

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

Jindřich Belinger

NÁVRH SYSTÉMU PRO LINIOVÉ ŘÍZENÍ DOPRAVY

(Bakalářská práce)

Praha, 2015



K620..... Ústav dopravní telematiky

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Jindřich Belinger

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

B 3710 – ITS – Inteligentní dopravní systémy

Název tématu (česky): **Návrh systému pro liniové řízení dopravy**

Název tématu (anglicky): Road Line Traffic Control System Design

Zásady pro vypracování

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

- Seznamte se s problematikou liniového řízení, měření potřebných vstupních veličin a odpovídajících akčních členů. Vypracujte příslušnou analýzu.
- Analyzujte logické podmínky vedoucí k rozhodování při řízení. Analyzujte možnost automatického a manuálního zásahu do řízení.
- Navrhňte aplikaci systému řízení dopravy pro vybraný úsek liniové komunikace.
- Implementujte svůj návrh na prostředí řídicích systémů. Vytvořený návrh náležitě zdokumentujte.
- Analyzujte spolehlivost funkce navržené aplikace.

- Rozsah grafických prací: dle 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.
- Svítek, M: Telematika nad dopravními sítěmi. Vydavatelství ČVUT, Praha, 2004, 263 s., ISBN 80-01-03087-3.
- Příbyl, P. Svítek, M: Inteligentní dopravní systémy. Praha: BEN -technická literatura, 2001, 543 s. ISBN 80-7300-029-6.

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

Datum zadání bakalářské práce: **20. října 2014**
(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: **24. srpna 2015**
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.



Jindřich Belinger
jméno a podpis studenta

V Praze dne 20. října 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 vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 21.8.2015

.....

Jindřich Belinger

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

NÁVRH SYSTÉMU PRO LINIOVÉ ŘÍZENÍ DOPRAVY

Bakalářská práce

Srpen 2015

Úplná bibliografická identifikace

Jméno a příjmení autora: Jindřich Belinger

Název bakalářské práce: Návrh systému liniového řízení dopravy

Pracoviště: Ústav dopravní telematiky

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

Rok obhajoby bakalářské práce: 2015

Počet stran: 65

Počet příloh: 4

Anotace (abstrakt)

Bakalářská práce se zabývá problematikou liniového řízení dopravy. První dvě kapitoly jsou zaměřené na seznámení s různými druhy detektorů, akčních členů a s principy liniového řízení. Následná část je věnována tvorbě modelů dopravy, návrhu algoritmů a jejich implementaci na řídicí systémy.

Abstract

This thesis deals with the problems of road line traffic control. The first two chapters are focused on getting acquainted with different types of detectors, actuators and road line traffic control principles. The subsequent section is devoted to traffic models development, algorithms design and implementation to control systems.

Klíčová slova

Liniové řízení dopravy RLTC, modely dopravy, řídicí systémy, programovatelné automaty PLC, liniová schémata, simulace, snímače, doprava

Keywords

Road line traffic control RLTC, traffic models, control systems, programmable logic controllers PLC, ladder diagrams, simulations, sensors, traffic

Obsah

Seznam použitých zkratk	5
Seznam použitých veličin a jednotek	6
Slovník pojmů	8
Poděkování	9
Úvod	10
1 Problematika liniového řízení	11
1.1 Technický popis	11
1.1.1 Architektura	12
1.1.2 Ústředna	14
1.1.3 Portály	15
1.1.4 Vazba na dopravní informační systémy	15
1.1.5 Vazba na tunelové řídicí systémy	16
1.2 Měření vstupních veličin	17
1.2.1 Dopravní detektory	17
1.2.1.1 Indukční smyčky	18
1.2.1.2 Kamerové systémy	19
1.2.2 Detektory počasí	21
1.2.2.1 Snímače teploty	21
1.2.2.2 Snímače relativní vlhkosti	22
1.2.2.3 Anemometry	24
1.3 Akční členy	24
1.3.1 Zobrazení	25
1.3.2 Technologie	25
1.3.2.1 Spojité zobrazení	25
1.3.2.2 Nespojité zobrazení	26
1.3.3 Užívané značky a signály	27
1.3.4 Umístění	28
2 Algoritmy pro liniové řízení	29
2.1 Automatické řízení	31
2.2 Manuální ovládání	32
3 Návrh aplikace systému řízení dopravy	34
3.1 Vybraný úsek komunikace	34
3.2 Architektura	34
3.2.1 Schéma a detailní popis vybraného úseku a instalovaného systému	36
3.2.2 Protihluková opatření v úseku	38
3.3 Modely dopravy	39
3.4 Principy řízení	41
3.5 Algoritmy řízení a ovládání	42

3.5.1	<i>Hlavní smyčka</i>	42
3.5.2	<i>Výpočet optimální rychlosti na základě dopravy</i>	43
3.5.3	<i>Optimalizace návaznosti rychlostí</i>	48
3.5.4	<i>Přechod ze stávajících návěstí na optimální</i>	48
4	Implementace na řídicí systémy	51
4.1	Hardware	51
4.2	Konfigurace	51
4.3	Implementace algoritmů	52
4.4	Testování	54
5	Analýza spolehlivosti funkce navržené aplikace	55
5.1	Detektory a komunikace	55
5.1.1	<i>Detektory</i>	55
5.1.2	<i>Komunikace</i>	56
5.2	Gantryserver	56
5.3	Akční členy a komunikace	56
5.3.1	<i>Akční členy</i>	56
5.3.2	<i>Komunikace</i>	57
5.4	Ústředna a komunikace	57
5.4.1	<i>Ústředna</i>	57
5.4.2	<i>Komunikace</i>	57
	Závěr	59
	Seznam použitých zdrojů	60
	Seznam obrázků	63
	Seznam tabulek	64
	Seznam příloh	65

Seznam použitých zkratk

GSM	Global system for mobile communication	Globální systém pro mobilní komunikaci
IP	Ingress protection	Odolnost proti vniknutí
IZS		Integrovaný záchranný systém
LCD	Liquid crystal display	Displej z tekutých krystalů
LED	Light emitting diode	Světloemitující dioda
LPR	License plate recognition	Rozpoznávání SPZ
MDS-OPK		Ministerstvo dopravy a spojů odbor pozemních komunikací
NTC	Negative temperature coefficient	Záporný teplotní koeficient (negastor)
PDZ		Proměnné dopravní značení
PIT		Proměnné informační tabule
PLC	Programable logic controler	Programovatelný automat
PTC	Positive temperature coefficient	Kladný teplotní koeficient (pozistor)
RDS	Radio data system	Přenos dat rádiovými vlnami
RLTC	Road line traffic control	Liniové řízení dopravy
RPDI		Roční průměr denních intenzit
SPZ		Státní poznávací značka (registrační značka)
ZPI		Zařízení pro provozní informace

Seznam použitých veličin a jednotek

a	[-]	Koeficient	Koeficient algebraické rovnice
b	[-]	Koeficient	Koeficient algebraické rovnice
c	[-]	Koeficient	Koeficient algebraické rovnice
Delay	[min]	Zpoždění	Zpoždění pro návaznost návěstí na portálech
dv	[km/h]	Rozptyl rychlosti	Rozptyl naměřených rychlostí
i	[-]	Číslo portálu	
k	[voz/km]	Hustota	Počet vozidel na jednotku délky komunikace
k	[-]	Počet kroků	Počet kroků potřebných pro zobrazení na PDZ
k40v	[voz/km]	Limit hustoty	Limit pro vypnutí návěsti 40 km/h
k60v	[voz/km]	Limit hustoty	Limit pro vypnutí návěsti 60 km/h
k80v	[voz/km]	Limit hustoty	Limit pro vypnutí návěsti 80 km/h
k40z	[voz/km]	Limit hustoty	Limit pro zapnutí návěsti 40 km/h
k60z	[voz/km]	Limit hustoty	Limit pro zapnutí návěsti 60 km/h
k80z	[voz/km]	Limit hustoty	Limit pro zapnutí návěsti 80 km/h
n	[-]	Počet iterací	Počet iterací potřebných pro výpočet Vopt
q	[voz/h]	Intenzita	Počet vozidel v místě měření za jednotku času
qmax	[voz/h]	Maximální intenzita	Maximální intenzita v daném místě
q80v	[voz/h]	Limit intenzity	Limit pro vypnutí návěsti 80 km/h
q100v	[voz/h]	Limit intenzity	Limit pro vypnutí návěsti 100 km/h
q120v	[voz/h]	Limit intenzity	Limit pro vypnutí návěsti 120 km/h
q80z	[voz/h]	Limit intenzity	Limit pro zapnutí návěsti 80 km/h
q100z	[voz/h]	Limit intenzity	Limit pro zapnutí návěsti 100 km/h
q120z	[voz/h]	Limit intenzity	Limit pro zapnutí návěsti 120 km/h
t	[min]	Čas	Počítadlo času pro zobrazení na PDZ
v	[km/h]	Rychlost	

Viakt	[km/h]	Aktuální návěst	Nejvyšší dovolená rychlost zobrazená na PDZ
Vopt	[km/h]	Optimální rychlost	Vypočtená optimální rychlost z naměřených dat
v40v	[km/h]	Limit rychlosti	Limit pro vypnutí návěsti 40 km/h
v60v	[km/h]	Limit rychlosti	Limit pro vypnutí návěsti 60 km/h
v80v	[km/h]	Limit rychlosti	Limit pro vypnutí návěsti 80 km/h
v40z	[km/h]	Limit rychlosti	Limit pro zapnutí návěsti 40 km/h
v60z	[km/h]	Limit rychlosti	Limit pro zapnutí návěsti 60 km/h
v80z	[km/h]	Limit rychlosti	Limit pro zapnutí návěsti 80 km/h
x	[km/h]	Nezávislá proměnná	Charakterizuje rychlost
y	[voz/h]	Závislá proměnná	Charakterizuje intenzitu dopravy

Slovník pojmů

Algoritmus – postup při řešení problému

Gantryserver – řídicí počítač umístěný u každého portálu

Negastor – teplotně závislý odpor se záporným teplotním koeficientem

Pozistor – teplotně závislý odpor s kladným teplotním koeficientem

Poděkování

V první řadě bych tímto rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce, panu Ing. Bc. Vladimíru Faltusovi, Ph.D., za perfektní vedení, obětování svého času pro konzultace i za pomoc při praktické části v laboratoři řídicích systémů.

Dále děkuji za podporu celé své rodině.

Úvod

Ve své bakalářské práci se budu věnovat problematice liniového řízení (RLTC). Touto problematikou se budu zabývat především kvůli tomu, že není v České republice dosti rozšířená. Rozšíření liniového řízení by vedlo k větší bezpečnosti provozu a informování řidičů na liniových komunikacích.

V teoretické části práce (první dvě kapitoly) shrnu základní principy, popis a přínosy systému liniového řízení. Doplním také informace a poznatky z již funkčních systémů nejen z České republiky, ale i ze zahraničí. Následně navážím různými druhy dopravních detektorů využívaných pro sběr dat o dopravním proudu. Dále zde uvedu akční členy, kterými dochází k řízení dopravy na liniových komunikacích a základní způsoby řízení.

V následné praktické části se zaměřím v první řadě na výběr úseku pro implementaci liniového řízení. Po výběru úseku provedu simulace pro rozdílné dílčí úseky z důvodu vytvoření modelů dopravy. Pomocí modelů dopravy určím rozhodující pravidla pro řízení systému. V rámci návrhu systému nejdříve vytvořím algoritmy jednotlivých procesů pomocí vývojových diagramů a následně zvolený algoritmus implementuji na prostředí programovatelných automatů (PLC).

Hlavním cílem této bakalářské práce je získání zkušeností s řídicími systémy, návržení funkčních algoritmů a implementace vybraného algoritmu na řídicí systémy, a to konkrétně na programovatelné automaty. Nejprve je však nutné vybrat úsek na liniové komunikaci, na kterém bude navržen systém liniového řízení. Případně na tomto úseku provést úpravy. Dílčím cílem je analyzovat spolehlivost funkce navrženého systému. Jedním z cílů je rovněž seznámení s různými prostředky detekce parametrů dopravního proudu a prostředky pro zobrazení akčních veličin řidičům vozidel.

1 Problematika liniového řízení

Liniové řízení dopravy je automaticky řízený soubor telematických prvků umístěných na pozemní komunikaci. Podle aktuálního stavu dopravy je systémem liniového řízení snižována či zvyšována rychlost na dané pozemní komunikaci s cílem zvýšit propustnost této komunikace. Další možností k řízení dopravního proudu je změna organizace provozu v jízdnicích pružích. Vzhledem k rostoucím intenzitám vozidel na pozemních komunikacích dochází k častějšímu vzniku konfliktních situací, které mnohdy vedou k dopravním nehodám. Moderní telematická aplikace, systém liniového řízení dopravy, slouží k předcházení takovýmto konfliktním situacím. Při vysoké hustotě provozu díky zásahu tohoto systému nedochází k náhlým změnám rychlostí vozidel a následně tvorbě STOP and GO vln. Především nestabilní charakter provozu je usměrněn do harmonického a stabilního dopravního proudu.

Harmonizovaný dopravní proud znamená také vyšší propustnost komunikace. Rychlost dopravního proudu se tedy sníží na optimální hodnotu, přičemž intenzita vzroste na maximální možnou hodnotu, kterou dovolují místní poměry a aktuální stav provozu. Tyto přínosy vedou ke snížení nákladů na dopravu, snížení dopadu na životní prostředí, k ochraně zdraví účastníků provozu i psychické pohodě řidičů.

Systém liniového řízení dopravy lze implementovat především na dálnicích, rychlostních silnicích, silnicích I. tříd, před vjezdy do tunelů či na přístupové cesty do městských aglomerací.

Tento systém řízení dopravy je implementován kromě České republiky i v zahraničí především v Holandsku a Německu. V těchto zemích je systém v provozu již několik desítek let. Při vyhodnocení RLTC v Německu na dálnici A9 byly po analýze získány tyto výsledky: snížení počtu nehod o 13,5 %, snížení počtu usmrcených osob o 38 %. [1]

1.1 Technický popis

Systém liniového řízení dopravy řídí dopravní proud pomocí příkazových a zákazových dopravních značek. K řidičům se tato informace přenesení pomocí proměnného dopravního značení (PDZ). Proměnné dopravní značení je umístěno na portálech nad jednotlivými jízdnicími pruhy nebo na sloupech vedle vozovky.

Pro řízení dopravy v daném řezu pozemní komunikace se využívají data z dopravních detektorů a meteorologických detektorů. Data o stavu dopravy se detekují v každém pruhu zvlášť u každého portálu. Detekují se parametry dopravního proudu a parametry počasí.



Obr. 1: Liniové řízení dopravy [8].

1.1.1 Architektura

System RLTC má hierarchickou strukturu. Sousední vrstvy jsou navzájem propojeny a předávají si informace. Data ze snímačů jsou předávána gantryserveru, který je umístěn u každého portálu. Ten předá data oblastní ústředně. Zde se naměřená data vyhodnocují. Podle výsledku vyhodnocení odešle příkaz zpět do gantryserveru, který ho následně předá akčním členům, kterými jsou PDZ. Na nich se zobrazí adekvátní značka. Jedná se tedy o centralizovaný řídicí systém. Architektura RLTC je zobrazena na následujících obrázcích.



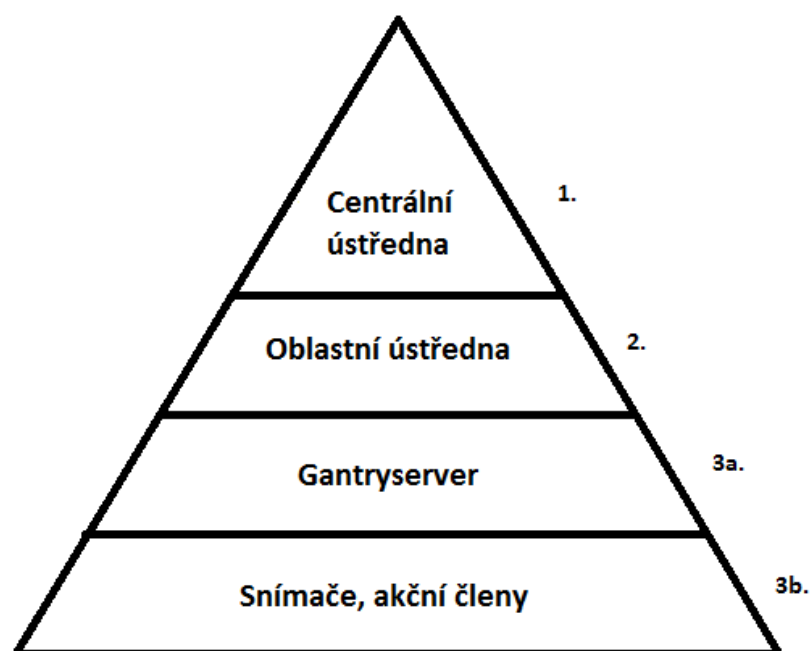
Obr. 2: Funkční architektura RLTC

Funkční architektura systému se skládá z vrstev uvedených na Obr. 2. Naměřená data se shromažďují a zpracovávají ve vrstvách 3a a 3b a jsou předávány nadřazené vrstvě. Ve 2. vrstvě se provádí automatizované řízení a dále jsou data poskytována vrstvě 1., kde probíhá řízení útvaru a krizové řízení s možným zásahem dispečera podle dopravní situace, kterou sleduje na monitoru, jelikož je každý portál vybaven kamerovým dohledovým systémem. Opačnou cestou se předávají informace zpět od 1. vrstvy, k poslední vrstvě 3b.

Informační architektura zahrnuje tok informací mezi jednotlivými vrstvami. Druh informací mezi jednotlivými vrstvami je zobrazen v následující tabulce Tab. 1. Přenášená informace mezi vrstvami 3a a 3b se mohou lišit v závislosti na použitém typu snímačů. Pokud by byly použity obyčejné snímače, pak by přenášená informace musela být dále zpracována pro získání parametrů dopravy. Využitím inteligentních snímačů, které předzpracovávají data ze snímačů, budou informace přenášeny mezi těmito vrstvami již přímo parametry dopravy.

Tab. 1: Informační architektura RLTC

Vrstva	Informace
3b – 3a	Obsazení detektoru
3a – 2	Aktuální informace o dopravním proudu
2 – 1	Strategické informace o dopravním proudu
1 – 2	Akční veličiny strategického a krizového řízení dopravního proudu
2 – 3a	Akční veličiny automatizovaného řízení dopravního proudu



Obr. 3: Fyzická architektura RLTC

Fyzická architektura je strukturována dle Obr. 3. Vychází z funkční architektury. Vrstva 3b zahrnuje snímače a akční členy. Vyšší vrstva 3a obsahuje gantryserver umístěný u každého portálu. Na 2. vrstvě je umístěna oblastní ústředna a na nejvyšší vrstvě 1. se nachází ústředna centrální. Toto rozložení prvků vychází z fungujícího systému, který je využíván na pražském okruhu.

Komunikační architektura obsahuje propojení fyzických vrstev i propojení v rámci jedné vrstvy. Informace mezi vrstvami 3b a 3a bývají nejčastěji přenášena pomocí metalického vedení. Jednotlivé vrstvy 3a mezi sebou i nadřazenou vrstvou 2. mohou komunikovat po metalické, optické nebo bezdrátové síti, záleží na dostupném vedení v blízkosti dané liniové stavby. Stejný typ komunikace může být použit rovněž mezi vrstvami 1 a 2.

Organizační architektura souvisí s navrženou koncepcí dopravního systému. Každý organizační systém vyžaduje technickou podporu pro svůj správný chod a každá změna v organizaci úpravu technické podpory daného procesu. Nynějším trendem ve světě je zkoumat metodiky tvorby telematických systémů, které jsou robustní k organizační architektuře, vyžadují však pokročilé matematické zpracování informací. [2]

1.1.2 Ústředna

V ústřednách probíhají výpočetní algoritmy pro zpracování naměřených dat u jednotlivých portálů a jejich následné vyhodnocení. Po vyhodnocení se odesílají příkazy s informací, jaké

značky mají být zobrazeny na portálech. Ústředny mají možnost přímého zásahu dispečera do řízení. Dispečer má možnost přímo ovládat PDZ na jednotlivých portálech. Tento zásah bývá poměrně běžný například při výskytu dopravní nehody.

1.1.3 Portály

Portál je vybaven PDZ pro každý jízdní pruh. V jeho blízkosti je umístěn gantryserver, který ovládá zobrazené značky na PDZ a odesílá naměřené hodnoty. Sběr dat probíhá zhruba 150÷200 m za portálem po směru jízdy.

Portály jsou umístovány na liniovou komunikaci ve vzdálenosti 800÷1000 m od sebe. Nejdále od sebe mohou být 1500 m, a to z toho důvodu, že by řidič mohl zapomenout informaci z předchozího portálu.

1.1.4 Vazba na dopravní informační systémy

Vybavení, které je úzce spjato s provozováním liniového řízení dopravy, jsou proměnné informační tabule (PIT). Tyto tabule slouží k informování řidičů o dopravních nehodách, stavu vozovky, dojezdových dobách či je mohou varovat před nepříznivými klimatickými podmínkami. Pro tento účel se hodí využít data z liniového řízení dopravy.

Celé zařízení PIT je umístěno uvnitř skříně. Vnitřní prostor PIT je klimatizovaný.¹ Pro zobrazení informací na PIT se využívá LED technologie, jelikož má dlouhou životnost, malý příkon a vysokou spolehlivost. V případě výpadku napájení je každá tabule vybavena akumulátorem, díky kterému je při přerušení dodávky energie odeslána chybová hláška na dispečink a při tomto poruchovém stavu napájí PIT po omezenou dobu danou jeho kapacitou. Na českých dálnicích se běžně využívá PIT v kombinaci s PDZ. Toto zařízení je označováno jako zařízení pro provozní informace (ZPI) vyobrazeno na Obr. 4.

¹ Platí pro typ PIT udávaný v [8].



Obr. 4: Zařízení pro provozní informace na D1 [8].

Naměřená a vyhodnocená data slouží nejen k řízení a informování dopravního proudu, ale také k informování jednotlivých vozidel pomocí RDS, rozhlasu, televize, internetu nebo GSM. Dále mohou data sloužit rovněž pro modelování dopravy.

1.1.5 Vazba na tunelové řídicí systémy

Tunel je zvláštní dopravní stavba, především z pohledu na bezpečnost. Tunelový systém je rozdělen na dopravní systém, bezpečnostní vybavení a technická zařízení. Dopravní systém tunelové telematiky zasahuje do okolí tunelu, proto je nutné zajistit jeho propojení se systémem na okolní komunikaci. Úroveň tohoto propojení z hlediska architektury může být různá. Zásah do okolí bývá nejčastěji omezením nebo uzavřením vjezdu do tunelu. O komunikaci s okolím, v tomto případě se systémem RLTC, se stará dopravní systém tunelu, který zajišťuje kompletní dopravní funkce. Sběr dat v tunelu zprostředkovávají výhradně neintrusivní dopravní detektory. Indukční smyčky bývají nahrazeny videodetekcí, přičemž snímají stejné parametry dopravního proudu. O zpětnou vazbu na řidiče vozidel se starají PDZ, ZPI, RDS i tunelový rozhlas. Začlenění tunelu do širšího dopravního konceptu je prováděno ze dvou hledisek. [4]

- 1) Bezpečnostní hledisko určuje, že při kritické situaci dojde k co nejrychlejší reakci okolního systému. Touto reakcí může být například uzavření tunelu při požáru a zobrazení

varování na ZPI. Uzavření tunelu z pohledu RLTC znamená postupné odklonění vozidel pomocí PDZ na portálech nejpozději na nejbližším sjezdu před tunelem.

- 2) Koncepční hledisko má za cíl začlenit tunelový systém do systému řízení dopravy na nejvyšší hierarchické úrovni. Prioritou je zabezpečení plynulosti provozu v tunelu i na úkor okolních pozemních komunikací.

1.2 Měření vstupních veličin

K získávání vstupních veličin se využívají snímače neboli detektory. Měřením vstupních veličin získáváme informaci o stávajícím stavu měřeného systému, v tomto případě dopravního proudu a vnějších vlivů (počasí). Měřené veličiny musejí charakterizovat měřený systém.

1.2.1 Dopravní detektory

Dopravní detektory jsou nezbytné pro využití dopravní telematiky. Právě z těchto technických prvků tvořících sběrný systém informací o dopravním proudu se získávají vstupní data pro řízení dopravy. Charakteristickými veličinami dopravního proudu jsou:

- Intenzita [voz/h];
- Rychlost [km/h];
- Obsazenost jízdních pruhů;
- Klasifikace vozidel, podíl nákladních vozidel;
- Hustota [voz/km].

Dopravní detektory využívají různé fyzikální principy a vyrábí se v mnoha provedeních. Mezi nejrozšířenější patří indukční smyčky a videodetekce.

Detektory dělíme do základních dvou skupin podle toho, zda zasahují do vozovky či nikoliv. Snímače zasahující do povrchu vozovky označujeme jako intrusivní. Neintrusivními snímači rozumíme ty, které nejsou aplikovány do vozovky a nedochází tím k jejímu narušení.

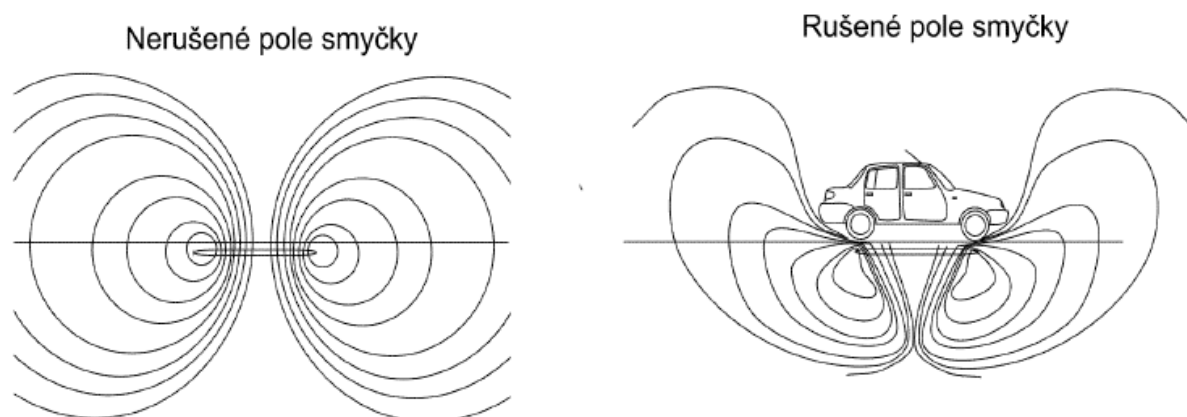
Tab. 2: Rozdělení detektorů [8]

Intrusivní	Neintrusivní
Indukční smyčky*	Kamerové detektory*
Magnetické detektory	Ultrazvukové detektory
Piezoelektrické detektory	Infračervené detektory
Detektory s vláknovou optikou	Mikrovlnné detektory

Detektory, které jsou označené v Tab. 2 symbolem *, bývají nejčastěji využity pro sběr dat o dopravním proudu v liniovém řízení dopravy a budou dále podrobně rozepsány.

1.2.1.1 Indukční smyčky

Indukční smyčky využívají změny indukčnosti cívky, která je zabudována pod povrchem vozovky. Jedná se tedy o intrusivní detektory. Umisťují se do vyfrézované drážky ve vozovce nebo v lepším případě přímo při výstavbě komunikace do asfaltového koberce. Zařízení obsahuje vodič umístěný ve vozovce, přívodní vedení, impedanční transformátor a vyhodnocovací zařízení. Impedanční transformátor a vyhodnocovací zařízení se nacházejí mimo prostor vozovky. Změna indukčnosti je vyvolána pohybem kovového předmětu (automobilu, motocyklu, jízdního kola,...) nad vodičem. Impedanční transformátor zaznamená tuto událost a ta je předána do vyhodnocovacího zařízení. Princip činnosti je zobrazen na Obr. 5. Smyčky ve vozovce mohou mít různé tvary. Nejčastěji se však využívá tvar obdélníkový.



Obr. 5: Princip narušení indukční smyčky [9].

Cívka je napájena ze zdroje harmonických kmitů o frekvenci $20 \div 150$ kHz. Detektor zaznamenává:

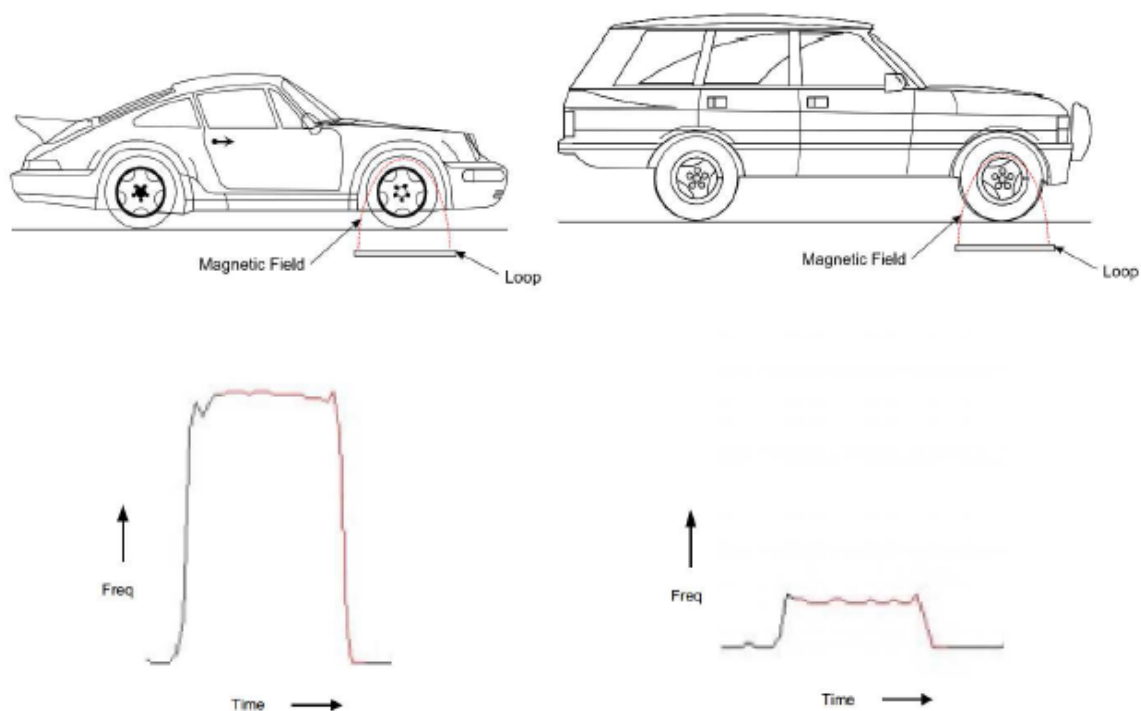
- Změnu amplitudy;
- Posuv fáze;
- Změnu kmitočtu.

Přítomností vozidla se sníží amplituda, posune se fáze a zvýší se kmitočet obvodu. Změna kmitočtu při obsazení smyčky je znázorněna na Obr. 6. Na tomto snímku lze zároveň sledovat, že při průjezdu různých druhů vozidel se frekvence zvyšuje odlišně. [8]

Citlivost smyčky se může lišit vlivem různých faktorů. Mezi tyto faktory patří povrch vozovky, který by měl být proveden z nevodivého materiálu. Dále pak armování, které

snižuje citlivost o 5 ÷ 50 %, délka přívodního vedení, hloubka uložení cívky ve vozovce a překrytí smyčky vozidlem (může dojít k částečnému překrytí). [8]

Pomocí indukční smyčky mohou být měřeny tyto veličiny dopravního proudu: intenzita, obsazenost, přítomnost vozidla, časový odstup a rychlost. Pro přesné měření rychlosti je třeba umístit dvě smyčky za sebou v určité vzdálenosti.



Obr. 6: Změna frekvence při průjezdu vozidla [9].

Tab. 3: Hodnocení indukčních smyček [8]

Výhody	Nevýhody
Nízká cena	Zásah do vozovky
Spolehlivost	Omezení dopravy při výstavbě
Flexibilita	Nutnost údržby
Neovlivněné počasím	Snížení životnosti vozovky
	Nutnost reinstalace při opravách vozovky

1.2.1.2 Kamerové systémy

Kamerové systémy využívají změny obrazu v čase. Jedná se o neintrusivní dopravní detektory. Kamery jsou obvykle umístěny nad jízdnicí pruhy vozovky, kde jednou kamerou je snímáno více jízdnicích pruhů. Pojmem kamerové systémy můžeme rozumět videodetekci, dohledové kamery nebo identifikační kamery. Identifikační kamery slouží k identifikaci vozidel čtením SPZ (LPR). LPR jsou využívány v systémech pro automatický výběr mýta.

Dohledové kamery jsou využívány jako prvky, skrze které mohou dispečeři sledovat dopravu. Dohledové kamery bývají používány společně s videodetekcí. Videodetekce slouží k měření parametrů dopravního proudu.

V obrazu záběru se vytyčí oblast, ve které budou rozpoznávány změny. Vytvoří se tzv. virtuální smyčky. Při průjezdu vozidla tímto prostorem dojde ke změně obrazu. Tato změna je registrována softwarem a následně je vyhodnocena. Videodetekce dokáže také zaznamenat překážku v prostoru pozemní komunikace nebo dopravní nehodu. Stane se to tím, že vyhodnocovaný prostor bude stále obsazen, tato informace se přenese k dispečerovi, který prostřednictvím dohledových kamer situaci vyhodnotí a vhodně zasáhne. Systémy videodetekce dělíme na integrované videodetektory a videodetekční modulární systémy. Integrované videodetektory jsou kamery vybavené snímačem v jednom celku. Výstupem z těchto detektorů jsou data o dopravním proudu. Oproti tomu výstupem z modulárních systémů je videozáznam, který se zpracovává až v nadřazené vrstvě. Výhodou modulárních systémů je možnost využít různé druhy kamer. Dále existuje možnost využít obrazový záznam, např. pro dopravní inženýrství, modelování atd. V nadřazeném systému lze libovolně volit snímané oblasti. Lze využít také pro úsekové měření rychlosti, obsazenosti úseku.



Obr. 7: Záznam videodetekce [14]

Tab. 4: Hodnocení videodetekce [8]

Výhody	Nevýhody
Nezasahuje do vozovky	Ovlivněno počasím (mlha, vítr)
Možnost měnit snímané oblasti	Rychlost zpracování videa
Flexibilita	Větší objemy dat

1.2.2 Detektory počasí

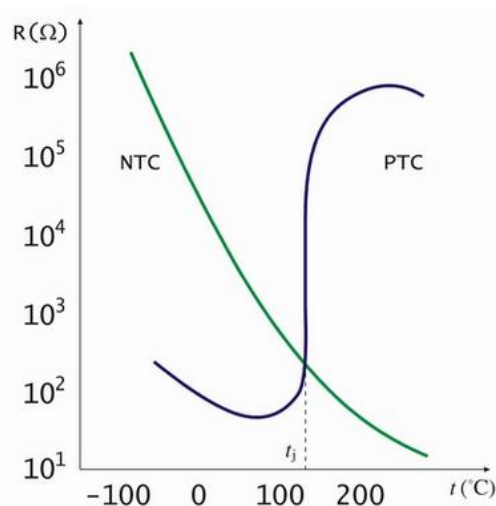
Pomocí detektorů počasí jsou získávány informace jako například teplota vzduchu, teplota vozovky, stav vozovky (suchá, mokrá nebo namrznutá), viditelnost a směr a rychlost větru. Těmito senzory je snímána teplota, vlhkost a rychlost proudění. Pro měření těchto veličin jsou využívány snímače teploty, snímače relativní vlhkosti a anemometry. Po zpracování dat z těchto detektorů jsou řidiči informováni o stavu vozovky a varováni před nepříznivým počasím. Tyto snímače bývají integrovány do meteostanic, které bývají umístěny v blízkosti portálů. Informace o počasí není třeba získávat u každého portálu. Jejich umístění závisí na daných podnebných podmínkách a terénu okolí.

1.2.2.1 Snímače teploty

V dnešní době je na trhu mnoho druhů teplotních snímačů, které využívají různé fyzikální principy. Senzory teploty se dělí do tří základních skupin: elektrické, dilatační a speciální [10]. Mezi speciální snímače se řadí keramické žároměrky, tavné tužky, tekuté krystaly, teploměrné barvy a mnoho dalších. Tyto senzory nejsou pro dopravní účely vhodné.

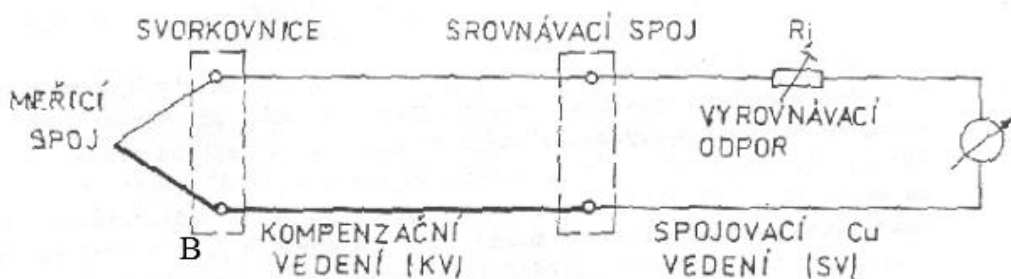
Z pohledu využití v dopravě jsou nejpoužitelnější snímače elektrické, které se dále dělí na odporové (kovové, polovodičové) a termoelektrické.

Odporové kovové senzory jsou založeny na změně odporu kovu v závislosti na teplotě. Nejčastěji se jako tento kov používá platina. Odporové polovodičové snímače jsou provedeny ve dvou variantách. Jednou z variant jsou pozistory (PTC). Pozistory jsou tímto názvem označovány z důvodu rostoucí závislosti odporu na teplotě. Druhou variantou jsou negastory (NTC). Tyto polovodiče mají klesající závislost odporu na teplotě. NTC jsou v praxi více používány z toho důvodu, že pro určitý rozsah teplot je jejich závislost téměř lineární. Závislost NTC a PTC na teplotě je zobrazena na Obr. 8.



Obr. 8: Charakteristika NTC a PTC [11]

Termoelektrické snímače teploty využívají termoelektrického článku, který je tvořen dvěma vodiči z různých kovů. Tyto vodiče jsou na jednom konci spojeny a nacházejí se v měřeném prostředí. Druhé konce propojené nejsou a udržuje se na nich konstantní teplota. Mezi těmito dvěma vodiči vzniká tzv. termoelektrické napětí. Materiály vodičů jsou zvoleny tak, aby termoelektrické napětí bylo co největší. Orientační schéma termoelektrického snímače je na Obr. 9.



Obr. 9: Termoelektrický článek [12]

Dilatační senzory jsou založeny na teplotní roztažnosti látek, kterými mohou být kapaliny, plyny i pevné látky. Příklad dilatačního snímače je bimetalový pásek vyrobený ze dvou druhů kovů, které jsou podélně spojeny. Při změně teploty se každý z kovů roztahuje různě a tím dojde k zakroucení. Bimetalový pásek bývá v obyčejných domovních teploměrech s ručičkou.

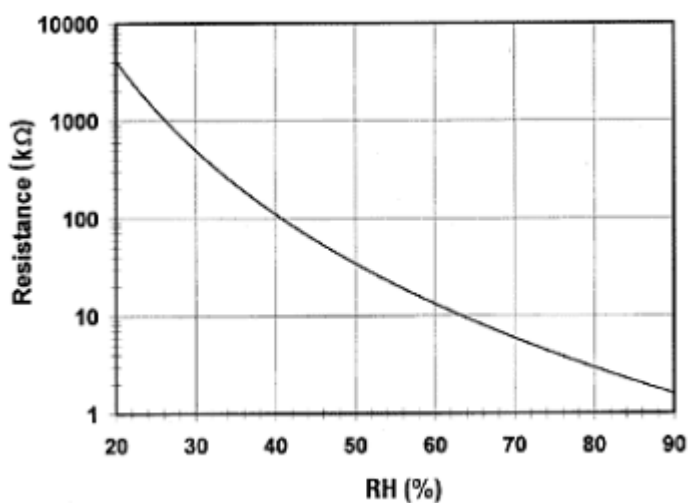
1.2.2.2 Snímače relativní vlhkosti

Vlhkost vzduchu je poměr suchého vzduchu a vodních par v něm rozpuštěných. Tento poměr je ve vzduchu proměnlivý a je vyjádřen nejčastěji jako relativní vlhkost vzduchu. Za určité teploty relativní vlhkost vzduchu odpovídá poměru měrné vlhkosti a maximální vlhkosti

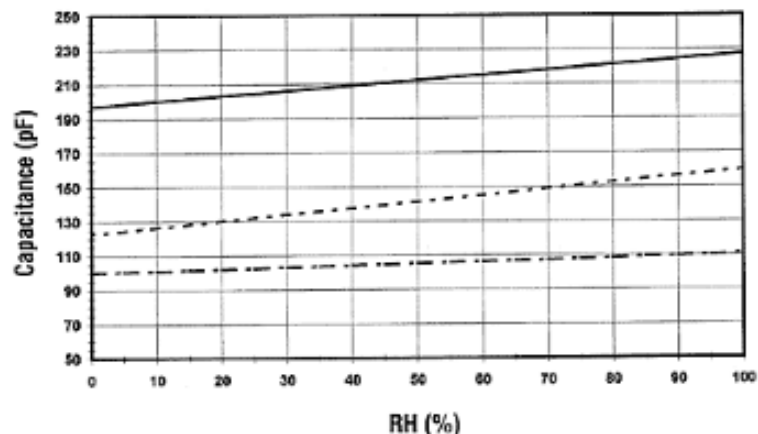
vzduchu, kde měrná vlhkost je skutečný obsah par při dané teplotě, maximální vlhkost je maximální množství vodní páry v plynném skupenství, které za dané teploty může být pohlceno vzduchem. S ohledem na následné využití naměřených dat, jsou použitelné pouze elektrické snímače vlhkosti. Nejčastěji používanými elektrickými snímači vlhkosti jsou odporové a kapacitní snímače.

Odporové snímače využívají závislosti odporu na vlhkosti. Problémem je, že odpor je závislý také na teplotě. Proto musíme zároveň měřit i teplotu a soustavu teplotně stabilizovat. Tyto snímače jsou velmi citlivé na orosení, soli a páry kyselin. Výhodou těchto snímačů je poměrně rychlá odezva a žádná hystereze. Závislost odporu na vlhkosti je přibližně exponenciální a je zobrazena na Obr. 10. [16]

Kapacitní snímače vlhkosti jsou založeny na změně impedance na vlhkosti. Tyto senzory mají mimořádnou citlivost. Velkou výhodou oproti odporovým snímačům je zanedbatelná závislost na teplotě a téměř lineární závislost kapacity na vlhkosti vyobrazená na Obr. 11. Dalšími přednostmi těchto senzorů je také nízká cena a malé rozměry. [16]



Obr. 10: Závislost odporu na relativní vlhkosti [16]



Obr. 11: Závislost kapacity na relativní vlhkosti [16]

1.2.2.3 Anemometry

Anemometry slouží k měření rychlosti proudění tekutin nebo plynů. Pro dopravní účely postačí měření proudění vzduchu. Díky moderním anemometrům lze měřit nejen rychlost, ale také směr proudění. Tyto snímače dělíme do dvou základních skupin na kontaktní a bezkontaktní. Bezkontaktními anemometry je měřena rychlost především kapalin (nejsou vhodné pro měření v dopravě). Ke stanovení rychlosti a směru proudění vzduchu se využívají nejčastěji kontaktní anemometry. Princip kontaktních senzorů spočívá v umístění misek připevněných rameny k otočné hřídeli. Prouděním se vzduch opírá do misek a tím otáčí hřídel, ze které snímáme její otáčky. Současné snímače vychází ze základního principu Robinsonova otočného anemometru zobrazeného na Obr. 12.



Obr. 12: Robinsonův anemometr [13]

1.3 Akční členy

Akční členy jsou prvky v řídicím systému, které přímo zasahují do soustavy, kterou řídíme. V případě liniového řízení jsou akčními členy PDZ. PDZ přímo působí na řidiče vozidel zobrazovanými návěstmi, které musí řidič respektovat.

1.3.1 Zobrazení

Zobrazování potřebných návěstí je možné provádět více způsoby, a to především z důvodu použité technologie proměnného dopravního značení. Možnosti zobrazení jsou uvedeny v Tab. 5.

Tab. 5: Možnosti zobrazení [5]

Druh zobrazení	Popis
Spojité	Obraz PDZ je složen z jednotlivých ploch a čar
Nespojité	Obraz PDZ je složen z jednotlivých bodů oddělených mezerami
Inverzní	Nespojité zobrazení, při němž se barvy mění tak, že podklad značky je černý a nápisy, symboly a ohraničení světlé, červená barva zůstává zachována
Neinverzní	Nespojité zobrazení, které však všemi barevnými elementy respektuje základní barevné provedení stálé dopravní značky

1.3.2 Technologie

V dnešní době existuje mnoho druhů technologií pro zobrazování návěstí proměnného dopravního značení. Jednotlivé využívané technologie jsou popsány v následujících dvou podkapitolách.

1.3.2.1 Spojité zobrazení

Jedná se o mechanický typ PDZ, kde se proměna návěstí uskutečňuje pomocí změny poloh jednotlivých částí značky. Často bývají provedeny bez osvětlení pouze s retroreflexní fólií.

Otočné hranoly jsou nejčastější spojitou zobrazovací metodou pro PDZ. Funkce spočívá v rotaci několika hranolků, které společně zobrazují danou návěst. Počet zobrazovaných návěstí je omezen počtem stěn hranolků. Nejčastěji se využívají hranolky se 3 stěnami, maximální počet jsou 4 stěny. Tyto hranolky jsou otáčeny pomocí elektromotorku. Čas na přeměnu je od 2 do 10 sekund. Elektrická energie je spotřebovávána pouze na přeměnu zobrazení

Otočné dvoustranné žaluzie se využívají pro zobrazení textu. Principem jsou jednotlivé překlopné elementy s oboustrannou účinnou plochou, která se překlápí podél vodorovné osy. Ovládání je založeno na elektromechanickém nebo elektromagnetickém principu.

Posuvné rolety jsou založeny na principu provedení symbolu na pružné podložce, která se roluje nebo navíjí přes dva válce. Pružný pás je buď uzavřený, nekonečný nebo otevřený,

převíjený z jednoho válce na druhý. Tento pás bývá chráněn průhledným štítem značky proti poškození. Množství zobrazovaných návěstí je určeno pouze délkou pásu.

Otočné štíty jsou nejjednodušším provedením PDZ. Principem je rozpůlení štítu značky a překlopení podél vodorovné nebo svislé osy. Schopnost zobrazit pouze dvě značky. Přeměna je zajištěna mechanicky oprávněnou osobou nebo elektromechanicky dálkově. Důležité je zajištění v dané poloze pomocí mechanické pojistky. Při dálkovém ovládní nesmí být doba přeměny delší než 30 sekund.

1.3.2.2 Nespojité zobrazení

Světloemitující diody (LED) jsou využívány pro inverzní i neinverzní značky. Výhodou je dlouhá životnost, malá spotřeba a jednodušší konstrukce. Nevýhodou bývá složitější monitoring provozu. Jednotlivými LED jsou tvořeny světelné body ve štítu značky. Typem LED je určena svítivost, barevnost a prostorové rozložení svítivosti. Uspořádání diod ve štítu značky závisí na počtu zobrazovaných návěstí. Svítivost je možné nastavovat pomocí napájecího napětí. Doba přeměny je kratší než 1 sekunda.

Světlovodná vlákna přenášejí energii ok světelného zdroje, kterým je halogenová žárovka, k čočkám ve štítu značky, kde jsou jimi tvořeny jednotlivé světelné body. Typem čočky je určena svítivost a prostorové rozložení svítivosti bodu. Barevnost je zajištěna filtry, které jsou umístěny mezi žárovku a světlovodná vlákna. Počet světlovodných vláken na jednu žárovku je omezen, rozměrnější symboly jsou rozděleny do více částí a každá z nich je osvětlována jednou žárovkou. Zvýšení spolehlivosti se dosáhne zdvojením žárovek. Změna svítivosti se provádí změnou napájecího napětí. Výhodou jsou dobré světelné parametry a vysoká svítivost. Mezi nevýhody patří vyšší spotřeba energie a náročnost údržby. Čas přeměny je kratší než 1 sekunda.

Tekuté krystaly (LCD) nejsou vhodné pro zobrazování značek. Využívají se pouze okrajově pro numerická pole v ZPI. Tato technologie vyžaduje externí osvětlení v noci a za snížené viditelnosti. Potřebný čas pro přeměnu je menší než 1 sekunda.

Bistabilní otočné elementy jsou vhodné především pro zobrazování textů nebo jednobarevných piktogramů v ZPI. Nepoužívá se pro zobrazování dopravních značek. Jednotlivé magneticky ovládané body mohou zobrazovat černý nebo žlutý reflexní bod. Ke spotřebě energie dochází pouze při přeměnách. Za tmy se využívá externí osvětlení. Čas potřebný na přeměnu je kratší než 1 sekunda.

1.3.3 Užívané značky a signály

Pro liniové řízení se používají především značky omezující rychlost, uzavírající jízdní pruhy a pro varování řidičů. K omezení rychlosti se využívají zákazové dopravní značky, pro uzavírání jízdních pruhů jsou navrženy světelné signály a varování se řidičům předává prostřednictvím výstražných dopravních značek. Všechny zobrazované dopravní značky jsou sepsány v Tab. 6.

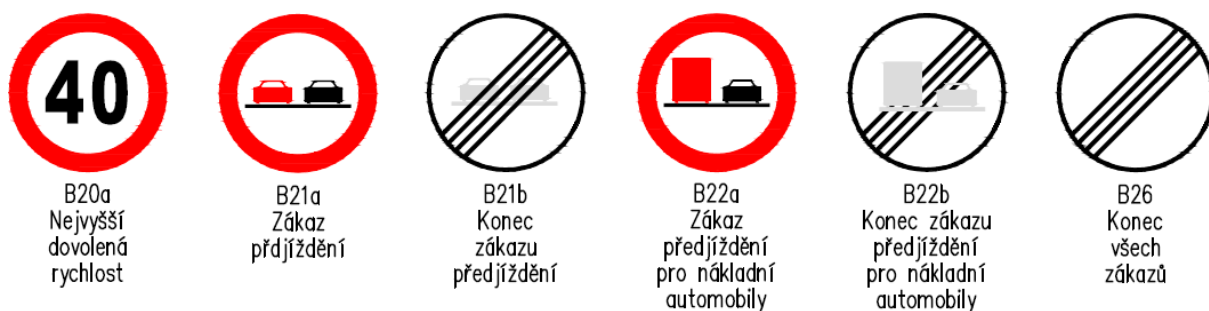
Tab. 6: Zobrazované značky [5]

Označení	Druh	Popis
A8	Výstražné	Nebezpečí smyku
A15	Výstražné	Práce na silnici
A22	Výstražné	Jiné nebezpečí
A23	Výstražné	Kolona
A24	Výstražné	Náledí
B20a	Zákazové	Nejvyšší dovolená rychlost
B21a	Zákazové	Zákaz předjíždění
B21b	Zákazové	Konec zákazu předjíždění
B22a	Zákazové	Zákaz předjíždění pro nákladní vozidla
B22b	Zákazové	Konec zákazu předjíždění pro nákladní vozidla
B26	Zákazové	Konec více zákazů
S8a	Světelné signály	Signál pro zakázaný vjezd vozidel do jízdního pruhu
S8b	Světelné signály	Signál „Volno“ pro vjezd vozidel do jízdního pruhu
S8c	Světelné signály	Světelná šipka vlevo
S8d	Světelné signály	Světelná šipka vpravo

Na následujících obrázcích jsou zobrazeny značky uvedené v Tab. 6.



Obr. 13 : Světelné signály [20]



Obr. 14 : Zákazové značky



Obr. 15 : Výstražné značky

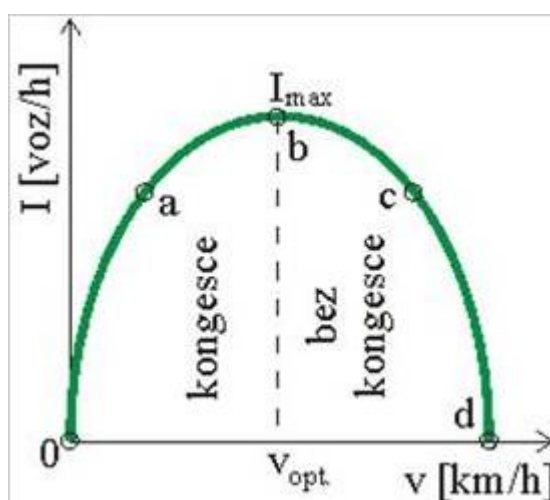
1.3.4 Umístění

PDZ je možné umístit vedle vozovky nebo nad vozovku. Výstražná značka umístěná **nad vozovkou** platí pro celou vozovku v daném směru jízdy. Pokud se jedná o vozovku s více jízdnicími pruhy pro jeden směr jízdy, pak se tyto značky umísťují nad vozovku mezi jízdnicími pruhy. Zákazové nebo příkazové značky se umísťují nad osu každého jízdnicího pruhu a platí pouze pro tento pruh. Nad vozovku se PDZ umísťují v nepřehledných místech a v místech, kde jsou vysoké intenzity. Umístěním PDZ v příčném profilu komunikace se boční odstupy a volná výška pod konstrukcí portálu určí s ohledem na průjezdný prostor komunikace dle ČSN 01 80 20, ČSN 73 61 01, ČSN 73 61 10 a ČSN 73 62 01. [5]

Při bočním osazení jsou panely světloemitujících PDZ jsou panely umístěny v pravém úhlu ke směru dopravního proudu. Zorný úhel těchto panelů vyplývá z výšky očí řidiče 1,2 m ve vzdálenosti 150 m a v odstupě 0,9 m od kraje jízdnicího pruhu. Při umísťování takovýchto PDZ v obloucích, tunelech nebo jiných nepřehledných místech je třeba brát ohled na viditelnost, zřetelnost a čitelnost značek. Pro tyto účely se přednostně používají PDZ s velkým úhlem viditelnosti. [5]

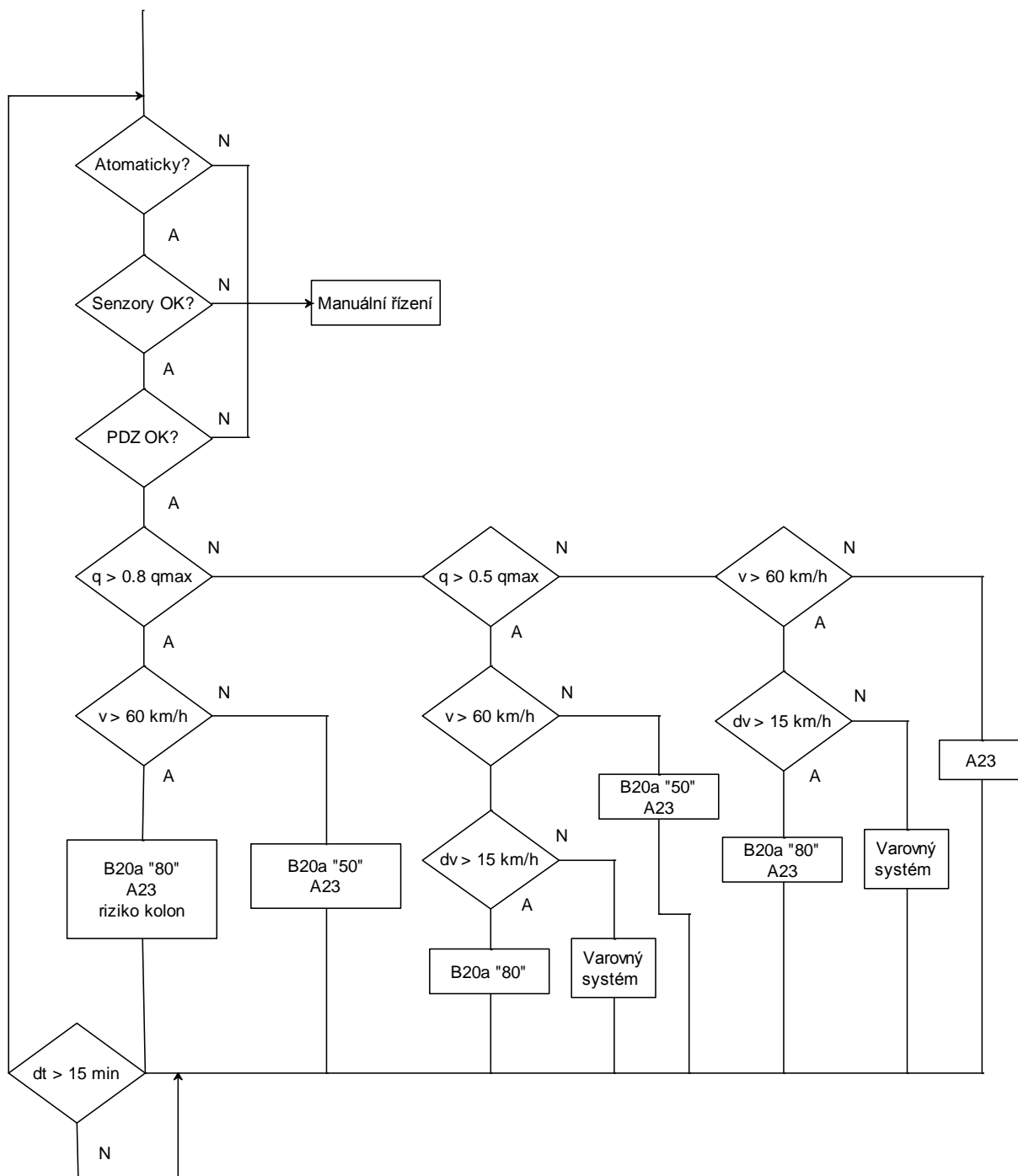
2 Algoritmy pro liniové řízení

Základem činnosti systému je zpracování a vyhodnocení naměřených dat. Je potřeba vzít v potaz velké objemy dat, které je zapotřebí vyhodnotit a spočítat z nich dvou nebo vícedimenzionální model. Dvoudimenzionální model je založen na hodnotách intenzity a rychlosti k nahlédnutí na Obr. 16. S pomocí tohoto modelu je možné dále klasifikovat dopravní proud a vyhledávat nestability. Řídicí algoritmy musí rovněž umět v určitých mezích doplnit chybějící data. Tato ztráta dat může být způsobena poruchou nebo rušením. [2]



Obr. 16 : Dvoudimenzionální model [21]

Algoritmy probíhající v řídicí ústředně mění symboly na PDZ. Kromě změny rychlosti do řízení významně zasahuje také zákaz předjíždění pro nákladní automobily způsobující pomalou jízdu nákladních vozidel v pravém jízdním pruhu. Toto omezení má z hlediska řízení velký význam, jelikož pomalé vozidlo jedoucí v levém nebo středním pruhu způsobí výraznou disturbanci v rychlosti. Celá logika změny rychlosti je znázorněna na Obr. 17. [2]



Obr. 17 : Příklad diagramu pro řízení změnou rychlosti [2]

Na začátku řízení je volba automatického či manuálního řízení. Manuální řízení je rovněž aktivováno, pokud nejsou funkční senzory nebo PDZ. Je-li vše v pořádku a nedošlo k volbě manuálního režimu, přejde se k rozhodovací logice na základě intenzity. Po rozhodování podle intenzity následuje další rozhodování na základě rychlosti. Dále dojde k zobrazení příslušných značek na PDZ a případně dalším akcím. Délka cyklu zobrazeného příkladu řízení je 15 minut.

Skutečná logika řízení je složitější, jelikož se značka snížení rychlosti musí opakovat alespoň na dvou portálech a skoky v rychlosti mezi dvěma portály mohou být maximálně o 20 km/h a další. [2]

V současné době je logika nahrazována Fuzzy řízením. K tomuto nahrazování dochází z toho důvodu, že klasická logika řízení používá statické hodnoty. Pevné rozhodování nevystihuje věrohodně charakter dopravního procesu. Do řízení mohou být začleněny také povětrnostní podmínky pro zlepšení kvality řízení. Rozhodovací pravidla se pak zapisují jako lingvistická pravidla s využitím verbálních proměnných. [2]

2.1 Automatické řízení

Úkolem automatického řízení je snižování rychlosti ve skocích po 20 km/h a také aktivování zákazu předjíždění nákladních vozidel pro stabilizaci toku a snížení rozptylu rychlosti. Bohužel pro toto řízení v současné chvíli neexistuje žádná česká norma. Z tohoto důvodu jsou níže uvedeny rozhodovací pravidla použitá na RLTC na pražském okruhu.

Rozhodování o změně zobrazené návěsti probíhá podle podmínek uvedených v Tab. 7. Zde jsou uvedeny podmínky pro zapínání i vypínání značek. Jak je z tabulky patrné, rozhodování pro vysoké rychlosti se provádí na základě naměřené intenzity. U nižších rychlostí je rozhodování založeno nejen na intenzitě dopravy, ale také na rychlosti a hustotě. Hustota je zde použita z důvodu průjezdu osamocенých pomalých vozidel. Bez zavedení podmínky hustoty by po průjezdu takového vozidla mohlo dojít ke změně (snížení) rychlosti na PDZ, přitom by byla komunikace téměř prázdná.

Tab. 7 : Podmínky rozhodování [7]

Zobrazení na PDZ	Podmínky pro zapnutí			Podmínky pro vypnutí		
	$\tilde{Q}_N(i)$ či $(\tilde{V}_{oz}(i) \text{ a } \tilde{LH}(i))$			$\tilde{Q}_N(i)$ či $(\tilde{V}_{oz}(i) \text{ a } \tilde{LH}(i))$		
120	$\geq Q_{JV}^{ZAP 120}$	-	-	$< Q_{JV}^{VYP 120}$	-	-
100	$\geq Q_{JV}^{ZAP 100}$	-	-	$< Q_{JV}^{VYP 100}$	-	-
80	$\geq Q_{JV}^{ZAP 80}$	$\leq V^{ZAP 80}$	$\geq LH^{ZAP 80}$	$< Q_{JV}^{VYP 80}$	$> V^{VYP 80}$	$< LH^{VYP 80}$
60	-	$\leq V^{ZAP 60}$	$\geq LH^{ZAP 60}$	-	$> V^{VYP 60}$	$< LH^{VYP 60}$

Tab. 8 : Výchozí hodnoty pro řízení rychlosti [7]

Výchozí hodnoty pro							
zapnutí		2 j.p.	3 j.p.	vypnutí		2 j.p.	3 j.p.
$Q_{JV}^{ZAP\ 120}$	[JV/h]	3200	4000	$Q_{JV}^{VYP\ 120}$	[JV/h]	3000	3700
$Q_{JV}^{ZAP\ 100}$	[JV/h]	3800	4800	$Q_{JV}^{VYP\ 100}$	[JV/h]	3600	4500
$Q_{JV}^{ZAP\ 80}$	[JV/h]	4200	5400	$Q_{JV}^{VYP\ 80}$	[JV/h]	4000	5100
$V^{ZAP\ 80}$	[km/h]	70	70	$V^{VYP\ 80}$	[km/h]	75	75
$V^{ZAP\ 60}$	[km/h]	50	50	$V^{VYP\ 60}$	[km/h]	55	55
$LH^{ZAP\ 80}$	[voz/km]	20	30	$LH^{VYP\ 80}$	[voz/km]	45	60
$LH^{ZAP\ 60}$	[voz/km]	20	30	$LH^{VYP\ 60}$	[voz/km]	45	60

Tab. 9 : Výchozí hodnoty pro aktivaci zákazu předjíždění nákladních vozidel [7]

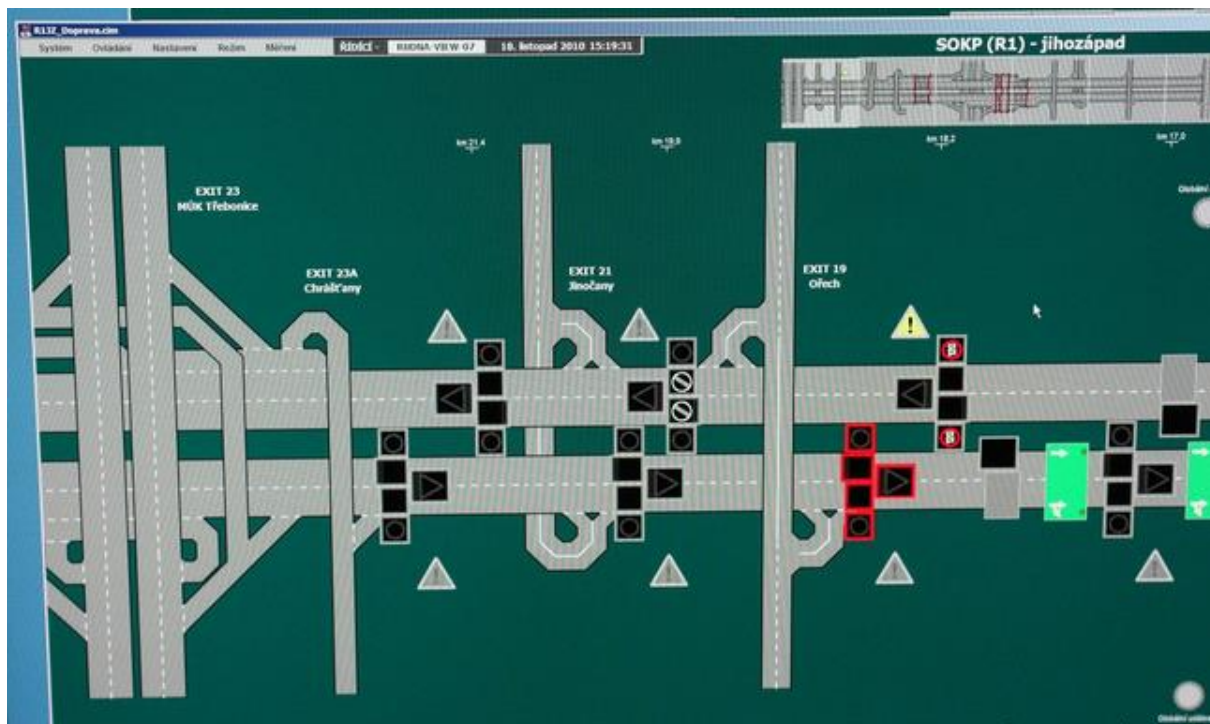
zapnutí				vypnutí			
		2 j.p.	3 j.p.			2 j.p.	3 j.p.
$Q_{JV}^{ZAP\ NA}$	[JV/h]	3200	4000	$Q_{JV}^{VYP\ NA}$	[JV/h]	2900	3600
$A_{NA}^{ZAP\ NA}$	[%]	25	20	$A_{NA}^{VYP\ NA}$	[%]	15	10

Pro zapnutí zákazu vjezdu nákladních automobilů musí být změřená intenzita vyšší než prahová hodnota pro zapnutí a zároveň podíl nákladních vozidel v dopravním proudu musí být vyšší než uvedená hodnota pro zapnutí. Pro vypínání naopak nemusí být splněny obě tyto podmínky zároveň, ale stačí, když bude platit alespoň jedna z nich, ovšem s prahovými hodnotami pro vypínání.

2.2 Manuální ovládání

Manuální ovládání RLTC se provádí v případě zvláštního nebo mimořádného stavu dopravního řádu. **Zvláštní stav** se vyskytuje zejména při údržbách, tvorbě kongescí, dopravní nehody, případně při dopravní nehodě. Při tomto stavu nedochází k ohrožení bezpečnosti účastníků provozu ani personálu. **Mimořádný stav** se nastaven v souvislosti se vznikem mimořádné události, která vyžaduje zásah složek IZS. Tento stav ohrožuje život, zdraví a majetek účastníků silničního provozu nebo obslužného personálu a systém pracuje podle zásad činností pro mimořádný stav. [6]

Při manuálním ovládání jsou PDZ ovládány pomocí obsluhy dispečinku, která je pro tyto situace proškolená. Ovládání probíhá pomocí operátorského panelu na pracovišti obsluhy. Obrazovka operátorského panelu je vyobrazena na Obr. 18.



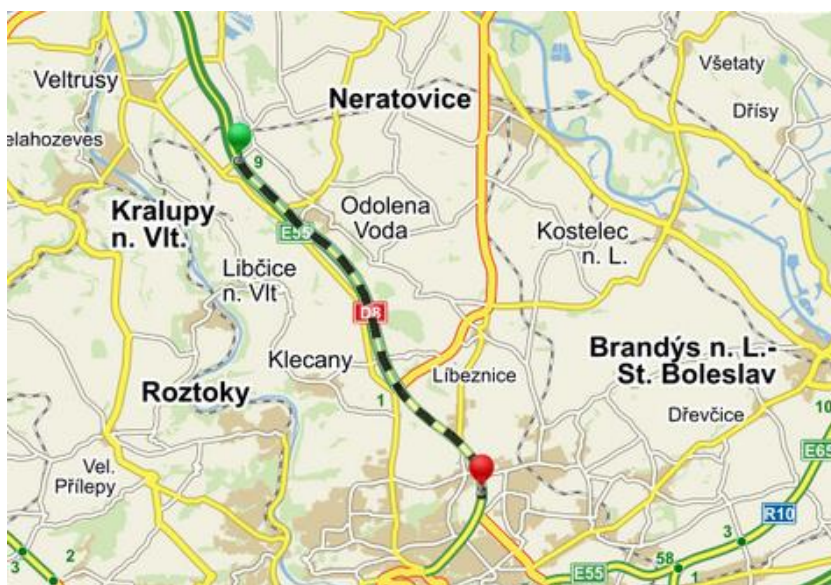
Obr. 18 : Centrum řízení silničního okruhu kolem Prahy [23]

3 Návrh aplikace systému řízení dopravy

Pro návrh aplikace liniového řízení dopravy byl vybrán konkrétní úsek dálnice v jednom směru. Na tomto úseku byly rozmístěny portály a dále navrženo řízení.

3.1 Vybraný úsek komunikace

Zvolený úsek pro RLTC zobrazený na Obr. 19 se nachází severně od Prahy. Jedná se o dálnici D8 a následně rychlostní silnici R8 na úseku od exitu 9 Úžice až po mimoúrovňovou křižovatku s ulicemi Kbelská a Veselská. Úsek komunikace byl vybrán z toho důvodu, že v ranní špičce v následném vjezdu do centra dochází k tvorbě kolon se zdržením i 45 minut. Jedná se o vhodný úsek liniové komunikace s převažující dopravou v hlavním směru. Vzhledem k tomu, že zvolený úsek navazuje na městskou radiálu s mnoha sjezdy a nájezdy, kde též dochází ke komplikacím, navrhovaný systém může napomoci k jejich zmírnění. Zvolený úsek je 15 km dlouhý. Roční průměr denních intenzit (RPDI) byl 38 600 voz/den v roce 2014. Jedná se o komunikaci kategorie D 26,5/120 s dvěma, místy třemi pruhy v každém směru s šířkou jednoho pruhu 3,75 m. V části zvoleného úseku dochází vlivem návrhu RLTC ke zvýšení rychlosti. Z důvodu zabránění zvýšení hluku v přilehlé obci bylo navrženo vybudování protihlukové stěny (viz kapitola 3.2.2).



Obr. 19: Vybraný úsek komunikace D8/R8 [17]

3.2 Architektura

Navržená funkční a informační architektura odpovídá architektuře zmíněné v kapitole 1.1.1. V měřicích bodech budou sbírána následující data o dopravním proudu: intenzita a rychlost.

Z těchto dat bude dále dopočítána hustota. Na základě výše zmíněných parametrů lze sestavit model dopravy sloužící k získání pravidel. Navržený systém bude zajišťovat pouze změnu nejvyšší dovolené rychlosti na PDZ, neřeší zákaz vjezdu nákladních vozidel do levého jízdního pruhu. Zobrazované návěsti jsou navrženy následně: 130, 120, 100, 80, 60 a 40 km/h. Z tohoto výčtu návěstí není přímo zobrazováno omezení 130 km/h, je řešeno zhasnutím PDZ. Jedná se o maximální dovolenou rychlost na zvolené komunikaci. Není možné na všech portálech zobrazovat celé spektrum návěstí z důvodu navázání na předchozí úsek bez řízení a omezení nejvyšší dovolené rychlosti v obci. Návěsti, které mohou být zobrazeny na jednotlivých portálech, jsou uvedeny v Tab. 10. Do automatického řízení může v případě nutnosti manuálně zasáhnout dispečer pomocí operátorského pracoviště. Manuální ovládání je nadřazeno automatickému řízení.

Tab. 10: Návěsti možné k zobrazení na jednotlivých portálech

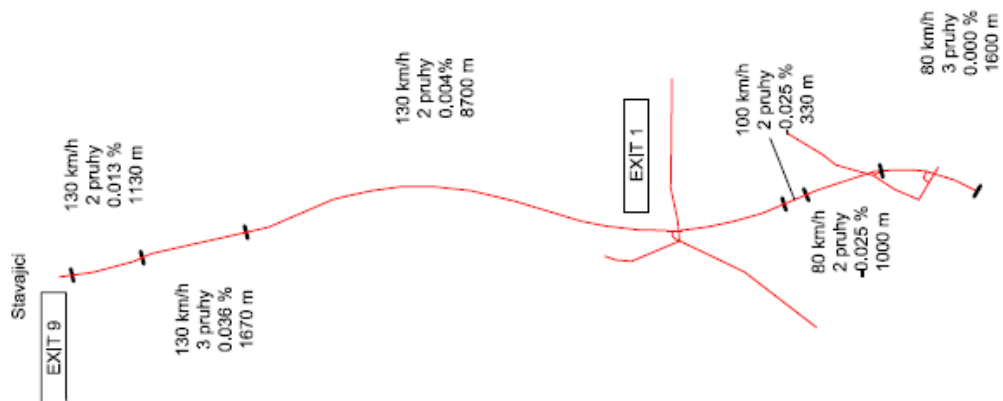
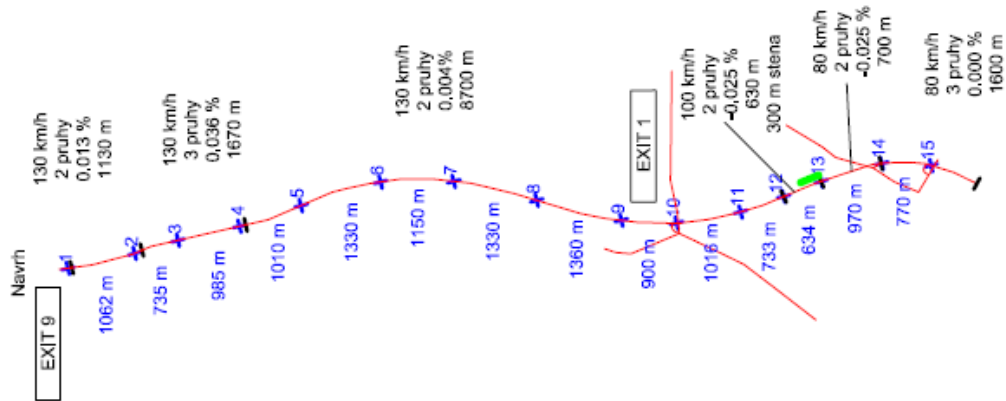
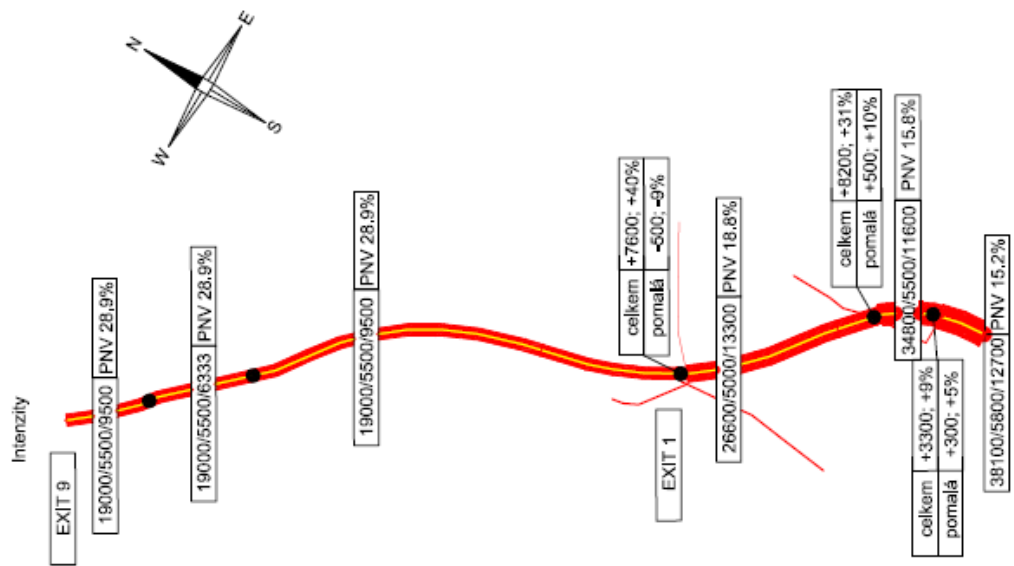
Číslo portálu	Možné návěsti [km/h]
1	130, 120
2	130, 120, 100
3	130, 120, 100, 80
4	130, 120, 100, 80, 60
5	130, 120, 100, 80, 60, 40
6	130, 120, 100, 80, 60, 40
7	130, 120, 100, 80, 60, 40
8	130, 120, 100, 80, 60, 40
9	130, 120, 100, 80, 60, 40
10	130, 120, 100, 80, 60, 40
11	120, 100, 80, 60, 40
12	100, 80, 60, 40
13	80, 60, 40
14	80, 60, 40
15	80, 60, 40

Fyzická architektura je navržena na základě architektury ve výše zmíněné kapitole 1.1.1 s tím rozdílem, že centrální a oblastní ústředna tvoří jeden celek (vrstvy 1 a 2), jelikož se jedná o krátký úsek komunikace a systém nenavazuje na sousední oblasti. Sběr vstupních dat zajistí indukční smyčky, které budou umístěné v každém jízdním pruhu ve vzdálenosti 150 m za portálem (viz kapitola 1.1.3). Indukční smyčky byly vybrány z důvodu jejich spolehlivosti. Indukční smyčky oproti videodetekci mají výhodu v tom, že nejsou tolik ovlivnitelné počasím

(např. mlhou). Jelikož jednou z měřených veličin je rychlost, musejí být umístěny 2 smyčky za sebou v krátké vzdálenosti řádově metrů, jelikož pomocí jedné smyčky rychlost nelze určit dostatečně přesně jednoduchým způsobem. Zvolené indukční smyčky musejí být inteligentními senzory nebo vybaveny lokálním zpracováním dat, jelikož je potřebné přenášet ze snímačů přímo dopravní parametry z důvodu poměrně velké vzdálenosti měřících bodů od místa zpracování (gantryserver u portálu). Smyčky tedy nelze přímo připojit ke vstupům gantryserveru. Gantryserver musí mít krytí odolné vůči prachu a dešti, to znamená stupeň krytí IP 63 nebo vyšší. Vhodné je využít redundantní řídicí systém na této pozici.

Komunikační architektura obsahuje propojení fyzických vrstev i propojení v rámci jedné vrstvy. Informace mezi vrstvami 3b a 3a (dle Tab. 1 na str. 13) je navrženo přenášet pomocí metalického vedení, z důvodu jejich krátké vzdálenosti. Jednotlivé vrstvy 3a mezi sebou i nadřazenou ústřednou vzniklou spojením vrstev 1 a 2 komunikují po optické síti, jelikož je nejvhodnější pro přenos velkých objemů dat a nemá na něj vliv rušení.

3.2.1 Schéma a detailní popis vybraného úseku a instalovaného systému



Obr. 20 : Situační schéma úseku

Na Obr. 20 je náhled stávající situace (schéma vlevo), navržených úprav (prostřední schéma) a současných intenzit dopravy (schéma vpravo).

Schéma stávající situace informuje o následujících parametrech úseků: nejvyšší dovolená rychlost, počet jízdních pruhů, sklon a délka úseku. Vybraná část liniové komunikace obsahuje celkem 5 odlišných druhů úseků. Tyto druhy úseků jsou rozdílné v počtu jízdních pruhů (2 nebo 3) a v nejvyšší dovolené rychlosti (130, 100 a 80 km/h). Podélné sklony všech úseků jsou zanedbatelné (-0,025 % – 0,036 %) a nijak zásadně neovlivňují dopravní proud, proto není potřeba vytvářet rozdílné modely pro různé podélné sklony.

Schéma návrhu obsahuje rozmístění portálů a vzdálenost mezi nimi (modře) a umístění protihlukové stěny (zeleně). Doplněny a aktualizovány jsou i některé údaje ze schématu stávající situace z důvodu názornosti (např. prodloužení úseku s nejvyšší dovolenou rychlostí 100 km/h vlivem vybudování protihlukové stěny). Vzdálenosti portálů se pohybují od 634 m do 1360 m. Portály byly primárně umístěny za nájezdy na liniovou komunikaci a dále byly doplněny na mezilehlé úseky, pokud jejich délka byla větší než 1500 m, což je maximální vzdálenost portálů. Systém obsahuje celkem 15 portálů. Portály jsou číslovány vzestupně ve směru jízdy od 1 do 15.

Schéma intenzit zobrazuje graficky i číselně stávající intenzity dopravy na úsecích mezi vyznačenými uzly (černé kruhy). Uvedené intenzity jsou udávány ve voz/den ve formátu všechna vozidla, pomalá vozidla, vozidla přepočtená na jízdní pruh a podíl nákladních vozidel. V místě uzlu je zapsán nárůst či pokles intenzity absolutně i procentuálně opět pro všechna vozidla a pro pomalá vozidla zvlášť. Uzel ovlivňující vybranou liniovou komunikaci nejvíce je EXIT 1, kde je nárůst intenzity 40 % a intenzita na jeden jízdní pruh 13300 voz/den. Další uzel, který zasáhne dopravní proud citelně, je uzel následující po EXITu 1 směrem do centra. Zde je nárůst intenzity 31 %. Ovšem od tohoto místa na komunikaci přibývá třetí jízdní pruh, který by měl pojmout vozidla, která se připojila na tomto i předchozím uzlu (intenzita přepočtená na jeden jízdní pruh klesá).

3.2.2 Protihluková opatření v úseku

Ve vybraném úseku u obce Březiněves (mezi portály 12 a 13) je třeba vybudovat protihlukovou stěnu z důvodu zvýšení rychlosti z 80 km/h na 100 km/h. Délka této stěny by měla být 300 m. Díky zvýšení rychlosti každé projíždějící vozidlo ušetří 54 sekund času. Při intenzitě 26600 voz/den dojde k celkové úspoře 399 voz·h/den. Vybudování je potřebné

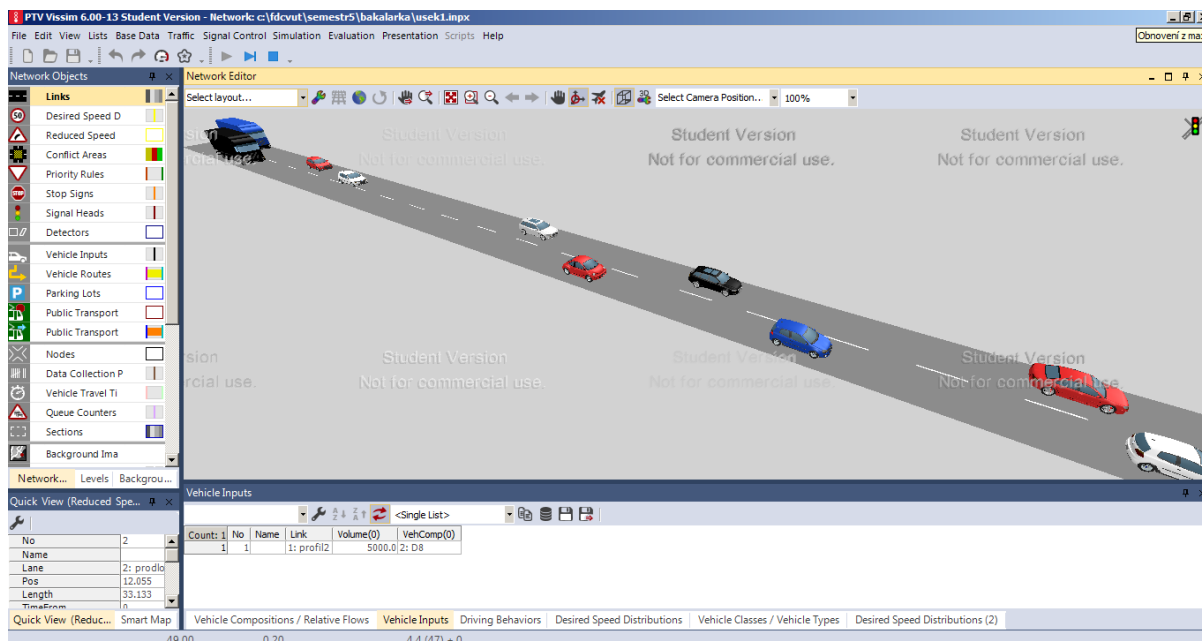
pouze na jedné straně dálnice kvůli obydlené oblasti v tomto směru. Protihluková stěna je v mapě návrhu zakreslena zeleně. Cena stavby stěny vychází kolem 4 milionů Kč.²

3.3 Modely dopravy

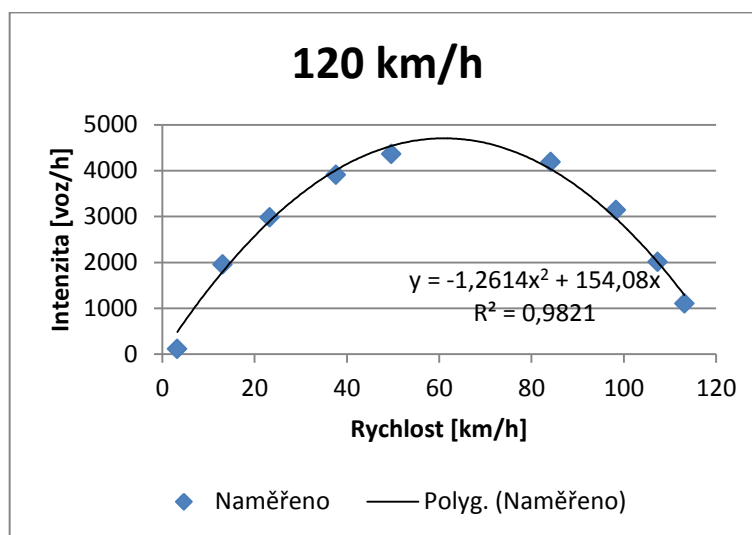
Pro řízení je nezbytné sestavit modely dopravy. To můžeme provést z naměřených dat nebo simulací daného úseku. V tomto případě byla zvolena metoda simulace, jelikož měření by se muselo na dálnici provádět na několika různých profilech po dlouhou dobu, aby nastaly všechny situace z pohledu stupňů dopravy. Simulace byly provedeny pro všechny úseky, stupně dopravy a rychlosti zobrazovaných návěstí v softwarovém prostředí PTV Vissim 6. Výstupem simulace je rychlost jednotlivých vozidel a intenzita. Data ze simulací byla zpracována do dvoudimenzionálního modelu dopravy rychlost – intenzita. Data byla proložena křivkou pomocí funkce nástroje MS Excel. Zjištěním rovnice křivky byly dále dopočítány potřebné hodnoty.

Základem simulace bylo namodelování části fyzického úseku. Simulace probíhala rozdílně pro podsaturovaný a přesaturovaný dopravní proud. Při podsaturovaném proudu byla zvyšována vstupní intenzita až do stavu saturace. Pro simulaci přesaturovaného stavu zůstala vstupní intenzita pro stav saturace a byla postupně omezována rychlost na konci modelovaného úseku, tím došlo k zahuštění proudu a nasimulování kongescí. Tento postup musel být použit, protože zvolený software při simulaci na vstup úseku vpustí jen tolik vozidel, dokud nedojde k nasycení, další vozidla již nejsou vpuštěna do úseku a při konci simulace je zobrazena chybová hláška. Výstupem simulací byla naměřená intenzita a rychlost na konci úseku po ustálení. Náhled simulace je zobrazen na Obr. 21. Simulace jsou k nalezení v příloze D.

² Jednotková cena udávaná výrobcem přepočtená na navrhovanou délku stěny [22].



Obr. 21: Náhled simulace



Obr. 22: Model dopravy pro návěst 120 km/h a 2 jízdní pruhy

Na Obr. 22 je zobrazen model dopravy pro 120 km/h a 2 jízdní pruhy s proloženými daty křivkou a zobrazenou rovnicí. Z uvedeného modelu druhého řádu je patrné, že se jedná o parabolický model typu Greenshields.

Grafy i rovnice modelů pro ostatní rychlosti jsou uvedeny v příloze B. Proložením modelů křivkou získáme následně polynom popisující model. Polynom je ve tvaru:

$$y = ax^3 + bx^2 + cx. \quad (1)$$

Koeficienty křivek všech vytvořených modelů jsou k nalezení v následující Tab. 11. Rovnice je zde zapsána ve formátu vystupujícím z MS Excel. Proměnná y zde zastupuje intenzitu a proměnná x rychlost. Pro vyšší rychlosti od 130 km/h do 100 km/h jsou vhodné modely

druhého řádu. U nižších rychlostí tento model nekopíruje dostatečně přesně nasimulovaná data, proto byl použit model třetího řádu. U modelů pro nízké rychlosti se projeví toto omezení tím, že pravá strana modelu je dosti strmá, a proto ji nelze dostatečně přesně proložit křivkou druhého řádu (viz příloha B).

Tab. 11: Koeficienty křivek modelů

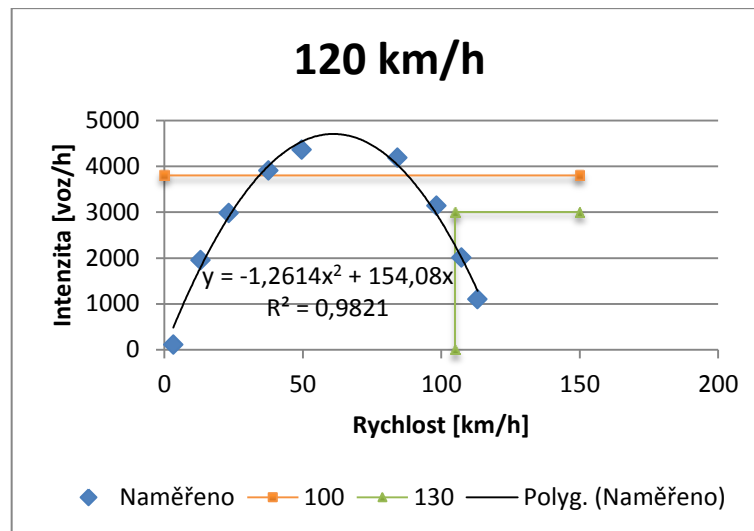
Rychlost	2 jízdní pruhy			3 jízdní pruhy		
	a	b	C	a	b	c
130	0	-1,3582	168,4500	0	-1,8297	227,2600
120	0	-1,2614	154,0800	0	-1,8499	227,4600
100	-0,0081	-0,2954	129,9200	-0,0171	0,3615	167,5600
80	-0,0335	2,0582	84,4500	-0,0514	3,3741	111,8400
60	-0,1202	7,8032	8,1712	-0,1842	12,7850	-45,5030
40	0,0989	2,5095	148,5700	-0,2560	11,4860	62,6010

3.4 Principy řízení

Řízení je založeno na principu snižování rychlosti po krocích 20 km/h. Výjimkou při snižování rychlosti je rychlost 130 km/h. Pokud je použita právě tato rychlost, dochází ke snížení o 10 km/h, tedy na 120 km/h. Při rychlostech 130 km/h – 100 km/h probíhá rozhodování pouze podle intenzity. Při rychlosti 80 km/h se rozhoduje v závislosti na intenzitě, rychlosti i hustotě. Při nižších rychlostech je využívána rychlost a hustota. Principy vycházejí z kapitoly 2.1. Limitní hodnoty jsou zobrazeny v Tab. 12. Tyto hodnoty jsou zobrazeny také v modelech dopravy z předchozí kapitoly na Obr. 23.

Tab. 12: Rozhodovací hodnoty pro řízení

Návěst	Zapínání						Vypínání					
	Qz [jvoz/h]		V [km/h]		Kz [voz/km]		Qv [jvoz/h]		V [km/h]		Kv [voz/km]	
	2p	3p	2p	3p	2p	3p	2p	3p	2p	3p	2p	3p
130												
120	3200	4000					3000	3700				
100	3800	4800					3600	4500				
80	4200	5400	70	70	20	30	4000	5100	75	75	45	60
60			50	50	20	30			55	55	45	60
40			35	35	20	30			40	40	45	60



Obr. 23: Model dopravy pro návěst 120 km/h a 2 jízdní pruhy s limity

V modelu jsou zobrazeny limity pro přepnutí na nižší rychlost (oranžově) a pro přepnutí na rychlost vyšší (zeleně). Tyto křivky se nepřekrývají ani neprotínají v rámci jednoho modelu. Při přechodu mezi sousedními modely je aplikováno pravidlo hystereze. Tyto skutečnosti přispívají ke stabilitě řízení. V legendě jsou rovněž uvedeny rychlosti (návěsti), které budou následovat po překročení daných limitů.

3.5 Algoritmy řízení a ovládání

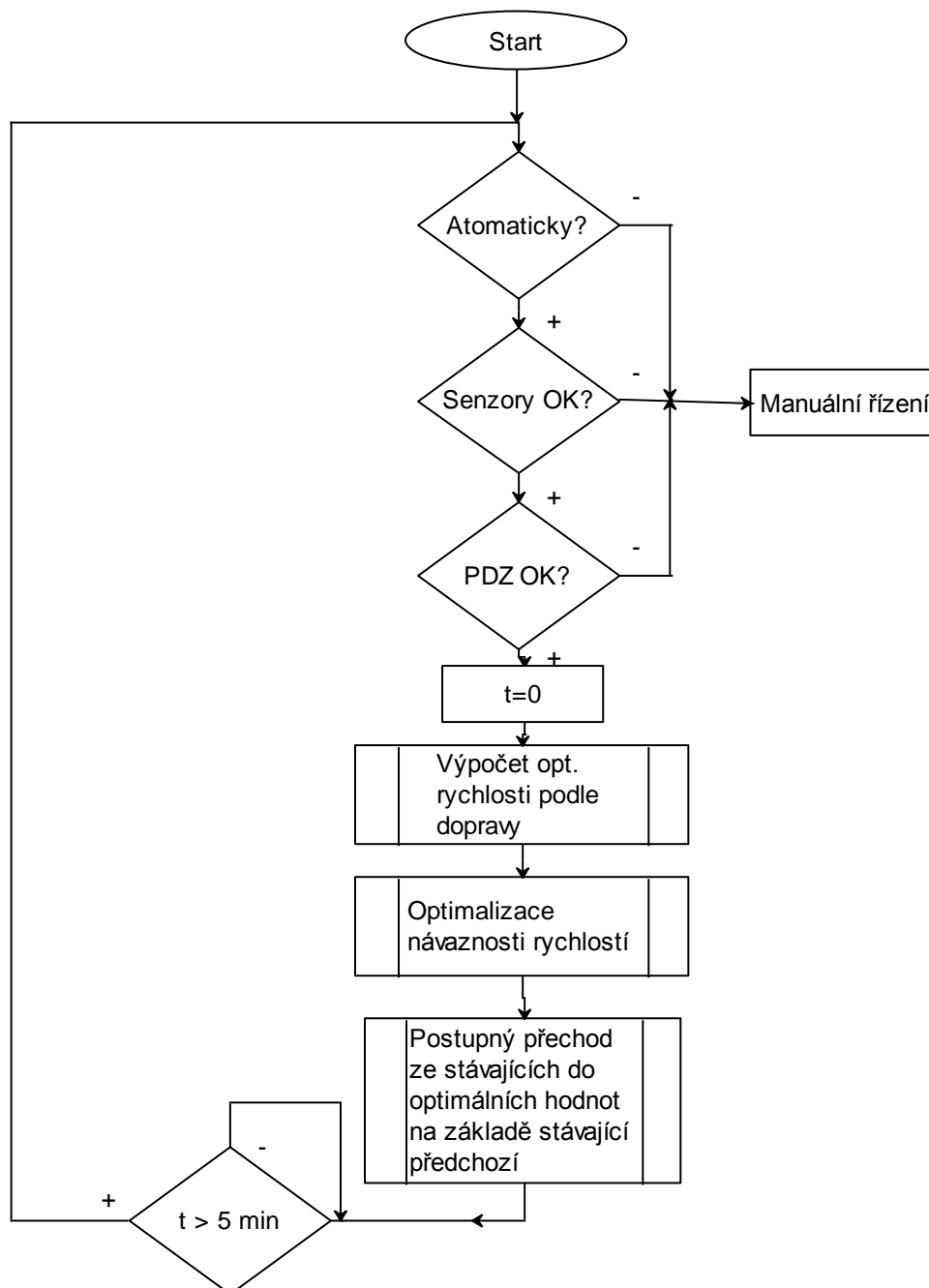
Na následujících vývojových diagramech jsou zobrazeny navržené algoritmy pro liniové řízení dopravy. Systém je již optimalizován před kolizemi. Akční veličinou je nejvyšší dovolená rychlost (návěst) zobrazená pomocí PDZ.

3.5.1 Hlavní smyčka

Obr. 24 zobrazuje hlavní smyčku algoritmu řízení. Tato smyčka obsahuje dílčí procedury zde označené jedním blokem a vysvětlené níže. Po spuštění systému RLTC dochází ke kontrole snímačů a PDZ. Pokud nejsou PDZ nebo snímače funkční, dochází k přepnutí do manuálního řízení dispečerem. Do tohoto režimu je možné se dostat rovněž pomocí volby dispečera.

Automatické řízení probíhá v několika základních krocích. Nejprve dojde k výpočtu optimálních rychlostí pro zobrazení na PDZ v každém profilu. Dále je třeba optimalizovat návaznost zobrazovaných rychlostí, jelikož snížení rychlosti mezi portály může být maximálně o 20 km/h [2]. Po úpravě návaznosti rychlostí přichází řada na postupné zobrazování návěstí na jednotlivých portálech tak, aby výše uvedené pravidlo platilo pro všechny řidiče během celého procesu změny návěstí. Změna návěstí na PDZ probíhá

minimálně po 5 minutách, aby nedocházelo ke krátkému zobrazování různých rychlostí vedoucímu k deharmonizaci dopravního proudu.

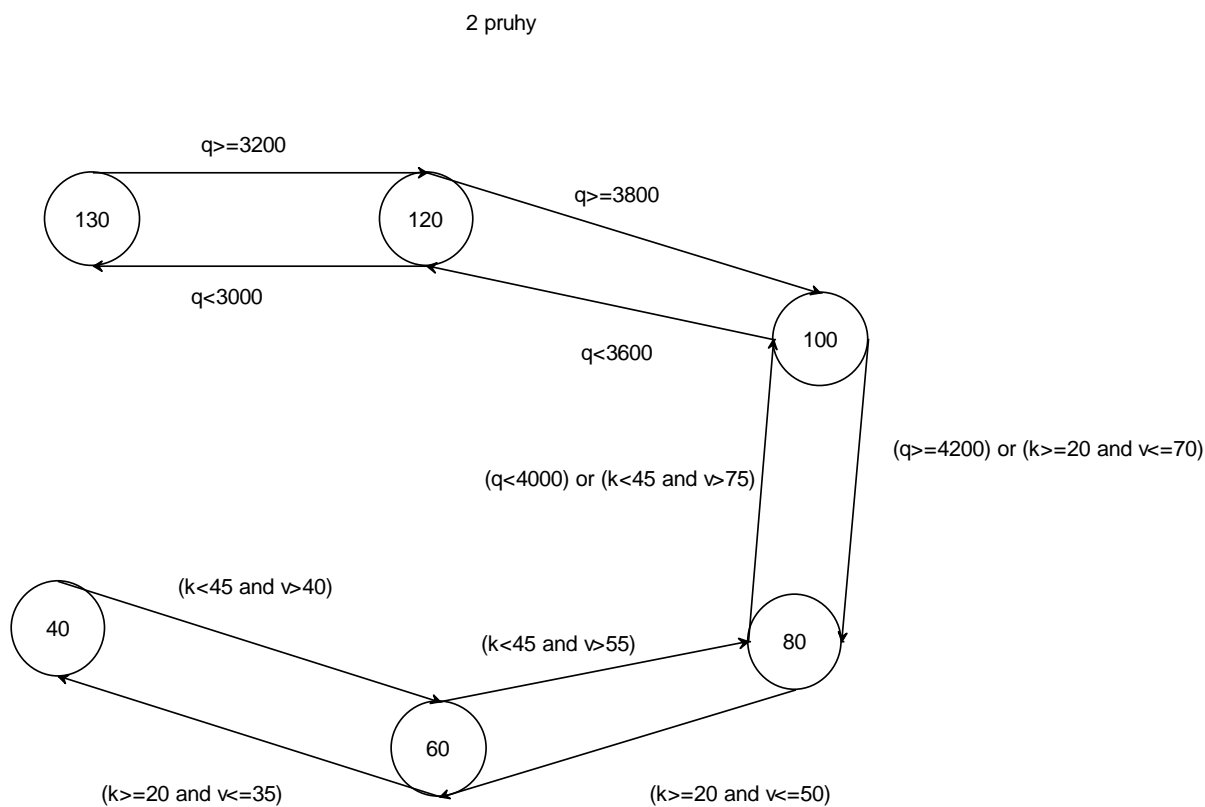


Obr. 24: Základní algoritmus funkce

3.5.2 Výpočet optimální rychlosti na základě dopravy

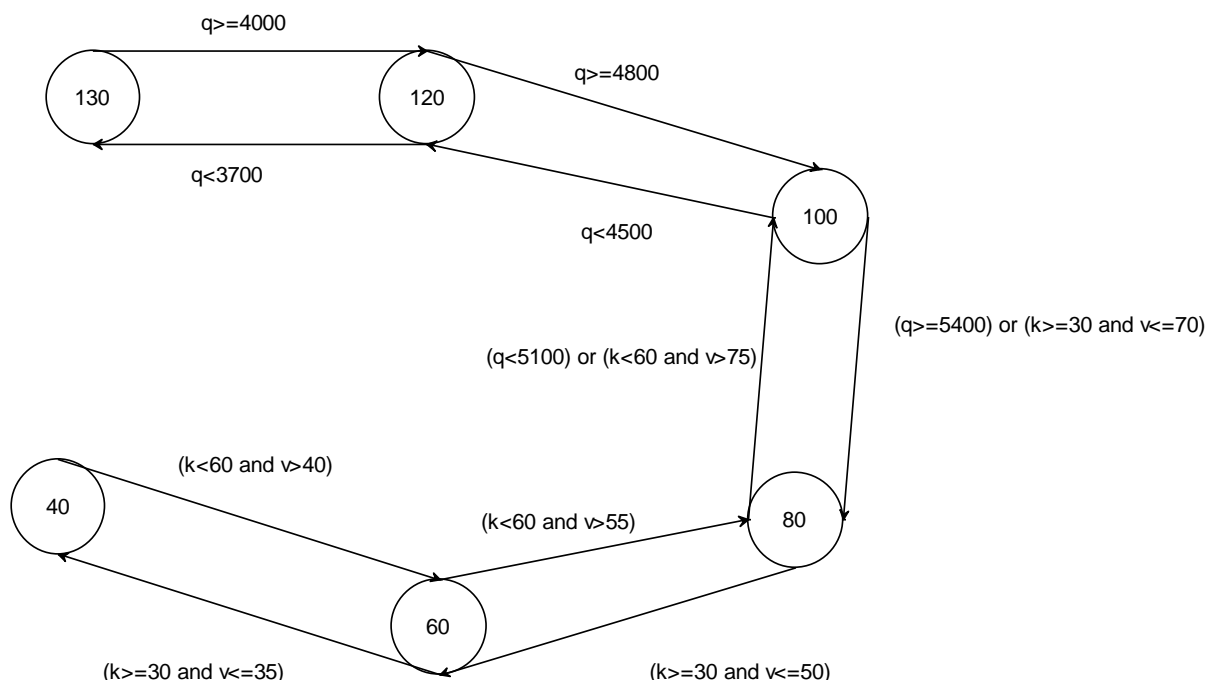
Před zobrazením vývojového diagramu pro výpočet optimálních rychlostí bude princip rozhodování popsán na stavovém diagramu, který je názornější. Stavový diagram pro dva jízdní pruhy je uveden na Obr. 25 a pro tři jízdní pruhy na Obr. 26. Diagram pro dva a tři jízdní pruhy se liší pouze hodnotami u podmínek přechodů, jinak jsou naprosto totožné.

Jak je ze stavových diagramů patrné, systém se může nacházet v jednom z šesti stavů. Pro přechod do jiného stavu musejí být splněny podmínky přechodu, tedy se systém musí nacházet v předcházejícím stavu a plnit podmínky přechodu zapsané u spojnice znázorňující přechod



Obr. 25: Stavový diagram určení optimální rychlosti pro 2 jízdní pruhy

3 pruhy



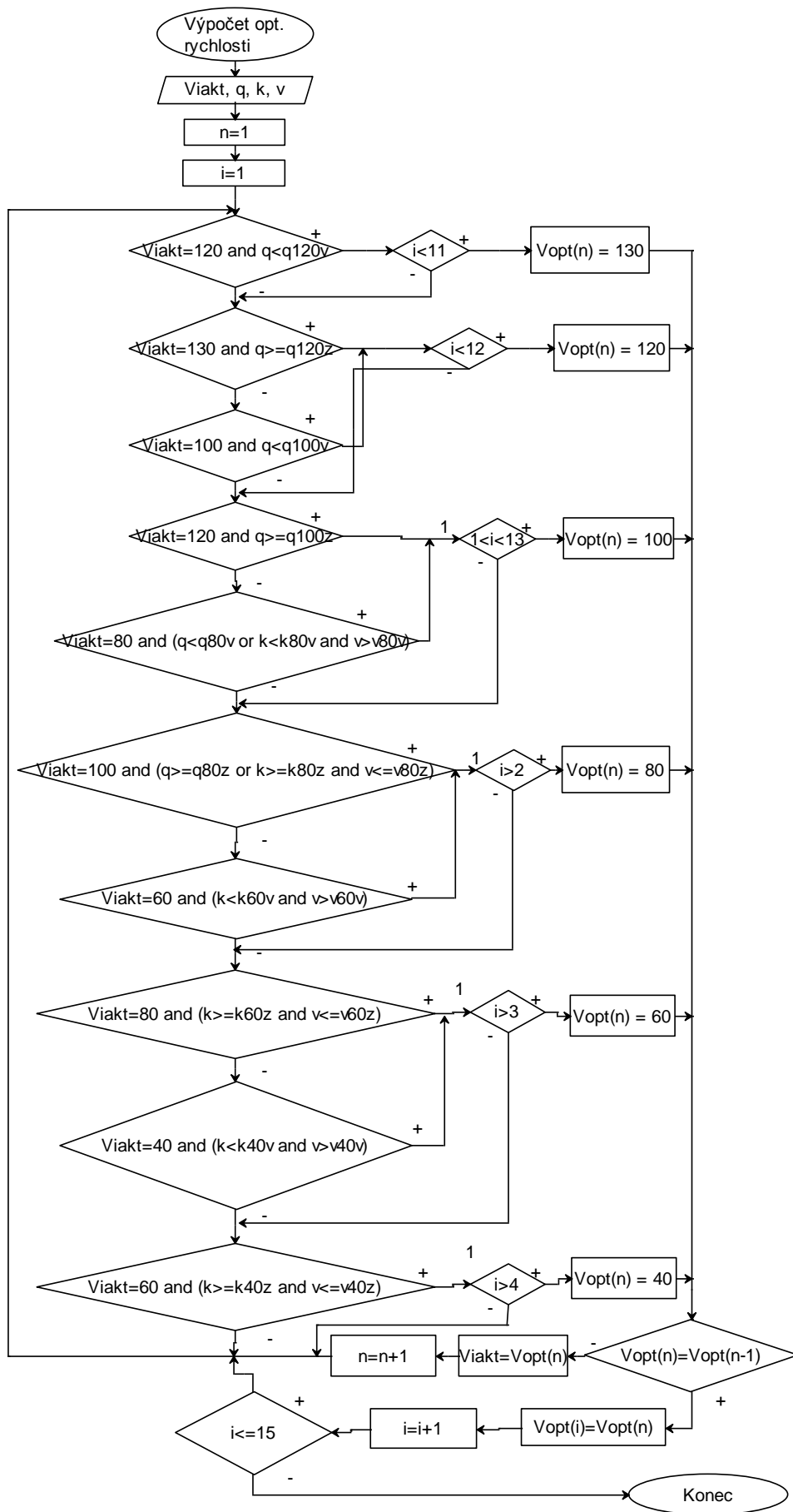
Obr. 26: Stavový diagram určení optimální rychlosti pro 3 jízdní pruhy

Následující diagram na Obr. 27 popisuje algoritmus určení optimálních rychlostí z pohledu aktuální dopravní situace pro každý profil. Vstupní veličiny pro výpočet optimální rychlosti jsou: aktuální návštěva na PDZ (V_{iakt}), aktuální intenzita (q), aktuální hustota (k) a aktuální rychlost (v).³ Parametr n určuje počet iterací a parametr i číslo portálu (dle schématu na Obr. 20), pro který je optimální rychlost počítána. Počet iterací je použit z toho důvodu, že systém nemusí přejít pouze do přímého následníka stavu, ale může jich projít několik během jednoho určování optimální rychlosti. Parametr n tedy určuje počet prošlých stavů mezi minulým a stávajícím. Nastavení parametru i na hodnotu 1 značí, že výpočet optimálních rychlostí bude probíhat od prvního portálu do posledního (patnáctého). Dále se v diagramu nachází rozhodování. Rozhodovací body odpovídají stavovému diagramu. Obsahují aktuální stav (V_{iakt})

a podmínky přechodu. Tyto dva aspekty musejí být splněny zároveň. Dojde-li ke splnění podmínek, vybere se příslušná rychlost, která se následně porovná s vybranou rychlostí z předchozí iterace. Nedojde-li ke změně od předchozí iterace, je vybraná rychlost optimální a tím se systém nachází v konečném stavu (pro poslední dvě iterace vyšla stejná rychlost).

³ Vstupní veličiny jsou sbírány a průměrovány pro celou periodu. Délka periody sběru dat je pevně určena na 5 minut.

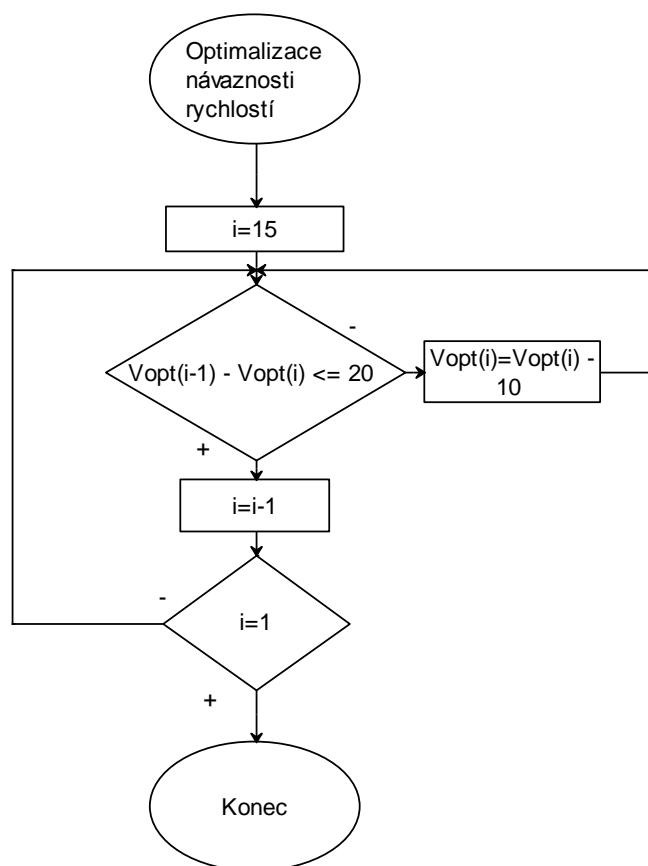
Tento proces proběhne pro všechny portály zvlášť. Podmínka pro pořadí portálu (uzly s označením 1) je zde zavedena z důvodu, že např. na prvním portálu nelze zobrazit rychlost nižší než 120 km/h, jelikož k tomuto místu přijíždějí vozidla z předchozího úseku s omezením rychlosti na 130 km/h a nelze ji v tomto úseku změnit. To samé platí pro portál 2 a rychlost 100 km/h, portál 3 a rychlost 80 km/h,... V případě posledních pěti portálů je spektrum možných návěstí omezeno nejdříve omezením rychlosti na 100 km/h a následným vjezdem do obce, kde je nejvyšší rychlost 80 km/h (viz Tab. 10). Výpočet optimální rychlosti je navržen pro implementaci na úrovni gantryserverů u jednotlivých portálů.



Obr. 27: Algoritmus určení optimálních rychlostí

3.5.3 Optimalizace návaznosti rychlostí

Po výpočtu optimálních rychlostí pomocí předchozího algoritmu je potřebné provést optimalizaci vypočtených rychlostí z důvodu vzájemné návaznosti úseků (portálů). Vstupující optimální rychlosti z pohledu dopravy jsou nyní suboptimy a je potřebné najít optima z hlediska splnění podmínky, kdy na následujícím portálu nesmí být rychlost snížena o více než 20 km/h. Ke hlídání tohoto problému slouží algoritmus uvedený na Obr. 28. Na začátku je parametr i (číslo portálu) nastaven na hodnotu 15, protože tento proces probíhá od posledního portálu k prvnímu, kde pro každou dvojici následných portálů zjistí rozdíl jejich rychlostí a v případě, že je tento rozdíl větší než 20 km/h, upraví (tzn. sníží) rychlost na předchozím portálu. Další možností by bylo zvýšit rychlost na následujícím portálu, ale to by mělo negativní vliv na harmonizaci proudu. Snížení je tedy rozumná varianta i za cenu, že nebude optimální z pohledu dopravy. Následně je postup opakován pro další předchozí portály až k prvnímu. Proces optimalizace návaznosti rychlostí je určen pro funkci na úrovni ústředny.



Obr. 28: Algoritmus optimalizace návaznosti rychlostí

3.5.4 Přechod ze stávajících návěstí na optimální

Proběhne-li optimalizace návaznosti rychlosti, následně musí proběhnout algoritmus přechodu ze stávajících návěstí na optimální (viz hlavní smyčka). Algoritmus tohoto procesu

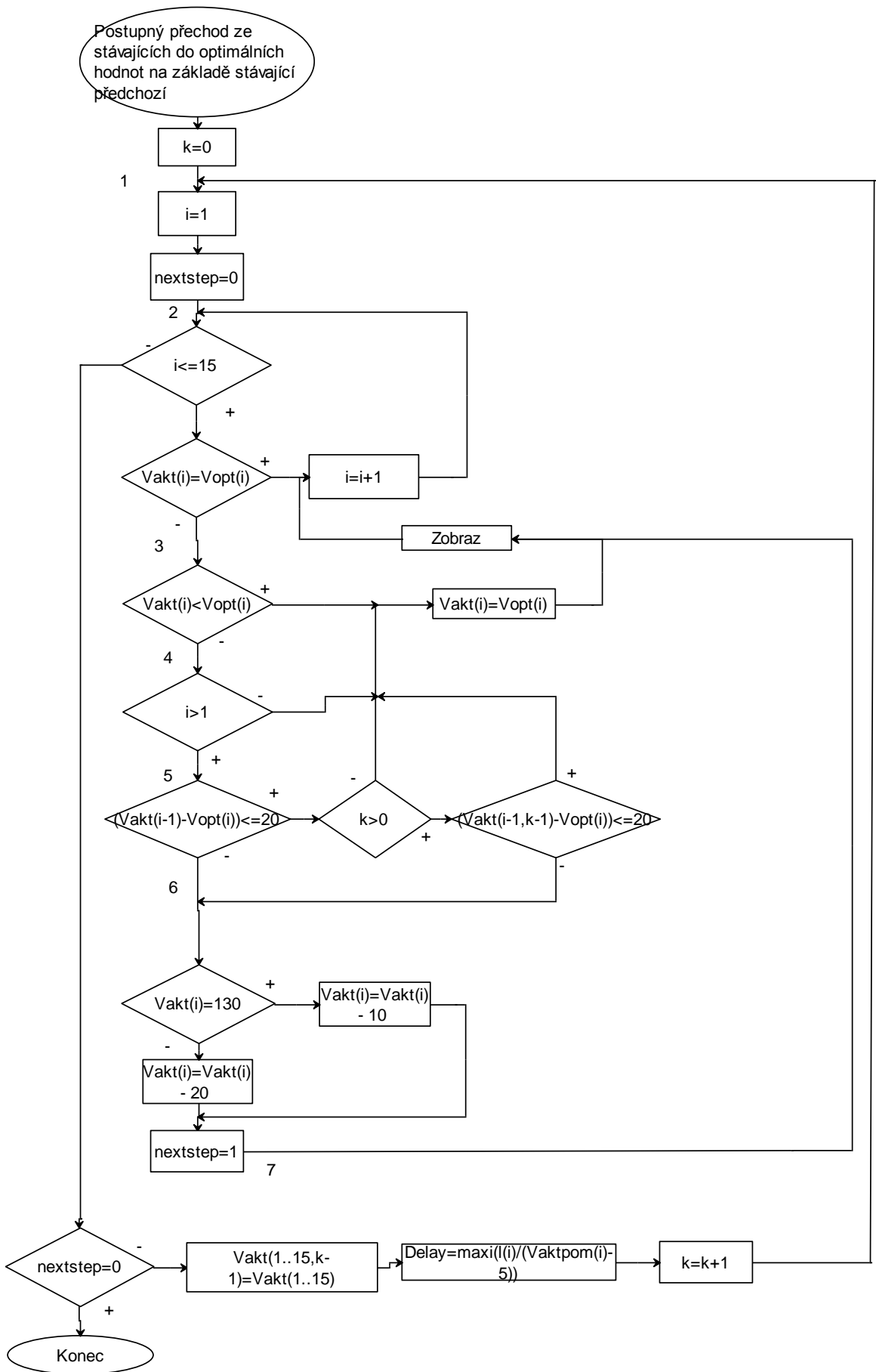
je popsán vývojovým diagramem na Obr. 29. Při procesu přechodu může nastat několik případů.

Prvním z nich je případ, kdy aktuální rychlost i rychlost optimální jsou shodné, potom se návěst nemění (mezi uzly 2 a 3 diagramu).

Druhý případ nastane, pokud optimální rychlost je vyšší než aktuální na PDZ, v tomto případě se optimální hodnota rovnou zobrazí (mezi uzly 3 a 4). Zvyšování rychlosti je možné provádět bez omezení.

Třetí případ nastane, když rozdíl aktuální rychlosti na předchozím portálu v současném i předchozím kroku a optimální rychlosti na současném portálu je menší než 20 km/h, pak se hodnota optimální rychlosti také zobrazí rovnou (mezi uzly 5 a 6). Je nutné sledovat předchozí krok předchozího portálu, jelikož vozidla respektující starou návěst na předchozím portálu jsou již v mezilehlém úseku a přijíždějí k současnému portálu. Nutné je sledovat i současný krok na předchozím portálu, neboť i první vozidla respektující novou návěst na předchozím portálu mohou dojet k současnému portálu. Pro obě skupiny vozidel musí platit maximální snížení o 20 km/h.

Má-li být snížení rychlosti větší než o 20 km/h, sníží se rychlost pouze o 10 nebo 20 km/h podle aktuální rychlosti a dojde k vyvolání dalšího kroku (mezi uzly 6 a 7). Proces proběhne stejně jako předchozí pro všechny portály. Návěsti se snižují v sekvenci po 20 km/h. Dojde k výpočtu zpoždění, po kterém se zobrazí snížená rychlost na PDZ. Toto zpoždění (Delay) je určeno maximální hodnotou pro všechny portály určenou z podílu délky úseku a odhadnuté rychlosti nejpomalejšího vozidla dopravního proudu dle návěsti v předchozím kroku tzn. pro případy, kdy se nejpomalejší vozidlo nachází těsně za portálem v čase změny návěsti. Rychlost nejpomalejšího vozidla je odhadnuta o 5 km/h nižší než návěstěná rychlost v případech návěstí do 80 km/h včetně. Pro vyšší návěsti je uvažována rychlost 80 km/h kvůli pomalým vozidlům. Z důvodu rychlosti reakce RLTC není uvažována nižší rychlost pomalých vozidel. Je třeba přijmout fakt, že pro eventuálně pomalejší vozidlo než uvedená odhadnutá rychlost může nastat situace, kdy rychlost na PDZ bude v průběhu jízdy tomuto vozidlu snížena o více než 20 km/h. Jedná se ale o minimální pravděpodobnost takové situace (pomalé vozidlo nacházející se v době změny návěsti těsně za návěstí). Kratší čas reakce RLTC se v těchto případech jeví jako rozumnější řešení, které je upřednostněno. Tento proces je navržen pro funkci na úrovni ústředny. Algoritmus je navržen tak, aby vždy poskytl řešení. Nemůže dojít k zacyklení procesu, což by znamenalo, že nenastane konečné řešení.



Obr. 29: Algoritmus pro postupný přechod

4 Implementace na řídicí systémy

Cílem implementace systému je vyzkoušet funkčnost algoritmů v automatickém provozu. Pro aplikaci navrženého algoritmu bude využita laboratoř řídicích systémů na Fakultě dopravní ČVUT. Cílem bakalářské práce není implementovat veškeré navržené algoritmy RLTC. K implementaci byl zvolen algoritmus Určení optimálních rychlostí, jednak jelikož je stěžejní, co se týká liniového řízení, a za druhé proto, že jeho struktura je vhodná k implementaci na PLC. Implementován je celý algoritmus na Obr. 27: Algoritmus určení optimálních rychlostí Obr. 27.

4.1 Hardware

Vybavení laboratoře zahrnuje osobní počítače, síť a programovatelné automaty (PLC). Osobní počítače jsou propojeny navzájem sítí Ethernet. Počítače komunikují s PLC pomocí sítě DH 485. Automaty součástí laboratoře jsou výrobkem společnosti Allen Bradley, která nyní spadá do celku Rockwell Automation. Pro testování byl využit model SLC-500 s procesorem typu 1747-L531 a 8 kB paměti. Vstupní veličiny budou zadávány pomocí vnitřních softwarových proměnných automatu v online režimu přes aplikaci RSLogix500.

4.2 Konfigurace

Pro konfiguraci a následnou implementaci byl použit software RSLogix500 dodávaný výrobcem PLC. K implementaci vybraného algoritmu není potřeba žádných vstupních ani výstupních modulů, jelikož místo měření dat, budou zadávány pomocí proměnných. To samé platí pro výstupní veličinu, která bude pouze zapsána do paměti. V následující tabulce Tab. 13 jsou uvedeny použité proměnné v programu. Proměnné začínající písmenem F jsou proměnné typu reálná čísla (Float). Začíná-li název písmenem N, značí proměnnou celočíselnou (Integer). Poslední využitý typ proměnné je binární (Binary), značí se písmenem B a nabývá hodnot pouze 1 a 0.

Tab. 13: Použité proměnné v programu

Proměnná	Označení	Popis
F8:0	V	Naměřená rychlost
F8:1	K	Naměřená hustota dopravy
N7:0	Q	Naměřená intenzita dopravy
N7:1	Viakt	Aktuální návěst na PDZ

N7:2	Vopt	Vypočtená optimální rychlost
N7:3	-	Uložená rychlost 130 km/h
N7:4	-	Uložená rychlost 120 km/h
N7:5	-	Uložená rychlost 100 km/h
N7:6	-	Uložená rychlost 80 km/h
N7:7	-	Uložená rychlost 60 km/h
N7:8	-	Uložená rychlost 40 km/h
N7:9	Pom	Pomocná proměnná
B3:0	-	Spouštěcí bit

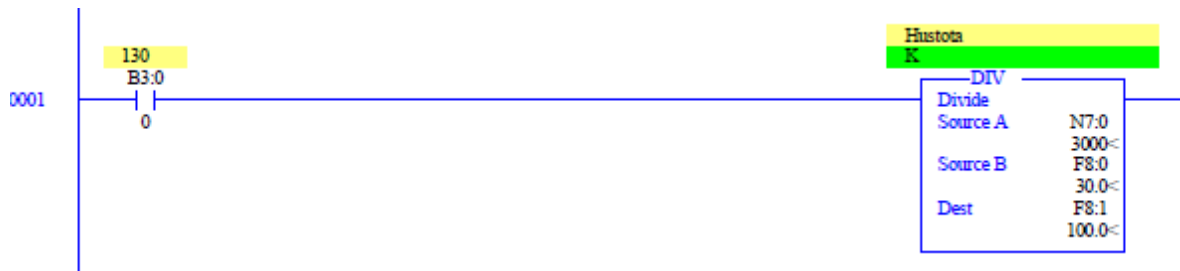
4.3 Implementace algoritmů

V prostředí RSLogix500 byl zvolený algoritmus navržen pomocí líniového schématu. Tento programovací jazyk je pro návrh vybraného algoritmu vhodný vzhledem k jeho struktuře. Jazyk líniových schémat je podobný kontaktním schématům z elektrotechniky. V levé části linie se nacházejí různé podmínky. Jsou-li tyto podmínky splněny, dojde k vykonání příkazu v pravé části linie. Nejsou-li podmínky splněny, procesor přejde na následující linii. Nastane-li konec programu, začíná se opět od začátku. Tento proces probíhá cyklicky.

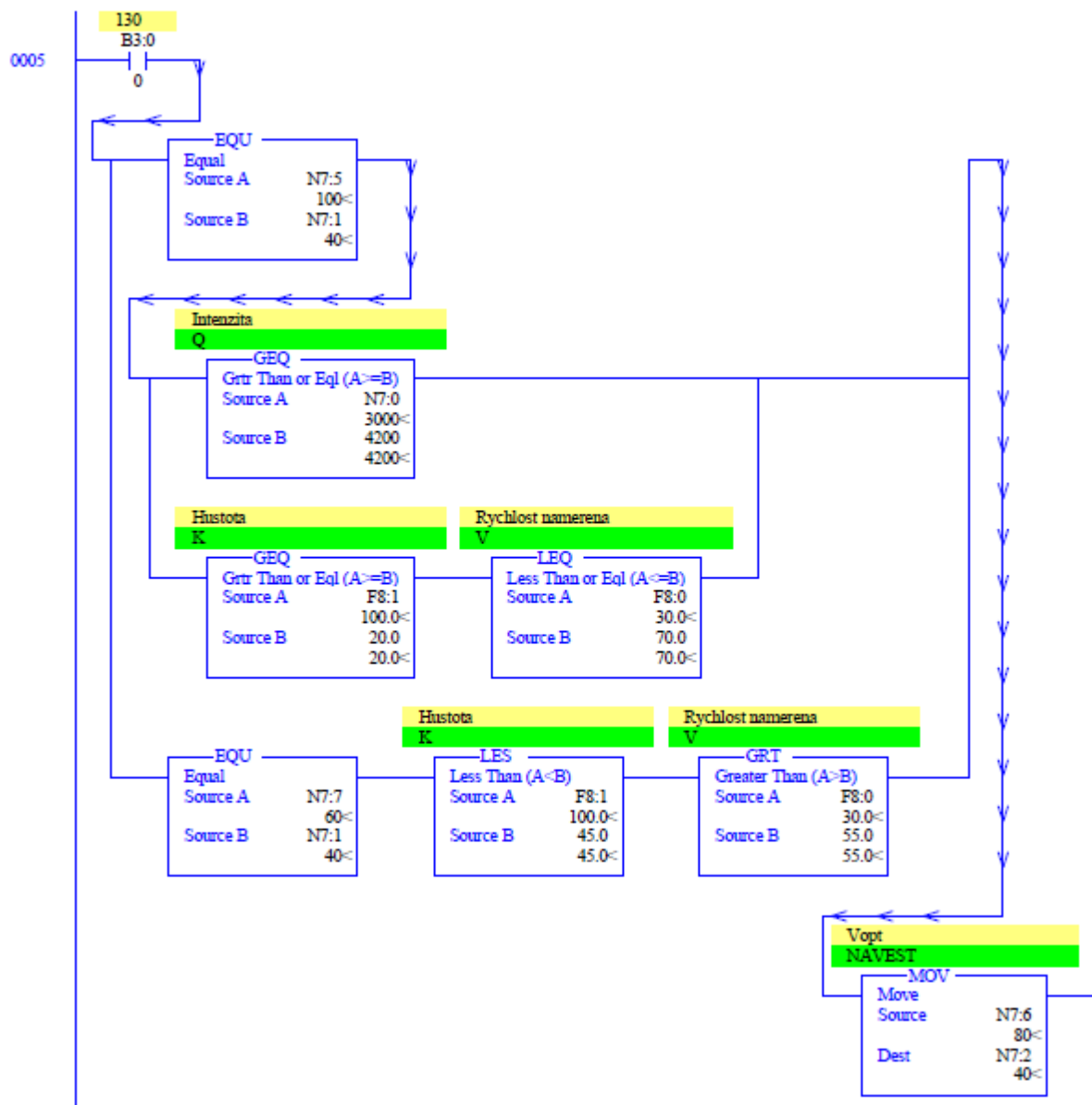
Na začátku programu v linii (rung) označené 0001 na Obr. 30 dochází k výpočtu hustoty dopravy z rychlosti a intenzity podle vzorce:

$$k = \frac{q}{v}. \quad (2)$$

Dále následuje rozhodování. Kontakt na začátku většiny linií je kontakt od bitu, který spouští celý proces. Následně za tímto kontaktem následují podmínky porovnání aktuální návěsti na PDZ. Po té dojde k porovnávání naměřených dopravních parametrů. Pokud všechny podmínky na levé straně linie jsou splněny, dojde k příkazu, který se nachází na pravé straně linie. Pro linie 0002 až 0007 se na pravé straně nachází příkaz s přesunutím dané rychlosti do proměnné určující návěst (na Obr. 31 je zobrazena linie pro návěst 80 km/h). Na linii 0008 dojde k výpočtu rozdílu mezi naměřenou rychlostí a aktuální návěstí na PDZ. Dále pokud tento rozdíl je větší než 20 km/h, tak se od hodnoty aktuální návěsti odečte 20 km/h (10 km/h, pokud je návěst 130 km/h), aby mohl proces v dalším kroku přejít do dalšího stavu. Je-li rozdíl menší než 20 km/h, dojde k uložení vypočtené optimální rychlosti a přechodem spouštěcího bitu do hodnoty 0, který tak ukončí celý proces. Náhled programu je na Obr. 30 a Obr. 31. Celý program je k nalezení v příloze A.



Obr. 30: Výpočet hustoty



Obr. 31: Podmínky pro návěst 80 km/h

4.4 Testování

Testování algoritmu probíhalo po nahrání programu a spuštění na PLC. Možné situace byly zadávány do proměnných vstupních veličin a kontrolou výstupní hodnoty vypočtené optimální rychlosti. Celé testování probíhalo v online režimu, který softwarové prostředí umožňuje a pro testování a kontrolování je ideální.

Výsledkem testování bylo ověření správné funkce algoritmu, tím pádem také správné převedení algoritmu do prostředí liniových schémat i jeho naprogramování. Otestovány byly kromě jednoduchých přechodů rychlostí pouze do následného stavu (rozdíl o 20 km/h) také přechody o několik stavů (např. z rychlosti 130 km/h na rychlost 40 km/h).

5 Analýza spolehlivosti funkce navržené aplikace

Tato kapitola se zabývá příčinami, následky a řešením různých poruch navrženého systému. Poruchy mohou nastat na detektorech, akčních členech, gantryserech, ústředně nebo jejich vzájemné komunikaci. V krizových situacích je důležitý dispečer na ústředně, jelikož má možnost zasáhnout manuálně do systému. V systému RLTC má dispečer z principu dvě možnosti. Buď může potvrdit automaticky navržený zásah, nebo si vybrat z různých variant akcí. Každá operace dispečera je však protokolována pro případné vyšetřování.

Systém je možné provozovat v automatickém režimu, pouze pokud jsou alespoň tři následné portály funkční. Nastal-li by rozsáhlejší výpadek, nemělo by smysl mít systém RLTC spuštěn, protože by mohl vést naopak k deharmonizaci dopravního proudu.

5.1 Detektory a komunikace

Poruchy na detektorech a jejich komunikaci s místním gantryserech v malém rozsahu nejsou fatální, jelikož ztracená data se dají nahradit daty z okolních gantryserech.

5.1.1 Detektory

Porucha indukční smyčky nastává nejčastěji v případě jejího mechanického poškození, které může být způsobeno změnou stavu povrchu vozovky (např. vyjeté koleje). Další z příčin nefunkčnosti může být výpadek napájení. Dojde-li k poruše, projeví se tím, že z detektoru nedostáváme žádná data. Je potřebné rozlišit, jestli nedostáváme data z důvodu velice nízké intenzity nebo kvůli poškození nebo výpadku napájení. Jednalo by se o pravý jízdní pruh a po dobu delší než 30 minut by byla naměřená intenzita nulová, pravděpodobně by se jednalo o poruchu indukční smyčky vzhledem k charakteru vybrané komunikace. Tato porucha by znamenala převzetí naměřených dat od následujícího portálu a jejich použití. Rovněž by došlo k informování dispečera na ústředně o poruše.

V levém, případně středním jízdním pruhu mohou nastat případy, že za 30 minut neprojede jediné vozidlo, tudíž předchozí řešení tohoto problému by nebylo vhodné. V těchto případech by bylo nutné zjistit data z přilehlých jízdních pruhů. Pokud by v těchto pruzích byla intenzita vysoká, jednalo by se s největší pravděpodobností o poruchu smyčky. Naopak byla-li by intenzita v přilehlých pruzích nízká nebo nulová, nejednalo by se o poruchu. Pokud by takováto porucha nastala, data by byla nahrazena naměřenými daty z přilehlých jízdních pruhů a dále informování dispečera.

5.1.2 Komunikace

Selhání komunikace může nastat na straně vysílače (detektor), přijímače (gantryserver) nebo na přenosovém médiu. Vzhledem k navržené architektuře by médium pro přenos dat z detektoru bylo metalické. Metalické vedení bývá nejčastěji porušeno mechanicky (např. překopnutí). Pokud dojde k selhání komunikace do gantryserveru, nepřijdou žádná data z detektorů. V případě poruchy budou požita data z následujícího gantryserveru a odeslána informace o poruše dispečerovi.

5.2 Gantryserver

Vzhledem k tomu, že tento člen byl zvolen jako redundantní systém, nemělo by k jeho výpadku dojít. Jednou z mála možností výpadku tohoto členu je výpadek napájení. Z tohoto důvodu by bylo vhodné mít záložní zdroj energie, který by alespoň nějaký čas dokázal napájet gantryserver. Pokud ovšem nastane výpadek gantryserveru, projeví se tím, že gantryserver nebude odesílat informace ústředně. Tuto skutečnost zaznamená dispečer. Zjistí-li, že výpadek není rozsáhlého charakteru, může nechat systém v automatickém režimu. Jednalo by se o rozsáhlý výpadek, nemělo by smysl nechávat systém automaticky pracovat.

5.3 Akční členy a komunikace

Poruchy akčních členů nebo komunikace mezi gantryserverem a nimi jsou jedny z vážnějších poruch, které mohou nastat. O vážné poruchy se jedná proto, že nenastane informování řidičů o nejvyšší dovolené rychlosti, tím pádem není komunikace nijak řízena systémem.

5.3.1 Akční členy

Výpadek PDZ může nastat z několika různých příčin. Některými z nich jsou: mechanické poškození (např. vlivem dopravní nehody), závadou v elektronice nebo výpadkem napájení. Při normálním provozu musí PDZ informovat gantryserver o aktuální zobrazené návěsti. Nastane-li některá z poruch, není z PDZ přenášena aktuální návěst do gantryserveru, tím bude porucha odhalena. Na každém z portálů je umístěno více PDZ. Pokud nedojde k výpadku všech, pravděpodobně se jedná opravdu o závadu na PDZ. V takových případech bude varován dispečer. V nejhorší situaci nebude funkční ani jedna PDZ na portálu. Dojde-li k výpadku všech PDZ na portálu, s největší pravděpodobností nastala závada na komunikaci. Jednalo by se o výpadek rozsáhlý (např. na žádném portálu by nebyly funkční PDZ), znamenalo by to, že úsek není nijak řízen a rychlost vozidel by byla omezena pouze pevným dopravním značením. Nenastal by rozsáhlý výpadek, systém by mohl nadále pracovat automaticky.

5.3.2 Komunikace

Vzhledem k navržené architektuře by médium pro přenos dat mezi PDZ a gantryserverem bylo metalické. Metalické vedení bývá nejčastěji porušeno mechanicky. Přerušení komunikace by bylo odhaleno tak, že by z žádného PDZ nepřišla informace o aktuální zobrazené návěsti. Pokud by informace nedorazila pouze z některých, znamenalo by to pravděpodobně závadu na PDZ a ne na komunikaci. V případě závady na komunikaci je nutné, aby PDZ obsahovaly algoritmus, který při výpadku zhasne návěsti, protože by nebyly v koordinaci s okolními portály, a informovat dispečera.

5.4 Ústředna a komunikace

Porucha ústředny nebo komunikace s ní by byl nejvážnější případ poruchy, jelikož v navrženém systému v ústředně dochází ke shromáždění dílčích optimálních rychlostí vypočtených v jednotlivých gantryserverech, jejich případné upravení a odeslání povelu zpět gantryserverům jaké návěsti mají zobrazit. Při výpadku tohoto uzlu by došlo k absolutnímu výpadku celého systému.

5.4.1 Ústředna

Spektrum příčin, které by znamenaly poruchu ústředny, je velice široké. Mohlo by se jednat např. o: technickou závadu, vliv přírodních živlů, teroristický útok, sabotáž a mnohé další. Výpadek ústředny by byl v první řadě rozpoznán dispečery na ústředně. Dále by se dala závada zjistit na kterémkoli gantryserveru, pokud by ovšem žádnému z nich nepřicházely žádné informace. Porucha na ústředně by znamenala výpadek celého systému, tím pádem by vybraná liniová komunikace přestala být řízenou systémem RLTC. V těchto případech je nutné, aby gantryservery obsahovaly stejně jako PDZ algoritmus, který při ztrátě spojení s ústřednou zhasl všechny návěsti na PDZ.

5.4.2 Komunikace

Komunikace mezi ústřednou a gantryservery probíhá po optických kabelech. Mezi ústřednou a gantryserverem jsou přenášena kontrolní data. Přerušení komunikace může být způsobeno na straně vysílače, přijímače nebo přenosové cesty. Porucha na přijímači či vysílači bývá způsobena nejčastěji technickou závadou a tento prvek je potřebné vyměnit za funkční. Nastala by porucha přenosové cesty, pravděpodobně by nastala vlivem mechanického poškození kabelu nebo některého ze spojů. Závažnost poruchy na komunikaci by vycházela z použité topologie. Z pohledu bezpečnosti by bylo vhodné využít topologii typu kruh, která

se využívá i na páteřních telekomunikačních sítích. Problém v komunikaci by byl zjištěn tak, že by buď všechny gantryservery nebo jen některé nedostávaly kontrolní data od ústředny nebo naopak. Tento fakt by znamenal vypnutí celé systému řízení. Systém by mohl nadále pracovat v automatickém režimu za předpokladu, že by mohly navzájem komunikovat jednotlivé sousední portály a poškození komunikace by nebylo příliš rozsáhlé.

Závěr

Cílem bakalářské práce bylo získání zkušeností s řídicími systémy, navržení funkčních algoritmů a implementace vybraného algoritmu na prostředí řídicích systémů. Vybraným řídicím systémem byl zvolen programovatelný automat PLC. Jedním z cílů bylo rovněž seznámení s různými prostředky detekce parametrů dopravního proudu a prostředky pro zobrazení akčních veličin řidičům vozidel. Dalším cílem bylo analyzovat spolehlivost funkce navrženého systému řízení. Všechny stanovené cíle byly splněny.

Teoretická část práce byla zaměřena na seznámení s problematikou a popisem principu funkce liniového řízení dopravy. Proběhla v této části analýza různých dopravních detektorů i ostatních snímačů různých fyzikálních veličin vhodných pro řízení liniových komunikací. Dále zde došlo k seznámení s různými druhy akčních členů, především proměnného dopravního značení. Získány byly rovněž informace o řízení na silničním okruhu kolem Prahy, které byly potřebné jako výchozí údaje pro navrhovaný systém.

Praktická část zahrnovala výběr vhodného úseku komunikace. Na vybrané komunikaci byly provedeny potřebné úpravy pro možnost liniového řízení. Nutnými úpravami pro požadovanou funkci systému byla instalace indukčních smyček a výstavba portálů a umístění PDZ na nich. Vedlejší úpravou bylo vybudování protihlukové stěny v části úseku z důvodu zvýšení nejvyšší dovolené rychlosti. Zjištěním parametrů komunikace mohly být nasimulovány všechny rozdílné úseky kvůli získání výchozích dat pro tvorbu modelů. Po vytvoření modelů dopravy byly stanoveny rozhodovací hodnoty pro řízení. Pro navrhovaný systém řízení byly sestaveny jednotlivé algoritmy pro správnou funkci systému. Vybraný algoritmus byl implementován na prostředí programovatelných automatů prostřednictvím jazyka liniových schémat. Algoritmus byl otestován v automatickém režimu přímo na programovatelném automatu v online módu. Analýza spolehlivosti zahrnovala zkoumání chování i návrh reakcí systému v případě zjistitelných poruch.

Navržený systém využívá k řízení dopravního proudu pouze omezení rychlosti. Systém je možné rozšířit na úrovni návrhu o zákaz jízdy nákladních vozidel v levém nebo středním jízdním pruhu. Možné je také jej doplnit o vizualizaci procesu zobrazování i zadávání pomocí operátorského panelu.

Seznam použitých zdrojů

Knihy

- [1] PŘIBYL, P.: Inteligentní dopravní systémy a dopravní telematika. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004. 184 s. ISBN 80-01-03122-5.
- [2] PŘIBYL, P. Svítek, M: Inteligentní dopravní systémy. Praha: BEN -technická literatura, 2001, 543 s. ISBN 80-7300-029-6.
- [3] SVÍTEK, M: Telematika nad dopravními sítěmi. Vydavatelství ČVUT, Praha, 2004, 263 s., ISBN 80-01-03087-3.
- [4] PŘIBYL, Pavel a Jiří BARTÁK. Tunely na pozemních komunikacích. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011, 383 s. ISBN 978-80-01-04723-1.
- [5] Zásady pro systémy proměnného dopravního značení a zařízení pro proměnné provozní informace na pozemních komunikacích: předběžné technické podmínky: schváleno MDS-OPK s účinností od 1. ledna 2001, č.j. 26871/00-120 ze dne 20.12. 2000. Praha: Ministerstvo dopravy a spojů, 2000. 88 s
- [6] PŘIBYL, Pavel. Provoz, správa a údržba tunelů pozemních komunikací: technické podmínky : schváleno MDS-OPK, č. j. 30803/01-123 ze dne 21.12.2001 s účinností od 1. března 2002. Praha: ELTODO EG, c2002, 123 s. Technické podmínky (ELTODO EG). ISBN 80-238-8361-5.
- [7] KAPITÁN, Jan. *Model simulace RLTC: Prezentace modelových případů na liniové řízení* [Řízení městských aglomerací a dálnic]. Praha, 2015. Prezentace. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta dopravní.

Internetové zdroje

- [8] AŽD PRAHA S.R.O. Systémy pro silniční dopravu: Liniové řízení [online]. [cit. 2015-03-31]. Dostupné z:
<http://www.azd.cz/admin/files/Dokumenty/pdf/Produkty/Silnicni/Liniove-řízení.pdf>
- [9] PŘIBYL, Ondřej. Měření a zpracování dat: Detektory zasahující do vozovky, úvod do detekce [online]. [cit. 2015-03-17]. Dostupné z:
<http://zolotarev.fd.cvut.cz/mzd/ctrl.php?act=show,section,63>

- [10] MADAJ, Josef. STŘEDNÍ PRŮMYSLOVÁ ŠKOLA A VYŠŠÍ ODBORNÁ ŠKOLA, Chomutov. Automatizace 1 [online]. [cit. 2015-03-24]. Dostupné z: <http://web.spscv.cz/~madaj/skra3.pdf>
- [11] SMUTNÝ, Pavel. Polovodičový odporový teploměr [online]. [cit. 2015-03-24]. Dostupné z: <http://www.e-automatizace.cz/ebooks/mmr/v/0322c-OdpTermist.htm>
- [12] INTEGROVANÁ STŘEDNÍ ŠKOLA, Nová Paka. Snímače teploty [online]. [cit. 2015-03-24]. Dostupné z: <http://automatizace-issnp.wz.cz/Soubory/Snimace%20teploty.pdf>
- [13] MALÍK, Michal a Jiří PRIMAS. Anemometrické metody [online]. Liberec, 2011 [cit. 2015-03-24]. Dostupné z: www.fm.tul.cz/esf0247/index.php
- [14] AF-CITIPLAN S.R.O. Dopravní průzkumy [online]. 2010 [cit. 2015-03-24]. Dostupné z: <http://www.af-cityplan.cz/pruzkumy.html>
- [15] CHALOUPEK, Jan a Pavel SUCHÝ. Vlhkost vzduchu [online]. [cit. 2015-03-31]. Dostupné z: <http://cit.vfu.cz/mikroklima/www/4%20Vlhkost.htm>
- [16] KULHA, P. Měření vlhkosti vzduchu [online]. [cit. 2015-03-31]. Dostupné z: <http://www.micro.feld.cvut.cz/home/x34ses/cviceni/Navody%20na%20cviceni/07.Mereni%20vlhkosti.pdf>
- [17] MAPY.CZ. [online]. [cit. 2015-08-24]. Dostupné z: <http://mapy.cz/zakladni?planovani-trasy&x=14.4370650&y=50.2038245&z=12&rc=9g9q0xYsC49hL30xYNPE&rl=50%C2%B014%2745.986%22N%2C%2014%C2%B022%2728.489%22E&rl=50%C2%B08%2732.716%22N%2C%2014%C2%B029%2738.913%22E&rp={%22criterion%22%3A%22fast%22}&ri=0>
- [18] Technická správa komunikací hlavního města Prahy: Ročenka dopravy Praha 2013. In: [online]. Praha: TSK hl.m. Prahy, 2014 [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: <http://www.tsk-praha.cz/static/udi-rocenka-2013-cz.pdf>
- [19] TSK: intenzity dopravy. TSK: Intenzita dopravy [online]. 2012 [cit. 2015-08-24]. Dostupné z: <http://www.tsk-praha.cz/wps/portal/root/dopravni-inzenyrstvi/intenzity-dopravy>
- [20] MOTORKARI.CZ. Parkování: Definice vjezdu. Motorkari.cz [online]. 2015 [cit. 2015-06-22]. Dostupné z: <http://www.motorkari.cz/tema/?t=171115&pgr=10>

- [21] KŘIVDA, a FRYČ. Teorie dopravního proudu: Dynamické charakteristiky [online]. [cit. 2015-06-22]. Dostupné z: <http://kds.vsb.cz/ord/tdp-dynamicke.htm>
- [22] ZENIT, SPOL. S.R.O. Zenit, spol. s.r.o.: Protihlukové stěny. Soundstop: Protihlukové stěny [online]. 2012 [cit. 2015-08-12]. Dostupné z: <http://www.plexisklo.eu/protihlukove-steny-plexiglas-sounstop/>
- [23] JANČAR, Rost'a. TECHNET.CZ. Řídící centrum silničního okruhu kolem Prahy (ŘC SOKP) Rudná [online]. 2010 [cit. 2015-08-24]. Dostupné z: http://technet.idnes.cz/foto.aspx?r=tec_technika&c=A101120_224547_tec_technika_rja&foto=RJA374ceb_IMG_1700.JPG

Seznam obrázků

Obr. 1: Liniové řízení dopravy [8].....	12
Obr. 2: Funkční architektura RLTC	13
Obr. 3: Fyzická architektura RLTC	14
Obr. 4: Zařízení pro provozní informace na D1 [8].	16
Obr. 5: Princip narušení indukční smyčky [9].....	18
Obr. 6: Změna frekvence při průjezdu vozidla [9].	19
Obr. 7: Záznam videodetekce [14]	20
Obr. 8: Charakteristika NTC a PTC [11].....	22
Obr. 9: Termoelektrický článek [12]	22
Obr. 10: Závislost odporu na relativní vlhkosti [16]	23
Obr. 11: Závislost kapacity na relativní vlhkosti [16].....	24
Obr. 12: Robinsonův anemometr [13].....	24
Obr. 13 : Světelné signály [20].....	27
Obr. 14 : Zákazové značky	28
Obr. 15 : Výstražné značky	28
Obr. 16 : Dvoudimenzionální model [21]	29
Obr. 17 : Příklad diagramu pro řízení změnou rychlosti [2]	30
Obr. 18 : Centrum řízení silničního okruhu kolem Prahy [23].....	33
Obr. 19: Vybraný úsek komunikace D8/R8 [17].....	34
Obr. 20 : Situační schéma úseku	37
Obr. 21: Náhled simulace	40
Obr. 22: Model dopravy pro návěst 120 km/h a 2 jízdní pruhy	40
Obr. 23: Model dopravy pro návěst 120 km/h a 2 jízdní pruhy s limity	42
Obr. 24: Základní algoritmus funkce.....	43
Obr. 25: Stavový diagram určení optimální rychlosti pro 2 jízdní pruhy.....	44
Obr. 26: Stavový diagram určení optimální rychlosti pro 3 jízdní pruhy.....	45
Obr. 27: Algoritmus určení optimálních rychlostí.....	47
Obr. 28: Algoritmus optimalizace návaznosti rychlostí	48
Obr. 29: Algoritmus pro postupný přechod.....	50
Obr. 30: Výpočet hustoty	53
Obr. 31: Podmínky pro návěst 80 km/h.....	53

Seznam tabulek

Tab. 1: Informační architektura RLTC.....	13
Tab. 2: Rozdělení detektorů [8].....	17
Tab. 3: Hodnocení indukčních smyček [8].....	19
Tab. 4: Hodnocení videodetekce [8].....	20
Tab. 5: Možnosti zobrazení [5].....	25
Tab. 6: Zobrazované značky [5].....	27
Tab. 7 : Podmínky rozhodování [7].....	31
Tab. 8 : Výchozí hodnoty pro řízení rychlosti [7]	32
Tab. 9 : Výchozí hodnoty pro aktivaci zákazu předjíždění nákladních vozidel [7]	32
Tab. 10: Návěsti možné k zobrazení na jednotlivých portálech.....	35
Tab. 11: Koeficienty křivek modelů.....	41
Tab. 12: Rozhodovací hodnoty pro řízení	41
Tab. 13: Použité proměnné v programu	51

Seznam příloh

Přílohy jsou součástí přiloženého CD.

Příloha A: Implementace na PLC (program), BP.rss (projekt RSLogix)

Příloha B: Modely dopravy, Modely.xlsx (sešit MS Excel)

Příloha C: Schéma úseku, Schema.pdf

Příloha D: Simulace úseků, usek1.inpx, usek2.inpx (projekt Vissim)