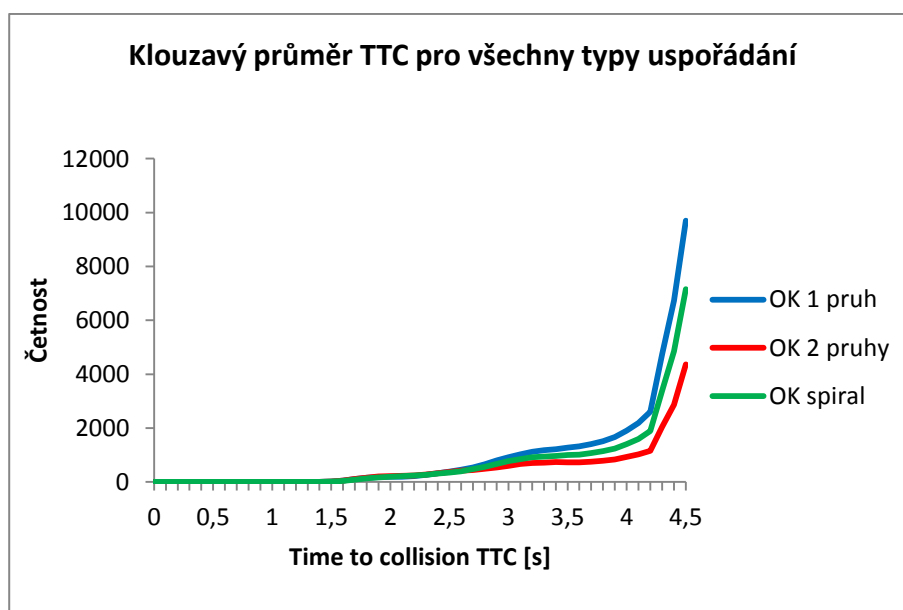
Následující grafy znázorňují četnosti TTC pro jednotlivá uspořádání OK.

Obrázek 91 – Kumulativní četnost TTC pro všechna uspořádání



Zdroj: autor

Obrázek 92 – Klouzavý průměr TTC pro všechna uspořádání



Zdroj: autor

Tabulka 44 – Porovnání počtu konfliktů za hodinu, střední hodnoty a medián TTC

TTC	OK 1p	OK 2p	OK s
Počet konfliktů/hod	2554	1303	1939
Střední hodnota [s]	3.94	3.78	3.90
Medián [s]	4.20	4.10	4.20

Zdroj: autor

Znázornění na předcházejících grafech četností TTC nám ukazuje, že rozložení všech konfliktů je velmi podobné pro všechna tři uspořádání. Varianta OK se 2 pruhy má celkově méně konfliktů, ale nejmenší střední hodnotu TTC. Toto poukazuje na zvýšenou závažnost konfliktů na daném dispozičním řešení – nebezpečnost.

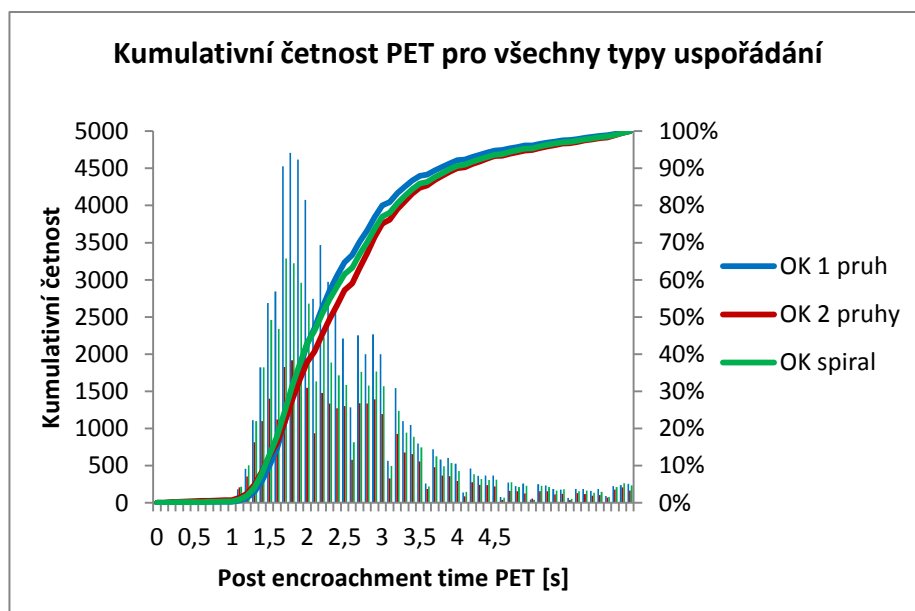
Na základě kumulativní četnosti můžeme přibližně určit inflexní body určující prahové hodnoty TTC = 1,5 a 2,4 s oddělující jednotlivé stupně závažnosti.

Zastoupení závažných konfliktů (TTC < 1,5 s) je následující: OK 2 pruhy (116 – 0,36 %), OK 1 pruh (104 – 0,16 %) a OK spirál (80 – 0,17 %).

Prahové hodnoty PET

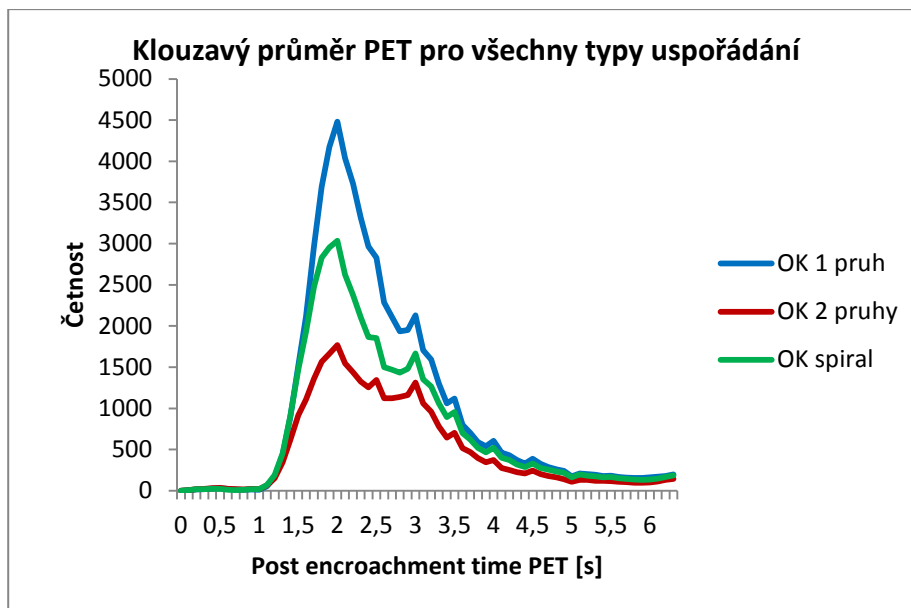
Následující grafy znázorňují četnosti PET pro jednotlivá uspořádání OK.

Obrázek 93 – Histogram PET pro všechna uspořádání



Zdroj: autor

Obrázek 94 – Klouzavý průměr PET pro všechna uspořádání



Zdroj: autor

Tabulka 45 – Porovnání počtu konfliktů a střední hodnoty PET

PET	OK 1p	OK 2p	OK s
Počet konfliktů/hod	2554	1303	1939
Střední hodnota [s]	2.47	2.58	2.51
Medián [s]	2.20	2.40	2.20

Zdroj: autor

Znázornění na předcházejících grafech četností PET nám ukazuje, že rozložení všech konfliktů a střední hodnoty PET jsou velmi podobné pro všechna tři uspořádání a není snadné z tohoto samostatného indikátoru určit, který z návrhů je nejbezpečnější.

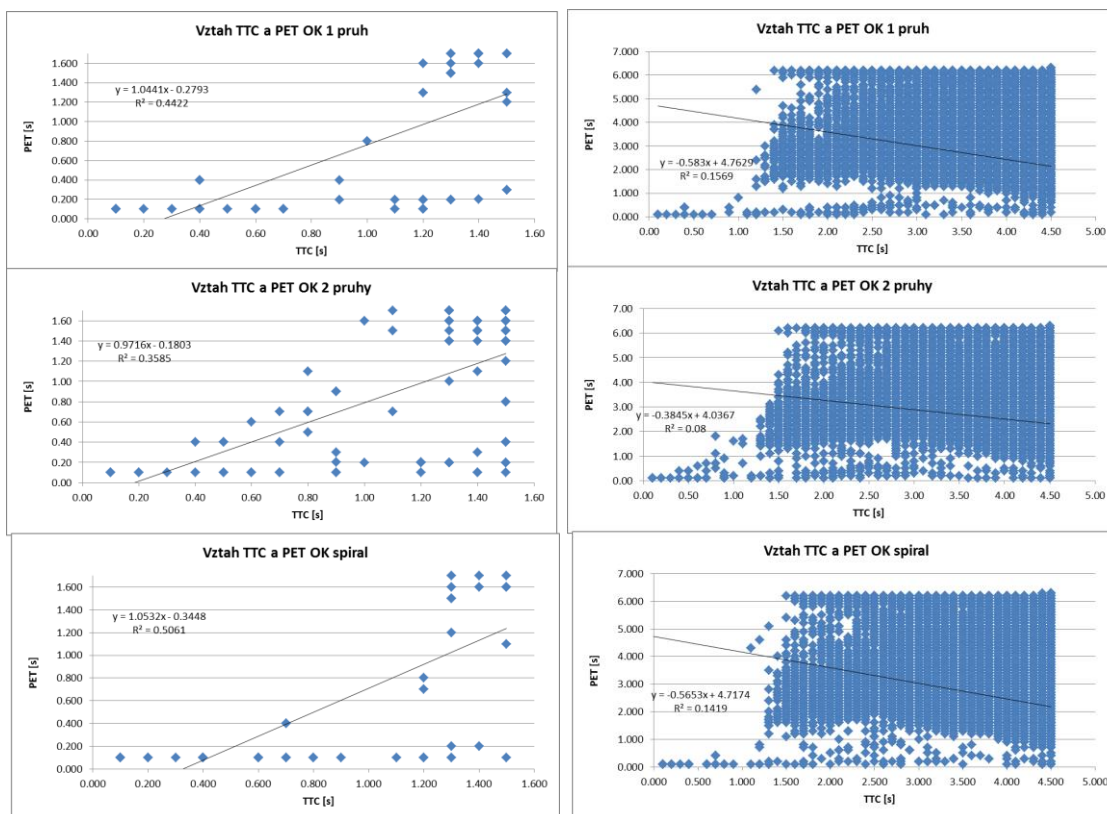
Na základě kumulativní četnosti můžeme přibližně určit inflexní body a prahové hodnoty PET = 1,7 s a 2,8 s oddělující jednotlivé stupně závažnosti.

Zastoupení hraničních konfliktů (PET < 1,7 s) je následující: OK 1 pruh (13824 – 21,65 %), OK spirál (11921 – 24,60 %) a OK 2 pruhy (7064 – 21,69 %).

5.4.4. Závislost mezi TTC a PET ukazateli

Hraniční hodnoty pro TTC a PET byly použity pro vyfiltrování konfliktních situací a vyjádřeny pomocí grafů závislosti s vyjádřením lineární regrese.

Obrázek 95 – Závislost TTC a PET na OK „UGlobusu“ s / bez použití filtru (1,5 s a 1,7 s)



Zdroj: autor

Vztahy mezi TTC a PET s použitím prahových hodnot (vyšší závažnosti) vykazují poměrně vysokou hodnotu $R^2 = 0,3585 - 0,5061$. Ovšem bez použití filtru prahových hodnot TTC a PET všech konfliktů vykazuje závislost nízkou hodnotu $R^2 = 0,0800 - 0,1569$, neboť SSAM vyhodnotí obě kritéria, aby byl identifikován konflikt.

Konflikty s nízkou hodnotou PET znázorňují situace zařazování vozidel do nadřazeného proudu SSAM algoritmem pro konfliktní linie (jízda v koloně, změna jízdního pruhu).

5.5. Vyhodnocení bezpečnosti OK „U Globusu“ a závažnosti konfliktů

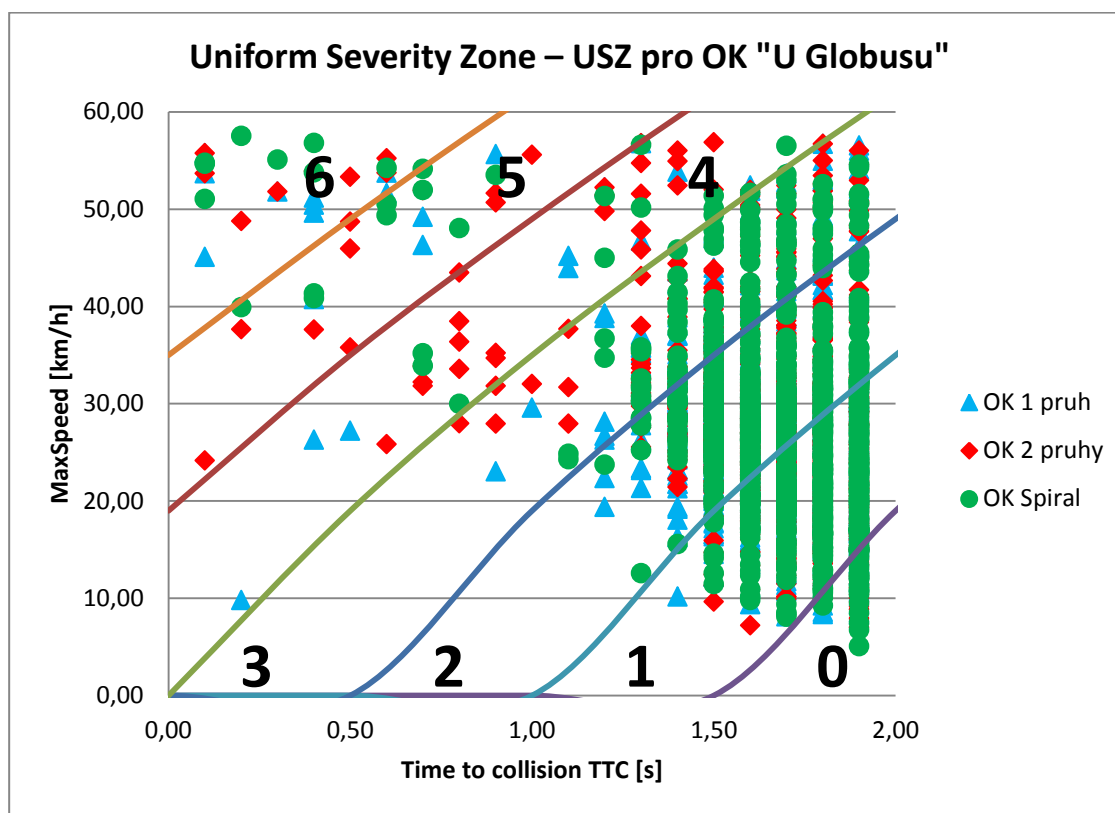
Vyhodnocení bezpečnosti podle zkoumaných metod bylo v případové studii na OK řešeno pro celou oblast křižovatky. Důvodem je atypické uspořádání nesymetrických paprsků a přítomnost spojovací větve (bypassu) v dispozičním řešení.

5.5.1. USZ vyhodnocení OK "U Globusu"

Závažnost konfliktních situací podle Hydéna znázorňuje následující graf. Rozhodující konfliktní rychlost vyjadřuje ukazatel MaxSpeed tj. maximální rychlost vozidla

při zaznamenaném konfliktu. Zařazení konfliktu do zóny závažnosti závisí na obou ukazatelích zároveň.

Obrázek 96 – USZ – závislost MaxSpeed a TTC na OK „U Globusu“ podle typu uspořádání



Zdroj: autor

V následující tabulce je souhrn vyhodnocených konfliktů. Z celkového počtu zaznamenaných konfliktů je vyjádřen počet (USZ) a procento (%USZ) konfliktů s ohodnocením USZ alespoň v rozsahu 1 – 6 (1+). Čím větší hodnota USZ, tím větší závažnost potenciálního konfliktu (nebezpečnost).

Tabulka 46 – Četnosti konfliktů a jejich zařazení v USZ pro OK „U Globusu“

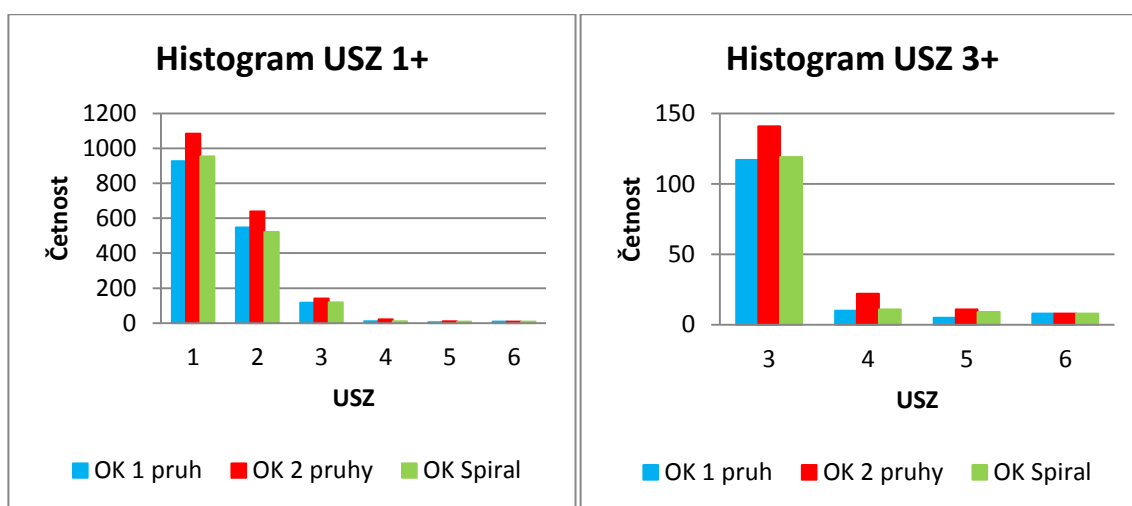
Uniform Severity Zone – USZ								počet	% USZ	USZ 1+	USZ 3+
Typ OK	0	1	2	3	4	5	6				
OK 1 pruh	62242	926	548	117	10	5	8	1614	2.53%	1.540	3.314
OK 2 pruhy	30661	1085	639	141	22	11	8	1906	5.85%	1.562	3.374
OK Spiral	46841	954	522	119	11	9	8	1623	3.35%	1.535	3.361

Zdroj: autor

Celkově je hodnoceno kolem 4 % konfliktů z SSAM. Počet závažných konfliktů podle USZ poukazuje na bezpečnost daného návrhu. Z toho lze vyvodit závěr o pořadí bezpečnosti OK 2 pruhu, OK 1 pruh a OK spirála jako nejbezpečnější.

Při vyhodnocení USZ pro závažné konflikty (3+) se pořadí mění na OK 2 pruhu, OK spirálová a OK 1 pruh jako nejbezpečnější.

Obrázek 97 – Histogram konfliktů s USZ 1+ a 3+



Zdroj: autor

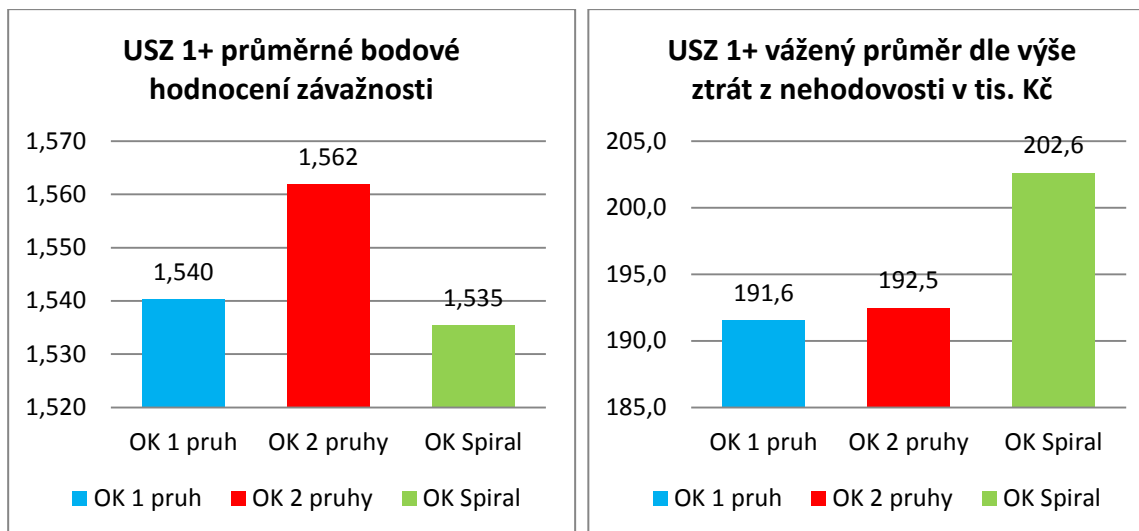
Vyhodnocení USZ váženým průměrem podle výše ztrát z nehodovosti na pozemních komunikacích je uveden níže. Výsledky jsou uvedeny v tis. Kč.

Tabulka 47 – Vyhodnocení USZ1+ podle váženého průměru výše ztrát z nehodovosti na PK

Vážený průměr USZ 1+		
Typ OK	USZ 1+	USZ 3+
OK 1 pruh	191.6	1486.2
OK 2 pruhy	192.5	1366.6
OK Spirál	202.6	1557.6

Zdroj: autor

Obrázek 98 – Vyhodnocení USZ1+ a USZ1+ podle váženého průměru výše ztrát z nehodovosti na PK



Zdroj: autor

Vyhodnocení se podle průměrné hodnoty závažnosti a s uplatněním váhy následků nehod výrazně liší. Z výše uvedeného nevyplývá jednoznačné hodnocení vhodnosti varianty dispozičního řešení OK.

Vyhodnocení první metody reprezentuje závažnost následků kolize (MaxSpeed) a závažnost konfliktu (TTC). Lze podle zásad pro návrh bezpečné křižovatky přihlídnout k hodnocení kapacitnímu. S přihlédnutím k maximálním kapacitám různých typů křižovatek (včetně variant OK) lze hodnotit podle této metodiky variantu OK spirála jako nejvhodnější. [67]

Vyhodnocení druhé metody vkládá ekonomický aspekt do druhé metody. Při rozhodování mezi OK 1 pruh nebo OK 2 pruhy by měřítko kapacity hovořilo pro vhodnost OK 2 pruhy.

5.5.2. CL – DST vyhodnocení OK "U Globusu"

Následující tabulka uvádí výsledky vyhodnocení konfliktů podle CL. Z celkového počtu konfliktů z SSAM je uveden počet konfliktů a procentuální zastoupení konfliktů zařazených v tomto hodnocení.

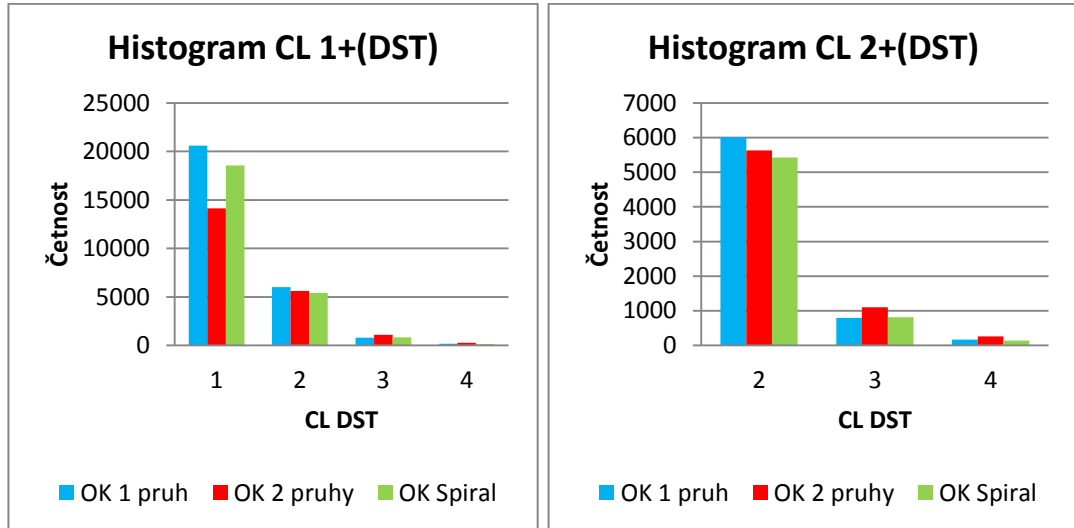
Tabulka 48 – Četnosti konfliktů a jejich zatřídění v CL – DST pro OK „U Globusu“

Conflict Level – CL DST									
Typ OK	0	1	2	3	4	CL DST	% CL DST	CL 1+(DST)	CL 2+(DST)
OK 1 pruh	36287	20596	6010	799	164	27569	43.17%	1.294	2.162
OK 2 pruhy	11437	14145	5629	1098	258	21130	64.88%	1.407	2.231
OK Spirál	23508	18563	5431	819	143	24956	51.49%	1.300	2.173

Zdroj: autor

Celkově je touto metodou hodnoceno kolem 50% všech zaznamenaných konfliktů z SSAM. Obě hodnocení (1+ a 2+) hodnotí bezpečnost křižovatek v tomto pořadí: OK 2 pruhy, OK 1 pruh a OK spirála jako nejbezpečnější.

Obrázek 99 – Histogram konfliktů s CL – DST 1+ a 2+



Zdroj: autor

Podle výše zmíněného a kapacitního komentáře u USZ se jeví OK spirála jako nejvhodnější.

5.5.3. TCS Score vyhodnocení OK "U Globusu"

Hodnocení je děleno podle stupnice TTC Score na dvě metody. První metoda reprezentuje původní skladbu limity TTC Score 1 (TTC = 1, 1,5 a 2 s) používané při přímém pozorování konfliktů. Druhá metoda používá širší spektrum TTC Score 1,5 (TTC = 1,5, 2,5 a 4 s) používané při vyhodnocení trajektorií ze simulací.

Následující tabulky uvádí počty konfliktů vyhodnocených pomocí TTC Score a jejich procentuální zastoupení z celkového počtu rozeznávaných konfliktů v SSAM. Poslední řádek uvádí celkové procentuální zastoupení hodnocených konfliktů TTC Score 0 – 3.

Tabulka 49 – Vyhodnocení TTC Score 1 pro OK „U Globusu“

	TTC Score1 (Time to collision Score)				TTC S 1+	%
	0	1	2	3		
OK 1 pruh	62831	921	87	17	1025	1.61%
OK 2 pruhy	31410	1041	86	30	1157	3.55%
OK Spirál	47482	902	60	20	982	2.03%
	97.82%	1.98%	0.16%	0.05%		

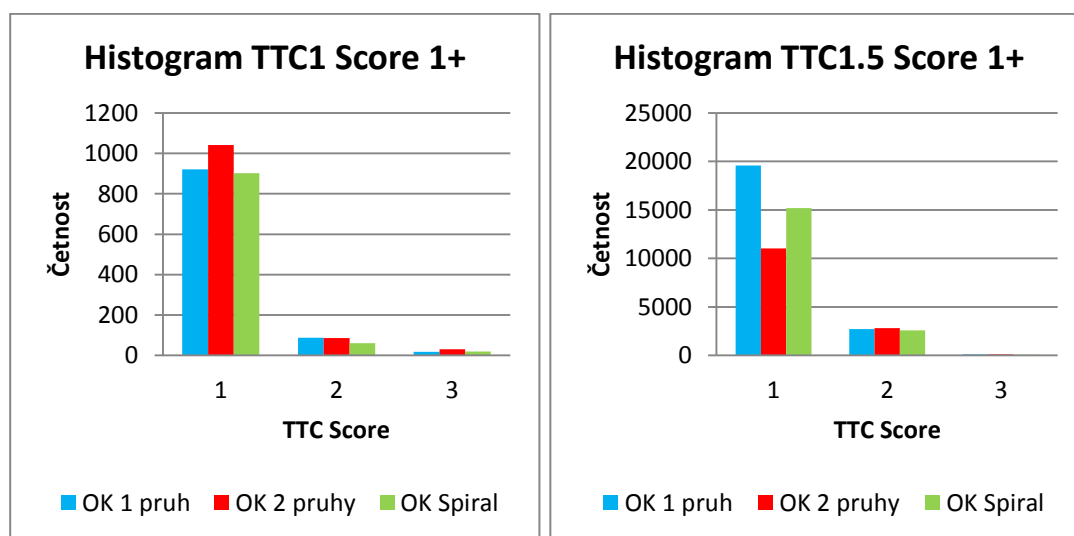
Zdroj: autor

Tabulka 50 – Vyhodnocení TTC Score 1,5 pro OK „U Globusu“

	TTC Score 1.5 (Time to collision Score)				TTC S 1+	%
	0	1	2	3		
OK 1 pruh	41466	19588	2698	104	22390	35.06%
OK 2 pruhy	18633	11017	2801	116	13934	42.79%
OK Spirál	30620	15197	2567	80	17844	36.82%
	62.61%	31.61%	5.57%	0.21%		

Zdroj: autor

Obrázek 100 – Vyhodnocení TTC Score 1+ pro obě řešené metody



Zdroj: autor

Jednotlivé metody se výrazně liší v hodnoceném vzorku a vypovídají o vhodnosti / nevhodnosti pro použití se simulačními metodami. Grafické zobrazení poukazuje na rozložení $TTC < 1$ s u OK se 2 pruhy.

Druhý parametr ROC (Risk of Collision) byl určen z průměrné četnosti maxDeltaV všech dispozičních uspořádání. Jednotlivá vyhodnocení četností jsou uvedena v příloze.

Tabulka 51 – Hodnocení závažnosti ROC pro OK „U Globusu“

ROC Score	MaxΔV [km/h]	P injuries	P fatal	Velikost vzorku	Závažnost
1	<5	<0.0003	<0.0000	118453 81.76%	Malá
2	5≤maxDeltaV≤15	0.0003–0.0056	0.0000–0.0001	21168 14.61%	Střední
3	maxDeltaV>15	>0.0056	>0.0000	5266 3.63%	Vysoká

Zdroj: autor

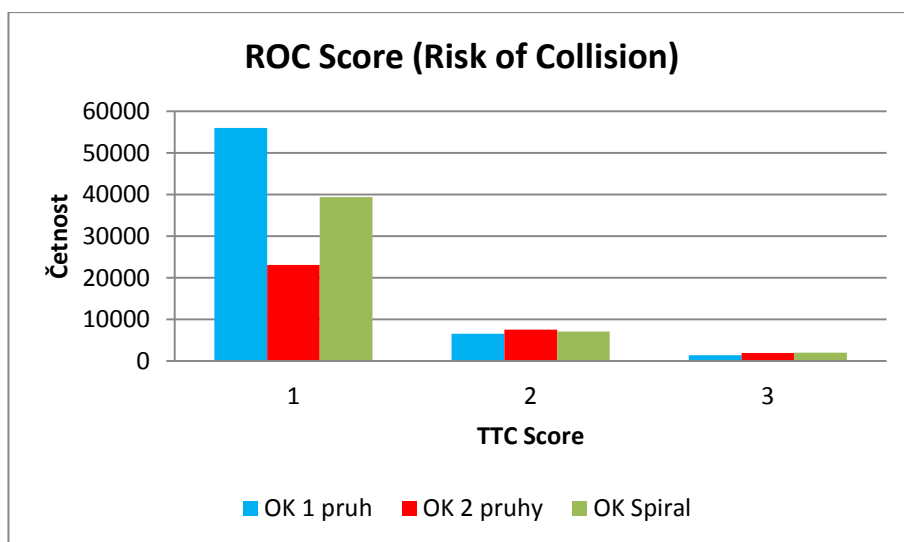
Výsledky ROC Score jsou uvedeny níže. Hodnoty ROC S 2+ vyjadřují zastoupení konfliktů, které mají riziko závažnosti střední – velké tzn. maximální změna rychlosti (prvního nebo druhého vozidla) v čase před a po kolizi je rozdílné o 5, 15 a více km/h.

Tabulka 52 – Vyhodnocení ROC Score pro OK „U Globusu“

	ROC Score (Risk of Collision)			ROC S 2+	%
	1	2	3		
OK 1 pruh	55978	6525	1353	7878	12.34%
OK 2 pruhy	23099	7565	1903	9468	29.07%
OK Spirál	39376	7078	2010	9088	18.75%
	81.76%	14.61%	3.63%		

Zdroj: autor

Obrázek 101 – ROC Score – četnosti pro jednotlivá uspořádání OK „U Globusu“



Zdroj: autor

Z vyobrazení vyplývají počty konfliktů s různou závažností maxDeltaV. OK 1 pruh a OK spirála mají relativně větší zastoupení ve skupině 1 (malá závažnost), ale ve skupině 2 a 3 (střední a vysoká závažnost) mají menší zastoupení než OK se 2 pruhy.

Celkové hodnocení TCS Score je dáno součtem obou složek (TTC a ROC Score). Následující tabulky uvádí výsledné hodnocení pro obě metody. Poslední řádek uvádí procentuální zastoupení jednotlivých bodových hodnocení. ACS (Average conflict severity) reprezentuje průměrnou zaznamenanou závažnost konfliktů jednotlivých uspořádání OK pro výběr konfliktů 1+.

Tabulka 53 – Vyhodnocení TCS Score 1 pro OK „U Globusu“

TCS Score1 (Total Conflict Severity Score)							
	1	2	3	4	5	6	ACS1 1+
OK 1 pruh	55887	5895	1774	269	28	3	1.163
OK 2 pruhy	23023	6822	2379	288	45	10	1.389
OK Spirál	39294	6470	2416	260	22	2	1.251
	81.58%	13.24%	4.53%	0.56%	0.07%	0.01%	

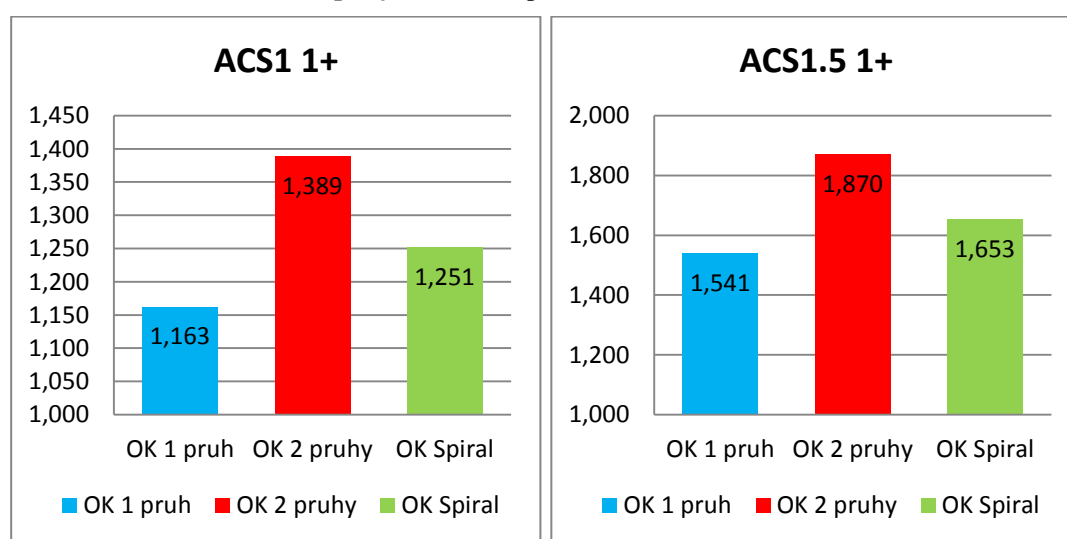
Zdroj: autor

Tabulka 54 – Vyhodnocení TCS Score 1,5 pro OK „U Globusu“

TCS Score1.5 (Total Conflict Severity Score)							
	1	2	3	4	5	6	ACS1.5 1+
OK 1 pruh	38973	18467	3725	2184	477	30	1.541
OK 2 pruhy	15763	9433	3895	2840	585	51	1.870
OK Spirál	27442	14075	3815	2588	520	24	1.653
	56.72%	28.97%	7.89%	5.25%	1.09%	0.07%	

Zdroj: autor

Obrázek 102 – Zobrazení ACS 1+ pro jednotlivá uspořádání OK „U Globusu“



Zdroj: autor

Vyhodnocení celého rozsahu TCS Score respektují obě metody stejně. Jako nejbezpečnější se jeví OK 1 pruh, OK spirál a OK se 2 pruhy s nejvyšším skóre závažnosti jako nejnebezpečnější.

Závislost výběru tříd průměrných závažností konfliktů a jejich hodnocení pro jednotlivé uspořádání OK jsou uvedeny v příloze. Zobrazení potvrzuje vliv velikosti reprezentativního vzorku při hodnocení závažností ACS4+.

Následující tabulka zobrazuje vážený průměr TCS Score 1 a 1,5 podle výše ztrát z nehodovosti.

Tabulka 55 – Vyhodnocení TCS Score 1 a 1,5 pro OK „U Globusu“ (vážený průměr dle výše ztrát z nehodovosti 2012)

TCS Score vážený průměr dle výše ztrát z nehodovosti v tis. Kč		
	ACS1 1+	ACS1.5 1+
OK 1 pruh	64.21	133.78
OK 2 pruhy	89.46	237.70
OK Spiral	70.58	161.42

Zdroj: autor

Vyhodnocení celého rozsahu TCS Score respektují obě metody stejně. Jako nejbezpečnější se jeví OK 1 pruh, OK Spiral a OK se 2 pruhy s nejvyšším skóre závažnosti jako nejnebezpečnější.

Celkové vyhodnocení vhodnosti návrhu opět přiřadíme podle zásad bezpečného návrhu křižovatky a přikloníme se k parametru vyšší kapacity – OK Spiral.

5.5.1. ICI vyhodnocení OK "U Globusu"

Pro určení ICI byly použity obě metody vyhodnocení konfliktnosti. Následující tabulka uvádí výsledky průměrného hodinového počtu konfliktů, druhy konfliktů (zado – přední, změna jízdního pruhu a křížení drah) a počty hodinových konfliktů s vyšší závažností 4+.

Tabulka 56 – AHC pro jednotlivé typy uspořádání OK „U Globusu“

	AHC				AHC4+ 1	AHC4+ 1.5
	Celkem	Rear	Lane change	Crossing		
OK 1 pruh	2554.24	2327.28	223.92	3.04	12.00	107.64
OK 2 pruhy	1302.68	1000.72	293.64	8.32	13.72	139.04
OK Spiral	1938.56	1721.16	207.32	10.08	11.36	125.28

Zdroj: autor

První metoda využívá pro určení ICI veličiny vztažené na tisícinu intenzity vjíždějících vozidel do křižovatky AHC/TEV a průměrnou konfliktnost ACS. Hraniční hodnoty mezi jednotlivými stupni ICI jsou stanoveny +- směrodatná odchylka od průměrné hodnoty. Stanovení hranic je závislé na statistické charakteristice posuzovaných konfliktů na daných křižovatkách.

Tabulka 57 – AHC/TEV pro jednotlivé typy uspořádání OK „U Globusu“

TEV	AHC/TEV				ACS1	ACS1.5
	Celkem	Rear	Lane change	Crossing		
2.38						
OK 1 pruh	1074.56	979.08	94.20	1.28	1.16	1.54
OK 2 pruhy	548.04	421.00	123.53	3.50	1.39	1.87
OK Spiral	815.55	724.09	87.22	4.24	1.25	1.65
směr odchylka průměr	214.96			směr odchylka průměr	0.09	0.14
	812.72				1.27	1.69

Zdroj: autor

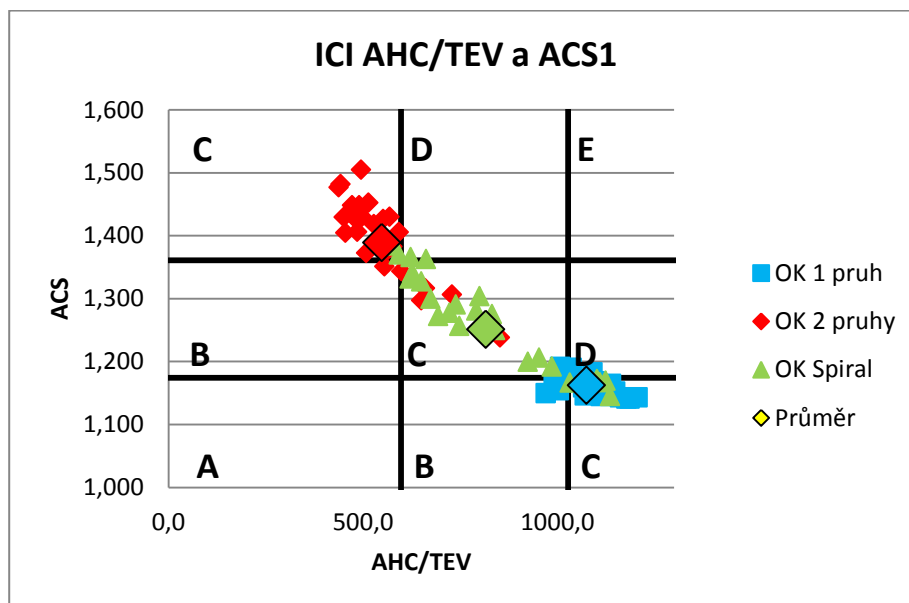
Výsledky zatřídění ICI1 a ICI1,5 (TTC Score1 z přímého pozorování a TTC Score1,5 ze simulací) jsou uvedeny v následujících tabulkách a grafech.

Tabulka 58 – Vyhodnocení ICI1 pro jednotlivé typy uspořádání OK „U Globusu“

	ICI1		
	AHC/TEV	ACS1	ICI1
OK 1 pruh	1074.56	1.16	C
OK 2 pruhy	548.04	1.39	C
OK Spiral	815.55	1.25	C

Zdroj: autor

Obrázek 103 – Zobrazení ICI1 pro jednotlivé typy uspořádání OK „U Globusu“



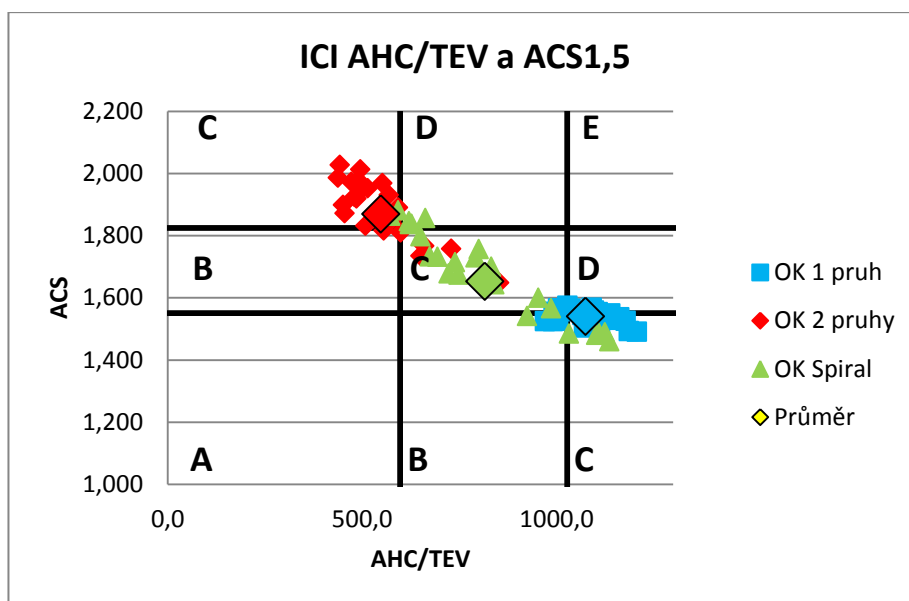
Zdroj: autor

Tabulka 59 – Vyhodnocení ICI1,5 pro jednotlivé typy uspořádání OK „U Globusu“

	ICI1.5		
	AHC/TEV	ACS1.5	ICI1.5
OK 1 pruh	1074.56	1.54	C
OK 2 pruhy	548.04	1.87	C
OK Spiral	815.55	1.65	C

Zdroj: autor

Obrázek 104 – Zobrazení ICI1,5 pro jednotlivé typy uspořádání OK „U Globusu“



Zdroj: autor

Výsledky původní metody ICI se zohledněním intenzity na vjezdech jsou pro všechna uspořádání stejná ve stupni C.

Druhá metoda modifikovaná ICI 4+ zohledňuje poměr intenzit na ose X a ose Y (hlavní a vedlejší komunikace) a počty hodinových konfliktů s vyšší závažností 4+. Hranice mezi stupni ICI4+ jsou stanoveny stejným postupem jako u první metody ICI. Výsledky jsou uvedeny níže.

Tabulka 60 – AHC/PEV pro jednotlivé typy uspořádání OK „U Globusu“

PEV	AHC/PEV				AHC4+ 1/PEV	AHC4+ 1.5/PEV
	Celkem	Rear	Lane change	Crossing		
2.18						
OK 1 pruh	1170.39	1066.40	102.60	1.39	5.50	49.32
OK 2 pruhy	596.91	458.55	134.55	3.81	6.29	63.71
OK Spiral	888.28	788.66	95.00	4.62	5.21	57.41
směr odchylka průměr	234.13				0.46	5.89
	885.19			směr odchylka průměr	5.66	56.81

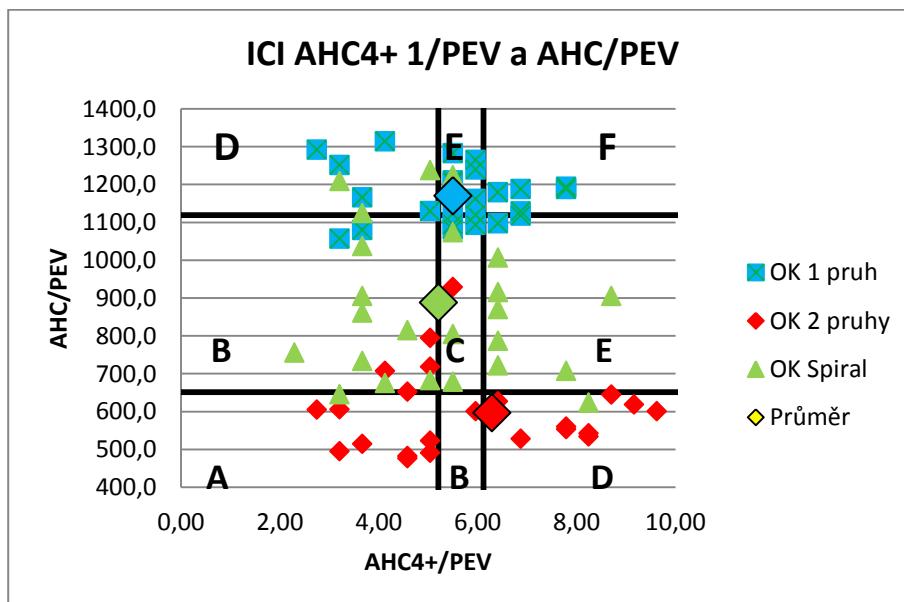
Zdroj: autor

Tabulka 61 – Vyhodnocení ICI1 4+ pro jednotlivé typy uspořádání OK „U Globusu“

	ICI1 4+		
	AHC4+ 1/PEV	AHC/PEV	ICI1 4+
OK 1 pruh	5.50	1170.39	E
OK 2 pruhy	6.29	596.91	D
OK Spiral	5.21	888.28	B

Zdroj: autor

Obrázek 105 – Zobrazení ICI14+ pro jednotlivé typy uspořádání OK „U Globusu“



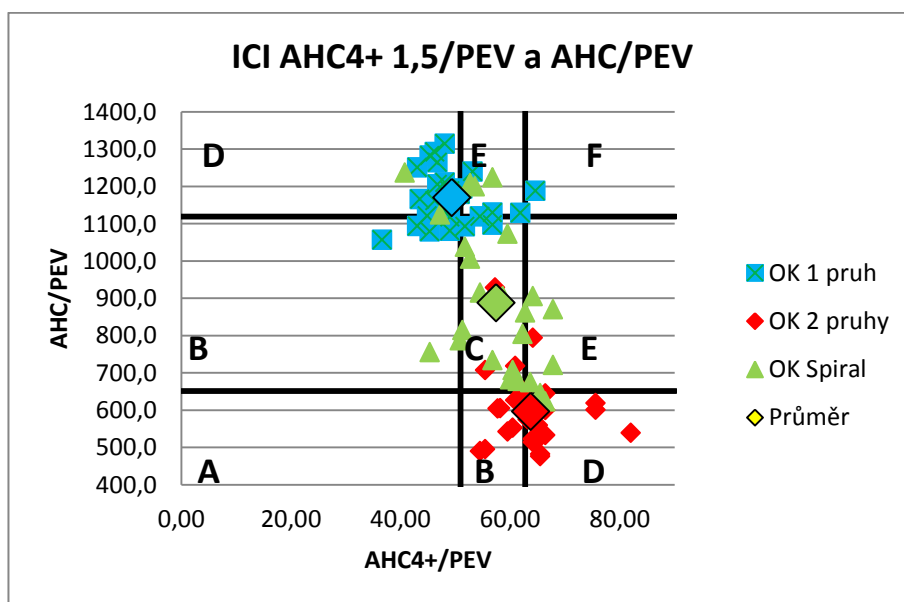
Zdroj: autor

Tabulka 62 – Vyhodnocení ICI1,5 4+ pro jednotlivé typy uspořádání OK „U Globusu“

	ICI1.5 4+		
	AHC4+ 1.5/PEV	AHC/PEV	ICI 1.5 4+
OK 1 pruh	49.32	1170.39	D
OK 2 pruhy	63.71	596.91	D
OK Spirál	57.41	888.28	C

Zdroj: autor

Obrázek 106 – Zobrazení ICI1,5 4+ pro jednotlivé typy uspořádání OK „U Globusu“



Zdroj: autor

Výsledky modifikované metody ICI4+ se zohledněním poměru intenzity na vjezdech určují bezpečnost OK „U Globusu“ v tomto pořadí OK 1 pruh, OK 2 pruhy a OK spirálová jako nejbezpečnější. Přičemž při použití TTC Score1,5 pro simulační metody není hodnocení mezi OK 1 pruh a OK 2 pruhy zcela jednoznačné. Vhodnost určíme opět podle zásad návrhu parametrem kapacity.

6. SHRNU TÍ VÝSLEDKŮ A DISKUSE

Hlavním cílem dizertační práce bylo prověřit možnosti hodnocení bezpečnosti neřízených křižovatek pomocí teorie konfliktních situací a analyzováním výstupů mikrosimulačních modelů za použití nepřímých proximálních ukazatelů. Následující text je shrnutím uvedených výsledků v předcházející kapitole včetně diskuse a vyvozením dílčích závěrů.

Analýzou výsledků hodnocení bezpečnosti neřízených křižovatek v intravilánovém prostředí na základě ukazatelů nehodovosti a rozbořem předpokladu bezpečnosti z počtu kolizních bodů bylo stanoveno pořadí typů křižovatek od nejbezpečnějšího jako okružní, styková a průsečná. Přičemž toto pořadí platí pro základní typy bez rozlišení usměrnění dopravy na křižovatce (směrové ostrůvky a odbočovací / přípojn é pruhy).

6.1. Shrnutí výsledků teoretických modelů typů křižovatek

Na modelech teoretických křižovatek, které se dají charakterizovat jako neřízené, intravilánové a kanalizované, bylo provedeno 20 hodin simulací s pěti rozdílnými stupni zatížení vozidel na vjezdech (1400, 1600, 1800, 2000, 2200 voz/h) se stejnou skladbou dopravního proudu a poměrem intenzit na hlavní a vedlejší komunikaci (na paprscích X a Y). Tyto simulace byly vyhodnoceny pro tři zkoumané oblasti (hranice křižovatky), se snahou eliminovat méně závažné konflikty a zvolit nejvhodnější oblast pro vyhodnocení bezpečnosti vybranými metodami.

Zastoupení druhu konfliktů

Výsledky zastoupení jednotlivých druhů konfliktů u stykových a průsečných křižovatek odpovídají teoretickým předpokladům, kdy na uspořádání křižovatky s odbočovacím pruhem je větší zastoupení konfliktů změny jízdního pruhu než bez pruhu. Předpoklad se potvrdil i v porovnání mezi stykovou a průsečnou křižovatkou, kdy více paprsků křižovatky má i větší podíl těchto konfliktů. Problematikou nalezení vhodných hraničních hodnot kolizního úhlu se zabývají jiné práce.

Prověření určení druhu konfliktů poukázalo na nedostatky při použití na okružních křižovatkách. Na malých poloměrech okružních křižovatek se při určení konfliktu s vysokými hodnotami TTC a PET (malá závažnost konfliktu) projevil nedostatek při definování kolizního úhlu, kdy kolizní úhel je určen v čase zaznamenání konfliktu, přičemž vozidlo

do teoretické kolize na okružním páse několikrát změni svoji dráhu včetně kolizního úhlu. Výsledkem jsou kolizní body s nepravdivými informacemi o druhu konfliktu.

Vliv nárůstu intenzity na počet konfliktů

Vyhodnocení počtu konfliktů je pouze kvantitativní hodnocení (vliv konfliktních ploch, počtu prasků a jízdních pruhů). Výsledky znázorňují vliv rozdílných faktorů ovlivňujících bezpečnost jednotlivých typů křižovatek při nárůstu intenzity. Velikost zkoumané oblasti má zásadní vliv na nejpočetnější druh konfliktů (zadostřední – přední konflikt) v čekací frontě.

Pro zajištění objektivního měřítka kapacitního omezení mezi typy křižovatek je použita veličina a_v – stupeň vytížení.

Z rozboru vyplývají následující zásadní poznatky:

- Největší procentuální nárůst konfliktů je u typů křižovatek s odbočovacím pruhem, dále bez odbočovacího pruhu a nejmenší u okružních křižovatek.
 - o Tento poznatek koresponduje s předpokladem, že křižovatky s větším počtem kolizních bodů vykazují i větší nebezpečnost – počet konfliktů a následné nehody.
- Největší hodnota počtu konfliktů je závislá na výběru velikosti zkoumané oblasti a nachází se při hodnotě stupně vytížení $a_v = 1$.
- Při snižující se úrovni kvality dopravy (nárůst intenzity) se procentuální nárůst konfliktů mezi pozorovanými intenzitami snižuje. Vypovídá o zásadním vlivu úrovně kvality dopravy na bezpečnost. Závislost je nelineární se sestupnou tendencí u všech typů křižovatek (při zahrnutí vlivu konfliktů na ramenech křižovatek). Při zkoumání křižovatkové oblasti (snaha eliminovat konflikty v čekací frontě) vykazují okružní křižovatky nezávislost na nárůstu intenzity oproti křižovatkám stykovým a průsečným.
 - o Potvrzuje předpoklad, že při postupném nasycení křižovatky se vozidla pohybují opatrněji a zvyšuje se bezpečnost (klesá počet konfliktních situací). Okružní křižovatky klasického typu jsou v tomto pohledu bezpečné stále (počet konfliktních situací je téměř konstantní).

Rozbor základních ukazatelů závažnosti konfliktu TTC, PET a MaxDeltaV

Pro rozbor ukazatelů byly zvoleny veličiny TTC, PET a MaxDeltaV. Čas do kolize (TTC) vyjadřuje závažnost konfliktu, čas po průjezdu (PET) kolizního bodu vyjadřuje bezpečnou časovou rezervu (závažnost konfliktu) a MaxDeltaV vyjadřuje závažnost následku kolize maximálním rozdílem součtu vektorů rychlosti zúčastněných vozidel.

Vztah mezi ukazateli TTC a PET typů křižovatek není dobře korelovaný s nízkou hodnotou $R^2 = 0,006 - 0,1656$. Konflikt musí splňovat obě kritéria, aby byl identifikován softwarem SSAM jako konflikt.

TTC (Time To Collision)

Na základě analýzy četností konfliktů byly stanoveny tyto prahové hodnoty:

- TTC1 = 1,5 s TTC2 = 2,4 s

Ze záznamu četností je patrný vliv intenzity (stupně vytížení) a velikosti zkoumané oblasti. Podle tvaru a četností při daných intenzitách je viditelný vliv počtu kolizních bodů a uspořádání křižovatek (kvantitativní faktor zásad pro bezpečný návrh křižovatky).

V křižovatkové ploše se podle typu křižovatky nachází 60 – 80% závažných konfliktů s hodnotou $TTC < 1,5$ s. Ve zkoumané oblasti do 20 m od hranic to je již celkově 80 – 90%.

Následující tabulka uvádí průměrné četnosti z posuzovaných intenzit podle velikosti zkoumané oblasti.

Tabulka 63 – Průměrné četnosti závažných konfliktů podle zvolené velikosti zkoumané oblasti s vyjádřením % zastoupení závažných konfliktů $TTC \leq 1,5$ s

Průměrná četnost a % závažných konfliktů $TTC \leq 1.5$ s ve zkoumaných oblastech												
	Styk. K. OP		Styk. K. BOP		Prus. K. OP		Prus. K. BOP		MOK 27		OK 50	
	četn.	%	četn.	%	četn.	%	četn.	%	četn.	%	četn.	%
hran. 0	27	2.78%	56	3.44%	46	2.66%	43	2.77%	0	0.11%	11	1.50%
hran. 20	40	2.60%	65	2.55%	61	2.41%	64	2.41%	122	1.45%	105	1.43%
bez hran.	42	1.62%	68	0.96%	63	1.62%	69	0.99%	132	0.55%	111	0.53%

Zdroj: autor

Tabulka 64 – Průměrný nárůst četností závažných konfliktů $TTC \leq 1,5$ s podle zvolené velikosti zkoumané oblasti (nárůst velikosti oblasti a % zastoupení dle oblasti)

Průměrný nárůst závažných konfliktů $TTC \leq 1.5$ s (nárůst velikosti zkoumané oblasti s % zastoupením)												
	Styk. K. OP		Styk. K. BOP		Prus. K. OP		Prus. K. BOP		MOK 27		OK 50	
	četn.	%	četn.	%	četn.	%	četn.	%	četn.	%	četn.	%
hran. 0	27	65.87%	56	83.69%	46	73.79%	43	62.96%	0	0.30%	11	10.70%
hran. 20	13	30.55%	9	12.55%	15	23.25%	21	29.94%	122	92.33%	94	84.78%
bez hran.	2	3.58%	3	3.77%	2	2.96%	5	7.10%	10	7.36%	5	4.52%

Zdroj: autor

Pouze u křižovatek okružních se prokázal pokles závažných konfliktů před hranicí kapacity. Štíhlost křivky četností kolem vrcholu 3,3 s vyjadřuje počet podřazených proudů a kolizních

bodů. Tato hodnota reprezentuje dopravní chování vozidel pomocí následného modelu simulačního softwaru.

PET (Post-Encroachment Time)

Na základě analýzy četností konfliktů byly stanoveny tyto prahové hodnoty:

- $PET1 = 1,7 \text{ s}$ $PET2 = 3,3 \text{ s}$

PET je nepřímým znakem závažnosti (znak kvality přijmutí bezpečné mezery po projetí konfliktního bodu). Porovnáním velikostí zkoumané oblasti je z četností patrný vliv odbočovacího pruhu (kvalitativní faktor zásad pro bezpečný návrh křižovatky).

Vrcholy průběhu četnosti reprezentují příjezd ve vyšší rychlosti na konec čekací fronty a model následné bezpečné vzdálenosti.

Dvouvrcholový průběh v hodnotách $PET = 2,7$ a $5,6 \text{ s}$ na OK zobrazuje vliv rozdílného poměru intenzit na hlavní a vedlejší komunikaci. Tento znak nepoměru intenzit je patrnější na OK s malým poloměrem tzv. MOK.

Z uvedených ukazatelů nelze přímo hodnotit bezpečnost / nebezpečnost návrhu, ale je nutné použít ukazatel popisující závažnost konfliktů v závislosti na rychlosti.

MaxDeltaV (Maximum Delta Velocity)

Ukazatel MaxDeltaV je vyhodnocen u každého konfliktu na základě zvolených maximálních hodnot TTC a PET. Tento ukazatel má své slabiny v určení konfliktního úhlu při vyšších rychlostech a vyšších hodnotách TTC. Otázka použitelnosti ukazatele je dána nastavením TTC a PET pro záznam konfliktu a trajektorií (možnou změna kolizního úhlu při jízdě po okruhu u OK). Je tedy nutné pro určení celkové závažnosti definovat rozsah i pro hraniční hodnoty TTC a vhodnost podle druhu pohybu (typu konfliktu).

Právě určení kolizního úhlu (následně i MaxDeltaV) při neustálé změně trajektorie před kolizí dělá tento ukazatel méně vhodný pro hodnocení konfliktů s vyššími hodnotami TTC (menší závažností) na MOK, kde je tento pohyb typický.

Vyhodnocení bezpečnosti podle vybraných metod

USZ (Uniform Severity Zone)

Tato metoda hodnotí závažnost konfliktu pomocí času do kolize (TTC) a závažnost kolize pomocí maximální rychlosti vozidla při určení kolize (MaxSpeed).

- Okružní křižovatky jsou hodnoceny při daných intenzitách jako nejbezpečnější a s narůstající intenzitou klesá závažnost konfliktů (roste bezpečnost).

- Stykové a průsečné křižovatky potvrzují předpoklad, že existuje limitní intenzita blízká kapacitě, od které závažnost konfliktů klesá (roste bezpečnost).
- Pozitivní vliv odbočovacího pruhu na hodnocení závažnosti konfliktních situací a bezpečnost křižovatky je zásadní. UKD na křižovatkách s odbočovacím pruhem pozitivně ovlivňuje počet zaznamenaných kolizí.
- Při použití váhy podle výše ztrát z nehodovosti negativně ovlivňují hodnocení vyšší rychlosti na nadřazeném hlavním dopravním proudu (vyšší závažnost kolize) a při nižším stupni vytížení je průsečná křižovatka s odbočovacím pruhem nebezpečnější než bez odbočovacího pruhu.
- Hodnocení bezpečnosti od nejbezpečnějšího typu podle USZ je pro společnou hodnotu stupně vytížení $a_v = 0,9$: OK 50, MOK 27, Prus. K. OP, Styk K. OP, Prus. K. BOP a Styk. K. BOP.

CL – DST (Conflict Level – Deceleration-to-Safety Time)

Tato metoda hodnotí pouze závažnost možné kolize pomocí míry decelerace (MaxD).

- Vyhodnocení CL – DST vykazuje lineární závislost na narůstající intenzitě. Pořadí hodnocení průměrné CL1+ a CL2+ odpovídá počtu paprsků křižovatky, velikosti kolizních ploch a tvorbě čekacích front. Není vhodná pro hodnocení celé křižovatky (neuvažuje závažnost konfliktu).
- Tato metoda je vhodná pro hodnocení jednotlivých dopravních pohybů na jízdních pružích nebo celé křižovatkové ploše (jak naznačovaly výsledky hodnocení křižovatkové plochy s hranicemi 0 m).

TCS Score (Total conflict severity score)

Tato metoda hodnotí závažnost konfliktu pomocí času do kolize (TTC) a závažnost kolize pomocí maximálního rozdílu rychlosti vozidel po kolizi (MaxDeltaV).

Velké rozdíly mezi hodnotami 85% MaxDeltaV u jednotlivých typů křižovatek a na základě těchto hodnot zvolenými hranicemi bodového hodnocení jasně poukazují na bezpečnější pohyby vozidel na okružních křižovatkách. Křižovatky stykové a průsečné budou hodnoceny díky vyšším hodnotám MaxDeltaV (vyšší rychlosti na nadřazených proudech) vždy s větší závažností.

Z výsledků lze konstatovat následující závěry:

- Okružní křižovatky jsou hodnoceny při daných intenzitách jako nejbezpečnější a s narůstající intenzitou klesá závažnost konfliktů a kolizí (roste bezpečnost).

- U křižovatek s odbočovacím pruhem se na celkovém hodnocení projevuje zastoupení vyšších hodnot MaxDeltaV (vyšší rychlosti na nadřazeném pruhu).
- Na křižovatkách bez odbočovacího pruhu dochází k omezení rychlostí na hlavní komunikaci a tím snížení hodnot MaxDeltaV, které se projeví menší závažností konfliktů.
- Hodnocení bezpečnosti od nejbezpečnějšího typu podle TCS Score je pro společnou hodnotu stupně vytížení $a_v = 0,9$: OK 50, MOK 27, Prus. K. OP, Prus. K. BOP, Styk K. OP a Styk. K. BOP.

Komentář k použití metod USC a TCS Score

I když výsledky při $a_v = 0,9$ jsou totožné, hodnocení pro ostatní stupně vytížení se liší. Tento rozdíl v hodnocení je dán použitím odlišného ukazatele závažnosti kolize. MaxDeltaV znevýhodňuje typ křižovatek s odbočovacím pruhem jako přímý důsledek větší četnosti konfliktů s vyšší závažností kolize.

Nejistota (nevhodnost) ve srovnání různých typů křižovatek u TCS Score je dána velkými rozdíly v zastoupení 85 % percentilu MaxDeltaV na jedné straně křižovatek okružních a na straně druhé průsečných a stykových.

Ani jednota metoda nezahrnuje vliv intenzit vozidel na hlavní a vedlejší komunikaci.

ICI (Intersection conflict index)

Tato metoda hodnotí závažnost konfliktu pomocí času do kolize (TTC) a závažnost kolize pomocí maximálního rozdílu rychlosti vozidel po kolizi (MaxDeltaV). Hodnocení bezpečnosti je uváděn indexem konfliktnosti v písemném znaku A – E (F).

První metoda díky velmi rozdílným dispozičním parametrům (počty paprsků) a typům křižovaty (pravidla silničního provozu na OK) vykazuje ve výsledcích velký rozptyl a stanovené hranice jsou málo citlivé pro vyhodnocení v celém rozsahu stupnice A – E. Hodnocení ACS je ovlivněné i velikostí zkoumané oblasti, kde velký počet málo závažných konfliktů zkresluje průměrnou hodnotu ACS. Z těchto důvodů není vhodná metoda pro hodnocení různých typů křižovatek.

V případě první metody je hodnocení vyrovnané a pro nepříznivé hodnocení typů křižovatek s odbočovacím pruhem platí stejný komentář jako v předchozí metodě TCS Score.

Druhá metoda zohledňuje pouze závažné konflikty, které mají v součtu TCS Score hodnocení 4 a více. Metoda eliminuje při hodnocení velký počet nezávažných konfliktů. Veličina PEV zohledňuje poměr intenzit na hlavní a vedlejší komunikaci (osa X a osa Y). V případě

okružních křižovatek je tento parametr neobjektivní a vyhodnocení je v porovnání se stykovou nebo průsečnou křižovatkou zkreslené. Použití veličiny PEV při hodnocení OK s ostatními typy křižovatek je nevhodné. Tato metoda je vhodná k hodnocení bezpečnosti variantního návrhu křižovatek jednotlivých typů křižovatek.

Celkové hodnocení je uvažováno pro $I = 1400$ voz/h (provoz na stupni vytížení < 0.9). Pořadí je OK 50 (odhad nehodnoceno metodou), MOK 27(odhad nehodnoceno metodou), Styk. K. OP, Prus. K. OP, Styk. K. BOP a Prus. K. BOP.

Porovnání výsledků hodnocení bezpečnosti podle jednotlivých metodik

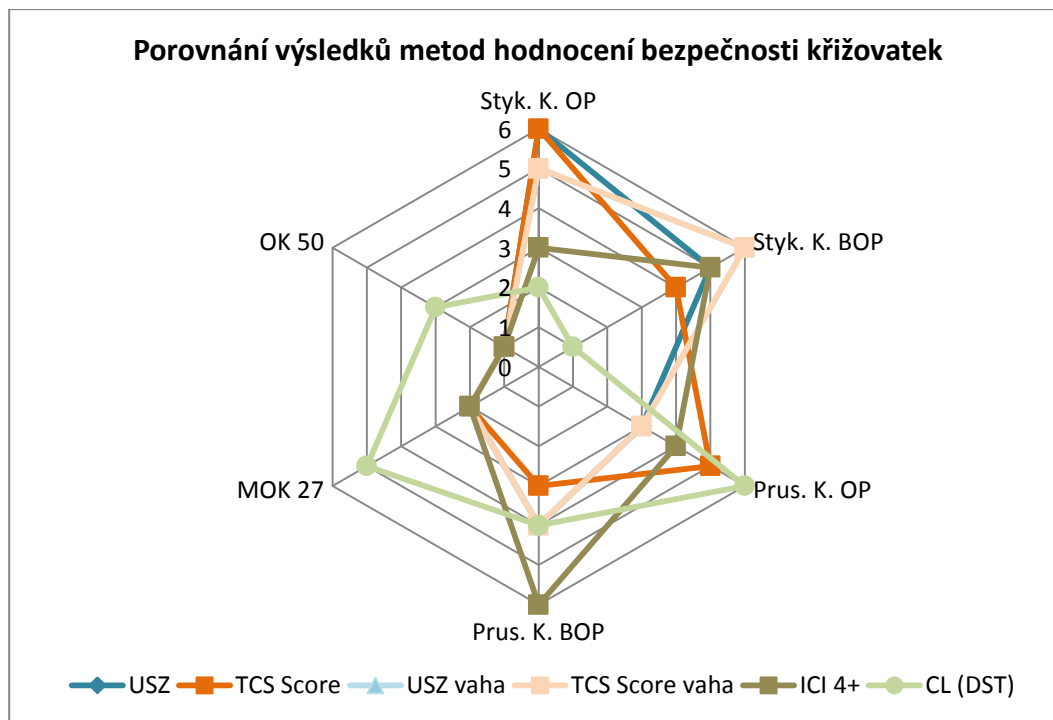
Následující tabulka a schéma zobrazuje vzájemné pořadí určení bezpečnosti vybranými metodami. Uvedené hodnoty jsou absolutním pořadím a nerozlišují rozdíly míry bezpečnosti mezi jednotlivými typy křižovatek. U metody ICI 4+ je pořadí červenou číslicí určeno na základě nejmenšího počtu závažných konfliktů z důvodu zkreslení parametrem PEV u okružních křižovatek.

Tabulka 65 – Porovnání výsledků hodnocení bezpečnosti podle jednotlivých metodik

Porovnání výsledků metod hodnocení bezpečnosti křižovatek						
$a_v = 0.9$	USZ	USZ váha	TCS Score	TCS Score váha	ICI 4+	CL (DST)
Styk. K. OP	6	5	6	5	3	2
Styk. K. BOP	5	6	4	6	5	1
Prus. K. OP	3	3	5	3	4	6
Prus. K. BOP	4	4	3	4	6	4
MOK 27	2	2	2	2	2	5
OK 50	1	1	1	1	1	3

Zdroj: autor

Obrázek 107 – Porovnání výsledků hodnocení bezpečnosti podle jednotlivých metodik



Zdroj: autor

6.2. Shrnutí výsledků variantních návrhů úprav OK „U Globusu“

V případové studii porovnání tří variantních řešení úprav okružní křižovatky byly porovnány základní ukazatele hodnocení bezpečnosti v teorii konfliktních situací (TCT).

Vyhodnocení absolutního počtu souvisí s UKD a tvorby čekacích front na paprscích. V tomto hodnocení je pořadí od nejmenšího počtu OK 2 pruhy, OK spirála a OK 1 pruh.

SSAM pro každý konflikt zaznamenává hodnotu TTC (určuje riziko vzniku nehody) a hodnotu PET (pohyby dopravního proudu bez kolizního kurzu s mírou bezpečné časové mezery). Určení prahových hodnot a zastoupení (střední hodnota a medián) TTC a PET jsou pro všechny křižovatky srovnatelné. Četnosti TTC a PET pro různé uspořádání v nadhraničních hodnotách (TTC = 1,5 s, PET = 1,7 s) rovnoměrně narůstají s tvorbou čekacích front.

Podhraniční hodnoty veličiny TTC (naznačující nebezpečnost) je majoritní zastoupení závažných konfliktů u OK 2 pruhy (116 – 0,36 %), OK 1 pruh (104 – 0,16 %) a OK spirál (80 – 0,17 %).

Počet konfliktů pod hraniční hodnotou PET (naznačuje majoritní časové mezery pohybu dopravního proudu) je u OK 1 pruh (13824 – 21,65 %), OK spirál (11921 –24,60 %) a OK 2 pruhy (7064 – 21,69 %).

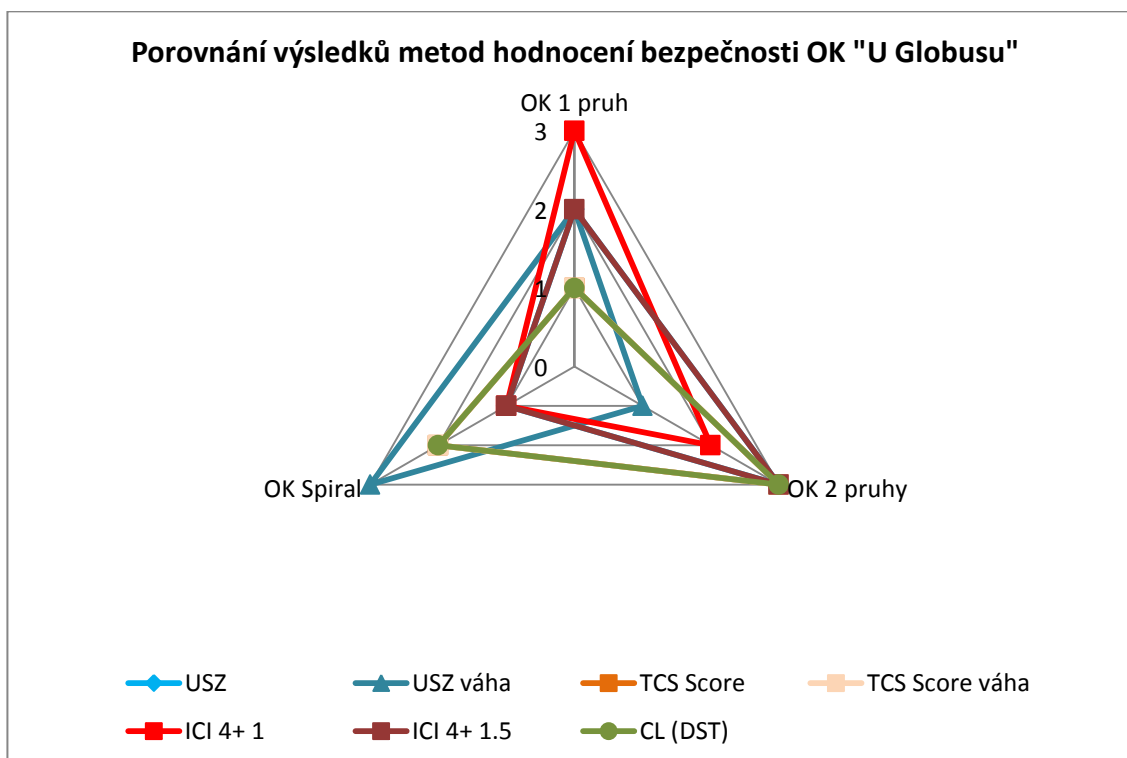
Aplikování předchozích poznatků použití metod určování závažnosti konfliktů a stanovení bezpečnosti variantního řešení na variantní řešení okružní křižovatky přineslo tyto výsledky uvedené v následující tabulce a schématu. Opět se jedná o absolutní pořadí, které nerozlišuje rozdíly v míře bezpečnosti.

Tabulka 66 – Porovnání výsledků hodnocení bezpečnosti OK „U Globusu“

Porovnání výsledků metod hodnocení bezpečnosti OK "U Globusu"							
	USZ	USZ váha	TCS Score	TCS Score váha	ICI 4+ 1	ICI 4+ 1.5	CL (DST)
OK 1 pruh	2	2	1	1	3	2	1
OK 2 pruhy	3	1	3	3	2	3	3
OK Spirál	1	3	2	2	1	1	2

Zdroj: autor

Obrázek 108 – Porovnání výsledků hodnocení bezpečnosti OK „U Globusu“



Zdroj: autor

Výběr varianty řešení podle zásad bezpečného návrhu křižovatky se skládá z posouzení propustnosti (kapacity) a bezpečnosti. Použité metody hodnocení bezpečnosti pomocí TCT poukazují na vhodnost (menší závažnost konfliktů) spirálového řešení OK a OK s jedním pruhem. Při použití váženého průměru podle výše ztrát z nehodovosti se u metody USZ pořadí zcela změní. Váha má v tomto případě negativní vliv na celkové hodnocení z důvodů menšího počtu hodnocených konfliktů ve všech stupních u OK spiral oproti OK 2 pruhy. Výběr je tedy nutný dále zohlednit podle zásad bezpečného návrhu křižovatky parametrem kapacity dispozičního uspořádání.

6.3. Využití nejdůležitějších výsledků v praxi a jejich přínos ke zvýšení celkové bezpečnosti na úrovnových křižovatkách.

Tato dizertační práce byla z velké míry ovlivněna potřebou aplikace proaktivního přístupu hodnocení bezpečnosti na úrovnových křižovatkách v praxi. Vzhledem k neustálému vývoji a rozmachu dopravních simulačních modelů v praxi byl k teorii konfliktních situací zvolen dominující software na poli mikrosimulace PTV Vissim jako vhodný nástroj k ověření použití v oblasti hodnocení bezpečnosti silničního provozu na úrovnových křižovatkách. Základní přínosy jsou shrnuty níže.

Prověření předpokladu respektování zásad bezpečného návrhu křižovatek v simulovaných modelech neřízených křižovatek základních typů křižovatek (průsečná, styková a okružní).

Prověření použití nového proaktivního přístupu hodnocení bezpečnosti na základě nepřímých ukazatelů z dopravní simulace a využití objektivního nástroje pro hodnocení projekčních návrhů v období přípravy stavby. Ověření vlivu nárůstu intenzity (UKD resp. stupně vytížení) na hodnocení závažnosti konfliktů a bezpečnosti křižovatek s uplatněním kvantifikace nepřímých ukazatelů z TCT. Rozborem ukazatelů TTC a PET popsán vliv usměrňujících prvků (odbočovací pruh) a vliv velikosti zkoumané oblasti na závažnost konfliktů s nárůstem intenzit na vjezdech. Použití váhy výše ztrát z nehodovosti při určení závažnosti následků konfliktů.

Doporučení pro vybrané metody hodnocení bezpečnosti z TCT při kvantifikaci modelových nepřímých ukazatelů z SSAM:

- USZ – závažnost konfliktu i kolize a vhodné pro hodnocení všech typů křižovatek,
- CL DST – závažnost pouze konfliktu a vhodné pro jednotlivé dopravní proudy,

- TCS Score – závažnost konfliktu a kolize a vhodná pro hodnocení jednotlivých typů křižovatek, přičemž méně vhodná pro MOK (určení kolizního úhlu a zastoupení 85 % MaxDeltaV),
- ICI – závažnost konfliktu i kolize a méně vhodné pro hodnocení všech typů křižovatek (není příliš citlivá metoda vlivem hodnocení všech zaznamenaných i nezávažných konfliktů),
- ICI4+ – závažnost konfliktu i kolize a vhodná pro hodnocení jednotlivých typů křižovatek se zohledněním vlivu poměru intenzit parametrem PEV (znevýhodňuje OK).

Na případové studii OK „U Globusu“ jsou prověřeny obecné závěry. Na základě dosažených výsledků určení prahových hodnot bezpečnostních ukazatelů TTC (Time to Collision) a PET (Post Encroachment Time) je možné aplikovat posouzení bezpečnosti jednotlivých návrhů okružních křižovatek včetně atypických řešení s omezeným určením závažnosti (vliv zvolené zkoumané oblasti).

Výběr vhodného variantního návrhu křižovatky respektující zásady bezpečného návrhu křižovatky je možné objektivně posoudit kvantitativními modelovými ukazateli bezpečnosti a hodnotícím kritériem výkonnosti (kapacity) křižovatky.

6.4.Návrhy na využití výsledků pro další práce

Výsledky je možné aplikovat na posouzení alternativ dispozičního řešení ve fázi projektové dokumentace. Z výše uvedeného rozboru stávajícího stavu vyplývá určitý nedostatek v míře poznání závažnosti konfliktních situací pro malé rychlosti.

Navázání na dosažené výsledky a další práce:

- Výzkum ukazatele závažnosti konfliktních situací pro malé rychlosti na základě přímého účinku vozidel (rozdíly hmotností apod.).
- Výzkum metodiky pro určení kritických mezer na atypických křižovatkách, včetně metodiky terénního měření.
- Výzkum průjezdu křižovatkou bez kanalizace dopravy. Výzkum vlivu kolizních ploch za použití laterálního pohybu v simulačním modelu při průjezdu křižovatkovou plochou, zejména u křižovatek stykových a průsečných.

- Výzkum vlivu poměru intenzit na hlavních osách křižovatky (poměr intenzit na hlavní a vedlejší komunikaci).
- Validace predikčního modelu využití konfliktních situací s pomocí mikrosimulací se nabízí jako návaznost na právě dokončený projekt KONFLIKT (CDV, ČVUT) s využitím dat přímého pozorování konfliktních situací.

Doporučení pro vývojáře PTV Vissim:

- V datovém výstupu trajektorií zahrnout bližší specifikaci vozidel např. hmotnosti v kolizním směru. Tyto informace by dále mohly posloužit pro výše zmíněný ukazatel závažnosti kolize.

Doporučení pro vývojáře SSAM:

- Zahrnutí do filtrování kolizí také parametr času simulačního kroku. Tím by odpadlo zpracování dat mimo SSAM v případech hodnocení druhé simulační hodiny.
- Zahrnutí do filtrace kolizí výběr pomocí volného polygonu (ne pouze obdélníku) pro přesnější stanovení zájmové oblasti a zahrnutí kritických míst na nesymetrických křižovatkách.
- Vhodné definování kolizního úhlu v případě změny trajektorie (průjezd na okružním páse) v čase kolize odpovídající času střetu (nevhodnost pro vysoké TTC a PET).

7. ZÁVĚR

Hodnocení bezpečnosti silničního provozu má v současné době dva základní přístupy dělicí se na reaktivní způsob reagující na negativní důsledky provozu na pozemních komunikacích tj. nehody a proaktivní způsob hledající varovné nepřímé ukazatele pomocí teorie konfliktních situací. Oba přístupy mají společný cíl, minimalizovat ojedinělé situace (nehody) v bezpečnostním kontinuu.

Zejména proaktivní přístupy jsou ovlivněny tradicí v hodnocení bezpečnosti v jednotlivých zemích a celospolečenskou akceptovatelnou mírou bezpečnosti s ochotou přijímat aktivní opatření.

Popisovaný přístup hodnocení bezpečnosti pomocí modelovaných nepřímých ukazatelů v simulacích křižovatek je samostatný hodnotící systém. Nenahrazuje stávající reaktivní hodnocení ze skutečných policejních evidencí dopravních nehod, hloubkové analýzy dopravních nehod nebo proaktivní hodnocení konfliktních situací sledováním dopravního proudu.

Samotné modelování má spousty úskalí spojené s vlastní kalibrací modelu zejména na teoretických návrzích, kde je nutná znalost charakteristik dopravního proudu při modelování dopravní situace. Samotná reliabilita dané metody je dána použitím nepřímých ukazatelů bezpečnosti určených z trajektorií vozidel (TTC, úhel kolize, PET, stupně závažnosti). Reprezentativita je v tomto případě dána použitím předpokládaných intenzit dopravního proudu a reálné nastavení kritických mezer v modelu simulace. Opakovatelnost je dána cykly simulací za použití nahodilého přidělování na síť (random seed).

Hlavní předností je možnost hodnocení atypických řešení ve fázi projekčního návrhu. Simulační model je modelem bezpečné jízdy a nedokáže objektivně posoudit nekázeň řidičů nebo nenadále přírodní vlivy (pád stromu, vběhnutí zvěře na komunikaci) během provozu na pozemní komunikaci. Přes výše zmíněná omezení a úskalí při tvorbě modelu v simulačním softwaru je tato metoda objektivním nástrojem pro hodnocení bezpečnosti silničního provozu křižovatek různého dispozičního uspořádání.

Modelované teoretické křižovatky při rozboru výsledků počtu zaznamenaných konfliktních situací a základních ukazatelů TTC a PET pomocí SSAM respektují zásady návrhu bezpečné křižovatky.

Omezením velikosti zkoumané oblasti byla dosažena eliminace konfliktů v čekací frontě.

Při posouzení vlivu nárůstu intenzity u stykových a průsečných křižovatek roste také absolutní počet konfliktů a nebylo prokázáno snížení závažnosti před hranicí kapacity. Procentuální nárůst mezi porovnávanými intenzitami má ovšem klesající tendenci.

Okružní křižovatky vykazují v křižovatkové ploše při zvýšené intenzitě před hranicí kapacity pokles závažnosti konfliktů při téměř stejném počtu zaznamenaných konfliktů.

Posuzovaná závažnost kolize je přímo souvislá s neomezeným pohybem nadřazeného proudu (UKD) a počtem kolizních bodů (velikostí kolizní plochy).

Zásadní vliv pro určení a následné hodnocení konfliktů v SSAM má definování rozsahu hraničních hodnot TTC a PET. Vysoké hodnoty určují nezávažné konflikty a mohou ovlivnit výsledné hodnocení u metod, které nezohledňují pouze závažné konflikty. Příliš velký rozsah také způsobuje nesprávné určení kolizního úhlu nezávažných konfliktů u proměnlivé trajektorie (typické pro malé poloměry) na okružních křižovatkách.

Většina vybraných metod kvantitativního hodnocení závažnosti dopravních konfliktů a bezpečnosti křižovatek z teorie přímého sledování dopravních konfliktů v dopravním proudu je vhodná pro použití v přístupu hodnocení modelovaných ukazatelů.

Pro metody je důležitý výběr velikosti zkoumané oblasti a zásady zohlednění závažnosti konfliktů a závažnosti následku potenciální kolize. Pro hodnocení bezpečnosti odlišných typů křižovatek různého uspořádáním se osvědčila metoda USZ (jednotná úroveň závažnosti) s možností uplatnění váženého průměru podle výše ztrát z nehodovosti. Pro hodnocení bezpečnosti variantního návrhu křižovatky je vhodná metoda ICI (indexu konfliktnosti křižovatek) s určením závažnosti kolizí pomocí ukazatele MaxDeltaV.

Hodnocení bezpečnosti pomocí teorie konfliktních situací s analýzou modelových ukazatelů bezpečnosti má velký potenciál pro uplatnění v těchto dnes problémových případech:

- Bezpečnostní diagnóza návrhů rekonstrukcí stávajících křižovatek. Zejména v případě podregistrace nehodových záznamů (hlášení o nehodách mohou být nedostupná, informace mohou být nedostatečné nebo nespolehlivé).
- Vyhodnocení vlivu navržených opatření na bezpečnost provozu.

8. POUŽITÁ LITERATURA

- [1] *Národní strategie bezpečnosti silničního provozu 2011-2020* [online]. [vid. 22. prosinec 2013]. Dostupné z: <http://www.ibesip.cz/cz/besip/strategicke-dokumenty/narodni-strategie-bezpecnosti-silnicniho-provozu/nsbsp-2011-2020>
- [2] *ICTCT* [online]. [vid. 11. leden 2014]. Dostupné z: <http://www.ictct.org/>
- [3] GOLDSTEIN, L. G. Accident prevention research: what it takes who can do it. *Public health reports*. 1963, roč. 78, s. 565–567. ISSN 0094-6214.
- [4] BLUMENTHAL, M. Traffic accident prevention research as a system component. *Public health reports*. 1966, roč. 81, č. 6, s. 569–572. ISSN 0094-6214.
- [5] ARCHER, Jeffrey a KUNGL. TEKNISKA HÖGSKOLAN. *Indicators for traffic safety assessment and prediction and their application in micro-simulation modelling: a study of urban and suburban intersections* [online]. Stockholm, Sweden: Royal Institute of Technology, 2005 [vid. 18. prosinec 2013]. ISBN 9173231193 9789173231190. Dostupné z: www.diva-portal.org/diva/getDocument?urn_nbn_se_kth_diva-143-2__fulltext.pdf
- [6] LITTLE, Arthur D. *The state of the art of traffic safety; a critical review and analysis of the technical information on factors affecting traffic safety*. 1966.
- [7] SAUNIER, Nicolas. Introduction to Surrogate Analysis in Non-Motorized Safety [online]. 2013 [vid. 17. leden 2014]. Dostupné z: <http://grimes.mcgill.ca/content/documents/workshop/Lectures/Nicolas%20Saunier%20-%20lecture.pdf>
- [8] SOFIA DE AZEREDO LOPES a JOÃO LOURENÇO CARDOSO. *Accident Prediction Models for Rural Junctions on Four European Countries* [online]. final. 823137. B.m.: ERA-NET ROAD. 2011 [vid. 28. listopad 2013]. Dostupné z: http://rismet.swov.nl/Content/Report/RismetDeliverable6_1final.pdf
- [9] EL-BASYOUNY, Karim a Tarek SAYED. Safety performance functions using traffic conflicts. *Safety Science* [online]. 2013, roč. 51, č. 1, s. 160–164 [vid. 27. prosinec 2013]. ISSN 09257535. Dostupné z: doi:10.1016/j.ssci.2012.04.015
- [10] CHIN, Hoong-Chor a Ser-Tong QUEK. Measurement of traffic conflicts. *Safety Science* [online]. 1997, roč. 26, č. 3, s. 169–185 [vid. 27. prosinec 2013]. ISSN 0925-7535. Dostupné z: doi:10.1016/S0925-7535(97)00041-6
- [11] MIGLETZ, Donald J., K. M. BAUER, William D. GLAUZ, Midwest Research Institute (Kansas City MO.) a United States Federal Highway Administration Office of Safety and Traffic Operations Research and DEVELOPMENT. *Relationships Between Traffic Conflicts and Accidents: Final technical report*. B.m.: U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, 1985.

- [12] KLEBELSBERG, D. *Die Bedeutung von subjektiver und objektiver Sicherheit. In: Verkehrssicherheit. Fahrverhalten und die Bedeutung der Risikotheorien für die Sicherheit im Strassenverkehr.* Berlin: Daimler-Benz, nedatováno.
- [13] HYDÉN, C. *The Development of a Method for Traffic Safety Evaluation: The Swedish Traffic Conflicts.* bulletin 70. University of Lund: University of Lund, 1987.
- [14] SVENSSON, Åse. *A method for analysing the traffic process in a safety perspective* [online]. Lund, 1998 [vid. 11. leden 2014]. Lund University. Dostupné z: <http://www.dissertations.se/dissertation/2871c2c904/>
- [15] HYDÉN, Christer. *Traffic Conflict Techniques Theory and Practise.* In: *ICTCT's fifth International Course for Early Career.* Warsaw. 2011.
- [16] OECD. *ROAD SAFETY PRINCIPLES AND MODELS EXECUTIVE SUMMARY AND POLICY CONCLUSIONS.* Paris: ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. 1997.
- [17] OECD. *ROAD SAFETY PRINCIPLES AND MODELS: REVIEW OF DESCRIPTIVE, PREDICTIVE, RISK AND ACCIDENT CONSEQUENCE MODELS* [online]. Paris: ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. 1997. Dostupné z: <http://www.oecd.org/sti/transport/roadtransportresearch/2103285.pdf>
- [18] VIERA MEDELSKÁ. *Dopravné inžinierstvo.* Bratislava: Alfa, 1991. ISBN 800500737X.
- [19] KIM, KI-JOON a J. SUL. *Development of Intersection Traffic Accident Risk Assessment Model.* In: *4th IRTAD Conference* [online]. 2009 [vid. 28. listopad 2013]. Dostupné z: <http://www.internationaltransportforum.org/irtadpublic/pdf/seoul/6-Kim.pdf>
- [20] POKORNÝ, Petr a Radim STRIEGLER. *Metodika provádění bezpečnostní inspekce pozemních komunikací* [online]. B.m.: CDV. 2013. Dostupné z: <http://www.audit-bezpecnosti.cz/file/bezpecnostni-inspekce-pozemnich-komunikaci-metodika-provadeni/>
- [21] CHIN, Hoong Chor a Mohammed Abdul QUDDUS. *Applying the random effect negative binomial model to examine traffic accident occurrence at signalized intersections.* *Accident Analysis & Prevention* [online]. 2003, roč. 35, č. 2, s. 253–259 [vid. 4. leden 2014]. ISSN 0001-4575. Dostupné z: doi:10.1016/S0001-4575(02)00003-9
- [22] SMEED, R. J. *Some Statistical Aspects of Road Safety Research.* *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)* [online]. 1949, roč. 112, č. 1, s. 1–34 [vid. 3. leden 2014]. ISSN 0035-9238. Dostupné z: doi:10.2307/2984177
- [23] GREIBE, Poul. *Accident prediction models for urban roads.* *Accident Analysis & Prevention.* 2003, roč. 35, č. 2, s. 273–285.
- [24] LEUR, Paul de a Tarek SAYED. *Development of a Road Safety Risk Index.* *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*

- [online]. 2002, roč. 1784, č. -1, s. 33–42 [vid. 5. leden 2014]. Dostupné z: doi:10.3141/1784-05
- [25] DE LEUR, Paul a Tarek SAYED. A framework to proactively consider road safety within the road planning process. *Canadian Journal of Civil Engineering*. 2003, roč. 30, č. 4, s. 711–719. ISSN 03151468.
- [26] SAYED, Tarek a Sany ZEIN. Traffic conflict standards for intersections. *Transportation Planning and Technology* [online]. 1999, roč. 22, č. 4, s. 309–323 [vid. 5. leden 2014]. ISSN 0308-1060. Dostupné z: doi:10.1080/03081069908717634
- [27] CDV. *Sledování a vyhodnocování dopravních konfliktů (skoronehod)* [online]. [vid. 11. leden 2014]. Dostupné z: <http://konflikt.cdvinfo.cz/>
- [28] SÚKENNÍK, Peter a Tomáš APELTAUER. *Příručka pro tvorbu a hodnocení mikroskopických simulací (koncept)* [online]. koncept. B.m.: Af-CityPlan. 2013. Dostupné z: <http://www.af-cityplan.cz/cz/download/1404045094/?at=1>
- [29] GETTMAN, Douglas a Larry HEAD. *Surrogate Safety Measures From Traffic Simulation Models* [online]. Final Report October 2001 – January 2003. FHWA-RD-03-050. Siemens Gardner Transportation Systems 6375 E. Tanque Verde, Suite 170 Tucson, AZ 85715: Siemens Gardner Transportation Systems. 2003. Dostupné z: <http://www.fhwa.dot.gov/publications/research/safety/03050/>
- [30] SOBHANI, Amir, William YOUNG a Majid SARVI. A simulation based approach to assess the safety performance of road locations. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* [online]. 2013, roč. 32, s. 144–158 [vid. 26. listopad 2013]. ISSN 0968090X. Dostupné z: doi:10.1016/j.trc.2012.10.001
- [31] KŘIVDA, Vladislav. *Videoanalýza konfliktních situací jako nástroj pro snižování dopravní nehodovosti* [online]. B.m.: CDV. 2010. Dostupné z: <http://opvk.cdvinfo.cz/file/vyukove-materialy-analyza-dopravnich-nehod-a-konfliktu/>
- [32] DEPARTMENT OF TRAFFIC PLANNING AND ENGINEERING. *The Swedish Traffic Conflict Technique* [online]. B.m.: University Lund. 2012. Dostupné z: http://www.tft.lth.se/fileadmin/tft/dok/Brochure_ConflictTechnique.pdf
- [33] AMBROS, Jiří a Josef KOCOUREK. *Metodika sledování a vyhodnocování dopravních konfliktů* [online]. Brno: Centrum dopravního výzkumu, v.v.i., nedatováno. ISBN ISBN 978-80-86502-62-5. Dostupné z: <http://konflikt.cdvinfo.cz/file/certifikovana-metodika/>
- [34] TOPP, Hartmut H. *Traffic safety work with video processing*. B.m.: Fachgebiet Verkehrswesen, Univ., 1996.
- [35] JAMES, Ferryman. Multi-target Tracking Using on-line Viterbi Optimisation and Stochastic Modelling [online]. 2009 [vid. 11. leden 2014]. Dostupné z: <http://lup.lub.lu.se/record/1278549/file/1278553.pdf>
- [36] PLANUNG TRANSPORT VERKEHR AG. *VISSIM 5.40 - User Manual*. Karlsruhe, Germany: Planung Transport Verkehr AG, 2012.

- [37] HALKIAS, John a James COLYAR. *Next Generation SIMulation Fact Sheet* [online]. B.m.: FHWA. Dostupné z: <http://www.fhwa.dot.gov/publications/research/operations/its/06135/index.cfm>
- [38] GETTMAN, Douglas, Lili PU, Tarek SAYED a Steve SHELBY. *Surrogate Safety Assessment Model and Validation: Final Report* [online]. Final Report: September 2003–November 2007. FHWA-HRT-08-051. Siemens Energy & Automation, Inc. Business Unit Intelligent Transportation Systems 6375 E. Tanque Verde, Suite 170 Tucson, AZ 85715: Siemens Energy & Automation, Inc. Business Unit Intelligent Transportation Systems. 2008. Dostupné z: <http://www.fhwa.dot.gov/publications/research/safety/08051/index.cfm>
- [39] YOUNG, W. a J. ARCHER. The measurement and modelling of proximal safety measures. *Proceedings of the ICE - Transport* [online]. 2010, roč. 163, č. 4, s. 191–201 [vid. 2. leden 2014]. ISSN 0965-092X, 1751-7710. Dostupné z: doi:10.1680/tran.2010.163.4.191
- [40] HAUER, Ezra a Per GARDER. Research into the validity of the traffic conflicts technique. *Accident Analysis & Prevention* [online]. 1986, roč. 18, č. 6, s. 471–481 [vid. 12. leden 2014]. ISSN 0001-4575. Dostupné z: doi:10.1016/0001-4575(86)90020-5
- [41] SVENSSON, Ase. *A method for analysing the traffic process in a safety perspective* [online]. B.m.: Lund Institute of Technology, 1998 [vid. 5. leden 2014]. Dostupné z: <http://www.tft.lth.se/fileadmin/tft/dok/KFBkonf/6AseSvensson.pdf>
- [42] FAN, Rong, Wei WANG, Pan LIU a Hao YU. Using VISSIM simulation model and Surrogate Safety Assessment Model for estimating field measured traffic conflicts at freeway merge areas. *IET Intelligent Transport Systems* [online]. 2013, roč. 7, č. 1, s. 68–77 [vid. 27. listopad 2013]. ISSN 1751-956X, 1751-9578. Dostupné z: doi:10.1049/iet-its.2011.0232
- [43] HUANG, Fei, Pan LIU, Hao YU a Wei WANG. Identifying if VISSIM simulation model and SSAM provide reasonable estimates for field measured traffic conflicts at signalized intersections. *Accident Analysis & Prevention* [online]. 2013, roč. 50, s. 1014–1024 [vid. 26. listopad 2013]. ISSN 00014575. Dostupné z: doi:10.1016/j.aap.2012.08.018
- [44] APELTAUER, Tomáš, Petr HOLCNER a Jiří MACUR. Ověření některých modelů dopravního proudu. *Silnice železnice* [online]. 2009. ISSN 1803-8441. Dostupné z: <http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/overeni-nekterych-modelu-dopravniho-proudu/>
- [45] KOCOUREK, Josef. SLEDOVÁNÍ DOPRAVNÍCH KONFLIKTŮ JAKO SOUČÁST ANALÝZY BEZPEČNOSTI SILNIČNÍHO PROVOZU. In: [online]. B.m. Dostupné z: <http://konflikt.cdvinfo.cz/file/sledovani-dopravnich-konfliktu-jako-soucast-analyzy-bezpecnosti-silnicniho-provozu/>
- [46] KOCOUREK, Josef. Sledování dopravních konfliktů jako ukazatelů bezpečnosti dopravy [online]. 2010, roč. 2010. ISSN 1803-8441. Dostupné z: <http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/sledovani-dopravnich-konfliktu-jako-ukazatelu-bezpecnosti-dopravy/>

- [47] FOLPRECHT, J. Dosavadní vývoj a perspektivy metody sledování a hodnocení konfliktních situací v silničním provozu v ČR. *Silniční obzor*. nedatováno, roč. 2000.
- [48] KŘIVDA, Vladislav a Václav ŠKVAJN. Městské komunikace a křižovatky. *Městské komunikace a křižovatky Fast VŠB* [online]. Dostupné z: <http://kds.vsb.cz/mkk/>
- [49] LAURESHYN, Aliaksei, Åse SVENSSON a Christer HYDÉN. Evaluation of traffic safety, based on micro-level behavioural data: Theoretical framework and first implementation. *Accident Analysis & Prevention* [online]. 2010, roč. 42, č. 6, s. 1637–1646 [vid. 27. listopad 2013]. ISSN 0001-4575. Dostupné z: doi:10.1016/j.aap.2010.03.021
- [50] DAŇKOVÁ, Alena, Ondřej VALACH, Jan TECL a Ondřej GOGOLÍN. Výše ztrát z dopravní nehodovosti na pozemních komunikacích za rok 2012. *Observatoř bezpečnosti silničního provozu* [online]. 12. září 2013. Dostupné z: <http://www.czrso.cz/clanky/vyse-ztrat-z-dopravni-nehodovosti-na-pozemnich-komunikacich-za-rok-2012/>
- [51] SVENSSON, Åse a Christer HYDÉN. Estimating the severity of safety related behaviour. *Accident Analysis & Prevention* [online]. 2006, roč. 38, č. 2, s. 379–385 [vid. 2. leden 2014]. ISSN 00014575. Dostupné z: doi:10.1016/j.aap.2005.10.009
- [52] SOULEYRETTE, Reginald a Josh HOCHSTEIN. *Development of a Conflict Analysis Methodology Using SSAM*. Final Report. InTrans Project 10-376. Ames: Iowa Department of Transportation. 2012.
- [53] EVANS, Leonard. Driver injury and fatality risk in two-car crashes versus mass ratio inferred using Newtonian mechanics. *Accident Analysis & Prevention* [online]. 1994, roč. 26, č. 5, s. 609–616 [vid. 18. leden 2014]. ISSN 0001-4575. Dostupné z: doi:10.1016/0001-4575(94)90022-1
- [54] BAGDADI, Omar. Estimation of the severity of safety critical events. *Accident Analysis & Prevention* [online]. 2013, roč. 50, s. 167–174 [vid. 16. leden 2014]. ISSN 00014575. Dostupné z: doi:10.1016/j.aap.2012.04.007
- [55] EVANS, Leonard. Safety-belt effectiveness: The influence of crash severity and selective recruitment. *Accident Analysis & Prevention* [online]. 1996, roč. 28, č. 4, s. 423–433 [vid. 23. leden 2014]. ISSN 0001-4575. Dostupné z: doi:10.1016/0001-4575(96)00006-1
- [56] RAKHA, KRECHMER, CORDAHI, ZOHDY, SADEK a ARAFEH. *Microscopic Analysis of Traffic Flow in Inclement Weather* [online]. FHWA- JPO-09-066. 2009 [vid. 10. leden 2014]. Dostupné z: <http://ntl.bts.gov/lib/38000/38000/38026/sec4.htm>
- [57] FHWA. *SSAM - Surrogate Safety Assesment Model*. english. 2013.
- [58] NOVÁČEK, Jakub. *Bezpečnost provozu na silniční síti Pardubický kraj*. Praha, 2012. Diplomová práce. ČVUT.
- [59] MERTA, Jiri a Tomáš HAVLÍČEK. Doporučené hodnoty krtických mezer v programu VISSIM. In: *JUNIORSTAV 2011: JUNIORSTAV 2011* [online]. Brno: VUT Brno,

2011. Dostupné z:

http://www.fce.vutbr.cz/veda/JUNIORSTAV2011/pdf/2.3/Merta_Jiri_CL.pdf

- [60] AG, PTV Planung Transport Verkehr. *VISSIM 5.40 User Manual*. B.m.: epubli, 2012. ISBN 9783844214017.
- [61] SEZNAM.CZ. *OK III/32224 „U Globusu“* [online]. [ortofotomapa]. B.m.: www.mapy.cz. nedatováno. Dostupné z: www.mapy.cz
- [62] CDV a POLICIE ČR. *Jednotná dopravní vektorová mapa Policie ČR* [online]. Dostupné z: <http://maps.jdvm.cz/cdv2/apps/nehodynalokalite/Search.aspx>
- [63] CDV. *Nehodové lokality* [online]. 2008. Dostupné z: <http://infobesi.dopravniinfo.cz/app/>
- [64] NOVOTNÝ, Petr a Milan TESAŘ. *Pardubice - vodorovné dopravní značení III/32224: Situace dopravního řešení*. [map]. Měřítko 1:500. 2013.
- [65] BARTOŠ, Luděk. *TP 189 - Stanovení intenzit dopravy na pozemních komunikacích*. B.m.: EDIP s.r.o., 2007. ISBN 978-80-902527-7-6.
- [66] BARED, J. a Praveen K. EDARA. Simulated capacity of roundabouts and impact of roundabout within a progressed signalized road. In: *National Roundabout Conference: 2005 Proceedings. Transportation Research Board of the National Academies, Vail, USA* [online]. 2005 [vid. 10. leden 2014]. Dostupné z: <http://web.missouri.edu/~edarap/documents/Roundabout%20paper.pdf>
- [67] BARTOŠ, Luděk. *TP 234 - Posuzování kapacity okružních křižovatek*. B.m.: EDIP s.r.o., 2011. ISBN 978-80-87394-02-01.