

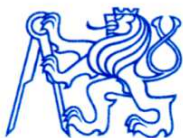
**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA DOPRAVNÍ**

Veronika Kratochvilová

**NÁVRH SYSTÉMU PRO AUTOMATICKOU KLASIFIKACI
DOPRAVNÍHO PROUDU**

(bakalářská práce)

Praha, 2014



K620..... Ústav dopravní telematiky

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Veronika Kratochvilová

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

B 3710 – AUT – Automatizace a informatika

Název tématu (česky): **Návrh systému pro automatickou klasifikaci
dopravního proudu**

Název tématu (anglicky): Design of a System for Automatic Classification of Traffic
Flow

Zásady pro vypracování

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

- Seznamte se s problematikou dopravních detektorů a měřených veličin v silniční dopravě. Vypracujte příslušnou analýzu, zejména z pohledu klasifikace dopravního proudu.
- Analyzujte možnosti využití informace o kvalitě dopravy.
- Navrhněte systém pro klasifikaci dopravy na základě veličin měřených pomocí indukčních smyček, příp. jiných vhodných detektorů, a dále navrhněte systém pro zobrazení, resp. další využití získané informace.
- Implementujte svůj návrh na prostředí řídicích systémů. Vytvořený návrh náležitě zdokumentujte.
- Analyzujte spolehlivost funkce navržené aplikace

Rozsah grafických prací: podle pokynů vedoucího BP

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

Seznam odborné literatury: Příbyl, P.: Inteligentní dopravní systémy a dopravní telematika. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004. 184 s. ISBN 80-01-03122-5.

Příbyl, P., Svítek, M.: Inteligentní dopravní systémy. BEN, Praha, 2001, 543 s., ISBN 80-7300-029-6.

Svítek, M: Telematika nad dopravními sítěmi. Vydavatelství ČVUT, Praha, 2004, 263

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Bc. Vladimír Faltus, Ph.D.**

Datum zadání bakalářské práce: **17. října 2013**

(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání bakalářské práce: **30. listopadu 2014**

- a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
- b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

doc. Ing. Pavel Hrubeš, Ph.D.
vedoucí
Ústavu dopravní telematiky



prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.

Veronika Kratochvilová
jméno a podpis studenta

V Praze dne26. srpna 2014

Prohlášení

Nemám závažný důvod proti užívání 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).

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

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

NÁVRH SYSTÉMU PRO AUTOMATICKOU KLASIFIKACI DOPRAVNÍHO PROUDU

bakalářská práce

listopad 2014

Veronika Kratochvilová

Úplná bibliografická identifikace

KRATOCHVILOVÁ, Veronika. *Návrh systému pro automatickou klasifikaci dopravního proudu*. Praha: ČVUT FD, 2014.

Anotace (abstrakt)

V této bakalářské práci je rozebrán teoretický základ k tématu klasifikace dopravního proudu a následně vytvořen vlastní myšlenkový návrh a implementován systém, který automaticky klasifikuje dopravní proud pomocí stupňů dopravy a následně o dopravní situaci informuje řidiče.

V první kapitole se seznamujeme s veličinami dopravního proudu a s detektory, které lze použít k měření pro určení stupně dopravy. Druhá kapitola pojednává o dopravních informačních systémech zejména pro řidiče, o způsobech, jak můžeme informace předávat, a uvádí příklady systémů, které jsou aplikovány v ČR i v zahraničí.

Ve třetí kapitole se již zpracovává samotný návrh. Volí se parametry systému, architektura a vznikají algoritmy dílčích procesů. Část je věnována sběru potřebných dat terénním měřením. Čtvrtá kapitola obsahuje implementaci navržených algoritmů na prostředí řídicích systémů. V páté kapitole je uvedena analýza spolehlivosti systému.

Klíčová slova

Dopravní proud, indukční smyčka, intenzita dopravy, klasifikace dopravy, proměnná informační tabule, rychlost, stupeň dopravy.

Obsah

Seznam použitých veličin a jednotek	5
Seznam použitých zkratk	6
Slovník pojmů	9
Poděkování	11
Úvod	12
1 Měření dopravního proudu	13
1.1 Charakteristika dopravního proudu.....	13
1.1.1 Způsoby sledování dopravního proudu	13
1.1.2 Dopravní veličiny	14
1.1.2.1 Intenzita dopravního proudu	14
1.1.2.2 Rychlost dopravního proudu	14
1.1.2.3 Hustota dopravního proudu.....	15
1.1.2.4 Další dopravní veličiny	16
1.1.3 Vztahy mezi veličinami	16
1.1.4 Klasifikace dopravy.....	16
1.2 Dopravní detektory	17
1.2.1 Kontaktní dopravní detektory.....	18
1.2.1.1 Pneumatické detektory.....	18
1.2.1.2 Piezoelektrické detektory	18
1.2.2 Ultrazvukové dopravní detektory	18
1.2.3 Optické dopravní detektory.....	19
1.2.3.1 Aktivní infračervené detektory.....	19
1.2.3.2 Pasivní infračervené detektory.....	19
1.2.3.3 Světelné závory.....	19
1.2.4 Mikrovlnné radary	20
1.2.5 Magnetometrické detektory	20
1.2.5.1 Fluxgate magnetometry.....	20
1.2.5.2 Indukční magnetometry.....	20

1.2.6	Videodetekce	21
1.2.7	Detektory pro úsekové měření	21
1.2.8	Indukční smyčky	21
1.2.8.1	<i>Princip činnosti</i>	21
1.2.8.2	<i>Měřené parametry</i>	22
2	Využití informací o dopravním proudu	24
2.1	Předání informace	24
2.1.1	Informace před jízdou	24
2.1.2	Informace podél komunikace	24
2.1.3	Informace do vozidla	25
2.1.4	Kooperativní systémy	26
2.2	Integrace do městského dopravního systému	26
2.3	Praxe v ČR	26
2.3.1	NDIC	27
2.3.1.1	<i>Sběr dat</i>	27
2.3.1.2	<i>Výstupní informace</i>	27
2.3.2	Řídicí centrum SOKP	27
2.3.3	Oblastní řízení ve městě – systém MIGRA	28
2.4	Zahraniční praxe	28
2.4.1	Berlín	28
2.4.2	Paříž a okolí	29
2.4.3	Londýn	29
2.4.4	Los Angeles	29
2.4.5	Japonsko	29
3	Návrh systému pro klasifikaci dopravního proudu	30
3.1	Účel a princip systému	31
3.2	Vstupní veličiny pro klasifikaci	32
3.2.1	Detektor	33
3.2.2	Parametry měření a zpracování intenzity	34
3.2.3	Parametry měření a zpracování rychlosti	35

3.3	Příprava modelu – měření v terénu	40
3.3.1	Místo a způsob měření	40
3.3.2	Naměřená data	42
3.4	Tvorba modelu	43
3.5	Zobrazení získané informace řidičům	46
4	Implementace návrhu.....	49
4.1	Výpočet intenzity	49
4.2	Výpočet rychlosti	50
4.3	Vyhodnocení stupně dopravy	51
4.4	Zobrazení informace řidičům	51
5	Spolehlivost systému.....	53
5.1	Chybové hlášky	53
5.2	Výpadek první smyčky	54
5.3	Výpadek druhé smyčky	54
5.4	Výpadek obou smyček	55
	Závěr	56
	Seznam použitých zdrojů	58
	Seznam obrázků	61
	Seznam příloh	62

Seznam použitých veličin a jednotek

Čas	t	s
Délka jednotkového vozidla	l_v	m
Délka smyčky	l_s	m
Délka úseku	X	km
Doba mezi aktivací smyček	Δt	s
Doba obsazenosti detektoru	t_{obs}	s
Dráha (vzdálenost)	s	km
Efektivní délka vozidla	L_e	m
Hustota	k	voz/km
Indukčnost	L	H
Intenzita	q	voz/hod
Interval vzorkování	T	s
Obsazenost	κ	-
Permeabilita vakua	μ_0	H/m
Plocha cívky	S	m^2
Počet (vozidel)	N	-
Počet závitů cívky	N_z	-
Přítomnost	p	-
Relativní permeabilita	μ_r	-
Rychlost	v	km/h, m/s
Střední bodová rychlost	\bar{v}_t	km/h
Úseková rychlost	v_s	km/h
Výška cívky	l	m

Seznam použitých zkratek

AEX	<i>ASCII String Extract (příkaz)</i>
ANPR	<i>Automatic Number Plate Recognition</i>
ATSAC	<i>Automated Traffic Surveillance and Control</i>
CIM	<i>Congestion and Incident Management</i>
CPT	<i>Compute (příkaz)</i>
C2C	<i>Vozidlo-vozdlo (Car-to-Car)</i>
C2I	<i>Vozidlo-infrastruktura (Car-to-Infrastructure)</i>
DIC	Dopravní informační centrum
DIV	<i>Division</i>
DSRC	<i>Dedicated Short Range Communication</i>
EQU	<i>Equal (příkaz)</i>
FFL	<i>FIFO Load (příkaz)</i>
FFU	<i>FIFO Unload (příkaz)</i>
FIFO	<i>First In – First Out</i>
GEQ	<i>Greater or Equal (příkaz)</i>
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i>
GRT	<i>Greater Than (příkaz)</i>
HDŘÚ	Hlavní dopravní řídicí ústředna
IRID	<i>Recognition and Incident Detection</i>
ITS	Inteligentní dopravní systémy (<i>Intelligent Transport Systems</i>)
IZS	Integrovaný záchranný systém
JSDI	Jednotný systém dopravních informací
JARTIC	<i>Japan Road Traffic Information System</i>
LCAP	<i>London Congestion Analysis Project</i>

LES	<i>Less Than</i> (příkaz)
LTCC	<i>London Traffic Control Centre</i>
MHD	Městská hromadná doprava
MOTION	<i>Method for the Optimalisation of Traffic Signals in On-line Controlled Networks</i>
MOV	<i>Move</i> (příkaz)
MVM	<i>Move With Mask</i> (příkaz)
NDIC	Národní dopravní informační centrum
NEQ	<i>Not Equal</i> (příkaz)
OTL	<i>Output Latch</i> (příkaz)
OTU	<i>Output Unlatch</i> (příkaz)
PDZ	Proměnné dopravní značení
PIT	Proměnná informační tabule
RDS	<i>Radio Data System</i>
RFID	<i>Radio Frequency Identification</i>
RZ	Registrační značka
ŘSD	Ředitelství silnic a dálnic ČR
SD	Stupeň dopravy
SMS	<i>Short Message Service</i>
SOKP	Silniční okruh kolem Prahy
SSZ	Světelné signalizační zařízení
TIS	Dopravní informační systém (<i>Traffic Information System</i>)
TMC	<i>Traffic Message Channel</i>
UTC	Řídicí systém světelné signalizace (<i>Urban Traffic Control</i>)
VICS	<i>Vehicle Information and Communication System</i>

VIZ *Verkehrsinformationszentrale*

XML *Extensible Markup Language* (rozšiřitelný značkovací jazyk)

Slovník pojmů

bistabilní elementy	kruhové terčíky s výrazným nátěrem na jedné straně otáčené impulsem el. proudu, používané na PIT
dopravní detektor	zařízení určené k zaznamenávání dopravních veličin
dopravní proud	pohyb vozidel na pozemní komunikaci za sebou nebo v pruzích vedle sebe v jednom směru
efektivní délka vozidla	délka vozidla, která je zaznamenávána detektorem při průjezdu
hustota	počet vozidel nacházejících se na jednotce délky komunikace
indukční smyčka	detektor, který kolem sebe vytváří magnetické pole a zaznamenává jeho změny při průjezdu vozidla
intenzita	počet vozidel, která projela profilem za jednotku času
intrusivní (detektor)	detektor, jehož instalace vyžaduje zásah do vozovky
klasifikace dopravy	měřítka pro kvalitativní posouzení dopravy, v ČR použití stupňů 1 – 5
kongesce	výrazné snížení rychlosti pohybu vozidel nebo jejich úplné zastavení plynoucí z naplnění kapacity komunikace
měřicí interval	časový úsek, během něž probíhá sběr dat a na jehož konci se data zpracovávají
neintrusivní (detektor)	detektor, jehož instalace nevyžaduje zásah do vozovky
obsazenost	poměr doby, kdy se ve snímané oblasti detektoru nacházela vozidla, k celkové době vzorkování
plovoucí vozidlo	vozidlo vysílající informace o své poloze a rychlosti v provozu
profilové (bodové) měření	měření prováděné na příčném řezu komunikace
proměnná informační tabule	tabule zobrazující aktuální informace pomocí LED nebo bistabilních elementů, lze ji přepisovat
přítomnost	binární veličina rozlišující, zda se ve snímané oblasti detektoru nachází nebo nenachází vozidlo

přítomnostní (detektor)	detektor, který zaznamenává vozidlo po celou dobu jeho průjezdu snímanou oblastí
pulsní (detektor)	detektor, který zaznamenává průjezd vozidla pouze jedním pulsem v okamžiku aktivace
stupeň dopravy	hodnocení kvality dopravy číslicemi 1 – 5, kde 1 značí zcela hladký průjezd a 5 stojící dopravní proud

Poděkování

Děkuji Ing. Bc. Vladimíru Faltusovi Ph.D. za mnoho cenných rad k tvorbě práce a jeho neúnavnou ochotu konzultovat každý nový odstavec.

Poděkování náleží i mé rodině za materiální a duševní podporu nejen při psaní práce.

Úvod

S neustávajícím rozvojem společnosti narůstá stále i objem silniční dopravy. Abychom řidičům usnadnili cestu, sbíráme data o provozu, klasifikujeme dopravu a získané informace řidičům předáváme. Tím ovlivňujeme jejich volbu trasy a přispíváme tak k efektivnějšímu využívání kapacity komunikací.

Cílem této práce je návrh systému, který automaticky klasifikuje dopravní proud stupni 1 – 5 na základě dat získávaných z dopravního detektoru a následně informuje řidiče pomocí proměnných informačních tabulí (PIT).

K dosažení tohoto cíle je nejdříve nutno splnit několik dílčích úkolů. Nejprve si utvoříme teoretický vědomostní základ k tématu. Seznámíme se se způsoby měření dopravního proudu, s měřenými veličinami a s jejich vztahem ke klasifikaci. Vytvoříme si přehled o používaných dopravních detektorech, jaké veličiny je s nimi vhodné měřit a zda je možné je použít pro naše účely (více v kap. 1).

Dále zjišťujeme, k čemu mohou informace získané měřením a klasifikováním dopravního proudu sloužit a jak je předáváme řidičům. Podíváme se na některé informační systémy, které fungují v České republice nebo v zahraničních zemích (více v kap. 2).

Následně přistoupíme k vlastnímu návrhu. Musíme si vytvořit představu o architektuře systému a zodpovědět si řadu otázek: jaký použijeme detektor, jaké veličiny budeme měřit a jak, na jakou lokaci návrh směřujeme, jaké informace chceme předávat řidičům. Velmi důležitým momentem přípravy systému bude tvorba modelu pro klasifikaci; model získáme z dat, která si naměříme přímo v terénu ještě před zahájením provozu (více v kap. 3).

Jako další krok již vytváříme algoritmy potřebných funkcí a implementujeme je na prostředí řídicích systémů (více v kap. 4). Poté se zaměříme na spolehlivost systému, pokusíme se najít situace, které mohou nastat a které by ohrozily běžný chod systému, a ošetříme v programu i tyto případy (více v kap. 5).

1 Měření dopravního proudu

Dopravním proudem rozumíme pohyb vozidel na pozemní komunikaci za sebou nebo v pruzích vedle sebe v jednom směru [8]. V této kapitole budou popsány veličiny, které ho charakterizují, jejich vztah ke klasifikaci dopravy a detektory sloužící k jejich měření.

1.1 Charakteristika dopravního proudu

Dopravní proud je proměnný v čase i prostoru a ovlivňují ho následující faktory: technické parametry komunikace (směrové a výškové vedení, kvalita povrchu, četnost křižovatek apod.), organizace a řízení dopravy (omezení rychlosti, řízení dopravy světelnými signalizačními zařízeními, zákazy odbočení, zastavení a zjednosměřování komunikací apod.), technické parametry vozidel (maximální provozní rychlost, rozměry, akcelerační a brzděné schopnosti apod.), klimatické podmínky, psychologické a fyziologické charakteristiky řidičů a okamžité dopravní podmínky (intenzita, skladba proudu vlastního i protisměrného, pěší doprava, nehody apod.). [1]

1.1.1 Způsoby sledování dopravního proudu

Dopravní proud podrobujeme sledování ve dvou oblastech: kontinuální měření, které poskytuje data pro telematické řízení, a dopravní průzkumy, které jednorázově či dlouhodobě dodávají podklady pro plánování do budoucnosti a analýzu stávající situace. [8]

Existuje několik základních způsobů sledování dopravního proudu: Profilové (bodové) sledování probíhá v jediném bodě, po určitou dobu se sleduje počet a případně odstup vozidel, která projedou zadaným řezem. Jedná se o poměrně jednoduché a velmi často používané sledování. Momentální (podél komunikace) sledování podává informace o určitém úseku komunikace v jednom okamžiku. Tato metoda je však v praxi těžko proveditelná a nepoužívá se. [7]

Prostorově-časové sledování sestává ze sítě měřicích profilů, jejichž záznamy se provádějí ve stejném časovém období, výsledkem jsou informace o trajektoriích vozidel. Tato metoda podává cennější informace než předešlé dvě, které nedokážou reprezentovat dopravní proud jak v čase, tak zároveň v prostoru. Praktickým příkladem může být tzv. úsekové měření (párování dat ze dvou míst). [7]

Měření Moving-Observer metodou se provádí průjezdem měřicího vozidla po směru, následně proti směru a zaznamenává se doba jízdy a počet předjížděných a předjíždějících (v opačném směru míjených) vozidel. Tato metoda se v inteligentních dopravních systémech

nepoužívá. Naopak metoda plovoucích vozidel může poskytnout velké množství cenných dat o dopravním proudu. Každý automobil vezoucí GNSS zařízení nebo mobilní telefon se může stát senzorem. [4], [13]

1.1.2 Dopravní veličiny

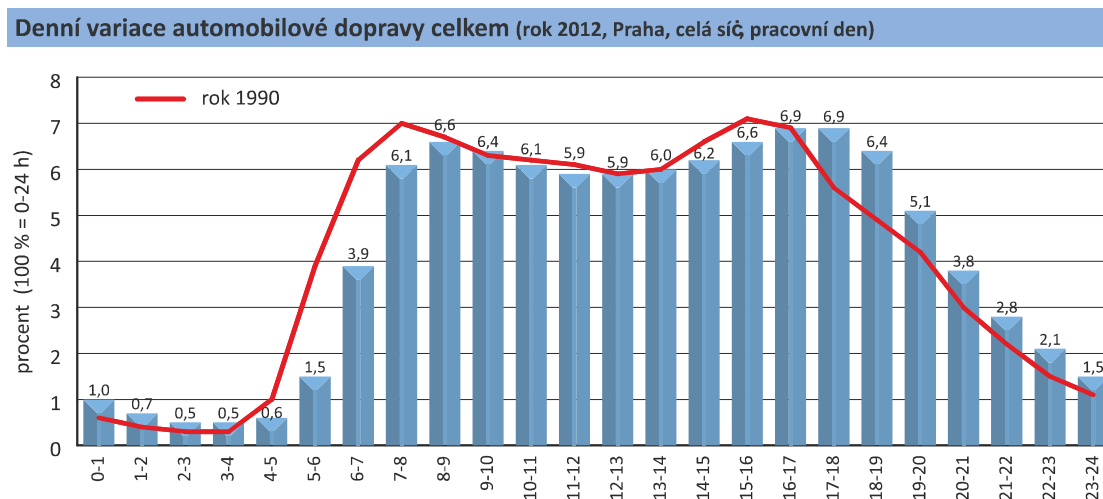
Dopravní situace bývá charakterizována zejména třemi základními veličinami: intenzitou, rychlostí a hustotou dopravního proudu. Kromě nich rozpoznáváme ještě další veličiny.

1.1.2.1 Intenzita dopravního proudu

Intenzita vyjadřuje počet vozidel, která projela v jednom směru daným příčným profilem za sledované období. Značíme ji q [4] (v některé české literatuře i I [1]) a uvádíme obvykle v jednotkách voz/h . Hodinový interval je vhodný pro statistické účely, interval sledování pro on-line řízení je však podstatně kratší, doporučuje se zaznamenávat hodnoty jednou za 20 – 30 s, běžně i v řádu jednotek až desítek minut [4]. Jednoduchý vztah pro výpočet intenzity při měření v bodě je [4]

$$q = \frac{N}{T} \quad (1)$$

Intenzita v čase kolísá, její variace nezávisí pouze na denní době, ale také na dnu v týdnu, ročním období apod. (viz. Obr. 1).



Obr. 1: Variace intenzity v průběhu dne [26]

1.1.2.2 Rychlost dopravního proudu

Rychlostí dopravního proudu rozumíme průměrnou rychlost všech vozidel dopravního proudu. Značíme ji obvykle v a uvádíme v jednotkách km/h. Rychlost měříme v bodě nebo

na úseku. Střední bodová rychlost \bar{v}_t je aritmetickým průměrem rychlostí v daném příčném řezu komunikace [4]

$$\bar{v}_t = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N v_i \quad (2)$$

Úseková rychlost v_s je průměrnou rychlostí jízdy všech vozidel na sledovaném úseku, vypočtená ze vzorců [4]

$$v_s = \frac{X}{t} = \frac{NX}{\sum_{i=1}^N t_i} = \frac{N}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{v_{si}}} \quad (3)$$

kde t je průměrná doba jízdy

$$t = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i \quad (4)$$

1.1.2.3 Hustota dopravního proudu

Hustota vyjadřuje koncentraci vozidel na jednotku délky, neboli počet vozidel nacházejících se na sledovaném úseku o zvolené délce. Značíme ji k [4] (v některé české literatuře i H [1]) a uvádíme obvykle v jednotkách *voz/km*. Hustotu nelze přímo zjistit profilovým měřením, ale lze ji vypočítat ze vztahu (viz též kap. 1.1.3)

$$k = \frac{q}{v_s} \quad (5)$$

kde úsekovou rychlost získáme jako

$$v_s = \bar{v}_t - \frac{\sigma_t^2}{\bar{v}_t} \quad (6)$$

kde σ_t^2 je rozptyl bodové rychlosti. [4]

Hustotu lze také získat z obsazenosti detektoru. Obsazenost vyjadřuje poměr doby, kdy se nad detektorem nacházelo vozidlo, k celé době vzorkování:

$$\kappa = \frac{\sum t_{obs_i}}{T} \quad (7)$$

Hustotu pak určíme jako

$$k = \frac{\kappa}{l_e} \quad (8)$$

kde l_e je efektivní délka vozidla. Tento výpočet je založen na předpokladu, že poměr nákladních (dlouhých) vozidel ku osobním (kratším) vozidlům je stále stejný. Aby výsledky lépe odpovídaly realitě, zavádí se efektivní délka osobního vozidla l_{eo} a efektivní délka nákladního vozidla l_{en} . Hustotu pak podle [4] vypočítáme jako

$$k = \kappa \frac{N_o + N_n}{N_o l_{eo} + N_n l_{en}} \quad (9)$$

1.1.2.4 Další dopravní veličiny

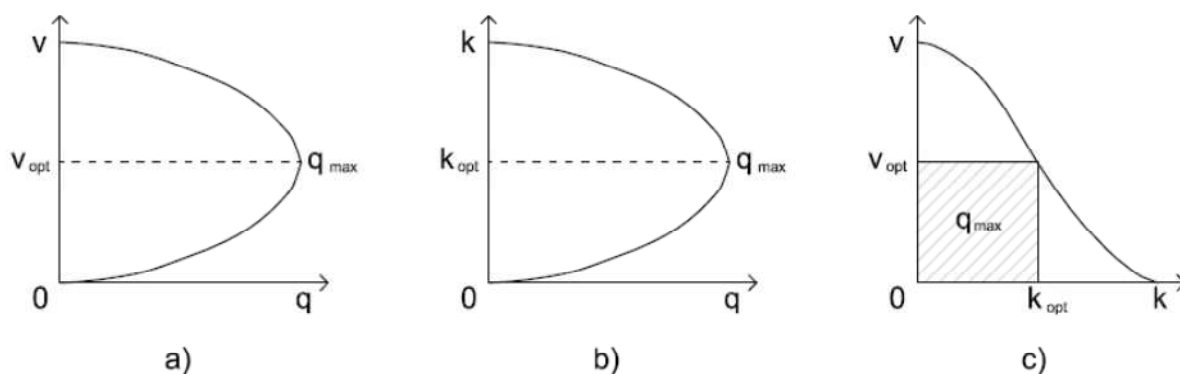
Mezi další dopravní parametry patří: časová mezera (doba mezi průjezdy čel dvou za sebou jedoucích vozidel jedním profilem), délkový odstup (vzdálenost čel za sebou jedoucích vozů), skladba dopravního proudu (podíl jednotlivých druhů dopravních prostředků), zdržení (průměrná doba zdržení všech vozidel), jízdní doba (doba jízdy v úseku), přítomnost (pomocná binární veličina – vozidlo je/není na daném místě) a další. [8]

1.1.3 Vztahy mezi veličinami

Tři základní charakteristiky tvoří rovnici homogenity (kontinuity):

$$q = v_s \cdot k \quad (10)$$

Přestože není možné měřit hustotu při profilovém sledování dopravního proudu, díky této rovnici ji dokážeme určit. Závislosti mezi základními veličinami znázorňují dynamické charakteristiky (viz Obr. 2). [8]



Obr. 2: Diagramy: a) rychlost-intenzita, b) hustota-intenzita, c) rychlost-hustota

1.1.4 Klasifikace dopravy

Klasifikace dopravy slouží jako měřítko pro kvalitativní posouzení dopravy a jako náhled do perspektivy, z které řidiči vnímají podmínky na komunikaci. Kvalita dopravy je určena

na základě hodnot výše uvedených veličin a modelů (pozice v diagramech na Obr. 2). Vždy je třeba změřit alespoň dvě veličiny (např. v a q). Vliv mají ale i další faktory, jako šířka pruhu, uspořádání okolí komunikace a skladba dopravního proudu, které ovlivňují kapacitu a tím i rozsah a tvar křivek v diagramech. [4]

Kvalita dopravy je v ČR odstupňována do pěti kategorií 1 – 5. Stupně jsou charakterizovány slovním popisem.

Stupeň 1: Po komunikacích se pohybují pouze jednotlivá vozidla, jízda je zcela plynulá, rychlost jízdy je omezena pouze maximem stanoveným pravidly silničního provozu a technickými možnostmi vozidel.

Stupeň 2: Po komunikacích se pohybují malé skupinky vozidel, nevznikají kolony, provoz je zcela plynulý. Vozidla se vzájemně mírně ovlivňují.

Stupeň 3: Po komunikacích se pohybují proudy vozidel, provoz je dosud plynulý, ale vyznačuje se sníženou průměrnou rychlostí, která již v žádném úseku nedosahuje předpisem stanoveného maximálního rychlostního limitu. Intenzita se blíží maximu.

Stupeň 4: Po komunikacích se pohybují kolony vozidel, provoz postrádá plynulosti a vyznačuje se výrazně sníženou průměrnou rychlostí. Vozidla se vzájemně silně ovlivňují.

Stupeň 5: Na komunikacích stojí nebo se jen velmi pomalu pohybují kolony automobilů. Průměrná rychlost klesla na minimum. Situaci lze označit za pomalu jedoucí nebo stojící kolonu. [14]

Pro objektivní klasifikaci lze využít např. diagram závislosti v - q (viz Obr. 2a)). Při určování konkrétní situace je vhodné vytvořit nejprve model závislosti ze skutečných dat a podle něj postupovat. [4]

1.2 Dopravní detektory

Dopravní detektory jsou zařízení sloužící k měření dopravních veličin. Detektory můžeme dělit do kategorií podle různých parametrů, např. podle: fyzikálního principu, stavebně technického uspořádání, měřených veličin apod. [4] Výčet v tomto textu je zaměřen na detektory využívané v silniční dopravě. Všechny uvedené detektory lze použít k měření veličin, které potřebujeme pro určení stupně dopravy.

1.2.1 Kontaktní dopravní detektory

Pro detekci objektu kontaktním detektorem je vyžadován mechanický styk objektu a detektoru. Patří mezi ně zejména detektory pneumatické, piezoelektrické a trolejové kontakty, případně lze zařadit i tlačítka pro chodce. [4]

1.2.1.1 Pneumatické detektory

Jedná se o uzavřenou hadici položenou napříč přes vozovku. Při průjezdu vozidla se objem vzduchu uvnitř sníží, dojde k nárůstu tlaku, tím se aktivuje spínač, který vyšle signál do samotného detektoru. Pneumatické detektory jsou použitelné k měření intenzity, obsazenosti, rychlosti nebo klasifikaci vozidel podle počtu náprav.

Pneumatický detektor je neintrusivní (tj. nenarušuje vozovku), snadno a rychle se instaluje a má příznivé pořizovací náklady. Nevýhodou je citlivost na změny teplot a možnost poškození hadice průjezdem vozidel. V dnešní době se pneumatické detektory používají již jen velmi zřídka, pro operativní (krátkodobé) měření nebo průzkum. [1], [6]

1.2.1.2 Piezoelektrické detektory

Kabel obdélníkového průřezu se umísťuje do vozovky napříč jízdním pruhem. Při průjezdu vozidla je krystal uvnitř zatížen a stlačen, elektrická těžiště iontů se v krystalové mřížce posunou a vzniká elektrické napětí (piezoelektrický jev). Detektor pracuje dynamicky, čili zaznamenává pouze jedoucí vozidla. Využití piezoelektrických detektorů leží zejména v měření hmotnosti vozidel za pohybu, dále v určování intenzity a klasifikaci vozidel.

Jedná se o detektor intrusivní (zabudovává se do vozovky). Výhodou je jeho teplotní, elektrická i mechanická stabilita. [1], [4], [6]

1.2.2 Ultrazvukové dopravní detektory

Ultrazvukové detektory využívají akustického vlnění o frekvenci nad hranicí slyšitelnosti lidského ucha (nad 25 kHz). Detektor vysílá puls a měří čas do návratu odražené vlny. Ultrazvuková detekce se využívá k určování intenzity a výšky a délky vozidel. [1], [4], [6]

Detektory jsou neintrusivní, ale dosahují nízké přesnosti. Vliv mají změny teploty a povětrnostní podmínky (při rychlosti větru nad 10 m/s lze detektor použít s obtížemi). [2]

1.2.3 Optické dopravní detektory

Optické detektory přijímají, příp. také vysílají optický paprsek (infračervený, laserový). Proto rozlišujeme pasivní a aktivní infračervené detektory, mezi aktivní patří např. světelné závory, které budou uvedeny samostatně.

1.2.3.1 Aktivní infračervené detektory

Infračervené (IR) detektory využívají elektromagnetického záření o vlnové délce větší, než má viditelné světlo (z blízké IR oblasti, kolem 850 nm). Detektor vysílá vlny v IR pásmu a zachycuje jejich odraz od vozidel. Aktivní IR detektory určují intenzitu, rychlost, obsazenost a kategorii vozidla.

Jedná se o neintrusivní detektory, jejichž přesnost je opět ovlivňována povětrnostními podmínkami. [1], [6]

1.2.3.2 Pasivní infračervené detektory

Pasivní detektor sám žádné záření nevysílá. Zaznamenává energii vyzářenou při průjezdu vozidla, pracuje v oblasti 800 – 1 400 nm. Používá se např. k počítání náprav vozidla, k zjišťování přítomnosti, rychlosti a délky.

Jde o neintrusivní detektory, vzdálenější IR oblast, ve které operují, snižuje vliv povětrnostních podmínek. Vyžadují složitou kalibraci. [1], [4], [6]

1.2.3.3 Světelné závory

Světelné závory na rozdíl od ostatních aktivních IR detektorů nevysílají rozprostřeně, nýbrž pouze paprsek do jednoho směru. Jednocestné světelné závory se používají k detekci překážky mezi vysílačem a přijímačem. V případě reflexní světelné závory se vysílač i přijímač nacházejí na stejném místě a optický paprsek se odráží od odrazky. Při přerušení optické dráhy (přijímač nezaznamenává paprsek) dojde k aktivaci výstupu detektoru. Využití je např. v zjišťování dodržení maximální výšky vozidla, měření intenzity. [4], [6]

Světelná závora je neintrusivní zařízení, nicméně optické paprsky jsou ovlivňovány povětrnostními podmínkami. Reflexní světelné závory mají dosah do 10 m, jednocestné závory několikanásobně větší. [2]

1.2.4 Mikrovlnné radary

Radary využívají elektromagnetických vln o vlnové délce 1 – 30 cm o standardní frekvenci přibližně 24 GHz. Vysílají impulsy o vysokém výkonu a vzdálenost detekovaných objektů určuje pomocí časové korelace vyslaného a přijatého (odraženého) signálu. Díky Dopplerovu efektu dokáže radar určit i rychlost vozidla. Radar může vysílat pulsní, nemodulovanou spojitou vlnu nebo frekvenčně modulovanou spojitou vlnu. Výhodou posledně jmenovaného je schopnost detekce i stojícího vozidla. Radary mohou být staticky umístěny na portále nad vozovkou nebo vedle vozovky tak, že s měřeným vozidlem a směrem jízdy svírají úhel cca 20°. Dále je možné jejich použití i za pohybu ve vozidlech.

Radary jsou neintrusivní zařízení, které není citlivé ke špatnému počasí a poskytuje přímé měření rychlosti. [1], [4], [6], [12]

Radary jsou vhodné k měření rychlosti pro klasifikaci dopravního proudu.

1.2.5 Magnetometrické detektory

Magnetické detektory zaznamenávají změny v magnetickém poli Země [4]. Jsou to fluxgate magnetometry a indukční magnetometry.

1.2.5.1 Fluxgate magnetometry

Jedna nebo více válcových sond se instaluje do navrtaných děr o hloubce 30 cm ve vozovce. Obsahuje dvě cívky a detekuje změnu hustoty siločar magnetického pole Země. Určuje intenzitu, obsazenost, přítomnost.

Fluxgate magnetometry jsou intrusivní zařízení. Lze je použít na mostech, mají vyšší mechanickou odolnost. Jejich využití není možné v oblastech kolem rovníku, kde je příliš nízký sklon magnetických siločar. [11]

1.2.5.2 Indukční magnetometry

Zařízení ve tvaru projektilu je tunelem zasunuto pod vozovku. Při průjezdu vozidla v okolí detektoru se změní magnetické pole Země a indukuje se napětí. Používá se k určování intenzity a obsazenosti.

Indukční magnetometr je intrusivní detektor, ale s relativně malými zásahy do vozovky. Má nízké napěťové nároky a vyšší mechanickou odolnost. Pracuje dynamicky, tzn., že reaguje pouze na změnu – projíždějící vozidlo. [11]

1.2.6 Videodetekce

Videokamera, umístěná optimálně 10 m nad dopravním proudem, snímá obraz, na němž lze vytvořit libovolné tvary a množství virtuálních detektorů. Detektorům se přiřadí různé funkce. Vozidlo projíždějící přes virtuální detektor změní hodnoty barev a jasu a je rozpoznáno. Videodetekcí lze určovat intenzitu, přítomnost, rychlost, obsazenost i kategorii vozidla, a to ve více jízdních pruzích. [6]

Videodetekce je neintrusivní a všestranná metoda. Polohu a funkci virtuálních detektorů lze snadno optimalizovat a snímaný obraz může být dále využíván v řídicím centru pro zobrazení situace. Nevýhodou je vyšší cena a problémy při zhoršené viditelnosti. [4]

1.2.7 Detektory pro úsekové měření

Při úsekovém měření se používá více detektorů rozmístěných podél komunikace. Měří se především úseková rychlost a doba jízdy. Je zde nutné párování dat z detektorů, proto je nezbytné vozidla identifikovat. K tomuto účelu slouží např. zařízení Bluetooth ve vozidlech, která komunikují s detektorem, který právě míjejí. Na obdobném principu funguje technologie RFID čipů. Další možností je použití systému rozpoznávání RZ vozidel z videa.

1.2.8 Indukční smyčky

Indukční smyčky jsou nejpoužívanějšími detektory [6]. Lze jimi zjišťovat intenzitu, přítomnost, obsazenost, rychlost a kategorii vozidla [11]. Měření intenzity dopravy indukčními smyčkami je natolik spolehlivé, že je považováno za referenční měření [4]. Běžné smyčky bývají 1 – 3 m dlouhé a 2 až 2,5 m široké [1].

1.2.8.1 Princip činnosti

Indukční smyčka se nachází 3 – 10 cm pod obrusnou vrstvou vozovky. Je tvořena cívkou s indukčností [4]:

$$L = \mu_0 \mu_r \frac{N^2 S}{l}, \quad (11)$$

Používají se cívky s indukčností 200 – 300 μH .

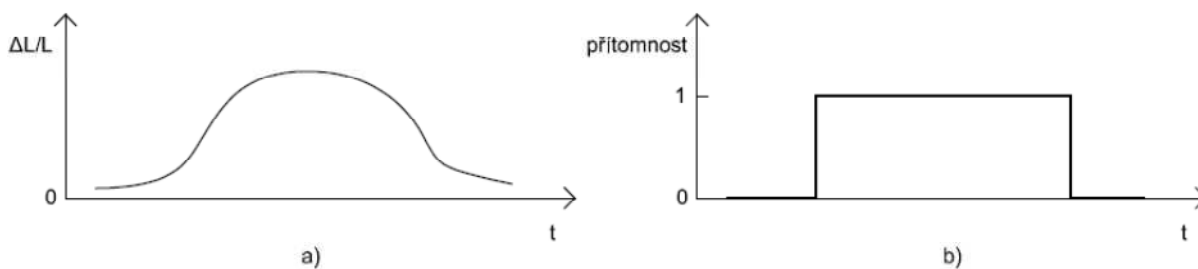
Cívka je napájena z oscilátoru 20 – 150 kHz. Kolem závitů vzniká homogenní magnetické pole. Při přítomnosti vozidla je magnetické pole narušeno, protože ve vodivých částech vozidla vznikají vířivé proudy, které působí nárůst ztrátového odporu a snížení indukčnosti cívky. Nastávají změny amplitudy (snížení), frekvence (zvýšení) a posuv fáze. Tento stav se

nazývá rozladění a jeho velikost závisí na tvaru a rozměrech smyčky, překrytí smyčky vozidlem, délce přívodu, hloubce uložení a materiálu a armování vozovky. [11]

1.2.8.2 Měřené parametry

Indukční smyčka může pracovat jako přítomnostní detektor nebo jako pulsní detektor. Pulsní detektor reaguje na průjezd vozidla impulsem. Slouží ke zjišťování intenzity.

Přítomnostní detektor zaznamenává celou dobu pobytu vozidla nad smyčkou a jsou kladeny vyšší nároky na jeho stabilitu. Kromě intenzity dokáže zjišťovat obsazenost ze vztahu (7). Výstup z přítomnostního detektoru se liší podle účelu (Obr. 3). Chceme-li analyzovat průběh rozladění, bude jeho tvar zachycen, jak je zobrazeno v části (a). Pokud nám stačí vědět, kdy smyčka rozladěna je a kdy ne, budou v grafu existovat pouze dvě polohy – binární výstup (b). [4]



Obr. 3: Výstupy z přítomnostního detektoru

Mezi speciální funkce indukční smyčky patří rozlišování směru jízdy, které se uplatní v bezpečnostních systémech. Dvojice smyček musí být aktivována ve správném pořadí, pokud se tak nestane, jsou varováni jak řidič jedoucí v protisměru, tak řidiči jedoucí správným směrem, kterým hrozí kolize. [4]

Kategorizaci vozidel lze provádět nad jednou smyčkou z délky obsazenosti, kdy je třeba přijmout předpoklad, že nákladní automobil stráví nad smyčkou asi dvojnásobek doby, po kterou projíždí osobní automobil. Tato metoda vyžaduje, aby byla rychlost vozidel rovnoměrná a neomezená tvorbou kolon. Jsou-li k dispozici dvě smyčky, lze dopravní proud dělit do dvou kategorií podle délky. Vozidla kratší než vzdálenost mezi smyčkami je neobsadí obě zároveň, delší vozidla ano. [4]

Rychlost vozidel se přibližně určuje z jedné smyčky pomocí doby obsazenosti [4]:

$$v = \frac{(l_s + l_v)}{t_{obs}} \quad (12)$$

Tato metoda je však málo přesná vzhledem k tomu, že není možné věrohodně určit délku jednotkového vozidla.

Nejrozšířenější měření rychlosti se provádí dvěma smyčkami. Při vyhodnocování se buď počítá s časovým rozdílem mezi aktivací smyček a jejich vzdáleností, což vyžaduje, aby obě smyčky měly stejné vlastnosti (rozměr, rozladění):

$$v = \frac{s}{\Delta t} \quad (13)$$

Nebo se jako časový údaj bere rozdíl středních hodnot obsazenosti a vzdálenost středů smyček, což eliminuje vliv různých citlivostí a délek. [4]

V současnosti se provádí určování rychlosti i kategorie vozidla na jedné smyčce. To vyžaduje vyšší frekvenci vzorkování a znalost typických tvarů signálu při průjezdu vozidla. Nižší (osobní) vozidlo působí větší rozladění než nákladní. Na výstupu lze určit i počet náprav, které se v grafu projeví jako lokální extrém. Strmost náběhové hrany odpovídá rychlosti jízdy. [4]

2 Využití informací o dopravním proudu

Data získávaná průběžným monitorováním dopravní situace získávají uplatnění v přímém řízení dopravy prostřednictvím SSZ a omezováním dovolené rychlosti, při strategickém plánování, při řešení krizových situací (např. zásah IZS) a v poskytování informací účastníkům provozu. Řidiči mohou podle informací o dopravní situaci na vybrané cestě k cíli zvážit zvolení alternativní trasy. Aby tak učinili, je nezbytná vysoká spolehlivost dodávaných informací, řidič musí systém hodnotit jako důvěryhodný.

2.1 Předání informace

Řidič může informace o dopravní situaci získat různými způsoby. Při plánování cesty má možnost najít si informace na internetu. Na trase jsou mu pak informace předávány informačními tabulemi a také přímo do vozidla. Naopak přímo z vozidla mohou být nové informace posílány do systému. Veškerá tato data pochází z dopravních informačních center (DIC, viz kap. 2.3.1) nebo z kooperativních systémů (viz kap. 2.1.4).

2.1.1 Informace před jízdou

V rámci přípravy na cestu mohou být informace předány řidiči prostřednictvím internetu a televizního vysílání. Řidič má možnost najít si aktuální stupně dopravy, stavební práce, dopravní omezení a nehody na množství různých webových stránek nebo se o nich dozvědět v některém z televizních pořadů. Výhodou je, že před jízdou dokáže řidič pojmout větší objem informací, má možnost si snáze naplánovat případnou alternativní trasu i v případě, že se v místě nevyzná, a dokonce může zvolit i jiný druh přepravy než osobní automobil.

2.1.2 Informace podél komunikace

Podél komunikace jsou řidiči informace nejčastěji předávány prostřednictvím proměnných informačních tabulí (PIT), příp. proměnného dopravního značení (PDZ). PIT bývají umístěny vedle vozovky nebo na portálech nad vozovkou. Zobrazované zprávy musí být stručné a jasné (řidič má pouhých několik sekund na to, aby zprávu zaregistroval, přečetl a pochopil). Typicky se zobrazují údaje o době jízdy, upozornění na nehody, uzavírky, informace o stupni dopravy a návrh nejvýhodnější trasy.

Nápisy jsou vytvářeny automaticky v řídicím centru, lze je však měnit i manuálně, jak vzdáleně, tak i přímo na místě. Komunikace tabule s řídicím centrem může být zajištěna po metalickém nebo optickém vedení, příp. rádiovým spojením, GSM, SMS. Tabule dostává

příkaz změnit nápis a zpět odesílá potvrzení o provedení změny, informace o celkovém stavu a případné upozornění na výpadek.

Informační tabule dovolují zobrazit pouze text nebo jsou grafické. Nejčastěji se informace zobrazují pomocí LED nebo bistabilních elementů. Diody LED, uspořádané do matice, mají obvykle žlutou nebo oranžovou barvu. Bistabilními elementy rozumíme kruhové elektromagnetické terčíky, které mají černý nátěr z jedné strany, výrazný žlutý nátěr z druhé. Působením impulsu elektrického proudu se překlápějí do žádané polohy. Jejich výhodou je, že po překlopení není třeba průběžného napájení pro udržení zobrazované informace. Nicméně pro lepší viditelnost, zejména v noci, se bistabilní elementy doplňují diodami LED, které se rozsvěcí zároveň s překlopením terčíku.

[3], [5]

2.1.3 Informace do vozidla

Komunikace s vozidlem může být buď jednosměrná, nebo obousměrná. V prvním případě vozidlo pouze pasivně přijímá informace, v druhém případě navíc odesílá údaje o sobě.

Nejjednodušším jednosměrným způsobem předání informací o dopravní situaci je rozhlasové vysílání. Stačí, když je vozidlo vybaveno rádiovým přijímačem. Nevýhodou je, že řidič dostává informace i z jiných oblastí, kde se sám nepohybuje, a které pro něj nejsou relevantní. Řešením může být použití lokálních vysílačů, které pokrývají jen určitou omezenou oblast. Na pokročilejší úrovni (RDS) lze navíc zajistit, že dopravní hlášení bude přehráno i v případě, že řidič právě poslouchá jinou stanici.

Systém RDS-TMC pracuje se standardizovanými krátkými zprávami, které jsou vysílány mimo rozhlasové stanice. Číselný kód zprávy je přenesen do palubní jednotky ve vozidle. Z databáze je vybrána příslušná zpráva a přehraje se řidiči. Právě díky tomuto postupu může být zpráva přehrána ve zvoleném jazyce kdekoliv v zahraničí. Vysílače pokrývající určité území vysílají informace, které se k tomuto území vztahují.

Dále se informace může dostat do vozidla z majáků v okolí komunikací (bez RDS) a pomocí kooperativních systémů (viz kap. 2.1.4).

[3], [5]

2.1.4 Kooperativní systémy

V případě obousměrné komunikace navíc odesílají vozidla vybavená palubní jednotkou (mobilním telefonem nebo vysílačem DSRC) informace o své poloze a změnách rychlosti. Stávají se tak vlastně plovoucími vozidly a mohou poskytovat cenná data, která jsou zpracována a následně použita pro informování dalších vozidel, která to potřebují. Komunikace může probíhat jak mezi vozidlem a infrastrukturou (C2I) – poloha, rychlost apod., tak mezi samotnými vozidly (C2C) – např. prudké brzdění.

[3], [5]

2.2 Integrace do městského dopravního systému

Je vhodné propojení informačních systémů (TIS – Traffic Information System) a řídicích systémů (UTC – Urban Traffic Control). Vzájemné vazby mezi TIS a UTC jsou definovány čtyřmi úrovněmi 0 až 3. Na úrovni 0 spolu systémy vůbec nespolupracují, každý funguje nezávisle na druhém. Na úrovni 1 existuje jednosměrná komunikace obvykle od UTC k TIS. UTC pak pracuje samostatně a podřízený TIS své výstupy přizpůsobuje informacím obdrženým od nadřízeného UTC. Na úrovni 2 je již zajištěna obousměrná komunikace. Systémy pak pracují nezávisle, ale koordinují si mezi sebou strategie řízení. Na úrovni 3 jsou pak oba systémy spojeny v jeden celek.

Oba systémy pracují se stejnými daty ze strategických dopravních detektorů. TIS může mít navíc k dispozici informace z jednotlivých vozidel (viz kap. 2.1.4). V oblastech s vysokými intenzitami je nutná pro úspěšné řízení dopravy integrace systémů UTC a TIS na vyšší úrovni, 2 nebo 3. Snaží-li se TIS odklonit vozidla na alternativní trasu, je třeba, aby ho UTC podpořil vhodnými signálními plány na SSZ apod.

Pro stabilitu řízení dopravní sítě je třeba vytvářet důvěryhodné prognózy dopravní situace. Prognóza by měla být minimálně na 30 minut, lépe na 60 minut dopředu. Lze tak rozdělit dopravní proud po alternativních trasách podle aktuální a předvídané situace.

[3], [5]

2.3 Praxe v ČR

V České republice funguje Národní dopravní informační centrum, které se stará o realizaci projektu Jednotného systému dopravních informací pro ČR. Hlavní město je řízeno Hlavní dopravní řídicí ústřednou (HDRÚ), pod níž spadá i soustava SSZ na Smíchově, o níž bude

dále v textu psáno (kap. 2.3.3). Silniční okruh kolem Prahy (SOKP) je řízen ze samostatného řídicího centra.

2.3.1 NDIC

Národní dopravní informační centrum (NDIC) je centrálním pracovištěm Jednotného systému dopravních informací pro ČR (JSDI). Po stránce technické, technologické, provozní i organizační zajišťuje sběr, zpracování a ověřování dopravních dat z celého území ČR. NDIC zahájilo činnost 1. 11. 2005 a od roku 2008 sídlí v Ostravě. [16]

2.3.1.1 Sběr dat

Nepřetržitě shromažďuje informace o nehodách, uzavírkách, kolonách, počasí apod. Kontroluje jejich kvalitu a správnost, doplňuje je, provádí aktualizace a sleduje mimořádné události až do jejich ukončení a plného obnovení provozu. Data sbírá od IZS, správců komunikací, silničních správních úřadů, obecní a městské policie, celního úřadu, Českého hydrometeorologického ústavu, vlastníků, správců nebo provozovatelů inženýrských sítí a přepraveců nadměrných a nebezpečných nákladů. Dále využívá dohledový kamerový systém, detektory intenzity, silniční meteorologický systém, systém elektronického mýta, systém liniového řízení provozu SOKP, systém sčítání dopravy, detekce kolon a sledování dopravního proudu, řídicí systémy tunelů, DIC měst a detekci jízdy vozidel v protisměru.

Získané informace jsou zpracovávány pro účely informování řidičů a cestujících. Další funkcí NDIC je vedení a správa archivu historických dat.

[15], [16]

2.3.1.2 Výstupní informace

Vyhodnocené informace distribuuje na proměnné informační tabule. V roce 2012 ovládalo NDIC cca 100 informačních portálů na dálnicích a rychlostních silnicích. Dále je poskytuje přibližně stovce odběratelů – rozhlasovým a televizním stanicím, telekomunikačním operátorům apod. Neustále jsou zprávy rozesílány prostřednictvím služby RDS-TMC. Na dopravní portál www.dopravniinfo.cz provozovaný ŘSD odeslalo v roce 2011 NDIC celkem 3 129 124 zpráv. [16]

2.3.2 Řídicí centrum SOKP

Součástí povinností řídicího centra je mimo jiné dohled nad provozními, bezpečnostními a technologickými systémy tunelů nacházejících se na okruhu. Provoz okruhu je řízen

prostřednictvím portálů liniového řízení dopravy. Vybaveny jsou proměnnými dopravními značkami a tabulemi pro provozní informace. Publikovány jsou informace o nehodách, práci na silnici, kolonách a také povětrnostních podmínkách. V klidové situaci mohou být zobrazeny odhady dojezdových časů. [25]

2.3.3 Oblastní řízení ve městě – systém MIGRA

Pilotní projekt automaticky ovládaného informačního systému byl uveden do provozu na pražském Smíchově. Sestával ze 13 proměnných informačních tabulí a množství strategických a prodlužovacích dopravních detektorů před křižovatkami v oblasti. Deset tabulí bylo navíc po stranách vybaveno proměnnými dopravními značkami. Projekt byl rozšířen na celou Prahu.

Informační tabule zobrazují nápisy pomocí bistabilních elementů doplněných LED pro lepší viditelnost. Sestávají ze 48 modulů ve třech řadách, které dovolují používat plnou diakritiku. S HDRŮ komunikují prostřednictvím rádiového signálu. Pro místní ovládání lze připojit PC.

Strategické detektory se nacházejí přibližně 100 až 160 metrů před křižovatkou. Snímají intenzitu, obsazenost a rychlost vozidel a tato data jsou s periodou 90 s ukládána do centrální databáze. Vyhodnotí se z nich stupeň dopravy pro jednotlivá místa a vybere se kódové číslo nápisu, který má být zobrazen na informační tabuli. Zároveň jsou z těchto dat vypočítávány parametry signálního plánu systémem MOTION. Tento systém kombinuje strategické řízení na základě účinného modelu dopravní sítě a schopnost téměř okamžitě reagovat na změny situace skrze úpravy jednotlivých signálních plánů. Jeho součástí je také modul CIM, který se zabývá nehodami a kongescemi. Křižovatky jsou navíc vybaveny prodlužovacími detektory cca 40 m před stopčárkou.

Systém výrazně zvyšuje plynulost a bezpečnost provozu a napomáhá snížit spotřebu pohonných hmot, což má pozitivní dopad na životní prostředí. [17]

2.4 Zahraniční praxe

V této kapitole budou uvedeny příklady aplikace informačních systémů ve světě.

2.4.1 Berlín

Informace o dopravní situaci v Berlíně podává VIZ (Verkehrsinformationszentrale). Data získává z detektorů a z plovoucích vozidel. Po zpracování je prezentuje na internetu a zároveň

probíhá přímo z VIZ rádiové vysílání o dopravní situaci každých 30 minut, v době špičky každých 15 minut. [24]

2.4.2 Paříž a okolí

Doprava v Paříži a jejím okolí je řízena systémem SIRIUS (Système d'information pour un Réseau Intelligent aux Usagers). Systém sestává z 6000 smyčkových detektorů, 790 kamer a 300 proměnných informačních tabulí. Informuje řidiče nejen o nehodách, uzavírkách a kongescích, ale i o znečištění, počasí apod. [20]

2.4.3 Londýn

London Congestion Analysis Project (LCAP) má k dispozici data z Automatic Number Plate Recognition (ANPR). Jedná se o identifikaci vozidel na záběrech z více než 2000 kamer. Zpracováním těchto dat poskytuje LCAP cenné informace o jízdách. [18]

Dalším londýnským systémem je IRID (Image Recognition and Incident Detection), který pomocí analýzy záběrů z videokamer dokáže rozpoznat tvorbu kongesce a upozorní řídicí pracoviště LTCC (London Traffic Control Centre). Systém je schopen pracovat i za náročných povětrnostních podmínek, jako jsou prudké slunce, mlha a déšť. [18], [19]

2.4.4 Los Angeles

Ve městě Los Angeles ve Spojených státech amerických je zaveden systém ATSAC (Automated Traffic Surveillance and Control). Řídí více než 4 400 křižovatek se SSZ, využívá cca 20 000 smyčkových detektorů a 500 míst je osazených kamerovým systémem. Data z detektorů jsou zpracována a převedena do map města na webových stránkách. Jednotlivé ulice jsou v mapách označeny barvami podle rychlosti, jakou se tam dopravní proud pohybuje. [23]

2.4.5 Japonsko

Dopravní data shromažďuje JARTIC (Japan Road Traffic Information Center), zpracuje je a předává na informační tabule, do rádiového a televizního vysílání, na webové stránky a mobilní aplikace [21]. Informace také distribuuje pro službu VICS (Vehicle Information and Communication System). VICS pak dodává zprávy o dopravní situaci do vozidel FM rádiovým vysíláním nebo prostřednictvím IR nebo rádiových vysílačů podél rychlostních i jiných komunikací. Zpráva může být pouhý text, jednoduchý diagram nebo se mohou data zavést do mapy uložené v navigaci. [22]

3 Návrh systému pro klasifikaci dopravního proudu

Cílem této části práce je s využitím teoretických znalostí získaných v předešlých kapitolách zpracovat návrh systému, který bude na základě dat z dopravních detektorů určovat stupeň dopravy. Nejdříve je třeba zpracovat surová data z detektoru a z nich určit hodnoty zvolených dopravních veličin v měřicích intervalech. Potom bude na základě údajů z posledního intervalu určen stupeň dopravy. Na závěr je informace o stupni dopravy předána těm, kteří o ni mají zájem (řidiči, policie atd.)

Návrh je směřován na silnici I/18 ve městě Příbram (ulice Evropská), cca 80 m před kruhovým objezdem, ve směru od sjezdu z R4 do města. V měřeném úseku se nachází pouze jeden jízdní pruh. Maximální dovolená rychlost je 50 km/h. Na Obr. 4 je vyznačena situace s místem měření (červeně) a umístěním PIT pro informování řidičů (modře). Černá čára představuje běžnou trasu do města, zelené čáry nabízejí dvě z alternativních variant.

Místo měření bylo zvoleno proto, že zde zejména v odpolední špičce vznikají kongesce, jak autorka práce ví z osobních zkušeností. Pokud by řidiči byli včas varováni, mohli by zvolit alternativní trasu do města. Obě PIT se nacházejí před křižovatkami, na kterých lze na alternativní trasy najet.

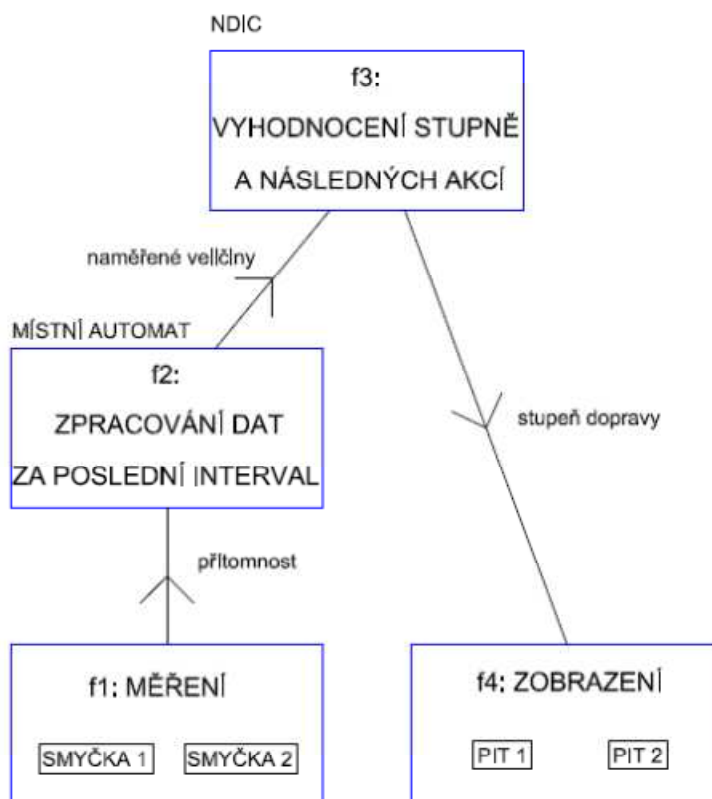


Obr. 4: Přehled oblasti (mapový podklad [27])

3.1 Účel a princip systému

Výstupem práce systému budou údaje o stupni dopravy a agregovaných zvolených veličinách. Tyto jsou důležité pro informování řidičů, řízení dopravy, strategické plánování a policii, která si může zjistit, jestli v úseku není často překračována nejvyšší dovolená rychlost. Pro řidiče je postačující stupeň dopravy, na ostatní účely jsou třeba i další data. Řidiči reagují na situaci v reálném čase, stejně jako systémy pro řízení dopravy pomocí SSZ a PDZ.

Na Obr. 5 je zobrazena základní funkční, fyzická a informační architektura systému. Měření (tedy funkce f_1) probíhá samozřejmě přímo na místě a tamtéž budou data automaticky zpracována v pravidelných měřicích intervalech (f_2). Údaje o měřených veličinách za poslední interval budou formou SMS odeslány do NDIC. Model pro určení stupně dopravy z těchto údajů bude uložen v NDIC proto, aby byly usnadněny další případné úpravy modelu za účelem vyšší přesnosti a důvěryhodnosti. Vyhodnotí se stupeň dopravy (f_3) a odešle se do PIT. V závislosti na stupni dopravy pak bude zobrazena řidičům, blízcím se k úseku měření, patřičná zpráva (f_4).



Obr. 5: Základní architektura systému

Údržba zařízení v místě (detektor, automat, PIT) spadá pod ŘSD, které může tímto úkolem pověřit Technické služby města Příbram.

Výměna informací mezi funkcemi f_2 a f_3 , také mezi f_3 a f_4 bude probíhat v otevřeném formátu, např. XML nebo pomocí speciálně definované SMS. Pro kontrolu budou zprávy obsahovat kontrolní kód, kterým ověříme integritu dat, tzn., že data pocházejí skutečně z originálního zdroje a nebyla pozměněna během přenosu. Navíc bude uveden čas odeslání.

Naznačená podoba zprávy mřící z automatu do NDIC:

```
<data>
<kod>123456789</kod>
<casove_razitko>čas odeslání</casove_razitko>
<porucha>E</porucha>
<dostupnost_rychlosti>D</dostupnost_rychlosti>
<rychlost>v</rychlost>
<intenzita>q</intenzita>
</data>
```

Naznačená podoba zprávy mřící z NDIC do PIT:

```
<data>
<kod>987654321</kod>
<casove_razitko>čas odeslání</casove_razitko>
<porucha>e</porucha>
<stupen>SD</stupen>
</data>
```

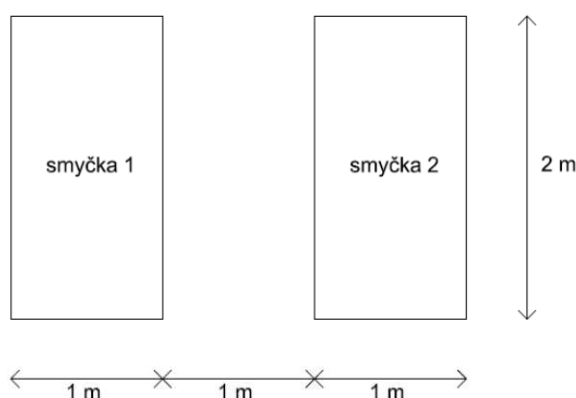
3.2 Vstupní veličiny pro klasifikaci

V rámci přípravy na návrh funkcí f_1 a f_2 (viz Obr. 5) systému pro automatickou klasifikaci dopravního proudu je třeba zvolit následující: vhodné měřené veličiny, detektor a parametry měření vybraných veličin.

Pro určení stupně dopravy je třeba znát hodnoty alespoň dvou veličin dopravního proudu ze tří (intenzita, rychlost, hustota) (viz kap. 1.1.4). Vzhledem k tomu, že hustota k není přímo zjistitelná bodovým měřením, budou v návrhu použity veličiny intenzita q a rychlost v . V praxi se setkáváme s měřením obsazenosti κ místo hustoty k , nicméně následný přepočet je méně spolehlivý kvůli potřebě stanovit efektivní délku vozidla l_e (viz kap. 1.1.2.3).

3.2.1 Detektor

K detekci veličin dopravního proudu bude sloužit dvojice indukčních smyček. Indukční smyčky byly zvoleny pro svou vysokou spolehlivost (viz kap. 1.2.8). Dvojice smyček bude použita pro určování rychlosti v , vypočítáme ji ze vzdálenosti mezi smyčkami a doby uplynulé mezi jejich aktivací podle (13) (viz kap. 1.2.8.2). Smyčky budou mít obdélníkový tvar o délce 1 m a šířce 2 m , tato konfigurace se běžně používá při měření na dálnicích a lze ji použít i na silnicích I. třídy (Obr. 6).



Obr. 6: Nákres rozměrů smyček

Údaj o intenzitě q bude přicházet z první i druhé smyčky, vybere se vždy maximum z těchto dvou. Tímto postupem zabráníme zkreslení výsledku při výpadku jedné ze smyček, ke kterému by docházelo při použití aritmetického průměru nebo q pouze z jedné smyčky. Přestože nepotřebujeme zjišťovat obsazenost, volíme přítomnostní detektory, které zachycují pobyt vozidla nad smyčkou (viz kap. 1.2.8.2). Vzdálenost mezi smyčkami s bude činit 1 m , tak dosáhneme toho, že budeme schopni spárovat průjezd nad první smyčkou s průjezdem nad smyčkou druhou, přestože vozidla neidentifikujeme. Z důvodu malé vzdálenosti detektorů se nestane, že vozidlo zůstane stát mezi nimi, jelikož musí druhý detektor aktivovat ještě v době, kdy se nachází nad prvním.

V Tab. 1 je zhodnocena vhodnost dalších typů detektorů.

Tab. 1: Vhodnost detektorů

Detektor	Intenzita	Rychlost	Důvod zamítnutí
pneumatický	ano	ne*	pouze krátkodobá měření
piezoelektrický	ano	ne*	pracuje pouze dynamicky
ultrazvukový	ano	ne*	citlivost na povětrnostní podmínky
optický	ano	ano	citlivost na povětrnostní podmínky

radar	ano**	ano	není určen pro měření intenzity
magnetometr	ano	ne*	menší zóna detekce
videodetekce	ano	ano	citlivost na zhoršenou viditelnost
indukční smyčka	ano	ano***	-

Pozn.: * – při aplikaci v páru ano; ** – není primárně určeno pro měření intenzity; *** – v páru i samostatně dle rozladění (viz kap. 1.2.8.2)

3.2.2 Parametry měření a zpracování intenzity

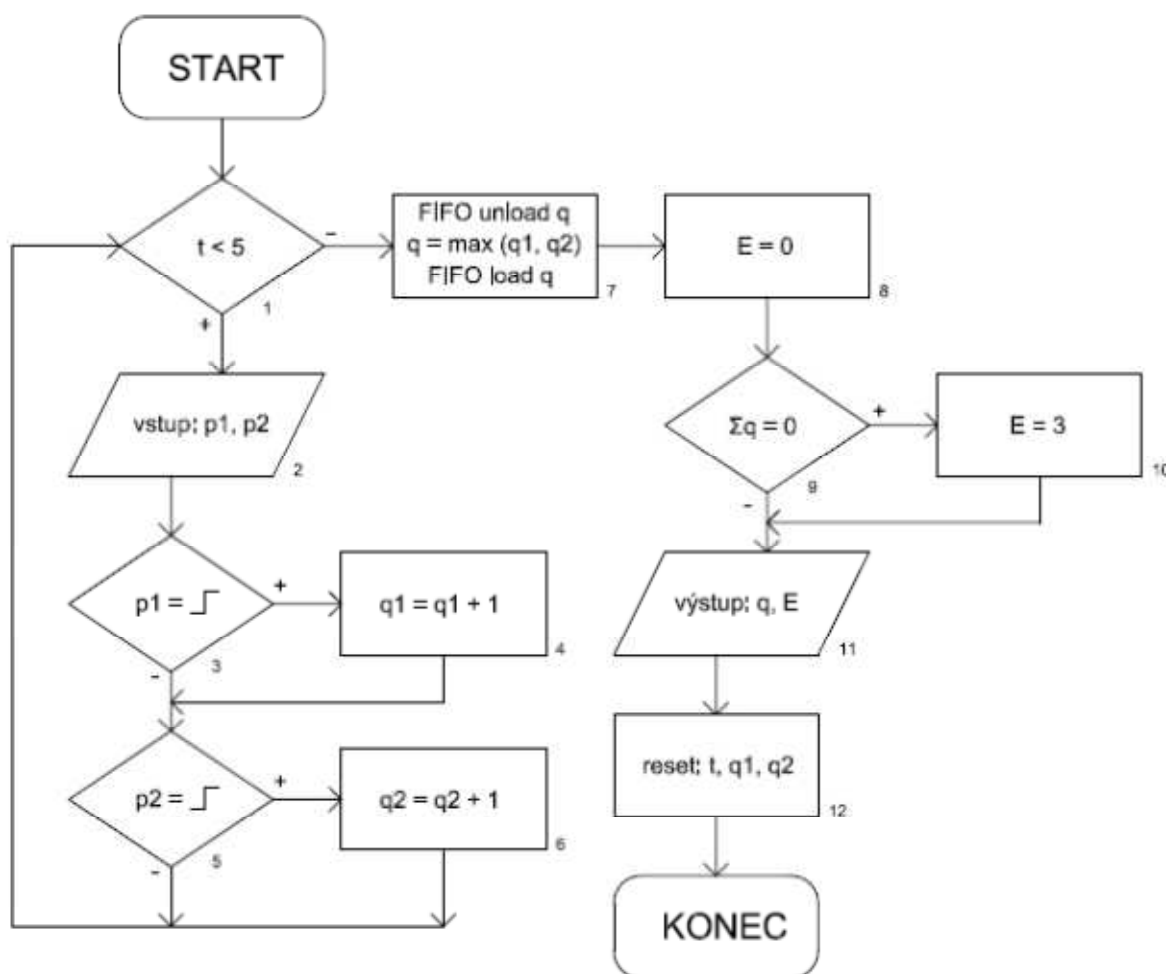
Průjezd vozidla, který se na výstupu funkce f_I projeví jako změna přítomnosti z 0 na 1 a zpět, se zaznamená navýšením hodnoty intenzity o 1, na konci měřicího intervalu se vybere vyšší z obou hodnot, jak již bylo uvedeno výše (viz kap. 3.2.1).

V rámci zpracování dat (funkce f_2) byl zvolen měřicí interval pět minut, to znamená, že intenzita bude mít jednotku *voz/5 min*. Je běžně používán a měl by se vyznačovat dostatečnou pružností, aby zaručil aktuální informace o dopravní situaci.

Na Obr. 7 je znázorněn vývojový diagram výpočtu intenzity. V průběhu měřicího intervalu 5 minut (blok 1, proměnná t), načítáme hodnoty přítomnosti p_1, p_2 na obou smyčkách (blok 2). Pokud se přítomnost změní z 0 na 1, projelo vozidlo a navýšíme průběžnou intenzitu (q_1 nebo q_2) na smyčce (bloky 3 až 6).

Po skončení intervalu vybereme vyšší z obou hodnot a vložíme ji do zásobníku o 12 pozicích metodou FIFO (proměnná q , blok 7), tzn. nejnovější hodnota nahradí nejstarší. Zásobník je zaveden z důvodu detekce poruch, více viz kap. 5.2. Pomocná proměnná E je nastavena na základní hodnotu 0 = „nebyl zaznamenán problém“ (blok 8). Pokud je ovšem součet intenzit q uložených v zásobníku roven nule (blok 9), přepíšeme E na číslo 3 = „pravděpodobně chyba obou smyček“ (blok 10). Na výstup pošleme nejnovější q a E (blok 11) a resetujeme proměnné t, q_1 a q_2 (blok 12). Na rozdíl od nákresu bude algoritmus v realitě probíhat cyklicky, tzn., že z bloku KONEC skočí opět na blok START.

Starší hodnoty intenzit ukládáme pro kontrolu funkce smyček. Pokud se totiž bude jejich suma rovna nule, znamená to, že všechny intenzity za poslední hodinu byly nulové, tzn., že neprojelo žádné vozidlo ani přes jednu ze smyček. Takovou situaci považujeme za vysoce nepravděpodobnou a objeví-li se takový výsledek, upozorňujeme pomocí E na možnost výpadku obou smyček (více viz kap. 5.4).



Obr. 7: Algoritmus výpočtu intenzity

3.2.3 Parametry měření a zpracování rychlosti

V okamžiku změny přítomnosti z 0 na 1 na výstupu funkce f_i se zaznamená časový údaj. Přesnost zvolíme s pomocí citlivostní analýzy. Naším požadavkem je schopnost rozlišit rychlosti tak, aby se v oblasti kolem 50 km/h (maximální povolená rychlost v úseku) nacházela vždy alespoň jedna hodnota, jejíž celá část je 51, 50, 49, 48 atd., čili rozdíly rychlostí (Δv) v Tab. 2 musí být menší nebo rovny 1 km/h. Jak je vidět, splňuje tento požadavek až záznam času s přírůstkem $\Delta 0,001$ s.

Pro představu o pohybu vozidel nad detektory různými rychlostmi byla vytvořena Tab. 3. Je zde uvedena doba jízdy mezi smyčkami (Δt) pro různé rychlosti a také doba obsazenosti detektoru (t_{obs}) osobním automobilem (o délce 4,6 m) a kamionem (o délce 17 m).

Dále byla stanovena minimální časová mezera mezi dvěma vozidly na základě zpracovaných údajů z měření v terénu (viz kap. 3.3), byla vždy vybrána nejnižší hodnota, která se objevila (Tab. 4).

Tab. 2: Výřez z citlivostní analýzy

$\Delta 0,1$											
t [s]	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1
v [km/h]	72	36	24	18	14,4	12	10,29	9	8	7,2	6,545
Δv [km/h]		36	12	6	3,6	2,4	1,714	1,286	1	0,8	0,655
$\Delta 0,01$											
t [s]	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21
v [km/h]	65,45	60	55,385	51,429	48	45	42,353	40	37,895	36	34,286
Δv [km/h]	6,545	5,455	4,615	3,956	3,429	3	2,647	2,353	2,105	1,895	1,714
$\Delta 0,001$											
t [s]	0,138	0,139	0,140	0,141	0,142	0,143	0,144	0,145	0,146	0,147	0,148
v [km/h]	52,174	51,799	51,429	51,064	50,704	50,35	50	49,655	49,315	48,98	48,649
Δv [km/h]	0,381	0,375	0,37	0,365	0,36	0,355	0,35	0,345	0,34	0,335	0,331

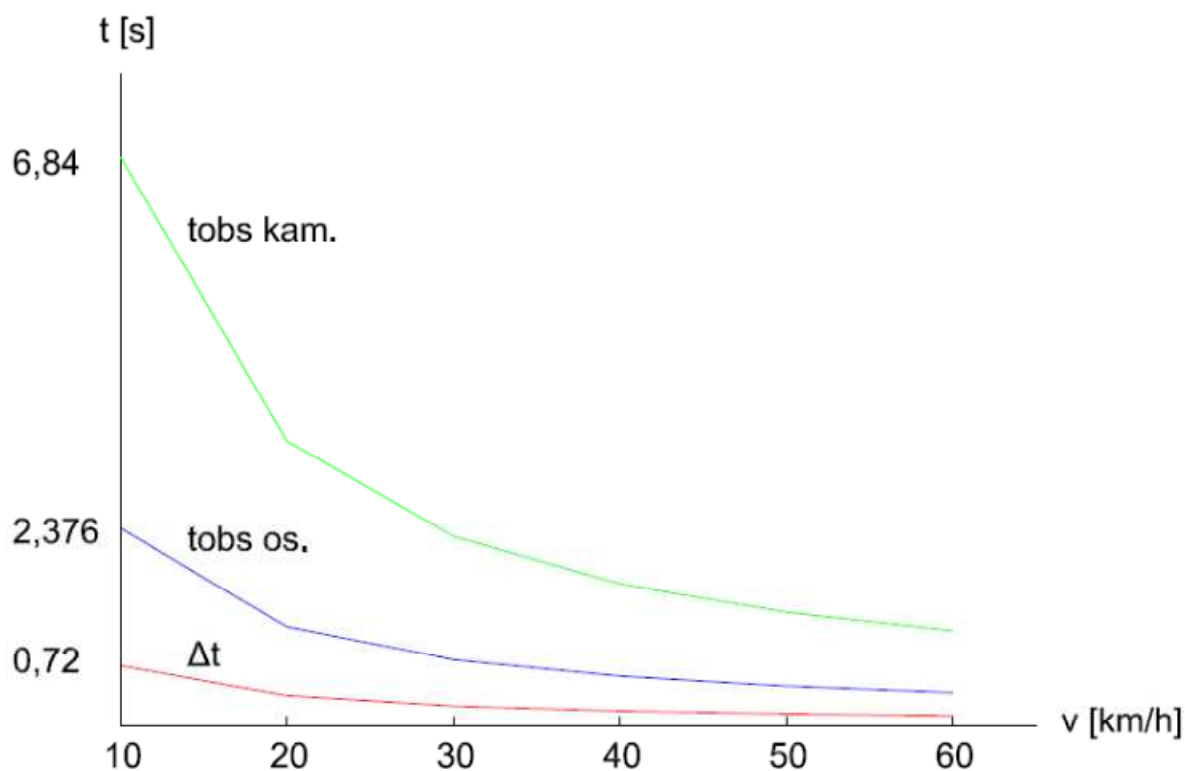
Tab. 3: Doba jízdy mezi detektory a doba obsazenosti

v [km/h]	10	20	30	40	50	60
Δt [s]	0,72	0,36	0,24	0,18	0,144	0,12
tobs os. [s]	2,376	1,188	0,792	0,594	0,4752	0,396
tobs kam. [s]	6,84	3,42	2,28	1,71	1,368	1,14

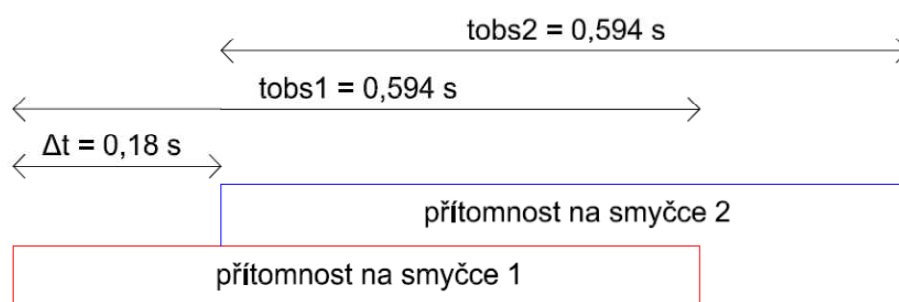
Tab. 4: Minimální časová mezera mezi dvěma vozidly

v [km/h]	50 a méně	více než 50
Δt [s]	1	2

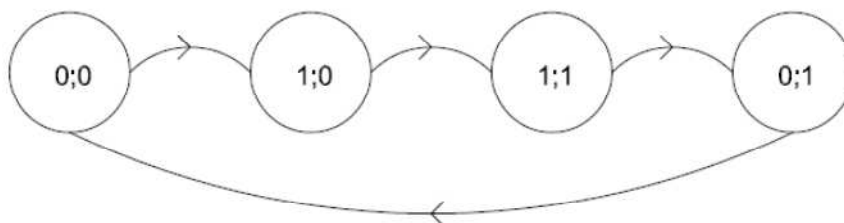
Kritickým momentem při běhu systému bude správné přiřazení momentu průjezdu vozidla nad druhou smyčkou k momentu průjezdu nad první (řešeno v rámci funkce f_2). Párování průjezdů jednoho vozidla nad první a druhou smyčkou se nicméně zjednoduší nízkou vzdáleností smyček 1 m. I pro velmi krátká vozidla, jako jsou malé motocykly, bude platit, že vozidlo nemůže zůstat stát mezi detektory, aniž by některý z nich rozladilo, a že ve chvíli aktivace druhé smyčky bude zároveň stále nad smyčkou první. Jak je vidět z Tab. 3 a Obr. 8, doba jízdy mezi detektory (mezi aktivací první a druhé smyčky) je výrazně menší než doba obsazenosti detektoru, což dokazuje, že v momentě náběhu rozladění druhé smyčky bude vozidlo stále obsazovat i smyčku první (pro příklad osobního vozidla jedoucího 40 km/h viz Obr. 9). Výstupy z první a druhé smyčky (p_1 ; p_2) při správném projetí vozidla (bez ohledu na jeho rychlost a typ) tedy po sobě musí následovat v pořadí, jak je znázorněno na Obr. 10.



Obr. 8: Graf dob jízdy mezi detektory a dob obsazenosti pro různé rychlosti



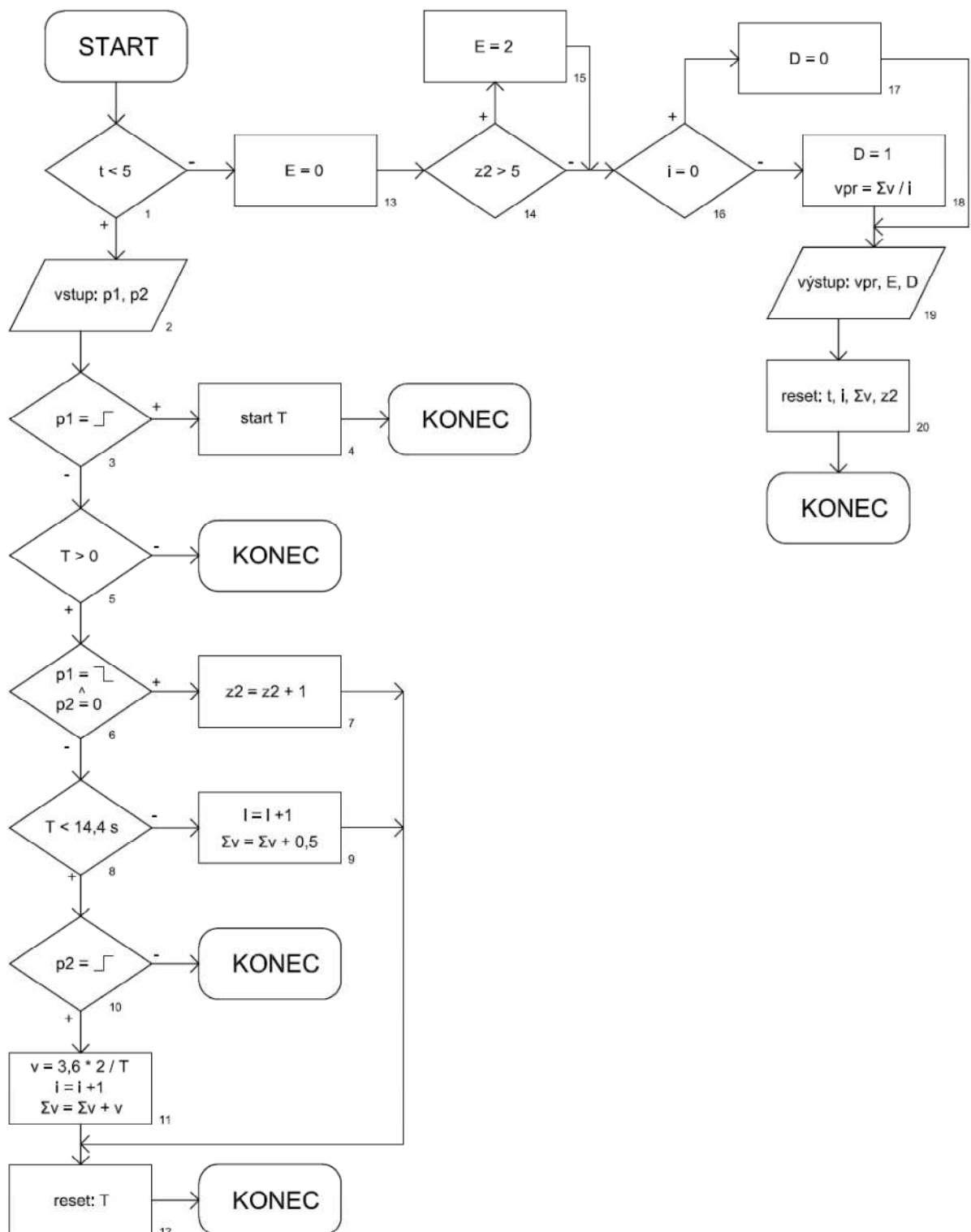
Obr. 9: Příklad dob jízdy a obsazenosti pro osobní vozidlo jedoucí rychlostí 40 km/h



Obr. 10: Pořadí stavů výstupu smyček při průjezdu vozidla (p_1 ; p_2)

Nestane se také, že by v jeden moment bylo potřeba zpracovávat více než jedno vozidlo. U druhé smyčky můžeme po náběhu rozladění vozidlo přestat sledovat. V ten moment je ještě úplně nebo téměř úplně překrytá i první smyčka, tudíž není možné, aby na ni vjelo následující

vozidlo. Jak vidíme v Tab. 3 a Tab. 4, doba jízdy mezi detektory je pro shodnou rychlost výrazně nižší než minimální časový odstup po sobě jedoucích vozidel.



Obr. 11: Algoritmus výpočtu rychlosti

Na Obr. 11 je znázorněn vývojový diagram pro výpočet rychlosti. Během měřicího intervalu (blok 1, proměnná t) sledujeme přítomnosti p_1 , p_2 (blok 2). Pokud se p_1 změní z 0 na 1 (projede vozidlo, blok 3), začneme stopovat čas T (blok 4). Následně čteme nové hodnoty p_1 , p_2 a čekáme, až nastane jedna ze čtyř možných událostí.

Pokud spadne p_1 zpět do nuly, aniž by p_2 naběhla na 1 (blok 6), navýšíme počet chyb z_2 (blok 7), předpokládáme totiž, že vozidlo buď vyjelo z pruhu, nebo je druhá smyčka porouchaná. Resetujeme T (blok 12).

Druhou možností je, že vozidlo se pohybuje tak pomalu, že nestihne najet na druhou smyčku za 14,4 s (blok 8). To odpovídá rychlosti menší než 0,5 km/h, což je tak nízká hodnota, že už dále na vozidlo nečekáme a k sumě naměřených rychlostí Σv přičteme 0,5 a počet naměřených rychlostí i navýšíme o 1 (blok 9). Stačí nám vědět, že dopravní proud se pohybuje pomalu nebo téměř vůbec, nepotřebujeme znát přesnou rychlost.

Při třetí variantě dojde k ideálnímu průjezdu vozidla. Najede na druhou smyčku, p_2 skočí z 0 na 1 a p_1 je stále 1 (blok 10). V takovém případě vypočteme rychlost ze vzdálenosti 2 m a času T , převedeme na km/h vynásobením konstantou 3,6. Přičteme k sumě rychlostí Σv , navýšíme i (blok 11) a resetujeme T (blok 12).

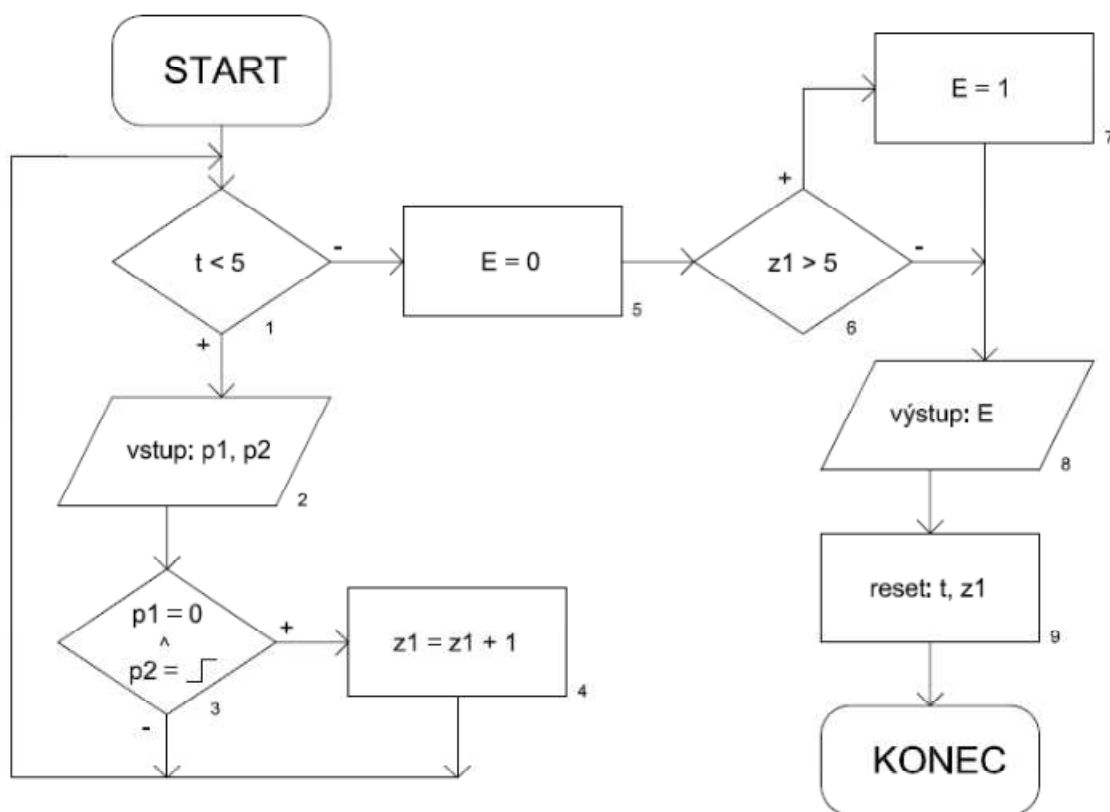
Čtvrtou možností je, že skončí měřicí interval. Tehdy necháme časovač T běžet, aby mohla být rychlost vypočtena v příštím intervalu, a nastavíme pomocnou proměnnou E na základní hodnotu 0 = „nebyl zaznamenán problém“ (blok 13). Následně kontrolujeme, zda počet chyb z_2 nepřevýšil hodnotu 5, kterou jsme si stanovili jako mezní pro počet vozidel objíždějících druhý detektor (blok 14), v kterémžto případě přepíšeme E na číslo 2 = „pravděpodobně chyba druhé smyčky“ (blok 15).

Je-li počet naměřených rychlostí i nulový (blok 16), zapíšeme do pomocné proměnné D číslo 0 = „rychlost není k dispozici“ (blok 17). Jinak uložíme do D hodnotu 1 = „rychlost je k dispozici“ a vypočteme průměrnou rychlost ze sumy rychlostí Σv dělené počtem rychlostí i (blok 18). Na výstup posíláme průměrnou rychlost a pomocné proměnné E a D (blok 19). Resetujeme t , i , Σv , z_2 (blok 20).

Na Obr. 12 je uveden doplňkový algoritmus, který má za úkol detekovat poruchu první smyčky. V průběhu měřicího intervalu (blok 1) načítáme hodnoty p_1 a p_2 (blok 2). Pokud naběhne p_2 , zatímco p_1 je na 0 (blok 3), navýšíme pomocnou proměnnou z_1 (blok 4). Na konci měřicího intervalu nastavíme pomocnou proměnnou E na základní 0 = „nebyl zaznamenán problém“ (blok 5). Překročí-li však počet chyb z_1 hodnotu 5, kterou jsme si opět stanovili jako

mezní pro počet aut objíždějících první detektor (blok 6), zapíšeme do proměnné E číslo 1 = „pravděpodobně chyba první smyčky“ (blok 7). Na výstup pošleme proměnnou E (blok 8) a resetujeme t a z_1 (blok 9).

O detekci poruch bude dále psáno v kap. 5.2 a 5.3.



Obr. 12: Doplnkový algoritmus pro kontrolu funkce 1. smyčky

3.3 Příprava modelu – měření v terénu

Pro klasifikaci dopravního proudu (vyhodnocení stupně dopravy funkcí f_3) použijeme diagram rychlost-intenzita (viz kap. 1.1.4), v němž budou oblasti přiřazeny jednotlivým stupňům dopravy. Aby systém rozhodoval co nejlépe, je vhodné sestavit si diagram pro konkrétní úsek komunikace. Data lze získat simulací nebo z reálného provozu, pro tuto práci bylo provedeno měření v terénu.

3.3.1 Místo a způsob měření

Měření bylo prováděno na místě shodném s místem, pro které je prováděn návrh (viz kap. 3, Obr. 4) v květnu 2014. Cílem měření bylo zachycení různých stavů dopravy v různých dnech (pondělí, čtvrtek, pátek) a denních dobách (ráno, odpoledne). Přes opětovné docházení

na místo měření se nepodařilo zastihnout stupeň 5, ostatní stupně byly naměřeny. Celkem bylo zpracováno 282 průjezdů vozidel, celková průměrná rychlost byla 34,11 *km/h*.

Byly vyznačeny záchytné body představující pozice první a druhé smyčky (Obr. 13) a dopravní proud byl natáčen videokamerou (Obr. 14). Stativ s videokamerou byl při pohledu z jedoucího vozidla poměrně dobře skryt stromy a keři, nicméně objekty simulující detektory musely být umístěny na chodníku u kraje vozovky, tudíž byly pro řidiče viditelné (Obr. 15).

Skutečná vzdálenost mezi objekty (naměřená na chodníku) byla přepočtena na vzdálenost s , kterou ujede vozidlo na silnici, když z pohledu kamery zdánlivě protne hranice měřeného úseku (vnější hrany objektů), a činí 7,48 *m*. Nebylo možno dosáhnout vyšší vzdálenosti, jelikož dál od vozovky brání umístění videokamery oplocení.



Obr. 13: Pohled z protilehlého chodníku



Obr. 14: Pohled od videokamery



Obr. 15: Pohled podél vozovky

3.3.2 Naměřená data

Tabulky s údaji o jednotlivých vozidlech jsou k dispozici v příloze A. Pro urychlení měření a zpracování byl použit měřicí interval 1 minuta.

Videokamera natáčela rychlostí 50 snímků za sekundu, jeden snímek tedy odpovídá 0,02 s. Při zpracování byl zjištěn počet snímků mezi okamžikem, kdy vozidlo čelem protnul vnější vstupní hranici úseku, a okamžikem, kdy čelo vozidla opustilo úsek vnější výstupní hranici. Vzorec pro výpočet rychlosti (v *km/h*) je následovný

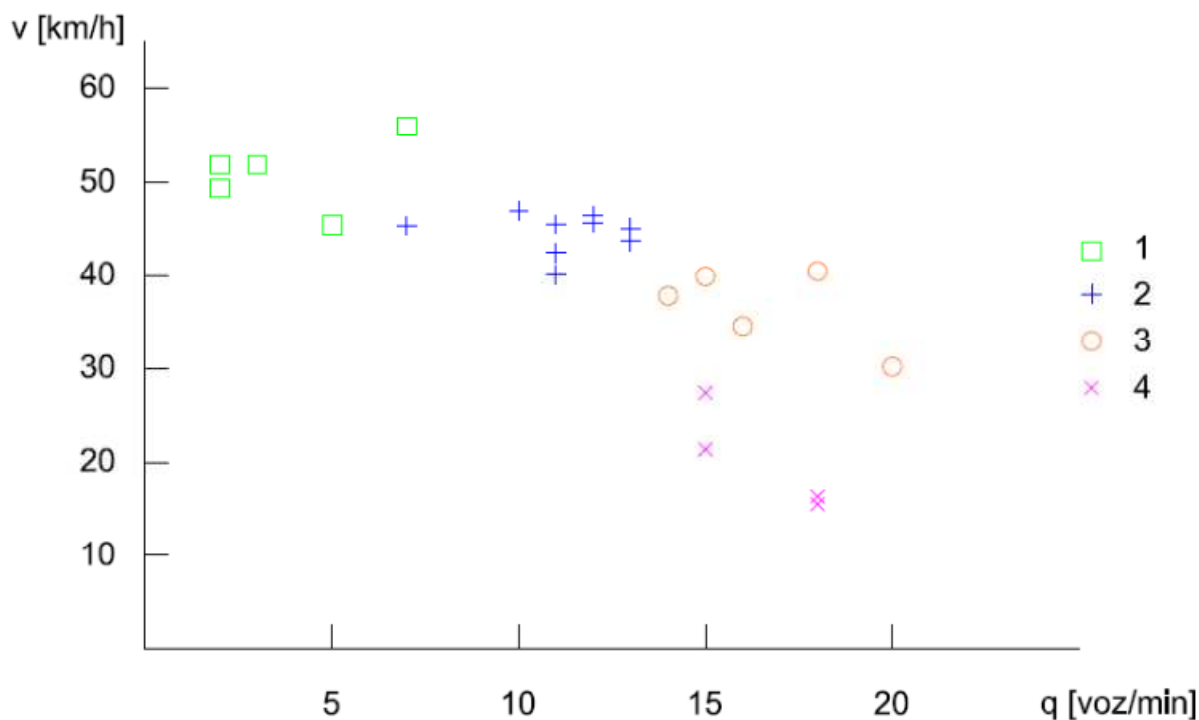
$$v = \frac{7,48 \cdot 3,6}{\text{počet snímků} \cdot 0,02} \quad (14)$$

kde 7,48 je vzdálenost v metrech a 0,02 délka trvání snímku v sekundách. Konstanta 3,6 slouží k přepočtu z jednotek *m/s* na jednotky *km/h*.

V grafu (Obr. 16) je vidět rozložení bodů o souřadnicích [intenzita *voz/min*; rychlost *km/h*], stupně dopravy jsou odlišeny symbolicky a barevně. Jak je vidět, při proložení bodů křivkou by tato zhruba odpovídala křivce z kap. 1.1.3. Vzhledem k tomu, že se měření odehrává v městské oblasti s nejvyšší dovolenou rychlostí 50 *km/h*, je křivka ve vyšších rychlostech poněkud zploštělá.

Stupně dopravy byly hodnoceny subjektivně, na základě slovního popisu z kap. 1.1.4. Hodnoty intenzity jsou uvedeny v jednotkách *voz/min*, nikoliv *voz/5 min*, jak bude dále používáno v návrhu. Důvodem je to, že měření nemělo za cíl kvantitu, ale pokrytí co nejvíce

různých stupňů dopravy. Pro tvorbu modelu pak byly hodnoty intenzity vynásobeny pěti, průměrná rychlost zůstala stejná.



Obr. 16: Ukázka naměřených hodnot

3.4 Tvorba modelu

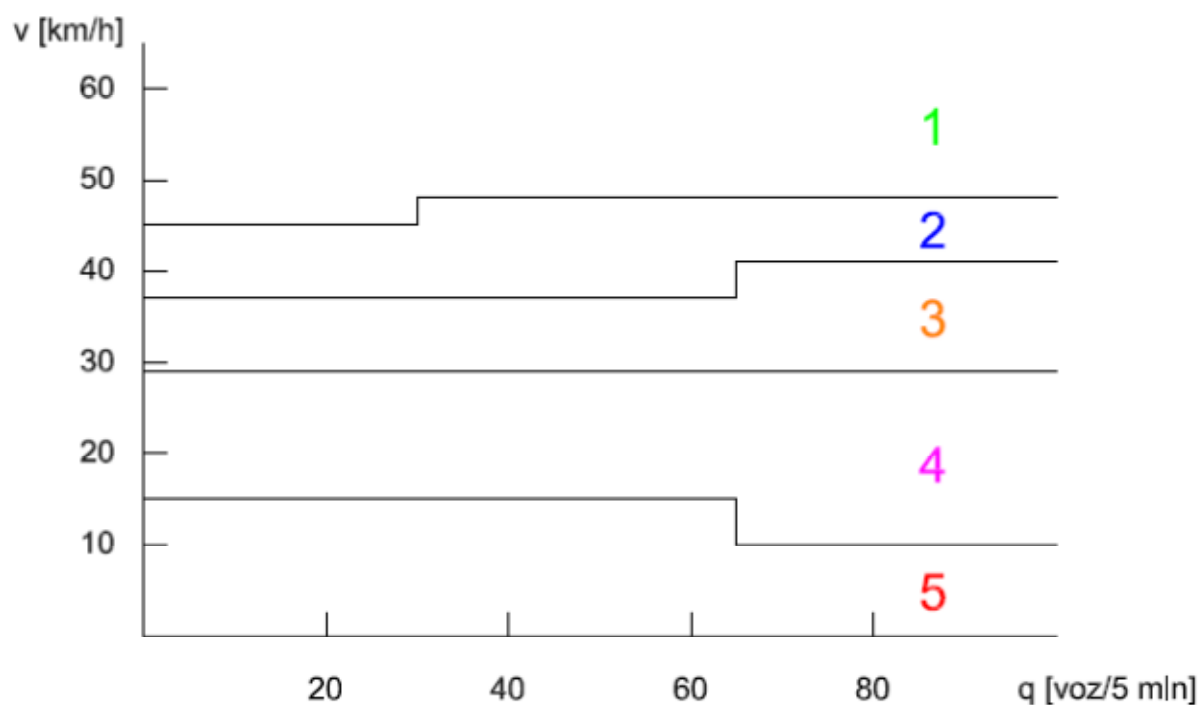
Plochu I. kvadrantu grafu intenzita-rychlost rozdělíme na oblasti odpovídající jednotlivým stupňům (Obr. 17). Tyto oblasti respektují subjektivní hodnocení z Obr. 16. Jako hranice budeme používat horizontální a vertikální čáry. Dbáme na to, aby vedle sebe byly vždy dvě oblasti se sousedícími stupni, aby nedocházelo k prudkým změnám o více než jeden stupeň. Při opakovaném měření by mohlo dojít k dalšímu zpřesnění.

Oblasti zobrazené v grafu lze definovat i prostřednictvím logických podmínek (viz Tab. 5).

Tab. 5: Logické podmínky oblastí SD

SD*	Podmínky
1	$(v > 48) \vee [(v > 45) \wedge (q < 30)]$
5	$(v < 10) \vee [(v < 15) \wedge (q < 65)]$
2	$\text{není } 1 \wedge \{(v > 41) \vee [(v > 37) \wedge (q < 65)]\}$
4	$\text{není } 5 \wedge (v < 29)$
3	$\text{není } 1 \wedge \text{není } 2 \wedge \text{není } 4 \wedge \text{není } 5$

* – SD jsou řazeny podle pořadí, v jakém se podmínky testují



Obr. 17: Rozložení stupňů dopravy

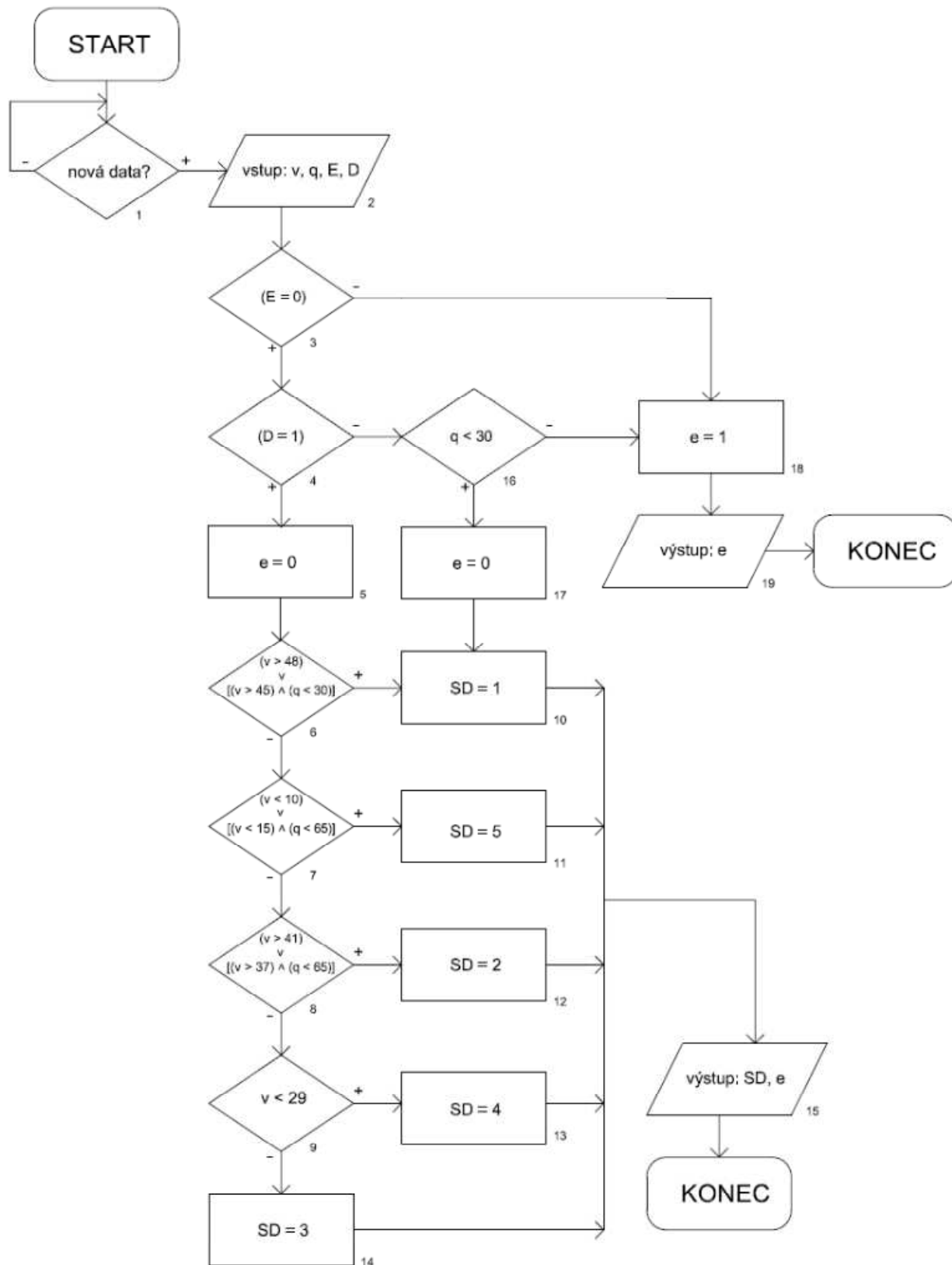
Na Obr. 18 je vývojový diagram určení stupně dopravy, který probíhá podle modelu. Přijdou-li z funkce f_2 nová data (blok 1), načteme proměnné v , q , E a D (blok 2), jinak čekáme. Pokud je E jiné než 0 = „nebyl zaznamenán problém“ (blok 3), zapíšeme do pomocné proměnné e číslo 1 = „pravděpodobně chyba“ (blok 18), pošleme ho na výstup (blok 19).

Kontrolujeme, jestli je D rovno 1 = „rychlost je k dispozici“ (blok 4), pokud ano, nastavíme do e základní hodnotu 0 = „nebyl zaznamenán problém“ (blok 5). Testujeme, které podmínky (viz Tab. 5) data v , q splňují (bloky 6, 7, 8, 9), a do proměnné SD zapíšeme odpovídající hodnotu (bloky 10, 11, 12, 13). Pokud v a q nesplňují žádné z podmínek výše, zapíšeme do SD hodnotu 3 (blok 14). SD a e pošleme na výstup (blok 15).

V případě, že je D rovno 0 = „rychlost není k dispozici“ (blok 4), porovnáme intenzitu q s hodnotou 30, kterou jsme si stanovili jako horní hranici stupně 1 v případech, kdy se rychlost nepodařilo změřit (blok 16). Předpokládáme totiž, že při nízké intenzitě a žádné naměřené rychlosti projíždějí vozidla neomezeně. Je-li menší, nastavíme e do 0 = „nebyl zaznamenán problém“ (blok 17) a do proměnné SD zapíšeme hodnotu 1 (blok 10). Pokud je intenzita q příliš vysoká, vložíme do e číslo 1 = „pravděpodobně chyba“ (blok 18) a pošleme ho na výstup (blok 19). Na rozdíl od nákresu bude algoritmus v realitě probíhat cyklicky.

Pomocnou proměnnou E , která nesla informaci o druhu výpadku smyček, v tomto algoritmu převádíme na proměnnou e , která již nerozlišuje, která smyčka se zdá být porouchaná, pouze

dává najevo, že je někde pravděpodobně problém. Pro PIT detailnější informace nejsou třeba (více viz kap. 5).



Obr. 18: Algoritmus vyhodnocení stupně dopravy

3.5 Zobrazení získané informace řidičům

Kromě toho, že informaci o stupni dopravy zasíláme do NDIC, budeme ji využívat i ve snaze o zlepšení dopravní situace na měřeném úseku, nastane-li problém. Před odbočku z I/18 na Novou Hospodu a před sjezd č. 41 z komunikace R4 umístíme PIT (viz Obr. 4).

PIT budou tvořeny bistabilními elementy pro úsporu energie a doplněny diodami LED pro lepší viditelnost za tmy či jiných zhoršených podmínek (viz kap. 2.1.2). Potřebné jsou 3 řádky: určení místa, stupeň dopravy, doplňující text.

Na PIT 1 budeme stále zobrazovat aktuální stupeň dopravy. U stupňů 4 a 5 navrhujeme alternativní trasu, při stupni 3 upozorníme na možné potíže. Na PIT 2 budeme zobrazovat stupeň dopravy, pouze pokud bude 4 nebo 5, u stupně 5 navíc doporučíme měřený úsek objet. V případě, že stupeň bude 3 nebo lepší, nebudeme řidiče na dálnici s touto informací obtěžovat. Při poruše detektoru PIT zhasne. Zobrazený text je závislý pouze na aktuálním stupni dopravy, nikoliv na jeho změnách. Neprovádíme ani predikci, neboť místo měření a místo zobrazení nejsou daleko od sebe a řidič stihne tuto vzdálenost ujet dřív, než se situace výrazněji změní.

V Tab. 6 a v Tab. 7 vidíme varianty zobrazovaného textu. Pokud je PIT volná na všech třech řádcích textu (označení *zhasnuto**), smí se na ní zobrazovat informace s nižší prioritou (např. přesný čas). Naopak text v tabulce může být přebit zprávou o vyšší prioritě (např. informace o nehodě).

Tab. 6: Varianty textu na PIT 1

SD	Kód	1. řádek	2. řádek	3. řádek
1	A1	Evropská směr centrum	stupeň dopravy: 1	<i>zhasnuto</i>
2	A2	Evropská směr centrum	stupeň dopravy: 2	<i>zhasnuto</i>
3	A3	Evropská směr centrum	stupeň dopravy: 3	Pozor, hustší provoz
4	A4	Evropská směr centrum	stupeň dopravy: 4	Zvažte možnost objetí
5	A5	Evropská směr centrum	stupeň dopravy: 5	Objedte přes N. Hospodu
-	A6	<i>zhasnuto*</i>	<i>zhasnuto*</i>	<i>zhasnuto*</i>

SD – stupeň dopravy; * – lze zobrazovat informace s nižší prioritou

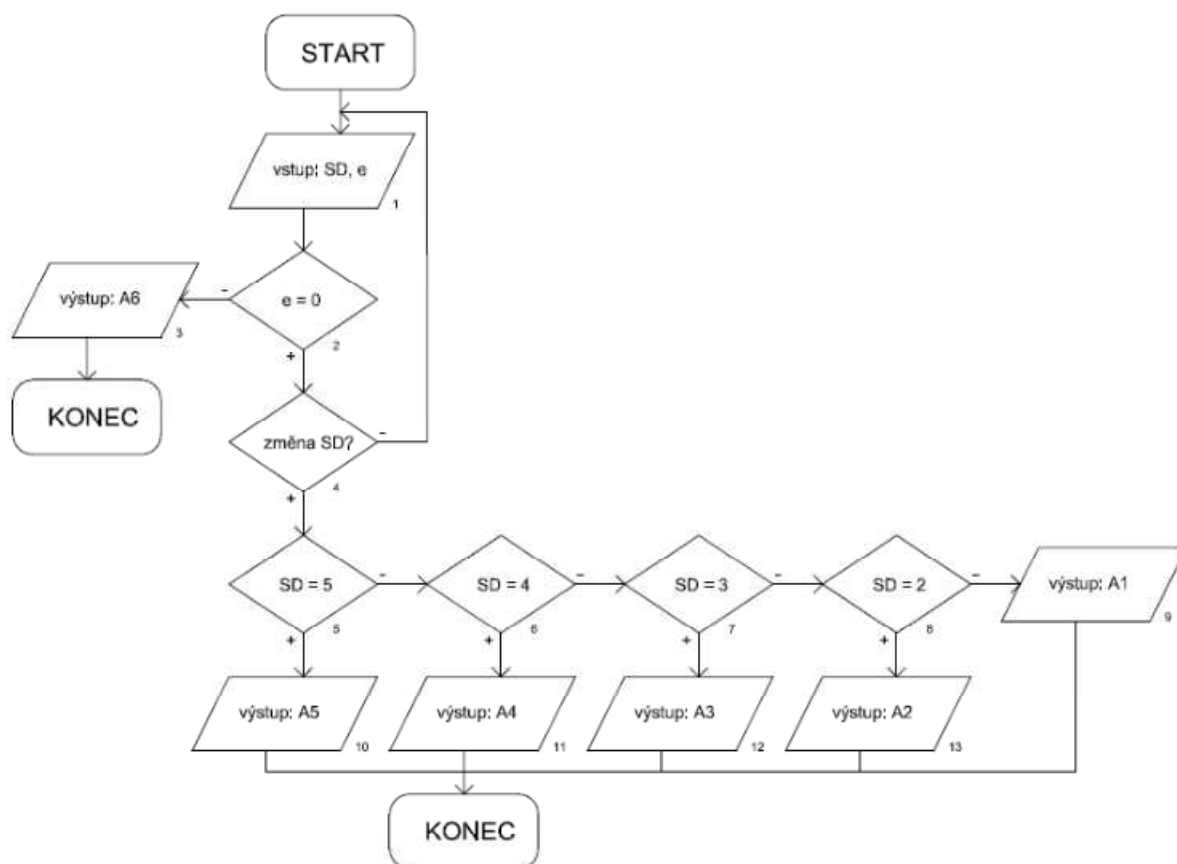
Tab. 7: Varianty textu na PIT 2

SD	Kód	1. řádek	2. řádek	3. řádek
1	B1	<i>zhasnuto*</i>	<i>zhasnuto*</i>	<i>zhasnuto*</i>
2	B1	<i>zhasnuto*</i>	<i>zhasnuto*</i>	<i>zhasnuto*</i>
3	B1	<i>zhasnuto*</i>	<i>zhasnuto*</i>	<i>zhasnuto*</i>

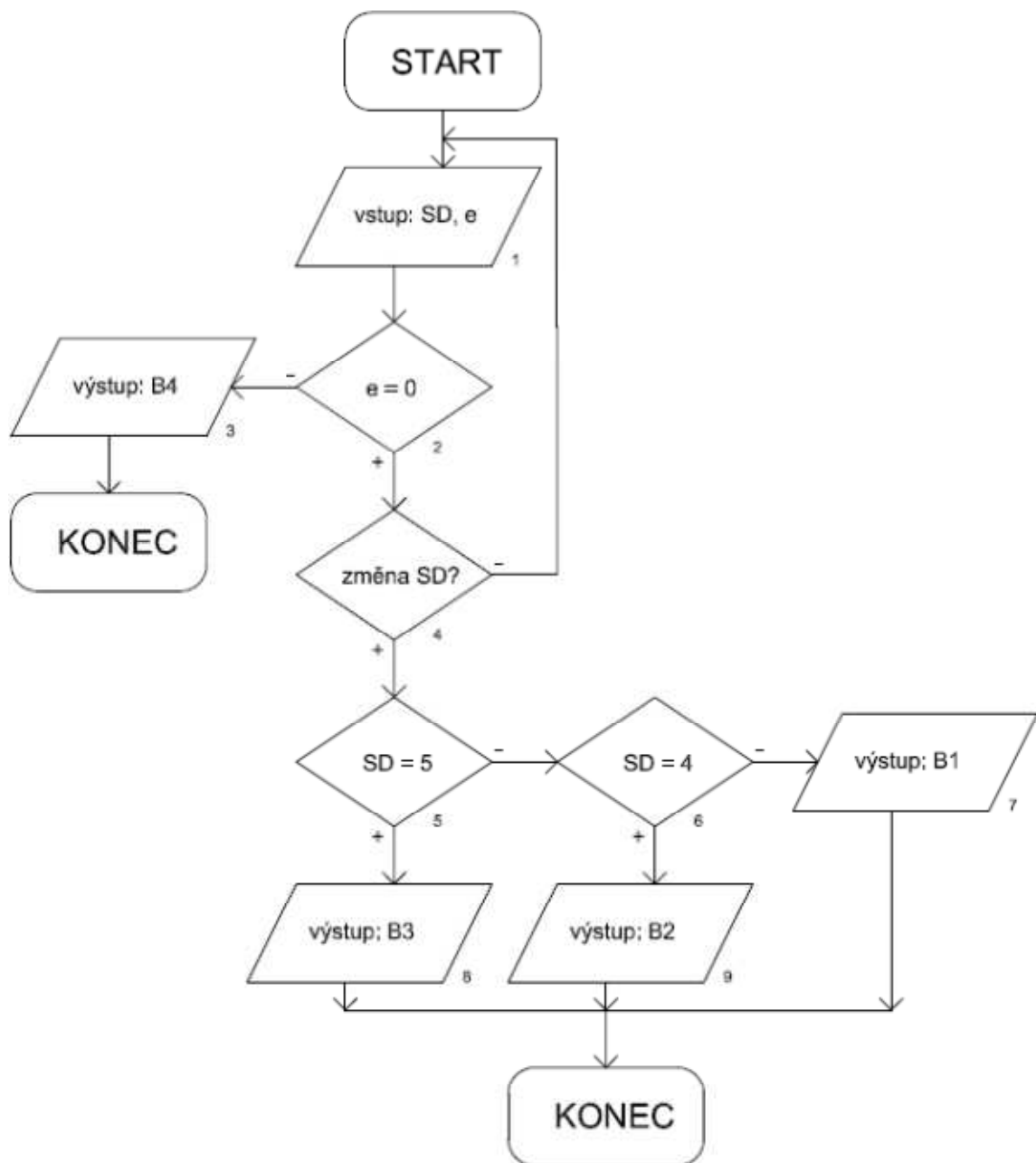
4	B2	Evropská směr centrum	stupeň dopravy: 4	<i>zhasnuto</i>
5	B3	Evropská směr centrum	stupeň dopravy: 5	Doporučeno objet – další exit
-	B1	<i>zhasnuto*</i>	<i>zhasnuto*</i>	<i>zhasnuto*</i>

SD – stupeň dopravy; * – lze zobrazovat informace s nižší prioritou

Na Obr. 19 a Obr. 20 jsou znázorněny vývojové diagramy, které určují, který text z Tab. 6 a Tab. 7 se zobrazí na PIT. Načítáme hodnoty *SD* a *e* (blok 1). Pokud má *e* hodnotu 0 = „nebyl zaznamenán problém“ (blok 2), zjišťujeme, jestli se *SD* změnil (blok 4). Jestliže ne, čekáme, jestliže ano, k hodnotě *SD* přiřadíme odpovídající výstup (bloky 5 až 13, resp. 9). Je-li hodnota *e* jiná než 0, předpokládáme poruchu a tabuli zhasneme (blok 3).



Obr. 19: Algoritmus pro určení zobrazeného textu na PIT 1



Obr. 20: Algoritmus pro určení zobrazeného textu na PIT 2

Další možností, jak ovlivnit provoz, je umístění PDZ podél komunikace před měřeným úsekem a omezovat nejvyšší dovolenou rychlost ve snaze dosáhnout vyšší plynulosti dopravy (liniové řízení). Tuto variantu však do návrhu nezahrneme, protože se na komunikaci nachází větší množství křižovatek, bylo by tak třeba instalovat za každou z nich další PDZ. Toto řešení nepovažujeme za výhodné, jelikož by představovalo další finanční zátěž a nejistý přínos.

4 Implementace návrhu

Algoritmy uvedené v kap. 3 byly převedeny pomocí software RSLogix od firmy Rockwell Automation do formy, s kterou je schopen pracovat automat Allen Bradley SLC 5-03 (Obr. 21) s procesorem označeným 1747-L531. Automat je osazen jedním vstupním a dvěma výstupními sloty. Na každý slot je možné připojit 16 binárních vstupů/výstupů o napětí 24 V.



Obr. 21: Automat SLC 5-03, na němž byla provedena implementace

Vybavení, které měla autorka práce pro implementaci svého návrhu k dispozici, bohužel není schopno načítání času po 0,001 s, bylo proto nutno použít inkrement 0,01 s. To sice ovlivní přesnost, ale samotný princip systému zůstává nezměněný.

Programování probíhá formou sestavování žebříkové struktury. Na jednotlivé příčky umísťujeme podmínky a příkazy, které se vykonají, jsou-li podmínky splněny. Vzniklé žebříky a výčty s vyznačenými důležitými proměnnými jsou k dispozici v příloze B.

4.1 Výpočet intenzity

K výpočtu intenzity jsou třeba dva binární vstupy p_1 a p_2 odpovídající výstupům ze smyček, veličina přítomnost. Tyto vstupy jsou rovny jedné, pokud se nad nimi nachází vozidlo (zachycují přítomnost), jindy jsou nulové. Pro intenzitu nám stačí zaznamenávat pouhou změnu z 0 na 1. Výstupy byly použity také dva: intenzita q a pomocná proměnná identifikující poruchy E (obě Integer; více k E v kap. 5.1). Dále používá program množství dalších vnitřních proměnných.

Tvorba programu probíhala na základě algoritmu z kap. 3.2.2. Na příčce 0 se nachází časovač s inkrementem 0,01 s a maximální hodnotou 30000 (= 5 minut). Na příčce 1 je vyřešeno počítání průjezdů přes jednotlivé smyčky. Pro zjištění skoku přítomnosti z 0 na 1 je nutné ukládat starší hodnoty přítomnosti prostřednictvím příkazu MVM (ze složky Input do složky Binary). Starší hodnota musí být 0, novější 1. Při každé změně větve z nepravdy na pravdu jsou intenzity q_1 a q_2 zvyšovány čítači bez nastavené maximální hodnoty.

Po dokončení načítání času (vypršení měřicího intervalu) jsou intenzity q_1 a q_2 porovnány příkazy GEQ a LES a větší z nich je zařazena do 12-místného zásobníku FIFO příkazem FFL. Aby se zásobník nezaplnil a nepřestal plnit svou funkci, zároveň vždy jednu pozici uvolníme příkazem FFU.

Pomocí příkazu CPT sečteme všechny intenzity q uložené do zásobníku. Je-li výsledkem nula, příkazem MOV vložíme do proměnné E hodnotu 3, jinak necháme hodnotu 0. Resetujeme čítače a časovač.

4.2 Výpočet rychlosti

K výpočtu průměrné rychlosti potřebujeme stejné vstupy jako u intenzity, p_1 a p_2 , ale tentokrát nás zajímá nejen změna z 0 na 1, ale i trvání stavu obsazení. Výstupy jsou tři: *průměrná rychlost* (Float), pomocná proměnná E (Integer) a pomocná proměnná D (Binary). Více informací k E a D je uvedeno v kap. 5.1. Navíc používáme další vnitřní proměnné.

Programy vznikaly podle algoritmů v kap. 3.2.3. Měřicí interval je opět hlídán časovačem s přírůstkem 0,01 s a maximální hodnotou 30000. Hodnoty přítomnosti na vstupu se kopírují příkazem MVM do složky, abychom mohli identifikovat skok z 0 na 1. Nastane-li tento skok u první smyčky (najede na ni vozidlo), podmínka pro běh druhého časovače T na příčce 2 se stane pravdivou příkazem OTL. Tento časovač má stejný přírůstek 0,01 s, ale maximální hodnota je 1440. Odpovídá době, kterou by vůz potřeboval k ujetí vzdálenosti mezi smyčkami (2 m) rychlostí 0,5 km/h.

Jakmile tento časovač běží, kontrolujeme, zda vozidlo nesjelo z první smyčky, aniž by najelo na druhou. Při každé změně této větve z nepravdy na pravdu zvýší čítat počet chyb druhé smyčky. Dopočítal-li by časovač, jiný čítač zvýší počet naměřených rychlostí a příkaz CPT přičte k sumě rychlostí hodnotu 0,5 km/h. Podmínka pro chod časovače T je zrušena příkazem OTU.

Pokud včas najede vozidlo i na druhou smyčku, zaznamenáme akumulovanou hodnotu časovače T a vydělíme ji konstantou 720, která je založena na vzdálenosti a upravena pro výsledek ve správných jednotkách. Je třeba dbát na to, že výsledek již nemůžeme zapisovat do složky Integer, nýbrž Float. Přičteme k sumě naměřených rychlostí, čítač navýší počet rychlostí. Podmínka chodu časovače T je zrušena.

Po dokončení časování měřicího intervalu se příkazem GRT vyšetří počet chyb druhé smyčky, do proměnné E se nahraje odpovídající hodnota. Dále se příkazy EQU a NEQ rozhoduje o tom, zda byly vůbec nějaké rychlosti naměřeny, což se promítne v proměnné D . Vypočteme příkazem DIV průměrnou rychlost a resetujeme oba čítače i časovač t .

Doplňkový program pro kontrolu první smyčky má stejné dva vstupy p_1 a p_2 , jeden výstup E . Časovač s přírůstkem 0,01 s a maximální hodnotou 30000 stopuje měřicí interval. Pokud dojde k náběhu přítomnosti na druhé smyčce, aniž by bylo vozidlo přítomno na první, čítač zvýší akumulovanou hodnotu. Tato je na konci intervalu porovnána s hodnotou 5 příkazem GRT, do proměnné E je nahráno odpovídající číslo a časovač i čítač jsou resetovány.

4.3 Vyhodnocení stupně dopravy

Vstupů pro vyhodnocení stupně dopravy je pět: q , v , E , D a binární proměnná upozorňující na příchod nových dat. Výstupem jsou SD a pomocná proměnná e (více k e v kap. 5.1). Program se obejde bez námi vytvořených vnitřních proměnných.

Při tvorbě bylo opět postupováno dle algoritmu z kap. 3.4. Přijdou-li nová data, program vstoupí na příčku 0. Binární proměnnou, která na nová data upozorňuje, vrátíme na hodnotu 0 příkazem OTU. Je-li proměnná E upozorňující na možné poruchy detektoru jiná než 0 (příkaz NEQ), příkazem OTL změníme binární proměnnou e (která bude na možné poruchy upozorňovat později) na hodnotu 1. Pokud jsou proměnné E a D obě v žádoucí poloze (0 a 1), neupozorňujeme na možnou poruchu a testujeme podmínky pro rychlost a intenzitu (příkazy GRT a LES), dokud nenalezneme odpovídající stupeň dopravy. Zapišeme ho do proměnné příkazem MOV. Není-li k dispozici rychlost, zjišťujeme příkazem LES, zda je intenzita nižší než námi stanovená hodnota. Pokud ano, nehlásíme poruchu a příkazem MOV zapišeme stupeň dopravy 1, jinak pomocí proměnné e a příkazu OTL hlásíme možnou poruchu.

4.4 Zobrazení informace řidičům

Obě PIT pracují se dvěma vstupy: SD a e . Výstupy rozdělujeme do tří řádků na tabuli. Navíc používáme další vnitřní proměnné.

Programy vznikly podle algoritmů z kap. 3.5. Je-li proměnná e rovna 0 (příkaz XIO), prochází program knihovnu nápisů a prostřednictvím příkazů AEX plní řádky tabule zprávami odpovídajícími stupni dopravy. Pokud je e rovno 1, tabule zhasne. Její zhasínání ovládá binární proměnná *zhasnout*, která potlačí zobrazování textu, pokud je její hodnota 1.

5 Spolehlivost systému

Pokud chceme, aby se řidič nechal informacemi, které mu předáváme, ovlivnit, je nezbytné, aby tyto informace byly důvěryhodné. Platí zásada, že lépe je nedávat informace žádné, než dávat informace chybné.

Navržený systém v sobě má zakomponovány postupy, jak odhalit pravděpodobnou poruchu detektoru. Může k ní dojít přerušením přímo smyčky nebo přívodu signálu z ní do místa zpracování. V obou případech bude důsledek stejný, nebudeme schopni na dané smyčce měřit intenzitu, ani ji použít k určení rychlosti. Spolehlivostí přenosu dat mezi jednotlivými stanovišti systému se tato práce zabývat nebude.

Dojde-li k nahlášení poruchy systémem, je třeba co nejdříve zkontrolovat stav detektoru v terénu a případně ho opravit. Během poruchy detektoru by neměly být řidičům předávány žádné informace vycházející z tohoto detektoru.

5.1 Chybové hlášky

K identifikaci možných chyb nám v systému slouží dvě proměnné, E a e . První z nich je datového typu integer, hodnoty používané programem jsou 0, 1, 2 a 3. Přiřazení čísel k jejich významu vidíme v Tab. 8. Základní hodnotou je 0, která se přepíše vždy, když je detekován problém. Používáme stejnou proměnnou ve třech částech programu (výpočet intenzity, výpočet rychlosti a doplněk pro kontrolu první smyčky), jelikož si to můžeme dovolit. Chybové stavy jsou navzájem vylučné, a tak minimálně ze dvou částí programu bude vždy vycházet E rovno 0. V případě poruchy bude tato nula snadno přepsána jinou částí programu, ale nikdy nedojde ke konfliktu dvou nenulových hodnot.

Tab. 8: Význam různých hodnot proměnné E

E	Význam
0	nebyl zaznamenán problém
1	pravděpodobně chyba první smyčky
2	pravděpodobně chyba druhé smyčky
3	pravděpodobně chyba obou smyček

Proměnná e je binární, jelikož od ní již nepožadujeme, aby identifikovala druh chyby, má za úkol pouze informovat o existenci chyby, viz Tab. 9. Jakmile je proměnná E nenulová, měníme proměnnou e na hodnotu 1.

Tab. 9: Význam hodnot proměnné e

e	Význam
0	nebyl zaznamenán problém
1	pravděpodobně chyba

V systému používáme ještě proměnnou D , jejímž účelem není přímo oznamovat chyby, ale varovat v situaci, kdy se nepodařilo změřit žádnou rychlost, ať už z důvodu nízkého provozu nebo chyby detektoru. Jedná se též o proměnnou binární, viz Tab. 10.

Tab. 10: Význam hodnot proměnné D

D	Význam
0	rychlost není k dispozici
1	rychlost je k dispozici

5.2 Výpadek první smyčky

Přestane-li pracovat první smyčka v pořadí, zjistíme to pomocí doplňkového programu, který vznikl přímo za tímto účelem (algoritmus uveden v kap. 3.2.3, implementace v příloze B). Při normálním průjezdu předpokládáme, že hodnoty přítomnosti p_1 a p_2 se budou měnit v pořadí, jak je uvedeno na Obr. 10.

Při výpadku první smyčky bude docházet k tomu, že vozidla začnou najíždět na druhou smyčku, aniž by způsobila rozladění smyčky první. To může být přirozeně zapříčiněno i nevhodným přejížděním mezi jízdními pruhy, a proto se tento jev musí vyskytnout více než pětkrát během měřicího intervalu, aby byla pravděpodobnost tohoto vysvětlení co nejnižší.

Informace o stavu první smyčky je obnovována po každém měřicím intervalu, čili odhalení výpadku nastává po pěti minutách.

5.3 Výpadek druhé smyčky

Funkčnost druhé smyčky v pořadí hlídá program na výpočet rychlosti (algoritmus v kap. 3.2.3). Opět očekáváme typický průběh změn hodnot přítomnosti na smyčkách (viz Obr. 10).

Pokud druhá smyčka přestane pracovat, vozidla přejedou smyčku první, ale na druhé žádnou přítomnost nedetekujeme. Pro případ, že vozidla pouze nevhodně přejíždějí mezi pruhy, byla i zde stanovena hranice nad pěti případy během měřicího intervalu.

Odhalení výpadku nastává po pěti minutách, neboť informace o stavu druhé smyčky se obnovuje po každém měřicím intervalu.

5.4 Výpadek obou smyček

V případě, že by přestaly fungovat obě smyčky, tuto situaci nezjistíme ani jedním z výše uvedených způsobů. Detekce výpadku obou smyček byla zakomponována do programu na výpočet intenzity (algoritmus viz kap. 3.2.2).

Za běžného provozu počítáme průjezdy vozidel nad první smyčkou a průjezdy nad druhou, na konci měřicího intervalu vybereme vyšší hodnotu. Pokud ovšem nezaznameníme průjezd nad žádnou ze smyček, bude intenzita nulová. Intenzity ukládáme do zásobníku o 12 pozicích tak, že nejnovější vždy vytlačí tu nejstarší. V momentě, kdy všechny uložené intenzity jsou nulové, bude i jejich suma nula.

Považujeme za velmi pravděpodobné, že např. v nočních hodinách v některém měřicím intervalu měřeným úsekem neprojde žádné vozidlo. Proto kontrolujeme intenzity za celou uplynulou hodinu a teprve pokud se zdá, že za 60 minut neprojelo žádné vozidlo, upozorníme na možnost poruchy obou smyček zároveň.

Informace o funkčnosti dvojice smyček jsou sice obnovovány každých pět minut, nicméně případné závady bude trvat hodinu, než se nám ji podaří identifikovat. Pro dřívější detekci závady by bylo možné umístit do sousedních úseků komunikace další detektory a výstupy pak mezi sebou porovnávat.

Závěr

Cíl práce považuje autorka za splněný. Výstupem jsou naprogramované funkce systému pro automatickou klasifikaci dopravního proudu, které pracují na základě modelu vzniklého přímo pro místo zamýšlené aplikace, a programy rozhodování, jaké informace budou zobrazeny řidičům na PIT.

V práci byl sepsán teoretický základ vědomostí potřebných pro navržení systému. Seznámili jsme se se způsoby sledování a měření dopravy a s používanými veličinami. Literatury a dalších zdrojů byl k tomuto tématu dostatek. K vytvoření souhrnu detektorů bylo hledání zdrojů o něco náročnější, informace nebyly tak ucelené a přehledné.

Dále jsme zjišťovali, jak se informace získané měřením využívají. Obeznámili jsme se se způsoby, jak je předávat řidičům, a vyhledali jsme si příklady informačních systémů z praxe v ČR i zahraničí.

V rámci návrhu jsme zvolili detektor a měřené veličiny. Určili jsme potřebné parametry měření. Pro tvorbu modelu jsme prováděli měření v terénu, přímo na místě, kam jsme systém navrhovali. Zpracování dat z měření bylo časově velmi náročné, proto je naměřen spíše ilustrativní objem dat. Kvantita dat z terénu nebyla smyslem této práce, pro vytvoření modelu, s kterým dále pracujeme, byla postačující. Nepodařil se, přes vícero pokusů, naměřit stupeň dopravy 5, vypůjčené vybavení bylo poté nutno vrátit. Rozparcelování stupňů dopravy v modelu bylo provedeno spíše intuitivně a zjednodušeno použitím pouze horizontálních a vertikálních hranic.

Práce na algoritmech probíhala postupným doplňováním od nejjednodušších podob až k finálním verzím. Ty pak byly implementovány na řídicí systém, nicméně bylo nutno ustoupit od požadavku na přírůstek času po 0,001 s. Automat, se kterým jsme pracovali, dokáže čas přičítat nejméně po 0,01 s.

Do programů byla zahrnuta i opatření pro případy výpadků smyček. Dokážeme detekovat za 5 minut, pokud jedna ze smyček nefunguje, za 1 hodinu, pokud nefungují obě.

Při testování běhu programu (přítomnost vozidel na smyčkách jsme simulovali stiskem tlačítek) pracoval tak, jak jsme očekávali, pouze v některých případech došlo k příliš rychlému stisku a uvolnění tlačítek, takže průjezd nebyl v cyklu programu zaznamenán. V reálné situaci by se ovšem jednalo o tak vysoké rychlosti, že je nepovažujeme za pravděpodobné.

V práci jsme se téměř nezabývali telekomunikačním řešením systému. Proto není program ani připraven na případné poruchy spojení a dopustili jsme se jistého zjednodušení, kdy pomocná proměnná pro hlášení chyb E znamená v poloze 0 = „nebyl zaznamenán problém“.

System představený v této práci by bylo možné dále rozšířit. Instalací dalších detektorů bychom získali větší přehled o dopravní situaci na delším úseku komunikace, snížila by se doba potřebná pro detekci poruchy smyček a zajistila by se vyšší pravděpodobnost, že budeme mít neustále k dispozici data alespoň z některého z detektorů. V tuto chvíli systém řidiče pouze informuje a jeho vliv na kvalitu dopravy je tak podmíněn ochotou řidičů informace přijímat a vzít v úvahu při rozhodování o trase. V případě, že bychom podél komunikace instalovali PDZ, mohli bychom dopravu i přímo řídit.

Seznam použitých zdrojů

Tištěné zdroje

- [1] KŘIVDA, Vladislav. *Základy organizace a řízení silniční dopravy*. Ostrava: VŠB-TUO, 2006. ISBN 80-248-1253-3.
- [2] MARTINEK, Radislav. *Senzory v průmyslové praxi*. Ilustrovala Viktorie VLACHOVÁ. Praha: BEN – technická literatura, 2004. ISBN 80-7300-114-4.
- [3] PŘIBYL, Pavel. *Inteligentní dopravní systémy a dopravní telematika*. Praha: ČVUT, 2005. ISBN 80-01-003122-5.
- [4] PŘIBYL, Pavel a Radim MACH. *Řídicí systémy silniční dopravy*. Praha: ČVUT, 2003. ISBN 80-01-02811-9.
- [5] PŘIBYL, Pavel a Miroslav SVÍTEK. *Inteligentní dopravní systémy*. Praha: BEN – technická literatura, 2001. ISBN 80-7300-029-6.

Elektronické zdroje

- [6] VŠB-TU OSTRAVA. Kapitola III. ITS. *projekt150.ha-vel.cz* [online]. ©2009 [cit. 2013-12-09]. Dostupné z: <http://projekt150.ha-vel.cz/node/93>
- [7] ÚSTAV DOPRAVNÍCH SYSTÉMŮ ČVUT FD. *Teorie dopravního proudu* [online prezentace]. ©2011 [cit. 2013-12-09]. Dostupné z: [http://k612.fd.cvut.cz/predmety/12DOP/%281%29%20Prednasky/\(11\)%20Teorie%20dopravniho%20proudu.pdf](http://k612.fd.cvut.cz/predmety/12DOP/%281%29%20Prednasky/(11)%20Teorie%20dopravniho%20proudu.pdf)
- [8] KŘIVDA, Vladislav. *Teorie dopravního proudu*. *kds.vsb.cz* [online]. ©2005 [cit. 2013-12-09]. Dostupné z: <http://kds.vsb.cz/ord/index2.htm>
- [9] KALOVÁ, Ilona. *Kontrola, sledování a řízení silniční dopravy. Automatizace* [online]. 2007, roč. 50, č. 1 [cit. 2013-12-09]. Dostupné z: <http://archive.is/zT7Q>
- [10] ŠKODÁČEK, Martin. *Strategické dopravní detektory*. *Ekonomicko-technická revue Doprava* [online]. 2010, roč. 53, č. 1 [cit. 2013-12-09]. Dostupné z: <http://www.revuedoprava.cz/file/doprava-1-2010-strategicke-dopravni-detektory/>
- [11] BUREŠ, Petr a Ondřej PŘIBYL. *Intrusivní detektory* [online prezentace]. ©2013 [cit. 2013-12-09]. Dostupné z: <http://zolotarev.fd.cvut.cz/mzd/ctrl.php?act=show,section,63>

- [12] BUREŠ, Petr a Ondřej PŘIBYL. *Neintrusivní detektory* [online prezentace]. ©2013 [cit. 2013-12-09]. Dostupné z: <http://zolotarev.fd.cvut.cz/mzd/ctrl.php?act=show,section,63>
- [13] HÁJEK, Martin. *RODOS: Centrum pro rozvoj dopravních systémů* [online prezentace]. ©2013 [cit. 2014-03-31]. Dostupné z: http://www.tacr.cz/sites/default/files/shared/tiskove_zpravy/rozvoj_dopravnich_systemu.pdf
- [14] GLOBAL ASSISTANCE. Hodnocení hustoty dopravy stupni 1-5. *globalassistance.cz* [online]. [cit. 2013-12-09] Dostupné z: <http://www.globalassistance.cz/?art=431&start=1>
- [15] ŘSD ČR. Aktuální dopravní informace. *dopravniinfo.cz* [online] ©2009 [cit. 2014-03-31] Dostupné z: <http://www.dopravniinfo.cz/>
- [16] ŘSD ČR. Národní dopravní informační centrum. *rsd.cz* [online] ©2012 [cit. 2014-03-31] Dostupné z: <http://www.rsd.cz/doc/Silnicni-a-dalnicni-sit/Silnicni-databanka/narodni-dopravni-informacni-centrum-ndic>
- [17] MACH, Radim. Automatické ovládání DIS v Praze – Oblast 3 Smíchov. *odborne casopisy.cz* [online] [cit. 2014-03-31] Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=28580
- [18] KEARNS, Steve. *Intelligent Transport Systems for Urban Areas* [online prezentace] [cit. 2014-03-31] Dostupné z: http://www.polisnetwork.eu/uploads/Modules/PublicDocuments/london_march_2010.pdf
- [19] EVANS, Jeremy. IRID technology: the London focus. Eurotransport [online]. 2009, č. 5 [cit. 2014-03-31]. Dostupné z: <http://www.ipsotek.com/sites/default/files/files/TfL%20PDF%20Issue%205.pdf>
- [20] CURE, Christian. Intelligent Transport Systems. *transport-intelligent.net* [online] [cit. 2014-03-31]. Dostupné z: <http://www.transport-intelligent.net/>
- [21] MLIT. Road Bureau ITS. *mlit.go.jp* [online] ©2004-2012 [cit. 2014-03-31] Dostupné z: <http://www.mlit.go.jp/road/ITS/>
- [22] VICS Center. How VICS works. *vics.or.jp* [online] [cit. 2014-03-31] Dostupné z: <http://www.vics.or.jp/english/vics/index.html>

- [23] Department of Transportation. About ATSAC. *trafficinfo.lacity.org* [online] ©2012 [cit. 2014-04-23] Dostupné z: <http://trafficinfo.lacity.org/about-atsac.php>
- [24] Kable Intelligence. Traffic Management Center. *roadtraffic-technology.com* [online] ©2014 [cit. 2014-04-23] Dostupné z: <http://www.roadtraffic-technology.com/projects/vmz/>
- [25] ŘSD ČR. Řídicí centrum SOKP Rudná. *dopravniinfo.cz* [online] ©2009 [cit. 2014-03-31] Dostupné z: <http://www.dopravniinfo.cz/ridici-centrum-sokp-rudna>
- [26] Ministerstvo dopravy ČR. Ročenka dopravy 2012. *sydos.cz* [online] ©2013 [cit. 2014-11-28] Dostupné z: <https://www.sydos.cz/cs/rocenky.htm>
- [27] NAVTEQ. *mapy.cz* [online] ©2011 [cit. 2014-08-13] Dostupné z: <http://www.mapy.cz/zakladni?x=14.0563885&y=49.6923045&z=12&l=0>

Seznam obrázků

Obr. 1: Variace intenzity v průběhu dne [26].....	14
Obr. 2: Diagramy: a) rychlost-intenzita, b) hustota-intenzita, c) rychlost-hustota.....	16
Obr. 3: Výstupy z přítomnostního detektoru.....	22
Obr. 4: Přehled oblasti (mapový podklad [27]).....	30
Obr. 5: Základní architektura systému	31
Obr. 6: Nákres rozměrů smyček.....	33
Obr. 7: Algoritmus výpočtu intenzity.....	35
Obr. 8: Graf dob jízdy mezi detektory a dob obsazenosti pro různé rychlosti.....	37
Obr. 9: Příklad dob jízdy a obsazenosti pro osobní vozidlo jedoucí rychlostí 40 km/h	37
Obr. 10: Pořadí stavů výstupu smyček při průjezdu vozidla ($p_1; p_2$)	37
Obr. 11: Algoritmus výpočtu rychlosti.....	38
Obr. 12: Doplnkový algoritmus pro kontrolu funkce 1. smyčky	40
Obr. 13: Pohled z protilehlého chodníku.....	41
Obr. 14: Pohled od videokamery	41
Obr. 15: Pohled podél vozovky	42
Obr. 16: Ukázka naměřených hodnot.....	43
Obr. 17: Rozložení stupňů dopravy	44
Obr. 18: Algoritmus vyhodnocení stupně dopravy	45
Obr. 19: Algoritmus pro určení zobrazeného textu na PIT 1	47
Obr. 20: Algoritmus pro určení zobrazeného textu na PIT 2	48
Obr. 21: Automat SLC 5-03, na němž byla provedena implementace.....	49

Seznam příloh

Příloha A – Data naměřená pro tvorbu modelu (6 stran, A4)

Příloha B – Implementace algoritmů (32 stran, A4)