

ČVUT v Praze, Fakulta dopravní

Ústav dopravní telematiky



Jiří Růžička

Integrace krizového řízení do modelu řízení dopravy

ve vytipované oblasti

Disertační práce

Praha 2021

## **Bibliografický záznam**

Růžička Jiří: Integrace krizového řízení do modelu řízení dopravy ve vytipované oblasti: disertační práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta dopravní, Ústav dopravní telematiky, 2021. Školitel disertační práce: doc. Ing. Tomáš Tichý, Ph. D., MBA

## **Abstrakt**

Disertační práce Integrace krizového řízení do modelu řízení dopravy ve vytipované oblasti rozvíjí myšlenku možnosti implementace krizového řízení dopravní oblasti prostřednictvím stávajících světelných signalizačních zařízení. V rešeršní části práce jsou shrnuty aktuální poznatky z oblasti řízení dopravy ve městě se zaměřením na hledání možností implementace krizového řízení v českých legislativních podmínkách. Následně práce navrhuje obecný metodický postup pro zavádění systémů krizového řízení pro městské oblasti s využitím stávajících SSZ a rozšířením jejich funkcionalit. Kromě zmíněného metodického postupu je rovněž navržena metodika hodnocení systému krizového řízení. Na vybrané vytipované oblasti, u níž autor disponuje bází znalostí a zkušeností, i dostatkem dopravně-inženýrských dat, je modelově ověřena reálná využitelnost navrženého metodického postupu a dále dochází k vyhodnocení přínosů, ale i potenciálních úskalí reálného zavádění systému krizového řízení s využitím SSZ v českých podmínkách.

## **Abstract**

The dissertation thesis Integration of crisis management into the traffic control model in the selected area develops the idea of implementation of crisis management of the traffic area by means of existing light signaling devices. The research part summarizes current knowledge from the field of traffic management in the city with a focus on finding possibilities of crisis management implementation in the Czech legislative conditions. Subsequently, the thesis proposes a general methodical procedure for the implementation of crisis management systems for urban areas using existing traffic lights and extending their functionalities. In addition to the mentioned methodological procedure, a methodology for the evaluation of the crisis management system is also proposed. In selected areas where the author has a knowledge and experience base as well as sufficient traffic-engineering data, the real usability of the proposed methodical procedure is modeled and the benefits as well as potential pitfalls of real implementation of the crisis management system using traffic lights in the Czech Republic are evaluated.

## **Poděkování**

Rád bych tímto upřímně poděkoval svému vedoucímu doc. Ing. Tomáši Tichému, Ph.D., MBA za odborné vedení disertační práce a čas, který mi na cestě studiem věnoval. Dále bych chtěl poděkovat svým kolegům, přátelům i všem rodinným příslušníkům, kteří mě na mé cestě studiem podporují.

## **Klíčová slova**

krizové řízení oblasti, řízení dopravního uzlu, světelné signalizační zařízení, dopravní model, integrace krizového řízení, dopravní simulace

## **Keywords**

crisis area management, traffic intersection management, traffic signaling, traffic model, crisis management integration, traffic simulation

## **Prohlášení**

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

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

V Praze dne .....

.....

Ing. Jiří Růžička

# Obsah

1	Úvod.....	1
1.1	Motivace.....	1
1.2	Struktura disertační práce.....	2
1.3	Definice základních pojmů užívaných v disertační práci.....	3
1.3.1	Základní pojmy z oblasti krizového řízení [1].....	3
1.3.2	Základní pojmy z oblasti řízení dopravy [2].....	5
1.4	Zvolené metody zkoumání.....	6
2	Rešerše trendů v oblasti řízení dopravy v ČR a zahraničí.....	7
2.1	Metody řízení dopravního uzlu a oblasti.....	7
2.1.1	Výzkum v oblasti řídicích systémů SSZ.....	9
2.2	Trendy a cíle v řízení dopravního uzlu a oblasti.....	15
2.2.1	Evropské srovnání.....	16
2.3	Krizové řízení jako část řízení dopravního uzlu a oblasti.....	17
2.3.1	Krizové řízení v oblasti vědy a výzkumu – rešerše.....	21
2.4	Přístupy k modelování silniční dopravy.....	22
2.4.1	Simulační SW pro modelování silniční dopravy.....	22
2.4.2	Vyhodnocení parametrů modelu – rozvaha.....	25
3	Návrh metodologie pro zavádění systému krizového řízení do současných systémů řízení dopravy 27	
3.1	Rozbor možných přístupů na základě stávající legislativy a zkušeností.....	27
3.1.1	Legislativa upravující problematiku krizového řízení na národní úrovni.....	28
3.1.2	Legislativa upravující řízení pomocí SSZ.....	29
3.2	Vlastní návrh obecné metodologie.....	31
3.2.1	Funkční pohled.....	32
3.2.2	Organizační pohled.....	41
3.2.3	Technologický pohled.....	44
3.3	Vyhodnocení přínosů navrženého systému.....	50
4	Návrh krizového řízení vytipované oblasti na základě navržené metodologie.....	53
4.1	Specifika vytipované oblasti.....	53
4.2	Sběr dopravně-inženýrských i jiných zdrojů dat o mimořádných situacích v oblasti.....	55
4.2.1	Dopravní excesy I. druhu – dopravní kongesce.....	56
4.2.2	Dopravní excesy II. druhu – dopravní nehody.....	56
4.2.3	Další zdroje dat o mimořádných situacích ve městech.....	57
4.3	Riziková analýza typů nebezpečí v posuzované oblasti.....	58

4.4	Identifikace klíčových komunikací a míst s častým výskytem dopravních excesů ve vytipované oblasti .....	59
4.5	Krizové řízení vytipované oblasti.....	63
4.5.1	Návrh konkrétních scénářů vzniku mimořádné situace v oblasti .....	63
4.5.2	Procesní návrh navedení vozidel na objízdné trasy.....	66
4.5.3	Doporučení pro instalaci technologií v oblasti .....	68
5	Ověření a zhodnocení návrhu .....	71
5.1	Vytvoření a vyhodnocení návrhu prostřednictvím dopravní simulace.....	71
5.1.1	Simulace v programu PTV VISSIM.....	73
5.1.2	Simulace v programu AIMSUN NEXT .....	77
5.2	Kritéria účelnosti zavedení krizového řízení a vyhodnocení kvantitativních a kvalitativních parametrů návrhu systému krizového řízení po jeho zavedení.....	83
5.2.1	Návrh kritérií účelnosti zavedení systému krizového řízení .....	83
5.2.2	Kvantitativní parametry hodnocení systému .....	84
5.2.3	Kvalitativní parametry hodnocení systému .....	85
5.3	Celková SWOT analýza návrhu integrace krizového řízení .....	87
6	Shrnutí a doporučení .....	90
	Zdroje .....	92
	Seznam zkratk .....	96
	Seznam tabulek .....	97
	Seznam obrázků .....	98
	Seznam příloh.....	100

# 1 Úvod

Úvodní kapitola je rozčleněna na 4 dílčí celky. V podkapitole 1.1 je komentována motivace této disertační práce včetně vytyčení cílů, které byly naplněny. Podkapitola 1.2 obsahuje podrobný komentář ke struktuře disertační práce. V následující podkapitole 1.3 jsou pro lepší orientaci čtenáře definovány základní pojmy užívané v této disertační práci. Poslední podkapitola 1.4 stručně popisuje použité metody zkoumání v rámci disertační práce.

## 1.1 Motivace

Řízení dopravy ve městech prostřednictvím světelného signalizačního zařízení (dále jen SSZ) je aktuální a neustále se vyvíjející součástí inteligentních dopravních systémů (dále jen ITS.) Stupeň automobilizace ve větších městech v České republice i v zahraničí se neustále zvyšuje, města tak hledají nové a efektivní způsoby řízení dopravy ve městech, a to jak na úrovni řízení oblastních celků, tak na úrovni řízení jednotlivých uzlů. Řídicí systémy silniční dopravy se v průběhu let vyvíjí a kromě řízení SSZ pomocí pevných signálních plánů a dynamického řízení s využitím dopravních senzorů města stále častěji sahají k adaptivním systémům řízení oblasti a k testování inovativních algoritmů řízení, či alternativních způsobů řízení, např. s využitím fuzzy logiky.

Inteligentní řízení dopravy tvoří jeden z pilířů systémů ITS, od nichž se všeobecně očekává naplnění celospolečenských přínosů, mezi něž lze jmenovat zejména zvýšení bezpečnosti dopravy, zvýšení plynulosti dopravy, snížení dopadů na životní prostředí a v neposlední řadě snížení celospolečenských ekonomických nákladů. Jakékoliv nové či nabízené řešení řízení dopravy musí dbát zřetelu na naplnění těchto očekávaných přínosů.

Tématem této disertační práce je integrace krizového řízení do modelu řízení ve vytipované oblasti. **„Krizovým řízením“ je v tomto kontextu myšleno řízení dopravy v případě vzniku mimořádné, resp. krizové situace nejen ve smyslu Zákona č. 240/2000 Sb., ale i ve smyslu vzniku dopravních excesů I. a II. druhu v oblasti řízení.** Ve zjednodušeném pohledu by disertační práce měla najít směr a cestu v odpovědi na otázku, jak implementovat krizové řízení do současných v praxi užívaných systémů oblastního řízení, aby tyto systémy pak mohly pružněji reagovat na mimořádné, resp. krizové situace. Snahou autora je, aby navržená řešení byla realizovatelná a technicky i organizačně proveditelná v dlouhodobém časovém horizontu. Protože je pro účely disertační práce nereálné pracovat s reálným systémem řízení dopravy v oblasti, všechny návrhy a ověření budou provedené v práci na dopravním modelu. Metodologie návrhu integrace krizového řízení do modelu řízení dopravní oblasti pak bude navržena zcela obecně, tak aby bylo možné ji přenést do jakékoliv jiné a další oblasti. Pro znázornění návrhu včetně jeho ověření ale bude vytipována konkrétní řízená oblast v České republice, pro kterou budou v práci vyhodnoceny celospolečenské přínosy navrženého řešení, ale i rizika, která mohou v případě zavádění podobných systémů nastávat. Vyhodnocení realizovatelnosti návrhu a celospolečenských přínosů proběhne na základě reálných dopravně-inženýrských dat z vlastních či jiných dostupných zdrojů, i na základě znalosti a zkušeností autora s vytipovanou oblastí.

**Hlavní cíl** disertační práce vyplývá už z jejího názvu a je to tedy **nalezení způsobu integrace krizového řízení do modelu řízení dopravy ve vytipované oblasti**, a to v ideálním případě tak, aby šel tento způsob řešení nebo alespoň jeho část přenést do jakékoliv jiné oblasti.

Základní dílčí cíle pak vyplývají z postupu a přístupu k řešení této práce, jmenovitě se jedná o cíle následující:

- Rešerše aktuálních trendů v oblasti řízení dopravy v ČR a zahraničí se zaměřením na řízení dopravy v případě vzniku mimořádných, resp. krizových situací;
- Návrh obecné metodologie pro zavádění systému krizového řízení do současných běžně užívaných systémů řízení dopravy v oblastech měst;
- Návrh systému krizového řízení pro vytipovanou oblast na základě navržené metodologie;
- Ověření a zhodnocení celospolečenských přínosů předchozích návrhů (tedy jak návrhu obecné metodologie, tak návrhu krizového řízení pro konkrétní vytipovanou oblast) v rámci reálných modelových možností, společně s teoretickým návrhem na budoucí hodnocení reálných přínosů.

K naplnění dílčích cílů je pochopitelně třeba konkrétních podrobných činností, které budou podrobněji komentovány v následujících kapitolách. Za předpokladu naplnění všech dílčích cílů na podobné rozlišovací úrovni pak dojde i k naplnění cíle hlavního.

## 1.2 Struktura disertační práce

Disertační práce je vypracována v následující struktuře:

Úvodní kapitola velmi stručně seznamuje čtenáře s motivací, cíli a strukturou této disertační práce. Dále jsou pro lepší přehlednost hned v první kapitole definovány základní pojmy užívané v této práci. Definice většinou vychází z příslušných zákonů, technických norem, technických podmínek, či jiných souvisejících předpisů a jsou autorem doplněny o širší souvislosti z oblasti řízení dopravy.

Druhá kapitola se jako celek zabývá rešerší trendů v oblasti řízení dopravy v ČR a zahraničí se zaměřením na řešení krizových, resp. mimořádných situací a je členěna na čtyři základní subkapitoly, a to konkrétně na následující: První podkapitola shrnuje metody řízení dopravního uzlu a oblasti v ČR i zahraničí. Dále následuje podkapitola, která se více zaměřuje na aktuální trendy a cíle v řízení dopravního uzlu a oblasti. Krizové řízení dopravy tvoří jeden z těchto trendů, a protože tímto trendem se disertační práce zabývá nejvíce, je mu vyčleněna samostatná podkapitola, která komentuje především aktuální stav ve světě, tedy zda se věda a výzkum touto problematikou zabývá a kam v současné chvíli v tomto ohledu dospěla. Poslední podkapitola druhé kapitoly pak nabízí přehled přístupů k modelování silniční dopravy a kromě přehledu aktuálních nástrojů, které se používají pro dopravní modelování, nabídne také rozvalu nad tím, které parametry z dopravních modelů lze zužitkovat pro vyhodnocení celospolečenských přínosů při zavádění nových funkcionalit do stávajících systémů řízení dopravy.

Třetí kapitola tvoří jádro této disertační práce. Na základě zohlednění aktuálních trendů v oblasti řízení dopravy a krizového řízení je v této kapitole navržena obecná metodologie pro integraci krizového řízení do současných systémů řízení pomocí SSZ. Návrh obecné metodologie je ryze vlastní, při čemž zohledňuje možné přístupy na základě stávající platné legislativy v českých podmínkách. Při návrhu obecné metodologie byl kladen důraz především na přenositelnost a technickou realizovatelnost systému. Poslední podkapitola třetí kapitoly pak shrnuje návrh vyhodnocení přínosů navrženého systému v modelovém měřítku.

Čtvrtá kapitola na základě obecné metodologie navržené v kapitole předcházející ověřuje použití této metodologie na reálném příkladu – vytipované oblasti. Pro účely disertační práce je touto zvolenou oblastí oblast širšího centra Uherského Hradiště. Kapitola je členěna na několik samostatných podkapitol, první z nich se zabývá specifiky vytipované oblasti. Druhá podkapitola pak podrobně komentuje sběr a zpracování dopravně-inženýrských dat z oblasti, které slouží pro přesnější návrh a jeho ověření. Třetí podkapitola pak popisuje návrh expertní báze znalostí, tedy scénářů mimořádných, resp. krizových situací, které mohou v dané oblasti nastat, a to včetně možnosti využití modulu pro výpočet

pravděpodobnosti rizika vzniku dopravních excesů, na němž se autor v rámci vědecko-výzkumné činnosti podílel. V poslední podkapitole je následně v návaznosti na metodologii navrženo konkrétní organizační a technické řešení pro krizové řešení v oblasti. Při tomto návrhu byly v průběhu řešení zjištěny i některé nedostatky metodologie, které byly postupně kalibrovány.

Pátá kapitola se zabývá ověřením a zhodnocením obou návrhů v předchozích dvou kapitolách, tedy jak návrhu obecné metodologie pro integraci krizového řízení do oblastního řízení pomocí SSZ, ale i konkrétního návrhu řešení pro vytipovanou oblast. Návrh řešení pro krizové řízení pro průtah městem Uherské Hradiště je modelově ověřen v simulačním prostředí PTV VISSIM a AIMSUN NEXT, závěry z vyhodnocení jsou komentovány v první podkapitole páté kapitoly. V druhé podkapitole je navržen způsob posouzení účelnosti zavedení systému krizového řízení pro vybranou oblast a následně shrnuto vyhodnocení všech kvantitativních a kvalitativních parametrů po jeho zavedení. A v poslední podkapitole páté kapitoly je provedeno manažerské shrnutí ve formě SWOT analýzy, která shrnuje výhody, nevýhody, příležitosti a hrozby návrhu integrace krizového řízení do současných SSZ a ke které jsou navrženy i možnosti podpoření příležitostí a možnosti eliminace hrozeb.

Shrnutí a doporučení v závěru disertační práce pak komentuje naplnění hlavního i dílčích cílů disertační práce a uvádí doporučení, která je vhodné zohledňovat při zavádění systémů krizového řízení do SSZ v českých legislativních podmínkách.

### 1.3 Definice základních pojmů užívaných v disertační práci

Níže lze nalézt soubor základních pojmů definovaných v této disertační práci. Tyto pojmy jsou rozděleny do dvou podkapitol, z nichž jedna se věnuje definici základních pojmů z oblasti krizového řízení. Zde jsou pojmy převzaty z [1] a zároveň *kurzívou* doplněny o souvislosti týkající se konkrétních aspektů systémů řízení dopravy ve městech. Druhá podkapitola se pak věnuje definici základních pojmů z oblasti dopravního inženýrství a návrhů světelných signalizačních zařízení ve městech. Tyto pojmy jsou převzaty z příslušných norem a technických podmínek [2] a jsou *kurzívou* doplněny o souvislosti týkající se konkrétních aspektů této disertační práce.

#### 1.3.1 Základní pojmy z oblasti krizového řízení [1]

**Normální situace** – rovnovážný stav soustavy řízení dopravy.

*V normální situaci je snahou navrhnout řízení tak, aby bylo co nejvíce efektivní jak z pohledu oblasti, tak z pohledu uzlu, takže se snažíme najít vhodnou optimalizaci řízení pro celospolečenský přínos:*

- Zkrácení cestovních dob tranzitní dopravy přes oblast;
- Zkrácení čekacích dob vozidel na jednotlivých uzlech;
- Snížení hluku a emisí v oblasti;
- Preference určitých skupin uživatelů (IZS, MHD).

**Mimořádná situace** – narušení rovnováhy dané soustavy. Vzniká v souvislosti s hrozcí nebo již nastalou mimořádnou událostí. Mimořádná situace může za určitých okolností přerůst v krizovou situaci.

*V mimořádné situaci (např. dopravní exces) je snahou zajistit řízení tak, aby bylo co nejvíce smysluplné a dopady pro celospolečenské ztráty byly minimální, jde nám především o:*

- Včasnou identifikaci dopravního excesu;
- Nalezení a rychlou aplikaci vhodného alternativního řešení řízení;



- *Schopnost rychlého obnovení provozu v oblasti omezené kongescí.*

**Krizová situace** – mimořádná událost, v jejímž důsledku se vyhláší stav nebezpečí, nouzový stav, stav ohrožení státu nebo válečný stav. Jsou při ní ohroženy důležité hodnoty, zájmy či statky státu a jeho občanů a hrozící nebezpečí nelze odvrátit a způsobené škody odstranit běžnou činností orgánů veřejné moci, ozbrojených sil a ozbrojených bezpečnostních sborů, záchranných sborů, havarijních a jiných služeb a právnických a fyzických osob.

*V krizové situaci jde z hlediska řízení dopravy pak především o následující cíle:*

- *Včasná identifikace krizové situace;*
- *Včasné spuštění systému krizového řízení;*
- *Zajištění nešíření krizové situace do oblasti a jejího okolí a znovuoobnovení bezpečnosti v oblasti.*

**Krizové řízení** – ucelený soubor postupů, metod a opatření, který věcně příslušné orgány a určené subjekty užívají při předcházení (analýza a vyhodnocení bezpečnostních rizik), přípravě (plánování, školení, nácviky, kontrola) a odezvě (operativní aplikace zpracovaných plánů odpovídající konkrétní situaci) na činnosti v krizových situacích.

**Stav nebezpečí** – může se vyhlásit jako bezodkladné opatření, jsou-li v případě živelní pohromy, ekologické nebo průmyslové havárie, nehody nebo jiného nebezpečí ohroženy životy, zdraví, majetek, životní prostředí nebo vnitřní bezpečnost a pořádek, pokud nedosahuje intenzita ohrožení značného rozsahu a není možné odvrátit ohrožení běžnou činností správních úřadů a složek integrovaného záchranného systému. Vyhláší se s uvedením důvodu na nezbytně nutnou dobu a pro celé území kraje nebo pro jeho část. Stav vyhláší hejtman (v Praze primátor). Stav nebezpečí lze vyhlásit na dobu nejvýše 30 dnů. Není-li možné odvrátit vzniklé ohrožení v rámci stavu nebezpečí, hejtman neprodleně požádá vládu o vyhlášení nouzového stavu.

**Nouzový stav** – může vláda vyhlásit v případě živelních pohrom, ekologických nebo průmyslových havárií, nehod nebo jiného nebezpečí, které ohrožuje ve značném rozsahu životy, zdraví nebo majetkové hodnoty anebo vnitřní pořádek a bezpečnost. V případě nebezpečí z prodlení může rozhodnout o vyhlášení nouzového stavu předseda vlády. Jeho rozhodnutí do 24 hodin od vyhlášení vláda schválí nebo zruší. Vláda o vyhlášení neprodleně informuje Poslaneckou sněmovnu ČR, která může vyhlášení zrušit. Nouzový stav nemůže být vyhlášen z důvodu stávkové akce vedené na ochranu práv a oprávněných hospodářských a sociálních zájmů.

*Pojem nouzového stavu je v současném roce 2020 poměrně aktuální, protože byl vládou po delší prodlevě v průběhu března vyhlášen z důvodu situace ohledně nemoci COVID-19. Ze zkušeností lze pak jednoznačně konstatovat, že vyhlášení způsobilo změny v řízení dopravy ve městech přímými i nepřímými vlivy. Kromě legislativních úprav týkajících se silniční dopravy či zrušení konceptu parkovacích zón po dobu nouzového stavu, dochází i k úpravám řízení pomocí SSZ, kdy byla pro omezení šíření nemoci omezena funkcionálna tlačítek pro chodce na křižovatkách SSZ, tedy i pružně upraveny jednotlivé signální plány na základě aktuální situace, které často měly ale negativní dopady do řízení, preference MHD apod. neboť došlo k trvalým nárokům chodců na SSZ, ačkoliv na křižovatkách žádný chodec nebyl. Ukazuje se tedy, že hlavní cíl této práce – systémová integrace krizového řízení do modelu řízení dopravy – přinese do budoucna potenciál vyšší připravenosti měst a obcí na podobné neočekávané situace.*

**Stav ohrožení státu** – vyhláší Parlament ČR na návrh vlády, je-li bezprostředně ohrožena svrchovanost nebo územní celistvost státu anebo jeho demokratické základy; k vyslovení tohoto stavu je třeba souhlas nadpoloviční většiny všech poslanců a senátorů.

**Válečný stav** – může vyhlásit Parlament ČR, je-li Česká republika napadena agresorem, nebo je-li třeba plnit mezinárodní smluvní závazky o společné obraně proti napadení. Podmínky určuje a jeho vyhlášení upravují čl. 39 odst. 3 a čl. 43 odst. 1 Ústavního zákona č. 1/1993 Sb.

*Řešení řízení dopravy v případě stavu ohrožení státu a válečného stavu je zatíženo velkou mírou neurčitosti, a to zejména z důvodu, že tyto stavy v aktuálních podmínkách intenzit dopravy a při aktuálním počtu světelných signalizačních zařízení nikdy vyhlášeny nebyly. To však není důvodem tyto stavy podceňovat a řešení vůbec nehledat, ale spíše zvážit potencionální rizika, která mohou v těchto stavech nastat a hledat vhodná opatření z hlediska řízení SSZ k jejich eliminaci. V principu se předpokládá řešení vypínáním křižovatek nebo jejich řízení příslušnými složkami policie a armády přímo na křižovatkách.*

### 1.3.2 Základní pojmy z oblasti řízení dopravy [2]

**Světelné signalizační zařízení** – Soustava zařízení sloužící k řízení dopravy pomocí světelných signálů.

**Signál** – Příkaz nebo informace udávaná návěstidlem pomocí signálních obrazů.

*Základními druhy signálu, se kterými je v práci pracováno, jsou signály uvedené ve výčtu níže. V souvislosti s krizovým řízením se pak práce zamýšlí, jak tyto využít nebo modifikovat.*

**S1** – Tříbarevná soustava s plnými signály (signálními obrazy na signální ploše s plnými kruhovými světelnými poli).

**S2** – Tříbarevná soustava se směrovými signály.

**S3** – Tříbarevná soustava s kombinovanými směrovými signály.

**S4** – Signál žlutého světla ve tvaru chodce (umístěný vedle signálu se zeleným směrovým signálem pro odbočení, případně i před přechodem, jehož se týká) upozorňuje řidiče, že křížuje směr chůze přecházejících chodců. Nepřerušovaně i přerušovaně svítící signál má stejný význam.

**S5** – Doplnková zelená šipka (umístěná vedle signálu s červeným světlem Stůj!) – svítí-li současně s červeným nebo žlutým světlem, umožňuje pokračovat v jízdě příslušným směrem, řidič však musí dát přednost vozidlům ve volných směrech a nesmí omezit ani ohrozit přecházející chodce.

**S6** – Signál pro opuštění křižovatky (tzv. vyklizovací šipka, umístěná v protilehlém rohu křižovatky). Je-li signál umístěný v protilehlém rohu křižovatky, neplatí pro odbočování vlevo povinnost dát přednost v jízdě protijedoucím motorovým i nemotorovým vozidlům, jezdcům na zvířeti, protijedoucím organizovaným útvarům chodců a průvodcům hnaných zvířat se zvířaty, tramvajím jedoucím v obou směrech a vozidlům jedoucím ve vyhrazeném jízdním pruhu, pro něž je tento jízdni pruh vyhrazen.

**S7** – Přerušované žluté světlo. Signál je ve tvaru plného světla, může být i ve tvaru signálu „Signálu žlutého světla ve tvaru chodce“, „Signálu pro cyklisty „Pozor!““ nebo „Signálu pro chodce a cyklisty „Pozor!““ v případě, že je nutno zvlášť upozornit na přecházející chodce anebo přejíždějící cyklisty ve volném směru.

**Signální plán** – Program řízení SSZ.

*Signální plány mohou být pro různé řízené oblasti, resp. uzly odlišné. Kompletní výčet možných způsobů řízení lze najít v kapitole 2. V souvislosti s krizovým řízením se předpokládají modifikace signálních plánů na základě připravených scénářů se vznikem mimořádných, resp. krizových situací.*

**Fáze** – Interval, kdy jeden či více dopravních proudů (nekolizních) mají signál volno.

**Fázový sled** – Posloupnost jednotlivých fází v rámci jednoho cyklu SSZ.

**Cyklus** – Čas potřebný pro kompletní přechod posloupnosti světelných signálů do výchozího stavu.

*Úpravou skladby fází, doby fází, či délky cyklu lze řízení křižovatky modifikovat v souvislosti s krizovým řízením.*

## 1.4 Zvolené metody zkoumání

Před stanovením výzkumných cílů uvedených v úvodu disertační práce byla vytvořena přehledová studie (review) v oblasti výzkumu telematických systémů pro řízení dopravy, v tomto bodě byla použita metoda vyhledávání a deskripce. Po konzultaci se školitelem i s využitím jeho letitých zkušeností z praxe v soukromé firmě se stala výzkumným záměrem celé práce konkrétně oblast krizového řízení, která je definována v [1], avšak nezaměřuje se zde primárně na řízení dopravy. Logickou metodou dedukce bylo stanoveno chápání kontextu krizového řízení v oblasti řízení SSZ pro tuto práci a byl stanoven hlavní cíl práce.

Metodou brainstormingu v rámci obecné rozpravy na školícím pracovišti byly následně zpřesněny dílčí cíle práce a předpokládaný postup práce. Ten byl chronologický, zpravidla deduktivní, kdy snahou bylo nejdříve odvodit logické souvislosti z nabytých poznatků a zkušeností a tyto následně ověřit na konkrétním modelu. Na systém krizového řízení je v práci hleděno jako na měkký systém vyznačující se charakteristickými vlastnostmi, proto byla při návrhu metodologie zavedení systému v českých podmínkách použita již existující metodologie Akčního výzkumu podle Jenkinse [15]. Jednotlivé modelové varianty křižovatek pro účely krizového řízení pak byly určeny empiricky a doplňovány o získané poznatky v průběhu času. Pro dílčí činnosti v rámci návrhu obecné metodologie pak byly použity nástroje polokvantitativní metody analýzy rizik a neuronových sítí.

Dále byla využita metoda experimentu. Na vybraném konkrétním příkladu městské oblasti byl proveden návrh systému krizového řízení a všech jeho součástí na základě předchozí navržené obecné metodologie. Účel byl v tomto směru ověřit, zda je navržená metodologie smysluplná pro konkrétní návrh a pokud vykazuje odchylky, tak dospět k jejich odstranění. V podstatě návrh systému krizového řízení pro konkrétní oblast zastupuje v tomto smyslu kalibrační model pro navrženou obecnou metodologii. V této fázi řešení byla použita metoda logické indukce, tedy zobecňování konkrétních poznatků z experimentu. Výsledný návrh byl ověřen pomocí mikrosimulace, v tomto případě se jedná tedy opět o metodu experimentu, ale opakovaného a tudíž statisticky vyhodnotitelného pro vybrané parametry modelu.

V poslední fázi byla použita opět metoda logické dedukce, kde všechny výsledky předchozího zkoumání byly kompletně shrnuty. Vzhledem k tomu, že během realizace práce vyvstaly důležité otázky ohledně praktické realizace návrhu samotného, jsou tyto přehledně jmenovány dle zásad projektového řízení v rámci metody SWOT analýzy. V závěru dochází ke komentáři k naplnění hlavního cíle a dílčích cílů, které byly v této práci stanoveny.

## 2 Rešerše trendů v oblasti řízení dopravy v ČR a zahraničí

Druhá kapitola je rešeršní, shrnuje tedy již existující nalezené poznatky z odborných zdrojů a současného výzkumu a vývoje z oblasti řízení dopravy, a to především za účelem získání bohatého obrazu o současné skutečnosti v ČR a v zahraničí. Pro čtenáře v problematice se neorientující vysvětluje principy běžně užívaných, ale i méně užívaných způsobů řízení dopravního uzlu pomocí SSZ a shrnuje aktuální trendy a cíle v této oblasti, následně se zaměřuje na pojem krizového řízení a jeho zařazení do současných konceptů řízení oblastí a uzlů, nakonec pak shrnuje základní přístupy k dopravnímu modelování, jakožto nástroje pro ověřování nových návrhů řízení dopravy. Čtenář znalý této problematiky může přejít rovnou ke kapitole 3. Poznatky z druhé kapitoly budou reflektovány ve vlastním návrhu v dalších částech práce.

### 2.1 Metody řízení dopravního uzlu a oblasti

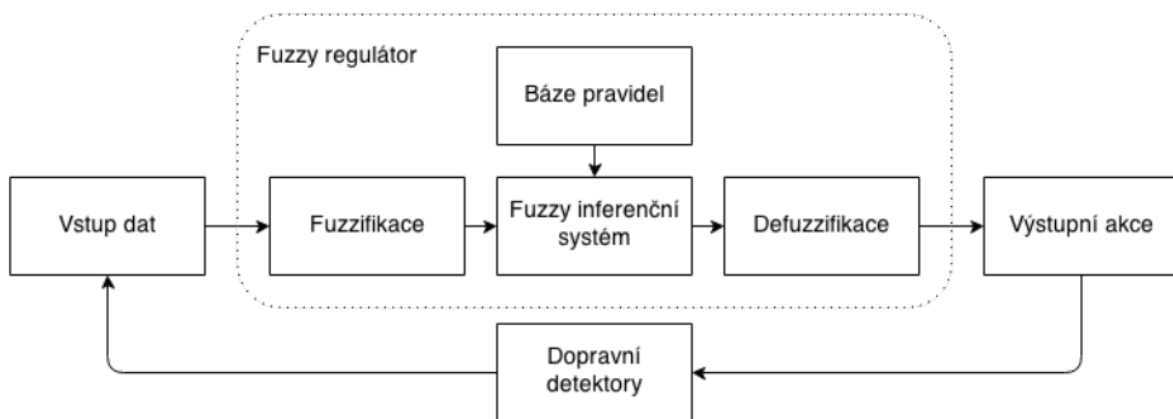
Jedním z hlavních systémů řízení dopravy ve městech je řízení pomocí SSZ [3]. Toto řízení za určitých předpokladů, které je nutné vždy zvážit, může zvýšit kapacitu křižovatek, přispět k větší plynulosti a bezpečnosti dopravy. V zásadě rozlišujeme dva základní systémy řízení pomocí SSZ, a to řízení pomocí pevného signálního plánu pro danou křižovatku či oblast a dynamické řízení křižovatek. Tyto dva základní systémy řízení jsou běžně aplikovány v reálném provozu. Kromě toho mohou být křižovatky řízeny i alternativními způsoby, mezi něž můžeme zařadit např. fuzzy řízení, adaptivní řízení, řízení s využitím Petriho sítí nebo řízení s použitím neuronových sítí. Alternativní způsoby řízení již nejsou běžně aplikovány v reálném provozu, což bude způsobeno pravděpodobně jejich nižší přenositelností. Níže naleznete soupis metod řízení dopravního uzlu s uvedením jejich principů a možného využití:

- **Řízení SSZ pevnými signálními plány** - hlavní výhodou pevných signálních plánů je, že přesně víme rozložení jednotlivých signálů v čase, tudíž se toto řízení hodí, chceme-li například zkoordinovat několik po sobě jdoucích křižovatek v dané oblasti. Nevýhodou je, že řízení nereaguje na aktuální změny v dopravě, tudíž se může stát, že některá z fází proběhne zcela zbytečně a tím se zdrží vozidla v dané křižovatce či oblasti.
- **Řízení SSZ dynamickými signálními plány** - dynamické signální plány umožňují okamžitě reagovat na aktuální stav dopravy. Jednotlivé fáze se dají v tomto řízení prodlužovat (do daného maximálního času fáze), je možné vložit fázi na výzvu či některou z fází v případě potřeby vynechat. Toho se využívá hodně například při preferenci MHD nebo v okamžicích, kdy se začínají tvořit dopravní kongesce. Mezi nejčastější úkony pojící se k dynamickým signálním plánům patří:
  - Přizpůsobování doby signálu volno;
  - Proměnné pořadí fází;
  - Vkládání fáze na výzvu;
  - Změna skladby fáze okamžitým doplněním nekolidního volna do probíhající fáze;
  - Volná tvorba signálního plánu.
- **Adaptivní řízení SSZ** - pro adaptivní řízení je charakteristické, že porovnává vstupní a výstupní veličiny a adaptuje řízené veličiny podle těchto hodnot tak, aby kvalita procesu zůstala zachována nebo aby se dokonce zvětšovala. Nutnou podmínkou je, že existuje část identifikační (měřící), která shromažďuje a vyhodnocuje informace o změnách v systému a dále existuje část druhá řídicí část, která realizuje potřebné zásahy tak, aby bylo dosaženo stanoveného optima.

Pokud systém pouze zachovává udanou kvalitu, jedná se o adaptivní systém, pokud ale tuto kvalitu zvyšuje, jedná se o systém s učením. Základní systém je tvořen řízeným objektem, na který působí řídicí člen v otevřené smyčce. Adaptivní regulace využívá principu zpětné vazby. Obvyklým prostředkem pro vyhodnocení informací o procesu řízení je dopravní počítač s dopravním modelem, který dostává informace o charakteru vstupních veličin a o hodnotách řízeného procesu. Na základě těchto informací mění konstanty řídicího členu (délka cyklu, délka fáze, koordinační vazby atd.), popřípadě dochází ke změně celého algoritmu řízení.

- **Fuzzy řízení SSZ [4]** - dalším alternativním způsobem řízení SSZ je použití fuzzy logiky, tedy nástroje pro matematický popis vágních či těžko popsatečných dějů. Využití fuzzy logiky se jeví pro řízení SSZ jako vhodné. Existuje zde totiž způsob, jak jazykovou řídicí strategii převést do řídicího algoritmu. Fuzzy logika má tu vlastnost, že dokáže „porozumět“ jazykovým instrukcím a ty přenést do zmíněné kontrolní strategie založené na verbální komunikaci. Motivací pro návrh a použití fuzzy systému řízení je přímá souvislost mezi jazykovým výrazem regulační strategie a možným ručním řízením SSZ: např. policista řídící SSZ odhaduje délku kolony vozidel ve smyslu velmi *krátká*, *středně krátká*, *krátká* atd. Fuzzy logika nám nabízí jazyk s vlastní syntaxí a sémantikou, který nám umožňuje bezprostřední použití kvalitativně formulovaných zkušeností a znalostí o řešeném problému. Je ale zřejmé, že pro vytváření řídicího vstupu je nutná určitá odborná znalost a zkušenosti s návrhem světelné signalizace pro úrovnňovou křižovatku.

Na Obrázku 1 je možné vidět obecné schéma fuzzy řízení křižovatky. Reálně naměřená vstupní data (např. délka kolony, počet aut přijíždějících ke křižovatce v době zeleného signálu) nejprve projdou fuzzifikací, tzn. převedením na jazykové proměnné, se kterými se následně lépe pracuje. Následně tato data projdou fuzzy inferenčním systémem modelu, a to podle pravidel uložených v bázi pravidel. Nakonec dochází k procesu defuzzifikace a použití některé z metod uvedených v předchozí kapitole a k výstupní akci, tzn. např. prodloužení doby signálu volno v hlavním směru, změně fází atp.



Obrázek 1 Obecné schéma fuzzy řízení křižovatky [5]

- **Řízení SSZ pomocí Petriho sítí [6]** - v případě izolovaných dopravních uzlů přichází v úvahu také řízení SSZ pomocí Petriho sítí. Petriho sítě hrají významnou roli v případech modelování diskrétních systémů. Jejich výhodou je srozumitelný grafický zápis a možnosti simulace s dobrou formální analyzovatelností. Model je popsán místy, která obsahují stavovou informaci ve formě tokenů, přechody, které vyjadřují možné změny stavu, a hranami, které propojují místa a přechody navzájem. Existuje celá řada typů Petriho sítí a jejich speciálních podtříd, až po

vysokoúrovňové (High-Level Petri nets) a barevné sítě. Právě použití barevných Petriho sítí se uplatňuje v aktuálním výzkumu.

- **Řízení SSZ pomocí umělých neuronových sítí** - neuronové sítě patří k metodám vědy a výzkumu pro nelineární a stochastické systémy, sloužící k modelování komplexních systémů v umělé inteligenci. Problematika jejich využití v dopravě, která je stochastická, má potenciální vědecké uplatnění a v budoucnu lze očekávat její rozvoj a využitelnost v praxi.
- **Agentní systémy** – Další rozvíjející se metodou v oblasti řízení dopravy je využití agentních systémů. Tyto systémy jsou založeny na agentech, kteří umí samostatně pracovat. Agent vnímá prostředí pomocí senzorů a samostatně pracuje tak, aby vyhověl stanoveným požadavkům.
- **Genetické algoritmy** – Stále častější využití má pak heuristický postup, který se snaží aplikovat přístupy evoluční biologie pro řešení složitých problémů, a to využití metody genetických algoritmů a genetického programování. Genetické algoritmy se využívají pro četné optimalizační úlohy.

### 2.1.1 Výzkum v oblasti řídicích systémů SSZ

V následujícím textu dochází ke shrnutí poznatků z dosavadního výzkumu jednotlivých metod řízení dopravy.

#### Dynamické řízení

Dynamické řízení dopravního uzlu je již poměrně standardně aplikováno v mnoha zemích, články se tedy zabývají spíše zvláštnostmi a optimálním návrhem pro jednotlivé konkrétní dopravní uzly, než vědeckým bádáním v oblasti dynamického řízení. Problémem zůstává, jakým způsobem zajistit plynulost dopravy ve větší oblasti, kde je dynamické řízení aplikováno, protože dynamické řízení se nehodí oblastí, kde je potřeba koordinovat dopravu v hlavních směrech. V rámci dynamického řízení se aktuální výzkum často zaměřuje na nové algoritmy řízení, které preferují složky integrovaného záchranného systému, jako příklad lze uvést článek [49], nebo také na zefektivnění stávajících dynamických plánů na základě dat z plovoucích vozidel [50].

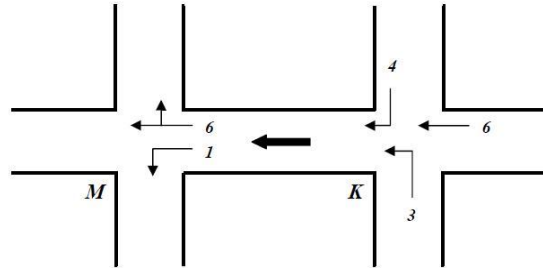
#### Adaptivní řízení

Jak již je naznačeno v úvodu kapitoly 2, jednou z nevýhod dynamického řízení je, že se nehodí pro dopravní oblasti, kde se vyskytuje více křižovatek se SSZ v těsné blízkosti, které je nutno zkoordinovat. O částečné odstranění této nevýhody se snaží současná věda, a to návrhy adaptivních řídicích algoritmů pro řízení dopravních sítí. Zde se objevuje konkrétní algoritmus v disertační práci studenta Kalifornské university [7].

Algoritmus je navržený tak, aby byl aplikovatelný na současně existující síť s křižovatkami s dopravně závislým řízením. Data o časovém rozložení jednotlivých signálů a pořadí fází jsou plně využitelná k odvození informací, které slouží k predikci budoucího dopravního proudu pro každou fázi na dané křižovatce. Cílem optimalizace řízení je minimalizace kumulativní fronty vozidel (ekvivalent k minimalizaci celkového zdržení), dílčím cílem pak optimalizace čtyř základních parametrů řízení (fázový sled, minimální doba zelené, maximální doba zelené, jednotkové prodloužení v sekundách) na základě predikovaného budoucího dopravního proudu vozidel pro každou fázi.

Phase Sequence

1	←	2	→	3	↙	4	↓
5	↘	6	←	7	↘	8	↑

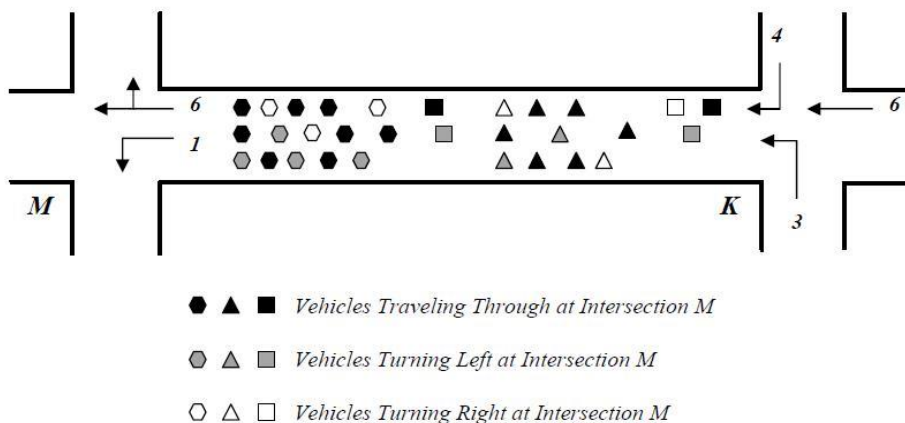


Obrázek 2 Modelování dopravního proudu mezi dvěma křižovatkami [7].

Na Obrázku 2 lze vidět ukázkový příklad fungování algoritmu na dvou po sobě následujících křižovatkách K a M. Predikční model dopravního proudu slouží k:

- Odhadu hodnoty průměrné intenzity vozidel v dopravním proudu blížícím se ke křižovatce M na základě počtu vozidel opouštějících předcházející křižovatku K v různých fázích;
- Odhadu podílu odbočujících vozidel pro každou fázi na základě dopravního proudu vozidel, která přijela ke křižovatce M v předchozích cyklech;
- Stanovení hodnoty budoucího dopravního proudu pro každou fázi, která vznikne vynásobením hodnot vyjmenovaných odhadů.

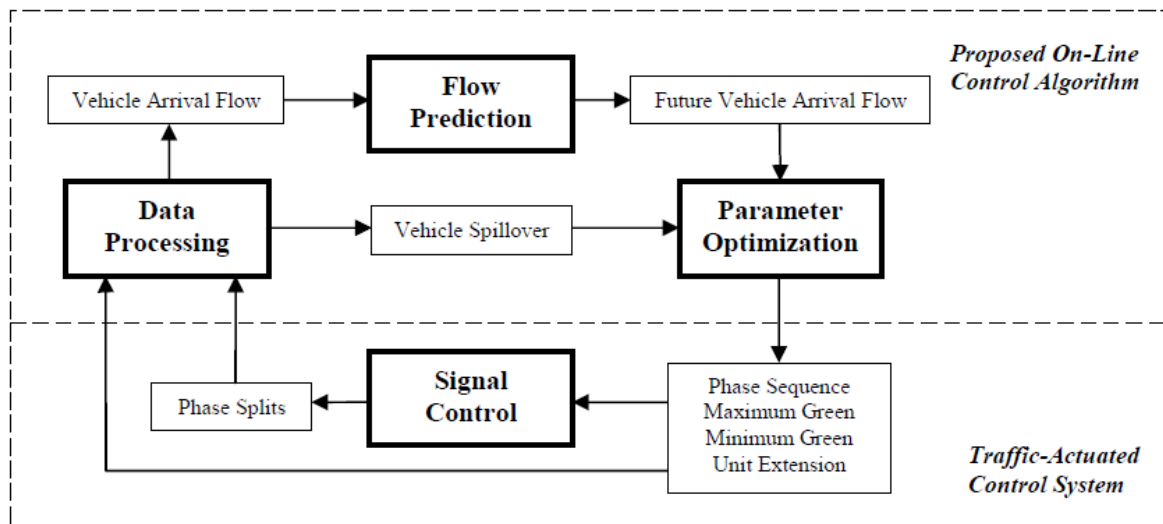
Pro modelování vstupu vozidel pro každý směr na křižovatce M se předpokládá Poissonovský vstupní tok reprezentující náhodnost dopravy. S ohledem na to, že hodnota podílu odbočujících vozidel je stochastická, se předpokládá, že vozidla odbočující vpravo, vlevo, či jedoucí rovně jsou náhodně distribuovaná v každé vozidlové skupině. Situaci ilustruje Obrázek 3 níže. Šestiúhelník označuje vozidla přijíždějící do křižovatky M z fáze 6 na křižovatce K, čtverec vozidla přijíždějící z fáze 4 a trojúhelník vozidla přijíždějící z fáze 3. (Upozornění: V USA je povoleno pravé odbočení na červený signál.)



Obrázek 3 Poissonovský vstupní tok pro modelování vstupu vozidel [7].

## Optimalizační proces

Optimalizační proces znázorněný na Obrázku č. 4 obsahuje čtyři hlavní moduly. Zpracování dat, predikci dopravního proudu, optimalizaci parametrů a vlastní řízení. První tři moduly korespondují s prvními třemi kroky uvedenými v předchozí podkapitole, kromě toho, že průtok vozidel z každé fáze je také využitelný jako další vstup pro krok 3. Čtvrtý modul odpovídá řídicímu systému, který uplatňuje optimalizované řídicí parametry z kroku 3. Výsledné rozdělení fází bude použito jako vstup pro krok 1 v další iteraci.



Obrázek 4 Schéma optimalizačního procesu [7]

## Testování navrženého algoritmu

Navržený adaptivní algoritmus byl testován na reálné dopravní síti v jižní Kalifornii, zvané „Irvine Triangle,“ a to v simulačním prostředí PARAMICS. Jedná se o síť s celkem 38 křižovatkami, řízených pomocí dopravně závislého řízení. Pro srovnání stávajícího a nově navrženého způsobu řízení byla použita data z předchozí studie. Vyhodnocen byl jak vliv adaptivního algoritmu na celou síť, tak jeho vliv na jednotlivé křižovatky.

Z Obrázku 5 lze vyčíst nezanedbatelné přínosy pro celou síť. Byly vypracovány 3 scénáře, jeden pro hodnoty intenzit vozidel z ranní špičky, druhý pro 75 % hodnot intenzit ranní špičky, třetí pro 50 % hodnot intenzit ranní špičky. Z tabulky lze vyčíst, že pro všechny tři scénáře se hodnoty průměrné

	Average Travel Time (second)	Average Vehicle Speed (mile/h)	Vehicle Mileage Traveled (mile)	Vehicle Hour Traveled (hour)
<b>Scenario 1</b>				
Actuated	344.3	43.9	760920.0	17367.6
Adaptive	328.3	46.0	762533.7	16720.0
Improvement (%)	4.6	4.8	0.2	3.7
<b>Scenario 2</b>				
Actuated	257.0	59.1	575585.6	9788.2
Adaptive	252.5	59.7	576074.3	9670.4
Improvement (%)	1.8	1.0	0.1	1.2
<b>Scenario 3</b>				
Actuated	249.5	60.9	382327.4	6284.3
Adaptive	248.2	61.2	382675.2	6262.9
Improvement (%)	0.5	0.5	0.1	0.3

Obrázek 5 Vyhodnocení přínosů pro celou síť [7].



cestovní doby snížily, což znamená zlepšení v řádu jednotek procent, průměrná rychlost vozidel se naopak zvýšila.

Dále byla v posuzované síti vybraná jedna křižovatka, na níž bylo porovnáno adaptivní a původní dynamické řízení z hlediska parametrů maximální délky fronty a celkového zdržení v křižovatce. Z Obrázku 6 lze vyčíst přínosy pro tuto křižovatku, a to pro scénář 1 (hodnoty intenzit v ranní špičce). Výrazné zlepšení lze vypočítat u parametrů maximální délky fronty, je důležité, že ono zlepšení není pouze pro jednu fázi na úkor druhé, ale pro každou fázi. Maximální délka fronty se snížila o přibližně 9 metrů. Stejně pozitivní výsledky byly zaznamenány i pro celkové zdržení v křižovatce, a to především pro fázi 4.

	Vehicle Spillover (number)	Maximum Queue Length (feet)	Vehicle Travel Delay (second)
<i>Phase 2</i>			
Actuated	29	77.1	683.4
Adaptive	20	53.5	595.0
Improvement	9	23.6	88.4
<i>Phase 4</i>			
Actuated	19	60.1	378.4
Adaptive	10	58.6	246.1
Improvement	8	1.5	132.3
<i>Phase 6</i>			
Actuated	0	23.0	379.9
Adaptive	0	19.2	365.8
Improvement	0	3.8	14.1
<i>Overall</i>			
Actuated	48	160.2	1441.7
Adaptive	30	131.3	1206.9
Improvement	18	28.9	234.8

Obrázek 6 Vyhodnocení testu pro jeden z vybraných uzlů [7]

## Fuzzy řízení

Jedna z odborných publikací [8] popisuje návrh dvouvrstvého fuzzy řídicího systému pro přetíženou dopravní síť v případě dopravní kongesce. Předpokladem řešené dopravní oblasti je kompaktní centrální oblast, kde intenzity dosahují vysokých hodnot a hrozí zde tudíž možnost vzniku dopravních kongescí. Navržený fuzzy algoritmus proti dopravním zácpám sleduje dva hlavní cíle. Prvním cílem je minimalizovat zpoždění vozidel a druhým cílem je zabránit vzniku dopravních kongescí. První vrstva fuzzy algoritmu posuzuje stav dopravy v řešené síti a druhá vrstva algoritmu má za úkol řídit SSZ na každé křižovatce. Zajímavostí je využití okrajových křižovatek dopravní sítě k regulaci počtu vjíždějících vozidel do vnitřní oblasti změnou směřování vozidel. Výsledkem výzkumu bylo prokazatelné snížení pravděpodobnosti přetížení dopravní sítě.

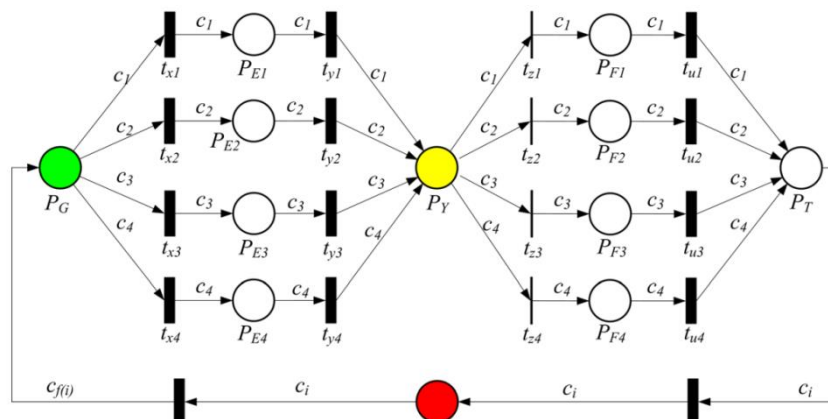
Další zajímavý řídicí systém SSZ představili autoři ve svém článku z roku 2007 [9]. Navržený systém řízení obsahuje evoluční algoritmus, který generuje neoptimalnější fuzzy bázi pravidel. Evoluční algoritmus pracuje s reálnými naměřenými daty. Pokročilý systém řízení autoři aplikovali na samostatnou čtyřramennou průsečnou křižovatku obsahující řadicí pruhy pro přímý směr a pravé odbočení. Levé odbočení bylo řešeno pouze na jednom rameni křižovatky, a to jako samostatný bypass. Systém řízení byl navržen s ohledem na bezpečnost a kvalitu provozu, kdy vlastní výkonnost řídicího algoritmu byla definována pomocí „fitness“ funkce. Fitness funkce, nazývejme ji například výkonová funkce, byla v systému definována jako průměrný ztrátový čas všech vozidel za definované časové období.

Řídicí systémy pomocí fuzzy logiky v modelovém měřítku lze najít i v nejnovějších publikacích, jako příklad lze uvést [43], kde autoři porovnávají na stejném typu modelové křižovatky řízení pomocí pevných signálů, fuzzy řízení a také řízení pomocí Ackermannova vzorce a vyhodnocují v mikrosimulačním prostředí SUMO, jaké řešení bude nejméně emisně zátěžové a také, při kterém bude docházet k nejmenším zpožděním vozidel.

### Řízení pomocí Petriho sítí [6]

V roce 2016 vyšel článek o využití barevných Petriho sítí pro optimalizaci řízení dopravního uzlu, kde byla navržena hybridní Petriho síť modelující křižovatku se SSZ ve městě, která se skládá z modulu řízení signálů a modulu dopravního proudu. Hybridní barevná Petriho síť je definována jako:

$HCPN = (P, T, Co, Pre, Pos, S, h, M)$ , kde  $P$  značí množinu míst,  $T$  značí množinu přechodů,  $Co$  značí množinu použitých barev,  $h$  je hybridní funkce, která umožňuje indikovat, zda je daný typ uzlu diskrétní nebo spojitý,  $Pre$  vyjadřuje vztah mezi místem a následujícím přechodem,  $Pos$  vyjadřuje vztah mezi místem a předcházejícím přechodem,  $M$  je vektor obsazení tokeny a v neposlední řadě  $S$  je funkce, která převádí přechody na reálná čísla. Ukázka modelu je pak znázorněna na obrázku níže.



Obrázek 7 Ukázka modelu řízení dopravy pomocí barevných Petriho sítí [6]

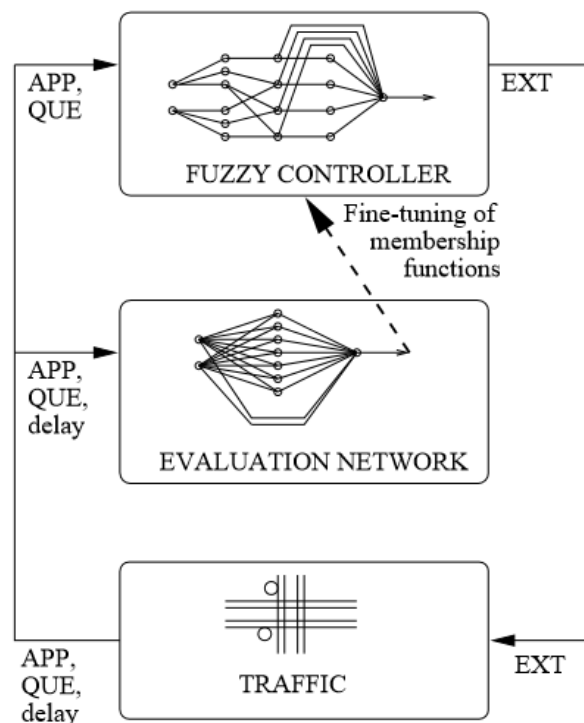
Na základě modelu je v článku představena nová metoda řízení signálu provádějící online optimalizaci a synchronizaci dopravních signálů. Po dokončení běhu minimální doby zelené v aktuální fázi dojde k prodloužení aktuální fáze porovnáním indexu výkonnosti aktuální fáze s fázemi ostatními. Index výkonnosti vychází z počtu vozidel ve frontě a doby červené u ostatních fází. Nakonec došlo v simulačním prostředí k vyhodnocení dob zdržení, které prokázalo, že tato metoda je proveditelná a zároveň i přinesla zlepšení oproti pevnému signálnímu plánu na simulované oblasti.

Aktuální článek [45] na modelovém příkladu řeší pomocí Petriho sítí strategické téma v souladu s cíli této práce, kdy hlavním přínosem je v případě dopravní kongesce odklon vozidel mimo oblast této kongesce s využitím stávajících křižovatek vybavených SSZ.

### Řízení pomocí umělých neuronových sítí

Neuronové sítě se k řízení dopravy využívají většinou v kombinaci s některým předešlým způsobem řízení. O kombinaci fuzzy řízení a neuronových sítí se zmiňuje článek [10], kde řídicí systém řídí dopravní křižovatku na základě znalosti počtu vozidel přijíždějících v době volno do křižovatky (APP), počtu vozidel čekajících v době červené v ostatních směrech (QUE) a vypočtené doby zdržení. Součástí systému je pak fuzzy regulátor fungující na základě jednoduchých IF-THEN podmínek pro prodloužení

dané fáze na základě zavedených příslušných hodnot fuzzy jazykových proměnných a neuronové sítě, která se učí informace z minulosti a předává je fuzzy řadiči pomocí definovaných funkcí. Schéma řešení je ke zhlédnutí na Obrázku 8.



Obrázek 8 Kombinace neuronových sítí a fuzzy logiky pro řízení dopravy [10]

V poměrně novém článku [42] je navrženo alternativní řízení dopravní oblasti s cílem minimalizace zpoždění vozidel projíždějících křižovatkami. Návrh využívá vylepšený algoritmus, který k určení stavu provozu využívá informace, kde se jako základní měřítko používá individuální zpoždění každého vozidla. V rámci řešení je navržena hluboká neuronová síť (LSTM), která slouží jako rozhodovací agent, zda rozšířit aktuální fázi nebo přejít do další fáze.

### Agentní systémy

Agentní a multiagentní systémy obsahují samostatně pracující jednotky, které spolu mohou komunikovat. Při řízení uzlu teda může být každému řadiči přiřazen agent, který optimalizuje řízení. Pokud se jedná o multiagentní síť, je možné, aby spolu agenti komunikovali a tím se zefektivnilo řízení celé oblasti. V oblasti aplikovaného výzkumu se využitím agentů pro optimalizaci řízení na izolovaných dopravních uzlech zabývá např. článek [52], který blíže popisuje návrh systému, při čemž autoři plánují tento návrh v budoucnu ověřovat prostřednictvím SW Aimsun.

### Genetické algoritmy

Aplikace genetických algoritmů se v oblasti vědeckých publikací objevuje především v rámci tématu optimalizace doby zdržení v dopravním uzlu, či dopravní oblasti. Jako příklad výzkumu, který přinesl pozitivní výsledky, lze uvést např. článek [53].

## 2.2 Trendy a cíle v řízení dopravního uzlu a oblastí

Mezi základní trendy, které jsou zohledňovány při návrzích dopravně-inženýrských řešení řízení dopravního uzlu v ČR, řadíme především preferenci MHD, použití vyšších algoritmů řízení, použití agentních systémů, použití kooperativních systémů a zároveň **návrh takových řešení, která v sobě obsahují i modul krizového řízení**. Níže je ke každému z těchto trendů připojen stručný komentář.

- **Preference MHD** – MHD, která je provozována na společných komunikacích s individuální automobilovou dopravou, je v hustě osídlených oblastech natolik ovlivňovaná, že klesá její kvalita, rychlost a vzniká nedodržování pravidelných jízdnicích řádů. Tento fakt snižuje konkurenceschopnost městské hromadné dopravy vůči dopravě individuální při volbě dopravního prostředku. Preferencí MHD lze tedy v širším slova smyslu nazvat soubor opatření, které vedou k zajištění vyšší konkurenceschopnosti MHD vůči dopravě individuální. Existuje mnoho důvodů, proč vozidla MHD preferovat. Jedním z nich může být např. zvýšení atraktivity MHD, dále pak zlepšení průjezdnosti a plynulosti MHD problémových úseků, což znamená také odstraňování zpoždění dosahovaných v těchto úsecích. Pro provozovatele MHD může dojít díky preferenci k celkovému snížení energetických a finančních nákladů jízdy. Nelze opomenout ani zlepšení podmínek jízdy pro cestující, kam můžeme zařadit zejména zkracování jízdnicích dob a zvyšování cestovní rychlosti. Nemělo by se zapomínat ani na fakt, že vhodná preferenční opatření mohou vést k zvýšení bezpečnosti jízdy a snížení počtu dopravních nehod.
- **Vyšší algoritmy řízení** – Kromě standartních algoritmů dynamického řízení dopravy stále probíhají výzkumy, které se snaží nalézt tzv. vyšší algoritmy řízení dopravy. Těmto systémům byl dán poměrně velký prostor v kap. 2.1, zde budou jen stručně uvedeny. Ty využívají dalších významných systémových nástrojů jako např. závislé řízení pomocí plavidlového systému, fuzzy logika, neuronové sítě, genetické algoritmy, agentní systémy nebo Petriho sítě. Nevýhodou vyšších algoritmů řízení je menší přenositelnost, tzn. je nutno brát v úvahu specifický charakter daného místa řízení dopravy, nicméně při správné implementaci, odladění a vhodném nastavení vedou k zefektivnění řízení dopravy a zvýšení kapacity komunikací, což dokazují i četné zahraniční výzkumy.
- **Kooperativní systémy** – Významným technologickým trendem jsou tzv. kooperativní systémy (C-ITS). Jedná se o koncept sdílení provozních a dopravních dat mezi samotnými vozidly a infrastrukturou. Vozidla jsou schopna automaticky zasílat data jiným vozidlům či centrálnímu systému/infrastruktuře skrze síť tzv. zařízení na infrastruktuře a na vozidlech. I když se jedná z pohledu České republiky o systémy budoucnosti, je nutné již nyní filosofii tohoto trendu respektovat při návrhu systému, a to z toho důvodu, aby bylo možné systém postupně rozšiřovat a nebylo nutné jej v blízké budoucnosti měnit za jiný. Asistenční systémy založené na komunikaci (výměně dat), mezi nejen samotnými vozidly, ale také vozidly a infrastrukturou, jsou další velkou výzvou v oblasti automobilové elektroniky a ITS. Tyto tzv. inteligentní asistenční systémy slibují velký přínos v oblasti efektivity dopravních systémů a silniční bezpečnosti, jejíž zajištění je nezbytné např. v tunelech. Proto lze doporučit doplnění stávajících křižovatek o tuto novou perspektivní technologii, která bude předávat informace z infrastruktury do vozidla a bude sledovat stav vozidla a definované parametry. Tím dojde nejen k přesné identifikaci dopravního provozu, ale i poskytování přesných informací do vozidel. Např. článek [44] se zabývá využitím kooperativních systémů pro autonomní vozidla, která předpokládá ve smíšeném provozu s vozidly ovládanými řidiči, přičemž výzkum předpokládá, že autonomní vozidla budou moci rychleji reagovat na aktuální zprávu z dopravního řadiče o plánované délce signálu a tím lépe přizpůsobit svou jízdu k přibližujícímu se uzlu.

- **Krizové řízení** – Dalším trendem v oblasti řízení dopravního uzlu je právě krizové řízení, tedy zajištění spolehlivé a bezpečné infrastruktury, která bude odolná i proti kyberútokům. Současně je vhodné mít k dispozici připravené scénáře při různých podmínkách počasí, dopravy, ale i okolnostech jako je teroristický útok apod. Scénáře by měly popisovat i příslušné reakce a chování nejen složek IZS, ale i reakce v provozu, např. včetně nasazení mobilních systémů řízení apod.

**Elektromobilita a mobility** – Posledním trendem v současnosti je upřednostňování dalších účastníků silničního provozu oproti individuální automobilové dopravě, a to např. cyklo dopravy, pěších, elektrovozidel nebo vozidel na alternativní pohon apod.

Zajímavým shrnutím aktuálně používaných řešení a trendů je článek [51], jedná se v podstatě o rešerši aktuálních řešení řízení dopravy, která jsou kategoricky rozdělena nikoliv podle konkrétního nástroje používaného k řešení, ale podle postupu řešení, a to na řešení související s optimalizací stávajících algoritmů řízení, řešení související se strojovým učením a řešení založena na rozvoji chytrých technologií ve městech.

### 2.2.1 Evropské srovnání

Následující odstavce srovnávají řídicí systémy pro řízení dopravy ve vybraných evropských městech. Cílem srovnání bylo získat reálný obraz o řešení těchto systémů na evropské úrovni.

**Praha** - V metropoli ČR se v současnosti ve většině případů navrhuje především řízení křižovatek pomocí dynamických signálních plánů. Pevné signální plány zůstávají na křižovatkách pouze ve dvou případech. Prvním z nich jsou místa, kde jsou natolik vysoké intenzity vozidel ze všech směrů, že by dynamické řízení stejně nepomohlo, příkladem může být křižovatka na Ječná/Sokolská v blízkosti stanice metra I. P. Pavlova. Druhý případ nastává, chceme-li koordinovaně řídit určitou oblast, je ale nutné podotknout, že zde se přechází spíše na adaptivní způsob řízení, příkladem může být řešení Smíchova pomocí systému oblastního řízení MOTION.

**Ostatní města ČR** - I v ostatních městech v ČR se postupně zavádí dynamické řízení dopravy s ohledem na jeho potřebnost a dostupné finanční prostředky. V menších městech pak plně postačuje řízení pomocí pevných signálních plánů. Do některých obcí a vesnic na hlavních tazích se pak zavádí tzv. inteligentní zpomalovací semafor, který umožní řidičům plynulý průjezd pouze za předpokladu, že řidič dodrží maximální povolenou rychlost v obci.

**Vídeň**- Ve Vídni od roku 1962 používá centrální řízení dopravy pomocí pevných signálních plánů. Město v současnosti disponuje 1062 SSZ, z nichž je celkem 1025 připojeno do řídicího centra dopravy. Systém nainstalovaný ve Vídni je jinak také nazýván jako systém „s distribuovanou inteligencí.“ To znamená, že je technická inteligence rozdělena na počítačovou jednotku, umístěnou v centru řízení dopravy společně s nadřazeným centrálním řídicím počítačem, a na zařazení na úrovni jednotlivých dopravních uzlů. Centrální řídicí počítač shromažďuje všechny operace počítačových jednotek a zároveň zajišťuje dohled a protokolování. Dále se v centru řízení dopravy nachází mapa s grafickým znázorněním všech SSZ ve městech. Na základě sledování dopravní situace ve městě je v řídicím centru vybrán vhodný signální program [11].

**Berlín** - V zájmu zvyšující se mobility je v Berlíně navržen komplexní systém řízení dopravy. Hlavní rolí berlínského centra řízení dopravy je řízení dopravy na stěžejních komunikacích ve městě, zpracování dopravních dat a poskytnutí dopravních informací Berlíňanům. V Berlíně se nachází největší počet SSZ z celého Německa. Řízení dopravy pomocí SSZ je založené na vzorových signálních plánech, které jsou naplánovány pro různé dny v týdnu, hodiny ve dnu a pro specifické dopravní situace. Pokud

signalizace z nějakého důvodu nefunguje podle naplánovaného schématu, pracovník řídicího centra může do řízení zasáhnout s cílem navrátit řízení do funkčního stavu. Ačkoliv to tedy není v použitém zdroji uvedeno přímo, z výše uvedených informací lze vyvodit, že i v Berlíně vévodí řízení dle pevných signálních plánů.

V případě velkých akcí (zejména ve středu města) mohou být přednastavené signální plány předem upraveny a v průběhu akce aktivovány. Úkolem řídicího centra je pak monitorovat dopravní situaci, eliminovat dopravní kongesce a v případě selhání světelné signalizace zahájit řízení dopravy pomocí dopravní policie [12].

**Londýn** - V roce 1973 začal v Londýně vývoj systému adaptivního řízení SCOOT, který se v současné době využívá nejenom po celé Velké Británii, ale i ve světě. V současné době je nasazen na více než 4500 z 6000 křižovatek v Londýně.

SCOOT detekuje vozidla na vjezdech do křižovatky, získaná data porovnává s daty ze SSZ, aktuální fázi a případnou následující frontou. Následně proběhne vyhodnocení a informace se použije k optimalizaci fáze tak, aby se minimalizovalo zpoždění v síti. Obvykle se pro detekci používají indukční smyčky, ale systém je rovněž schopen vyhodnotit data získaná jinými metodami. Data z modelu mohou být optimalizována třemi způsoby, a to buď změnou délky zelené, změnou offsetu, nebo změnou délky cyklu. Tyto tři parametry jsou neustále přizpůsobovány pro všechny křižovatky v oblasti, čímž se minimalizuje plýtvání délkou zelené na křižovatkách a snižuje se počet zastavení a zpoždění při pohybu vozidel mezi přilehlými křižovatkami. To znamená, že signální plány jsou během dne přizpůsobovány změnám dopravní situace. [13]

**Petrohrad** - V roce 2010 bylo v Petrohradě spojeno do 4 různých systémů celkem 260 SSZ. Nejstarší z nich - Telemechanický systém koordinovaného řízení od roku 1980 spojoval 33 světelně řízených křižovatek, byl ve městě uváděn jako nejmodernější, ve světovém měřítku šlo však o systém zastaralý. Po deseti letech v roce 1990 byl implementován další systém "Signal" zabývající se řízením 72 křižovatek. Po uplynutí 10 let bylo spojeno 55 SSZ do jednoho celku systémem "Migra Central" A posledním nejmodernějším systémem, kterým se chlubí nejenom město ale i celý stát, je systém pod názvem "Spektr." U tohoto systému byly v Petrohradu realizovány jak vývoj, tak výroba jednotlivých komponent. Systém byl implementován v roce 2005 spojením přibližně 100 křižovatek.

Všechny čtyři systémy nejsou vzájemně propojené, ale fungují na stejném principu tzv. zelené vlny. Detektory zjišťují intenzitu dopravního proudu a řadiče se při překročení určitých parametrů v jednom směru přepnou do stavu "zelené vlny" a propouští vozidla v tomto směru. Systémy se de-facto řídí pevnými signálními plány s možností koordinací.

### 2.3 Krizové řízení jako část řízení dopravního uzlu a oblasti

V této podkapitole dochází k upřesnění chápání pojmu krizového řízení v rámci této disertační práce. V návaznosti na systémové vědy tato kapitola identifikuje strukturu systému krizového řízení. Níže je uvedena rozšířená definice systému: (1).

$$S = (A/F, R/P, M, \gamma, \delta, I) \quad (1)$$

Systémem obecně je vícesložková množina skládající se z množiny prvků a jejich funkcí (A/F), z množiny vazeb a jejich parametrů (R/P), z množiny všech procesů v systému, které říkáme mohutnost (M), množiny procesů, jejichž účelem je naplňovat stanované cíle ( $\gamma$ ), množiny procesů, která reprezentuje typické chování systému ( $\delta$ ) a množiny, která vyjadřuje vztah k systému a jeho okolí [15].

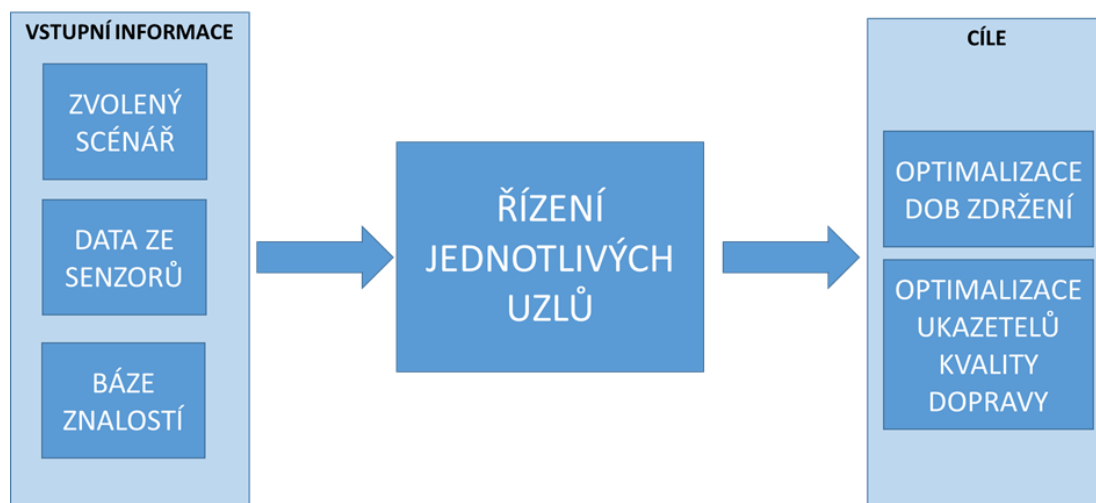
V návaznosti na obecnou definici systému lze podobně rozebrat jakýkoliv funkční systém. Smyslem této disertační práce je v podstatě **rozšíření funkcionalit současných systémů řízení dopravy pomocí SSZ**. Hned na počátku návrhu je proto velmi důležité hledět na systém řízení dopravy v oblasti jako na komplexní celek, který má v současnosti určité typické procesy, konkrétní cíle a určitou identitu. Krizové řízení je nástroj na úrovni rozšíření struktury systému řízení dopravy (tedy rozšíření složek A/F, R/P), které však musí být provedeno velmi citlivě, aby nedošlo k výraznému zásahu do typických procesů systému ( $\delta$ ) a aby bylo podpořeno cílové chování systému ( $\gamma$ ) při minimálních zásazích do identity systému (I).

Toto abstraktní vyjádření lze snadno překlomit do reálného světa. Systém řízení dopravy pomocí SSZ v základním principu funguje na základě znalosti základních dopravních parametrů. Na základě těchto parametrů dochází k cílovému ovlivňování dopravního proudu za účelem větší bezpečnosti a plynulosti dopravy, omezení vlivů na životní prostředí a zkrácení cestovních dob. Systém může být doplňován o další moduly, které povedou k úspěšnějšímu naplňování dílčích cílů, jako např. o modul zohlednění dat o počasí a emisích, predikční modul dopravních excesů nebo právě modul krizového řízení. Při návrhu doprovodných modulů se pochopitelně zvyšuje složitost systému a je třeba dbát na to, aby zvyšování složitosti bylo úměrné naplňování stanovených cílů a nedocházelo k narušování identity.

Na Obrázku číslo 9 níže lze vidět zjednodušený funkční pohled na systém řízení jednotlivých uzlů SSZ. Z historického hlediska bylo řízení dopravy pomocí SSZ navrženo především kvůli navyšujícím se intenzitám vozidel s negativním vlivem na bezpečnost a plynulost provozu. Tento hlavní cíl se v současných systémech samozřejmě zachovává a z praktické logiky věci se přemýšlí nad otázkou, jak optimalizovat doby zdržení v dopravních uzlech a optimalizovat ukazatele kvality dopravy za předpokladů dalšího nárůstu intenzit, aby bylo řešení udržitelné.

Aby mohl řídicí systém naplňovat vytyčené cíle, potřebuje k tomu dostatek vstupních informací. Tyto informace byly zobrazeny do tří základních funkčních bloků, a to:

- **Data ze senzorů:** Systém řízení by měl mít k dispozici data z dopravních senzorů pro návrh řízení a jeho modifikaci (dnes běžné);
- **Báze znalostí:** Systém řízení by měl mít znalosti o svém blízkém i vzdáleném okolí v rámci řízené oblasti (návrh řízení konkrétního uzlu by měl reflektovat ostatní SSZ v oblasti a další vstupní předpoklady z okolí);
- **Zvolený scénář:** Systém řízení by měl být připraven na různé typy situací pomocí předem připravených scénářů a na tyto by měl být schopný se adaptovat;

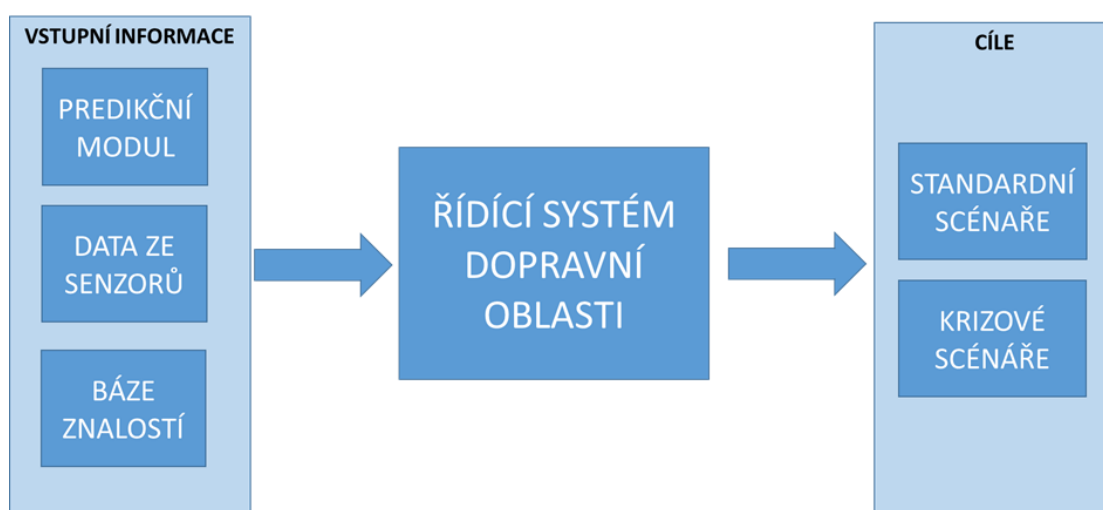


Obrázek 9 Zjednodušený funkční pohled na řízení jednotlivých uzlů [zdroj: vlastní]

Pro úplný pohled je pak ale nutné zmínit také zjednodušený funkční pohled na systém řízení větší oblasti pomocí SSZ na Obrázku 10, obvykle zajišťovaný dopravní řídicí ústřednou. V tomto schématu se nacházíme o rozlišovací úroveň výše. Dopravní ústředna vyhodnocuje vstupní parametry za účelem vybrání takového scénáře, který umožní rychlejší naplňování stanovených cílů. Na vybraný scénář pak budou reagovat konkrétní uzly v oblasti.

Aby došlo k co nejrychlejšímu stanovení potřebného scénáře, opět je potřeba řídicímu systému dodat dostatek konkrétních informací, a to:

- **Data ze senzorů:** Systém řízení dopravní oblasti by měl mít k dispozici data z dopravních detektorů, včetně strategických detektorů na exponovaných místech v oblasti;
- **Predikční modul:** Systém řízení by měl být schopen predikovat pravděpodobnost rizika dopravního excesu, který by mohl přejít v mimořádnou, resp. krizovou situaci;
- **Báze znalostí:** Systém řízení by měl mít znalostní přehled o oblasti, nejen z pohledu parametrů dopravních, ale i přírodních a sociologických.



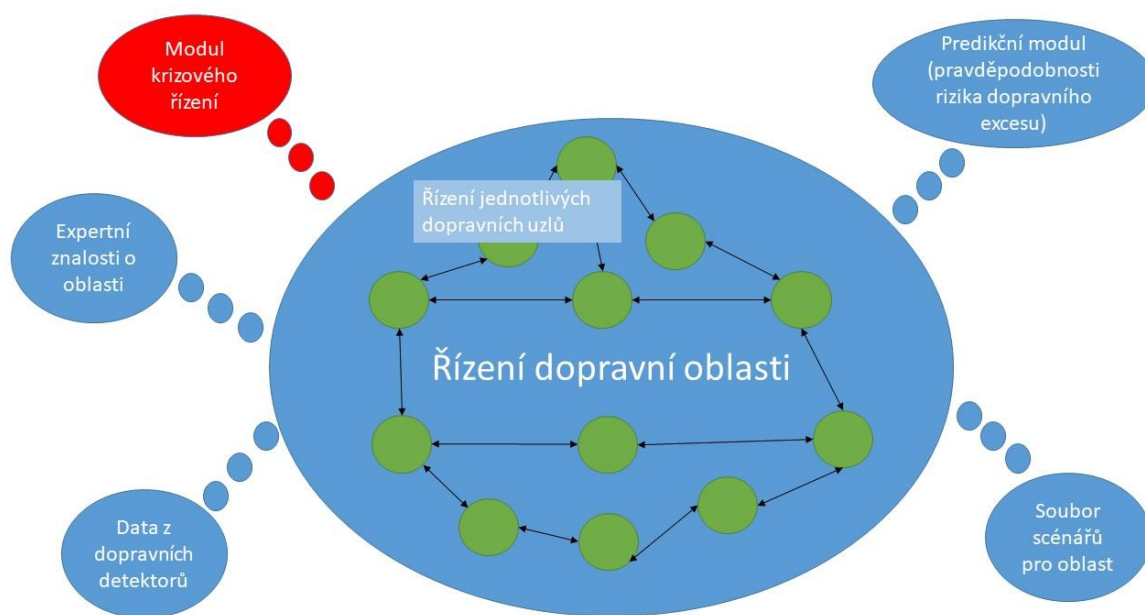
Obrázek 10 Zjednodušený funkční pohled na systém řízení dopravní oblasti [zdroj: vlastní]

Z výše uvedených funkčních bloků tedy plyne podstata systému krizového řízení jako součásti systému řízení městských oblastí. Lze si ho představit jako funkční modul dnešních systémů řízení, který bude



aplikován pouze při mimořádných, resp. krizových situacích, tedy v momentech, kdy to bude skutečně z hlediska řízení potřeba. Rozhodnutí o jeho spuštění/vypnutí bude vzhledem k absenci zkušeností v první fázi založené na dopravních expertech disponujících dostatečnou znalostí o dopravních souvislostech a na základě vyhodnoceného scénáře, a to pouze na dobu nezbytně nutnou k odstranění vzniklé mimořádné, resp. krizové situace.

Pro úplnou názornost chápání kontextu modulu krizového řízení v rámci „ideálního“ modelu řízení dopravní oblasti je vytvořeno zjednodušené schéma na Obrázku 11 níže. Na řízení jednotlivých uzlů je nahlíženo jako na podmnožinu systému řízení dopravní oblasti. Na řízení dopravní oblasti může mít z funkčního pohledu vliv spousta parametrů, z nichž na schématu jsou pro zjednodušení znázorněny pouze ty, které **zároveň** přímo, či nepřímo budou ovlivňovat systém krizového řízení. Jednotlivé moduly jsou propojeny přes systém řízení dopravní oblasti oboustranně a ovlivňují se vzájemně. Tedy například neplatí pouze, že data z dopravních detektorů mohou sloužit jako podklad pro řízení dopravní oblasti, či sestavování souborů scénářů pro oblast, ale i naopak – použití příslušného scénáře pro oblast má vliv na získaná data z dopravních detektorů. Model je nazván „ideálním,“ protože není nezbytné, aby při vytvoření modulu krizového řízení byly k dispozici všechny ostatní znázorněné moduly, dle autorova přesvědčení však jejich existence přispívá k lepšímu stanovení plnění cílů systému řízení dopravní oblasti a uzlu, které byly definovány výše.



Obrázek 11 Schéma pozice modulu krizového řízení v rámci „ideálního“ modelu řízení oblasti  
[zdroj: vlastní]

**Expertní znalosti o oblasti** lze považovat za stěžejní pro návrh krizového řízení pro oblast. Jedná se o znalosti, které byly nabyty v minulosti, a pro každou oblast lze očekávat jejich jedinečnost. Řízení dopravní oblasti je vhodné sledovat a monitorovat, od výstavby první SSZ v oblasti počínaje, po aplikaci všech příslušných modulů konče. Analogicky k všeobecně zřejmé tezi, že se člověk celý život učí, systém řízení dopravy se celý životní cyklus vyvíjí.

**Data z dopravních detektorů** představují důležitý podklad pro návrh řízení dopravní oblasti, i pro modul krizového řízení. S dopravními daty je ale obecně známý problém, je proklamováno, že jich je obecně moc a není reálné v rozumném čase je zpracovat. Z hlediska dlouhodobých zkušeností autora

Lze ale spíše konstatovat, že použitelných dat pro účely vědecko-výzkumné činnosti z veřejně dostupných zdrojů je velmi málo, z komerčních zdrojů pak málo a s obtížnou zpracovatelností, přestože datových zdrojů je obecně hodně. Tento fakt může být způsoben zejména tím, že trendem dnešní doby je sbírat data o všem, ale interpretace cílů jejich sběru je poměrně obtížná. V některých případech cíle sběru ani nebývají stanoveny, což nelze považovat za systémové řešení. Z hlediska návrhu systému krizového řízení je cíl sběru dat jasný – především včasná identifikace mimořádné, resp. krizové situace, k tomu lze použít měření známých dopravních veličin (intenzita, rychlost, obsazenost detektoru) v kombinaci s algoritmy pro identifikaci dopravních excesů (Kalifornský algoritmus apod.) Pro expertní znalost o oblasti pak zbývá identifikovat, který přístup pro identifikaci dopravních excesů nejlépe funguje v posuzované oblasti.

**Soubor scénářů pro oblast** představuje pomoc při rozhodování, jaký způsob řízení oblasti zvolit, a poskytuje dispečerovi možnost rychle a jasně se rozhodnout, zda je vhodné systém krizového řízení spustit nebo nikoliv. Soubor scénářů by měl sloužit jako podklad pro rozhodování, nikoliv jako mantra, stěžejní je stále expertní znalost o oblasti. (Scénáře budou předpokládat události, ke kterým v historii došlo, nikdy však nelze důkladně předvídat události, se kterými dosud není zkušenost. (Analogii lze spatřovat např. v krizovém zákoně samotném, byl důkladně připravován pro případ záplav či povodní, v některých bodech se ale ukázal jako nepřipravený na situaci kolem nemoci COVID-19.) Podkladem pro sestavení scénářů jsou pak především všechna dostupná data a znalosti o oblasti a jednotlivých uzlech v ní.

**Predikční modul** představuje další z pomocných nástrojů pro rychlé rozhodování dispečera a může představovat i pomoc při přípravě scénářů pro oblast. Obecně není pro účely návrhu krizového řízení nezbytný, může být však důležitým zpřesňujícím faktorem. Predikčním modulem je rozuměn modul, který dokáže v blízkém predikčním horizontu několika minut na základě aktuální dopravní situace a historických dopravních dat predikovat pravděpodobnost vzniku rizika dopravního excesu. Tedy v ideálním případě odhadnout a odstranit vznikající mimořádnou, resp. krizovou situaci, ještě před jejím vypuknutím.

**Modul krizového řízení** pak představuje do jisté míry integrující prvek, který sdružuje data (z detektorů), informace (scénáře pro oblast, pravděpodobnost rizika dopravního excesu), i znalosti dopravního experta. Jedná se o modul řízení, který v ideálním případě není vůbec třeba nutně využít, ale je připraven na využití a okamžitou aplikaci v případě vzniku předem definovaných, v opodstatněném případě i nedefinovaných kombinací vstupů těchto dat, informací a znalostí. V případě jeho spuštění lze pak očekávat nejen vliv na řízení dopravní oblasti a jednotlivých uzlů, ale i na změny v ostatních modulech.

Následné části disertační práce se pak věnují návrhu krizového řízení jak pro dopravní oblast, tak pro příslušné uzly osazené SSZ v příslušné oblasti. Snahou autora je v práci vyvážit míru zobecnění navrhované metodologie a názornosti praktické realizovatelnosti systému. Návrh krizového řízení je obecně použitelný pro jakoukoliv metodu či typ řízení uvedený v předchozí rešerši v podkapitole 2.1, ale zároveň ukazuje na konkrétním příkladu cestu praktické realizovatelnosti v podmínkách České republiky, zaměřuje se proto zejména na způsoby řízení, které jsou v ČR běžně užívány či běží alespoň ve fázích vědecko-výzkumných projektů.

### 2.3.1 Krizové řízení v oblasti vědy a výzkumu – rešerše

V rámci hledání zkušeností s tématem krizového řízení v oblasti vědy a výzkumu byla provedena krátká rešerše. Celkově lze konstatovat, že problematika krizového řízení je na jednu stranu poměrně aktuálním tématem s velkou četností dohledaných aktuálních publikací, na druhou stranu žádná nalezená publikace

se na téma neodkazuje v kontextu řízení dopravy pomocí SSZ. Problematiku simulace dopravního chování v případě vzniku krizové situace zkoumá článek [16], kde v rámci výzkumu zmiňovaného ve článku byl úspěšně vyvinut a implementován dopravní simulátor, který poskytuje informace týkající se evakuace vozidel v případě krizové situace a také monitoruje dopravní podmínky. Čili se jedná o užitečný nástroj, jak v případě krize, tak v normálních podmínkách, k prozkoumání silničních bloků a přetížení. Zajímavý pohled na krizové řízení nabízí i článek [17], kde je představen systém podpory rozhodování pro řízení provozu v MHD. Použití navrhované aplikace je možné v různých softwarových prostředích, aniž by vyžadovalo instalace dalších technologií. Jeho praktické využití může vést dle autorů k účinnějším reakcím na krizové situace ve veřejné dopravě. Velmi aktuální zdroj z roku 2020 se pak zabývá problematikou manažerů v krizovém řízení a jejich rozhodovacími schopnostmi [18]. Tento dokument diskutuje význam krizového řízení a vyvíjí nový koncept založený na preventivním přístupu ke každé mimořádné události. V příspěvku jsou dále navrženy nové vzorce pro vyhodnocení doby odezvy a účinnosti činnosti manažerů krizových situací. Článek [19] se zabývá shromažďováním různých zdrojů dat z krizových situací, přičemž se nezabývá obecně krizemi v dopravě, ale spíše krizovými situacemi společnosti, a ve článku se pokouší autoři navrhnout modul, který by sloužil k integraci více datových zdrojů pro rychlejší identifikaci krizových situací v budoucnu.

Z výše uvedených a jiných zdrojů je tedy zřejmé, že uplatnění krizového řízení pro různé oblasti je poměrně široké a žádoucí. Zároveň však v rámci rešerše nebyl nalezen žádný výzkum, který by se snažil uceleně integrovat krizové řízení do modelu řízení dopravy v oblasti prostřednictvím SSZ. Jedním z klasicky využívaných nástrojů pro krizový management je riziková analýza, jednou z ucelených publikací, která se této problematice věnuje je [54].

## **2.4 Přístupy k modelování silniční dopravy**

Z kapitoly výše jednoznačně plyne, že krizové řízení jako součást řízení dopravního uzlu je problematikou neprobádanou. Nelze tedy předpokládat, že pro návrh a zhodnocení metodologie pro zavádění těchto systémů do současných systémů řízení dopravy bude možné použít znalosti z historie, ale bude třeba hledat vhodný přístup k modelování systému. Protože není možné a často bývá cenově velmi drahé všechny nové návrhy pokročilých systémů řízení testovat rovnou v reálném provozu, často přistupujeme k modelování silniční dopravy, takže je to přístup zcela běžný a opodstatněný. Modelem zde rozumíme zjednodušený abstraktní nástroj využívaný pro predikci chování modelovaných systémů, který zároveň zachovává podstatné rysy objektu-originálu. Modelování silniční dopravy probíhá nejčastěji pomocí dopravních simulací. Simulací rozumíme numerickou techniku pro provádění experimentů na počítači, která replikuje skutečné systémy, a to z experimentálních důvodů nebo pro případy testování různých alternativ. Simulace se používají pro analýzu komplexních systémů a měly by sloužit jako nástroj pro ověření, zda zkoumaný systém splňuje požadované vlastnosti.

### **2.4.1 Simulační SW pro modelování silniční dopravy**

V současné době existuje celá řada SW pro modelování silniční dopravy, níže je k nalezení jednak tabulka znázorňující, zda se jedná o komerční SW, nebo SW volně dostupný a dále je uveden jejich stručný přehled a zároveň jsou vytyčeny nejdůležitější informace o nich [14]. Z vybrané škály modelovacích SW pak bude pro účely ověření a zhodnocení návrhu krizového řízení vybrán ten nejvhodnější pro tyto účely.

Tabulka 1 Přehledová tabulka simulačních SW [zdroj: vlastní]

Komerční SW	Opensource
AIMSUN	MATSim
ARCHISIM	MITSIMLab
CORSIM	SUMO
PARAMICS	TRANSIMS
SimTraffic	
TransModeller	
PTV VISSIM	

### **AIMSUN**

AIMSUN vyráběný společností TSS-Transport Simulation Systems (Španělsko) je schopen simulovat skutečné podmínky provozu jakékoli síťové dopravy. To se mimo jiné využívá při vývoji a testování systémů řízení dopravy, pravidel řízení provozu, řízení vstupů na parkovací plochy, umístění systému výběru mýtného, modelování sítí veřejné dopravy. AIMSUN může pracovat společně s naváděcími systémy vozidel a dalšími aplikacemi v reálném čase což je jedna z mnoha výhod oproti jinému podobnému softwaru na trhu. AIMSUN je integrován do simulačního prostředí GETRAM, které se skládá z editoru dopravní sítě (TEDI), síťové databáze, modulu pro provádění simulace a aplikačního programovacího rozhraní. Prostřednictvím další knihovny funkcí DLL, rozšíření GETRAM, je model schopen komunikovat s externími uživatelsky definovanými aplikacemi jako např. logika řízení v reálném čase.

### **ARCHISIM**

ARCHISIM vyvinutý týmem Národního institutu pro výzkum dopravy a bezpečnosti INRETS, je simulačním modelem chování, jehož realizace sleduje multiagentní koncepcí. Řidiči vozidel jsou zde simulováni agenti. Jejich funkce jsou založeny na třech hlavních procesech: vnímání, rozhodnutí a jednání. V ARCHISIMu existují dva typy simulovaných komponentů: agenti a objekty. Agenti shromažďují informace. Hlavními simulačními prostředky jsou řidiči a chodci. Objekty jsou například silniční dopravní značení (vodorovné nebo svislé). Každý simulovaný řidič je autonomní softwarový agent, který se vyvíjí ve virtuálním prostředí a interaguje s ostatními agenty simulace, které plní své cíle podle svých dovedností a současné situace.

### **CORSIM**

CORSIM sponzorovaný a vyvinutý Federální správou dálnic (FHWA) v USA, je software pro simulaci provozu pro signální systémy, silniční sítě a dálniční systémy. Skládá se ze dvou integrovaných modelů, které představují prostředí celé dopravy. NETSIM představuje provoz na městských cestách. FRESIM představuje provoz na silnicích a dálnicích. CORSIM poskytuje vlastní rozhraní a ovladač. Výstupní proces umožňuje uživateli shromažďovat statistiky vybrané uživatelem a souhrnná data během několika běhů programu CORSIM. Z CORSIMU je možný přímý export do sešitu aplikace Excel.

### **MATSim**

MATSim vyvinutý curyšskou polytechnikou poskytuje soubor nástrojů pro implementaci velmi rozsáhlých simulací založených na agentních systémech. MATSim se používá se k simulaci provozu v Curychu (Švýcarsko), Berlíně (Německo), Padangu (Indonésie) a Torontu (Kanada). Jeho výhodou je,

že může simulovat provoz rozsáhlé oblasti po celý den. Není však ideální volbou, chceme-li sledovat v detailu chování jednotlivých vozidel. MATSim sleduje přístup založený na aktivitách na generování poptávky.

### **MITSIMLab**

MITSIMLab, vyvinutý na MIT (Massachusetts Institute of Technology), je simulátor provozu, který vyhodnocuje dopady návrhů pokročilých či alternativních systémů řízení provozu, informačních systémů pro cestující, provozování MHD a různých ITS strategií. Dopravní a síťové prvky jsou v simulaci detailně znázorněny za účelem zachycení vlivu dopravního proudu na strategii řízení dopravy. MITSIMLab je open-source aplikace, jejíž základní modely byly napsány v C++ a jsou pro uživatele volně k dispozici. Byl úspěšně použit v několika dopravních a výzkumných studiích v USA, Velké Británii, Švédsku, Itálii, Švýcarsku, Japonsku, Koreji, Malajsii a Portugalsku.

### **PARAMICS**

Paramics, prodáváný firmou Quadstone Paramics umožňuje modelovat jak dálniční úseky v extravilánu, tak celý městský dopravní systém. Poměrně realisticky zobrazuje krajinu a komunikace pomocí 2D a 3D vizualizace. Program umožňuje simulovat také MHD a chodce, a proto se používá v různých dopravních modelech (městské, meziměstské, tunelové, přístavní a parkovací) a v mnoha zemích. Model Paramics je reprezentován kombinací uzlů, spojnic a dalších přidružených objektů, které zohledňují geometrická omezení reálného provozu. Prostřednictvím mikrosimulace umožňuje Paramics uživatelům simulovat jednotlivá vozidla, pro předpověď budoucího chování dopravního proudu v důsledku změny objemu provozu nebo geometrického uspořádání komunikací.

### **SimTraffic**

SimTraffic je software prodáváný firmou Trafficware), jehož grafické rozhraní poskytuje uživateli kratší čas pro renderování silniční sítě, než je tomu u ostatních modelů. Původně byl SimTraffic pouze modelem propojovacího uzlu, který používá chování řidiče a algoritmy výkonu vozidel k simulaci jednotlivých pohybů vozidel prostřednictvím sítě. Schopnosti systému SimTraffic byly ale v následujících verzích rozšířeny o další funkce, jako je modelování dálnic, ramp a kruhových objezdů. Významnou nevýhodou SimTrafficu je nedostatek funkcí API nebo podpora detailnějších typů výstupů pro další statistická zpracování.

### **SUMO**

SUMO je otevřený nástroj pro dopravní simulace vyvíjený v oddělení Institutu pro dopravní systémy v Německu. V rámci výzkumů je program využitelný v mnoha oblastech, můžeme jmenovat např. na hledání určených kritérií, schopnost zkoušení signálních plánů v SW nebo např. simulace komunikace mezi vozidly. SUMO se v průběhu let postupně rozšiřovalo a nyní se jedná o soubor několika programů. SUMO dále umožňuje na základě dopravních měření využívat různé algoritmy pro simulování křižovatek, obsahuje také rozhraní TraCI pro online simulaci. SUMO lze dále rozšiřovat pomocí vlastních modelů a poskytuje různé API pro dálkové ovládání simulace.

### **TRANSIMS**

TRANSIMS, vyvinutý v Los Alamos National Laboratory (USA), je integrovanou sadou nástrojů pro analýzu dopravních systémů, princip SW je založen na principu celulárního automatu. Lze v něm modelovat chování jednotlivých cestujících a jejich multimodální dopravy (přeprava zboží nejméně dvěma po sobě rozlišnými způsoby dopravy, kdy část cesty může být realizována po silnici, druhá po

moři, řece nebo železnici). Od předchozích SW metod se liší především ve způsobu predikce poptávky po cestách. Zahrnuje konzistentní a kontinuální zobrazení času, podrobné zobrazení osob a domácností, časově závislé směrování vozidel a mikrosimulátor osobního vozidla. Tyto moduly vytváří významné změny v procesu předpovídání cestování. Dosud byly modely TRANSIMS testovány s údaji z Dallasu, Texasu a Portlandu.

### **TransModeler**

TransModeler je komerční SW prodáváný firmou Caliper Corporation (USA). V SW je možno simulovat všechny typy silničních sítí, dálnic a oblastí centra města a SW je schopen analyzovat multimodální síť. Dále umožňuje modelovat a vizualizovat chování složitých systémů v 2D i v 3D prostředí pro názornou ilustraci a vyhodnocení dynamiky dopravního proudu. Transmodeler umožňuje modelovat jak dálnice, tak městské sítě ve stejné síti s modely chování řidičů. Dále umožňuje modelovat tzv. modelové pásy s vysokou obsazeností (HOV), autobusové pruhy a mýtné, za účelem lepšího porozumění jejich vlivů. Dále je často využíván na tvorbu evakuačních plánů, modelů a scénářů reakcí na přírodní katastrofy, nebezpečné úniky látek a jiné mimořádné události.

### **PTV VISSIM**

PTV VISSIM je mikrosimulační SW vyvinutý společností PTV (Planung Transport Verkehr AG) v německém Karlsruhe. Je součástí Vision Traffic Suite, která zahrnuje také PTV Visum (makrosimulace zaměřená na analýzu a prognózu provozu) a PTV Vistro (modul optimalizace signálů). VISSIM je jedním z nejpoužívanějších simulačních programů, které simulují, vyhodnocují a validují nové dopravní řídicí systémy silniční dopravy. Kvůli vysokému detailu zpracování podrobností VISSIM dokáže přesně simulovat jak městský provoz včetně cyklistů a pěších, tak úseky dálnic včetně rozsáhlých mimoúrovňových křižovatek. Ve VISSIMu lze simulovat nejen automobilovou dopravu, ale i interakce s chodci a cyklisty. Nově vyvinutý modul VISSIM Pedestrians dotváří celý systém, kde nyní můžete sledovat interakci chodců a vozidel, nebo se zcela soustředit na zobrazování pěších toků. Rozsáhlé analytické nástroje stejně jako množství interface pro různé systémy řízení dopravy činí z VISSIMu účinný nástroj pro dopravní plánování a optimalizaci dopravy a dopravních systémů. VISSIM spojuje dopravní inženýrské zkušenosti s možností prezentace v 3D animacích, které nemusí být použity pouze profesionály v oblasti dopravy. VISSIM je stále více používán pro prezentování dopravní účinnosti navrhovaných řešení např. zástupcům samosprávy.

### **Simulátory krizového řízení**

Kromě výše uvedených programů zaměřujících se ryze na problematiku simulací dopravy, existují i programy, které se zaměřují na využití simulací v krizovém řízení, např. program TeRex, kterým lze simulovat šíření toxických látek a chemikálií, bližší informace lze dohledat v diplomové práci [54]. Stejně tak simulace krizového řízení hraje velmi významnou roli v oblasti letecké dopravy a simulací leteckých dopravních nehod, o nichž přehledově informuje např. článek [55].

#### **2.4.2 Vyhodnocení parametrů modelu – rozvaha**

Jako nejvhodnější pro vyhodnocení krizového řízení se z vybraných SW jeví programy AIMSUN a PTV VISSIM. VISSIM umožňuje [40] vyhodnocovat následující parametry:

- *Travel time* – definovaný jako rozdíl časů projetí konkrétního vozidla prvním bodem odečtený od průjezdu vozidla bodem druhým;

- *Delay* – čas zdržení konkrétního vozidla v měřeném úseku nezávislý na konkrétních třídách vozidel, tento čas je vždy nižší než „Travel time,“ v ideálním případě pak nabývá hodnoty 0. (V případě hodnoty 0 nedochází ke zpoždění příslušného vozidla v úseku;
- *Data collection points* – nabízí oproti předchozím dvěma parametrům vyhodnocení dopravních v konkrétním bodě/průřezu, jedná se např. o data obsazenosti, rychlosti a zrychlení či délky příslušného vozidla;
- *Queue Counters and Vehicle Stops* – vyhodnocení průměrné délky fronty, maximální délky fronty a počet zastavení vozidla v příslušné frontě;
- *Green time distributions* – vyhodnocuje rozložení zeleného signálu mezi jednotlivé signální skupiny v zadaném časovém intervalu;
- *Vehicle information* – udává informace o vozidle v reálném čase (konkrétně rychlost a vozidlový typ);
- *Vehicle records* – ukládá vybrané informace o vozidle do výstupního souboru, v případě že daná verze VISSIMu obsahuje modul emisí, tak i informace o emisích jednotlivých plynů pro konkrétní vozidla.

Z pohledu vyhodnocení navrženého řešení se pak jako nejvhodnější se zadaných jeví vyhodnocení parametru „Delay,“ a to pro jednotlivé situace v definovaném časovém intervalu a při proběhnutí dostatečného vzorku simulací s rozdílně nastaveným generátorem náhodných čísel pro simulaci. Při statistickém vyhodnocení z několika simulací lze parametr „Delay“ ze simulace srovnat se střední dobou zdržení vozidel v křižovatkách dle příslušných technických podmínek [39].

Ještě větší možnosti výstupů pak umožňuje mikrosimulační program AIMSUN NEXT [40], při čemž rozdělení jednotlivých modulů je zde provedeno na první pohled obecněji. V programu je možné:

- Zobrazení dat o jednotlivých vozidlech během simulace, a to jak pro každé jednotlivé vozidlo, tak pro právě simulovaný soubor vozidel;
- Zobrazení časových řad pro objekty, přičemž objektem může být úsek, uzel nebo třeba detektor. Pro zadaný objekt pak lze zobrazit časovou řadu dopravních parametrů jako třeba intenzitu dopravy, počet zastavení vozidel, nebo hustotu dopravy, kromě toho program umožňuje obdobně jako např. MS Excel vytvoření kombinovaných grafů, které zobrazují některé parametry vůči sobě navzájem;
- Zobrazení dat o zpoždění v úseku pomocí časové řady;
- Vytváření různých scénářů pro konkrétní oblast a zobrazení kapacitních problémů pro zadaná vstupní data a srovnání výstupů přímo v rámci možností programu;
- Vytvoření statistik pro jednotlivé úseky, jízdní pruhy, SSZ nebo skupiny objektu dle zadání uživatele.

Z pohledu programu AIMSUN se jeví jako velmi vhodné využít možnosti jednoduchého vytváření scénářů pro konkrétní oblast a flexibilitu v možnostech vyhodnocení modelu, VISSIM naopak nabízí rychlejší vyhodnocení konkrétních dopravně-inženýrských parametrů. V rámci disertační práce proto budou vytvořeny modely v obou SW a tyto následně vyhodnoceny a porovnány.

### 3 Návrh metodologie pro zavádění systému krizového řízení do současných systémů řízení dopravy

Zatímco snahou předchozí kapitoly bylo především shrnout současné přístupy k řízení dopravních oblastí pomocí SSZ, vysvětlit chápání pojmu krizového řízení v kontextu této práce a shrnout dostupné nástroje pro modelování, které je možné pro účely ověření návrhu využít, tato kapitola se již zaměřuje pouze na krizové řízení, konkrétně na návrh jeho metodologického zavádění v českých podmínkách. Autor disertační práce byl v tomto bodě podpořen studentskou grantovou soutěží, konkrétně projektem číslo SGS19/082/OHK3/1T/16. V rámci tohoto projektu vznikly autorské výzkumné zprávy [37] a [38]. Disertace z těchto dokumentů poznatky volně cituje a doplňuje je o další poznatky výzkumu, který následoval. Tedy původní autorovu metodologii [37] ještě více zpodrobňuje.

V rámci univerzality použití návrhu systému byl stanoven následující přístup k návrhu. Nejdříve bylo potřeba nastudovat současnou legislativu týkající se oblastí krizového řízení a řízení dopravy pomocí SSZ, tak aby na tuto bylo možno volně navázat. Následně byly vzaty v úvahu i rozdílné přístupy v zahraniční legislativě. Na základě zjištěných poznatků dochází pak k vlastnímu návrhu obecné metodologie. Obecná metodologie popisuje návrh systému minimálně z následujících pohledů:

- **Technologického** – tedy řeší konkrétní podobu technologického řešení na SSZ pro implementaci systému krizového řízení oblasti;
- **Organizačního** – tedy řeší konkrétní podobu organizačního zajištění procesu zavádění systému krizového řízení do jejich i následné správy tohoto systému;
- **Funkčního** – tedy definuje základní předpoklady funkčnosti systému, základní funkcionality vedoucí k naplnění cílů zmíněných v kapitole 2.3 a stanovuje parametry, kterými lze plnění funkcí hodnotit.

Návrh obecné metodologie respektuje ověřenou metodologii Akční výzkum podle Jenkinse [15], která se pro návrhy měkkých systémů využívá. Zařazení systému krizového řízení mezi systémy měkké lze opřít o následující argumenty:

- Jedinečnost fyzického uspořádání a směrovosti účastníků silniční dopravy v rámci různých oblastí řízených SSZ, z toho plynoucí obtížná přenositelnost návrhu mezi různými oblastmi;
- Významný vliv expertních znalostí pro přípravu různých scénářů řízení a při implementaci systému samotného, tedy významný vliv lidského faktoru na systém;
- Potřebnost úplného poznání oblasti pro důkladné zhodnocení možností zavedení systému krizového řízení.

Na závěr pak třetí kapitola shrnuje návrh vyhodnocení přínosů navrženého systému, ke kterému lze v rámci obecného modelu dospět.

#### 3.1 Rozbor možných přístupů na základě stávající legislativy a zkušeností

Podkapitola rozboru možných přístupů k návrhu systému krizového řízení na základě stávající legislativy a zkušeností hledá odpovědi na dvě základní otázky, které vyvstaly autorovi při úvaze o systému krizového řízení pomocí SSZ:

1. Lze nalézt takové technologické řešení, které bude schopno při současných SSZ co nejsnadněji odklánět dopravu z míst mimořádné, resp. krizové situace a zároveň nebude vyžadován přílišný zásah do stávajících SSZ?



2. Lze nalézt takový druh signálu, který řidičům dá jasně najevo, že došlo ke spuštění systému krizového řízení, a tudíž se v některém ze směrů zeleného signálu dlouhodobě vůbec nedočkají?

V návaznosti na otázky výše si podkapitola klade za cíl především:

- Sestavení stručného přehledu legislativy upravující problematiku krizového řízení na národní úrovni;
- Sestavení přehledu legislativy upravující řízení dopravy pomocí SSZ, a to jak z pohledu technického, tak z pohledu organizačního, se zaměřením na podrobnější rozbor normy ČSN EN 73 6021 Umístění a použití návěstidel;
- Návrh vhodných úprav legislativy upravující řízení dopravy pomocí SSZ zejména s ohledem na soulad s legislativou upravující problematiku krizového řízení na národní úrovni;
- Zhodnocení možností implementace krizového řízení v menších oblastech řízených pomocí SSZ z dopravních ústředí.

### 3.1.1 Legislativa upravující problematiku krizového řízení na národní úrovni

V rámci této problematiky byly vyhledány legislativní dokumenty upravující problematiku krizového řízení, tedy příslušné zákony a další dokumenty, které se specializují na přijímání regulačních opatření v dopravě za krizových stavů. U těchto dokumentů se vzhledem k přesahu do mnohých odvětví a také přímé závislosti na politických rozhodnutích nepředpokládá implementace změn, spíše je nutné dohlédnout na soulad připravovaného návrhu s vyjmenovanými dokumenty.

Níže je k dispozici výčet vyhledaných dokumentů:

- Zákon č. 239/2000 Sb., o integrovaném záchranném systému a o změně některých Zákonů [22];
- Zákon č. 240/2000 Sb., o krizovém řízení a o změně některých zákonů (krizový zákon) [1];
- Zákon č. 12/2002 Sb., o státní pomoci při obnově území postiženého živelnou nebo jinou pohromou a o změně zákona č. 363/1999 Sb., o pojišťovnictví a o změně některých souvisejících zákonů (zákon o pojišťovnictví), ve znění pozdějších předpisů (zákon o státní pomoci při obnově území) [23];
- Příloha krizového plánu Ministerstva č. 2.4. Metodika způsobu přijímání regulačních opatření v dopravě za krizových stavů [24];
- Příloha krizového plánu Ministerstva dopravy č. 2.6 Katalog regulačních opatření v dopravě přijímaných za krizových stavů [25].

Zákon [22] ve svém předmětu vymezuje integrovaný záchranný systém, stanoví složky integrovaného záchranného systému a jejich působnost, pokud tak nestanoví zvláštní právní předpis, působnost a pravomoc státních orgánů a orgánů územních samosprávných celků, práva a povinnosti právnických a fyzických osob při přípravě na mimořádné události a při záchranných a likvidačních pracích a při ochraně obyvatelstva před a po dobu vyhlášení stavu nebezpečí, nouzového stavu, stavu ohrožení státu a válečného stavu (dále jen „krizové stavy“).

V úvodu práce zmíněný zákon [1] ve svém předmětu stanovuje působnosti a pravomoci státních orgánů a orgánů územních samosprávných celků a práva a povinnosti právnických a fyzických osob při přípravě na krizové situace, které nesouvisejí se zajišťováním obrany České republiky před vnějším napadením, při jejich řešení a při ochraně kritické infrastruktury a odpovědnost za porušení těchto povinností. Tento zákon zapracovává mimo jiné příslušné předpisy Evropské unie a upravuje určování a ochranu evropské kritické infrastruktury.

Zákon [23] ve svém předmětu stanovuje zásady pro poskytnutí státní finanční pomoci (dále jen „státní pomoc“) při obnově území postiženého živelní nebo jinou pohromou a postup předcházející poskytnutí státní pomoci. Ve čtvrtém paragrafu se pak věnuje strategiím obnovy území obcí postihnutých těmito mimořádnými událostmi.

Dokument [24] je obecným metodickým návodem určeným pro věcně příslušné orgány krizového řízení v dopravě, které se podílí na přípravě a přijetí regulačních opatření v dopravě přijímaných za krizových stavů

Dokument [25] je katalogem regulačních opatření přijímaných za krizových stavů. Regulačními opatřeními se rozumí součástí systému hospodářských opatření pro krizové stavy. O jejich použití rozhoduje vláda.

### 3.1.2 Legislativa upravující řízení pomocí SSZ

Základní význam světelných signálů a pravidla chování účastníků silničního provozu upravuje a řeší Zákon č. 361/2000 Sb., ve znění pozdějších předpisů [26]. Výčet světelných signálů pak upravuje vyhláška č. 300/2001 Sb., ve znění pozdějších předpisů, vyobrazení jednotlivých signálů je obsahem Přílohy 5. této vyhlášky [27]. Jakýkoliv návrh SSZ musí být v souladu s uvedenými právními předpisy. Protože v projektu je z pohledu použitých signálů uvažováno použití stávajících, již existujících, nejsou předpokládány změny ve výše uvedených dokumentech. Samotným návrhem světelných signalizačních zařízení se zabývají příslušné TP 81 – Navrhování světelných signalizačních zařízení pro řízení provozu na pozemních komunikacích [2].

Podrobné analýze pak byla podrobena norma ČSN EN 73 6021 Umístění a použití návěstidel [28]. Hlavním cílem podrobné analýzy normy ČSN EN 73 6021 bylo ověření následujících informací:

1. Zda norma výslovně nezakazuje v technologickém řešení použít taková návěstidla, která by byla v provozu pouze v případě mimořádné či krizové situace;
2. Zda norma výslovně nezakazuje v technologickém řešení použít přerušovaná červená, nebo přerušovaná zelená světla v případě mimořádné, resp. krizové situace.

Norma stanovuje zásady pro použití a umístění:

- Návěstidel SSZ pro řízení provozu na pozemních komunikacích;
- Návěstidel SSZ pro zvýraznění nebezpečných míst, a to na pozemních komunikacích a na pomalu se pohybujících vozidlech údržby pozemních komunikací.

Následuje rozbor jednotlivých kapitol příslušné normy pro přehlednost *kurzívou*.

*Kapitola 2 příslušné normy definuje základní termíny a definice. Následuje kapitola 3, kde je v první podkapitole shrnut hlavní význam návěstidel pro řízení silničního provozu a v druhé pak lze vyčíst všechny druhy světelných signálů.*

*V podkapitole 3.3 jsou pak definovány všeobecné požadavky na použití a umístění návěstidel:*

- 3.3.1.1. řeší použití a umístění návěstidel ve vztahu k průjezdnému průřezu pozemní komunikace, průjezdnému průřezu tramvajových tratí a umístění návěstidel ve vztahu k trakčnímu vedení;
- 3.3.1.2 řeší výšku návěstidel;

- 3.3.1.3. řeší, které dopravní značky lze použít současně s návěstidlem tříbarevné soustavy (v současné době pouze značky upravující přednost v jízdě nebo značku „Přechod pro chodce“, v případě návěstidla signálu tříbarevné soustavy, které zabezpečuje přechod pro chodce;
- 3.3.1.4. upravuje znázorňování návěstidel v situačních výkresech;
- 3.3.1.5 pak upravuje průměry používaných návěstidel.

*Další podkapitoly jsou pak konkrétněji zaměřeny na určitý typ návěstidel a jejich použití, podkapitola 3.3.2 řeší použití návěstidel pro vozidla signálu tříbarevné soustavy, přičemž v první podkapitole 3.3.2.1. je toto použití řešeno zcela všeobecně, základní pravidla pro realizaci návěstidel tříbarevné soustavy jsou všeobecně známá. Signály jsou vytvářeny čtyřmi signálními obrazy, které jsou zapínány ve sledu: červené světlo => červené a žluté světlo => zelené světlo => žluté světlo. Zelené světlo se smí rozsvítit pouze tehdy, je-li červené a žluté světlo zhasnuté. Dále návěstidlo tříbarevné soustavy také realizuje signál přerušované žluté světlo, při zhasnutém červeném a zeleném světle. V tomto bodě normy se nevyskytuje žádný bod k potenciálnímu využití přerušovaného zeleného světla při zhasnutém červeném a žlutém světle či k využití přerušovaného červeného světla při zhasnutém žlutém a zeleném světle. (Logicky z důvodu, že tyto druhy signálů se zatím v českých podmínkách nevyskytují.)*

*Podkapitola 3.3.3. řeší ostatní návěstidla pro vozidla a podkapitola 3.3.4 návěstidla signálu pro vymezený okruh účastníků.*

*Kapitola 4 pak upravuje použití návěstidel pro zvýraznění nebezpečných míst, přičemž první kapitola rozebírá obecné použití výstražných SSZ. Další pak konkretizují podmínky jednotlivých typů návěstidel pro zvýraznění nebezpečných míst.*

Po kompletním pročtení a analýze normy je možné konstatovat, že zákazy použití speciálních návěstidel nebo speciálních druhů signálů v případě mimořádné, resp. krizové situace neexistují. Při případném zásahu do současných dopravně-inženýrských řešení je ale nutné brát v ohledu především, aby tyto zásahy co nejméně narušovaly zvyklosti z pohledu psychologie řidiče, ale také aby navrženými zásahy nebyly překročeny kapacity pozornosti jednotlivých účastníků silničního provozu, protože dnešní komunikace ve městech bývají často z pohledu podnětů předimenzované.

Při hledání zkušeností ze zahraničí v tématu implementací krizového řízení do městských oblastí nebyl nalezen žádný relevantní zdroj, který tuto problematiku uceleně řeší. Autor se proto zaměřili na rozdíly v umístění a použití návěstidel mezi ČR a zahraničím.

V USA dochází k použití přerušovaného červeného světla na křižovatkách řízených pomocí SSZ. Pokud na návěstidle svítí tento signál, je řidič povinen zastavit před vjezdem na nejbližší přechod, nebo na stopčáře, pokud je tato vyznačena. Pokud stopčára vyznačena není, řidič má povinnost zastavit před vjezdem do křižovatky a platí pro něj stejná pravidla, jako by křižovatka obsahovala svislé dopravní značení „STOP! Dej přednost v jízdě.“ Pravidlo je přímo evidováno v zákoně většiny zemí USA [29].

V Japonsku dochází k použití přerušovaného červeného světla na křižovatkách s následujícími pravidly. Chodci mohou během tohoto signálu vstoupit do křižovatky, přičemž musí postupovat opatrně a věnovat pozornost jinému provozu. Motorová vozidla a tramvaje musí zastavit na stopčáře před pokračováním v jízdě [30].

Další příklad využití přerušovaného červeného světla pro řízení dopravy pochází z Jižní Afriky [31]. Blikající červený světelný signál pro vozidla, autobusy nebo tramvaje oznamuje řidiči vozidla, že dává přednost všem chodcům překračujícím trasu vozidla a zároveň signalizuje chodci, že může přejít vozovku, pokud je to bezpečné.

Na základě analýzy lze uvažovat o několika směrech úprav současné legislativy, a to především normy ČSN EN 73 6021, nejdříve jsou jmenovány všechny uvažované varianty:

- Odstavec 3.3.1.3 řeší, které dopravní značky lze použít současně s návěstidlem tříbarevné soustavy. Lze uvažovat o přidání proměnných dopravních značek, které by se aktivovaly pouze za mimořádné, resp. krizové situace a které by upozorňovaly na možná nebezpečí, konkrétně informativní svíslé dopravní značky A23 – Kolona a A27 – nehoda;
- Dalšími uvažovanými značkami v odstavci 3.3.1.3. v tomto směru by mohly být všechny příkazové značky typu C2 rovněž pouze formou proměnné informační značky. Protože by se ale v tomto případě vždy narazilo na problém, že světelná signalizace má přednost před svíslým a vodorovným dopravním značením, lze toto řešení doporučit pouze za předpokladu současného použití směrových signálů v dopravním řešení křižovatky. Použití při plných signálech bylo vyhodnoceno jako nevhodné;
- Norma v žádném bodě výslovně nevyklučuje použití návěstidel, která budou použita pouze za mimořádné, resp. krizové situace, je tedy na zvážení zda do normy zapracovávat bod, který instalaci takových návěstidel bude upravovat. Pokud by takový bod zapracován byl, rozhodně by měl být přidán do podkapitoly 3.3.3., kde sám o sobě dává největší smysl pro použití a implementaci návěstidel ve městě, naopak nebude upravována kapitola 4, protože v případě krizového řízení není vhodné zatěžovat stávající dopravní řešení, dalšími výstražnými SSZ pro předpokládaný kontraproduktivní psychologický efekt;
- České předpisy na rozdíl od některých zahraničních neobsahují použití přerušovaných červených a přerušovaných zelených signálů pro žádné účely. V použití přerušovaných červených signálů lze spatřovat jistý potenciál zejména v situacích, kdy bude řidičům třeba dát jasně najevo, že byl právě spuštěn nestandardní způsob řízení křižovatky. Do podkapitoly 3.3.2.1. by tedy bylo vhodné zapracovat minimálně existenci těchto variant a následně specifikovat způsob použití.

S ohledem na stávající znění české legislativy a snahu o minimalizaci legislativních zásahů do dokumentů, jsou obecně pro krizové řízení vyvozena následující dvě doporučení:

- Je nutné zavést do stávajících norem takový druh signálu, který řidičům dá jasně najevo, že došlo ke spuštění systému krizového řízení, a tudíž se v některém ze směrů zeleného signálu dlouhodobě vůbec nedočkají. **Návrh: Zavedení přerušovaného červeného signálu do českých norem pro tyto účely;**
- Je nutné nalézt takové technologické řešení, které bude schopno při současných SSZ co nejjednodušeji odklánět dopravu z míst mimořádné, resp. krizové situace a zároveň nebude vyžadován přílišný zásah do stávajících SSZ. **Návrh: Zavedení proměnných doplňkových šipek do českých norem pro tyto účely.**

## 3.2 Vlastní návrh obecné metodologie

Podkapitola 3.2 je kompletně vlastním a původním návrhem obecné metodologie zavádění systému krizového řízení pomocí SSZ v českých podmínkách. Návrh je rozdělen na tři základní pohledy:

- Funkční pohled
  - definuje základní předpoklady pro fungování systému, požadované funkce navrhovaného systému a definuje doporučený postup pro zavádění systému krizového řízení v posuzované oblasti;

- odpovídá na otázky: Co je základním předpokladem pro návrh systému v oblasti? Co by měl systém splňovat? Jaký je doporučený postup pro zavádění funkčního systému?
- Organizační pohled
  - definuje klíčové hráče s vlivem na návrh, implementaci a provoz systému krizového řízení a možné scénáře vzniku mimořádných resp. krizových situací;
  - odpovídá na otázky: Kdo a jak zajistí návrh, implementaci a provoz systému? Jaké existují typy mimořádných, resp. krizových situací s vlivem na dopravu? Jak stanovit scénáře řízení dopravy pro vybranou oblast?
- Technologický pohled
  - definuje soubor technologických opatření pro reálnou implementaci a realizaci krizového řízení v českých podmínkách za předpokladu již definovaných funkcí systémů a scénářů pro krizové řízení v rámci funkčního a organizačního pohledu;
  - odpovídá na otázky: Jak odkloním dopravu mimo místa mimořádné, resp. krizové situace na základě předem připraveného scénáře? Jaké technologické prvky k tomu potřebuji? Je návrh přenositelný obecně pro jakoukoliv oblast?

### 3.2.1 Funkční pohled

#### 3.2.1.1 Základní funkční předpoklady pro naplnění postupu

Pro praktickou realizovatelnost návrhu systému krizového řízení pro městskou oblast je třeba dbát základních funkčních předpokladů níže:

- 1. Postup je v této podobě uplatnitelný pro města pouze na území ČR** – tento předpoklad vychází především z faktu, že veškeré návrhy pracují výhradně s českou legislativou.
- 2. Postup řeší oblast města, které obsahuje síť křižovatek, které jsou řízeny pomocí SSZ a ovládané z řídicí dopravní ústředny** – návrh krizového řízení se zaměřuje pouze na takové oblasti, u kterých je možné do dopravy pružně zasáhnout a měnit parametry řízení v oblasti. Neřeší tedy městské oblasti, ve kterých se SSZ vůbec nevyskytuje nebo ve kterých se vyskytuje tak málo, že prakticky nelze dopravní chování v oblasti pomocí změny parametrů řízení měnit;
- 3. Postup počítá s premisou, že mimořádné či krizové situace nepřerostou do extrémů, kdy nebude možné napájet SSZ na křižovatkách** – v případě, že by nebylo možné napájet SSZ na křižovatkách, je znění metodiky bezpředmětné;
- 4. Řešená oblast města je uzavřená** – řídicí ústředna pracuje s konečným počtem ovládaných SSZ. Tímto konečným počtem SSZ je definovaná uzavřená řešená oblast města. Uzavřenou oblastí může být celé město, nebo pouze část města, zde záleží především na organizačním uspořádání města a na současném způsobu řešení dispečinku;
- 5. Sousedící řízené oblasti města spolu vzájemně kooperují** – v případě větších měst je nutná kooperace dvou či několika vzájemně sousedících uzavřených oblastí v případě řešení mimořádné, resp. krizové situace, a to zejména z důvodu, aby vyřešení situace v jedné oblasti nevyvolalo podobnou situaci v oblasti jiné. (Vznikal by problém analogický k problému regulace parkování ve městech.)

#### 3.2.1.2 Požadované funkce systému krizového řízení

Systém krizového řízení dopravní oblasti je budován s cílem naplnění následujících základních makrofunkcí:

- Včasná identifikace mimořádné, resp. krizové situace;
- Zvýšení bezpečnosti a plynulosti dopravy v městské oblasti v případě mimořádné, resp. krizové situace;

- Zvýšení rychlosti schopnosti znovuobnovení rovnovážného stavu dopravy za vzniku mimořádné, resp. krizové situace;
- Zabránění šíření krizových situací.

V tabulce níže jsou pak definovány a uvedeny prostředky pro naplnění těchto makrofunkcí:

Tabulka 2 Makrofunkce systému krizového řízení [zdroj: vlastní]

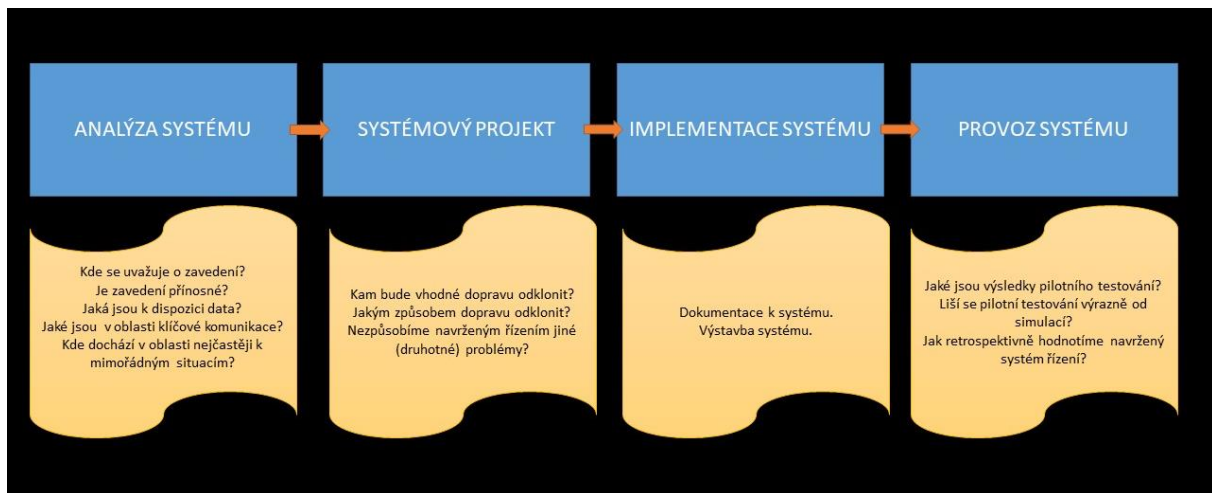
<b>Makrofunkce</b>	<b>Prostředky pro naplnění makrofunkcí</b>
Včasná identifikace mimořádné, resp. krizové situace	Dopravní detektory na území oblasti, dopravní dispečinky
Zvýšení bezpečnosti a plynulosti dopravy v městské oblasti v případě mimořádné, resp. krizové situace	Příprava scénářů řízení v městské oblasti, důkladná znalost postupů jednání při vzniku mimořádné, resp. krizové situace, proškolení PČR zaměřené na jednání v krizových situacích
Zvýšení rychlosti schopnosti znovuobnovení rovnovážného stavu dopravy za vzniku mimořádné, resp. krizové situace	Důkladná znalost postupů jednání při vzniku mimořádné, resp. krizové situace, proškolení kompetentních osob
Zabránění šíření mimořádných, resp. krizových situací	Odklonění dopravy v oblasti požadovaným směrem, zamezení vjezdu vozidel do oblastí, ve kterých došlo k vyvolání mimořádné, resp. krizové situace

### 3.2.1.3 Doporučený postup při návrhu systému krizového řízení dopravy v městské oblasti

Z hlediska systémových věd lze systém krizového řízení města považovat za měkký systém, protože je do jisté míry neurčitý vzhledem k jeho organizačnímu zajištění a zároveň těžko přenositelný, tzn. systém navržený pro jednu konkrétní oblast nelze pouze převzít a aplikovat v jiné oblasti. Návrh systému krizového řízení dopravy v městské oblasti probíhá v několika fázích, fáze byly navrženy dle Akčního výzkumu podle Jenkinse [15], jedné z nejpoužívanějších metodologií měkkých systémů. Jedná se o následující fáze:

1. Analýza systému
  - **Vymezení dopravní oblasti a jejího blízkého okolí;**
  - **Analýza dopravní oblasti na základě dostupných vstupních podkladů, vstupních dat a zkušeností se současným systémem řízení dopravy v oblasti;**
  - **Riziková analýza typů nebezpečí (mimořádných, resp. krizových situací) na základě frekvence výskytu a hodnocení dopadů v posuzované oblasti;**
  - **Identifikace klíčových komunikací z hlediska zajištění plynulosti dopravy;**
  - **Identifikace míst častých výskytů dopravních excesů s významným vlivem na dopravu ve městě.**
2. Systémový projekt
  - **Stanovení objízdnych tras, na které by mohla být vozidla směřována tak, aby nebyla překročena kapacita přilehlých komunikací a zároveň byly dopady na blízké okolí minimální;**
  - **Procesní návrh navedení vozidel na objízdne trasy;**
  - **Simulace stanovených objízdnych tras v prostředí vybraného SW;**

- **Optimalizace parametrů krizového řízení na základě simulačního testování.**
3. Implementace projektu
    - **Tvorba dokumentace kompletního návrhu systému krizového řízení městské oblasti;**
    - **Výstavba systému.**
  4. Provoz systému
    - **Pilotní testování vystaveného systému;**
    - **Retrospektivní vyhodnocení projektu a optimalizace navrženého systému krizového řízení dopravní oblasti.**



Obrázek 12 Přehledové schéma doporučeného postupu při návrhu systému krizového řízení dopravní oblasti [zdroj: vlastní]

Na Obrázku 12 lze vidět přehledové schéma doporučeného postupu při návrhu systému krizového řízení dopravní oblasti a jsou v něm nastíněny otázky, které by měly být v každé fázi návrhu zodpovězeny.

Ve fázi Analýzy systému je vymezena uzavřená oblast, pro kterou bude systém krizového řízení navržen, musí se jednat o oblast, která splňuje vstupní funkční předpoklady popsané v kapitole 2.1. Kromě toho je definováno blízké a vzdálené okolí dané oblasti, které bude mít na oblast vliv. Následně je provedena podrobná analýza dopravní oblasti na základě dostupných vstupních podkladů a zkušeností se systémem řízení dopravy v navrhované oblasti. Výstupem této analýzy by měla být především zdůvodněná informace, zda zavedení krizového řízení v oblasti bude účelovým řešením. V dalším kroku je nutné pro zadanou oblast provést rizikovou analýzu na základě frekvence výskytu jednotlivých typů nebezpečí a jejich hodnocení (ať už kvalitativního či kvantitativního), blíže popsaných v podkapitole 3.2.1.4. Z rizikové analýzy by mělo být zřejmé, na které riziko je nutné se v posuzované oblasti zaměřit nejvíce. Následně budou identifikovány klíčové komunikace z hlediska zajištění plynulosti dopravy v oblasti a poté budou identifikována místa častých výskytů dopravních excesů a dalších mimořádných, resp. krizových situací s významným vlivem na dopravu ve městech. Klíčové komunikace budou identifikovány empiricky, hlavní metrikou pro stanovení důležitosti komunikací pak jsou hodnoty dopravních intenzit. Způsob identifikace míst častých výskytů dopravních excesů a jiných mimořádných, resp. krizových situací s vlivem na dopravu ve městě pro přípravu scénářů je podrobněji rozepsán v podkapitole 3.2.1.5, kde je použita metoda predikce dopravních excesů pomocí neuronové sítě.

Ve fázi Systémového projektu jsou v oblasti expertně stanoveny objízdné trasy, na které by mohla být vozidla směřována tak, aby nebyla překročena kapacita přilehlých komunikací a zároveň byly dopady na blízké okolí minimální. Řešení objízdných tras pro jednotlivé oblasti budou do značné míry individuální. Následně je proveden procesní návrh navedení vozidel na objízdné trasy, což spočívá především ve stanovení konkrétních uzlů, u kterých dojde v dané oblasti na základě identifikovaných míst častých dopravních excesů či dalších mimořádných, resp. krizových situací k úpravám signálních plánů tak, aby bylo vozidla možné odklonit mimo tyto místa vzniku těchto situací. Po jejich stanovení budou tyto uzly technicky připraveny na systém krizového řízení. Technické prostředky pro zajištění systému krizového řízení jsou podrobněji popsány v podkapitole 3.2.3. Procesní návrh bude následně simulován ve vhodném SW tak, aby bylo možné navržený systém řízení ověřit. Na základě testování pomocí simulace pak budou optimalizovány parametry navrženého systému.

Ve fázi Implementace projektu je optimalizovaný návrh systému krizového řízení kompletně naprojektován a zdokumentován, následně proběhne jeho implementace v reálném provozu.

Ve fázi Provozu systému je krizové řízení v oblasti pilotně testováno a dochází k retrospektivnímu vyhodnocení projektu a optimalizaci navrženého systému krizového řízení dopravní oblasti.

### 3.2.1.4 Riziková analýza typů nebezpečí (mimořádných, resp. krizových situací)

Nedílnou součástí analýzy systému krizového řízení pro vytipovanou oblast by měla být riziková analýza jednotlivých hrozeb v příslušné oblasti. Na základě rizikové analýzy by pak měly být připraveny scénáře pro systém řízení dopravy v oblasti. Je zřejmé, že různé typy nebezpečí budou pro určité oblasti rizikovější než pro jiné. Následující postup proto počítá s tím, že následující vybrané typy nebezpečí by měly být zvažena vždy a na expertech pro danou oblast pak náleží stanovení dalších.

Tabulka 3 Tabulka identifikovaných nebezpečí a jejich parametrů [zdroj: vlastní]

Identifikované nebezpečí	Pravděpodobnost vzniku nebezpečí	Dopady nebezpečí				Expertní hodnocení dopadů
		život/zdraví	čas	životní prostředí	CELKEM	
Dopravní exces I. druhu	<b>p1</b>	d11	d12	d13	<b>d1</b>	<b>h1</b>
Dopravní exces II. druhu	<b>p2</b>	d21	d22	d23	<b>d2</b>	<b>h2</b>
Dopravní kolaps	<b>p3</b>	d31	d32	d33	<b>d3</b>	<b>h3</b>
Nahlášená hrozba	<b>p4</b>	d41	d42	d43	<b>d4</b>	<b>h4</b>
Teroristický útok	<b>p5</b>	d51	d52	d53	<b>d5</b>	<b>h5</b>
Přírodní katastrofa	<b>p6</b>	d61	d62	d63	<b>d6</b>	<b>h6</b>
...	...	...	...	...	...	...
Jiné nebezpečí	<b>pn</b>	dn1	dn2	dn3	<b>dn</b>	<b>hn</b>

Tabulka 3 výše počítá s nejčastějšími typy nebezpečí, na které by měl být systém krizového řízení připraven. Konkrétně se jedná o nebezpečí vzniku dopravního excesu I. druhu, tedy dopravní kongesce v určité části oblasti, dále pak o nebezpečí vzniku dopravního excesu II. druhu, tedy dopravní nehody v určité části oblasti. Dále pak nebezpečí, že dojde k dopravnímu kolapsu celé oblasti, tedy nebezpečí, že dojde ke kombinaci předchozích dvou identifikovaných nebezpečí nebo k jejich nekontrolovatelnému šíření. Čtvrtým identifikovaným typem nebezpečí je nahlášení hrozby teroristického útoku či jiného typu útoku v příslušné oblasti. Pátým typem nebezpečí je teroristický útok samotný. I pro tyto typy událostí by mohlo být vhodné odklonit dopravu mimo místa vzniku. Dále je třeba brát v úvahu typ nebezpečí vzniku přírodní katastrofy, tedy pravděpodobnost záplav, povodní, silného větru, nebezpečných bouřkových jevů atp. Výčet typů nebezpečí tímto nemusí být úplný, pokud je posuzovaná lokalita specifická jiným typem nebezpečí, je možné tabulku výše o dané typy doplnit.

Na rizikovou analýzu samotnou je doporučeno použít polokvantitativní metodu „PNH,“ a to zejména z důvodu, že systém hodnocení rizik je zatížen velkou měrou neurčitosti plynoucí ze subjektivity.



Celkové hodnocení rizika lze získat součinem, jehož výsledkem je ukazatel míry rizika R dle vzorce (2) níže.

$$R = r_1, r_2, r_3, \dots, r_n, \quad \text{kde } r_i = p_i \cdot d_i \cdot h_i \quad (2)$$

- $r_i$  – ukazatel míry příslušného rizika;
- $p_i$  – pravděpodobnost vzniku příslušného typu nebezpečí;
- $d_i$  – celkové hodnocení dopadu rizika;
- $h_i$  – expertní hodnocení dopadu rizika.

Pravděpodobnost vzniku příslušného typu nebezpečí lze predikovat na základě historických dat o jeho frekvenci výskytu v dané oblasti, pokud jsou tato data k dispozici. Přesnost této predikce pak závisí obecně na dostatečně velkém vzorku historických dat a na odchylkách v datech:

- U událostí, které se v dané oblasti budou vyskytovat častěji (dopravní excesy), lze pečlivěji zkoumat jednotlivé souvislosti a závislosti v datech a lze objektivně předpokládat opakující se situace s menšími dopady;
- U událostí, které se v dané oblasti téměř nevyskytují (teroristický útok), prakticky nelze předpovědět;
- U událostí, které se v dané oblasti vyskytují zřídka, ale dopady mohou být velké (přírodní katastrofy) lze většinou predikovat v čase bezprostředně před hrozbou a je třeba být na ně připraven.

Odhad pravděpodobnosti (P), se kterou může uvažované nebezpečí opravdu nastat, je stanoven dle stupnice odhadu pravděpodobnosti vzestupně číslem od 1 do 5, kde je zjednodušeně zahrnuta míra, úroveň a kritéria jednotlivých nebezpečí a ohrožení. Je zřejmé, že pro každý typ nebezpečí se **frekvence výskytu** bude hodnotit trochu odlišně. V Tabulce 4 níže je příslušné jazykové hodnotě pravděpodobnosti vzniku nebezpečí přiřazena hodnota číselná. Poslední sloupec je ponechán prázdný, protože způsob výpočtu či volby příslušné hodnoty nebezpečí bude záviset zejména na **oblasti, typu nebezpečí samotném a časech historického pozorování**. Existuje-li např. statistika dopravních kongescí a je prokazatelné, že se v posuzované oblasti za celý rok nestala dopravní kongesce, lze označit v tabulce pravděpodobnost vzniku příslušného typu nebezpečí za „velmi malou“. Existuje-li statistika přírodních katastrof a je-li prokazatelné, že za celý rok nedošlo v oblasti, která se nachází v povodňové zóně, k přírodní katastrofě, znamená to pro posuzovatele i tak nedostatek informací, aby mohl příslušný typ nebezpečí označit za nepravděpodobný.

Tabulka 4 Hodnocení pravděpodobnosti vzniku nebezpečí [zdroj: vlastní]

Pravděpodobnost vzniku nebezpečí	Hodnocení nebezpečí	Vysvětlení výpočtu nebo volby hodnoty nebezpečí
Velmi velká	5	<i>Bude záležet na příslušném typu nebezpečí</i>
Velká	4	<i>Bude záležet na příslušném typu nebezpečí</i>
Střední	3	<i>Bude záležet na příslušném typu nebezpečí</i>
Malá	2	<i>Bude záležet na příslušném typu nebezpečí</i>
Velmi malá	1	<i>Bude záležet na příslušném typu nebezpečí</i>

Pro hodnocení celkového dopadu jednotlivých typů nebezpečí je navrženo podobné škálové hodnocení, které je však v tabulce hodnoceno zvlášť pro tři hlavní potenciální dopady; tzn. dopad na ztrátový čas v dopravě, dopady na život a zdraví obyvatel a účastníků silničního provozu a dopady na životní prostředí. Příslušná hodnotící škála tedy bude platná pro každý z vyjmenovaných parametrů, výsledná hodnota dopadu je pak stanovena průměrem z nich dle vzorce (3).

$$d_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n d_{ij} \quad (3)$$

V následujících tabulkách jsou pak stanovena základní kritéria pro hodnocení jednotlivých dopadů, která jsou měřitelná nebo je lze získat ze statistických dat.

Z hlediska hodnocení dopadu rizika na ztrátový čas v dopravě je stěžejní průměrné zdržení vozidel v posuzované oblasti nad rámec jízdní doby přes oblast, příslušná hodnocení dopadu pak odpovídají příslušným dobám zdržení, přičemž čímž je zdržení v oblasti delší, tím je dopad hodnocen jako závažnější.

Tabulka 5 Dopad rizika na ztrátový čas v dopravě [zdroj: vlastní]

Dopad rizika na ztrátový čas v dopravě	Hodnocení dopadu	Vysvětlení
Velmi velký	5	událost v oblasti způsobí v průměru zdržení vozidel překračující 1 hodinu
Velký	4	událost v oblasti způsobí v průměru zdržení vozidel v intervalu 30-60 min
Střední	3	událost v oblasti způsobí v průměru zdržení vozidel v intervalu 10-30 min
Malý	2	událost v oblasti způsobí v průměru zdržení vozidel v intervalu 2-10 min
Velmi malý	1	událost v oblasti způsobí v průměru zdržení vozidel nepřekračující 2 min

Z hlediska hodnocení dopadu rizika na život/zdraví jsou stěžejní historická data o typu události s dopadem na život a zdraví. Žádná událost se ztrátami na životech by neměla být bagatelizována, a tudíž by její dopad měl být hodnocen jako velmi vážný. Naopak vzniknou-li v oblasti pouze hmotné škody, lze hovořit o dopadu malém.

Tabulka 6 Dopad rizika na život/zdraví lidí [zdroj: vlastní]

Dopad rizika na život/zdraví	Hodnocení dopadu	Vysvětlení
Velmi velký	5	událost v oblasti v minulosti způsobila i smrtelná zranění
Velký	4	událost v oblasti způsobuje zranění, nikoliv však smrtelná
Střední	3	událost v oblasti způsobuje ojediněle těžká zranění, obvykle jen lehká a hmotné škody
Malý	2	událost v oblasti zpravidla způsobuje pouze hmotné škody, ojediněle lehká zranění
Velmi malý	1	událost v oblasti způsobuje zpravidla pouze hmotné škody

Z hlediska dopadu rizika na životní prostředí lze vycházet z dlouhodobých a krátkodobých imisních limitů dle zákona o ochraně ovzduší 201/2012 Sb., v aktuálním znění, vyhlášky o způsobu posuzování a vyhodnocení úrovně znečištění, rozsahu informování veřejnosti o úrovni znečištění a při smogových situacích 330/2012 Sb., v aktuálním znění a z následující tabulky.

Tabulka 7 Dopad rizika na životní prostředí [zdroj: vlastní]

Dopad rizika na životní prostředí	Hodnocení dopadu	Vysvětlení
Velmi velký	5	v oblasti dochází k pravidelnému překračování dlouhodobých i krátkodobých imisních limitů dle [57]
Velký	4	v oblasti dochází k občasnému překračování dlouhodobých i krátkodobých imisních limitů dle [57]
Střední	3	dochází k občasnému překračování krátkodobých imisních limitů v závislosti na rozptylových podmínkách
Malý	2	dochází k ojedinělému překračování krátkodobých imisních limitů v závislosti na rozptylových podmínkách
Velmi malý	1	v oblasti nedochází k překračování dlouhodobých ani krátkodobých imisních limitů dle [57]

Dle výše uvedeného postupu lze poměrně objektivně získat hodnocení tří významných dopadů identifikovaných typů událostí. Autor si uvědomuje, že průměrování těchto tří dopadů je poměrně subjektivní záležitost vyvolávající všeobecné spekulace, zda v případě dopravy platí, že by měly být tyto dopady hodnoceny na stejné úrovni, či že jsou příliš zjednodušující. Objeví se názory, že ztrátový čas v dopravě není důležitý v porovnání s lidskými životy. Objeví se jistě i názory, že dopad na imise, je součástí dopadu na zdraví, objeví se názory imise z dopadů vynechat, protože se pro některé budou jevit jako bezvýznamné. Obhajobu všech zvolených dopadů lze spatřovat především v definici přínosů inteligentních dopravních systémů, kterými by měly být vyšší bezpečnost dopravy, vyšší plynulost dopravy, snížení negativních vlivů na životní prostředí. Nežádoucí jsou tedy jevy nebezpečné s vlivem na zdraví obyvatel, zbytečná zdržení v oblastech nad rámec účelu a nežádoucí tvorba látek znečišťující životní prostředí.

Polokvantitativní metoda pak v posledním kroku do rizikové analýzy zahrnuje expertní hodnocení příslušného typu nebezpečí. Expertní hodnocení je závislé na zkušenostech klíčových hráčů, které se s jednotlivými typy nebezpečí už setkávají, jedná se v podstatě o určení další váhy pro příslušná rizika. Klíčoví hráči v systému krizového řízení oblasti jsou definováni níže v podkapitole „Organizační pohled.“

Po vynásobení pravděpodobnosti vzniku typu nebezpečí, jeho dopadu a expertního z hodnocení lze získat ukazatel míry rizika R, který se v tomto případě bude pohybovat v intervalu  $\langle 1, 125 \rangle$ . Následující tabulka 8 níže pak znázorňuje jednotlivé rizikové stupně, které vyjadřují naléhavost úkolů přijetí opatření ke snížení rizika a prioritu bezpečnostních opatření, která by měla být obsažena v plánu zvýšení úrovně bezpečnosti, jenž by měl být součástí vyhodnocení a dokumentace rizik.

Tabulka 8 Rizikové stupně [zdroj: vlastní]

Rizikový stupeň	Hodnota R	Míra rizika
I.	$> 100$	Nepřijatelné riziko
II.	$(50, 100)$	Nežádoucí riziko
III.	$(10, 50)$	Mírné riziko
IV.	$\langle 3, 10 \rangle$	Akceptovatelné riziko
V.	$< 3$	Bezvýznamné riziko

Čím vyšší je hodnota ukazatele míry rizika R, tím je dané riziko v oblasti závažnější a tím rychlejší by měla být tvorba opatření k jeho eliminaci.

### 3.2.1.5 Identifikace míst častých výskytů dopravních excesů s významným vlivem na dopravu ve městě – popis možnosti využití predikce dopravních excesů

Poté co je provedena riziková analýza, a tudíž je zřejmé, na která rizika je nutné se v posuzované oblasti zaměřit nejdříve, následuje identifikace klíčových komunikací v posuzované oblasti, která proběhne empiricky, a dále je vhodné identifikovat místa s častým výskytem mimořádných situací ovlivňujících dopravu, či vyšší nebezpečí těchto situací za určitých kombinací podmínek. V případě dostatku historických dat o oblasti, což ale není samozřejmostí, je vhodné v tomto kroku provést predikci pravděpodobnosti vzniku mimořádné, resp. krizové situace. Je zřejmé, že většina mimořádných situací se děje velmi málo a tyto predikovat nelze. Proto je podkapitola zaměřena pouze na dopravní excesy.

Predikcí dopravních excesů se autor aktivně zabýval jako řešitel ve vědecko-výzkumném projektu „TJ01000183 - Predikce dopravních excesů využívající neuronové sítě“ a čistě z tohoto pragmatického

důvodu je v disertační práci vysvětlen postup predikce pomocí techniky neuronových sítí a také jeho úskalí. Již v kapitole 2 ale bylo avizováno, že predikční modul je v řízení dopravní oblasti brán jako doplňkový. Je velký předpoklad, že v praxi města nebudou mít kapacity na budování neuronové sítě pro predikci nebo nebudou mít dostatek vhodných dat pro predikci. V takovém případě je vhodné místa vyššího nebezpečí vzniku dopravních excesů stanovit opět expertně.

Postup predikce dopravních excesů pomocí neuronových sítí lze zobecnit do několika základních kroků:

- Analýza možných vlivů na dopravní excesy;
- Analýza dostupných vstupních dat pro model neuronové sítě;
- Výběr vhodného typu neuronové sítě a vhodné aktivační funkce neuronové sítě;
- Tvorba funkčního modelu neuronové sítě (včetně stanovení kombinace vstupů a výstupů);
- Naprogramování neuronové sítě (či využití některého z komerčních SW, které obsahují moduly pro neuronové sítě);
- Ověření přesnosti predikcí neuronové sítě a analýza citlivosti;
- Tvorba aplikace pro predikci dopravních excesů.

Je třeba si uvědomit, že vlivů na dopravní excesy je celá řada a ne ze všech budou k dispozici historická nebo online data. Z historických dat lze např. zjistit, kolik % nehod v dané oblasti vzniklo v kombinaci s požitím alkoholu, ale už těžko lze zjistit náladu a emocionální rozpoložení řidiče v době vzniklé nehody. Pragmaticky řečeno, existují vlivy (a to dost významné), u nichž je predikce téměř nemožná a pak vlivy, u nichž je obtížná. Ze zkušeností lze při návrhu systému krizového řízení čerpat minimálně z historických dat o nehodovosti od Policie České republiky, dále pak z meteorologických dat Českého hydrometeorologického ústavu, ze zdrojů o intenzitách a rychlosti dopravy (pokud pro danou oblast existují), z historických dat o délkách dopravních kolon (pokud pro danou oblast existují) a dále z FCD, jež zažívají rozmach.

Typů neuronových sítí je celá řada, poměrně důkladně je toto téma rozebráno v [20], stejně tak je možné v různých publikacích sehnat dostatek informací, kde je využití jednotlivých typů vhodné. V rámci výzkumu predikce dopravních excesů je pak zvolena vícevrstevná neuronová síť s aktivační funkcí sigmoida. Tento typ sítě je zvolen zejména s ohledem na získaný přehled ohledně používaných typů sítí pro účely predikce časových řad, kde vícevrstevná neuronová síť byla s úspěchem využívána pro typově srovnatelné aplikace a patří k nejpoužívanějším a nejpřesnějším pro odhady časových řad. Aktivační funkce sigmoida je pak doporučena empiricky s ohledem na to, že vykazovala ze všech aktivačních funkcí největší přesnost predikcí. Matematický aparát příslušného typu neuronové sítě nebyl při výzkumu nikterak měněn, a tak zde ani není uveden, důkladný popis lze najít ve zmiňované disertační práci [20].

Při sestavování funkčního modelu neuronové sítě největší nedostatek tvořila zejména absence relevantních vzorků dat pro účely predikce dopravních excesů I. druhu, pro tyto excesy proto došlo pouze k vyhodnocení přesnosti predikce dat o kolonách ze simulačního prostředí. Pro dopravní excesy II. druhu (nehody) došlo k získání poměrně velkého vzorku dat o dopravní nehodovosti pro testovací oblast (10 let), i dalších datových zdrojů (meteorologická data, data o intenzitách), problémem však zůstal řídký výskyt jevu dopravní nehody a pak způsob převedení dostupných vstupů na výstup neuronové sítě. Výstup neuronové sítě byl stanoven jediný – pravděpodobnost rizika dopravní nehody v příslušné oblasti. Funkční princip neuronové sítě je pak založen na kategorizaci relativní nehodovosti a převod výstupu neuronové sítě na kategoriální proměnné.

Ukazatel relativní nehodovosti je nejběžněji užívaným kritériem pro hodnocení bezpečnosti pozemních komunikací. Jeho hodnota vypovídá především o pravděpodobnosti vzniku nehody na daném úseku komunikace, a to ve vztahu k jízdnímu výkonu. Pro mezikřižovatkové úseky je ukazatel relativní nehodovosti dán vzorcem:

$$R = \frac{N_0}{365 \cdot I \cdot L \cdot t} \cdot 10^6 \quad (4)$$

kde: R je hodnota ukazatele relativní nehodovosti (počet nehod / milion vozidel na km a rok);  
 $N_0$  je celkový počet nehod ve sledovaném období;  
 I je průměrná denní intenzita provozu (voz/24 hod);  
 L je délka úseku (km);  
 t je sledované období (roky).

Hodnoty ukazatele jsou relativní a obvykle se pohybují v intervalu 0,1 – 0,9. Vyšší hodnoty již poukazují na drobné nedostatky z hlediska bezpečnosti provozu, hodnoty vyšší než 1,6 pak na nedostatky zásadní. Hodnoty ukazatele relativní nehodovosti lze vnášet do mapových podkladů a každému úseku tak přiřadit vlastní údaj. Taková mapa relativní nehodovosti pak poskytne přehlednou představu o bezpečnosti provozu v určité oblasti. Data byla kategorizována dle kvantilové analýzy z dostupných dat. Výsledky kvantilové analýzy jsou uvedeny níže:

25% kvantil: 0,08

50% kvantil: 0,14

75% kvantil: 0,51

A výsledná kategorizace má proto následující tvar jazykových proměnných:

Velmi slabé riziko nehody: (0,01–0,08)

Slabé riziko nehody: (0,08–0,14)

Silné riziko nehody: (0,145–0,51)

Velmi silné riziko nehody: (0,51–0,89)

Na vstupu do neuronové sítě existuje množina vstupních proměnných dle vzorce (5):

$$P = (P_1, P_2, \dots, P_N) \quad (5)$$

Proměnné mohou být jak binární (např. přítomnost alkoholu v krvi v době nehody), tak z určitého rozmezí hodnot (např. dopravní intenzity). Na výstupu z neuronové sítě je pak jedna výstupní proměnná, která může nabývat čtyř hodnot, které reprezentují míru pravděpodobnosti rizika dopravní nehody dle vzorce (6):

$$Y_K = (\text{velmi slabé}, \text{slabé}, \text{silné}, \text{velmi silné}) \quad (6)$$

V tomto případě se jedná o kategoriální proměnné, které není možné přímo vložit do matic plánu. Pomocí neuronové sítě pak dochází k predikci tzv. dummy (též indikátorových) proměnných dle vzorce (7).

$$D = (D_1, D_2, D_3, D_4) = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (7)$$

Pro hodnoty vstupních proměnných dle vzorce (5) pak lze získat pomocí neuronové sítě např. následující výstup ve formě vektoru prezentujícího pravděpodobnosti konkrétních stavů:  $Y = (0,45; 0,78; 0,65; 0,84)$  Nejvyšší hodnota ve vektoru  $Y$  bude překódována na hodnotu 1, zbytek bude překódován na hodnotu 0. Po překódování tedy dostaneme:  $Y_{DUMMY} = (0, 0, 0, 1)$

Výsledek pak lze prezentovat, že pro danou množinu vstupních proměnných lze riziko nehodovosti v oblasti nazvat jako „velmi silné.“

Po naprogramování výše popsané neuronové sítě v SW Python, bylo možné vyhodnotit přesnost predikcí. Přesnost predikce vlastní neuronové sítě pro predikci dopravních nehod byla porovnána s přesností predikce s jinými běžně používanými metodami. Konkrétně se v případě výzkumu jednalo o metody vícenásobné regrese a použití rozhodovacích stromů. Jednotlivé algoritmy byly posuzovány na základě stejných vstupů. Použití vícenásobné regrese vykazovalo nejmenší přesnost ze všech použitých metod, přesnost se pohybuje na hodnotách těsně pod 50 %. Použití rozhodovacích stromů vykazuje mnohem větší přesnost mezi 70-80 %. Přesnost je v tomto případě závislá na počtu rozhodovacích stromů a hloubce každého rozhodovacího stromu. Náhodný rozhodovací strom se skládá z několika rozhodovacích stromů a jeho výsledná přesnost je průměrná hodnota z přesností jednotlivých stromů. Lze konstatovat, že spolu s počtem rozhodovacích stromů a rostoucí hloubkou rozhodovacího stromu, mírně roste rovněž i výsledná přesnost predikce. V případě neuronové sítě se přesnost predikce pohybuje v intervalu 85-90 %, čili je nejvyšší. Zároveň je vhodné konstatovat, že přesnost predikce se velmi mírně zvyšuje společně s počtem neuronů v jednotlivých vrstvách neuronové sítě.

Protože v kontextu disertační práce je predikční modul pouze jednou z mnoha součástí v rámci „ideálního“ modelu řízení dopravní oblasti, nejsou zde graficky prezentovány výsledky predikcí, citlivostní analýzy, ani vzniklá dopravní aplikace pro predikci dopravních excesů. Tyto informace lze dohledat v příslušných publikacích autora, např. [21].

Stěžejní je zdůraznit, že pokud predikční modul pro příslušnou oblast bude přesný, lze pak snadněji identifikovat místa s častým výskytem mimořádných událostí na klíčových komunikacích, či častějším výskytem potenciálu vzniku této situace. Příslušné opakující se události nám pak tvoří scénáře, na které je vhodné se připravit.

### 3.2.2 Organizační pohled

Podkapitola popisuje organizační zajištění systému krizového řízení dopravy v městské oblasti, tedy definuje kompetentní klíčové hráče a jejich role v celém procesu. Následně vysvětluje nejčastější typy mimořádných, resp. krizových situací, ke kterým bude docházet

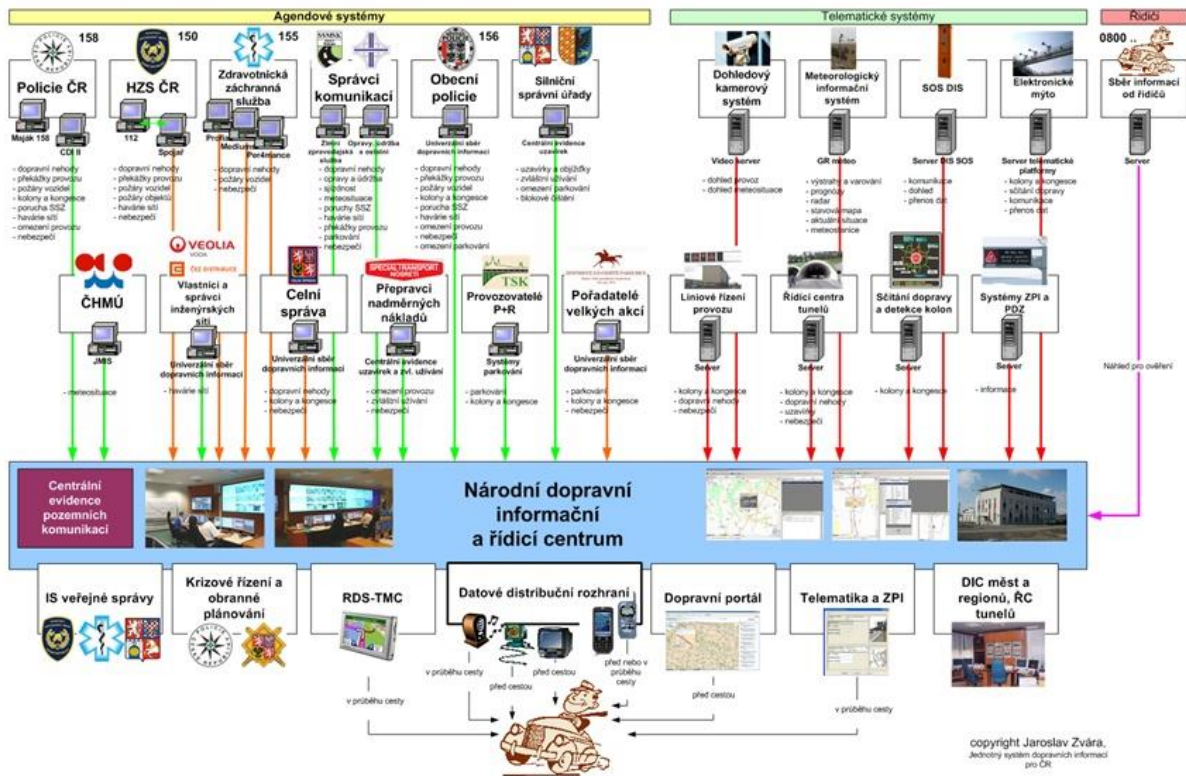
#### 3.2.2.1 Klíčoví hráči v systému krizového řízení oblasti a jejich kompetence

Z hlediska kompetencí v oblasti systému krizového řízení dopravy je vhodné rozlišovat následující klíčové hráče:

- **Státní správa a samospráva (město)** – Státní správa, resp. samospráva dává podněty k zavádění systémů krizových řízení v městských oblastech, kde by tyto systémy plnily

strategické cíle a funkce zmíněné výše. Vypisuje výběrová řízení na dodavatele řešení systémů pro oblast a zároveň naplňuje roli kontrolní v celém procesu krizového řízení;

- **NDIC – Národní dopravní informační centrum** – důležitý klíčový hráč především z pohledu včasné identifikace mimořádné, resp. krizové situace, sbírá dopravní data z mnoha zdrojů a tato data dále veřejně poskytuje mnoha subjektům. Již z aktuálního schématu, kterým se NDIC prezentuje na svých webových stránkách, je zřetelné, že oblast krizového řízení a obranného plánování je jedním z příjemců výstupů NDIC;



Obrázek 13 Schéma NDIC [33]

- **PČR** – subjekt, který musí provést zodpovědné rozhodnutí o spuštění/vypnutí systému krizového řízení za vzniku mimořádné, resp. krizové situace, je nutné, aby byla zajištěna nad systémem řízení dohledová pohotovost 24 hodin, 7 dní v týdnu a také aby tento subjekt za vzniku mimořádné situace úzce spolupracoval s provozovatelem systému;
- **Navrhovatel systému** – soukromý subjekt, který provede samotný projektový návrh systému krizového řízení v definované oblasti;
- **Dodavatel systému** – soukromý subjekt, který dodá a technicky vystaví všechny prvky automatizovaného systému krizového řízení;
- **Dopravní dispečink městské oblasti** – provozovatel systému, který disponuje dohledem nad městskou oblastí a na základě rozhodnutí PČR spouští/vypíná systém krizového řízení;
- **IZS** – složky integrovaného záchranného systému jsou informovány dispečinkem o vzniku mimořádné, resp. krizové situace a spuštění systému krizového řízení;

- **Uživatel systému – Účastník silničního provozu**, tzn. řidič motorového či nemotorového vozidla, cyklista nebo chodec, na něhož bude mít spuštění systému krizového řízení přímý či nepřímý vliv.

### **3.2.2.2 Typy mimořádných, resp. krizových situací a role klíčových hráčů**

Aktivace systému krizového řízení dopravy v městské oblasti může být vyvolána na základě několika scénářů pro konkrétní typy mimořádných situací, které jsou v rámci této disertační práce připravovány pro místa s nejpravděpodobnějším výskytem mimořádné, resp. krizové situace. Tato podkapitola rozpracovává tyto typy mimořádných situací, které mohou v obecně posuzované oblasti nastat, a charakterizuje nejčastější způsob zjištění daného typu situace a opatření v krizovém řízení, do jisté míry tedy definuje role klíčových hráčů v jednotlivých typech mimořádných situací.

#### **I. Dopravní exces I. druhu – dopravní kongesce**

Jedná se o nejčastěji se vyskytující mimořádnou situaci v městských oblastech.

Způsob zjištění: Dopravní exces I. druhu je možné zjistit pomocí dostupných detekčních prostředků, tedy např. strategických detektorů nebo dat z plovoucích vozidel.

Opatření v krizovém řízení: Pokud dojde k rozpoznání kongesce v některém jízdním pruhu, ve směru od vybraného dopravního uzlu, ve kterém bude řízení nasazeno, bude pomocí speciálního signálního plánu svedena doprava mimo tento jízdni pruh, tedy nebude do něj umožněn vjezd dalších vozidel. V případech, kdy nebude technicky možné dopravu zcela odklonit, je snahou vjezd vozidel k místu vzniku mimořádné situace alespoň omezit.

#### **II. Dopravní exces II. druhu – dopravní nehoda**

Jedná se o druhou nejčastěji se vyskytující mimořádnou situaci v městských oblastech. V případě vzniku mimořádné situace, dochází zpravidla i k druhotnému vzniku dalších mimořádných situací, které mohou přejít až ke krizové situaci – dopravnímu kolapsu.

Způsob zjištění: Pomocí NDIC, které může být o vzniku události informováno mnoha způsoby (viz. Obrázek 13).

Opatření v krizovém řízení: Pokud dojde k rozpoznání nehody v některém jízdním pruhu, ve směru od vybraného dopravního uzlu, ve kterém bude řízení nasazeno, bude pomocí speciálního signálního plánu svedena doprava mimo tento jízdni pruh, tedy nebude do něj umožněn vjezd dalších vozidel. V případech, kdy nebude technicky možné dopravu zcela odklonit, je snahou vjezd vozidel k místu vzniku mimořádné situace alespoň omezit.

#### **III. Dopravní kolaps**

Jedná se o dopravní exces I. nebo II. druhu, který přeroste v krizovou situaci, tedy dopravní kongesce nebo nehoda vzniká nejen v místě vzniku mimořádné situace, ale i v přilehlých komunikacích dané oblasti. Této situaci se systém krizového řízení snaží zabránit.

Způsob zjištění: Irelevantní. Je pravděpodobné, že dopravní kolaps přichází jako důsledek nevyřešených menších excesů, které byly zjištěny již mnohem dříve.

Opatření v krizovém řízení: Postupné odstraňování krizové situace úměrné místní dopravě.

#### **IV. Hrozba teroristického útoku, či jiná nahlášená hrozba**



Jedná se o potencionální hrozbu krizové situace, kdy PČR vždy nejprve vyhodnotí závažnost hrozby a rozsah možných dopadů.

Způsob zjištění: PČR je většinou informována o této hrozbě.

Opatření v krizovém řízení: V případě hrozby krizové situace na určitém místě/úseku PČR rozhodne, zda by bylo vhodné systém krizového řízení aktivovat, tudíž se snažit z daného místa/úseku dopravu svést, zároveň určí dobu trvání tohoto opatření.

## **V. Teroristický útok**

Jedná se o vzniklou krizovou situaci.

Způsob zjištění: PČR je informována o této situaci.

Opatření v krizovém řízení: Pokud dojde k rozpoznání teroristického útoku v některé části dopravní oblasti, bude pomocí speciálního signálního plánu svedena doprava mimo tuto část oblasti, tedy nebude do ní umožněn vjezd dalších vozidel.

## **VI. Následky přírodních katastrof (povodně, požáry, bouřky, zemětřesení, sesuvy půdy, silný vítr)**

Přírodní katastrofy (povodně, bouřky, silný vítr) mohou mít za následek četné mimořádné situace, které se mohou snadno změnit až v krizové situace.

Způsob zjištění: Pomocí NDIC, které může být o vzniku události informováno mnoha způsoby (viz. Obrázek 13.)

Opatření v krizovém řízení: Pokud dojde k rozpoznání překážky na pozemní komunikaci či jiné události, která vznikne v oblasti jako následek přírodních katastrof, bude pomocí speciálního signálního plánu svedena doprava mimo tuto část oblasti, tedy nebude do ní umožněn vjezd dalších vozidel.

## **VII. Jiné nebezpečí**

Jedná se o jinou nepředvídatelnou a výše nedefinovanou mimořádnou, resp. krizovou situaci, která nebyla již jmenována výše, např. neúmyslně založený požár.

Způsob zjištění: Různé zdroje.

Opatření v krizovém řízení: Pokud dojde k rozpoznání jiného nebezpečí na pozemní komunikaci v oblasti, bude pomocí speciálního signálního plánu svedena doprava mimo tuto část oblasti, tedy nebude do ní umožněn vjezd dalších vozidel.

### **3.2.3 Technologický pohled**

Podkapitola popisuje návrh základních technických prostředků pro zajištění systému krizového řízení obecně, modelové použití pro jednotlivé typy křižovatek jsou pak podrobně rozepsány v [37].

Principem návrhu technického řešení systému krizového řešení je navrhnout takové úpravy řízení SSZ, které umožní v potřebných případech uzavřít část oblasti, nebo svést dopravu mimo tuto část oblasti, přičemž:

- Zásah do současných řešení by měl být minimální z pohledu úprav stávající legislativy, stavebních úprav a nutnosti instalace nových technologií;
- Řešení nesmí být příliš komplikované, aby bylo snadno uchopitelné a přijatelné pro účastníky silničního provozu a nemělo by se instalovat v místech, kde by bylo bezúčelné;
- Nesmí být výrazně omezena některá ze skupin uživatelů silniční dopravy (na vhodné řešení pro motorová vozidla by neměli negativně dopláct např. chodci);
- Oblast je uzavřená, popř. je z ní / do ní odkláněna doprava pouze za předpokladu, že je to nutné a mimořádnou, resp. krizovou událost nelze řešit jinými cestami. (Např. v případě uzavření jednoho pruhu na dvoupruhé komunikaci, která je ve městě průtahem, není cílem tuto oblast kompletně uzavírat a odklánět vozidla do vedlejších ulic či centra)

Z výše uvedených předpokladů vychází následující postup při nutnosti odklonit, nebo zastavit dopravu v dané oblasti:

- Pro stykové a průsečné křižovatky s velkými intenzitami dopravy z více směrů bude za účelem krizového řízení sestaven **speciální signální program, jehož hlavním účelem bude odklon vozidel** mimo místo vzniku mimořádné, resp. krizové situace;
- Speciální signální program musí být navržen (s ohledem na konkrétní místo vzniku mimořádné, resp. krizové situace) tak, aby žádná ze skupin účastníků silničního provozu nebyla významně omezena;
- Počet fází speciálního signálního programu **závisí na konkrétním stavebním uspořádání křižovatky** (počet ramen křižovatky, počet přechodů pro chodce v křižovatce), **počtu fází používaném v běžném režimu řízení** a na **místě vzniku mimořádné události**. Pro účely této obecné metodiky pak byly definovány modelové varianty kombinací těchto vlivů, které lze vyčíst z přehledové tabulky níže;
- Návrh předpokládá, že u signálů typu S1 se doplní do křižovatek signály typu S5, aby bylo možné i na plný signál více regulovat směrovost vozidel v oblasti, oproti stávajícím řešením metodika počítá, že signál doplňkové šipky bude v případě potřeby **měněn dynamicky**, zejména z důvodu, že není předem zřejmé, kam bude třeba dopravu odklánět (Např.: při uzavření ramena na vedlejší bude třeba vozidla směřovat např. rovně a vlevo, při uzavření ramena na hlavní pak naopak vpravo a vlevo, je proto vhodnější mít k dispozici dynamický signál typu S5, než instalovat těchto signálů k hlavní signální skupině několik, což by značně znepráhlednilo řízení dopravy na křižovatce);
- U signálů typu S2 není třeba do křižovatky technicky doplňovat další prvky, signál typu S2 reguluje směrovost sám o sobě, čehož je při návrhu krizového řízení využíváno;
- Komplikace nastává u signálů typu S3. Pokud je směrový signál kombinovaný a v běžném režimu řízení umožňuje vozidlům jet do konkrétních dvou směrů, neexistuje v současné době řešení, které by v případě nutnosti vozidla odklonila pouze do jednoho z těchto dvou směrů. V případě použití kombinovaných signálů v běžném režimu řízení je proto v metodice navrženo pro případ krizového řízení danou fází po dobu odstraňování mimořádné situace zastavit, popř. zkrátit (vozidla budou k místu mimořádné, resp. krizové situace dávkována);
- Použití signálů S4, S6 a S7 se v případě krizového řízení nemění, v případě signálu S6 se pak ve vybraných případech může délka signálu upravovat za účelem optimalizace krizového řízení;
- Bude třeba vyřešit způsob, kterým se řidičům dá jasně najevo, že byl spuštěn systém krizového řízení a že **nemá smysl čekat na vstupu do křižovatky na signál**, na který jsou **psychologicky zvyklí**, v opačném případě by přínosy systému krizového řízení nebyly valné. V úvahu připadají dva základní způsoby, a to buď instalace speciálního signálu bezprostředně před křižovatkou, či využití stávající signalizace, např. ve formě blikající červené. Po úvaze pak autor doporučuje

využít spíše variantu blikající červené, zejména z důvodu, že tento signál by mohl informaci o krizovém řízení avizovat přímo v příslušné křižovatce.

Tabulka 9 níže znázorňuje modelové varianty křižovatek pro účely návrhu systému krizového řízení. Varianty byly zvoleny na základě **typu příslušné křižovatky, počtu a umístění přechodů pro chodce na křižovatce a počtu fází SSZ** v běžném režimu řízení dopravy. Vybrané varianty mají při návrhu SSZ podobné zákonitosti a dají se proto v dalším postupu používat univerzálně.

Tabulka 9 Modelové varianty křižovatek pro účely návrhu systému krizového řízení [zdroj: vlastní]

Varianta	Typ křižovatky	Přechody pro chodce	Počet fází v běžném režimu
A	Styková	nejsou	2
B		na všech ramenech	
C		na 2 ramenech	3
D		nejsou	
E		na všech ramenech	
F		na 2 ramenech	
G	Průsečná	nejsou	2
H		na všech ramenech	
I		na 3 ramenech	
J		nejsou	3
K		na všech ramenech	
L		všechny případy	

Variantu A tvoří stykové křižovatky, které ve stavebním uspořádání nepočítají s přechody pro chodce a zároveň jsou v běžném režimu řízeny pomocí 2 fází.

Variantu B tvoří stykové křižovatky, které ve stavebním uspořádání počítají s přechody pro chodce přes všechna ramena a zároveň jsou v běžném režimu řízeny pomocí 2 fází.

Variantu C pak tvoří stykové křižovatky, které ve stavebním uspořádání počítají s přechody pro chodce pouze přes 2 ramena a zároveň jsou v běžném režimu řízeny pomocí 2 fází.

Variantu D tvoří stykové křižovatky, které ve stavebním uspořádání nepočítají s přechody pro chodce a zároveň jsou v běžném režimu řízeny pomocí 3 fází. (Typicky silné levé odbočení z hlavní komunikace tvoří samostatnou fázi.)

Variantu E tvoří stykové křižovatky, které ve stavebním uspořádání počítají s přechody pro chodce přes všechna ramena a zároveň jsou v běžném režimu řízeny pomocí 3 fází. (Typicky silné levé odbočení z hlavní komunikace tvoří samostatnou fázi.)

Variantu F pak tvoří stykové křižovatky, které ve stavebním uspořádání počítají s přechody pro chodce pouze přes 2 ramena a zároveň jsou v běžném režimu řízeny pomocí 3 fází. (Typicky silné levé odbočení z hlavní komunikace tvoří samostatnou fázi.)

Variantu G tvoří průsečné křižovatky, které ve stavebním uspořádání nepočítají s přechody pro chodce a zároveň jsou v běžném režimu řízeny pomocí 2 fází.

Variantu H tvoří průsečné křižovatky, které ve stavebním uspořádání počítají s přechody pro chodce na všech ramenech a zároveň jsou v běžném režimu řízeny pomocí 2 fází.

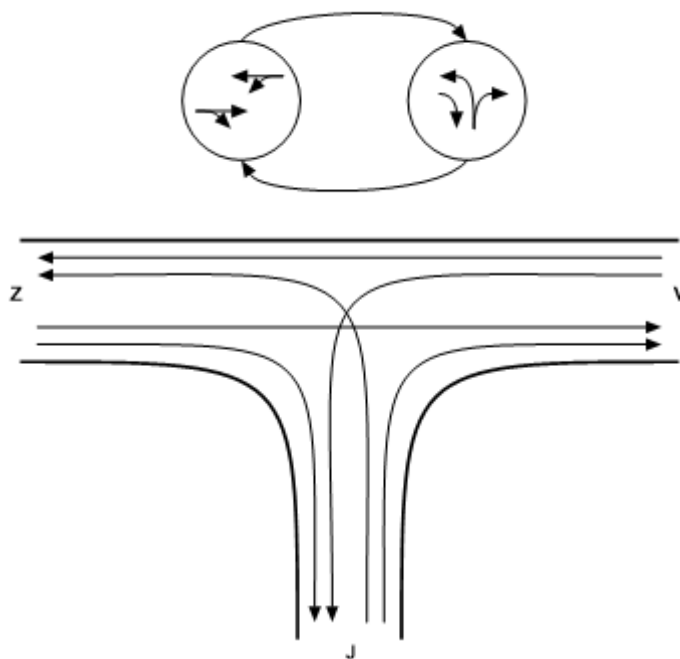
Variantu I tvoří průsečné křižovatky, které ve stavebním uspořádání počítají s přechody pro chodce pouze přes 3 ramena a zároveň jsou v běžném režimu řízeny pomocí 2 fází.

Variantu J tvoří průsečné křižovatky, které ve stavebním uspořádání nepočítají s přechody pro chodce a zároveň jsou v běžném režimu řízeny pomocí 3 fází. (Typicky silné levé odbočení z hlavní komunikace tvoří samostatnou fázi.)

Variantu K tvoří průsečné křižovatky, které ve stavebním uspořádání počítají s přechody pro chodce na všech ramenech a zároveň jsou v běžném režimu řízeny pomocí 3 fází. (Typicky silné levé odbočení z hlavní komunikace tvoří samostatnou fázi.)

Variantu L tvoří průsečné křižovatky, které jsou v běžném režimu řízeny pomocí 4 a více fází. V případě varianty L pro účely návrhu nezáleží, zda jsou ve stavebním uspořádání uvažovány přechody. (Složitější typy křižovatek.)

Protože návrh technologického zajištění pro všechny varianty je velmi rozsáhlý, podrobně zde bude ukázán pouze na variantě A. Všechny ostatní varianty jsou analogicky k nalezení ve zmiňované vlastní publikaci [37] a pro přehlednost také v **Příloze 1 k této disertační práci**. Varianta A představuje stykovou křižovatku bez přechodů pro chodce a s dvoufázovým řízením SSZ. Schéma tohoto typu křižovatky s vyznačením dopravních proudů a světových stran pro zvýšení přehlednosti je níže na Obrázku 14.

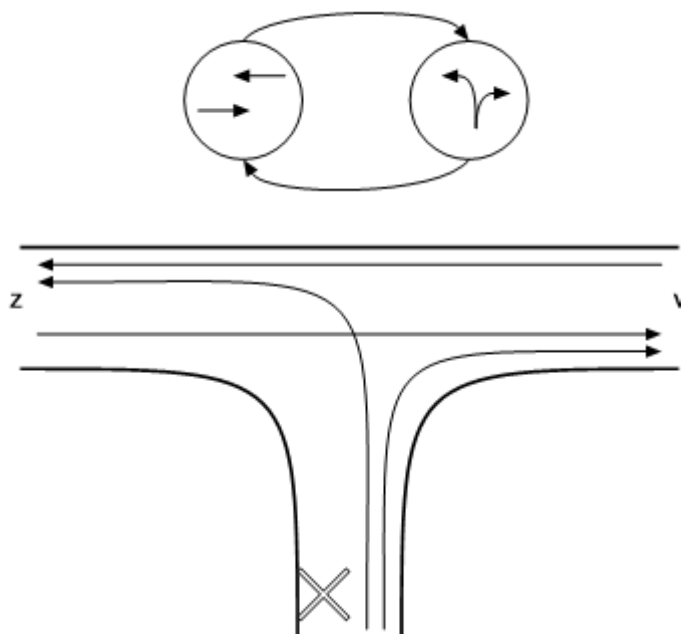


Obrázek 14 Schéma stykové křižovatky bez přechodu pro chodce s dvoufázovým řízením v normálním režimu [zdroj: vlastní]

Hlavní komunikace se nachází ve směru ze západu na východ, jižní rameno křižovatky představuje vedlejší komunikaci. U stykové křižovatky lze navrhovat několik uspořádání řadících pruhů, případně jejich kombinace. První variantou je jeden řadící pás pro každý jízdní pruh, tedy směrově nerozlišené jízdní pásy na všech ramenech křižovatky. Druhou variantou je samostatný řadící pruh pro přímý směr

a pro odbočení na vedlejší komunikaci a společné řadící pruhy na vedlejší komunikaci. Mohou se také vyskytnout samostatné řadící pruhy pro pravé a levé odbočení z vedlejší komunikace na hlavní.

U dvoufázového řízení je první fáze určena pro přímý směr na hlavní komunikaci a zároveň odbočení na vedlejší komunikaci z obou směrů, což bývá zaručeno plnými signály typu S1. U druhé fáze dochází k pravému a levému odbočení z vedlejší komunikace na hlavní, opět zajištěno plným signálem S1, a



Obrázek 15 Schéma stykové křižovatky s uzavřeným jízdním pruhem ve vedlejším směru [zdroj: vlastní]

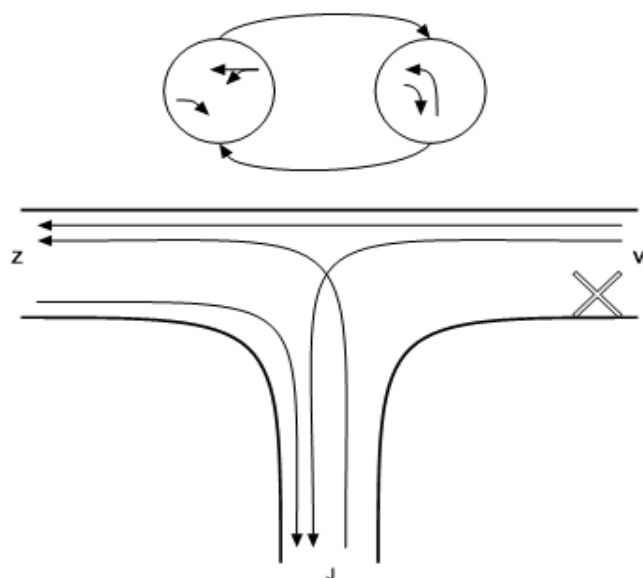
současně pravému odbočení ze západního ramene křižovatky na jižní rameno, což bývá zajištěno doplňkovou šipkou, tedy signálem S5.

Obrázek 15 výše zobrazuje schéma stykové křižovatky, směry dopravních proudů a rozvržení fází řízení při uzavření jízdního pruhu za výjezdem z křižovatky ve vedlejším směru.

Pokud dojde ke vzniku mimořádné, resp. krizové situace v jízdním pruhu za výjezdem z křižovatky ve vedlejším směru, tedy na jižním rameni, bude zcela zamezeno vjezdu vozidel do tohoto směru. Na hlavní komunikaci bude umožněna jízda pouze v přímém směru a z vedlejší komunikace zůstanou zachovány možnosti odbočení vlevo i vpravo. Křižovatka bude řízena dvoufázově, oproti původnímu rozvržení fází však nebude při krizovém řízení umožněno odbočení z hlavní komunikace na vedlejší, a to ani v jedné fázi řízení. V první fázi řízení bude pro východní a západní rameno křižovatky zachována možnost jízdy pouze přímým směrem. U druhé fáze bude odebrána možnost pravého odbočení z hlavní komunikace na vedlejší, levé i pravé odbočení z jižního ramene křižovatky na hlavní komunikaci zůstane. Proces z hlediska technického zajištění vyžaduje instalaci doplňkové šipky S5 rovně na návěstidla signálních skupin v hlavním směru. V případě této jednoduché křižovatky není nutná proměnná doplňková šipka, ale stačilo by instalovat jednu doplňkovou šipku nalevo i napravo od signální komory s červeným signálem, z hlediska dalších variant pak ale stejně bude třeba proměnnost doplňkových šipek řešit. Jsou tedy dvě cesty, jak se k proměnným doplňkovým šipkám stavět, a to instalace pro všechny křižovatky, včetně těch jednoduchých, anebo jen tam, kde to bude opravdu nutné. Lze předpokládat, že v tomto případě bude pro reálný provoz vybráno levnější řešení.

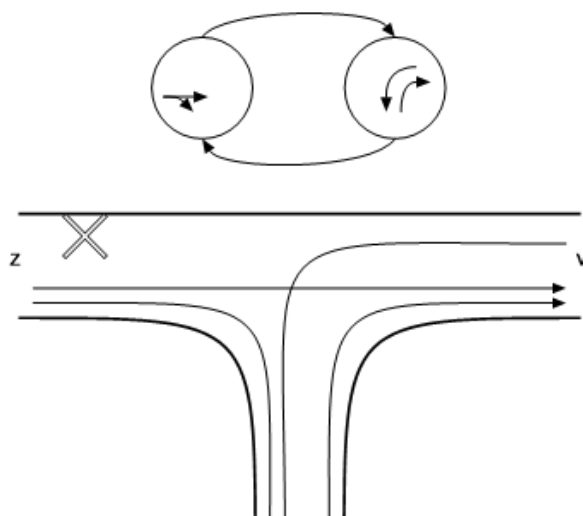
Obrázek 16 zobrazuje schéma stykové křižovatky, směry dopravních proudů a rozvržení fází řízení při uzavření jízdního pruhu za výjezdem z křižovatky v hlavním směru na východním rameni. Pokud dojde

ke vzniku mimořádné, resp. krizové situace v jízdním pruhu za výjezdem z křižovatky v hlavním směru na východním rameni, bude zcela zamezeno vjezdu vozidel do tohoto směru. Křižovatka bude řízena dvoufázově, oproti původnímu rozvržení fází však nebude při krizovém řízení umožněno vjíždět na východní rameno křižovatky, a to z žádného směru. V první fázi řízení bude pro východní rameno křižovatky zachována možnost jízdy přímým směrem i odbočení vlevo, ze západního směru bude možné pouze odbočit vpravo, jízda v přímém směru nebude povolena. V případě druhé fáze bude odebrána možnost pravého odbočení z vedlejší komunikace na hlavní, levé odbočení na hlavní komunikaci a pravé odbočení ze západního ramene křižovatky na vedlejší komunikaci zůstane. Proces z hlediska technického zajištění vyžaduje instalaci doplňkové šipky S5 vlevo na návěstidla signálních skupiny z vedlejšího směru.



Obrázek 16 Schéma stykové křižovatky s uzavřeným jízdním pruhem v hlavním směru – východ [zdroj: vlastní]

Obrázek 17 zobrazuje schéma stykové křižovatky, směry dopravních proudů a rozvržení fází řízení při uzavření jízdního pruhu za výjezdem z křižovatky v hlavním směru na západním rameni. Pokud dojde ke vzniku mimořádné, resp. krizové situace v jízdním pruhu za výjezdem z křižovatky v hlavním směru



Obrázek 17 Schéma stykové křižovatky s uzavřeným jízdním pruhem v hlavním směru – západ [zdroj: vlastní]

na západním rameni, bude zcela zamezeno vjezdu vozidel do tohoto směru. Křižovatka bude řízena dvoufázově, oproti původnímu rozvržení fází však nebude při krizovém řízení umožněno vjíždět na západní rameno křižovatky, a to z žádného směru. První fáze řízení zůstane pouze pro hlavní komunikaci směrem od západu, pro tento směr se řízení nezmění oproti běžnému režimu. V druhé fázi bude zachováno pouze pravé odbočení z vedlejšího směru na hlavní komunikaci, dále v této fázi lze odbočit z východního ramene křižovatky na vedlejší komunikaci. Bude odebrána možnost levého odbočení z vedlejší komunikace a pravého odbočení ze západního ramene křižovatky.

Proces z hlediska technického zajištění vyžaduje instalaci doplňkové šipky S5 vlevo na návěstidla signálních skupiny z východního směru (levé odbočení z hlavního směru).

### 3.3 Vyhodnocení přínosů navrženého systému

Navržený systém krizového řízení, stejně tak jako většinu systému dopravní telematiky lze velmi obtížně hodnotit z hlediska očekávaných a skutečných přínosů. Očekávané přínosy plynou víceméně z formulované vize celého návrhu a jsou obecné. Předpokládá se, že navržené řešení by mělo z dlouhodobého hlediska zvýšit bezpečnost dopravy, plynulost dopravy, omezit dopady na životní prostředí a ušetřit ekonomické náklady. Zcela logické je dotazovat se, zda tyto očekávané přínosy lze kvantifikovat či kvalifikovat.

Při pohledu na již existující techniky pro určování kvality systému řízení dopravy lze určitě zmínit performance index dle vzorce PI.

$$PI = \sum_{i=1}^N W \cdot w_i \cdot d_i + \frac{K}{100} \cdot k_i \cdot s_i, \quad (8)$$

kde  $W$  znázorňuje cenu za hodinové zpoždění,  $w_i$  hodnotu zpoždění v linii  $i$ ,  $d_i$  váhu zpoždění v linii  $i$ ,  $K$  cenu za 100 zastavení,  $k_i$  počet zastavení a  $s_i$  váhu zastavení v linii  $i$ . Pro optimalizaci linie následně platí, že:

$$\min! PI = \sum_i c_i \cdot q_i \quad (9)$$

Dle vzorce (9) je snaha minimalizovat účelovou funkci, přičemž optimalizačním kritériem je cena,  $q_i$  v tomto případě znázorňuje intenzitu dopravy za určitý časový úsek,  $c_i$  průměrnou cenu za zdržení vozidel za tentýž časový úsek a  $i$  počet řídicích zásahů. Vzorec (9) se uplatňuje pro linii, pro dopravní oblast (kterou se práce zabývá primárně) se tento vzorec rozšiřuje o tzv. koincidenční matici úseků a funkcí za účelem určení vah pro jednotlivé řízené úseky v příslušné oblasti.

Při pohledu na používané vzorce výše lze upozornit na poměrně velkou závislost určení kvality řízení na lidském faktoru a expertním posouzení. Exaktními proměnnými jsou pouze hodnoty zpoždění, počty zastavení a intenzity dopravy v příslušné linii. Úlohou experta je pak:

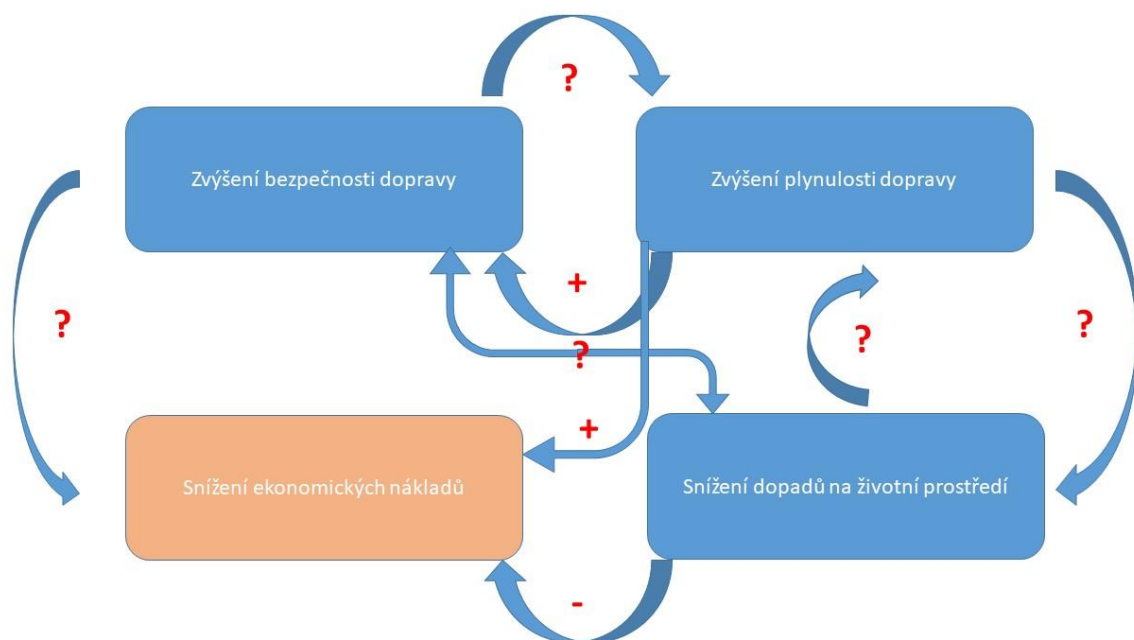
- Vyčíslit cenu za hodinové zpoždění či cenu za 100 zastavení;
- Určit váhy pro jednotlivá zpoždění a zastavení v závislosti na konkrétním úseku
- Určit optimalizační kritérium (tím je v případě vzorců pro performance index výše cena, v případě krizového řízení o něm lze dále spekulovat).

Performance index se z pohledu očekávaných přínosů, které by měl systém krizového řízení přinést, zaměřuje na dva konkrétní, a to na plynulost dopravy a snížení celospolečenských nákladů v dopravní oblasti, kterou lze řídit. Bude-li docházet k méně zdržením v oblasti, doprava bude plynulejší, v průměru poklesne cena za zbytečné zdržení vozidel. Co performance index nezohledňuje, je bezpečnost dopravy, která je v případě krizového řízení jedním z pilířů, a snížení dopadů na životní prostředí.

Úvahy nad obtížností exaktního zhodnocení zavedení systému krizového řízení dle metodického návrhu výše reprezentuje Obrázek 18 níže. Zde jsou znázorněny očekávané přínosy, které by měl systém přinést, a naznačeny vztahy mezi těmito přínosy (označené „+“ – pozitivní; „-“ – negativní; „?“ – neurčitý). Je snahou dosáhnout všech přínosů, přesto vztahy mezi nimi nejsou vždy pozitivní. V první fázi je vždy třeba prioritizovat uvedené přínosy.

- Je-li prioritní zvýšení bezpečnosti dopravy, v praxi to bohužel vůbec neznamená, že instalací bezpečnostních prvků dojde ke snížení ekonomických nákladů, některé instalace naopak náklady ještě zvýší. V dlouhodobém horizontu ale každý ušetřený život, či každé zamezení vážným zraněním ekonomice pomáhá. Zvýšení bezpečnosti dopravy může i nemusí vést ke zvýšení plynulosti dopravy ani automaticky nepovede ke snížení dopadů na životní prostředí, např. SSZ instalovaná na přechodech z pohledu bezpečnosti chodců jsou z těchto pohledů sporná;
- Je-li prioritní plynulost dopravy, zajištění plynulejší dopravy zpravidla povede i k bezpečnější dopravě, protože bude docházet k eliminaci chyb lidského faktoru. Plynulost dopravy má tedy na bezpečnost vliv pozitivní. Zvýšení plynulosti dopravy povede rovněž ke snížení ekonomických ztrát, a to zejména právě z doby zdržení v dopravních kongescích. Na druhou stranu je nutné zmínit i fakt, že místy je doprava v oblastech natolik exponovaná, že úplné řešení by vyžadovalo finančně náročná řešení. Naopak nelze jednoznačně říci, že zvýšení plynulosti dopravy vede ke snížení dopadů na životní prostředí, což by se na první pohled mohlo jevit, protože místa, kde je doprava plynulá, automaticky budou generovat další a další dopravu;
- Je-li prioritní omezení dopadů na životní prostředí, je situace ještě obtížněji hodnotitelná, protože vlastně nejjednodušší cestou pro ochranu životního prostředí by bylo dopravu vůbec nemít, což je pro společnost těžko akceptovatelné. Obecně lze ale konstatovat, že instalace systémů pro snížení dopadů na životní prostředí obecně nevede ke snížení ekonomických nákladů;
- Varianta prioritně snížit ekonomické náklady není v případě systému krizového řízení předpokládána.





Obrázek 18 Schéma vztahů mezi přínosy systému krizového řízení [zdroj: vlastní]

V návaznosti na předchozí úvahy lze do funkce (8) zahrnout i indikátor hodnotící bezpečnost či indikátor hodnotící dopady na životní prostředí navrhnout. V případě systému krizového řízení lze tedy provést následující úpravu pro určení kvality řízení.

$$PI_{CM} = \sum_{i=1}^N W \cdot w_i \cdot d_i + \frac{K}{100} \cdot k_i \cdot s_i + X_i \cdot x_i + Y_i \cdot y_i, \quad (10)$$

kde  $W$  znázorňuje cenu za hodinové zpoždění,  $w_i$  hodnotu zpoždění v linii  $i$ ,  $d_i$  váhu zpoždění v linii  $i$ ,  $K$  cenu za 100 zastavení,  $k_i$  počet zastavení a  $s_i$  váhu zastavení v linii  $i$ ,  $X_i$  počet nehod na milion vozidel jedoucích v linii  $i$ ,  $x_i$  váhu koeficientu bezpečnosti v linii  $i$ ,  $Y_i$  počet překročených krátkodobých či dlouhodobých imisních limitů a  $y_i$  pak váha koeficientu  $Y_i$ . Pro optimalizaci by pak platilo, že je opět snahou minimalizovat účelovou funkci, s tím, že optimalizačních kritérií by mohlo být více.

## 4 Návrh krizového řízení vytipované oblasti na základě navržené metodologie

Čtvrtá kapitola přenáší obecný metodologický návrh do konkrétní oblasti. Dochází tedy k aplikaci na příkladu. Nadále je důležité zmínit, že příklad je pouze modelový, protože není v moci autora práce, aby provedl v rámci vybrané lokality pilotní projekt, ani není v moci autora přimět společnosti, aby se okamžitě začaly připravovat na výrobu proměnných doplňkových šipek a na přestavby v technologiích SSZ. Proces zavádění systému je dlouhodobý a postupný a realita zavedení bude spočívat na více faktorech, které jsou shrnuty v závěru práce.

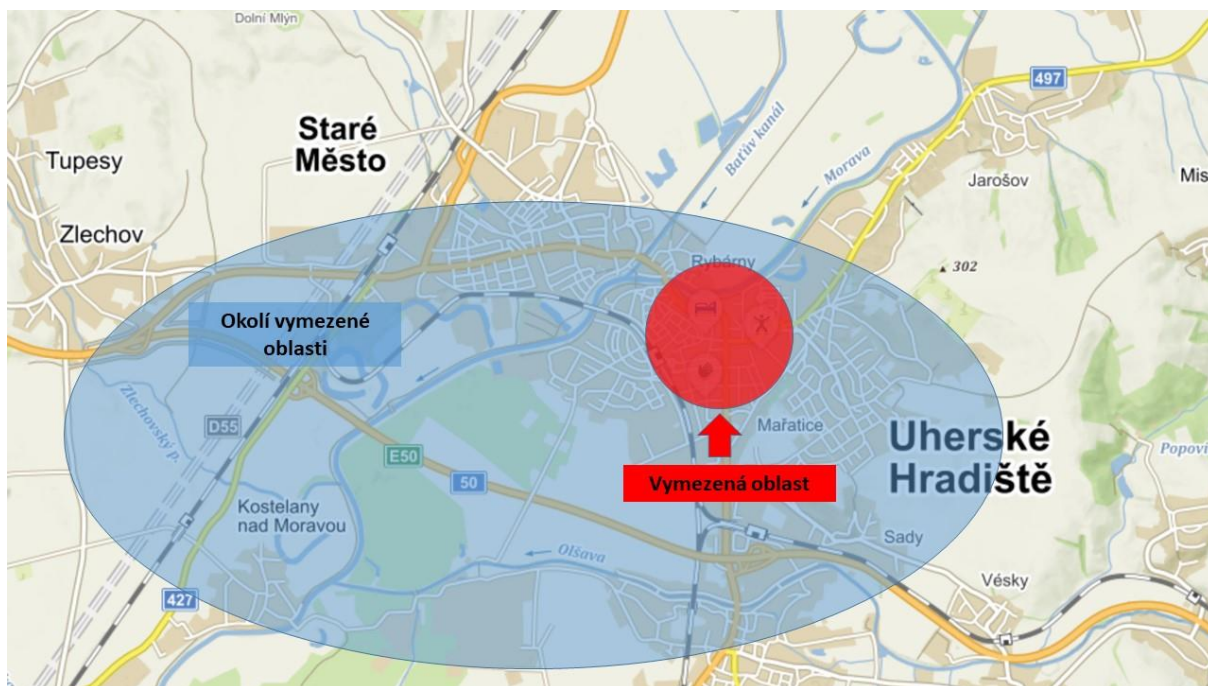
Cílem kapitoly bylo vyzkoušet v rámci reálných podmínek možnosti použití metodologie na vybrané lokalitě, poukázat na její přínosy a nedostatky a tyto se pokusit vyhodnotit. V rámci postupu Akčního výzkumu podle Jenkinse bude návrh proveden pouze pro fáze analýza systému a systémový projekt, protože provedení fáze implementace, pilotního testování a retrospektivního vyhodnocení projektu je v rámci disertační práce nereálné. Kapitola čerpá z poznatků autorské výzkumné zprávy [38].

Nejdříve dochází k systémové analýze záměru, tedy definici specifik vytipované oblasti, širších dopravních vztahů v oblasti, vymezení oblasti a jejího okolí, popisu jednotlivých uzlů SSZ, které jsou v oblasti uvažovány, popisu současného režimu řízení a dopravního chování v oblasti. Dále je podán kompletní informační přehled ohledně dostupných nasbíraných dat z vybrané oblasti. Následuje riziková analýza pro jednotlivé typy nebezpečí v oblasti, identifikace klíčových komunikací v oblasti a identifikace míst s častějším výskytem dopravních excesů v oblasti.

Posléze je zde navržen systémový projekt záměru, tedy jsou na základě předchozí analýzy definovány scénáře pro návrh krizového řízení a pro jednotlivé scénáře je proveden procesní (funkční) návrh navedení vozidel na doporučené objízdné trasy.

### 4.1 Specifika vytipované oblasti

V první podkapitole jsou vymezena specifika vytipované oblasti a jejího blízké okolí. Vymezenou oblast tvoří širší centrum města Uherské Hradiště. Oblast je červeně znázorněna na mapovém podkladu na Obrázku 19. Městem prochází dva hlavní průtahy, konkrétně průtah silnice I/55 a původní průtah I/50, která je dnes vedena po obchvatu. Tyto průtahy vedou po ulicích Velehradská třída, třída Maršála Malinovského. Ulice Sokolovská je průtahem II/497. Všechny zmiňované komunikace tvoří nejdůležitější část silniční sítě města. V blízkosti města jsou pak silnice I. třídy I/50 (Brno – Slavkov u Brna – Uherské Hradiště – Slovensko) a I/55 (Olomouc – Přerov – Otrokovice – Uherské Hradiště – Veselí nad Moravou – Břeclav – Rakousko). Od roku 2004 je otevřen obchvat silnice I/50 kolem města Uherské Hradiště, který byl proveden přeložkou podél jižního okraje města. Silnice I/55 a obchvat I/50 se na jihovýchodním okraji města mimoúrovňově kříží. Napojení I/50 na obchvat města je provedeno také mimoúrovňovým křížením na jihozápad od Starého Města u obce Zlechov. V budoucnu je plánována v okolí vymezené oblasti výstavba dálnice D55 (Olomouc – Břeclav). Dálnice D55 povede podél současné silnice I/55 do Starého Města a dále na jih podél silnice II/427. Jedná se o úseky 55007, 55008. Tyto úseky jsou ve stádiu přípravy.



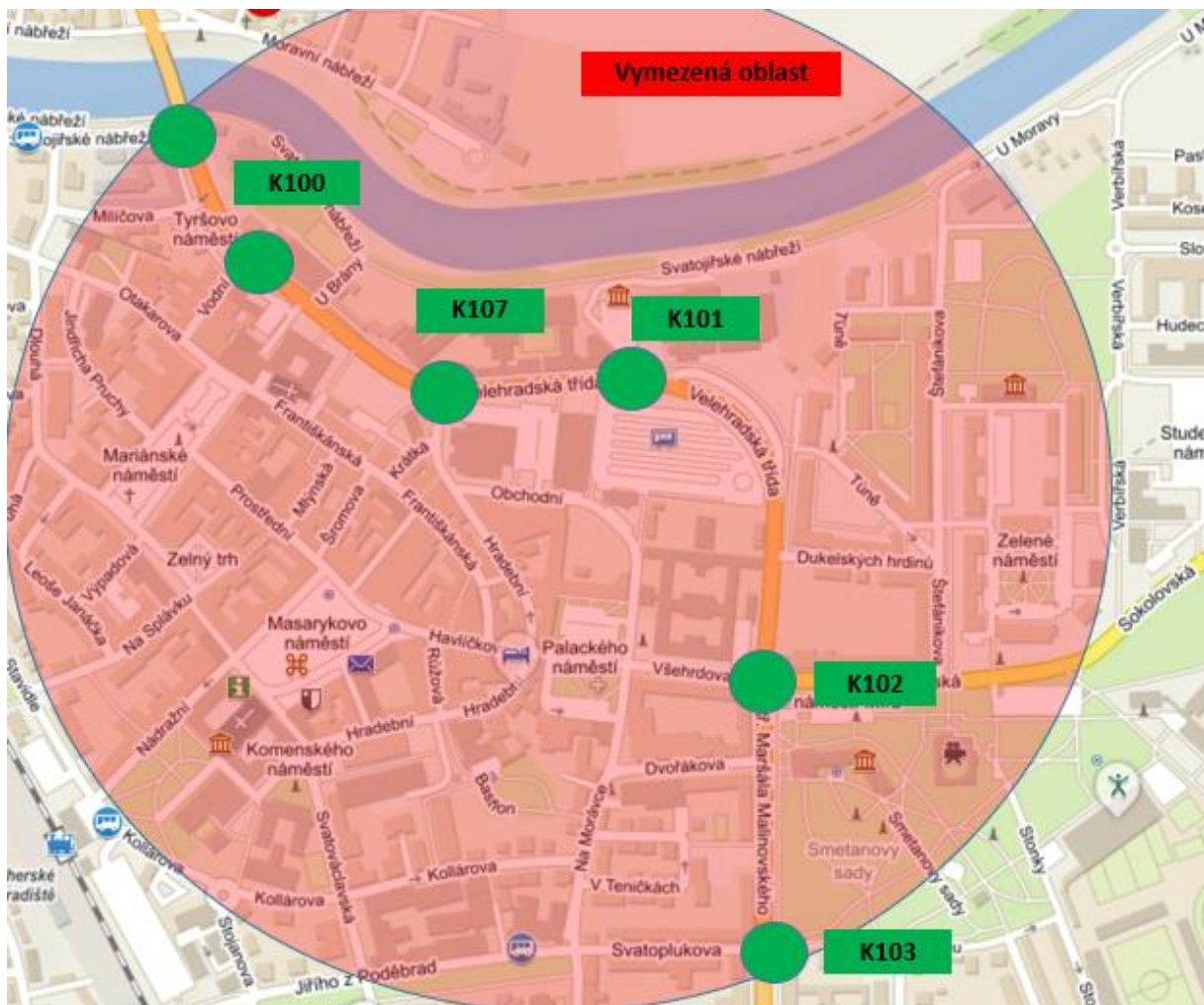
Obrázek 19 Vymezená oblast a její blízké okolí [zdroj: vlastní]

Při pohledu na schématickou mapu výše lze konstatovat, že ještě před nasazením uvažovaného krizového řízení by bylo vhodné rozrůstajícím se dopravním problémům předcházet tak, aby se vozidla v případě mimořádné, resp. krizové situace vůbec nedostala do vymezené oblasti v centru města, v případě, že se nejedná o jejich cílovou destinaci. Pro tyto účely je vhodné na komunikace I. třídy, které neprocházejí městem, instalovat minimálně informační prvky pro řidiče, které budou informovat o aktuální dopravní situaci na průtazích městem Uherské Hradiště.

Na Obrázku 20 je pak vymezená oblast na podrobnější rozlišovací úrovni. Průtah městem Uherské Hradiště z hlediska řízení dopravy tvoří několik za sebou umístěných křižovatek řízených pomocí SSZ.

- K100 – Velehradská Třída – Svatojiřské nábřeží – Vodní (jedná se fyzicky o dvě za sebou jdoucí SSZ, které jsou však atypicky řízeny z jednoho řadiče pomocí jednoho dopravního řešení);
- K107 – Velehradská Třída – Hradební;
- K101 – Velehradská Třída – autobusové nádraží;
- K102 – Velehradská Třída – Třída Maršála Malinovského – Sokolovská;
- K103 – Třída Maršála Malinovského – Svatoplukova.

Ve standartním režimu řízení jsou tyto křižovatky řízeny pomocí pevných signálních plánů, které jsou vzájemně v rámci reálných technických možností koordinovány. V minulosti v úseku ale proběhlo i testování jiných způsobů řízení oblasti, konkrétně dynamického a adaptivního systému.



Obrázek 20 Vymezená oblast – podrobnější rozlišovací úroveň [zdroj: vlastní]

Dopravní chování řidičů v Uherském Hradišti na SSZ se v průměru mírně liší od dopravního chování na SSZ např. v Praze, nejvíce je tento rozdíl pozorovatelný v rozjezdu na zelený signál, který v průměru trvá o sekundu déle než v případě Prahy, což způsobuje větší ztrátové časy v křižovatkách. V Uherském Hradišti ve vybrané oblasti nedochází k použití směrových signálů typu S2. Pokud jsou na křižovatkách silná odbočení vlevo, často je tato situace řešena plným signálem S1 v kombinaci s vyklizovací šipkou S6. Použití vyklizovacích šipek se jeví na první pohled nelogicky, protože v některých uzlech je nejprve užitá fáze s vyklizovací šipkou a hned po ní následuje fáze v hlavním směru (obvyklé z pohledu přehlednosti je činit přesně naopak), na druhou stranu volba sledu fází může mít opodstatnění při výpočtu minimálního ztrátového času, který v tomto pořadí skutečně občas vychází lépe (ze zkušenosti autora práce.)

## 4.2 Sběr dopravně-inženýrských i jiných zdrojů dat o mimořádných situacích v oblasti

Současné řešení průtahu městem Uherské Hradiště z hlediska řízení dopravy pomocí SSZ je poměrně důkladně dokumentováno v diplomové práci Ing. Kristýny Cihardtové [34], kde jsou kromě popisů

křižovatek dodány i denní variace dopravy pro jednotlivé uzly. Další informace pak lze čerpat z vědeckých studií, které byly ve spolupráci s FD v Uherském Hradišti zpracovávány v letech 2018 [35] a 2019 [36]. Studie jsou primárně zaměřeny na testování adaptivního systému řízení města a na parkování v širším centru města, ale jsou v nich k nalezení i cenné informace ohledně dalších dopravních módů typu využitelnosti spojů místního MHD či o množství cyklistů v oblasti. Z výše uvedených studií vyšly i odborné publikace indexované v databázi SCOPUS.

#### 4.2.1 Dopravní excesy I. druhu – dopravní kongesce

Výše uvedené studie se z hlediska mimořádných situací zaměřují především na dopravní excesy I. druhu, tedy dopravní kongesce. Konkrétně se vyhodnocují jízdní doby na průtahu v době dopravní špičky za různých systémů řízení, dále poukazují na místa s větším výskytem dopravních kongescí. Z tohoto pohledu je nejvytíženějším uzlem SSZ na K102, kde v případě problémů dochází k dopravním kongescím z více směrů, protože křižovatka nestačí vozidla odbavovat. Zároveň je ale vhodné konstatovat, že za normální situace je řízení nastaveno dobře, neboť se dostává do rovnováhy. Problém kongescí u křižovatky dochází zejména z důvodu dopravních nehod v blízkosti křižovatky, v důsledku pomalejších vozidel či pomalu se rozjíždějících vozidel, a to především z oblastí vedlejších směrů. Z vedlejších směrů na křižovatkách K101, K107 a K103 většinou nedochází z provedených průzkumů k tvorbám takových kolon, že by vozidla musela na křižovatce čekat déle než jeden cyklus. K tomuto jevu dochází nejčastěji na K100 ve směru od Svatojiřského nábřeží a na K102 ze směru Všešrdova. Kromě cenných informací o době průjezdu průtahem, které byly vyhodnoceny ze směrového průzkumu pomocí kamer, studie vyhodnocují i intenzity dopravy v oblasti. Ty mohou být důležitým vstupem do simulace systému krizového řízení ve městě.

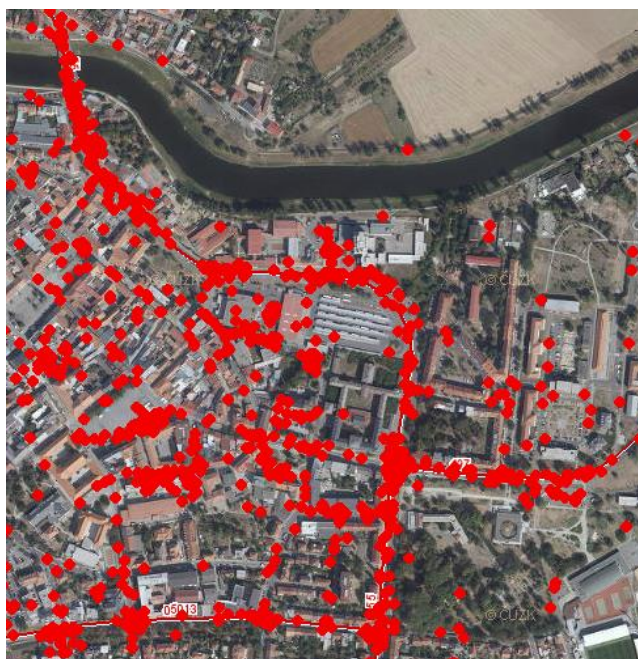
Z dalších zdrojů dat se podařilo pro Uherské Hradiště sehnat meteorologická data od Českého hydrometeorologického ústavu, v těchto datech jsou po 10 minutách vyhodnocovány informace o množství srážek, viditelnosti, stavu povrchu vozovky a dalších jevech. Meteorologická data slouží jako jeden ze vstupů pro predikci dopravních excesů v budoucím časovém horizontu. Ke kompletním dopravním kolapsům ve městě dochází zřídka a téměř pokaždé se jedná o kombinaci více vlivů. Z vlastní zkušenosti lze zmínit např. situaci ve ČT 31. 8. 2017, kdy příčinou kolapsu byla dopravní nehoda ve Starém Městě v kombinaci s prvním pilotním testováním adaptivního systému řízení. Ve větším rozsahu nelze dopravní kolapsy ve městě adekvátně předpovídat.

#### 4.2.2 Dopravní excesy II. druhu – dopravní nehody

Kromě studií jsou pak důležitými vstupy také data o nehodovosti, které byly pro účely disertace vyžádány i v tabulkové podobě. Z vyhotovených statistik nehod pro rok 2017 lze konstatovat, že bylo ve městě evidováno celkem 218 nehod. Ve valné většině případů byla nehoda zaviněna řidičem motorového vozidla. Nejčastější příčinou byla srážka se zaparkovaným, odstaveným vozidlem a dále srážka s motorovým vozidlem. Denní doba také měla na vývoj dopravních nehod vliv. Ve dne se nehody stávaly mnohem častěji (172 nehod) než v noci (46 nehod). Nicméně pro všechny denní doby platí, že se většina nehod udála za dobré viditelnosti a méně potom za viditelnosti zhoršené vlivem povětrnostních podmínek. Následky nehod nebyly většinou fatální, pravděpodobně z důvodů rychlostí přiměřených pro městský provoz. K nehodám s následkem na zdraví osob došlo v 53 případech. Ve většině případů šlo o nehodu s lehkým zraněním. Těžce zraněno pak bylo 7 osob, v tomto období se v Uherském Hradišti naštěstí nevyskytovaly nehody s následky na životech. K největšímu počtu nehod (cca polovina všech nehod) došlo právě na hlavním průtahu městem Uherské Hradiště, kde se nachází zmíněné SSZ křižovatky, a dále pak v centru města. Velké množství nehod na průtahu městem ve

srovnání se všemi nehodami ve městě reflektuje i Obrázek 21, který byl převzat z volně dostupného zdroje – Jednotné vektorové mapy PČR.

Při pohledu na Obrázek 21 je zřejmé, že právě průtah městem Uherské Hradiště je skutečně nejčastějším výskytem dopravních nehod ve městě. Zároveň je ale nutné zmínit i fakt, že nehody se často dějí nejen v úsecích mezi světelně řízenými křižovatkami, ale i ve světelně řízených křižovatkách samotných. V návrhu bude řešena vždy varianta, že k uzavření komunikace v důsledku nehody dojde v meziúseku dvou křižovatek, nebo v těsné blízkosti křižovatky. Naopak není řešen případ, že by se nehoda stala přímo ve křižovatkách K100, K102, K103. V daných případech by totiž úprava řízení pomocí SSZ postrádala smysl.



Obrázek 21 Nehodová místa v Uherském Hradišti [zdroj: JDVM PČR]

#### 4.2.3 Další zdroje dat o mimořádných situacích ve městech

Možné typy dalších mimořádných událostí pak specifikuje město na svém webu: <https://www.mesto-uh.cz/mozne-druhy-mimoradnych-udalosti>, včetně doporučeného postupu pro činnosti občanů v případě jejich vzniku.

Z veřejně dostupných zdrojů byly nalezeny následující nahlášené hrozby v posledních 10 letech:

- 1. 10. 2010 – nahlášená bomba na ZŠ ve Sportovní ulici;
- 24. 3. 2015 – nahlášená bomba v budově Okresního soudu;
- 6. 12. 2018 – došlo ke cvičení na základě nahlášené bomby – evakuace nemocnice.

Žádná z těchto hrozeb nebyla naštěstí potvrzena, každopádně je z pohledu již nahlášených hrozeb nemožné predikovat místo s největším rizikem potencionální hrozby, jediné, co lze předpokládat, je, že by se jednalo o místo s vysokou koncentrací lidí.

Ve městě Uherské Hradiště není evidován žádný teroristický útok, či jiná krizová situace podobného typu. V blízkém Uherském Brodě došlo 24. 2. 2015 ke střelbě v restauraci Družba, kde místní obyvatel

zastřelil celkem 8 lidí. Vzhledem k okamžitému jednání střelce bylo velmi obtížné situaci předejít. Všechny oběti se nacházely v uzavřeném prostoru.

Poslední velkou zkušenost s povodněmi má Uherské Hradiště z roku 1997, kdy na následky katastrofy zemřel 1 člověk a zároveň byly škody vyčísleny na 7 miliard Kč. Od té doby město průběžně buduje protipovodňová opatření. Navíc se dnes dají události tohoto rozsahu mnohem lépe predikovat, a tak se lze domnívat, že by místní o události byli informováni mnohem dříve. Z hlediska řízení lze ale v případě podobné krizové situace doporučit spíše SSZ vypnout, neboť v případě rozsáhlých katastrof, jako jsou povodně, není řízení jednotlivých dopravních uzlů řešením a spíše je třeba všechny rychle evakuovat a dostat do bezpečí.

### 4.3 Riziková analýza typů nebezpečí v posuzované oblasti

Na základě postupu definovaného v podkapitole 3.2.1.4 je dalším krokem v návrhu krizového řízení pro oblast riziková analýza jednotlivých typů nebezpečí a výpočet ukazatele míry rizika R, který lze získat součinem hodnot koeficientu pro pravděpodobnost vzniku příslušného typu nebezpečí, koeficientu znázorňujícího celkový dopad příslušného typu nebezpečí a koeficientu expertního hodnocení dopadů příslušného typu nebezpečí klíčovými hráči v systému krizového řízení.

Jak již bylo naznačeno při návrhu metody analýzy rizik, stanovení koeficientu pro pravděpodobnost vzniku nebezpečí je poměrně subjektivní a závisí na příslušném typu nebezpečí, frekvenci výskytu nebezpečí a oblasti zkoumání. Pro oblast Uherského Hradiště na základě zkušeností z provedených průzkumů a historických souvislostí je nejpravděpodobnější vznik dopravních excesů I. druhu, poměrně nezanedbatelný je i vznik dopravních excesů II. druhu. Všechny ostatní typy nebezpečí se v oblasti téměř nevyskytují, nebo jsou navázány na dopravní excesy v přímé souvislosti. Nahlášené hrozby, teroristické útoky a přírodní katastrofy nemají v oblasti nulový výskyt, ale jedná se o ojedinělý výskyt v řádu desítek let, proto je pravděpodobnost vzniku tohoto nebezpečí velmi malá.

Hodnocení dopadů nebezpečí je rovněž provedeno v souladu s metodickým návrhem uvedeným v podkapitole 3.2.1.4, kdy např. dopravní excesy II. druhu jsou s pohledu dopadu na život a zdraví hodnoceny hodnotou „4,“ protože se v oblasti vyskytují i těžká zranění, nikoliv však smrtelná. Nedostatek relevantních dat je pro stanovení dopadu na životní prostředí, kde autor bohužel nemá informace o překračování krátkodobých a dlouhodobých imisních limitů v posuzované oblasti, a tak vychází pouze z předpokládaného úsudku. Subjektivní je rovněž posouzení expertního hodnocení dopadů jednotlivých typů nebezpečí, kde byly při hodnocení zohledněny nejen přímé následky jednotlivých typů nebezpečí, ale i doprovodné nežádoucí jevy a externality. V praxi by bylo nutné pro expertní hodnocení sestavit expertní tým hodnotitelů s hlubší znalostí posuzované oblasti. Riziková analýza jednotlivých typů nebezpečí včetně stanovení jednotlivých koeficientů je znázorněna v Tabulce 10 níže.

Tabulka 10 Riziková analýza pro jednotlivé typy nebezpečí v posuzované oblasti [zdroj: vlastní]

Identifikované nebezpečí	Pravděpodobnost vzniku nebezpečí	Dopady nebezpečí				Expertní hodnocení dopadů
		život/zdraví	čas	životní prostředí	CELKEM	
Dopravní exces I. druhu	5	1	2	3	2.0	2
Dopravní exces II. druhu	3	4	4	3	3.7	3
Dopravní kolaps	1	1	4	3	2.7	3
Nahlášená hrozba	1	1	1	1	1.0	1
Teroristický útok	1	5	1	1	2.3	5
Přírodní katastrofa	1	5	1	1	2.3	5

V Tabulce 11 níže je pak znázorněn výsledek rizikové analýzy stanovený dle vzorce (2) a klasifikace rizika provedená dle Tabulky 8. Z tabulky lze vyčíst, že při zohlednění subjektivity, která ovlivnila stanovení jednotlivých koeficientů, lze v případě Uherského Hradiště zanedbat riziko nahlášené hrozby útoku, či jiné škodlivé události, k tomuto typu nebezpečí dochází minimálně, a pokud k němu v minulosti došlo, i dopady byly minimální. Akceptovatelné je pak riziko dopravního kolapsu, smysl výsledku lze spatřovat v tom, že dopravní kolaps je většinou přímý následek dopravních excesů obou druhů. Ostatní typy nebezpečí byly klasifikovány středním stupněm „mírné riziko,“ přičemž jako nejrizikovější se v oblasti Uherského Hradiště jeví dopravní excesy II. druhu, tedy dopravní nehody. Systém krizového řízení by tedy měl být primárně připraven na typy nebezpečí, které byly klasifikovány mírným rizikem. Nežádoucí nebo neakceptovatelné riziko se v oblasti naštěstí nevyskytuje.

Tabulka 11 Výpočet ukazatele míry rizika R [zdroj: vlastní]

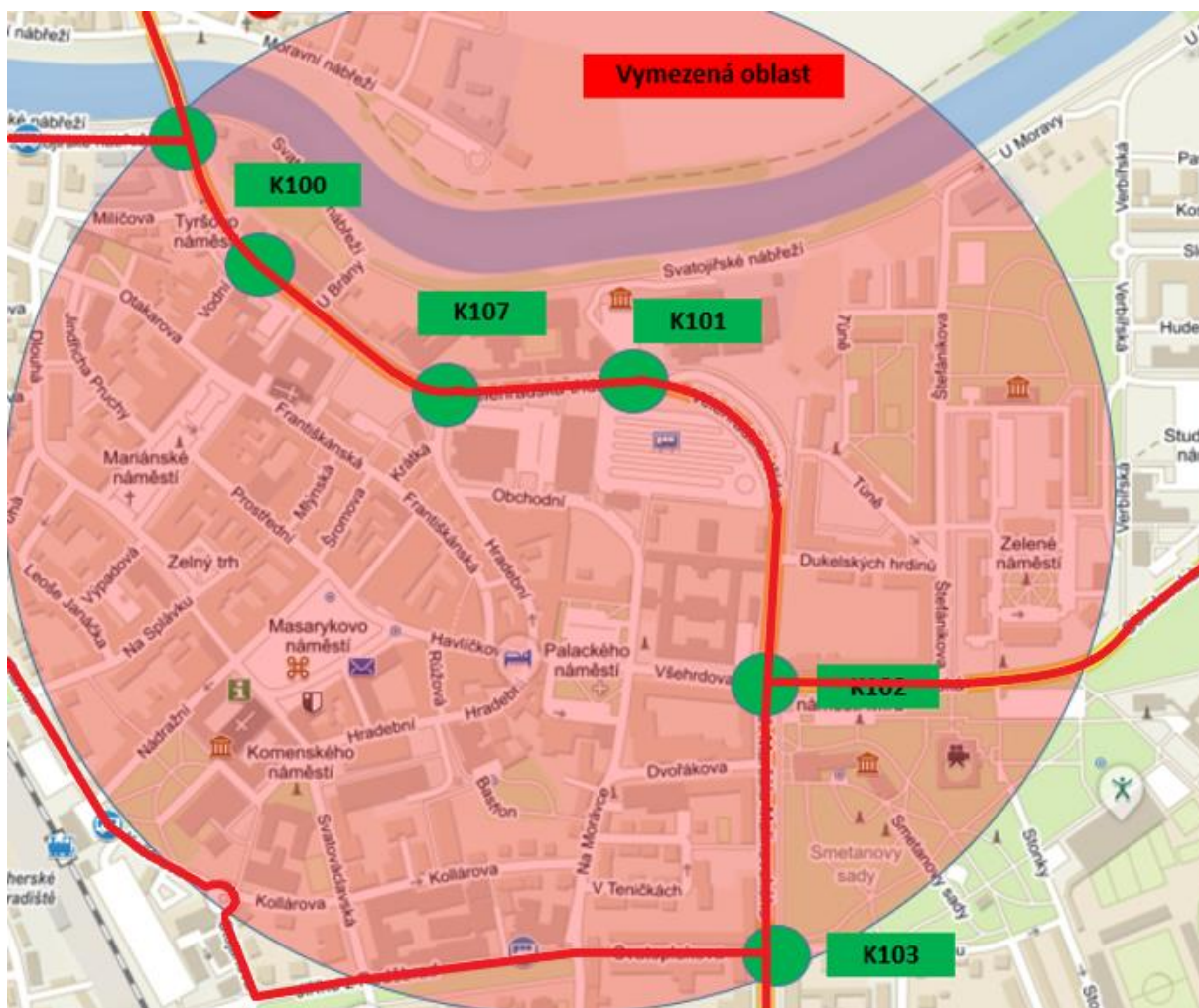
Identifikované nebezpečí	Vypočtený ukazatel míry rizika R	Klasifikace rizika
dopravní exces I. druhu	20.0	Mírné riziko
dopravní exces II. druhu	33.0	Mírné riziko
dopravní kolaps	8.0	Akceptovatelné riziko
nahlášená hrozba	1.0	Bezvýznamné riziko
teroristický útok	11.7	Mírné riziko
přírodní katastrofa	11.7	Mírné riziko

#### 4.4 Identifikace klíčových komunikací a míst s častým výskytem dopravních excesů ve vtipované oblasti

Na Obrázku 22 jsou identifikovány klíčové komunikace z hlediska zajištění plynulosti dopravy, tyto jsou znázorněny červeně. Klíčové komunikace byly identifikovány empiricky, přičemž hlavní metrikou pro jejich stanovení byly hodnoty dopravních intenzit. Kromě stěžejního průtahu městem silnice I/55 a odbočky do Jarošova II/427 byla definována i klíčová alternativa objíždky mezi křižovatkami K100 a K103. Je logické, že v případě, že se stane mimořádná, resp. krizová situace na průtahu městem, nemělo by být cílem řešení dopravu směřovat přímo do centra města tvořeného sítí jednosměrných ulic, neboť by pak řešení způsobilo spíše další škody na exhalacích a doprovodných kongescích v centru města. Klíčová alternativa objíždky tedy vede mimo užší centrum města, konkrétně ulicemi Svatojiřské nábřeží, Stará Tenice, Na Stavidle, Kollárova, Stojanova, Jiřího z Poděbrad a Svatoplukova.

Cílem technologického i organizačního návrhu řešení krizového řízení v případě průtahu města Uherského Hradiště je tedy ideálně včas vozidla nejen odklonit mimo místo vzniku mimořádné situace, ale i zároveň navést na klíčovou alternativu objížděné trasy.





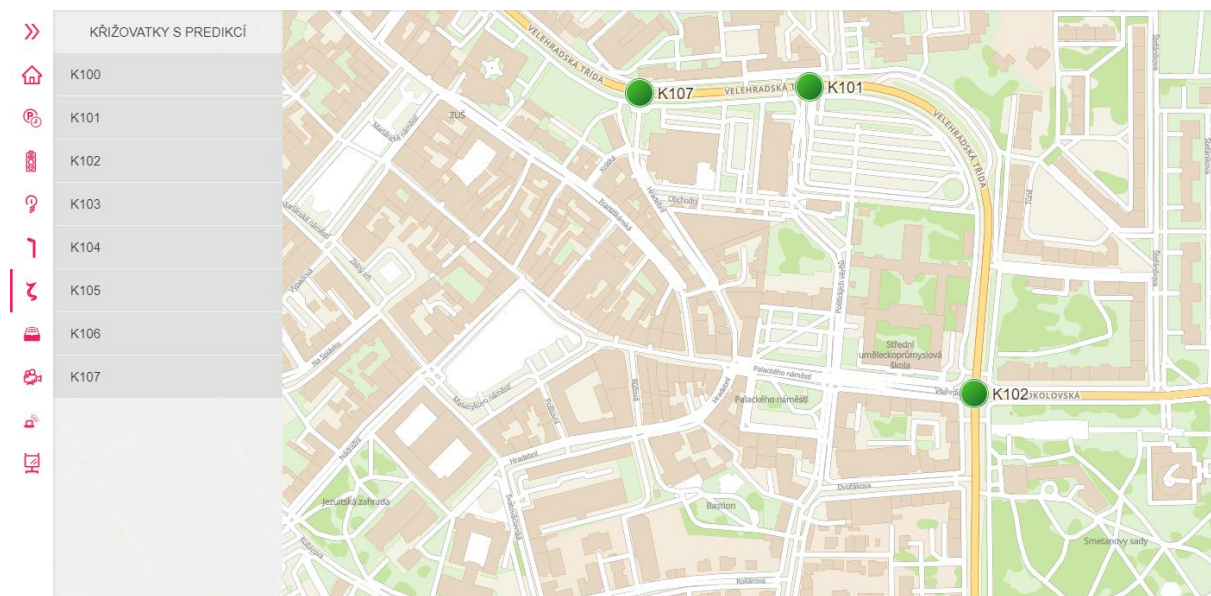
Obrázek 22 Klíčové komunikace z hlediska zajištění plynulosti dopravy [zdroj: vlastní]

Pro identifikaci míst s vyšším rizikem dopravních excesů lze v případě dostatku dostupných dat využít modul pro predikci dopravních excesů pracující na bázi vícevrstevnaté neuronové sítě s aktivační funkcí sigmoidou vyvinutý v rámci projektu [46]. Využití tohoto modulu má však v současné podobě svá omezení:

- Predikční modul predikuje pravděpodobnost rizika dopravního excesu pro jednotlivé křižovatky, kdežto v případě návrhu krizového řízení dle metodického návrhu je počítáno s nehodami v mezikřižovatkových úsecích. Na druhou stranu je nutné zmínit, že predikční modul predikuje v současné podobě pro jednotlivé křižovatky čistě proto, že data o intenzitách dopravy byly k dispozici právě z křižovatek. Pokud by byla v budoucnu k dispozici data z mezikřižovatkových úseků, byla by pro neuronovou síť použitelná;
- Vytipovaná testovací oblast Uherského Hradiště je poměrně malá, navíc s malou penetrací dat o dopravních nehodách, navíc se srovnatelným počtem nehod po celém průtahu, lze očekávat, že v případě větších datových vzorků by neuronová síť vykazovala průkaznější výsledky;
- Cílem návrhu neuronové sítě primárně nebylo identifikovat místa s vyšším rizikem dopravních excesů, spíše pro určitá místa predikovat riziko vzniku dopravního excesu za určité kombinace vstupních parametrů, z hlediska návrhu krizového řízení se tedy jedná spíše o doprovodný

modul, který může být především zdrojem zpřesňujících informací o nehodovosti v posuzované lokalitě.

Predikční modul byl ve spolupráci se společností Eltodo a. s. integrován do řídicí platformy pro chytrá města a zároveň byl převeden do podoby dopravní aplikace. Vizualizaci dopravní aplikace lze vidět na Obrázku 23.



Obrázek 23 Vizualizace dopravní aplikace pro predikci dopravních excesů [zdroj: demo.citidea.cz]

Na Obrázku 24 lze následně vidět výsledek predikce pro vybranou kombinaci parametrů pro případ křižovatky K102 na základě příslušné intenzity dopravy, intenzity srážek, teploty, dne v týdnu a denní doby, druhu a stavu povrchu vozovky, povětrnostních podmínek a viditelnosti. Pro zadanou hodnotu parametrů vykazuje neuronová síť „velmi slabé riziko“ vzniku dopravního excesu.

PREDIKCE RIZIKA	
Křižovatka	K102
Intenzita dopravy	9500 - 11600
Průměrná denní intenzita srážek	0-5 mm
Teplota	10 °C až 20 °C
Den	Pondělí
Denní doba	Odpoledne (od 12:00 do 18:00)
Alkohol u viníka nehody	ne
Druh povrchu vozovky	žlvice
Stav povrchu vozovky v době nehody	povrch suchý - znečištěný (písek, prach, il...
Povětrnostní podmínky v době nehody	neztižené
Viditelnost	ve dne - viditelnost nezhoršená vlivem po...

[Odeslat hodnoty](#)

VÝSLEDNÉ RIZIKO DLE NEURONOVÉ SÍTĚ	
1. výsledek - Kategorie rizika (křižovatka K102)	1. kategorie - Velmi slabé riziko

Obrázek 24 Kombinace parametrů predikujících „velmi slabé riziko,“ vzniku dopravního excesu [zdroj: demo.citidea.cz]

Aplikace je rovněž připravena na nelogické zadání vstupních parametrů uživatelem. Zadá-li uživatel kombinaci parametrů, která je nelogická a navolené parametry se vzájemně vylučují, je na to upozorněn chybovou hláškou, znázorněnou na Obrázku č. 25, kde se konkrétně jedná o kombinaci vysoké průměrné denní intenzity srážek a suchého povrchu vozovky. V případě nevhodně zvolené kombinace pro oblast Uherského Hradiště je na to uživatel také upozorněn. (Na Obrázku 25 se jedná konkrétně o druh povrchu vozovky – štěrk.)

PREDIKCE RIZIKA	
Křižovatka	K100
Intenzita dopravy	8300 - 9500
Průměrná denní intenzita srážek	30-40 mm
Teplota	-20 °C až -10 °C
Den	Pondělí
Denní doba	Dopoledne (od 6:00 do 12:00)
Alkohol u viníka nehody	ano (obsah alkoholu v krvi do 0,24 ‰)
Druh povrchu vozovky	štěrk
Stav povrchu vozovky v době nehody	povrch suchý - neznečištěný
Povětrnostní podmínky v době nehody	neztlížené
Viditelnost	ve dne - viditelnost nezhoršená vlivem po...

Nesmyslná kombinace (navolené parametry se navzájem vylučují), prosím navolte jinou kombinaci  
Vámi zvolená kombinace parametrů není vhodně zvolena pro oblast Uherského Hradiště, prosím navolte jinou kombinaci

Odeslat hodnoty

Obrázek 25 Kombinace vykazující zadání nelogických či nesmyslných hodnot [zdroj: demo.citidea.cz]

Na Obrázku 26 je pak ještě znázorněna kombinace parametrů pro křižovatku K101, pro níž je predikováno silné riziko vzniku dopravního excesu.

PREDIKCE RIZIKA	
Křižovatka	K101
Intenzita dopravy	3300 - 9500
Průměrná denní intenzita srážek	0-5 mm
Teplota	-20 °C až -10 °C
Den	Čtvrtek
Denní doba	Odpoledne (od 12:00 do 18:00)
Alkohol u viníka nehody	ano (obsah alkoholu v krvi do 0,24 ‰)
Druh povrchu vozovky	žvíce
Stav povrchu vozovky v době nehody	povrch suchý - neznečištěný
Povětrnostní podmínky v době nehody	neztižené
Viditelnost	ve dne - viditelnost nezhoršená vlivem po...

[Odeslat hodnoty](#)

VÝSLEDNÉ RIZIKO DLE NEURONOVÉ SÍTĚ	
1. výsledek - Kategorie rizika (křižovatka K101)	3. kategorie - Silné

Obrázek 26 Kombinace parametrů predikující „silné riziko“ vzniku dopravního excesu [zdroj: demo.citidea.cz]

Při pohledu na Obrázky 24 a 26 lze konstatovat, že již při malé změně kombinace vstupních parametrů dochází k predikci vyšší pravděpodobnosti vzniku dopravních excesů, větší význam pro výsledek predikce má pak především intenzita provozu, den v týdnu a denní doba, teplota a množství srážek. Naopak menší význam pak povětrnostní podmínky v době nehody či přítomnost alkoholu za volantem, což je dáno především historickými daty o nehodovosti, které slouží jako jeden ze vstupů pro učení neuronové sítě.

Při porovnání výsledků pro jednotlivé křižovatky se žádná svými výsledky příliš nevymyká, u všech křižovatek existují kombinace, kdy dochází k predikci všech možných výsledků pravděpodobnosti vzniku dopravního excesu, což bude při systémovém projektu návrhu krizového řízení vytipované oblasti samozřejmě zohledněno.

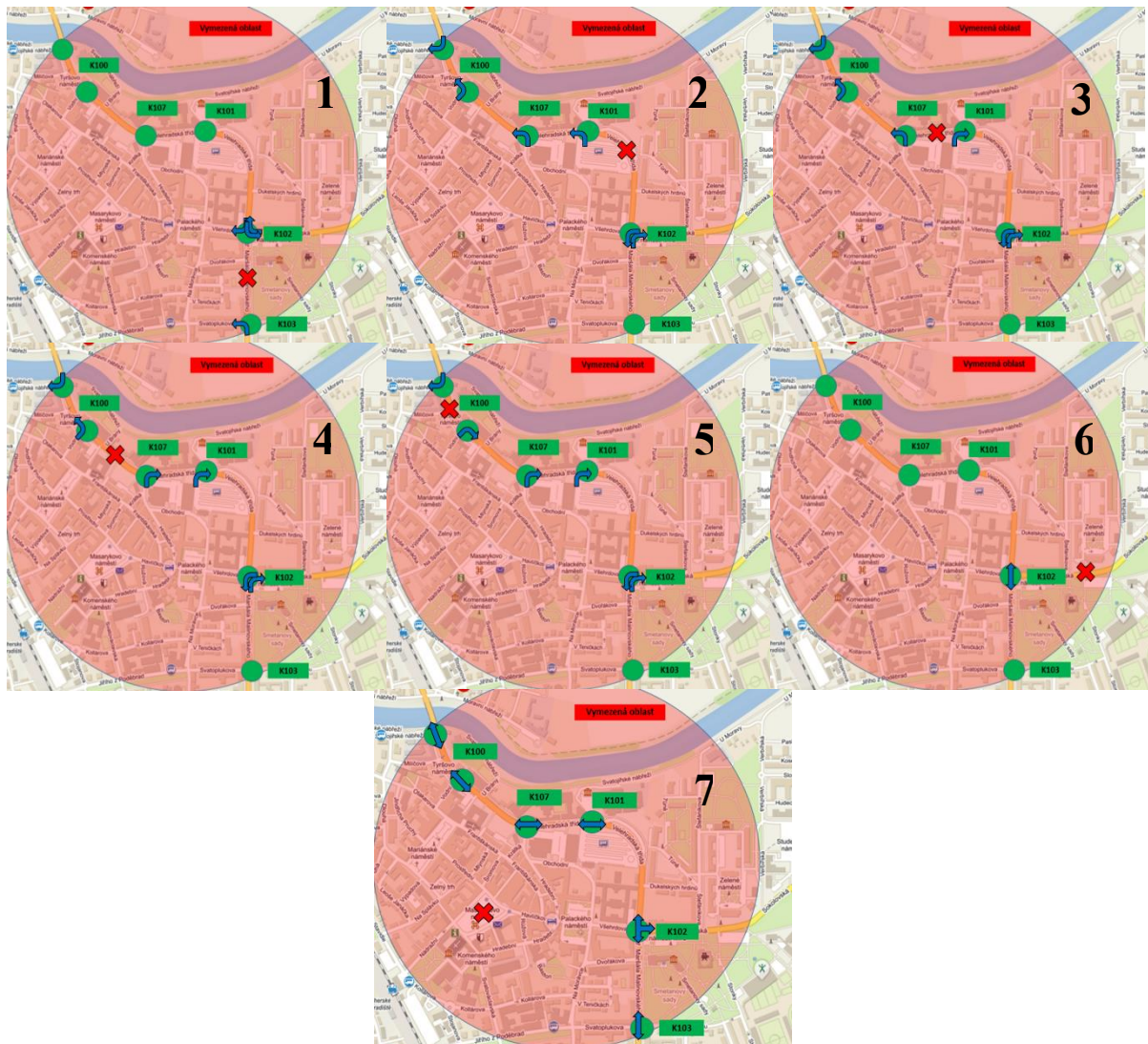
## 4.5 Krizové řízení vytipované oblasti

Na základě analýzy systému je pro oblast Uherského Hradiště vytvořeno 7 základních variant, pro které budou stanoveny objízdné trasy. Varianty zohledňují místa nejčastějších vzniků mimořádných, resp. krizových situací na průtahu městem a také samotnou možnost odklonu vozidel pomocí SSZ. Vytyčená oblast je v tomto bodě velmi jednoduchá a je předpokládáno, že ve větších městech bude počet variant výrazně vyšší. Je třeba zdůraznit, že systém krizového řízení není připraven na situaci, kdy by zdroj mimořádné situace byl přímo v jedné ze stěžejních křižovatek SSZ ve městě, tedy v K100, K102 a K103, ale zároveň je schopný řešit situace, pokud je zdroj mimořádné situace v těsné blízkosti těchto křižovatek.

### 4.5.1 Návrh konkrétních scénářů vzniku mimořádné situace v oblasti

Na Obrázku 27 níže lze názorně vidět návrh jednotlivých scénářů vzniku mimořádné, resp. krizové situace v posuzované oblasti. Červeným křížkem je vždy označeno místo vzniku mimořádné situace,

modrými šipkami je pak naznačen preferovaný odklon vozidel na jednotlivých křižovatkách řízených pomocí SSZ.



Obrázek 27 Varianty vzniku mimořádné situace a preferované objízdné trasy [zdroj: vlastní]

První varianta znázorňuje stav, kdy se mimořádná událost stane mezi křižovatkami K102 a K103. V této variantě je žádoucí, aby vozidla směřující z jihu od Kunovic do Starého Města byla odkloněna na klíčovou objízdnou trasu znázorněnou na Obrázku 22. Na stejnou trasu je vhodné odklánět i jedoucí vozidla v relaci Kunovice-Jarošov, s tím, že pak dorazí na křižovatku K102 z jiného směru. Naopak z druhé strany není vhodné odklánět dopravu již na K100, protože by došlo ke zbytečnému odklonu silné relace Staré Město-Jarošov, která může v této alternativě projet bez problému po své trase. Proto je navrženo dopravu kompletně odklánět až na K102. Vozidla v relaci Staré Město-Kunovice pak směřovat Všehrdovou ulicí k Palackému náměstí a odtud vlevo ulicí Na Morávce a Svatoplukovou ke K103. Vozidla jedoucí z Jarošova je pak vhodné odklánět kamkoliv mimo úsek mezi K102 a K103, primárně však na hlavní komunikaci ve směru Staré Město.

Druhá varianta znázorňuje stav, kdy se mimořádná událost stane mezi křižovatkami K101 a K102, v takovém případě je vhodné vozidla směřující v relaci od Kunovic odklánět mimo úsek s mimořádnou situací, relace Kunovice-Jarošov je zachována, v relaci Kunovice-Staré Město by bylo vhodné uvažovat o nějakém informačním prvku, který by se snažil vozidla odklánět již na K103. Pokud však budou

odkloněna až na K102, nevádí to, protože mohou využít Všehrdovu a Obchodní ke zpětnému najetí na původní trasu. Relaci Jarošov-Staré Město je vhodné kompletně odklánět ke křižovatce K103, aby nedošlo k výraznému navýšení intenzit ve Všehrdově ulici, následně mohou tato vozidla využít Svatoplukovu ulici. Vozidla jedoucí ze Starého město je doporučeno odklánět již na K100 na dříve definovanou klíčovou objízdnu trasu. Vozidla přijíždějící ke křižovatkám K100, K107 a K101 je doporučeno odklánět vlevo mimo místo mimořádné události.

Třetí varianta znázorňuje stav, kdy se mimořádná událost stane mezi křižovatkami K101 a K107, jedná se o variantu principiálně velmi podobnou druhé variantě. Je vhodné vozidla směřující v relaci od Kunovic odklánět mimo úsek s mimořádnou situací, relace Kunovice-Jarošov je zachována, v relaci Kunovice-Staré Město by bylo vhodné uvažovat o nějakém informačním prvku, který by se snažil vozidla odklánět již na K103. Pokud však budou odkloněna až na K102, nevádí to, protože mohou využít Všehrdovu a Obchodní ke zpětnému najetí na původní trasu. Relaci Jarošov-Staré Město je vhodné kompletně odklánět ke křižovatce K103, aby nedošlo k výraznému navýšení intenzit ve Všehrdově ulici, následně mohou tato vozidla využít Svatoplukovu ulici. Vozidla jedoucí ze Starého město je doporučeno odklánět již na K100 na klíčovou objízdnu trasu definovanou v podkapitole 2.3. Vozidla přijíždějící ke křižovatkám K100, K107 je doporučeno odklánět vlevo mimo místo mimořádné události, vozidla přijíždějící ke křižovatce K101 pak odklánět vpravo mimo místo mimořádné události.

Čtvrtá varianta znázorňuje stav, kdy se mimořádná událost stane mezi křižovatkami K107 a K100, v takovém případě je vhodné vozidla směřující v relaci od Kunovic odklánět mimo úsek s mimořádnou situací, relace Kunovice-Jarošov je zachována, v relaci Kunovice-Staré Město by bylo vhodné uvažovat o nějakém informačním prvku, který by se snažil vozidla odklánět již na K103. Pokud však budou odkloněna až na K102, nevádí to, protože mohou využít Všehrdovu, Obchodní, Krátkou, Františkánskou a Vodní ke zpětnému najetí na původní trasu. Relaci Jarošov-Staré Město je vhodné kompletně odklánět ke křižovatce K103, aby nedošlo k výraznému navýšení intenzit ve Všehrdově ulici, následně mohou tato vozidla využít Svatoplukovu ulici. Vozidla jedoucí ze Starého město je doporučeno odklánět již na K100 na klíčovou objízdnu trasu. Vozidla přijíždějící ke křižovatkám K100 je doporučeno odklánět vlevo mimo místo mimořádné události, vozidla přijíždějící ke křižovatce K101, K107 pak odklánět vpravo mimo místo mimořádné události.

Pátá varianta znázorňuje stav, kdy se mimořádná událost stane mezi křižovatkami K100a a K100b, v takovém případě je vhodné vozidla směřující v relaci od Kunovic odklánět mimo úsek s mimořádnou situací, relace Kunovice-Jarošov je zachována, v relaci Kunovice-Staré Město by bylo vhodné uvažovat o nějakém informačním prvku, který by se snažil vozidla odklánět již na K103. Pokud však budou odkloněna až na K102, nevádí to, protože mohou využít Všehrdovu, Obchodní, Krátkou, Františkánskou a Otakarovu ke zpětnému najetí na původní trasu. Relaci Jarošov-Staré Město je vhodné kompletně odklánět ke křižovatce K103, aby nedošlo k výraznému navýšení intenzit ve Všehrdově ulici, následně mohou tato vozidla využít Svatoplukovu ulici. Vozidla jedoucí ze Starého město je doporučeno odklánět již na K100a na klíčovou objízdnu trasu. Vozidla přijíždějící ke křižovatce K100b, K101, K107 pak odklánět vpravo mimo místo mimořádné události.

Šestá varianta znázorňuje stav, kdy se mimořádná událost stane před křižovatkou K102 směrem od Jarošova. V tomto případě je cíl systému řízení jednoduchý, a to především nepouštět vozidla směrem do Jarošova, hlavní opatření tedy budou navržena zejména na K102 s cílem udržet vozidla na hlavním průtahu městem.

Poslední, tedy sedmá, varianta znázorňuje situaci, kdy se mimořádná, resp. krizová situace stane v centru města Uherského Hradiště. (Bod na Masarykově náměstí je čistě ilustrativní, varianta platí pro

jakoukoliv polohu mimořádné situace v rámci centra města.) Předpokládán je zde spíše ojedinělý výskyt událostí typu teroristický útok, které z hlediska analýzy rizik podobně jako dopravní excesy představují „mírné riziko.“ V takovém případě je cílem řízení držet vozidla na hlavních komunikacích, tj. na hlavním průtahu městem a komunikaci do Jarošova, a naopak omezit vjezd těchto vozidel do centra města Uherské Hradiště.

#### 4.5.2 Procesní návrh navedení vozidel na objízdné trasy

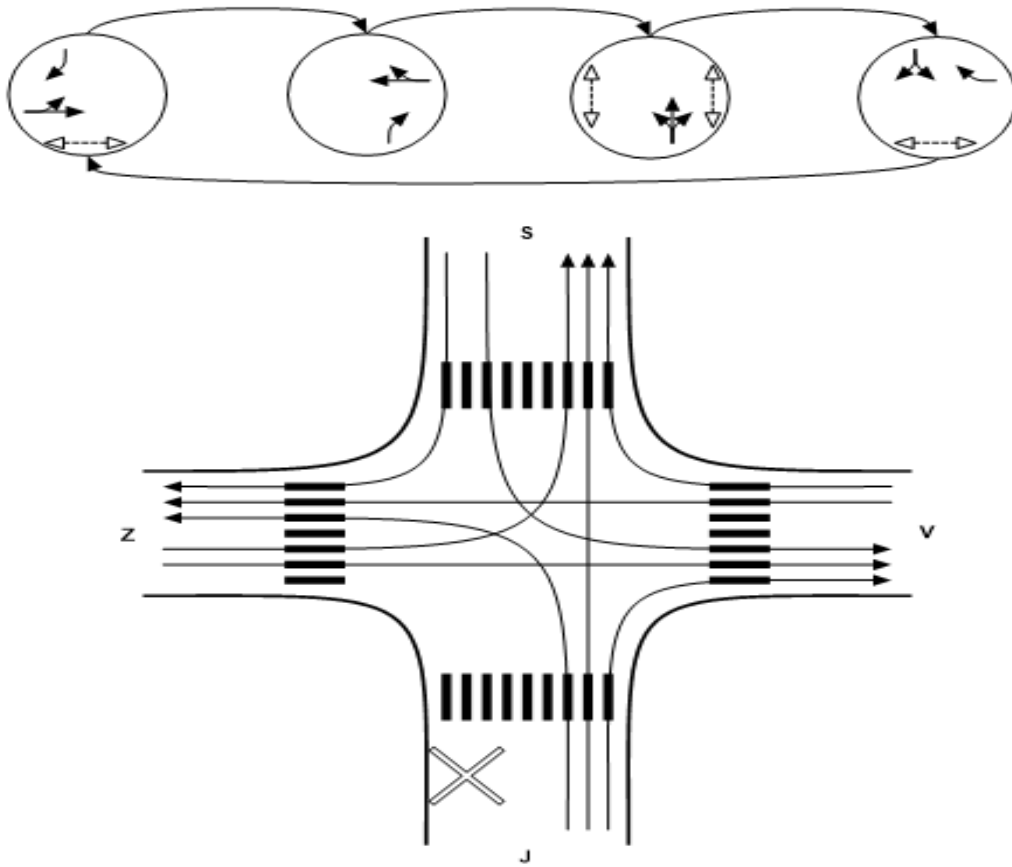
Pro každou z variant vzniku mimořádné, resp. krizové situace znázorněné na Obrázku 27, je třeba provést procesní návrh navedení vozidel na preferované objízdné trasy. Tento návrh je proveden v souladu s technologickým pohledem metodologie popsané v předchozí kapitole.

Konkrétně se jedná o proces složený z následujících dílčích kroků:

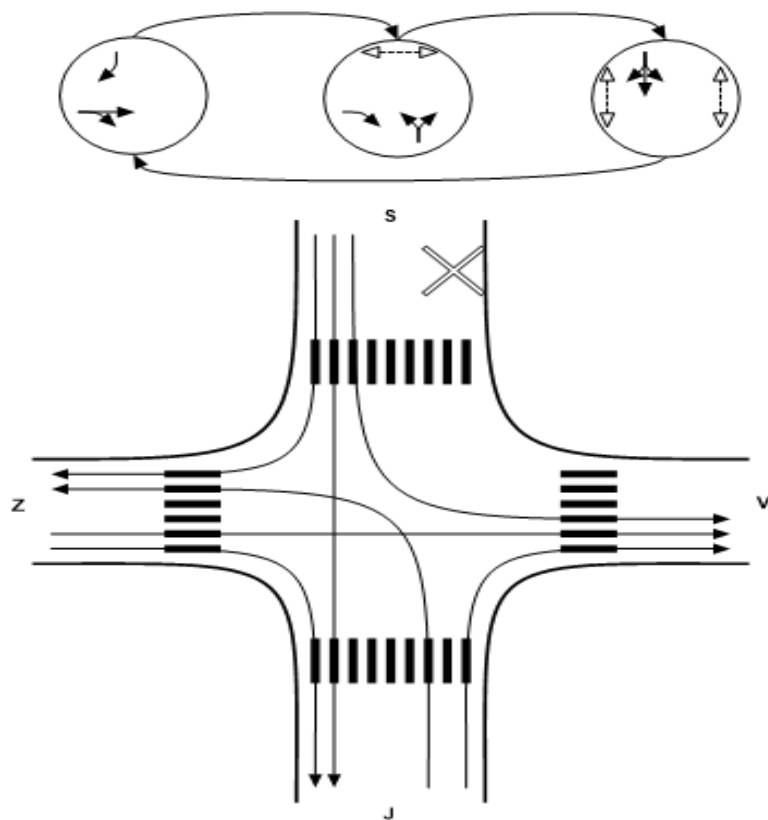
- **Výběr varianty vzniku mimořádné situace** (v tomto případě varianty 1-7 na Obrázku 27);
- **Určení všech křižovatek, u nichž v případě příslušné varianty je vhodné dopravu odklonit** (v tomto případě naznačeno modrými šipkami na Obrázku 27);
- **Identifikace typu každé křižovatky** (modelové varianty) dle Tabulky 9;
- **Funkční návrh odklonění vozidel do požadovaných směrů pro každou křižovatku** (výběr upravených fázových sledů) dle [37], v případě nalezení odchylek v realitě, které metodika nezohledňuje, je tyto nutné posuzovat a řešit individuálně. Mezi tyto odchylky lze řadit např.:
  - Vlivy jednosměrných komunikací na návrh sledu fází při krizovém řízení;
  - Jiné umístění přechodů pro chodce v rámci křižovatek s vlivem na konkrétní fáze v krizovém řízení;
  - Ostatní místní vlivy (vjezd k autobusovému nádraží atp.);
- **Návrh fyzických instalací nových technologií a prvků SSZ pro všechny křižovatky v oblasti, tak aby krizové řízení bylo připravené na všechny varianty vzniku mimořádné situace v oblasti.**

*Příklad řešení pro první variantu dle Obrázku 27:*

Pro zopakování první varianty znázorňuje vznik mimořádné situace mezi křižovatkami K102 a K103. Při této variantě dle připraveného scénáře je primární odklonit dopravu mimo tento mezikřižovatkový úsek právě z křižovatek K102 a K103. Na křižovatku K102 je možné hledět dle Tabulky 9 jako na typovou variantu H, tedy čtyřramennou křižovatku s přechody pro chodce na každém rameni a s dvoufázovým řízením. (Vyklizování levého odbočení zde uvažujeme jako součást jedné z fází.) Pro křižovatku K102 je v tomto případě automaticky dle [37] navržen upravený fázový sled pro krizové řízení na Obrázku 28. Zde nedochází k odchylkám oproti dokumentu metodiky. Na křižovatku K103 je v tomto rameni hleděno dle Tabulky 9 také jako na typovou variantu H, ale při návrhu upraveného fázového sledu je nutné zohlednit, že východní rameno tvoří pouze jednosměrná komunikace, a tak oproti řešení křižovatky K102 dochází k úplnému vynechání druhé fáze, protože tato není potřeba. Upravený fázový sled pro K103 zobrazuje Obrázek 29.



Obrázek 28 Upravený fázový sled pro křižovatku K102 [zdroj: vlastní]



Obrázek 29 Upravený fázový sled pro křižovatku K103 [zdroj: vlastní]



Není účelné v rámci dokumentu disertační práce takto vypisovat řešení každé varianty vzniku mimořádné, resp. krizové situace a všech souvisejících úprav fázových sledů. Tyto jsou případně dohledatelné v autorově práci [38].

### 4.5.3 Doporučení pro instalaci technologií v oblasti

Posledním bodem návrhu krizového řízení ve vytipované oblasti je doporučení pro instalaci technologií v příslušné oblasti. Zde se lze vydat dvěma směry:

**Směr kompletní inovace** – základním doporučením je instalovat signální komory pro proměnné dopravní šipky pro každé návěstidlo s plnými signály v oblasti, výhodou kompletní inovace by byla jednoduchost případných změn, menší vliv lidského činitele na řešení;

**Směr realistické úvahy nad požadavky** – doporučení vyplývá z požadavku, aby byly křižovatky v oblasti vybaveny tak, že krizové řízení bude připravené ideálně na všechny varianty vzniku mimořádné situace. Nutnost instalace dalších doplňkových šipek ke stávajícím signálním komorám s plnými signály vyplyne z kompletních přehledů upravených fázových sledů v oblasti. Na základě těchto sledů pak je nutné rozhodnout, zda:

- Je nutné pro návěstidlo příslušné křižovatky instalovat dvě signální komory s proměnnými doplňkovými šipkami (typicky pro ta návěstidla, kdy je nutné při různých situacích dopravu odklánět do různých směrů);
- Je nutné pro návěstidlo příslušné křižovatky instalovat signální komory s klasickými dopravními šipkami (typicky pro ta návěstidla, kdy je nutné při různých situacích dopravu zpravidla odklonit do stejného směru);
- Není nutné pro návěstidlo příslušné křižovatky instalovat další prvky (typicky pro ta návěstidla, kde už doplňkové šipky jsou, nebo jsou na návěstidle instalovány signální komory se směrovými signály, nebo nejsou nové instalace pro žádný z připravených scénářů potřeba).

Kromě doplnění části návěstidel lze pak uvažovat pro příslušnou oblast o instalaci doplňujících prvků, které budou účastníky silničního provozu o mimořádné situaci informovat. Tyto prvky není nutné instalovat před každou křižovatkou, ale spíše před vjezdem do oblasti řízené krizovým řízením.

Konkrétně v případě Uherského Hradiště lze doporučit instalaci zařízení pro provozní informace v dostatečné vzdálenosti od všech hlavních vstupů do oblasti (ze směrů Staré Město, Kunovice i Jarošov). Předávané informace by měly zahrnovat sdělení ohledně omezení silničního provozu a spuštění systému krizového řízení dopravy a v případě modelové varianty 7 na Obrázku 27, tedy mimořádné události v centru města, by měly přímo na tuto událost upozorňovat, což by realisticky mohlo vést k omezení cest do centra. Pro tuto variantu by totiž instalace doplňkových šipek mohla být značně neekonomická. Dále je pak navrženo:

Konkrétně v případě Uherského Hradiště pak lze doporučit na v dostatečné vzdálenosti od vstupů do oblasti (ze směrů Staré Město, Kunovice i Jarošov) informovat účastníky silničního provozu o jeho omezení a spuštěném systému krizového řízení dopravy na zařízeních pro provozní informace. V případě modelové varianty 7 na Obrázku 27, tedy mimořádné události v centru, pak na tuto přímo upozornit, což by realisticky mohlo vést k omezení cest do centra. Pro tuto variantu by totiž instalace doplňkových šipek mohla být značně neekonomická. Dále pak je navrženo:

- Pro křižovátku K100a:

- Pro návěstidlo na vjezdu do křižovatky ze severního směru od mostu přes Moravu není nutná žádná další instalace, doplňková šipka vpravo zde již reálně existuje a do jiného směru než vpravo není nutné odklánět pro žádný ze scénářů;
- Pro návěstidlo na vjezdu do křižovatky ze Svatojiřského nábřeží **doinstalovat signální komoru pro doplňkovou šipku vlevo**;
- Pro návěstidlo na vjezdu do křižovatky z jižního směru není nutná žádná další instalace;
- Pro křižovatku K100b:
  - Pro návěstidla z hlavních směrů na Velehradské Třídě nejsou nutné další instalace, vzhledem k jednosměrnosti ulice Vodní by byly bezpředmětné;
  - Pro návěstidlo na vjezdu do křižovatky z ulice Vodní doinstalovat **signální komoru pro doplňkovou šipku vlevo**, jež se v některých případech krizového řízení užívá;
- Pro křižovatku K107:
  - Pro návěstidlo z hlavního směru na Velehradské třídě v relaci sever-jih nejsou nutné další instalace, doplňková šipka vpravo zde již reálně existuje a do jiného směru než vpravo není nutné odklánět v žádném ze scénářů;
  - Pro návěstidlo z hlavního směru v relaci od jihu je nutné doinstalovat **signální komoru pro doplňkovou šipku vlevo** do ulice Hradební;
  - Pro návěstidlo z vedlejšího směru z ulice Hradební je **nutné nainstalovat doplňkovou šipku vlevo**, doplňková šipka vpravo zde již reálně existuje;
- Pro křižovatku K101:
  - Pro návěstidla z hlavních směrů na Velehradské třídě je nutné doinstalovat signální komory tak, aby byla návěstidla schopná odklánět vlevo i vpravo. S tím, že cílem je řídiče osobních automobilů směřovat na „Parkoviště gymnázium,“ kde by pouze provedli proces otočení a následně by se mohli vydat odklonem zpět stejnou cestou, jakou přijeli (pro všechny varianty, kdy dochází k odklonům na K101) a pro řídiče autobusů by byla i v situacích, kdy dochází k odklonům na K101, zachována možnost dostat se na autobusové nádraží, kam mají osobní automobily zákaz vjezdu. Tedy na vjezdu v relaci Staré-Město-Kunovice je nutné **doinstalovat signální komoru pro doplňkovou šipku vlevo, na vjezdu v relaci Kunovice-Staré Město pak signální komory pro doplňkovou šipku vpravo i vlevo**;
  - Pro návěstidla z vedlejších směrů lze považovat za nejvhodnější také **doinstalování signálních komor pro doplňkové šipky vpravo i vlevo**, které se budou využívat dle situace, proměnné doplňkové šipky zde nejsou nutné, protože není předpoklad, že by autobusy využívaly relaci Autobusové nádraží-Parkoviště Gymnázium, stejně tak není předpoklad, že by parkující využívali vzhledem k zakazu vjezdu relaci Parkoviště Gymnázium-Autobusové nádraží;
- Pro křižovatku K102:
  - Křižovatka K102 je specifická a také nejdůležitější pro mnoho scénářů při vzniku mimořádné, resp. krizové situace. Stávající instalace by neumožňovaly některé z odklonů, stejně tak nestačí pouhé doplnění o další signální komory jako v případech výše, protože křižovatka je čtyřramenná a při různých situacích potřebujeme odklánět do různých směrů, **doporučením je tedy instalace signálních komor s proměnnými doplňkovými šipkami pro všechna návěstidla s plnými signály**;
- Pro křižovatku K103:

- Pro vjezd do křižovatky ze severního směru (od Starého Města) po hlavní komunikaci není třeba instalovat nové prvky;
- Pro vjezd do křižovatky z jižního směru po hlavní komunikaci je vhodné instalovat **signální komory pro doplňkové šipky vpravo i vlevo;**
- Pro vjezd do křižovatky z ulice Svatoplukova je pak doporučeno doplnění stávající signální komory s doplňkovou šipkou vpravo o další **signální komoru s doplňkovou šipkou rovně;**

V rámci doporučení po realistické úvaze nad požadavky je navrženo instalovat:

- 3 ks zařízení pro provozní informace pro oblast;
- 8 ks proměnné doplňkové šipky pro K102;
- 13 ks standardní doplňkové šipky pro ostatní křižovatky.

Následně je nutné ještě individuálně pro každou situaci zvážit, zda by nebylo vhodné tyto šipky instalovat i na opakovací návěstidla.

## 5 Ověření a zhodnocení návrhu

Kapitola se zabývá ověřením a zhodnocením obou návrhů v předchozích dvou kapitolách, tedy nejen konkrétního návrhu řešení pro vytipovanou oblast, ale i návrhu obecné metodologie pro integraci krizového řízení do oblastního řízení pomocí SSZ. Návrh řešení pro krizové řízení pro průtah městem Uherské Hradiště je modelově ověřen v simulačních prostředích, simulace byly vyhodnoceny a v první podkapitole z nich lze vyčíst závěry. V druhé podkapitole je nejdříve navržen návrh posouzení účelnosti zavedení systému pro posuzovanou oblast a dále je sestaven návod pro vyhodnocení všech kvantitativních a kvalitativních parametrů návrhu krizového řízení ve vytipované oblasti po jeho zavedení. Konečně v poslední podkapitole je provedeno manažerské shrnutí ve formě SWOT analýzy, která shrnuje výhody, nevýhody, příležitosti a hrozby návrhu integrace krizového řízení do současných SSZ. K této SWOT analýze jsou dle zásad její tvorby také navrženy i možnosti podpoření příležitostí a možnosti eliminace hrozeb.

### 5.1 Vytvoření a vyhodnocení návrhu prostřednictvím dopravní simulace

Jako vstupní data o intenzitách do obou modelů jsou použity hodinové intenzity dopravy ze všech vstupů do křižovatky K102 z vlastního průzkumu dopravy provedeného dne 13. 6. 2019 v dopoledních hodinách. Naměřené hodinové intenzity reflektuje Tabulka 12 níže. Modelové intenzity vozidel příjezdících z ostatních směrů na hlavní průtah byly empiricky odhadnuty. Směřování vozidel je pak vyvozeno z intenzit v jednotlivých pružích, které byly rovněž naměřeny v rámci dopravního průzkumu, v místech, kde nebyl průzkum realizován, je pak empiricky odhadnuto i na základě předchozích studií, na kterých se autor spolupodílel [35], [36].

Tabulka 12 Vstupní data o intenzitách dopravy [zdroj: vlastní]

<b>13.06.2019</b>	<b>hodinová intenzita (voz/h) 8:30-9:30</b>	<b>hodinová intenzita (voz/h) 9:30-10:30</b>
<b>od Starého Města</b>	815	874
<b>od Kunovic</b>	819	777
<b>od Jarošova</b>	691	603
<b>z centra</b>	164	195

Signální plány v klasickém režimu řízení jsou převzaty z dopravního řešení jednotlivých křižovatek společnosti Eltodo, a. s., jedná se tedy o reálné signální plány používané ve městě v současné době, které je nutné zhodnotit pro účely porovnání výsledků simulace. Cykly na jednotlivých uzlech K100a, K100b, K101, K107, K102 a K103 jsou rovny 100 sekundám.

Jako kalibrační data jsou pak použity údaje o počtu vozidel, která projela křižovatkou v jednotlivých cyklech (rovněž z provedeného vlastního průzkumu). Na základě kalibračních dat jsou v modelu v případě nutnosti upraveny distribuce rychlostí, akcelerací a přednastavené modely chování řidičů v simulacích tak, aby co nejlépe refletovaly realitu řidičů ve městě Uherské Hradiště. Ukázkou kalibračních dat ze směru Staré Město reflektuje Tabulka 13.

Tabulka 13 Kalibrační data pro zpřesnění modelů z vlastního průzkumu [zdroj: vlastní]

	Intenzity od Starého města			Kolony ze směru Staré město	
	pravý pruh	střední pruh	levý pruh	Sloup VO	Řadící pruh s vlivem na délku kolony
8:15:50	10	2	9	-	RU
8:17:30	14	0	9	-	RP
8:19:10	15	1	12	2	L
8:20:50	8	1	12	2	L
8:22:30	6	1	12	2	L
8:24:10	10	2	11	0,33	L
8:25:50	5	1	8	1,5	L
8:27:30	12	1	15	0,66	L
8:29:10	12	1	9	-	RP
8:30:50	16	2	9	2	L
8:32:30	12	1	10	2	L
8:34:10	8	2	7	3	L
8:35:50	13	2	11	3	L
8:37:30	11	0	13	2	L
8:39:10	9	4	11	2,5	L
8:40:50	8	3	11	2	L
8:42:30	13	3	10	2	L
8:44:10	11	4	12	1	L
8:45:50	18	3	9	0	L
8:47:30	19	3	6	0	L
8:49:10	14	0	11	-	L
8:50:50	9	0	9	1	L
8:52:30	11	2	4	0	-
8:54:10	9	4	2	-	PR
8:55:50	12	2	10	0	-
8:57:30	12	0	7	-	L
8:59:10	5	2	7	-	L
9:00:50	8	3	8	-	L
9:02:30	13	3	8	-	L
9:04:10	6	1	11	-	L
9:05:50	14	2	7	0	-
9:07:30	10	1	9	0	-
9:09:10	13	3	8	0	L
9:10:50	9	1	11	1	L
9:12:30	12	3	10	-	L
9:14:10	13	1	9	0	-
9:15:50	6	1	9	-	L
9:17:30	11	1	12	0,5	L
9:19:10	9	1	10	-	L
9:20:50	23	2	11	-	L
9:22:30	8	2	9	-	L
9:24:10	13	2	10	0	L
9:25:50	16	1	9	-	RP
9:27:30	8	2	10	-	L
9:29:10	17	2	7	-	RP
9:30:50	11	2	9	0	-

### 5.1.1 Simulace v programu PTV VISSIM

Na základě dostupných vstupních dat byl v programu PTV VISSIM vytvořen zjednodušený model dopravní oblasti. V první fázi šlo o vytvoření co nejvěrohodnějšího modelu řízení dopravy v běžném režimu řízení dopravy. Pro vytvoření modelu sítě je použita na webu dostupná ortofotomapa průtahu města Uherské Hradiště a přilehlých komunikací. Model byl z důvodu omezené licence programu PTV VISSIM v rámci FD ČVUT zjednodušen pouze na namodelování řízení na křižovatkách K100a, K102 a K103 (Ostatní uzly jsou v modelu zanedbány). Mikrosimulační model vychází z klasického modelu chování Wiedemann 99 a byl v průběhu návrhu kalibrován pomocí výše uvedených kalibračních dat. Samotné vyhodnocení modelu pak reflektuje zásady modelování, tedy vyhodnocení není založeno na jedné proběhlé simulaci, ale na třiceti simulačních bězích, které byly provedeny při zadání jiného náhodného čísla, počátek simulace je brán jako záběhová fáze modelu a není vyhodnocován. Samotné vyhodnocení probíhá v hodinovém intervalu v čase 400-4000 sekund.

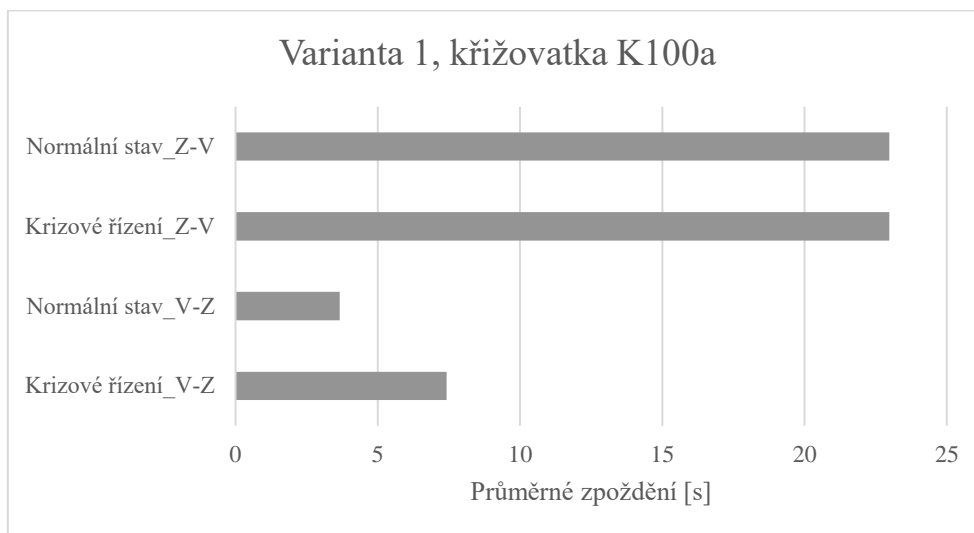
V rámci vyhodnocení byly v programu PTV VISSIM simulovány následující situace:

- Běžný provoz bez mimořádné situace;
- Běžný provoz s mimořádnou situací mezi křižovatkami K102 a K103 bez aktivovaného systému krizového řízení;
- Běžný provoz s mimořádnou situací mezi křižovatkami K100a a K102 bez aktivovaného systému krizového řízení;
- Běžný provoz s mimořádnou situací v ulici Sokolovská ve směru do Jarošova bez aktivovaného systému krizového řízení;
- Mimořádná, resp. krizová situace mezi křižovatkami K102 a K103 při aktivovaném systému krizového řízení;
- Mimořádná, resp. krizová situace mezi křižovatkami K100a a K102 při aktivovaném systému krizového řízení;
- Mimořádná, resp. krizová situace v ulici Sokolovská ve směru do Jarošova při aktivovaném systému krizového řízení.

Pro všechny simulované varianty platí, že jsou simulovány pro zcela stejné vstupy (intenzity) a zároveň se nemění délka cyklu pro jednotlivé uzly, zůstává tedy vždy 100 sekund, aby bylo možné výsledky vzájemně porovnat. Cílem mikrosimulace bylo vyhodnocení průměrného zpoždění v křižovatce, tedy parametru „Delay“, z několika simulací na křižovatkách K100a, K102 a K103 a následně grafické porovnání výsledků mezi sebou. V průběhu řešení však vyvstal problém spojený s postupem vyhodnocení průměrného zpoždění v programu VISSIM, neboť v situacích, kdy se vyskytne mimořádná, resp. krizová situace při běžném způsobu řízení provozu SSZ, nelze zpoždění relevantně vyhodnotit. Během vyhodnocované hodinové periody totiž dochází k postupnému ucpávání posuzovaného uzlu z důvodu excessu a následně k úplnému zastavení všech vozidel. V momentě, kdy v modelu vozidla dlouhodobě zastaví, nelze vyhodnocovat zdržení ve zkoumaném intervalu, jelikož daným intervalem žádná vozidla neprojedou, protože reálně stojí. Pro běžné provozování s mimořádnou, resp. krizovou situací bez použití krizového řízení lze tedy průměrnou dobu zdržení pouze hrubě odhadovat. Je jisté, že bude několikanásobně vyšší, než tomu bude za normálního provozu nebo za krizového systému řízení. Odhad průměrné střední doby zdržení v případě mimořádné, resp. krizové situace za normálního režimu řízení závisí na několika faktorech, z nichž nejdůležitějšími jsou rozsah dané mimořádné situace, dále pak čas trvání odstranění jejích následků a průměrná doba dojezdu složek integrovaného záchranného systému k místu situace. Od doby vzniku situace až do doby obnovení provozu, nedostačuje kapacita jednotlivých uzlů pro vzniklé intenzity, úroveň kvality dopravy je na stupni F a průměrná střední doba zdržení se z řádů sekund dostává do řádů minut až desítek minut.

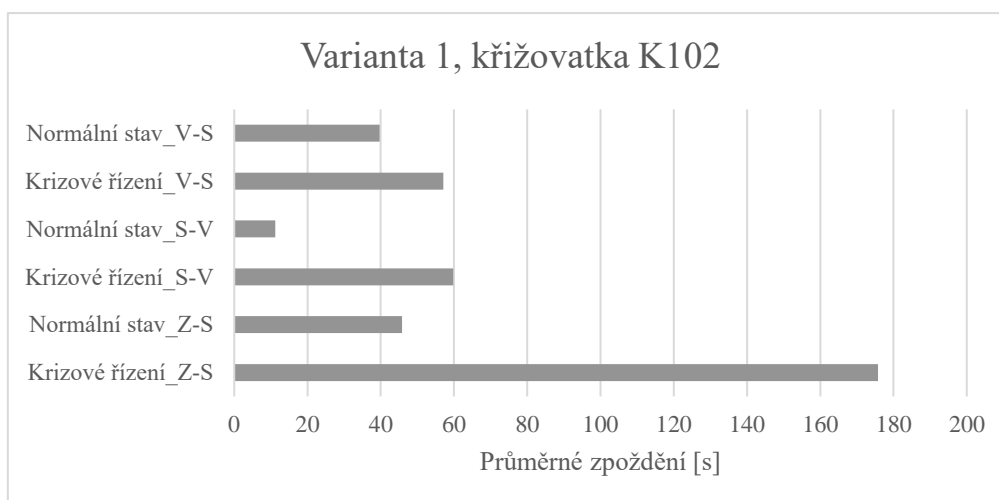
### Ukázka vyhodnocení:

Na následujících obrazcích níže lze pozorovat porovnání průměrných dob zdržení v jednotlivých uzlech (jeden graf přísluší jednomu vyhodnocovanému uzlu pro Variantu 1 dle Obrázku 27, tzn. potenciálním vzniku mimořádné situace mezi K102 a K103, jedná se o průměrné hodnoty z 30 experimentů) U křižovatky K100a lze na Obrázku 30 pozorovat zajímavé a logické závěry z několika simulací, a sice že ve směru k místu vzniklé situace se průměrné zpoždění vůbec nemění, uzel je od situace velmi daleko, naopak v opačném směru dochází k nárůstu zpoždění v případě krizového řízení.



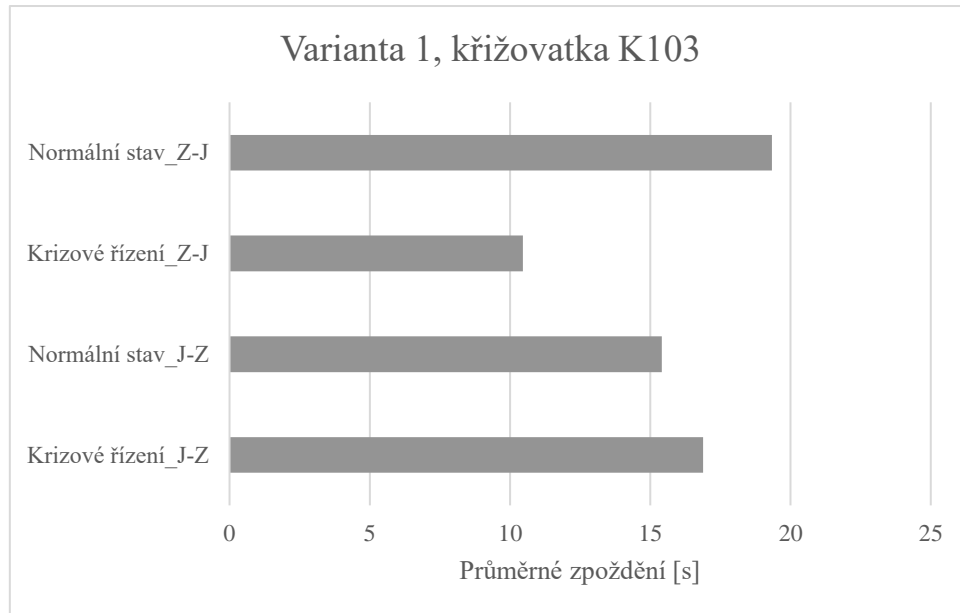
Obrázek 30 Porovnání zpoždění pro relace na křižovatce K100a pro Variantu 1 dle Obrázku 27 [zdroj: vlastní]

U křižovatky K102 pak pro Variantu 1 dochází (opět logicky) k navýšení zpoždění u všech posuzovaných směrů v uzlu, relace Jarošov-Staré Město a Staré Město-Jarošov přece jenom nejsou schopny kapacitně zcela nahradit hlavní komunikaci, na níž se mimořádná, resp. krizová událost stala. Velký nárůst zpoždění pak dochází v relaci Centrum-Staré Město, nárůst je spojen především s důvodem, že řízení křižovatky je za krizového řízení čtyřfázové namísto třífázového, a to vytváří problémy v některých relacích.



Obrázek 31 Porovnání zpoždění pro relace na křižovatce K102 pro Variantu 1 dle Obrázku 27 [zdroj: vlastní]

U křižovatky K103 pak za krizového řízení naopak dochází k úspoře času v relaci západ-jih, což je způsobeno především faktem, že v této relaci je v případě použití krizového řízení v signálním plánu mnohem delší doba zeleného signálu na úkor relace pro hlavní komunikaci, které nejsou z důvodu odklánění vozidel využívány.



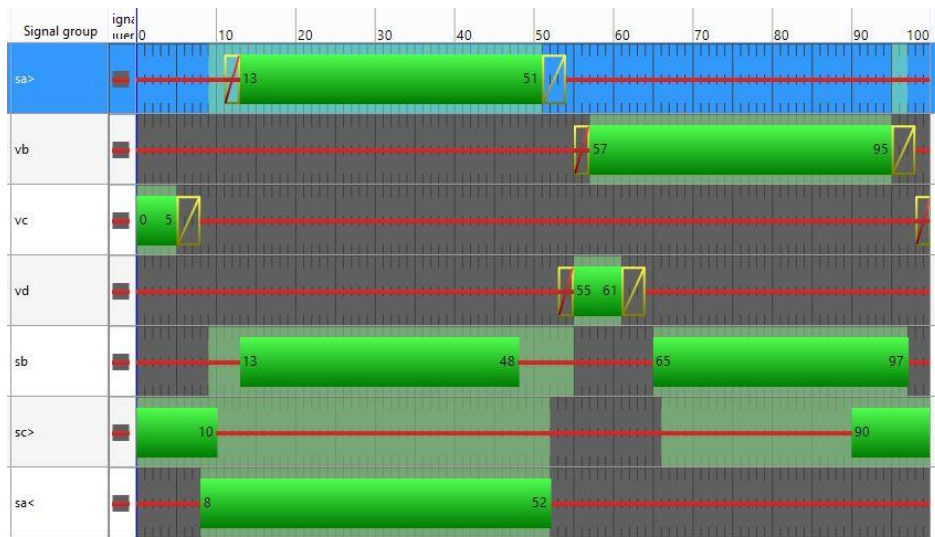
Obrázek 32 Porovnání zpoždění pro relace na křižovatce K102 pro Variantu 1 dle Obrázku 27 [zdroj: vlastní]

Vyhodnocení dalších situací lze dohledat v autorské práci [38]. Po vyhodnocení simulace bylo možné přistoupit také k optimalizaci parametrů krizového řízení. Ta probíhala obdobným způsobem jako u optimalizací klasických systémů řízení dopravy. Hlavním kritériem optimalizace byla právě průměrná doba zpoždění, přičemž hlavním cílem bylo tuto dobu minimalizovat pro křižovatku jako celek. Ovlivňovat střední dobu zdržení v jednotlivých relacích lze obecně následujícími způsoby:

- Úpravou dob zelených pro jednotlivé signální skupiny;
- Úpravou pořadí fází;
- Úpravou délky cyklu.

Z uvedených úprav bylo přistupováno především k úpravám dob zelených. Stanovení dob zelených pro optimální řízení je záležitostí obtížně přenositelnou a plynoucí ze zkušeností s reálným systémem a z vizualizace modelu. Ukázkou finálního modifikovaného signálního plánu pro Variantu 1, konkrétně pro křižovatku K102 dle Obrázku 27 lze vidět na Obrázku 33 níže. Signální plán respektuje fázový sled navržený pro tuto křižovatku v rámci [31], akorát zde nejsou uvedeny signální skupiny pro chodce, kteří nebyli v rámci modelu řešeni. Sled začíná velmi krátkou Fází 3, sloužící k vyklizení signální skupiny vozidel příjezdějících od Kunovic, tedy ze směru nehody, následuje Fáze 4, tedy odklonění vozidel ze Starého Města do směrů mimo místo vzniku mimořádné situace, dále sled pokračuje Fází 1, tedy krátkou fází pro vozidla z centra města do relací Staré Město a Jarošov, a končí Fází 2, určenou především pro příjezdějící z Jarošova.





Obrázek 33 Modifikovaný signální plán pro Variantu 1 dle Obrázku 27 [zdroj: vlastní, provedeno v PTV VISSIM]

Simulace ve VISSIMu si kladla za cíl zhodnotit doby zpoždění pro několik variant vzniku mimořádné, resp. krizové situace a dle reálných možností vyvodit z výsledků realistické závěry. Při tvorbě simulace nebylo předpokládáno, že výsledky průměrné doby zdržení při použití krizového řízení budou nižší než za normálního režimu řízení, ale že budou srovnatelné. Nelze se totiž domnívat, že jakýkoliv systém řízení, v němž bude použito v příslušném uzlu více fází, bude vykazovat v celku vyšší úroveň kvality dopravy. Ze zjištěných poznatků lze konstatovat:

- Bylo ověřeno, že navržený systém krizového řízení lze pro posuzovanou oblast použít, za předpokladu zachování stejných dob cyklů na SSZ jako při normálním režimu řízení. Na reálných datech bylo ověřeno, že fázové sledy dle dokumentu [37] lze pro oblast smysluplně využít a že návrh je v tomto směru univerzální;
- Bylo ověřeno, že navržený systém krizového řízení nabídne v případě pružné reakce úsporu jízdní doby oproti mimořádným, resp. krizovým situacím, které vzniknou za normálního systému řízení a dále budou bez jakékoliv reakce systému řízení. Za normálního režimu dojde k rychlému ucpání posuzovaných uzlů a zpoždění nelze v modelu vyhodnotit, prakticky to znamená, že vozidla čekají až do částečného, či úplného obnovení provozu a doba zdržení se rovná této čekací době. V praxi se pak samozřejmě budou po chvíli snažit najít alternativní trasu, bude-li to přímo z jejich místa možné a reálné.
- U křižovatek řízených SSZ, které jsou v bezprostřední blízkosti mimořádné, resp. krizové situace, se průměrné zpoždění ve vybraných relacích zpravidla mírně zhorší (z důvodu menší kapacity uzlu), nebo naopak mírnělepší (z důvodu delší doby zelené pro danou relaci). U křižovatek, které jsou v delší vzdálenosti od místa vzniku situace, se naopak příliš nemění.
- Vyhodnocení střední doby zdržení by šlo určitě ještě zpřesnit na úkor složitosti mikrosimulačního modelu a času potřebného k vyhodnocení, a to především zvýšením rozsahu modelované sítě, naměřením přesnějších dat o intenzitách provozu i z vedlejších směrů, kde byly odhadovány či zapracováním přechodů pro chodce s příslušnými přesnými daty o intenzitách chodců.

Simulací byla ověřena funkční realizovatelnost systému a snadná přenositelnost návrhů jednotlivých fázových sledů dokumentu [37] pro reálný systém, nezohledňuje však organizační realizovatelnost

(např. reakční dobu mezi dobou vzniku mimořádné, resp. krizové situace a spuštěním systému krizového řízení). Model ve VISSIM počítá, že se systém spouští okamžitě.

### 5.1.2 Simulace v programu AIMSUN NEXT

Druhým simulačním programem, ve kterém je návrh ověřen je program AIMSUN NEXT. Výhodu programu AIMSUN NEXT oproti VISSIMu lze spatřovat především v přímém importu mapy z OpenStreetMap.com a dále v možnostech sestavování dynamických scénářů pro simulace celých oblastí. Zároveň dostupná licence umožňuje simulovat více SSZ a až 100 uzlů, kde je uzlem rozuměno propojení dvou komunikací.

V programu AIMSUN NEXT je přistoupeno k následujícímu postupu při tvorbě modelu:

- 1) Je proveden import posuzované oblasti z Openstreetmap.org, kde se již vyskytuje základní kostra komunikace bez vstupů;
- 2) Protože import celé oblasti nesplňoval licenční podmínku, obsahoval více než 100 uzlů a nebylo by s ním dále možné pracovat a soubor ukládat, byla většina uzlů odmazána. Dochází k zachování hlavního průtahu oblasti Uherského Hradiště a dalších klíčových komunikací, které jsou zmíněny na Obrázku 22 výše.
- 3) Následně stejně jako v případě modelu ve VISSIMu jsou do modelu zadány vstupy a směrovost, z dostupných dvou možností pro zadání těchto údajů bylo využito modulu „Traffic states;“
- 4) Jsou zadány jednotlivé signální programy u křižovatek K100a, K102 a K103 pro délku cyklu 100 sekund, tedy tak jak vyplývá z podkladů dopravního řešení situace poskytnutých společností Eltodo, a.s.
- 5) Opět je přistoupeno k simulaci normální situace bez mimořádné události, mimořádné události bez aktivace navrženého systému krizového řízení a mimořádné situace s aktivovaným systémem krizového řízení.
- 6) Mimořádná událost je definovaná jako incident na pozemní komunikaci v bloku „Traffic condition,“ dle uživatelského manuálu pod tímto blokem rozumíme ty situace, jejichž vznik předem není očekáván, naopak řešení takového incidentu se provádí prostřednictvím vytvoření scénářů v bloku „Strategies.“

Na rozdíl od předchozího SW, AIMSUN NEXT umožňuje simulaci dynamických scénářů pro simulace a vyhodnocení zdržení v celé oblasti, a proto je simulováno pět konkrétních scénářů následujícím způsobem:

#### **Scénář 1: Klasická dopravní situace**

*Zadány vstupy reflektující klasickou dopravní situaci v celé simulované oblasti včetně standardních signálních plánů. V době od 8:00-9:00 budou vyhodnoceny souhrnné výsledky pro oblast.*

#### **Scénář 2: Mimořádná situace mezi K102 a K103 bez aktivace systému krizového řízení**

*8:00:00 Simulace klasické dopravní situace;*

*8:01:30 Dochází k vytvoření mimořádné situace mezi uzly K102 a K103, protože nebyl aktivován systém krizového řízení, doprava v oblasti se postupně zahlučuje;*

*8:30:00 Dochází k vyřešení mimořádné situace mezi uzly K102 a K103, doprava se postupně začíná rozjíždět;*

*09:00:00 Ukončení simulace a vyhodnocení.*

#### **Scénář 3: Mimořádná situace mezi K102 a K103, aktivace systému krizového řízení**

8:00:00 Simulace klasické dopravní situace;  
8:01:30 Dochází k vytvoření mimořádné situace mezi uzly K102 a K103;  
8:03:00 Situace je vyhodnocena jako vážná, systém krizového řízení je aktivován dispečerem na základě předem připraveného scénáře pro mimořádnou situaci na konkrétním místě, dochází ke změně fázových sledů a signálních programů dle návrhu této disertační práce;  
8:30:00 Dochází k vyřešení mimořádné situace mezi uzly K102 a K103, systém krizového řízení je vypnut, fázové sledy a signální programy se přepínají do původního stavu;  
09:00:00 Ukončení simulace a vyhodnocení.

#### **Scénář 4: Složitější situace bez aktivace systému krizového řízení**

8:00:00 Simulace klasické dopravní situace;  
8:01:30 Dochází k vytvoření mimořádné situace mezi uzly K102 a K103, protože nebyl aktivován systém krizového řízení, doprava v oblasti se postupně zahlučuje;  
8:30:00 Dochází k vyřešení mimořádné situace mezi uzly K102 a K103, doprava se postupně začíná rozjíždět;  
09:00:00 Dochází k další mimořádné dopravní situaci, tentokrát mezi křižovatkami K100a a K102, a to tak, že je uzavřen pouze jeden směr obousměrné komunikace;  
09:30:00 Dochází k vyřešení mimořádné situace;  
10:00:00 Ukončení simulace a vyhodnocení.

#### **Scénář 5: Složitější situace s aktivací systému krizového řízení**

8:00:00 Simulace klasické dopravní situace;  
8:01:30 Dochází k vytvoření mimořádné situace mezi uzly K102 a K103;  
8:03:00 Situace je vyhodnocena jako vážná, systém krizového řízení je aktivován dispečerem na základě předem připraveného scénáře pro mimořádnou situaci na konkrétním místě, dochází ke změně fázových sledů a signálních programů dle návrhu této disertační práce;  
8:30:00 Dochází k vyřešení mimořádné situace mezi uzly K102 a K103, systém krizového řízení je vypnut, fázové sledy a signální programy se přepínají do původního stavu;  
09:00:00 Dochází k další mimořádné dopravní situaci, tentokrát mezi křižovatkami K100a a K102, a to tak, že je uzavřen pouze jeden směr obousměrné komunikace;  
09:01:00 Systém krizového řízení je aktivován dispečerem na základě předem připraveného scénáře pro mimořádnou situaci na konkrétním místě, dochází ke změně fázových sledů a signálních programů dle návrhu této disertační práce;  
09:30:00 Dochází k vyřešení mimořádné situace, systém krizového řízení je vypnut, fázové sledy a signální programy se přepínají do původního stavu;  
10:00:00 Ukončení simulace a vyhodnocení.

Model v programu AIMSUN NEXT se snaží ještě o věrnější reflexi reálné situace. Zohledňuje nejen jednotlivé módy řízení, ale i fakt, že mód krizového řízení musí být v určité fázi aktivován, že k době aktivace nedojde přesně v okamžiku vzniku mimořádné, resp. krizové situace, ale krátce po něm. Dále uvažuje, že po nějaké době dojde k vyřešení situace a přepnutí systému řízení do normálního režimu. Tedy zohledňuje i vlivy jednotlivých zásahů do řízení. Vyhodnocení je provedeno pro celou simulovanou síť, tedy pro celou oblast dle Obrázku 22 výše včetně hlavních objízdných tras. Jedná se o souhrnné výsledky pro všechna vozidla v simulované síti v nastavené době simulace. Pro jednotlivé scénáře jsou vytvořeny také přehledné vizualizace principu fungování.

Z Tabulky 14 níže lze vyčíst výsledky vyhodnocení v podobě výběru některých významnějších parametrů. Výsledky pro každý scénář jsou zprůměrovány z 30 konkrétních replikací simulace, tak aby bylo možné je považovat za věrohodné. Mezi vyhodnocované parametry lze řadit střední dobu zpoždění vozidel v celé síti (s/km), kterou lze chápat jako čas, který se průměrně vozidlo zdrží v síti nad rámec úplně plynulého průjezdu uvažovanou trasou. Tato hodnota lze srovnat s jízdní dobou vozidel v síti, tedy dobou, jak dlouho trvá vozidlu průjezd uvažovanou trasou včetně doby zpoždění. Protože v rámci modelu existuje přehled nad celou sítí, je možné vyhodnotit i hustotu dopravního proudu (voz/km) a rychlost dopravního proudu (km/h) v síti. Dalšími vyhodnocovanými parametry jsou pak střední délka kolony, absolutní počet zastavení vozidel v síti za vyhodnocované období a čekání ve virtuální frontě, což značí hodnotu čekání pro ta vozidla, která se včas nestačila načíst do simulace. Scénář 1 je možné brát jako referenční, protože reflektuje současný reálný stav bez vzniku mimořádné situace.

Střední doba zdržení vozidel v simulované síti je pro Scénář 1 51,36 s/km. Pro scénář 2 se tato doba rapidně prodlužuje na desetinásobek, a to je ještě nutné počítat s vozidly, která čekají ve virtuální frontě. Naopak v případě včasné reakce a spuštění systému krizového řízení (Scénář 3) lze střední dobu zpoždění snížit na 134,12 sekund/km, což je sice hodnota řádově vyšší než u normálního režimu, ale mnohem nižší než v případě Scénáře 2. V případě dvou konkrétních mimořádných událostí se u Scénáře 4 doba zdržení ještě více prodlužuje, naopak u Scénáře 5 se zkracuje oproti Scénáři 3, což si lze vysvětlit tím, že druhá mimořádná událost si vyžaduje uzavřít pouze jeden směr z obousměrné komunikace. Hustota dopravního proudu a střední délka kolony v jednotlivých scénářích oproti normálnímu režimu rostou, lze si však povšimnout, že u Scénářů 3 a 5 (zapnutý systém krizového řízení) však mnohem menším tempem. Průměrná rychlost dopravního proudu naopak oproti referenčnímu Scénáři 1 pro ostatní scénáře klesá, při zapnutém systému krizového řízení však velmi mírně na hodnoty kolem 30 km/h, při vypnutém pak výrazněji na hodnoty kolem 12 km/h. Celkový počet zastavení vozidel v síti roste při zapnutém systému krizového řízení jen velmi málo. (Zde je nutné upozornit, že hodnoty pro Scénář 4 a 5 jsou dvojnásobné vzhledem k delšímu vyhodnocovanému období.) Naopak bez zapnutého systému krizového řízení počet zastavení vozidel v síti prudce stoupá.

Tabulka 14 Vyhodnocení pro jednotlivé scénáře v programu AIMSUN NEXT [zdroj:vlastní]

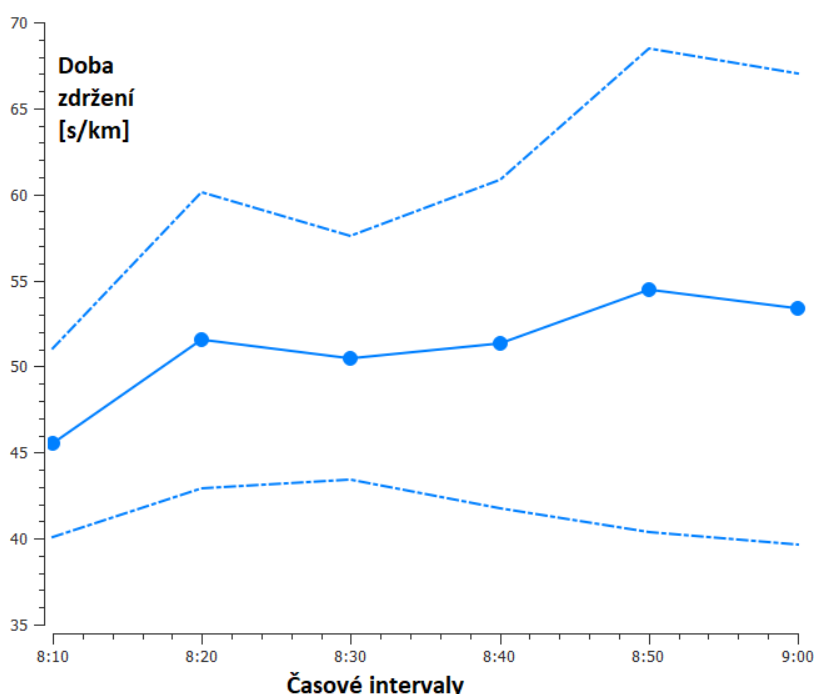
Vyhodnocovaný Parametr	Scénář 1	Scénář 2	Scénář 3	Scénář 4	Scénář 5
Střední doba zpoždění (s/km)	51,36	541,48	134,12	628,45	116,26
Hustota dopravního proudu (voz/km)	8,93	36,19	24,48	44,11	26,64
Střední délka kolony (voz)	26,03	313,49	193,72	397,67	219,65
Rychlost (km/h)	35,50	12,47	30,48	11,20	30,42
Počet zastavení vozidel v síti	3929,31	8597,43	4145,22	19315,21	8722,65
Jízdní doba vozidel v síti (s/km)	117,90	608,07	200,66	694,98	182,77
Čekání ve virtuální frontě (s)	0,55	297,08	35,33	377,50	44,60

Modelem v AIMSUN NEXT byl zároveň prověřován vliv doby spuštění systému krizového řízení na výsledky simulace, kdy lze konstatovat, že v případě první mimořádné situace už po 3-4 minutách dochází mezi uzly K102 a K103 k tvorbě kolony zasahující do zmíněných uzlů, v případě druhé mimořádné události bylo naraženo na limit cca 7 minut. To znamená, že systém krizového řízení je nutné aktivovat téměř okamžitě, aby bylo možné maximálně zužitkovat jeho efektivitu. V případě jeho spuštění až po dosažení limitů je třeba očekávat mnohem horší výsledky ve všech posuzovaných parametrech, při čemž čím déle trvá rozhodovací doba, tím dochází k delším zpožděním vozidel v celé síti.

Důležitým okamžikem je pak adaptace účastníků silničního provozu na nový systém řízení, kdy lze očekávat váhání na straně řidičů zařadit se do dopravního pruhu, který směřuje na odklonovou trasu. V simulaci k tomuto jevu bylo přistoupeno, tak že u velmi malého vzorku vozidel, nebylo přenastaveno routování na odklonovou trasu a tato vozidla pak reprezentují ty řidiče, kteří nebudou systém krizového řízení respektovat (akceptovat).

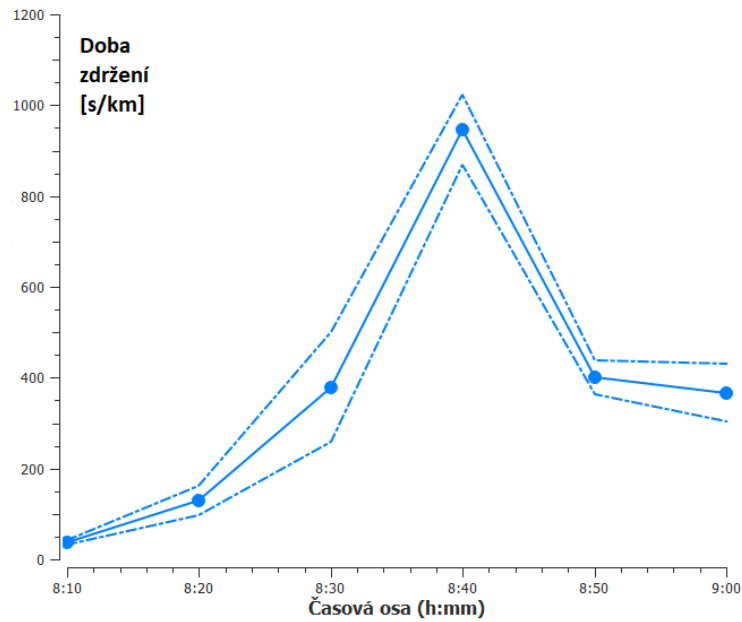
Dalším důležitým okamžikem je obnovení provozu. V této fázi je třeba především upozornit na jev, že v okamžiku přepnutí signálního programu do normálního režimu řízení stále ještě existuje dost vozidel na odklonové trase a tyto pak budou tvořit menší kolony na SSZ z vedlejších směrů na již fungující/rozjíždějící se hlavní průtah. Je tedy nutné citlivě volit dobu, kdy je nejvhodnější přepnout na klasický signální program.

Na Obrázku 34 níže lze pozorovat časový vývoj doby zdržení vozidel v síti pro Scénář 1. Graf vznikl jako průměr z 30 replikací simulace a je na něm znázorněn jak průměrný vývoj (tučná modrá), tak rozptyl hodnot, ve kterých se jednotlivé replikace pohybovaly (čérchovaná modrá).



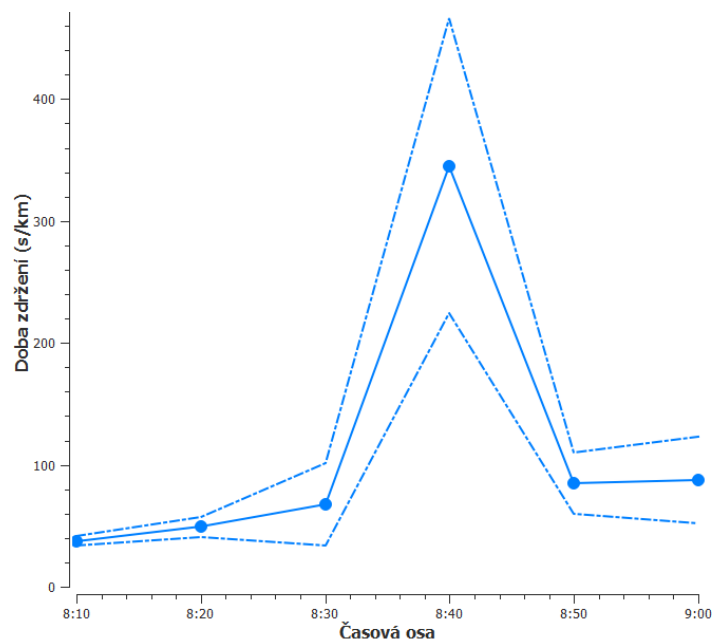
Obrázek 34 Časový vývoj doby zdržení – Scénář 1 [zdroj: vlastní, vyrobeno v AIMSUN NEXT]

Obdobný časový vývoj pro druhý scénář lze nalézt na Obrázku číslo 35 níže. Lze si všimnout, že hodnoty zdržení jsou řádově vyšší, při čemž v čase po dobu řešení mimořádné situace stále rostou a vrchol je dosažen v okamžiku krátce po spuštění systému do normálního stavu. Tento fakt je ale dost způsoben tím, že celá řada vozidel se vůbec nestačila načíst do simulace, jak je vidět z Tabulky 14 výše.



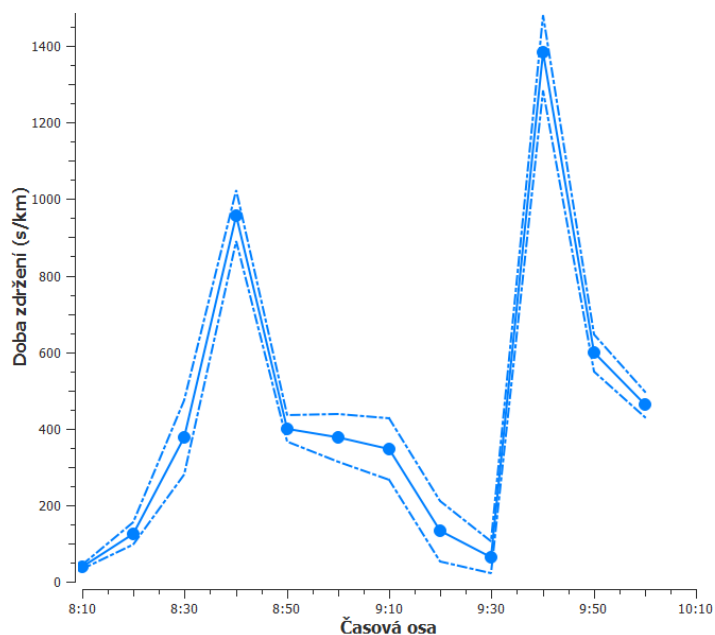
Obrázek 35 Časový vývoj doby zdržení - Scénář 2 [zdroj vlastní, vyrobeno v AIMSUN NEXT]

Velmi zajímavý vývoj lze pozorovat z Obrázku číslo 36 níže pro třicet replikací simulace se spuštěným systémem krizového řízení. Lze si všimnout, že zapnutí systému zafungovalo bez problému a doba zdržení v síti po dobu spuštěného systému prakticky nepřekročila 100 sekund, naopak v momentě návratu do normálního režimu řízení prudce stoupla a zároveň v jednotlivých replikacích vykazuje poměrně velký rozptyl hodnot. Při zjišťování příčin tohoto skoku byly identifikovány dvě hlavní, a to že v tento moment se započítávají i vozidla, která uvízla v místě před mimořádnou událostí a dochází k jejich rozjíždění (vozidlo se do výpočtu doby zdržení započítá až tehdy, když opustí simulovanou síť), a také, že vozidla na objízdné trase okamžitě vytvoří kolony z vedlejšího směru (především na K100a), kde pár minut trvá jejich postupné rozpuštění. Poznatek to je pro oblast zajímavý a i z jeho důvodu došlo k vytvoření Scénářů 4 a 5, které mají reflektovat vznik další mimořádné situace.



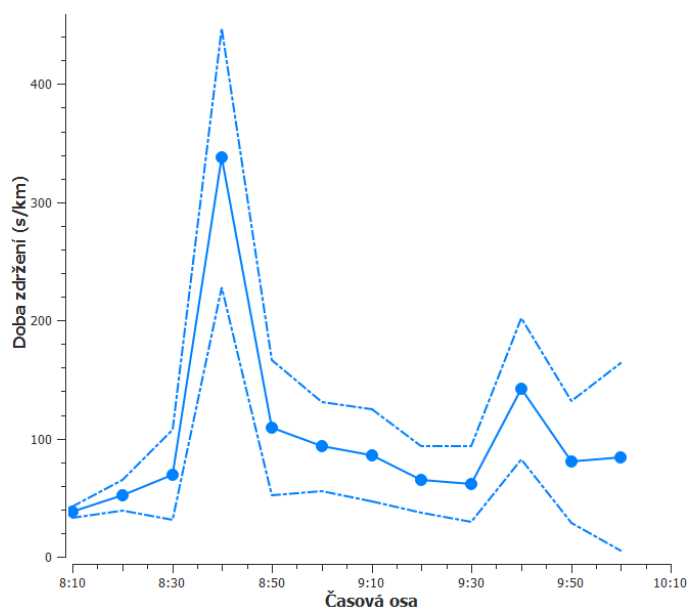
Obrázek 36 Časový vývoj doby zdržení - Scénář 3 [zdroj vlastní, vyrobeno v AIMSUN NEXT]

Z Obrázku 37 níže lze vypočítat časový vývoj doby zdržení vozidel v síti pro Scénář 4. Lze vidět, že píky jsou dosaženy zpravidla po ukončení mimořádné situace. V případě druhé mimořádné situace dokonce po její dobu klesá doba zdržení, což je ale způsobeno tím, že z většiny směrů doprava stojí a zdržení těchto vozidel se započte až posléze v čase 9:40.



Obrázek 37 Časový vývoj doby zdržení - Scénář 4 [zdroj vlastní, vyrobeno v AIMSUN NEXT]

Na Obrázku 38 níže lze pak vidět časový vývoj doby zdržení pro Scénář 5, tedy dvakrát aktivovaný systém krizového řízení. Z něj lze vypočítat, že vývoj je u obou aktivací podobný, tedy k největším hodnotám zdržení dochází po přepnutí zpět do normálního režimu řízení. Zároveň lze vidět, že záleží na tom, zda se bude jednat o mimořádnou situaci, která úsek uzavře obousměrně nebo pouze jednosměrně. Při jednosměrné uzavírci dochází k mnohem menším extrémům v době zdržení.



Obrázek 38 Časový vývoj doby zdržení - Scénář 5 [zdroj vlastní, vyrobeno v AIMSUN NEXT]

Simulace v AIMSUN NEXT si kladla za cíl mimo parametrů uvažovaných ve VISSIM také vyhodnotit ucelenější pohled na řízení v celé oblasti za vzniku mimořádné situace a lze z ní udělat následující závěry:

- Simulací byla ověřena funkční realizovatelnost systému a snadná přenositelnost návrhů jednotlivých fázových sledů dokumentu [37] pro reálný systém, a to včetně rámcové organizační realizovatelnosti formou pěti konkrétních scénářů časového vývoje vzniku a vyřešení mimořádné situace;
- Bylo ověřeno, že aby byl systém efektivní, doba mezi vznikem mimořádné situace a spuštěním systému krizového řízení musí být velmi rychlá a neměla by překročit 5 minut. Při překročení už dochází k zahlcování uzlů používaných k odklonu dopravy, takže změna režimu řízení přestává dávat smysl. Ideální reakční doba mezi vznikem mimořádné situace a spuštěním systému je do dvou minut.
- Stejně jako v případě VISSIMU bylo ověřeno, že navržený systém krizového řízení lze pro posuzovanou oblast použít, za předpokladu zachování stejných dob cyklů na SSZ jako při normálním režimu řízení. Na reálných datech bylo ověřeno, že fázové sledy dle dokumentu [37] lze pro oblast smysluplně využít a že návrh je v tomto směru univerzální;
- Výsledky z pohledu celé sítě prokazatelně ukazují, že navržený systém krizového řízení v kvalitativních parametrech typu počet zastavení, délka kolony, či doba zdržení ve všech scénářích pomáhá zvyšovat kvalitu dopravy. Zároveň však realisticky upozorňuje na kritické body vývoje doby zdržení v čase, zejména na úzké hrdlo v období těsně po obnovení normálního režimu řízení;
- Jedním z výstupů simulace je i nahraná vizualizace vybraných scénářů, kterou tvoří soubor videí, který je součástí **Přílohy 2 k této disertační práci**.

Pro zavedení systému je třeba posoudit technologickou realizovatelnost v rámci studie proveditelnosti. Na úrovni výzkumné aktivity však tyto posoudit prakticky nelze bez realizace pilotního projektu na zadané téma.

## **5.2 Kritéria účelnosti zavedení krizového řízení a vyhodnocení kvantitativních a kvalitativních parametrů návrhu systému krizového řízení po jeho zavedení**

V podkapitole jsou navržena kritéria účelnosti zavedení krizového řízení pro posuzovanou oblast. Návrh více méně vychází z modifikace platného návrhu pro účelnost zřízení SSZ na křižovatkách dle TP 81 [2], akorát dochází k jeho rozšíření na oblast řízenou SSZ o poznatky nabyté v rámci zpracování této práce. Poté je navržen způsob vyhodnocení kvantitativních a kvalitativních parametrů návrhu systému krizového řízení po jeho zavedení. Tedy udává, které parametry by se měly dle subjektivního názoru autora po zavedení sledovat, aby bylo možné systém zpětně zhodnotit, a zároveň navrhuje logický způsob interpretace hodnot těchto parametrů.

### **5.2.1 Návrh kritérií účelnosti zavedení systému krizového řízení**

Návrh kritérií účelnosti zavedení systému krizového řízení je zde zaveden zejména z důvodu, aby posuzovatel mohl snadněji oddělit případy, kde má smysl o systému krizového řízení v rámci krizového řízení vůbec uvažovat a kdy pozbývá smyslu. Automaticky je počítáno, že jsou splněny všechny základní funkční předpoklady pro naplnění postupu návrhu definované v kapitole 3.2.1.1. a poté budou zvažena následující kritéria účelnosti zavedení systému krizového řízení v oblasti s více SSZ.



- **Intenzity vozidel v oblasti z pohledu vozidel a chodců** – pokud intenzita vozidel projíždějících skrze řešenou oblast přesahuje určitou mezní hodnotu, nebo intenzita vozidel překračuje určitou mezní hodnotu, je účelné zavést v oblasti systém krizového řízení, mezní hodnotu by měl stanovit tým dopravních expertů;
- **Kritérium bezpečnosti** – je účelné zřizovat systém krizového řízení, kde riziko příslušného typu nebezpečí (I-VII) je v rizikové analýze vypočteno jako neakceptovatelné či nežádoucí, v případě mírného rizika se doporučuje zvážit místa zvláštního zřetele;
- **Plynulost vozidel MHD** – je účelné zřizovat systém krizového řízení v oblastech, kde více než 20 % vzniklých mimořádných, či krizových událostí během jednoho roku působí problémy s plynulostí vozidel VHD.

## 5.2.2 Kvantitativní parametry hodnocení systému

Níže je k dispozici výčet kvantitativních parametrů hodnocení systému, který představuje veličiny, které je třeba po zavedení monitorovat.

- $N_{CM}$  [-] **absolutní počet spuštění systému krizového řízení v oblasti za rok;**

*Komentář k parametru: Parametr vykazující hodnotu absolutního počtu spuštění systému krizového řízení v oblasti za rok operátorem v absolutních hodnotách za rok. Z absolutního čísla je možné vyhodnotit efektivitu zavedení systému na základě míry rizika krizových situací v oblastech. (Je-li systém spuštěn např. 100 krát za rok, jeho zavedení lze velmi dobře obhájit).*

- $N_{CM_T}$  [-] **počet správných spuštění systému krizového řízení v oblasti za rok;**

*Komentář k parametru: Uvedení systému do chodu je závislé na operátorovi systému a připravených scénářích. Parametr vykazující hodnotu absolutního počtu správných spuštění systému krizového řízení v oblasti za rok operátorem v absolutních hodnotách za rok vychází z rychlosti operátora a připravenosti spustit správný scénář řízení pro danou vstupní událost.*

- $N_{CM_F}$  [-] **počet chybných spuštění systému krizového řízení v oblasti za rok;**

*Komentář: Uvedení systému do chodu je závislé na operátorovi systému a připravených scénářích. Parametr vykazující hodnotu absolutního počtu chybných spuštění systému krizového řízení v oblasti za rok operátorem v absolutních hodnotách za rok vychází z rychlosti operátora a připravenosti spustit správný scénář řízení pro danou vstupní událost.*

- $N_{CM_{T\%}}$  - **relativní počet správných spuštění systému krizového řízení v oblasti za rok;**

$$N_{CM_{T\%}} [\%] = \frac{N_{CM_T}}{N_{CM}} \cdot 100 \quad (11)$$

*Komentář: Relativní počet správných spuštění systému krizového řízení za rok je hodnota, která odpovídá spolehlivosti operátora v příslušné oblasti.*

- $N_{CS}$  - **absolutní počet mimořádných, resp. krizových situací (všech typů I-VII) v oblasti za rok ideálně s přehledem rozkladu na jednotlivé typy;**

$$\sum N_{CS} [-] = N_{CS_I} + N_{CS_{II}} + \dots + N_{CS_{VII}} \quad (12)$$

*Komentář: V průběhu let je vhodné monitorovat, jak se mění počet a skladba jednotlivých typů nebezpečí v příslušné oblasti.*

- $q$  [voz/h] intenzity vozidel v oblasti na jednotlivých vjezdech;

*Komentář: V průběhu let je vhodné monitorovat, jak se mění intenzity vozidel a účastníků silničního provozu v oblasti a jejich korelace s počty jednotlivých typů nebezpečí*

- $t_{wCM}$  [s] průměrná střední doba zdržení vozidel v definovaných liniích příslušné oblasti za hodinu po vzniku mimořádné události

*Komentář: Vznikne-li v příslušné oblasti mimořádná situace a dojde ke spuštění systému krizového řízení, pro každou situaci  $\sum N_{CS}$  [-] a spuštění systému je třeba sledovat hodnoty zpoždění v liniích v příslušné oblasti a z nich udělat vážený průměr pro celou oblast v závislosti na intenzitě vozidel. Výsledný průměr pro jednu situaci, pak porovnat s historickou situací podobného charakteru před zavedením systému krizového řízení. Cílem je, aby hodnota zdržení v oblasti po zavedení systému byla nižší než před jeho zavedením, tedy:*

$$(t_{wCM} \leq t_w) \quad (13)$$

- $k_{CM}$  [-] počet zastavení v definovaných liniích příslušné oblasti po vzniku mimořádné situace;

*Vznikne-li v příslušné oblasti mimořádná situace a dojde ke spuštění systému krizového řízení, pro každou situaci  $\sum N_{CS}$  [-] a spuštění systému je třeba sledovat hodnoty počtu zastavení v liniích v příslušné oblasti, tyto pak porovnat s historickou situací podobného charakteru před zavedením systému krizového řízení. Cílem je, aby hodnota počtu zastavení v oblasti po zavedení systému byla nižší než před jeho zavedením, tedy:*

$$(k_{CM} \leq k) \quad (14)$$

- $N_{CM_{PROBLEM}}$  [-] počet spuštění systému krizového řízení s následky mimořádných, resp. krizových situací (druhotné kongesce);

*Komentář: Není žádoucí, aby spuštění systému krizového řízení vyvolalo druhotné kongesce, které způsobí ještě rizikovější situace s následky. Pokud taková kongesce nastane, měla by být evidována.*

### 5.2.3 Kvalitativní parametry hodnocení systému

Pro kvalitativní hodnocení nasazení systému krizového řízení je navrženo sledovat v posuzované oblasti parametry **spolehlivost operátora** systému krizového řízení, **účinnost systému** krizového řízení a **modifikovaný performance index** dle vzorce (10).

Pro spolehlivost operátora systému krizového řízení  $S_{CM}$  [%] platí, že je rovna podílu počtu správných spuštění systému operátorem ke všem případům spuštění. Jedná se tedy o relativní počet správných spuštění systému, lze stanovit vzorcem (15). Snahou je maximalizovat hodnotu spolehlivosti operátora, tak aby se pohybovala nad 90 %. Hodnota spolehlivosti může být ovlivněna lidským faktorem, ale i nevhodným nastavením scénářů v oblasti. Zejména je třeba monitorovat ty mimořádné situace, na které operátor nebyl zcela připraven a provádět pravidelný výcvik a aktualizaci systému krizového řízení o nové vlivy.

$$S_{CM} = N_{CM_{T\%}} \quad (15)$$

Návrh výpočtu účinnosti systému krizového řízení  $\mu_{CM}$  [%] vychází z předpokladu, že systém je účinný tehdy, když snižuje dobu zdržení v oblasti oproti normálnímu způsobu řízení a zároveň snižuje počet zastavení vozidel v oblasti oproti normálnímu způsobu řízení a zároveň není příčinou druhotných kongescí. Výpočet lze provést pomocí vzorce (16) níže. Snahou je maximalizovat hodnotu účinnosti systému v příslušné oblasti, tak aby se pohybovala nad 90 %.

$$\mu_{CM} = 100 \cdot \left( \frac{N_{CM_T}(t_{wCM} \leq t_w)}{N_{CM_T}} \cdot \frac{N_{CM_T}(k_{CM} \leq k)}{N_{CM_T}} \cdot \left( 1 - \frac{N_{CM_{PROBLEM}}}{N_{CM_T}} \right) \right) \quad (16)$$

Posledním kvalitativním parametrem je pak modifikovaný performance index dle již dříve zmíněného vzorce (10).

### 5.3 Celková SWOT analýza návrhu integrace krizového řízení

Na základě předchozích poznatků z návrhu i jeho ověření je níže na Obrázku 39 vypracována přehledná SWOT analýza, která prostřednictvím standardních čtyř kvadrantů s pozitivy, negativy, příležitostmi a hrozbami odpovídá na otázku, zda má v českých podmínkách v praxi smysl navržený systém budovat. V prvním kvadrantu jsou shrnuta pozitivita, která je možné již z výsledků této práce vyzdvihnout. Druhý kvadrant rekapituluje naopak negativa, která ve své podstatě demonstrují nutné předpoklady pro reálnou implementaci systému. Tyto nemusí být vždy příjemné a snadno akceptovatelné. Třetí kvadrant shrnuje budoucí příležitosti a čtvrtý naopak budoucí hrozby, které mohou s nenulovou pravděpodobností při budování systému krizového řízení oblasti nastat. Pro tyto jsou v rámci této podkapitoly navržena konkrétní opatření, která mají podpořit příležitosti vyjmenované v třetím kvadrantu a naopak eliminovat hrozby vyjmenované v kvadrantu čtvrtém.

INTERNÍ VLIVY	
Pozitiva (+)	Negativa (-)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Univerzální, jednoduché a částečně přenositelné řešení pro jakoukoliv městskou oblast v rámci českých měst;</li> <li>• Přímá technologická návaznost řešení na aktuálně používané systémy řízení dopravy ve městech;</li> <li>• Řešení v modelovém měřítku snižuje zpoždění vozidel v oblasti za vzniku mimořádné situace;</li> <li>• Efektivnější využití dostupných informací o dopravě z dopravně-inženýrských dat;</li> <li>• Inovativní řešení i v mezinárodním měřítku.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nutnost změny české legislativy a norem;</li> <li>• Nutnost systémových změn v pravidlech pro SSZ (proměnná doplňková šipka, červený blikající signál atp.);</li> <li>• Obtížná vyčíslitelnost přínosů navrženého systému řízení;</li> <li>• Ekonomický faktor;</li> <li>• Novost řešení i v mezinárodním měřítku.</li> </ul>
EXTERNÍ VLIVY	
Příležitosti (+)	Hrozby (-)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modernizace řídicích systémů města, vývoj nových technologií;</li> <li>• Vzrůstající poptávka po alternativních způsobech řízení dopravy z důvodu rostoucího stupně automobilizace;</li> <li>• Nutnost rekonstrukce stávajících dopravních řešení v oblastech a potenciál postupného zavádění navrženého řešení;</li> <li>• Snížení negativních celospolečenských dopadů v případě vzniku mimořádné situace;</li> <li>• Nárůst významu dopravních simulací a dopravního modelování;</li> <li>• Posílení pozitivních efektů telematických systémů v příslušné oblasti města (bezpečnost a plynulost dopravy, vliv na životní prostředí).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Neakceptace navrženého systému na státní úrovni;</li> <li>• Nízká atraktivita podobných systémů pro samosprávy poptávající navrhovaný systém;</li> <li>• Neakceptace navrženého systému účastníky silničního provozu z důvodu novosti systému;</li> <li>• Druhotné dopravní kongesce jako důsledek neznalosti systému;</li> <li>• Těžko odhadnutelná účinnost navrženého systému bez možnosti praktického pilotního testování;</li> <li>• Více hráčů na poli řízených křižovatek v řešené oblasti.</li> </ul>

Obrázek 39 SWOT analýza návrhu integrace krizového řízení do modelu řízení dopravy města [zdroj: vlastní]

Mezi pozitiva návrhu integrace krizového řízení do modelu řízení dopravní oblasti, který vznikl v rámci této disertační práce, lze určitě řadit jeho jednoduchost, částečnou přenositelnost a univerzálnost pro jakoukoliv oblast v rámci českých měst. Ačkoliv v rámci disertační práce byla modelovaná oblast poměrně malá, s většími městy je očekáván nárůst složitosti systému co do jeho velikosti, ale nikoliv změny v postupu řešení. Jelikož se jedná o měkký systém, přenositelnost konkrétních řešení pro města bude bohužel vždy pouze částečná, protože řešení budou vždy ovlivňovat místní faktory. Navržené řešení se přímo váže a počítá s aktuálními systémy řízení dopravy ve městech ČR, a to jak z pohledu funkčního, tak z pohledu technologického. V modelovém měřítku v rámci simulace bylo prokázáno, že souhrnně pro oblast dochází k úspoře průměrného zpoždění vozidel v řádech desítek minut v případě vzniku mimořádné situace. Řešení blíží se „ideálnímu“ modelu řízení dopravy by jednoznačně přispělo k řešení palčivého problému dnešní doby, kterým je neefektivita při využívání větších souborů dopravních dat. Z hlediska řešerše obdobný systém v reálném provozu neexistuje ani v mezinárodním měřítku, což může být pozitivum i negativum. Za pozitivní lze považovat, že řešení může být inspirativní a inovativní i pro další státy. Negativní je naopak, že neexistence podobného řešení v zahraničí vzbudí velkou opatrnost v jeho akceptaci klíčovými hráči, která je pro úspěch celého návrhu stěžejní. Mezi další faktory, které vedou spíše k rozhodnutí systém nezavádět je nutnost změny české legislativy a norem týkajících se oblasti návrhu SSZ, nutnost systémových změn v pravidlech silničního provozu pro SSZ (zejména zavedení proměnné doplňkové šipky a blikavého červeného signálu), obtížná vyčíslitelnost přínosů navrženého systému před jeho zavedením či obtížně odhadnutelná ekonomická návratnost systému.

Příležitost lze vidět ve vývoji nových technologií a v potřebné modernizaci řídicích systémů českých měst, tak aby tyto byly dlouhodobě udržitelné. S tím souvisí i vzrůstající poptávka po alternativních způsobech řízení oblastí měst z důvodu narůstajícího stupně automobilizace. Tranzitní doprava i z pohledu množství nejrůznějších studií měst tvoří obecně jeden z největších problémů měst v České republice, který se stává největším právě za vzniku mimořádných situací. Vycházet lze také z předpokladu, že většina SSZ v České republice musí být také jednou za několik let rekonstruována či obnovována, tyto okamžiky by se mohly využít k postupnému zavádění systému do jednotlivých oblastí, které bude mnohem méně nákladnější než plošné zavádění. Příležitost lze vidět i v nárůstu významu dopravních simulací a dopravního modelování v posledních letech, kdy simulační SW nabízejí neustále více možností a modulů k co nejdokladnějšímu obrazu reálné dopravy v městských oblastech. Pro scénáře v rámci krizového řízení by v budoucnu v těchto SW mohl vzniknout samostatný modul, kde by pak uživatel zadal pouze vstupní intenzity a směrovost vozidel v modelu a místo vzniku mimořádné dopravní situace a model by lépe ukázal na úzká hrdla v systému. V současné době simulační SW podobnými moduly nedisponují. V neposlední řadě pak rozumné řešení krizového řízení povede k posílení efektů telematických systémů pro města, spočívající zejména ve zvýšené bezpečnosti a plynulosti dopravy. Základní podporou pro jmenované příležitosti je vytvoření pilotního projektu, který by nový přístup i technologie otestoval v reálném měřítku.

Samozřejmě je nutné upozornit i na hrozby, které s integrací krizového řízení do modelu dopravy úzce souvisí. Většina hrozeb souvisí s neakceptací nového systému některými klíčovými hráči z důvodu jmenovaných negativ. Pokud systém nebude přijímán pozitivně na státní úrovni, nemá smysl se jím zabývat. Hlavním opatřením vedoucím k pozitivnímu přijetí na státní úrovni je především precizní propagace potenciálních přínosů řešení. Za předpokladu, že řešení na státní úrovni přijato bude a dojde k popsáním nutným úpravám legislativy, tak je rizikem že po systému nebude poptávka od zákazníka – typicky měst a samospráv. Objektivně lze toto riziko hodnotit jako menší, protože trend a cíl ve zvyšování bezpečnosti a plynulosti dopravy ve městě zpochybnit nelze a jistě budou oblasti, kde se již na současná řešení nebude možné spolehnout. Opatřením k eliminaci hrozby nízké atraktivity systému

pro samosprávy je především pozitivní propagační strategie a přiměřená nabídková cena na realizaci systému ve městech. Další hrozbou je neakceptace systému účastníky silničního provozu, mezi kterými se jistě najdou i tací, kteří si žádné změny v řízení dopravních oblastí nepřejí ryze ze zvyku. Eliminaci této hrozby lze zajišťovat pouze nepřetržitým a konstruktivním vysvětlováním přínosů instalace navrženého řešení. Hrozbou plynoucí až z reálného zprovoznění systému krizového řízení ve vybrané oblasti je pak vznik druhotných dopravních kongescí jako důsledek nedostatečného povědomí účastníků silničního provozu o systému. Z tohoto směru je nutné provádět osvětu prostřednictvím autoškoly a medializace celého projektu. Další hrozbou je těžko odhadnutelná účinnost navrhovaného systému v reálném provozu, kterou lze hodnotit až po jeho zavedení a provozu, a to navíc pouze v dlouhodobých horizontech. Proti tomuto nelze navrhnout preventivní opatření, ale po potenciálním zavedení je třeba příslušné oblasti monitorovat a průběžně vyhodnocovat jeho přínosy. Problematickou hrozbou by také mohla být situace, kdy v příslušné oblasti, pro kterou navrhuji systém řízení, v současné době je na poli řízení nebo technologií SSZ více hráčů, v takovém případě bude třeba přesvědčovat více stran, aby se do společného návrhu zapojili a spolupracovali v rámci společného cíle.

## 6 Shrnutí a doporučení

Závěrem lze konstatovat, že došlo postupnou kontinuální činností k naplnění všech dílčích cílů definovaných v úvodu této práce.

V první fázi řešení byla provedena rešerše aktuálních trendů v oblasti řízení dopravy pomocí SSZ v ČR a v zahraničí, a to se zaměřením na řízení dopravy v případě vzniku mimořádných situací. Na základě této rešerše a zjištěných poznatků došlo k definici pojmu krizového řízení jako součásti systému řízení dopravy ve městě.

Následně došlo k navržení obecné metodologie pro zavádění systému krizového řízení do současných běžně užívaných systémů řízení dopravy v oblastech měst. V tomto kroku byly navrženy konkrétní úpravy aktuální související legislativy, funkční pohled definující především nutné předpoklady pro vlastní návrh metodologie pro zavádění systému krizového řízení v českých podmínkách, i funkční postup návrhu v několika krocích zahrnujících identifikace různých typů mimořádných událostí a zvážení rizika jejich výskytu v příslušné oblasti, dále pak organizační pohled definující klíčové subjekty zajišťující návrh a provoz systémů krizového řízení a v neposlední řadě technologický pohled, který odpovídá na otázku, jaké varianty mimořádných situací ve městech v případě SSZ mohou vzniknout a kam je vhodné pro příslušné varianty dopravu odklánět. Zde je třeba uvést, že disertační práce neobsahuje všechna schémata typových variant křižovatek včetně schémat pro jejich množství, ale je možné je dohledat v autorské publikaci [37]. Kromě toho dochází k teoretickému návrhu na zapracování parametrů systému krizového řízení do výpočtu kvalitativního indexu dopravy (Performance index).

Na základě navržené metodologie, kterou je možné použít obecně pro jakoukoliv dopravní oblast v jakémkoliv městě za dodržení předepsaného postupu, došlo k návrhu systému krizového řízení pro vytipovanou oblast, konkrétně širší centrum města Uherské Hradiště, které tvoří kombinace několika křižovatek řízených pomocí SSZ. V modelové oblasti došlo k analýze rizik typů nebezpečí v posuzované oblasti, přičemž jako nejrizikovější vychází v oblasti tvorba dopravních excesů II. druhu. Pomocí modulu pro predikci dopravních excesů, na kterém autor spolupracoval v rámci projektu [46] a dalších dostupných zdrojů o oblasti byla vytipována místa častých výskytů mimořádných situací. Pro každé vytipované místo byl připraven scénář odklonění dopravy. Pro jednotlivé scénáře bylo následně nutné navrhnout konkrétní řešení úpravy fázových sledů a fází pro každou křižovatku SSZ (procesní návrh odklonění vozidel na objízdné trasy). Zde opět v disertační práci nejsou uvedeny všechny varianty pro jejich množství, ale rovněž je lze dohledat v autorské publikaci [38]. Na základě procesního návrhu pro všechny varianty vzniku mimořádné situace, pak v disertační práci dochází ke konkrétnímu doporučení pro instalaci technologií v oblasti Uherského Hradiště.

V rámci modelových možností došlo k ověření a zhodnocení obecné metodologie i samotného návrhu krizového řízení pro oblast Uherského Hradiště. Nejdříve došlo k mikrosimulaci návrhu vzniku mimořádné situace v oblasti v prostředích VISSIM a AIMSUN, přičemž v rámci VISSIMU byla vyhodnocována doba zpoždění vozidel v oblasti za normálního a krizového režimu řízení. Model v AIMSUNU měl za cíl simulovat a vyhodnotit několik konkrétních scénářů vzniku mimořádné situace ve městě. Následně byl vytvořen návod pro vyhodnocení všech kvantitativních a kvalitativních parametrů návrhu krizového řízení ve vytipované oblasti po jeho zavedení. Formou manažerského shrnutí pomocí SWOT analýzy byl zhodnocen potenciál pozitivních a negativních přínosů, příležitostí a hrozeb zavedení navrhovaného systému v českých podmínkách. Pro podpoření příležitostí a eliminaci hrozeb byl navržen soubor konkrétních opatření.

Díky naplnění dílčích cílů lze konstatovat i naplnění cíle hlavního, tedy návrhu vhodného způsobu integrace krizového řízení do modelu řízení dopravy ve vytipované oblasti.

K tématu disertační práce se přímo vážou dvě autorské odborné recenzované publikace [47], [48], které jsou evidovány v databázi SCOPUS a dále pak několik dalších publikací, které se k tématu vážou nepřímo nebo částečně. V rámci prezentací na konferencích byl návrh konzultován s odbornou veřejností, částečně pak i s komerční sférou. Naopak v průběhu práce nedošlo ke konzultacím na úrovni potenciálních objednatelů systému, tedy samospráv.

### **Doporučení autora:**

Disertační práce je v současné době teoretickým návrhem s praktickým potenciálem aplikovatelnosti. V další fázi výzkumu je nejdříve doporučeno provést průzkum trhu s rozšířením idey možnosti integrace krizového řízení do modelu řízení dopravy českých měst. V případě zájmu o zavedení systému ze strany klíčových subjektů, může tato disertační práce (vzhledem k maximální snaze o objektivitu a s důrazem na celospolečenské přínosy) tvořit cenný vstup pro sestavení pilotního projektu v budoucím aplikovaném výzkumu v oblasti dopravy. Téma má tedy praktický potenciál dalšího zkoumání.

Autor si je plně vědom, že navržené řešení je poměrně inovativní a pro nové funkční řešení vyžaduje i změny v legislativě a technologiích, čímž narušuje zaběhlé struktury v oblasti řízení dopravních oblastí řízených SSZ v českých podmínkách. Také s sebou přináší četné hrozby zmíněné ve SWOT analýze. Vzhledem k narůstajícímu stupni automobilizace a také vytyčeným pozitivním stránkám systému je přesto doporučeno se myšlenkou efektivního odklonu dopravy z míst mimořádných, resp. krizových situací v dlouhodobém časovém horizontu zabývat a minimálně vytvořit pilotní projekt ve vytipované oblasti, na jehož základě by šlo prvotní návrh v této disertační práci dopracovat.



## Zdroje

- [1] Zákon č. 240/2000 Sb.: Zákon o krizovém řízení a o změně některých zákonů (krizový zákon)
- [2] TP 81 – Navrhování světelných signalizačních zařízení pro řízení provozu na pozemních komunikacích, 2015
- [3] PRIBYL P., R. MACH: Řídicí systémy silniční dopravy, ČVUT, Praha 2003
- [4] KOUKOL M.: Přehled současných vědeckých a aplikačních výsledků v řízení světelné signalizace pomocí fuzzy logiky, Výzkumná zpráva, Praha 2012
- [5] POHANKA T.: Fuzzy modely pro efektivní řízení dopravy – případová studie na městě Trnava, diplomová práce, Olomouc, 2014
- [6] ZHANG Y., W. QIANG, Z. YANG: A New Traffic Signal Control Method Based on Hybrid Colored Petri Net in Isolated Intersections, ISSN: 1868-8659 (Online), 2016
- [7] XING Zheng: An adaptive control algorithm for traffic-actuated signalized networks – dissertation, university of California, 2010, pdf
- [8] ZHANG B., B.-z. Wu a W.-j. Liu, „Anti-Congestion Fuzzy Algorithm for Traffic Control of a Class of Traffic Networks“, v IEEE International Conference on Granular Computing, 2007.
- [9] HU Y., P. THOMAS a R. STONIER, „Traffic Signal Control using Fuzzy Logic and Evolutionary Algorithms“, v IEEE Congress on Evolutionary Computation, 2007.
- [10] BINGHAM Ella: Reinforcement learning in neurofuzzy traffic signal control, 2001
- [11] SCHISCHA H. Steuerung von Verkehrslicht-Signalanlagen (VLSA) – Steuerungsphilosophie für die zentrale Verkehrsregelung. online: <https://www.wien.gv.at/verkehr/verkehrsmanagement/vema/fachartikel.html>.
- [12] Berlin Traffic Control Centre. Traffic Management Ensures Urban Mobility. online: <http://viz-info.de/documents/10122/0/VKRZ-Flyer-Englisch/c2bfb4a4-d777-42ef-a208-18a24a83f04c>.
- [13] HOW SCOOT WORKS. online: <http://www.scootutc.com/DetailedHowSCOOTWorks.php?menu=Technical>.
- [14] SADAILLAH M: A Comparative Study of Urban Road Traffic Simulators, DOI: 10.1051/0 (2016)
- [15 ] VOTRUBA Z., M. KALIKA, J. KALIKOVÁ: Systémová analýza. ČVUT, 2. vydání, 2008.
- [16] TAN G. and G. CHAN: „Crisis Management Simulation: Traffic Evacuation“, 2008 Second Asia International Conference on Modelling & Simulation (AMS), Kuala Lumpur, 2008, pp. 696-701, doi: 10.1109/AMS.2008.162.
- [17] P. Wiśniewski, K. Kluza and A. Ligeza, „Decision support system for robust urban transport management“, 2017 Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS), Prague, 2017, pp. 1069-1074, doi: 10.15439/2017F296.
- [18] Y. Mnaoui, A. Najoua and H. Ouajji, „Conception of a Training System for Emergency Situation Managers“, 2020 1st International Conference on Innovative Research in Applied Science, Engineering

and Technology (IRASET), Meknes, Morocco, 2020, pp. 1-4, doi: 10.1109/IRASET48871.2020.9092222.

[19] LÓPEZ D. R. et al.: „Data Gathering in Crisis Management,“ 2019 International Conference on Information and Communication Technologies for Disaster Management (ICT-DM), Paris, France, 2019, pp. 1-8, doi: 10.1109/ICT-DM47966.2019.9032957.

[20] BISKUP, Roman: Možnosti neuronových sítí, disertační práce, Česká zemědělská univerzita, Praha 2009

[21] RUZICKA J., Z. PURKRABKOVA and V. KOREC, „Smart application for traffic excess prediction“, 2020 Smart City Symposium Prague (SCSP), Prague, Czech Republic, 2020, pp. 1-5, doi: 10.1109/SCSP49987.2020.9133935.

[22] Zákon č. 239/2000 Sb., o integrovaném záchranném systému a o změně některých Zákonů

[23] Zákon č. 12/2002 Sb., o státní pomoci při obnově území postiženého živelnou nebo jinou pohromou a o změně zákona č. 363/1999 Sb., o pojišťovnictví a o změně některých souvisejících zákonů (zákon o pojišťovnictví), ve znění pozdějších předpisů (zákon o státní pomoci při obnově území);

[24] Příloha krizového plánu Ministerstva č. 2.4. Metodika způsobu přijímání regulačních opatření v dopravě za krizových stavů;

[25] Příloha krizového plánu Ministerstva dopravy č. 2.6 Katalog regulačních opatření v dopravě přijímaných za krizových stavů;

[26] Zákon č. 361/2000 Sb., Zákon o provozu na pozemních komunikacích a o změnách některých zákonů;

[27] Vyhláška č. 300/2001 Sb., ve znění pozdějších předpisů;

[28] ČSN 73 1289. Umístění a použití návěstidel. Praha: Česká normalizační institut, 1993, 24 stran. Třídící znak 73 1289;

[29] D.C. Municipal Regulations, Section 18-2104. Flashing Red and Yellow Signals> vehicle, dostupné online na: <http://dcrules.elaws.us/dcmr/18-2104> [online: 22. 10. 2019].

[30] National Police Agency, Information from the National Police Agency, dostupné online na: <https://www.npa.go.jp/english/index.html>

[31] What are the Rules of the Road on an Amber Traffic Light at an Intersection?, dostupné online na: <https://carinsurance.arrivealive.co.za/what-are-the-rules-of-the-road-on-an-amber-traffic-light-at-an-intersection.php>

[32] Imisní limity podle zákona o ochraně ovzduší 201/2012 Sb., v aktuálním znění a vyhlášky o způsobu posuzování a vyhodnocení úrovně znečištění, rozsahu informování veřejnosti o úrovni znečištění a při smogových situacích 330/2012 Sb., v aktuálním znění, dostupné online na: [http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/info/limity\\_CZ.html](http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/info/limity_CZ.html)

[33] <http://portal.dopravniinfo.cz/jsdi>

[34] Cikhardtová K.: Implementace řídicího algoritmu pro oblast křižovatek. Diplomová práce. ČVUT FD, 2015

- [35] Hlubučková, K. - Langr, M. - Růžička, J. - Bekárková, M. - Bil, M. - Hluska, P. - Ulanovský, A. - Smrž, V., - Vyoral, J.: Dopravní průzkumy realizované v Uherském Hradišti v rámci pilotního projektu testování vyvinutého systému adaptivního řízení. [Research Report] 2018. Report no. 91/2018. Výzkumná zpráva v češtině (2018)
- [36] Růžička, J. - Navrátilová, K. - Purkrábková, Z. - Hajčiarová, E. - Gurková, H., - Rek, R. Vyhodnocení průzkumu parkování v Uherském Hradišti – II etapa. [Research Report] 2019. Report no. 98. Výzkumná zpráva v češtině (2019)
- [37] Růžička, J., K. Navrátilová, and E. Hajčiarová. Souhrnná metodika pro aplikaci krizového řízení v městských oblastech. [Research Report] 2020. Report no. 102/2020.
- [38] Růžička, J., K. Navrátilová, and V. Smrž. Vlastní návrh krizového řízení – průtah městem Uherské Hradiště. . [Research Report] 2020. Report no. 103/2020.
- [39] TP 188 Posuzování kapacity křižovatek a úseků pozemních komunikací, EDIP s.r.o, 2018, online [12. 01. 2021], TP\_188\_2018.pdf (pjpgk.cz)
- [40] PTV VISSIM, 8 User manual, 2016
- [41] AIMSUN NEXT 20 User manual, 2020
- [42] LI, Shurong, Chong WEI, Xuedong YAN, Lu MA, Deqi CHEN a Ying WANG. A Deep Adaptive Traffic Signal Controller With Long-Term Planning Horizon and Spatial-Temporal State Definition Under Dynamic Traffic Fluctuations. *IEEE Access* [online]. 2020, **8**, 37087-37104 [cit. 2021-01-18]. ISSN 2169-3536. Dostupné z: doi:10.1109/ACCESS.2020.2974885
- [43] TUNC, Ilhan and Mehmet Turan SOYLEMEZ. State Feedback Control for Intelligent Traffic Light Systems. In: 2020 28th Mediterranean Conference on Control and Automation (MED) [online]. IEEE, 2020, 2020, s. 446-451 [cit. 2021-01-18]. ISBN 978-1-7281-5742-9. Dostupné z: doi:10.1109/MED48518.2020.9183224
- [44] KAMAL, Md Abdus Samad, Tomohisa HAYAKAWA a Jun-ichi IMURA. Development and Evaluation of an Adaptive Traffic Signal Control Scheme Under a Mixed-Automated Traffic Scenario. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* [online]. 2020, **21**(2), 590-602 [cit. 2021-01-18]. ISSN 1524-9050. Dostupné z: doi:10.1109/TITS.2019.2896943
- [45] LUO, Jiliang, Yi-Sheng HUANG a Yi-Shun WENG. Design of Variable Traffic Light Control Systems for Preventing Two-Way Grid Network Traffic Jams Using Timed Petri Nets. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* [online]. 2020, **21**(7), 3117-3127 [cit. 2021-01-18]. ISSN 1524-9050. Dostupné z: doi:10.1109/TITS.2019.2925824
- [46] TAČR - TJ01000183: Predikce dopravních excesů využívající neuronové sítě
- [47] RUZICKA, Jiri, Kristyna NAVRATILOVA and Tomas TICHY. Crisis traffic management in the city using traffic lights. In: 2019 Modern Safety Technologies in Transportation (MOSATT) [online]. IEEE, 2019, 2019, s. 134-139 [cit. 2021-01-25]. ISBN 978-1-7281-5083-3. Dostupné z: doi:10.1109/MOSATT48908.2019.8944093
- [48] RUZICKA, Jiri and Kristyna NAVRATILOVA. Crisis management as the part of smart traffic control in cities. In: 2020 Smart City Symposium Prague (SCSP) [online]. IEEE, 2020, 2020, s. 1-5 [cit. 2021-01-25]. ISBN 978-1-7281-6821-0. Dostupné z: doi:10.1109/SCSP49987.2020.9133818

- [49] KRISHNA, A. Athul, Bharath A. KARTHA a Vishnu S. NAIR. Dynamic traffic light system for unhindered passing of high priority vehicles: Wireless implementation of dynamic traffic light systems using modular hardware. In: *2017 IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC)* [online]. IEEE, 2017, 2017, s. 1-5 [cit. 2021-01-26]. ISBN 978-1-5090-6046-7. Dostupné z: doi:10.1109/GHTC.2017.8239237
- [50] SONEA, Andreea, Ciprian DOBRE, Radu-Ioan CIOBANU a George SUCIU. Smart Vehicular Routing Based on Crowdsensed Data Using Dynamic Traffic Light Control. In: *2020 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PerCom Workshops)* [online]. IEEE, 2020, 2020, s. 1-6 [cit. 2021-01-26]. ISBN 978-1-7281-4716-1. Dostupné z: doi:10.1109/PerComWorkshops48775.2020.9156154
- [51] Andhare, Pallavi & Kharat, Vilas & Patil, C.Y.. (2018). Intelligent Road Traffic Control System for Traffic Congestion A Perspective. *International Journal of Computer Sciences and Engineering*. 6. 908-915. 10.26438/ijcse/v6i7.908915.
- [52] VILARINHO, Cristina, Jose Pedro TAVARES a Rosaldo J.F. ROSSETTI. Design of a Multiagent System for Real-Time Traffic Control. *IEEE Intelligent Systems* [online]. 2016, **31**(4), 68-80 [cit. 2021-6-8]. ISSN 1541-1672. Dostupné z: doi:10.1109/MIS.2016.66
- [53] AHMED, Elgali Mohammed. Continuous Genetic Algorithm for Traffic Signal Control. In: *2018 International Conference on Computer, Control, Electrical, and Electronics Engineering (ICCCEEE)* [online]. IEEE, 2018, 2018, s. 1-5 [cit. 2021-6-8]. ISBN 978-1-5386-4123-1. Dostupné z: doi:10.1109/ICCCEEE.2018.8515770
- [54] FEHÉR, Lukáš. *Využitie modelovania a simulácie v rámci krízového riadenia vybraného subjektu*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2012, 77 s. Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10563/19422>. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta aplikované informatiky, Ústav elektroniky a měření. Vedoucí práce Hromada, Martin
- [55] TOBISOVA, A., B. MIKULA, S. SZABO, et al. The Simulation of Fire and Rescue Services Operations by Airplane Accidents. In: *2018 XIII International Scientific Conference - New Trends in Aviation Development (NTAD)* [online]. IEEE, 2018, 2018, s. 144-149 [cit. 2021-6-8]. ISBN 978-1-5386-7918-0. Dostupné z: doi:10.1109/NTAD.2018.8551636
- [56] The Orange Book Management of Risk - Principles and Concepts, HM TREASURZ, October 2004, Microsoft Word - BCKP ORANGE BOOK2.doc (who.int), [cit. 2021-6-8]. ISBN: 1-84532-044-1
- [57] Zákon č. 201/2012 Sb.: Zákon o ochraně ovzduší

## Seznam zkratek

ITS	Inteligentní dopravní systémy
SSZ	Světelné signalizační zařízení
ČR	Česká republika
PTV VISSIM	Planung Transport Verkehr VISSIM (název simulačního programu)
AIMSUN NEXT	Advanced Interactive Microscopic Simulator for Urban and Non-urban Networks (název simulačního programu a jeho verze)
MHD	Městská hromadná doprava
VHD	Veřejná hromadná doprava
SWOT	Jedna z běžně užívaných metod strategické analýzy
HW	hardware
SW	software
API	Application Programming Interface (rozhraní pro programování aplikací)
NDIC	Národní dopravní informační centrum
PČR	Policie České republiky
IZS	Integrovaný záchranný systém
ČSN EN	Česká verze evropské normy
TP	Technické podmínky
K100-K107	Označení konkrétních křižovatek v Uherském Hradišti, podrobně vysvětleno na Obrázku 20
S1-S7	Zkratky pro základní druhy signálů, podrobně vysvětleno v 1.3.2.

## Seznam tabulek

Tabulka 1 Přehledová tabulka simulačních SW [zdroj: vlastní] .....	23
Tabulka 2 Makrofunkce systému krizového řízení [zdroj: vlastní].....	33
Tabulka 3 Tabulka identifikovaných nebezpečí a jejich parametrů [zdroj: vlastní] .....	35
Tabulka 4 Hodnocení pravděpodobnosti vzniku nebezpečí [zdroj: vlastní] .....	36
Tabulka 5 Dopad rizika na ztrátový čas v dopravě [zdroj: vlastní].....	37
Tabulka 6 Dopad rizika na život/zdraví lidí [zdroj: vlastní] .....	37
Tabulka 7 Dopad rizika na životní prostředí [zdroj: vlastní].....	37
Tabulka 8 Rizikové stupně [zdroj: vlastní] .....	38
Tabulka 9 Modelové varianty křižovatek pro účely návrhu systému krizového řízení [zdroj: vlastní] .....	46
Tabulka 10 Riziková analýza pro jednotlivé typy nebezpečí v posuzované oblasti [zdroj: vlastní] .....	58
Tabulka 11 Výpočet ukazatele míry rizika R [zdroj: vlastní] .....	59
Tabulka 12 Vstupní data o intenzitách dopravy [zdroj: vlastní] .....	71
Tabulka 13 Kalibrační data pro zpřesnění modelů z vlastního průzkumu [zdroj: vlastní].....	72
Tabulka 14 Vyhodnocení pro jednotlivé scénáře v programu AIMSUN NEXT [zdroj:vlastní].....	79

## Seznam obrázků

Obrázek 1	Obecné schéma fuzzy řízení křižovatky [5].....	8
Obrázek 2	Modelování dopravního proudu mezi dvěma křižovatkami [7].....	10
Obrázek 3	Poissonovský vstupní tok pro modelování vstupu vozidel [7]. ....	10
Obrázek 4	Schéma optimalizačního procesu [7].....	11
Obrázek 5	Vyhodnocení přínosů pro celou síť [7]. ....	11
Obrázek 6	Vyhodnocení testu pro jeden z vybraných uzlů [7] .....	12
Obrázek 7	Ukázka modelu řízení dopravy pomocí barevných Petriho sítí [6] .....	13
Obrázek 8	Kombinace neuronových sítí a fuzzy logiky pro řízení dopravy [10] .....	14
Obrázek 9	Zjednodušený funkční pohled na řízení jednotlivých uzlů [zdroj: vlastní].....	19
Obrázek 10	Zjednodušený funkční pohled na systém řízení dopravní oblasti [zdroj: vlastní] .....	19
Obrázek 11	Schéma pozice modulu krizového řízení v rámci „ideálního“ modelu řízení oblasti [zdroj: vlastní].....	20
Obrázek 12	Přehledové schéma doporučeného postupu při návrhu systému krizového řízení dopravní oblasti [zdroj: vlastní].....	34
Obrázek 13	Schéma NDIC [33] .....	42
Obrázek 14	Schéma stykové křižovatky bez přechodu pro chodce s dvoufázovým řízením v normálním režimu [zdroj: vlastní] .....	47
Obrázek 15	Schéma stykové křižovatky s uzavřeným jízdním pruhem ve vedlejším směru [zdroj: vlastní].....	48
Obrázek 16	Schéma stykové křižovatky s uzavřeným jízdním pruhem v hlavním směru – východ [zdroj: vlastní].....	49
Obrázek 17	Schéma stykové křižovatky s uzavřeným jízdním pruhem v hlavním směru – západ [zdroj: vlastní].....	49
Obrázek 18	Schéma vztahů mezi přínosy systému krizového řízení [zdroj: vlastní].....	52
Obrázek 19	Vymezená oblast a její blízké okolí [zdroj: vlastní] .....	54
Obrázek 20	Vymezená oblast – podrobnější rozlišovací úroveň [zdroj: vlastní].....	55
Obrázek 21	Nehodová místa v Uherském Hradišti [zdroj: JDVM PČR].....	57
Obrázek 22	Klíčové komunikace z hlediska zajištění plynulosti dopravy [zdroj: vlastní] .....	60
Obrázek 23	Vizualizace dopravní aplikace pro predikci dopravních excesů [zdroj: demo.citidea.cz].	61
Obrázek 24	Kombinace parametrů predikující „velmi slabé riziko,“ vzniku dopravního excesu [zdroj: demo.citidea.cz] .....	61
Obrázek 25	Kombinace vykazující zadání nelogických či nesmyslných hodnot [zdroj: demo.citidea.cz] .....	62
Obrázek 26	Kombinace parametrů predikující „silné riziko“ vzniku dopravního excesu [zdroj: demo.citidea.cz] .....	63
Obrázek 27	Varianty vzniku mimořádné situace a preferované objížděné trasy [zdroj: vlastní].....	64
Obrázek 28	Upravený fázový sled pro křižovatku K102 [zdroj: vlastní].....	67
Obrázek 29	Upravený fázový sled pro křižovatku K103 [zdroj: vlastní].....	67
Obrázek 30	Porovnání zpoždění pro relace na křižovatce K100a pro Variantu 1 dle Obrázku 27 [zdroj: vlastní].....	74
Obrázek 31	Porovnání zpoždění pro relace na křižovatce K102 pro Variantu 1 dle Obrázku 27 [zdroj: vlastní].....	74
Obrázek 32	Porovnání zpoždění pro relace na křižovatce K102 pro Variantu 1 dle Obrázku 27 [zdroj: vlastní].....	75
Obrázek 33	Modifikovaný signální plán pro Variantu 1 dle Obrázku 27 [zdroj: vlastní, provedeno v PTV VISSIM].....	76

Obrázek 34 Časový vývoj doby zdržení – Scénář 1 [zdroj: vlastní, vyrobeno v AIMSUN NEXT].....	80
Obrázek 35 Časový vývoj doby zdržení - Scénář 2 [zdroj vlastní, vyrobeno v AIMSUN NEXT].....	81
Obrázek 36 Časový vývoj doby zdržení - Scénář 3 [zdroj vlastní, vyrobeno v AIMSUN NEXT].....	81
Obrázek 37 Časový vývoj doby zdržení - Scénář 4 [zdroj vlastní, vyrobeno v AIMSUN NEXT].....	82
Obrázek 38 Časový vývoj doby zdržení - Scénář 5 [zdroj vlastní, vyrobeno v AIMSUN NEXT].....	82
Obrázek 39 SWOT analýza návrhu integrace krizového řízení do modelu řízení dopravy města [zdroj: vlastní].....	87



## **Seznam příloh**

*Příloha 1: Typické použití jednotlivých prvků krizového řízení pro technologické zajištění na křižovatkách SSZ*

*Příloha 2: Soubor vizualizací simulovaných scénářů z programu AIMSUN NEXT*

Obě přílohy jsou připojeny v elektronické formě na přiloženém nosiči CD.