

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra vozidel a pozemní dopravy

**Porovnání systémů monitoringu vozidel používaných při
průzkumu dopravní vytíženosti**

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce: Ing. Veronika Hartová, Ph.D.

Autor práce: Bc. Filip Říha

Praha 2018

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Filip Říha

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

Porovnání systémů monitoringu vozidel používaných při průzkumu dopravní vytíženosti

Název anglicky

Comparison of vehicle monitoring systems used in transport traffic survey

Cíle práce

Diplomová práce je tematicky zaměřena na technologii sloužící k monitoringu vozidel využívanou při průzkumu dopravní vytíženosti.

Hlavním cílem je provést porovnání a testování technologií určených k těmto průzkumům (např. kamery či přejezdové měřicí technologie).

Dílní cíle diplomové práce jsou:

- vytvořit kvalitní přehled řešené problematiky
- provést rozbor současných monitorovacích technologií
- provést porovnání jednotlivých monitorovacích technologií sloužících pro průzkum dopravní vytíženosti

Metodika

Metodika řešené problematiky diplomové práce je založena na studiu a analýzách odborných informačních zdrojů.

Praktická část práce je zaměřena na porovnání a testování technologií určených k monitoringu vozidel při průzkumu dopravní vytíženosti.

Na základě rozboru teoretických poznatků a výsledků praktické části práce, budou formulovány závěry diplomové práce.

Doporučený rozsah práce

50 až 60 stran včetně obrázků, grafů a tabulek

Klíčová slova

monitoring, vozidlo, průzkum dopravní vytiženosti

Doporučené zdroje informací

- Akční plán, Inteligentní řízení dopravy Zefektivněním řízení dopravy přispět k udržitelnému rozvoji dopravy.
- Automated Traffic Surveillance System with Aerial Camera Arrays Imagery: Macroscopic Data Collection with Vehicle Tracking, Zhao, X., Dawson, D., Sarasua, W.A., Birchfield, S.T. , Journal of Computing in Civil Engineering, 2017
- Dopravní telematika – aplikace v řízení dopravy, Doc. Ing. Tomáš Tichý, Ph.D. Ing. Vladimír Faltus, Ph.D. Ing. Martin Langr, ústav dopravní telematiky
- Fúze heterogenních dopravních dat pro odhadování směrových vztahů, Martin Langr, Young Transportations Engineers Conference 2015
- Integrovaný plán organizace dopravy , České Budějovice
- Multiple Studies Using License Plate Recognition System HD CCTV, Kim, J., Jin, J., Kim, K. , Proceedings – 2016 IEEE International Conference on Internet of Things; IEEE Green Computing and Communications; IEEE Cyber, Physical, and Social Computing; IEEE Smart Data, iThings-GreenCom-CPSCoM-Smart Data 2016 7917160, pp. 594-597 , 2017
- Průzkumy dopravního chování: základní zdroj dat o dopravní poptávce, Petr Šenk, Centrum dopravního výzkumu
- TELEMATIKA A INTELIGENTNÍ DOPRAVNÍ SYSTÉMY, Doc. Ing. Zdeněk Čujan, CSc.
- The Traffic Congestion Investigating System by Image Processing from CCTV Camera, Eamthanakul, B., Ketcham, M., Chumuang, N, 2nd Joint International Conference on Digital Arts, Media and Technology 2017: Digital Economy for Sustainable Growth, ICDAMT 2017
-

Předběžný termín obhajoby

2017/18 LS – TF

Vedoucí práce

Ing. Veronika Hartová, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vozidel a pozemní dopravy

Elektronicky schváleno dne 14. 12. 2017

doc. Ing. Miroslav Růžička, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 14. 12. 2017

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 14. 02. 2018

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: **Porovnání systémů monitoringu vozidel používaných při průzkumu dopravní vytíženosti** vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Jsem si vědom, že moje diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědom, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.“

Prohlašuji, že tištěná i elektronická verze diplomové práce jsou totožné.

V Praze dne 29. 3. 2018

.....

Bc. Filip Říha

Poděkování

Rád bych tímto poděkoval paní Ing. Veronice Hartové, Ph.D., za odborné vedení, ochotu a cenné rady, které mi při zpracování této diplomové práce poskytla.

Abstrakt: Tato diplomová práce je zaměřena na technologii sloužící k monitorování vozidel využívanou při průzkumu dopravní vytíženosti. Diplomová práce je rozdělena do dvou hlavních částí – teoretická a praktická.

Teoretická část je rozdělena na část zaměřenou na základní rozdělení dopravních detektorů a jejich historii. V další části jsou podrobně rozebrány detektory vozidel a to zejména jejich principy, výhody, nevýhody, snímané parametry a běžné použití v praxi.

Praktická část práce je věnována testování tří detektorů, které byly použity k monitorování dopravní vytíženosti. Dále tato část obsahuje zhodnocení jednotlivých detektorů a porovnání dopravní intenzity s předcházejícími roky na daném místě průzkumu. Práce je ukončena závěrečným sestavením jednoduchého elektrostatického detektoru.

Klíčová slova: monitoring, vozidlo, průzkum dopravní vytíženosti

Comparison of Vehicle Monitoring Systems Used in Transport Traffic Survey

Summary: This diploma thesis focuses on the technology used for the monitoring of vehicles used in traffic load survey. The diploma thesis is divided into two main parts - theoretical and practical.

The theoretical part is divided into a section focused on the basic distribution of traffic detectors and their history. In further parts, vehicle detectors are particularly well-known, and in particular their principles, advantages, disadvantages, sensed parameters and common use in practice.

The practical part is devoted to the testing of three detectors, which were used to monitor the transport intensity. In addition, this section includes an evaluation of individual detectors and a comparison of traffic intensity with previous years at a given survey site. The diploma thesis is finished by the final assembly of a simple electrostatic detector.

Keywords: monitoring, vehicle, traffic research

Obsah

1 Úvod.....	1
2 Cíl práce.....	2
3 Metodika práce	3
4 Přehled řešené problematiky.....	4
4.1 Základní parametry dopravního proudu.....	4
4.2 Historie dopravních detektorů.....	5
4.3 Dopravní detektory	6
4.3.1 Intrusivní detektory	7
4.3.1.1 Indukční smyčky	7
4.3.1.2 Piezoelektrické detektory	10
4.3.1.3 Pneumatické detektory	12
4.3.1.4 Magnetometry	14
4.3.1.5 Detektory s vláknovou optikou	15
4.3.2 Neintrusivní detektory.....	16
4.3.2.1 Akustické detektory	16
4.3.2.2 Ultrazvukové detektory	17
4.3.2.3 Mikrovlnné Radary	18
4.3.2.4 Videodetekce.....	21
4.3.2.5 Aktivní infračervené detektory	25
4.3.2.6 Pasivní infračervené detektory	27
4.3.2.7 Optické detektory	28
4.3.2.8 Bluetooth detekce vozidel.....	30
5 Praktická část práce	32
5.1 Použité detektory.....	32
5.1.1 Kamera ACTIVER MZC-EX36X-IR80	33
5.1.2 Kamera HIKVISION DS-2CD4A25FWD-IZS	34

5.1.3 Radar Sierzega SR4	35
5.2 Postup měření.....	36
5.2.1 Podmínky pro měření.....	36
5.2.2 Místo měření	37
5.2.3 Umístění detektorů.....	38
5.2.4 Nastavení oblasti zájmu	39
5.2.5 Kontrola záznamu	40
6 Výsledky měření	41
6.1 Výsledky jednotlivých zařízení.....	41
6.2 Zhodnocení jednotlivých detektorů	42
6.3 Sestavený detektor pohybu	45
7 Závěr	47
8 Seznam použitých zdrojů.....	49
Seznam obrázků.....	53
Seznam tabulek	54

1 Úvod

Současným trendem, kdy se automobilová vozidla stala nezbytným dopravním prostředkem pro člověka, zároveň vzrůstají i požadavky na dopravní komunikace. Množství automobilů neustále roste a stává se nezvladatelné nejen z hlediska dopravy, ale i z hlediska parkování. Potenciál MHD není zcela využit a individuální doprava není potlačena. Tato skutečnost má negativní dopad na kvalitu dopravy. Dodatečné rozšiřování infrastruktury není v některých urbanizovaných částech možné a výstavba nových komunikací je finančně velmi náročná. Abychom předcházeli kongescím či dopravním nehodám, musíme vytvářet progresivní nástroje, které splňují požadavky z environmentálního a finančně přijatelného hlediska. [1]

Pro kompenzaci této problematiky je integrace metody označované v literatuře jako „Inteligentní dopravní systémy“ (Intelligent Transportation Systems) nezbytná. Dalším označením pro tyto systémy, který se uchytil zejména v Evropě, je „Dopravní telematika“. Toto řešení využívá nejmodernějších technologií za účelem regulace a měření dopravních parametrů ovlivňujících dopravu. Právě naměřené informace napomáhají snižovat míru neuspořádanosti. Potřebné údaje jsou získávány prostřednictvím různých detektorů, které jsou nedílnou součástí ITS. [1]

Definice dopravní detektor představuje zařízení na zjišťování nebo identifikaci vstupních údajů a informací pro systémy dopravní telematiky. Měření probíhá pomocí snímačů, které se nazývají senzory. Jaké druhy detektorů existují, co přesně měří nebo na jakém principu fungují, to vše bude podrobně popsáno v následujících kapitolách této diplomové práce. [1]

2 Cíl práce

Cílem této diplomové práce je vytvořit přehled jednotlivých detektorů používaných pro dopravní průzkumy a monitorování vozidel v běžném provozu. Následně budou popsány jejich parametry, výhody a nevýhody, principy jejich fungování a využití. Práce je zaměřena na porovnání a zhodnocení vlastností detektorů.

V diplomové práci bude vytvořen přehled jednotlivých druhů detektorů, které se využívají s ohledem na stavebně technickém uspořádání - intrusivní a neinrusivní. V práci budou shrnuty měřicí parametry detektorů, výhody a nevýhody použití za různých podmínek a následný vliv na naměřená data.

V praktické části bude empiricky ověřeno, zda testované dopravní detektory mají dostatečný potenciál k přesnému měření frekventované obousměrné komunikace, dále jak velký vliv má umístění detektorů a zda jsou tyto detektory spolehlivé v praxi při měření se střídajícími se podmínkami okolního prostředí. Příčiny chybovosti budou ověřeny dvojitou kontrolou - lidským faktorem v reálném čase měření a dále pomocí zpomaleného záběru.

Na tomto základě bude zhodnocena chybovost jednotlivých detektorů a vyvozeny její možné příčiny.

Souhrn cílů:

- Vytvořit přehled současných systémů monitoringu vozidel, snímaných parametrů a jejich rozdělení
- Rozbor používaných detekčních zařízení včetně jejich výhod a nevýhod
- Zjistit současný stav dopravní komunikace za pomoci testovaných detektorů
- Zhodnocení testovaných detektorů a dat, jež budou naměřena
- Zhotovit jednoduchý detektor pohybu

3 Metodika práce

Teoretická část diplomové práce bude zpracována převážně z ověřených vědeckých článků, dostupných skript, internetových publikací, knižní literatury a z odborných prezentací. Teoretická část bude následně rozdělena do dvou dílčích částí. První z nich se bude zabývat historickým vývojem detektorů, rozdělením současných detektorů a základními parametry, jež jsou nedílnou součástí dopravního inženýrství. Druhá část teoretické práce bude zaměřena na popis jednotlivých detekčních systémů, jejich principy a využití v praxi.

V praktické části bude provedeno testování jednotlivých detektorů, které budou poskytnuty firmou Alarm Absolon s.r.o. Toto měření bude probíhat v severním sektoru hlavního města Prahy, které bude blíže specifikováno v praktické části diplomové práce. Pro testování bude vyhrazen jednotný časový úsek. Samotné testování bude probíhat za přítomnosti pěti lidí, kteří budou dohlížet na testované detektory a z nichž jeden bude zároveň sledovat dopravní vytíženost. Po skončení měření bude provedena detailnější kontrola za pomoci zpomaleného videozáznamu a jedné z testovaných kamer. Tím budou zaznamenány jednotlivé chyby detekce či zkreslené hodnoty.

Jednotlivé detektory budou porovnány podle naměřených hodnot a zároveň dojde k srovnání současné intenzity na vozovce, na které se bude měřit, s intenzitou naměřenou v minulých letech. Na základě chybovosti a naměřených dat bude zhotoveno vyhodnocení a budou stanoveny závěry, zda testované detektory vyhovují pro snímání frekventované dopravní komunikace. Dále bude doporučeno, pro jaké situace je vhodná implementace jednotlivých detektorů. V neposlední řadě bude sestaven jednoduchý detektor pohybu, který bude fungovat na elektrostatickém principu.

4 Přehled řešené problematiky

Začátek řešené problematiky seznamuje se základními parametry, které jsou nedílnou součástí dopravního inženýrství. Dále jsou zde uvedeny historické poznatky o vzniku prvních dopravních detektorů. Následující kapitola obsahuje celý teoretický přehled řešené problematiky a je rozdělena na dvě části. V první části jsou představeny především detektory, které ze stavebně technického hlediska zasahují do vozovky (intrusivní) a nadcházející část se věnuje detektorům do vozovky nezasahujícím (neintrusivní). Každá z částí popisuje také vlastnosti a principy, na nichž jsou detektory založeny, parametry dopravního proudu, které dokážou měřit a jejich uplatnění v konkrétních oblastech dopravního inženýrství.

4.1 Základní parametry dopravního proudu

Dopravní proud má charakter náhodného procesu. Nejčastěji lze mluvit o variaci dopravy (ranní špička, polední sedlo, noční provoz, atd.), která má charakter ustáleného průběhu, na který jsou nabalovány nahodilé složky dané náhodnou distribucí vozidel. Mezi základní parametry dopravního proudu patří: [1]

- **Intenzita** dopravy udává počet vozidel projíždějících jedním bodem a je obvykle vyjádřena za jednotku času [voz./čas], tento údaj je vhodný pouze pro dopravní plánování a údržbu komunikací. Pro řízení a klasifikaci dopravy je zapotřebí znát minimálně jeden další údaj (hustota, rychlost nebo obsazenost). [1]
- **Hustota** dopravy představuje počet vozidel „N“ přiřazených k danému úseku „L“ v časovém intervalu [voz./km].
- **Rychlost** je důležitý parametr, který je měřen v jednom řezu komunikace, nebo v celém jejím profilu [km/h]. Pro řízení dopravy ve městech či dálnicích se využívá měření rychlosti dopravního proudu v delším časovém intervalu, např. po pěti minutách. [1]
- **Skladba dopravního proudu** vyjadřuje podíl jednotlivých typů vozidel, např. procentuální podíl nákladních vozidel [%]. [1]
- **Obsazenost** vypovídá o kvalitě dopravního proudu. Definuje se jako poměrná doba, po kterou je daný detektor obsazen vozidly [%]. Z tohoto parametru lze předvídat tvorbu kongescí. [1, 5]

Význam a definice výše uvedených parametrů vhodně doplňují popis úrovně kvality dopravy (délky kolon, dynamické charakteristiky vozidel, atd.), až po důležité vztahy mezi zdroji a cíli dopravy. [1]

V dnešní době lze automaticky měřit několik údajů, ze kterých se poté mohou odvodit výše uvedené parametry. Mezi klíčové údaje zjištěné detektory patří např.: okamžitá rychlost, klasifikace vozidla, rozvor náprav, hmotnost vozidla, identifikace vozidla podle registrační značky, řazení vozidla do dopravního proudu, identifikace tvorby kolon atd. [5, 6]

4.2 Historie dopravních detektorů

O první zhotovení dopravního detektoru usiloval americký vynálezce Charles Adler Jr. Tehdy roku 1928 vytvořil poloautomatický akustický detektor, který upozornil řidiče automobilů na blížící se vlakovou soupravu (viz Obr. 1). Další člověk, jenž se zapsal do



Obr. 1: První akustický detektor

Zdroj: [7]

historie, byl Henry A. Haugh, který zhotovil téhož roku první kontaktní (elektropneumatický) detektor automobilů využívaný až po období 50. let 20. století. Ale vzhledem k vysokým nákladům na údržbu a složitou reinstalaci bylo zapotřebí najít jiné alternativní řešení pro snímání vozidel. To dalo roku 1930 podnět k vývoji nových bezkontaktních detektorů, příkladem jsou detektory na bázi přerušení paprsku světla, geomagnetické detektory či další zvukové detektory. Počátkem 60. let nastal průlom, kdy

se začaly používat indukční smyčky v kombinaci s pneumatickou detekcí vozidel. Díky této nové technologii bylo možné začít měřit intenzitu dopravního proudu. Indukční smyčky se tak pomalu staly nejpoužívanější metodou v monitorování vozidel a toto prvenství jim vydrželo až do současnosti, kdy můžeme využívat videodetekce a jiné moderní detektory, kterými se tato diplomová práce zabývá. [7, 8]

4.3 Dopravní detektory

V automatizované metodě sledování dopravy jsou využívány různé typy dopravních detektorů, které zvyšují kvalitu naměřených dat. A jejich získávání probíhá zároveň bez omezení plynulosti dopravního proudu. Valná většina dopravních detektorů vyžaduje pro správnou funkci své specifické podmínky okolního prostředí. Tato skutečnost je jejich hlavní nevýhodou pro krátkodobé či jednorázové využití v libovolném místě dopravní infrastruktury. [6]

Dopravní detektory se využívají ve třech hlavních oblastech: první oblastí jsou dopravní průzkumy, které probíhají jako jednorázové akce nebo dlouhotrvající sledování, přičemž získané hodnoty se využívají pro návrh dopravního systému či pro jeho následnou analýzu. Druhou oblastí je on-line měření dopravních parametrů, sloužící jako základ pro řízení telematických systémů. Třetí a zároveň poslední oblastí je využití detektorů pro speciální účely, například v rámci bezpečnostních systémů, parkovacích zařízení nebo při zjišťování tvorby kongescí. [2, 6]

Základní rozdělení dopravních detektorů spočívá v tom, zda se jedná o tzv. zařízení intrusivní, nebo nikoli. Jednoduše řečeno, zda pro jeho činnost je nutné narušení povrchu komunikace, nebo je umístěno mimo dopravní prostor. Vzhledem k stavebně technickému uspořádání lze detektory rozdělit na: [8]

- Detektory zasahující do vozovky (intrusivní)
- Detektory nezasahující do vozovky (neintrusivní)
- Detektory umístěné ve vozidle

Další hojně využívané rozdělení je dle fyzikálního principu. Ten je velmi rozdílný a detektory mohou být fyzikálně dosti odlišné, přičemž různé typy mohou vykazovat shodné výsledky, s ohledem na tuto skutečnost je pak zcela na dopravním inženýrovi, jaký

detektor zvolí. Dopravní detektory lze z fyzikálního hlediska rozdělit do následujících skupin: [2, 8]

- Kontaktní detektory
- Elektromagnetické se střídavým polem
- Optoelektrické detektory (videodetekce a laserové detektory)
- Aktivní (vyzařující) detektory
- Pasivní (přijímací) detektory

4.3.1 Intrusivní detektory

Intrusivní detektory jsou takové detektory, které vyžadují zásah do vozovky. V tomto případě se sice životnost dopravní komunikace zkracuje, ale například přesnost indukčních smyček není tolik ovlivněna okolním prostředím a světelnými podmínkami, jako tomu může být například u kamerových systémů. Do skupiny intrusivních detektorů patří zejména indukční smyčky, piezoelektrické senzory, pneumatické detektory, magnetické detektory nebo detektory s vláknovou optikou. [5]

4.3.1.1 Indukční smyčky

Smyčkové detektory jsou nejběžněji používané dopravní detektory. Tyto detektory, pracující na principu změny magnetického pole v daném prostoru, snímají ferromagnetickou kovovou hmotu. Při správné instalaci a údržbě dokážou poskytnout údaje v reálném čase, a archivují je v databázových systémech i několik let. [2]

Rozsah změny magnetického pole je určen měřicí smyčkou, která je instalována v drážce vozovky o velikosti cca 10 x 80 mm (š x h). Nejenom hloubka uložení smyčky má vliv na citlivost detekce, ale například i materiál vozovky nebo armování vozovky vůči kovovým předmětům. Detektor se skládá z jednoho, nebo více závitů z izolovaného metalického vodiče uloženého v drážce vozovky. Dalšími částmi detektoru jsou propojovací skříně a řídicí jednotky. [1]

Mezi hlavní výhody indukčních smyček patří jejich snadná aplikovatelnost, spolehlivá funkce a také cena je přijatelnější ve srovnání s jinými způsoby detekce. Mezi hlavní nevýhody patří složitější údržba a narušení vozovky vytvořenou drážkou. Další

možnou nevýhodou je nutnost požití dvou smyček, přičemž bude vozovka více narušena, aby bylo zajištěno přesné měření rychlosti. [2]

Princip:

Detekce vozidel na bázi indukčních smyček je tvořena vlastní smyčkou, která je tzv. vzduchovou cívkou s indukčností počítanou dle uvedeného vztahu: [2]

$$L = \mu_0 \mu_r \frac{N^2 S}{l}$$

kde: $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$

$\mu_r = 1$ (vzduch)

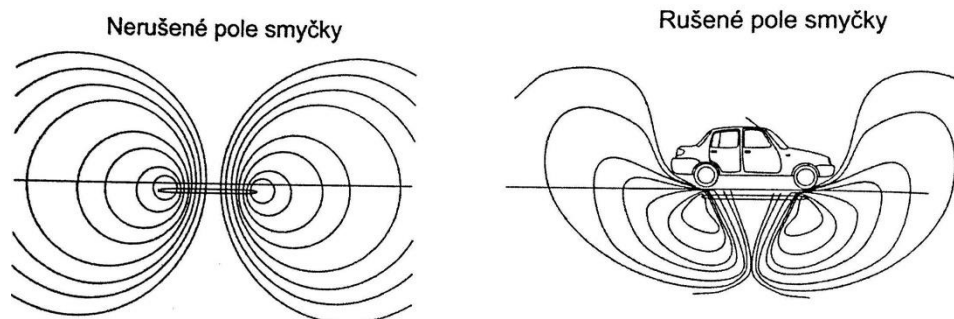
S... plocha cívky

L ... výška cívky

Optimální hodnota indukčnosti cívky se volí mezi 200 až 300 μH a počet závitů se určuje na základě empirického vztahu: [2]

$$n = \sqrt{75/S}$$

Cívka je napájena pomocí přizpůsobovacího členu z oscilátoru 20-150 kHz. Tím se okolo závitů vytvoří homogenní magnetické pole, které je narušeno přítomností kovové karosérie vozidla (viz Obr. 2), vyvolaná změna je vyhodnocena v detektoru. Změna je z fyzikálního hlediska vyvolána vířivými proudy ve vodivých částech vozidla, která způsobí vzrůst ztrátového odporu cívky a zhorší její kvalitu (poměr induktivního a ztrátového odporu). [2, 9]



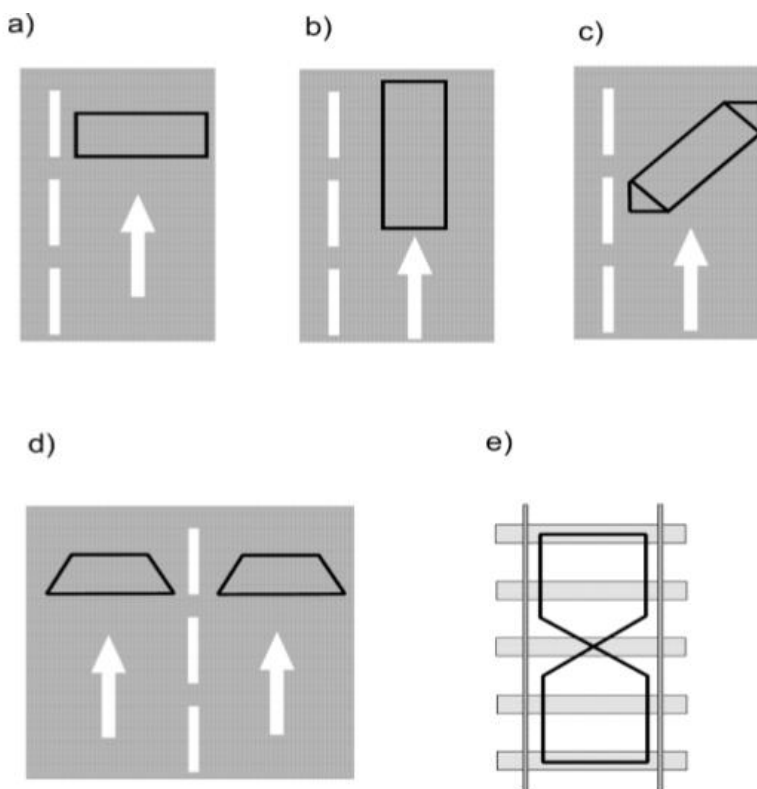
Obr. 2: Princip detekce vozidel indukční smyčkou

Zdroj: [2]

Velikost a tvar smyček:

Velikost smyček se volí zejména podle účelu jejich využití. Oblast aktivní detekce přibližně odpovídá velikosti smyčky. Standardní délka smyčky ve směru jízdy je 1 - 3 m a šířka 2 - 2,5 m. Mohou se využívat i speciální smyčky o délce až 30 metrů pro identifikaci délek kolon. [2]

Mezi pět nejběžněji používaných tvarů smyček patří (viz Obr. 3) pravoúhlá krátká smyčka (a), pro identifikaci kolon je využívána dlouhá smyčka (b). Pro detekci cyklistů je vhodné použít šikmou smyčku (c), která dává největší rozladění. Dále sem patří trapézová smyčka (d), jež se nejvíce hodí v případě úzkých jízdních pruhů. Poslední osmičkový tvar smyčky (e) je nejvhodnější pro detekci kolejových vozidel. [2]



Obr. 3: Tvary indukčních smyček

Zdroj: [2]

S využitím indukčního detektoru je možné získat následující parametry:

- Počet vozidel
- Směr jízdy
- Mezeru mezi vozidly
- Kategorie vozidel
- Rychlost (za použití dvou detektorů)

Použití:

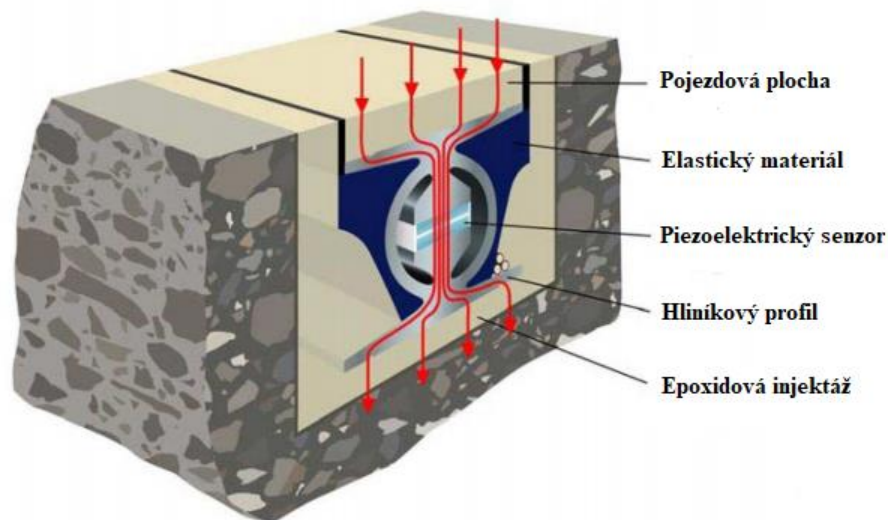
Řízení křižovatek SSZ (světelné signalizační zařízení)

Kvůli komplikovanosti dopravy a vzrůstajícímu důrazu na plynulý provoz se do řízení křižovatek začaly zapojovat inteligentní semaforey využívající detekční zařízení, zejména indukční smyčky, které snímají pohyb vozidel a dopravní situace v místě SSZ. Díky těmto detektorům systém přijatá data zhodnotí a řeší aktuální dopravní stav na křižovatce například prodloužením zeleného signalizačního světla pro daný pruh, či úplným vynecháním zelené v jízdním pruhu, kde není zaznamenáno žádné vozidlo. Systém by měl být také schopen poznat, zda je indukční smyčka vadná nebo v místě indukční smyčky vozidlo stojí z nějakého důvodu (porucha, havárie, aj.). [10]

4.3.1.2 Piezoelektrické detektory

Jedná se o kontaktní detektor vyžadující mechanický styk s detekovaným předmětem, který způsobí deformaci krystalů. Tato deformace krystalů následně začne generovat elektrické napětí. I když piezoelektrické senzory jsou elektromechanické systémy, které reagují na stlačení, tak i při této skutečnosti nezaznamenáváme u snímacích prvků téměř žádnou deformaci. To dává piezoelektrickému senzoru robustnost a možnost využití v mnoha odvětvích. [3, 11]

Piezoelektrické detektory se dělí dle konstrukce na piezoelektrické plochy (viz Obr. 4) nebo piezoelektrické kabely. Piezo kabely jsou založené na technologii piezopolymeru. Vzhledem se téměř neliší od koaxiálního kabelu, ale místo standardního vnitřního izolátoru je použit právě piezopolymer. [8]



Obr. 4: Piezoelektrický detektor s pojezdovou plochou

Zdroj: [8]

Piezoelektrické detektory se instalují podélně do vyfrézovaných drážek vozovky, kde jsou zality epoxidem, nebo přikryty vrstvou asfaltu. Skládají se ze senzoru, který je pomocí propojovacího kabelu spojen s měřicí elektronikou, řídicí jednotkou a napájením. Piezoelektrické senzory nacházejí uplatnění zejména u systému WIM (Weight In Motion – vážení v pohybu) pro dynamické vážení automobilů. [8]

Mezi nevýhody konvenčních piezoelektrických detektorů patří špatná funkčnost při statickém měření, proto detekovaná vozidla musí dosahovat minimální rychlosti 15 km/h (některé speciální materiály, ale dokážou poskytovat data i při kvazistatickém měření). Citlivost snímače dále závisí na teplotě okolního prostředí, zejména v mrazivých dnech klesá jeho přesnost. V porovnání s indukčními smyčkami musí být piezoelektrický senzor zarovnaný s vozovkou. [3, 8]

Princip:

Napětí generované senzorem je úměrné tlaku nápravy, které působí na senzor (použití jako váha). Elektrické napětí je vytvářeno nábojem opačné polarizace, jež se projeví pouze při stlačení na protilehlých stranách piezoelektrického zařízení. Piezoelektrický efekt má dynamický charakter, což znamená, že rozezná pouze jedoucí vozidla. [8]

Za použití jednoho senzoru lze detekovat vozidla v různých pruzích. Stačí, aby senzor měl opačnou polarizaci pro oba jízdní pruhy, a projíždějící vozidla přes bližší část senzoru začnou produkovat opačný náboj oproti vzdálenějšímu pruhu. [8]

S využitím piezoelektrického detektoru je možné získat následující parametry:

- Váhu vozidla
- Směr jízdy
- Rychlost vozidla
- Počet náprav
- Intenzitu
- Klasifikaci vozidla

Použití:

System WIM

Vysoká hmotnost vozidel, respektive přetěžování způsobuje degradace (například „vyjeté koleje“) silniční infrastruktury. Dříve se proti tomuto problému postupovalo odstavením vozidla a pomocí stacionárního měření bylo vozidlo zváženo. Ale nový elektronický měřicí a záznamový systém WIM umožňuje dynamické vážení vozidla. Systém senzorů v předstihu rozliší, o jaký typ vozidla se jedná. Vozidlo je poté pomocí proměnných dopravních značek (dopravních aktorů) navigováno na WIM. Zde je rychlost vozidla omezena, aby se dosáhlo co nejpřesněji naměřených hodnot. Pokud hmotnost vozidla nepřesahuje dovolenou hranici, pokračuje v jízdě. [2]

4.3.1.3 Pneumatické detektory

Pneumatické detektory jsou vůbec prvním typem dopravního automobilového detektoru s velmi snadnou instalací. Pro aplikace telematiky se dnes pneumatické detektory vestavěné do vozovky téměř nevyužívají, ale pro účely operativního měření intenzit nebo rychlosti stále nalézají uplatnění. Způsob činnosti spočívá v měření změny tlaku v tlakové trubici připevněné k povrchu vozovky. [6, 8]

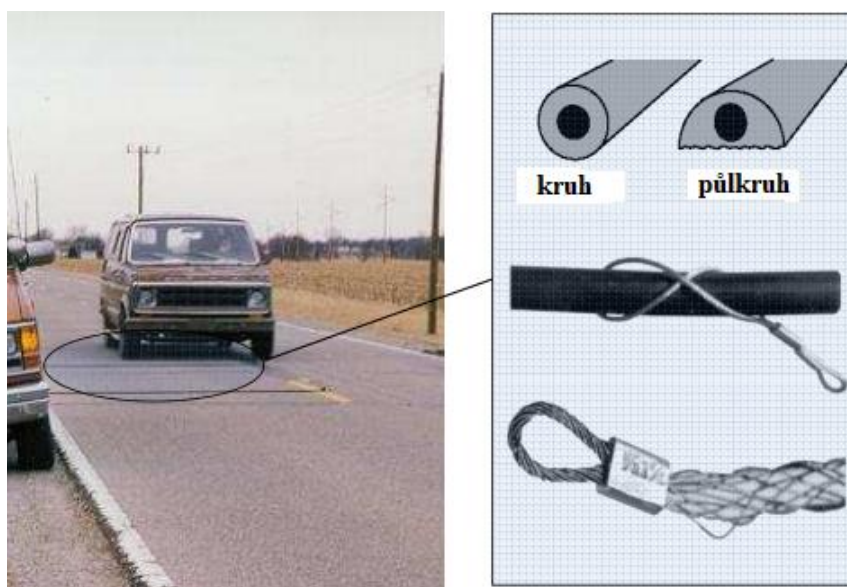
Konstrukce zařízení se skládá z krytu (pevný, ale ohebný polymerový obal) na nízko profilové pneumatické detektory, z propojovacího kabelu mezi senzorem a měřicí elektronikou, řídicí jednotky interpretující změny v elektrických vlastnostech při průjezdu vozidla a z napájení. [8]

Výhodou pneumatických detektorů je především jejich snadná a rychlá instalace (pro dočasné měření), nízká cena a skutečnost, že při instalaci nedochází k narušení

vozovky. Nevýhody těchto detektorů jsou náchylnost na prudké změny teplot, nemožnost použití ve zhoršených podmínkách (sníh, déšť). Dalšími významnými nevýhodami pneumatických detektorů jsou častá porušení měřicí trubice způsobené pojezdy vozidel a neposkytnutí přesných dat při vyšších intenzitách dopravy. [8, 5]

Princip:

Při průjezdu vozidla přes pneumatický detektor náprava stlačí trubičku obsahující vzduch (viz Obr. 5). Toto stlačení způsobí zvýšení tlaku v trubici a následné sepnutí tlakového senzoru na konci trubičky. [8]



Obr. 5: Ukázka umístění pneumatického detektoru

Zdroj: [8]

S využitím pneumatického detektoru je možné získat následující parametry:

- Intenzitu
- Klasifikaci vozidel (z počtu náprav)
- Rychlost (za použití dvou detektorů)
- Obsazenost

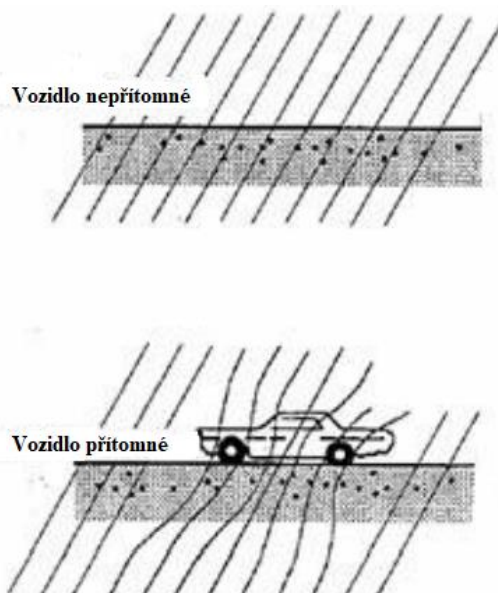
4.3.1.4 Magnetometry

Funkce těchto detektorů spočívá v měření a porovnání horizontálních a vertikálních složek magnetického pole Země. Magnetometry se používají jako vhodná alternativa k indukčním smyčkovým detektorům a to díky vyšší odolnosti vůči mechanickému namáhání. [8, 5]

Výhodou těchto detektorů je možnost použití na mostech, kde je přítomno mnoho ocelové výztuže a není dovoleno provádět velké zásahy do vozovky. Díky malým rozměrům nedochází při údržbě k velkému ovlivnění dopravy a cena detektoru, je v porovnání s neintrusivními detektory nízká. [9, 8]

Princip:

V případě, kdy se automobil nachází v měřicí zóně, dojde k deformaci magnetického pole, přičemž tato změna je impulsem detektoru, který zaznamená změnu hustoty siločar a vyhodnotí ji jako přítomnost vozidla. Tato změna je vyvolána masou kovu v automobilu. Zdeformované siločáry po stranách automobilu sníží svojí hustotu a naopak pod/nad automobilem dochází ke zvýšení hustoty (viz Obr. 6). Jedná se tedy o stacionární detektor, který k detekci využívá magnetické pole. [5]



Obr. 6: Vliv vozidla na magnetické siločáry

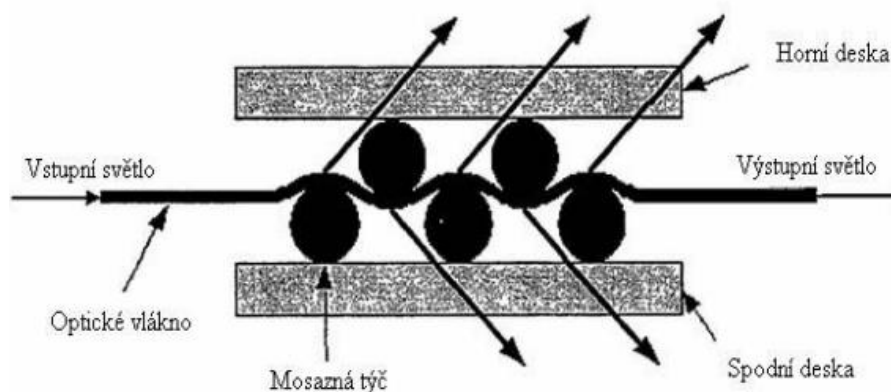
Zdroj: [8]

S využitím magnetického detektoru je možné získat následující parametry:

- Intenzitu
- Rychlost (za použití dvou detektorů)
- Obsazenost
- Přítomnost vozidel
- Počet vozidel

4.3.1.5 Detektory s vláknovou optikou

Relativně nová technologie, která v dnešní době nachází čím dál větší uplatnění. Optický kabel je uložen mezi kulatinami, které se při stlačení pohnou k sobě, čímž ohnou optické vlákno, a tak dojde k emisi světla (viz Obr. 7). Intenzita světla je měřena na konci smyčky optického kabelu. I přes jejich nízkou pořizovací cenu disponují vysokou přesností a odolností vůči elektromagnetické interferenci. [8]



Obr. 7: Detektor s vláknovou optikou

Zdroj: [8]

S využitím detektoru s vláknovou optikou je možné získat následující parametry:

- Intenzitu
- Klasifikaci vozidel (z počtu náprav)
- Rychlost (za použití dvou detektorů)
- Obsazenost

4.3.2 Neintrusivní detektory

Charakteristickým rysem těchto detektorů je jednoduchá instalace bez nutnosti zásahu do vozovky, tento fakt má pozitivní vliv na životnost vozovky. Díky „neintrusivním“ (non-intrusive) detektorům, které se mohou rychle odinstalovat a přemístit, se měřicí oblast stává flexibilnější. Ve vztahu s měřeným objektem, tyto detektory fungují bezdotykově na principu elektromagnetického či mechanického vlnění. [12]

4.3.2.1 Akustické detektory

Historicky jde o jedny z prvních detektorů vozidel na světě. Od vzniku prvního modelu se detektor značně zmodernizoval a vyrovná se tak jiným konvenčním metodám detekce vozidel. V současnosti se používají dva různé způsoby detekující akustickou energii, či „hluk“ projíždějícího vozidla. [12]

Prvním z nich a zároveň „nejmladším“ způsobem měření je za pomoci akustické kamery (acoustic camera), též známé pod názvem mikrofonní pole. Mikrofonní pole představuje větší počet mikrofónů upevněných do mřížky v různém tvaru. V některých případech je konstrukce doplněna optickou kamerou. Akustická kamera umožňuje snímat více prvků zároveň, což je nespornou výhodou pro rychlejší a přesnější vizualizaci dat. [13, 14]

Druhá metoda využívá dvojrozměrné pole mikrofónů, které detekují akustickou energii projíždějícího vozidla. Aby se předcházelo odchýlkám naměřených údajů, je zdroj zvuku vznikající mimo měřený úsek, elektronicky nebo mechanicky potlačen. Prostřednictvím matice mikrofónů a následného zpracování dat, lze odlišit různé detekční zóny. [12]

Výhodou těchto detektorů je jejich odolnost vůči vlhkosti okolního prostředí a možnost měřit více jízdních pruhů najednou. Naopak tento způsob detekce není vhodný na místech, kde se rychle mění dopravní podmínky. [12]

Princip:

Spočívá v měření časového rozdílu přicházející zvukové vlny mezi krajními částmi detektoru směřujícího do detekční zóny. Časové rozdíly zvukových vln se u projíždějícího

vozidla zkracují a naopak u odjíždějícího vozidla prodlužují. Rychlost vozidla je následně zpracována a převedena do vizuální podoby pomocí výpočetního zařízení. [12, 13]

S využitím akustického detektoru je možné získat následující parametry:

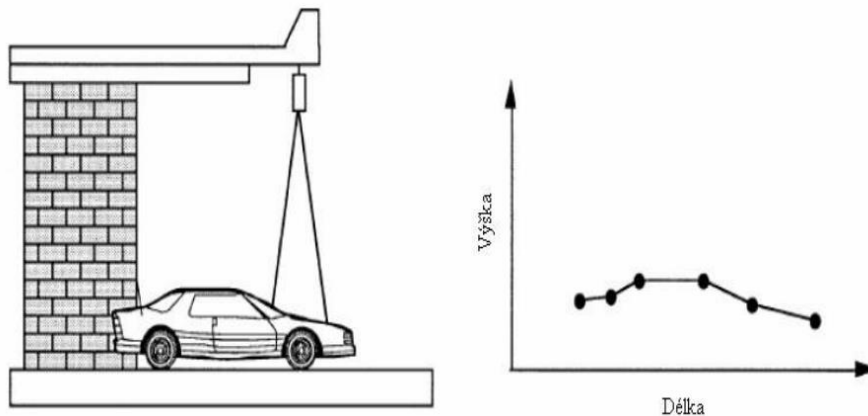
- Intenzitu
- Rychlost
- Obsazenost v jednotlivých jízdnicích
- Přítomnost vozidel
- Počet vozidel

4.3.2.2 Ultrazvukové detektory

Jedná se o nedestruktivní detekci vozidel, založenou na šíření ultrazvukových vln, kdy se z detektoru v pravidelných intervalech vysílají ultrazvukové vlny a měří se čas jejich navrácení. Vysílané vlny mají frekvenci nad slyšitelným spektrem mezi 25 a 50 kHz. Nevýhodou této metody je její nižší přesnost za nepříznivých povětrnostních nebo teplotních podmínek, které ovlivňují samotnou detekci. [5, 12]

Princip:

Pro generování i detekci ultrazvukových vln se používá reverzní piezoelektrický jev. Vlny jsou generovány tzv. elektrostrikcí, což je kmitání piezokeramického elementu



Obr. 8: Princip zjišťování výšky vozidel ultrazvukovým detektorem

Zdroj: [8]

buzeného střídavým napětím. Při zjišťování přítomnosti vozidla se používá vysílání krátkých impulsů, tzv. burst impulsů, a měří se doba navracení odraženého impulsu. Pro rozlišení, zda se pod detektorem nachází osobní či nákladní vozidlo, se stanoví tzv. toleranční pole, čímž se rozliší druh vozidla a to podle výšky naměřené detektorem (viz Obr. 8). [2]

Ultrazvukový detektor na základě Dopplerova principu měří i rychlost vozidla, která je úměrná rozdílu referenčního a odraženého kmitočtu. Dopplerův jev byl poprvé popsán Christianem Dopplerem v roce 1842 a zjednodušeně říká, že odražený signál od vozidla s frekvencí f_0 , který směřuje k pozorovateli má zvyšující se frekvenci f dle uvedeného vztahu: [2,8]

$$f = f_0 \frac{v}{v - v_{s,r}}$$

kde: v ... rychlost vln v dané délce

$v_{s,s}$... relativní radiální rychlost zdroje vůči přijímači

f_0 ... frekvence vozidla

f ... přijímaná frekvence

S využitím ultrazvukového detektoru je možné získat následující parametry:

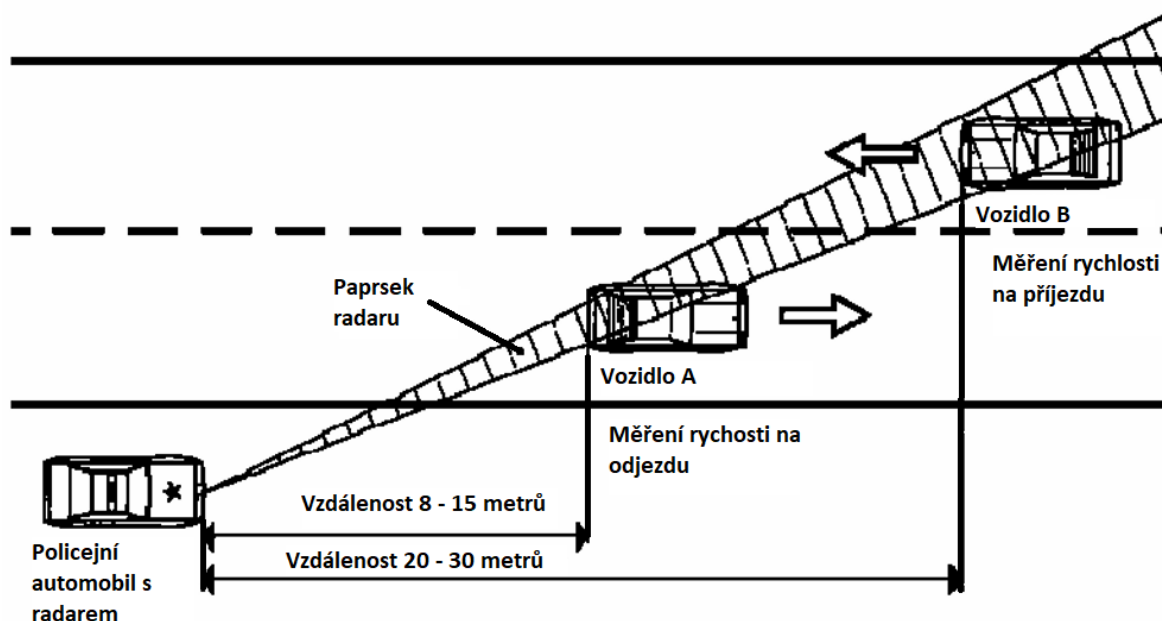
- Rychlost
- Obsazenost
- Přítomnost vozidel
- Počet vozidel
- Délku a výšku vozidel

4.3.2.3 Mikrovlnné radary

Mikrovlnné radary byly vyvinuty pro detekci létajících objektů za 2. světové války. Radiolokátor neboli RADAR (anglický akronym pro **R**adio **D**etecting **A**nd **R**anging) je elektronický přístroj určený k zaměření, identifikaci a vyhodnocení vzdálenosti objektů za pomoci krátkých elektromagnetických vln. Tyto detektory mají v porovnání s optickými, ultrazvukovými či infračervenými detektory několik výhod. Konkrétně mají výhodnější směrové charakteristiky, vyšší odolnost proti změnám vnějších fyzikálních podmínek (hluk, vlhkost, mlha, prach, vítr) a vyšší přesnost. [12, 15]

Princip:

Z fyzikálního hlediska radary pracují též jako ultrazvukové detektory při měření rychlosti na Dopplerovském principu (viz Obr. 9).



Obr. 9: Princip měření rychlosti pomocí Dopplerova jevu

Zdroj: [16]

Zdrojem mikrovlnného záření je zásadně oscilátor s Gunnovou diodou, která je umístěna v dutinovém rezonátoru s přesnými rozměry odpovídajícími požadované vlnové délce. Vlnění je vazební clonou přivedeno z oscilátoru do vlnovodu spojeného s anténou ve tvaru trychtýře. Měřicí obvod je tvořen zesilovačem, měřičem kmitočtu a směšovačem a jeho funkcí je zpracovávat záření odražené od objektu. [2]

Mikrovlnné detektory jsou vzhledem ke svým malým rozměrům a snadné montáži na stožár vhodnou alternativou k indukčním smyčkám a to zejména tam, kde není možný zásah do povrchu vozovky. V praxi se nejčastěji používají v podobě radaru. Vzhledem k tomu, že detektor pracuje na principu Dopplerova jevu, nelze detekovat stojící vozidla. Při měření za jízdy musí existovat diference v rychlostech. Není vhodný pro sčítání vozidel v místech, kde je vysoká intenzita vozidel. Radar nelze umístit v přímé trajektorii vozidla, a proto při montáži detektoru na straně vozovky může docházet k blokování, a tudíž k úniku některých vozidel. [2, 12]

S využitím mikrovlnného radaru je možné získat následující parametry:

- Rychlost
- Přítomnost vozidel
- Počet vozidel
- Výšku vozidel
- Intenzitu
- Klasifikace vozidel

Radar RAMER-7M

Policie ČR je vybavena radary RAMER-7M, které pracují v mikrovlnném pásmu mezi 34,0 a 34,3 GHz. Úzký radarový paprsek o malém vysílacím výkonu měří rychlost jedoucího vozidla až na vzdálenost 35 metrů. Doporučené umístění Radaru pro měření rychlosti bývá takové, že s měřeným objektem svírá úhel přibližně 20 stupňů a je obvykle instalován v policejním autě, ze kterého lze měřit v průběhu jízdy nebo na místě. Korekce zmiňovaného úhlu se nazývá kosinový efekt a určuje skutečnou rychlost vozidla vůči naměřené rychlosti. Průběh a výsledky měření jsou zdokumentovány digitální kamerou a přeneseny do příslušného PC. Naměřené parametry se následně zobrazují pomocí aplikace ARCHIV 4x. Každý snímek je archivován v databázi na disku archivačního PC. Součástí aplikace je funkce pro grafické zpracování snímků, které se používají pro získání informací potřebných při identifikaci vozidla. V průběhu nočního měření je radar s kamerou doplněn bleskem. [17, 18]

Použití:

Technologie DSRC (Dedicated Short Range Communication)

Technologie DSRC je technické zařízení pro inteligentní komunikaci na malou vzdálenost (obvykle bývá tato vzdálenost do 50 metrů) vozidla – infrastruktura fungující na principu rádiového (v malé míře také infračerveného) přenosu. Dá se vlastně říci, že toto zařízení pracuje na principu WIFI. [4]

Přenos elektrických informací probíhá pomocí frekvence v pásmu 5,8 GHz, která pro spolehlivý přenos potřebuje přímou viditelnost. Komunikační zařízení tohoto systému musí být tedy instalováno buď na fyzické bráně, nebo vedle vozovky. Na bránu je

přípevněno zařízení DSRC, jehož součástí je anténní systém a počítačové zařízení zajišťující detekci i lokalizaci vozidel, která placenu zónou projíždějí. Pomocí systému DSRC mezi sebou vzájemně komunikují jednotky RSE (Road Side Equipment – zařízení na vozovce) a OBU (On-Board Unit - zařízení ve vozidle), které si předávají data o identifikaci vozidla, atd. Uživatelé OBU mohou na základě smlouvy s provozovatelem platit zpětně na základě fakturace (post-payment), nebo plynule pomocí účtu, ze kterého jsou odečítány denní platby (pre-payment). Jednotka OBU (viz Obr. 10) je umístěna na vnitřní straně čelního skla vozidla tak, aby neomezovala výhled řidiče. Nedílným prvkem celého systému je řídicí centrum s vazbou na EFC systémy, které umožňují tzv. platební roaming nebo jiné kontrolní procesy, např. vazba na registr odcizených vozidel. [2, 4]



Obr. 10: Jednotka OBU Premid

Zdroj: [19]

4.3.2.4 Videodetekce

Jako první zařízení pro videodetekci bylo zařízení s názvem AUTOSCOPE, jehož vývoj začal na univerzitě v Minnesotě v roce 1984, po skončení testování bylo v roce 1989 zařízení dokončeno a následně nasazeno do terénu. První větší aplikací AUTOSCOPU bylo pro adaptivní řízení 28 křižovatek. V současné době videodetekční zařízení dodává řada výrobců a stále se zdokonalují jeho vlastnosti. [2]

Princip:

Videodetekce využívá analýzy statického obrazu k získání informací o přítomnosti vozidel na vozovce v celém zorném poli kamery. Projíždějící vozidlo změní hodnoty jasu a barev na virtuálním detektoru, což je pak signálem pro jeho identifikaci. Tato informace může být přenesena na vstupy řadiče SSZ (světelné signalizační zařízení), popřípadě na

jiná dopravní zařízení. Nevýhodou videodetekce je relativně vyšší cena a možné problémy při špatném počasí, například při husté mlze nebo sněhové vánici. V tomto případě videodetekce rozpozná nepříznivé klimatické podmínky speciálním snímačem a přepne kamerový systém do předem nastaveného módu. Pro noční režim jsou kamery vybaveny přepínatelným IR filtrem s infračerveným přísvitem. Vhodné umístění kamerových systémů je 10 m nad středem dopravního proudu, který má být měřen, tímto krokem se částečně eliminuje splývání nebo zastíňování vozidel v daném úseku. Aby se plně zabránilo splynutí vozidel, musí být viditelná vzdálenost mezi vozidly vyšší než 0,6 m, při snímání obrazu 25 obr.s⁻¹. Videodetekce využívá dva základní typy systémů pro snímání obrazu - modulární kamerové systémy a IP kamerové systémy. [2, 5, 20]

IP kamerové systémy

IP kamera, též nazývána síťová kamera, je typ kamery, který pro přenos dat využívá internetový protokol. IP kamerové systémy v posledních letech značně posunuly vývoj kamerových sledovacích systému kupředu. Tyto systémy splňují takřka všechny podmínky pro neomezenou rozšiřitelnost a flexibilitu. Přitom hlavním limitem je přenosová kapacita vlastní počítačové sítě. Systém se tak může neomezeně zvětšovat a to počtem kamer, zobrazovacích monitorů, úložišť a operátorských stanic. [22]

IP kamery mohou plnit kromě funkce vlastní digitalizace obrazu i funkce analytické (viz Obr. 11). Princip analýzy přímo na kamerách přináší efektivní způsob rozložení početního výkonu na jednotlivé kamery. Tím se nepřetíží jeden centrální vyhodnocovací prvek. Analýza obrazu slouží jako asistent operátora, který upozorňuje na specifické děje



Obr. 11: Analýza dopravních situací IP kamerou

Zdroj: [23]

v zorném poli kamery. Preferovaný požadavek na analýzu obrazu se dá nastavit pomocí široké škály funkcí a filtrů. Díky těmto přednastaveným módům může jedna kamera snímat celou řadu dějů, například: detekce odcizeného automobilu, pohyb v nepovoleném směru, registrační značku vozidla aj. [21]

Pozn.: Označení „IP“ představuje základní protokol, který je používán na internetu a v počítačových sítích. Protokol je v podstatě standard, podle něhož probíhá přenos dat mezi dvěma koncovými body. [24]

Modulární kamerové systémy

V běžných systémech se využívají standardní televizní kamery, pracující v normě PAL (Phase Alternating Line) a to jak v černobílém, tak i barevném režimu. V současnosti je jedním z požadavků na kamerové systémy zejména jejich snadná rozšiřitelnost, ať už se jedná o velikost systému nebo jeho funkce. Kamerové moduly pro autonomní vizuální aplikace jsou velmi sofistikované a tím i velice nákladné. Tyto systémy se skládají ze samotné kamery s optikou, kamerové skříně, napájecích obvodů a vyhodnocovací elektroniky. Některé z nejnovějších kamerových modulů obsahují zapouzdřené výpočetní jádro tzv. embedded PC. [20, 22]

S využitím videodetekce je možné získat následující parametry:

- Rychlost
- Přítomnost vozidel
- Počet vozidel
- Intenzitu
- Klasifikace vozidel
- Obsazenost
- Registrační značku vozidla

Použití:

Monitorování modrých zón

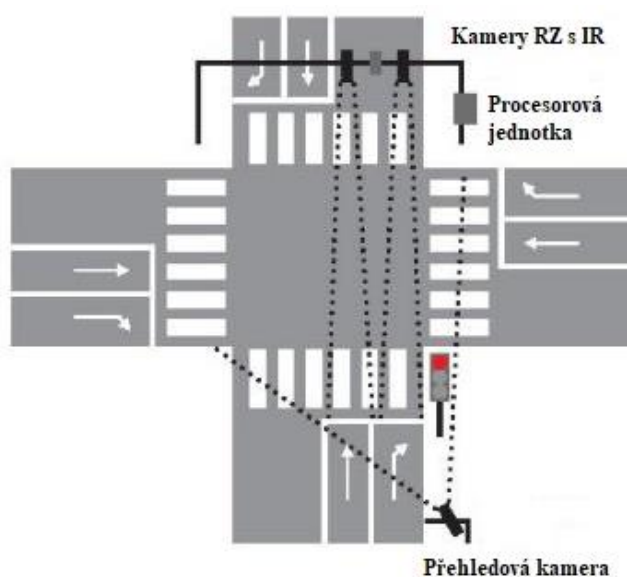
Modré zóny jsou monitorovány pomocí vozidla, které má na střeše přimontovaných 6 kamer směřujících do různých úhlů. Tyto kamery snímají registrační značky (RZ) při projíždění kolem zaparkovaných vozů a zároveň dopravní značení

vyznačující modré zóny. Takto shromážděné informace o RZ pošlou do systému, který již rozezná, zda má vozidlo s touto RZ zaplacené parkování či nikoliv. Rychlost celého systému je cca 2000 rozpoznaných RZ za 1,5 hodiny s účinností od 90% do 93,9%. Výhodou tohoto monitorovacího způsobu je vysoká přesnost v nepříznivých povětrnostních a světelných podmínkách i v případě mírně znečištěné RZ. Tyto výhody vyplívají ze skutečnosti, že kamery jsou vybaveny IR přísvitem. [25]

Detekce jízdy na červenou

Světelné signalizační zařízení (SSZ) má ve svém systému zanesen tzv. "vyklízeací interval". Ten je potřebný k tomu, aby i poslední vozidlo, které na poslední chvíli projelo na zelenou, mohlo bezpečně projet a opustit křižovatku. Nejmenší možný interval je předepsán normou. Kvůli bezpečnosti by měl být seřízen na co nejdelší čas, to by však prodloužilo čekání v ostatních jízdnicích pruzích, a proto se interval často nastavuje až na hraniční hodnotu, aby byl provoz co nejvíce urychlen. V případě, že je tento "vyklízeací interval" naprogramován na minimum, může být projetí na "těsnou" červenou, důvodem k vážné dopravní nehodě. [16]

K odhalení takových vážných přestupků se využívá systém videodetekce. Přehledová kamera instalovaná před samotnou křižovatkou (viz. Obr. 12) ve směru jízdy snímá celou křižovatkou, zejména SSZ. Další kamery jsou umístěny za křižovatkou, jedna



Obr. 12: Rozmístění kamer pro detekci přestupku

Zdroj: [16]

kamera pro každý jízdní pruh. Tyto kamery se automaticky zapnou, jakmile se na SSZ rozsvítí červená. Pokud vozidlo projede na červenou, detektor zaznamená registrační značku vozidla (RZ) i tvář řidiče. Kamery jsou vybaveny infračerveným přísvitkem, díky kterému jsou nasnímaná data čitelná i při zhoršených světelných a povětrnostních podmínkách. Tyto detektory mají své uplatnění také při detekci jízdy na červenou přes železniční přejezd či detekci neoprávněné jízdy v pruhu pro BUS. [4, 16]

4.3.2.5 Aktivní infračervené detektory

Jedná se o detektory, které aktivně vysílají IR paprsky. Pracují na principu měření doby, za kterou se vyslaný paprsek vrátí zpět k detektoru. Zařízení vytváří paprsky o nízkém výkonu pomocí LED diod a to více možnými způsoby: dvěma a více diodami, jednou diodou doplněnou o složitou optiku, jednou diodou a mechanickou částí (např. rotujícím zrcadlem). Vlnová délka vysílaných IR paprsků se pohybuje od 10^{-6} do 10^{-5} metrů, což odpovídá hodnotě blízké infračervené oblasti (NIR – near infrared) přibližně $0,85\mu\text{m}$, frekvence těchto paprsků je řádově 10^{13} Hz. [12]

Princip:

Aktivní IR detektory vyšlou pomocí LED diod paprsek a následně změří dobu, za kterou se odražený paprsek vrátí zpátky od snímaného předmětu. Přijaté záření, respektive energii přemění na elektrický signál. Míra odražené energie závisí také na emisivitě povrchu měřeného objektu (viz Tabulka 1). Tato metoda je vhodná pro monitorování více

<i>Materiál</i>	<i>Emisivita</i>
Ocel, galvanizovaná	0,28
Hliník, leštěný	0,05
Zinek	0,2
Chrom, leštěný	0,1
Sklo	0,92
Lak, černý, matný	0,97
Lak, černý, lesklý	0,87
Lak, bílý	0,87

Tabulka 1: Emisivita materiálů

Zdroj: [26]

jízdních pruhů současně. Mezi další výhody těchto senzorů patří instalace bez potřeby zásahů do vozovky a také to, že přesnost není ovlivněna, díky IR záření, světelnými ani povětrnostními podmínkami okolního prostředí. Avšak hustá mlha a silné sněžení má negativní vliv na kvalitu detekce vozidel, právě z toho důvodu se využívá korekce mlhy, kdy se upravuje zvýšená citlivost senzoru při opticky znečištěném prostředí. Citlivost se upravuje pomocí toho, že je k reálnému signálu přičten signál opozitní. Touto korekcí docílíme neměnné citlivosti na zaručenou detekční vzdálenost. Špatná instalace detektorů nad vozovku může způsobovat špatnou detekci vozidel v měřené zóně (např. zastíněním vozidla jiným vozidlem), což patří také mezi zásadní nevýhody těchto detektorů. [2, 12]

Pozn.: Emisivita je optická vlastnost materiálu, která definuje, jak velké množství světla se vyzářílo z materiálu v poměru k množství, které při stejné teplotě vyzařuje absolutně černé těleso. [27]

S využitím aktivního infračerveného detektoru je možné získat následující parametry:

- Rychlost
- Délku vozidla
- Přítomnost vozidla

Lidar (Light Imaging Detection and Ranging)

Lidary, jinak také laserové dálkoměry či rychloměry, jsou laserové měřiče, které fungují na principu změření časové prodlevy mezi vyzářeným světelným paprskem a návratem jeho odrazu od snímaného objektu. V lidarech se používají lasery v pulzním i ve spojitém (kontinuálním) režimu s fázovou modulací. Velkou výhodou těchto měřičů je jejich prostor měření, ten může být až 100 metrů, typicky je to však 20 metrů. Lidary vyzáří laserové paprsky, které jsou rozmetány pomocí rotujícího zrcadla a v časovém odstupu provedou dvě či více měření, porovnají vzdálenosti a tím dokážou určit rychlost pohybujícího se objektu. Odchylka při měření se pohybuje v řádu desítek centimetrů, v praxi je například nutný, při měření rychlosti, odstup mezi jednotlivými měřeními a to v řádech jednotek sekund, aby došlo k potlačení zaokrouhlovacích nebo jiných výpočetních chyb. Obsluha měřicího přístroje musí po tuto dobu držet detektor namířený přímo na předmět, který je měřen. Kvůli této skutečnosti jde o ruční dálkoměr. Paprsek laserového detektoru se nejčastěji směřuje na vertikální plochy, aby byl podpořen dobrý odraz směrem

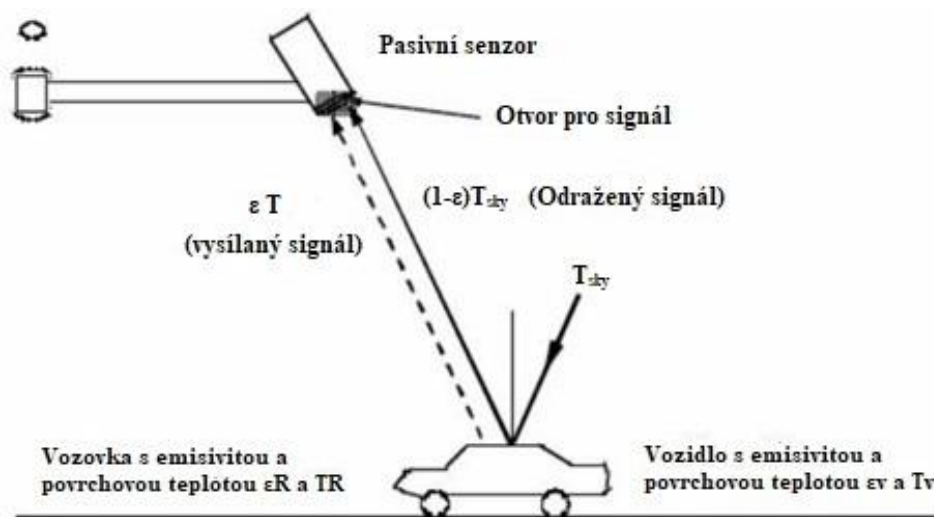
k přístroji a tím i dobrý výsledek. Laserové měřiče se v rukou městské policie využívají většinou k okamžitému odchytu. [2, 15]

4.3.2.6 Pasivní infračervené detektory

Jedná se o pasivní detektory, které samy nevysílají žádné paprsky. Používají se především pro zjišťování rychlosti, přítomnosti a délky vozidla nebo detekci chodců. Snímače fungují na principu výměny tepla zářením mezi měřeným objektem a detektorem. Vlnová délka přijímaného záření bývá od 8 do 14 μm a tím minimalizuje vliv slunečního světla, změny intenzity osvětlení aj., například člověk vyzařuje infračervené (IR) záření v oblasti 10 μm . Toto IR záření není vnímáno lidským okem a jeho šíření není ovlivněno mlhou ani hustým deštěm. Výměna tepla pomocí záření je podmíněna rozdílem teplot povrchů objektu a detektoru. Intenzita IR záření je dána Stefan-Boltzmannovým zákonem, který popisuje celkovou intenzitu záření absolutně černého tělesa. [2, 12]

Princip:

Princip detekce (viz Obr. 13) vychází z toho, že každý objekt, který má vyšší teplotu jak 0 K (tedy $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$) emituje tepelné záření. Tento signál je úměrný rozdílu emisivity a teplot mezi projíždějícím vozidlem a vozovkou. Velikost záření závisí na ploše, energii a emisním koeficientu. Pasivní IR detektory reagují již na rozdíl teplot $1\text{ }^{\circ}\text{C}$



Obr. 13: Princip pasivních IR detektorů

Zdroj: [12]

v přesně definovaném poli. Nevýhoda detekce tkví v ovlivnění přesnosti kvůli náhlým změnám teplot a výraznému proudění vzduchu. Vzhledem k tomu, že tepelné záření je velmi slabé, tak senzory musí být opatřeny velmi dobrou optikou tvořenou filtry a systémy čoček pro zaostření do měřicího pole. Jednoduché senzory, které měří rozdíl teplot pouze v jednom místě, se postupně nahrazují dvojitými senzory, kdy druhý senzor slouží pro eliminaci výkyvů teplot. [12]

S využitím pasivního infračerveného detektoru je možné získat následující parametry:

- Rychlost
- Délku vozidla
- Přítomnost vozidla

4.3.2.7 Optické detektory

Optické detektory jsou využívány pro zjišťování, zda je vozidlo přítomno v definovaném prostoru. Jedná se o pasivní způsob detekce. Tyto detektory se používají pro parkovací systémy i spolu s dopravními radiči. [2]

Princip:

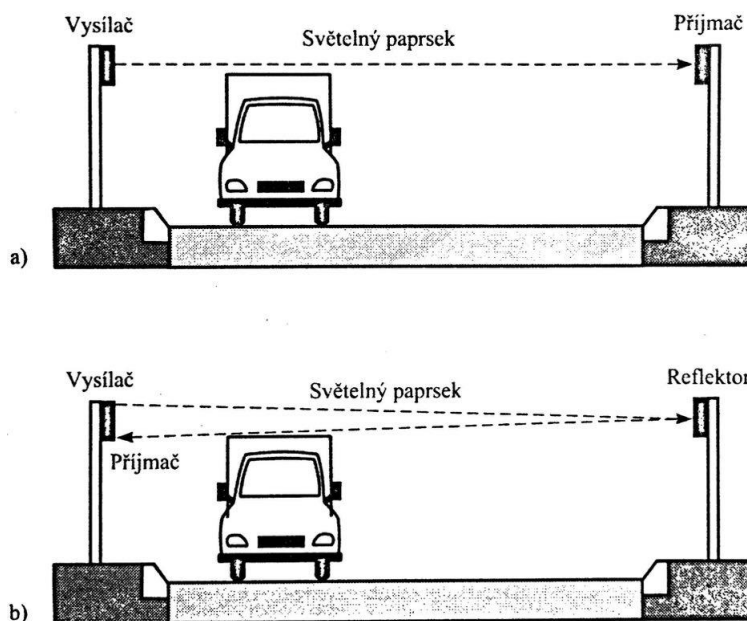
Optický detektor zhodnotí kontrast mezi dvěma referenčními body (vysílačem a přijímačem) na vozovce s automatickou adjustací, která závisí na okolním osvětlení. Většinou jsou pro vlnové délky 400 a 100nm a pro dvě ohniska 72 a 106mm použity dva fotorezistory. Doba odezvy se pohybuje okolo 30ms. [2]

Použití:

Světelné závory

Světelné závory nachází své využití při zjišťování toho, zda výška vozidla nepřekročila předem definovanou mez. Ve výjimečných případech také k měření rychlosti (pokud jsou dvě světelné závory umístěny v přesně definované vzdálenosti). Zařízení se skládá z vysílače a přijímače, někdy také reflektoru. Světelná závora pracuje na principu vyslání paprsku vysílačem, ten je buď přímo zachycen přijímačem, nebo směr paprsku změní reflektor (viz Obr. 14). Pokud se použije jen vysílač a přijímač, může se objevit problém s napájením, neboť obě části jsou na opačné straně vozovky a oba musí být

napájení. Oproti tomu u uspořádání s reflektorem jsou přijímač i vysílač u sebe na stejné straně vozovky. [2]



Obr. 14: Světelné závory s odděleným a integrovaným přijímačem a vysílačem

Zdroj: [2]

Nejčastěji se používá laserové nebo infračervené světlo, výjimečně i světlo viditelné. Laserový paprsek se využívá hlavně v případech, kdy je potřeba překonat velké vzdálenosti. Světelný paprsek je pozměněn, aby se zabránilo vlivu nežádoucího záření, vyhodnocovací obvod z toho důvodu sleduje jen pozměněný kmitočet. Nevýhodou detektorů je jejich větší či menší ovlivnitelnost povětrnostními podmínkami (sníh, déšť). Velký negativní vliv na detekci má mlha. Výšková kontrola má podstatný význam pro ochranu instalované technologie na stropěch tunelů. K tomu se využívají dva různé způsoby uspořádání: světelná závora s indukční smyčkou umístěnou ve vozovce a dvě světelné závory umístěné za sebou ve shodné výšce. [2]

S využitím optického detektoru je možné získat následující parametry:

- Rychlost (za použití dvou světelných závor)
- Výšku vozidla
- Přítomnost vozidla

4.3.2.8 Bluetooth detekce vozidel

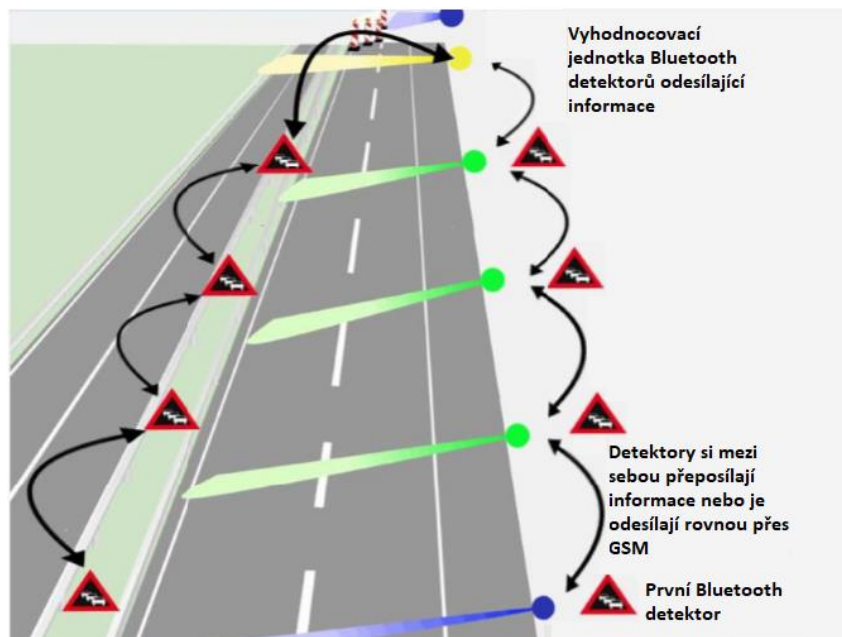
System je založen na principu anonymním sběru MAC (Media Access Control) adres zařízení, která mají zapnutý Bluetooth. V dnešní době se jedná o většinu autorádií, které mají neustále zapnutý režim Bluetooth pro připojení telefonního zařízení. Tato detekce je nejčastěji prováděna v místě s větší hustotou dopravy či v místě s častou tvorbou dopravních kongescí. Jedná se převážně o orientační měření díky rozdílné rychlosti jednotlivých vozidel. [28]

Princip:

Sběr dat je rozdělen do více zařízení, která jsou umístěna podélně v celém rizikovém úseku a rozpoznávají již detekovanou MAC adresu. Poté je vyhodnocen naměřený čas mezi jednotlivými úseky. Z důvodu odbočení vozidla mimo komunikaci či zastavení vozidla na čerpací stanici, je v Bluetooth detekci využívána korekce. Tím se předejde negativnímu ovlivnění naměřených dat. [28]

System je rozdělen na dva základní typy. První zaznamená jedoucí vozidlo a následně přes GSM (Groupe spécial mobile - Globální System pro Mobilní komunikaci) bránu přeposílá data k vyhodnocení do velína, kde se data zpracují s ohledem na po sobě jdoucí detektory. [28]

Druhý typ je založen na přeposílání dat mezi zařízeními až ke koncovému zařízení (viz Obr. 15) a teprve pak jsou odeslána do velína. Zde jsou data zpracována a předána například provozovatelům stránek www.maps.google.com, které provozují současnou úroveň mapování daného úseku. [28]



Obr. 15: Bluetooth detekce

Zdroj: [28]

S využitím Bluetooth je možné získat následující (přibližné) parametry:

- Rychlost
- Počet vozidel
- Hustotu

5 Praktická část práce

V praktické části práce se nachází kapitola Použité detektory, kde jsou představeny všechny detektory, které byly při práci použity a také jejich technické parametry. V nadcházejících kapitolách jsou zevrubně popsány procesy celého měření, včetně zpětné kontroly, která byla provedena za účelem zjištění míry nepřesností naměřených dat z jednotlivých detekčních zařízení. V další kapitole Výsledky měření jsou uvedeny konečné výsledky měření, ze kterých následně vychází zhodnocení použitých detektorů. V závěrečné části práce se nachází popis a funkce sestaveného detektoru.

5.1 Použité detektory

Tato kapitola obsahuje všechna zařízení, která byla v průběhu práce a procesu měření použita. Nachází se zde podrobný popis daných zařízení, způsob jejich využití v průběhu práce a jsou zde i vypsány pracovní podmínky, které jsou v souladu s předpisem daných podmínek doporučených výrobcem.

5.1.1 Kamera ACTIVER MZC-EX36X-IR80

Box kamera značky ACTIVER je uložena v ochranném krytu s infračerveným přísvitem pro možnost nočního režimu a také pro lepší odolnosti proti nepříznivým podmínkám okolního prostředí. Detekční pole tohoto analogového kamerového systému dokáže detekovat vozidlo až na vzdálenost 80 metrů a to zásluhou 36x optickému přiblížení s vysokým rozlišením o hodnotě 540TVL (TVL – TeleVision Line), to definuje počet televizních řádků – 960x540. Tato kamera je primárně určena pro monitorování vjezdů a jiných koridorů, kde je potřeba soustavné monitorování vozidel a současná archivace registračních značek projíždějících vozidel na dlouhou vzdálenost. Kamera je navržena tak, aby zvládala i náročné aplikace a díky zabudovanému zobrazovacímu čipu 1/4“ Sony Exview HAD CCD (Charge Coupled Device) je imunní vůči oslnění světlomety automobilu. Ovládání kamery lze provádět buď přímo přes OSD menu (nastavení přímo na zařízení) nebo pomocí rozhraní RS-485 (dálkové ovládání kamer na vzdálenost až 1200 metrů). Napájení kamery je zajištěno napětím 12 V DC. Kamera s označením MZC-EX36X-IR80 je zobrazena na Obr. 16. [29]



Obr. 16: Kamera MZC-EX36X-IR80

Zdroj: [29]

5.1.2 Kamera HIKVISION DS-2CD4A25FWD-IZS

Venkovní IP kamera značky HIKVISION disponuje 2 megapixely s maximálním rozlišením až 1920x1080 při 50 snímcích za sekundu. Pro noční režim je kamera vybavena automatickým infračerveným přísvitem, který dosahuje až na vzdálenost 100 metrů. Součástí tohoto zařízení je snímací čip 1/2,8" Progressive Scan CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor), který oproti CCD (Charge Coupled Device) čipu bývá levnější a méně citlivý na světlo. Jako opatření proti případnému oslnění světlomety protijedoucích vozidel je kamera vybavena čipem WDR 140dB (Wide Dynamic Range), který kompenzuje velký kontrast snímaného prostoru, kde se objeví zároveň světlé i tmavé plochy. Kamera také podporuje potlačení šumu a to pomocí speciálního algoritmu 3D DNR (Digital Noise Reduction), který je v kameře nainstalován. Díky systému Multistreaming se obraz z kamery dokáže přenést až na další 3 zařízení najednou. Komunikace kamery s počítačem je zajištěna prostřednictvím sběrnic ethernet protokolu 10M/100M a konektoru RJ-45. Provozní podmínky, které stanovil výrobce, jsou v rozmezí od -30°C do 60°C se stupněm krytí IP67, který zaručuje plnou ochranu proti prachu a ponoření kamery do vody až po dobu 30 minut. Napájení kamerového zařízení je zajištěno napětím 12 V AC nebo ethernetovým kabelem PoE (802.3at). Kamera HIKVISION je zobrazena na Obr. 17. [30]



Obr. 17: Kamera HIKVISION DS-2CD4A25FWD-IZS

Zdroj: [30]

5.1.3 Radar Sierzega SR4

Mikrovlnný radar značky Sierzega s označením SR4 patří mezi nejvyužívanější neintrusivní dopravní sčítače. Pro měření je vhodné radar instalovat na svislé dopravní značení nebo sloup lampy umístěné v těsné blízkosti dopravní komunikace. Radar umožňuje detekovat vozidla pohybující se rychlostí od 2 do 255 km/h a to ve dvou jízdních pruzích najednou. Snímač radaru pracuje ve frekvenčním pásmu 24 GHz a vysílacím výkonu 5 mW. Paměť dopravního sčítače dokáže uložit nasnímaná data o velikosti až 430 000 vozidel. Ta jsou poté distribuována bezdrátově pomocí Bluetooth technologie do PC nebo moderních smartphonů. Díky nízké spotřebě energie je radar schopen zůstat v provozu po dobu více než 2 týdnů. Hmotnost celého zařízení nepřesahuje 3 kg a ochranná skříň splňuje stupeň krytí IP66, což umožňuje plnou ochranu proti prachu a tryskající vodě. Provozní teplota, kterou stanoví výrobce, je v rozmezí od -25°C do 60°C. Napájení radaru je zajištěno napětím 12 V. Radar s dodávaným příslušenstvím je zobrazen na Obr. 18. [31]



Obr. 18: Mikrovlnný radar Sierzega SR4

Zdroj: [31]

5.2 Postup měření

Pro zajištění objektivního hodnocení celého měření bylo nutné zajistit pokud možno totožné podmínky, popřípadě co nejvíce podobné podmínky pro všechny testované detektory. S ohledem na výše zmíněné hledisko objektivity bylo testování provedeno ve stejnou dobu na jednom referenčním místě se všemi poskytnutými detektory najednou.

Bodové shrnutí postupu měření:

- Výběr vhodného umístění detektorů
- Instalace detektorů
- Nastavení oblasti zájmu (platí pouze pro kamery)
- Průběh měření za dohledu týmu
- Ukončení měření a kontrola naměřených dat

5.2.1 Podmínky pro měření

Měření probíhalo dne 20. 11. 2017 (pondělí) v předem určeném čase od 6:00 do 00:00. V tento den se denní teploty pohybovaly v rozmezí od 2°C do 6°C a noční teploty od 0°C do -2°C. V průběhu dne bylo oblačno až zataženo s občasným slabým deštěm, toto nestálé počasí nám tak umožnilo mít ideální proměnlivé podmínky pro takovéto testování všech použitých detektorů. Poněvadž měření probíhalo v běžný všední den - v pondělí, kdy lidé dojíždí do práce a studenti do škol, bylo dosaženo téměř maximálního vytížení dopravní komunikace a tím i zatížení dopravních detektorů.

Pro dohlížení a kontrolu nad detektory bylo zapotřebí čtyř osob, které se střídaly a zároveň se na měření podílely. Přičemž každá dvojice měla přiřazený kamerový systém, u kterého hlídala, zda plní svoji funkci a nedochází k chybnému měření, další člověk navíc počítal celkové množství okolo projetých vozidel. Radar pro své správné fungování vyžadoval pouze počáteční spuštění a nastavení před měřením samotným, další obsluha v průběhu měření nebyla zapotřebí a to z důvodu dostatečné kapacity napájecího zdroje a automatického snímání vozidel s možností případné obrazové kontroly na dálku pomocí Bluetooth.

5.2.2 Místo měření

Měření probíhalo v městské části Praha - Březiněves, která se nachází na severním okraji hlavního města Prahy a je součástí obvodu Prahy 8. S městem ji dnes spojuje pouze komunikace ulice Na Hlavní, resp. silnice II/243 a napojení na ulici Cínovecká (D 8). Ulice Na Hlavní je poslední historickou komunikací v území (spojení do Ďáblic), je rovněž jedinou spojnici s obcemi ležícími severně a patřícími administrativně do Středočeského kraje. Z hlediska bezpečnosti provozu a zdraví obyvatel je silnice II/243 velmi nevyhovující a to především kvůli vysoké intenzitě tranzitní dopravy (viz Tabulka 2).

<i>Celkové automobilové zatížení komunikace Na Hlavní 6-22 hod., průměrný pracovní den</i>								
Rok	1995	1997	1999	2000	2005	2006	2007	2009
Celkový počet [voz]	10100	10750	11650	12400	14250	14050	15900	18500

Tabulka 2: Celkové automobilové zatížení komunikace Na Hlavní

Zdroj: [32]

Právě na takto frekventované silnici probíhalo testování všech detektorů. Místo měření se souřadnicemi 50°09'49.2"N 14°29'01.4"E (viz Obr. 19). [33, 34]

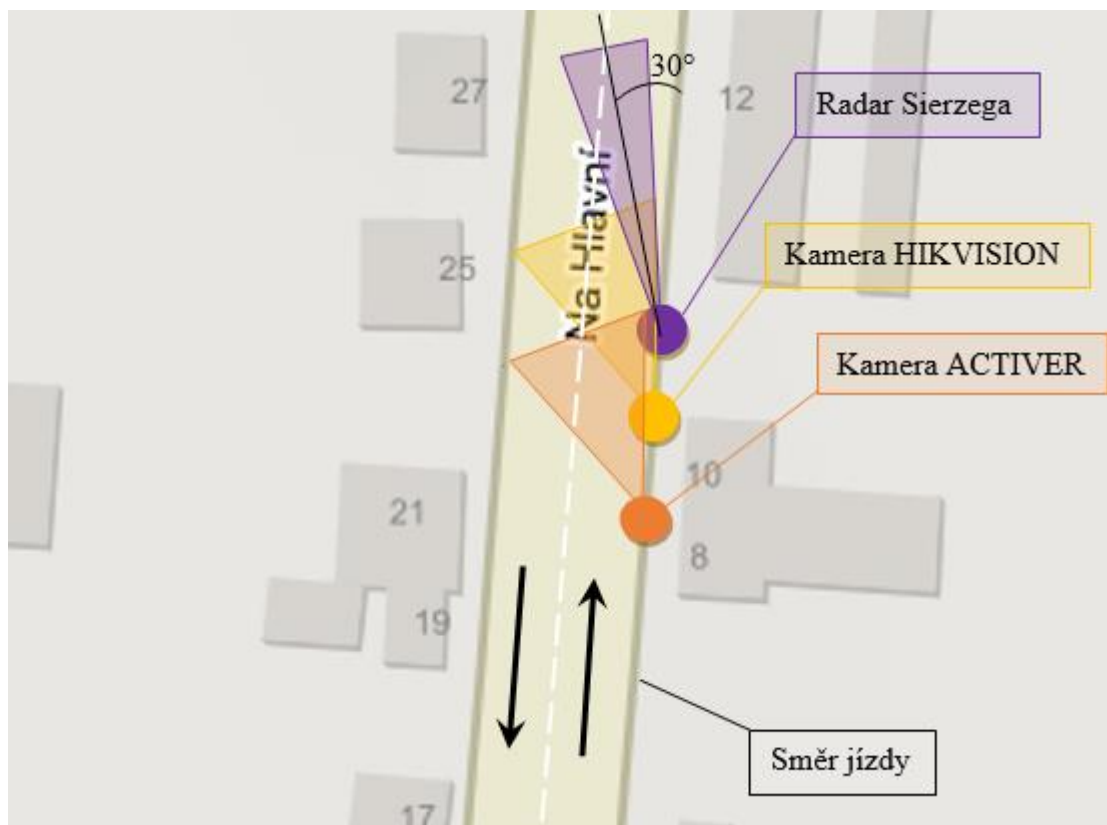


Obr. 19: Místo měření

Zdroj: [34]

5.2.3 Umístění detektorů

Pro správnou funkci detektorů bylo zapotřebí umístit jednotlivá zařízení ideálně tak, aby nedocházelo k větším nepřesnostem při snímání a zároveň, aby byly splněny pracovní podmínky pro všechna 3 detekčních zařízení. Kamery i radar byly umístěny na takovém místě, aby s projíždějícími vozidly svíraly úhel 30° , který je pro takováto měření ideální. Pro stálou a stabilní polohu byla každá kamera osazena na stativu ve výšce 100 cm. Obě kamery byly nastaveny takovým způsobem, aby se registrační značky projíždějících vozidel snímaly ve vodorovné poloze a byly co nejvíce čitelné. To bylo aplikováno zejména proto, aby registrační značka detekovaného vozidla mohla být s vyšší pravděpodobností rozeznána pomocí softwaru. Radar byl pomocí svěrného spoje umístěn na sloupu lampy ve výšce přibližně 120 cm. Celkově tak byly jednotlivé detektory umístěny podél silnice II/243 s rozestupem cca 5 metrů od sebe s možností detekovat vozidla v obou směrech (viz Obr. 20).



Obr. 20: Umístění kamer a směr zorného pole

Zdroj: [34]

5.2.4 Nastavení oblasti zájmu

Jelikož oba kamerové systémy disponují možností detekce registračních značek, provedla se segmentace a výběr oblasti zájmu na základě detekce RZ ve snímku. Nastavení kamer bylo proto takové, aby zařízení vždy detekovala celou masku nebo zadní část vozidla a snímaly RZ v úzce definovaném poli snímku. Výběr určité oblasti zájmu bylo tedy možné realizovat jako volbu obdélníkové oblasti o definované velikosti umístěné na relativně pevném místě vzhledem k souřadnicím nalezené RZ ve snímku (viz Obr. 21).

No.	Capture Time	Plate No.	Captured Picture	Country	Lane	Direction
36	04-26-2016 13:03:24	4AA6026		Czech Republic (CZE)	1	Forward

Obr. 21: Výběr oblasti zájmu pro lokalizaci RZ

Zdroj: [30]

Pomocí lokalizace registrační značky je umožněno separovat vybranou oblast zájmu obsahující přední i zadní část vozidel a prostřednictvím předem známých a normalizovaných rozměrů registrační značky dále provést korekci měřítka snímku s přijatelnou přesností pro následující zhodnocení.

5.2.5 Kontrola záznamu

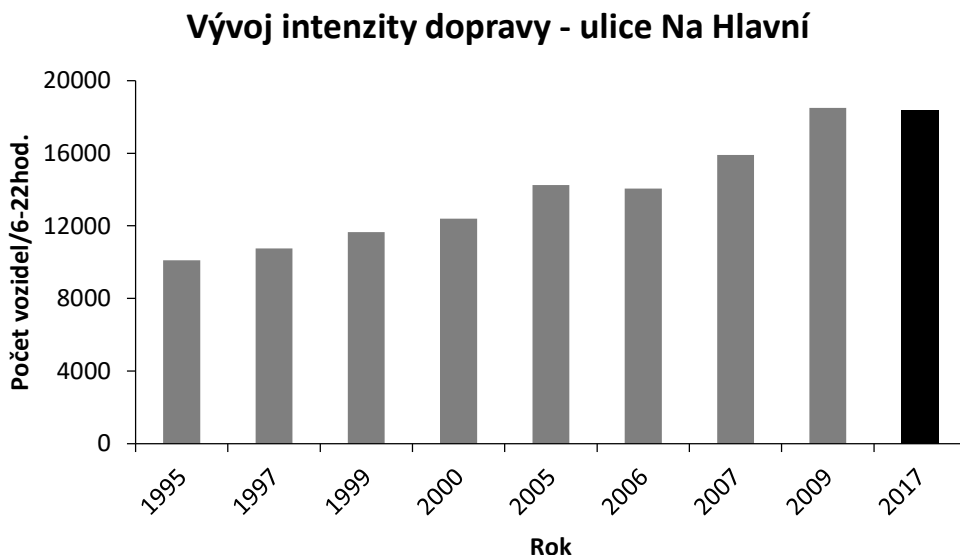
Pro zhodnocení naměřených dat musel být obraz při natáčení testovanou kamerou bez prokládaného řádkování. To znamená, aby video ve zpomaleném záběru nevykreslovalo pulsímky, ale kompletní snímky, z důvodu snadnějšího porovnání dat. Kompletní kamerový záznam byl analyzován na PC v laboratoři dopravního inženýrství. Průběh této operace spočíval v umístění testované kamery nad obrazový panel PC, ve kterém se následně spustilo zpomalené video. Z videa byla kamerou detekována všechna vozidla i jejich registrační značky, které se v průběhu prvotního testování nepodařilo zachytit. Tato finální kontrola měření umožnila objevit většinu nedostatků v použitých detektorech a zároveň zjistit jejich příčinu vyplývající například ze znečištěné registrační značky. Díky tomuto kontrolnímu opatření mohl být vynesena přesnější finální verdikt s důrazem na širokou škálu možných chyb u jednotlivých detekčních zařízení.

6 Výsledky měření

Celkové množství projetých vozidel za celou dobu měření (viz kapitola 5.2.4) dosáhlo konečné hodnoty 18352 vozidel. Tato hodnota se tak stala výchozí hodnotou pro všechny testované detektory a jejich odchylky. Podrobné výsledky jednotlivých detektorů jsou rozebrány v navazující kapitole 5.3.1.

Porovnání intenzity vozidel s minulými roky:

Tato intenzita dopravy v porovnání s minulými roky (viz Tabulka 2) nemá tendenci klesat, ba naopak je neměnný vůči nejvyšší hodnotě z roku 2009 (viz Graf 1), s výhledem do budoucna se tato situace pravděpodobně nezmění a z toho důvodu bylo navrženo řešení v podobě vystavění obchvatu, který by měl být zhotoven do roku 2020. [33]



Graf 1: Vývoj intenzity dopravy - ulice Na Hlavní

Zdroj: [32]

6.1 Výsledky jednotlivých zařízení

Na základě naměřené konečné hodnoty, která činila 18352 projetých vozidel, bylo zjištěno, že kamera značky HIKVISION detekovala 13270 vozidel s procentuální chybou 27,69 %. Kdežto kamera značky ACTIVER detekovala ještě o 1041 vozidel méně, než tomu bylo u předešlé kamery. Tím procentuální chyba vzrostla až na hodnotu 33,36 %.

Poslední použité detekční zařízení – radar značky Sierzega z celkového počtu nedetekoval 3824 vozidel, což jeho chybovost snižuje na hodnotu 20,84% (viz Tabulka 3).

<i>Zařízení</i>	<i>Celkový počet vozidel [voz]</i>	<i>Počet detekovaných vozidel [voz]</i>	<i>Počet nezaznamenaných vozidel [voz]</i>	<i>Procentuální chyba [%]</i>
Kamera HIKVISION	18352	13270	5082	27,69
Kamera ACTIVER		12229	6123	33,36
Radar Sierzega		14528	3824	20,84

Tabulka 3: Výsledná data

Z přímého porovnání tak vychází jako nejlepší testovaný radarový detektor značky Sierzega, který je právě pro sčítání vozidel určen. Tabulka 3 dokazuje, že v této situaci vychází kamera ACTIVER z poskytnutých detektorů nejhůře, což bude zapříčiněno zejména tím, že tento typ kamery není primárně určen pro sčítání vozidel, ale hlavně pro monitorování registračních značek na méně frekventovaných úsecích dopravní infrastruktury.

6.2 Zhodnocení jednotlivých detektorů

Na základě kontroly měření a výsledných dat bylo provedeno zhodnocení, v němž se popisují všechny příčiny vzniklých chyb a nedostatky v každém testovaném detektoru, které byly použity při měření.

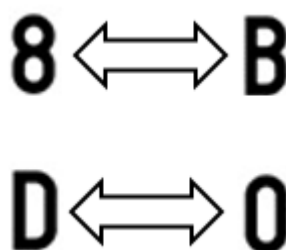
Kamera HIKVISION

I přes srovnatelnou cenu obou kamer vyšla lépe tato kamera značky HIKVISION, která má oproti konkurenci vyšší rozlišení při stejném snímkování 50 snímků za vteřinu. Kamera dokázala rozpoznat jak české registrační značky, tak i registrační značky z jiných států. Protože se nejedná o kameru s vysokorychlostním záznamem, nedokázala detekovat jedoucí vozidla, která mezi sebou měla odstup menší jak cca 2 metry. Jiné důvody, proč kamerové zařízení nezaznamenalo některé další vozidla, byly ty, že jejich registrační značky dosahovaly větší míry znečištění, než je běžné. Přestože v sobě kamera má zakomponovaný infračervený přísvit, tak v průběhu nočního měření vykazovala větší chybovost, než tomu bylo za denního světla. Dále kamera nedetekovala vozidla, která byla v zákrytu s jinými vozidly z bližšího pruhu. Vzhledem k výše uvedeným skutečnostem je

tato samotná kamera zcela nevhodná pro získávání inženýrských dat z obou jízdních pruhů najednou na dopravní komunikaci s větší intenzitou, ale uplatnění nachází například na méně frekventované komunikaci, kde bude mít dostatečnou perspektivu nebo jako doplňující prvek k jiným detekčním zařízením.

Kamera ACTIVER

Kamera značky ACTIVER vyšla z testu jako detektor s nejvyšší chybovostí. Za takto nepříznivým výsledkem stojí hned několik faktorů, se kterými se detektor nedokázal vypořádat. Mezi jednotlivé příčiny jako tomu bylo i u kamery HIKVISION patří: příliš znečištěné registrační značky, nedostatečný odstup mezi vozidly, překrytí vozidel jinými vozidly z bližšího pruhu a noční měření s nedostatečným přisvitím. Mimo jiné se u této kamery objevily i další nevhodné aspekty, které byly zjištěny za pomoci zpětné kontroly ze zpomaleného záznamu (viz kapitola 5.3). Kamerový systém zaměňoval některé znaky za jim podobné, konkrétně se jednalo o záměnu čísla 8 s písmenem B a záměnu písmena D s číslem 0 (viz Obr. 22).



Obr. 22: Záměna konkrétních znaků RZ

Dále docházelo k osvětlení světlomety z protijedoucích vozidel v nočním režimu kamery. Na závěr, jelikož podklad všech tabulek registračních značek je reflexního provedení, přímá intenzita slunečního svitu způsobila osvětlení objektivu a tím nedošlo k její rozpoznání. Nic méně použití této kamery je zcela dostačující pro jeden jízdní pruh na méně frekventované dopravní komunikaci, kde bude mít dostatečnou perspektivu pro její lepší funkčnost.

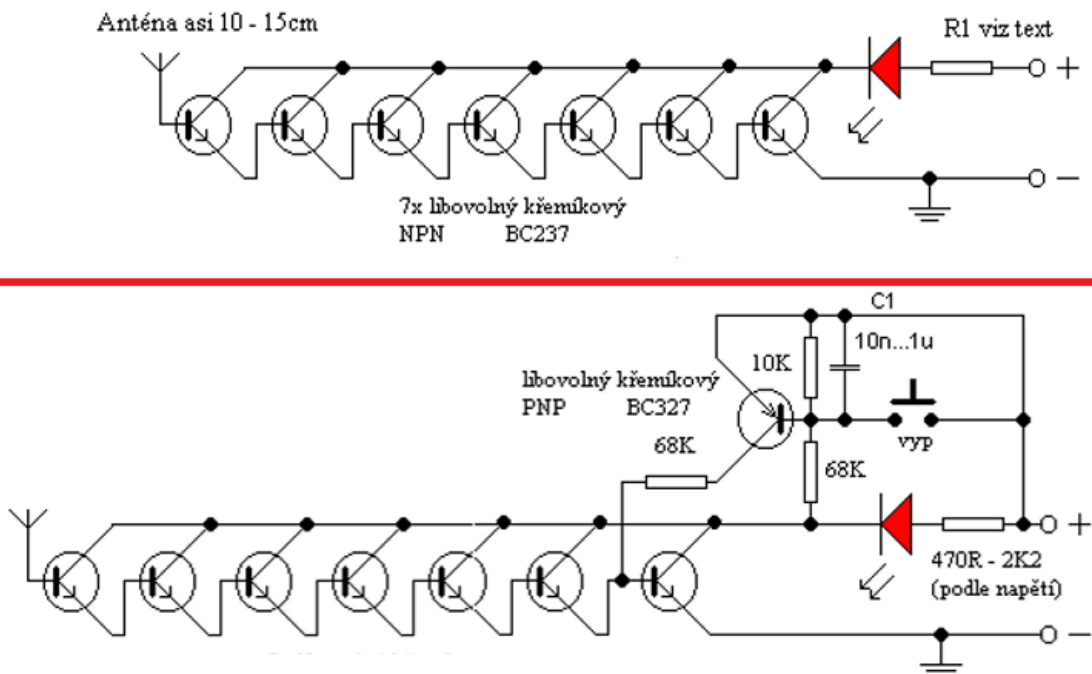
Radar Sierzega

Radar Sierzega, i přesto že vyšel z testování jako nejlepší detektor s nejmenší procentuální chybou, tak nesplňuje toleranční kritéria pro dopravní průzkum. To je

zapříčiněno zejména tím, že instalovaný radar byl umístěn do relativně malé výšky na bok pozemní komunikace (viz kapitola 5.2.4). Pokud se vozidla jedoucí ve vzdálenějším jízdním pruhu v době průjezdu přes Dopplerův kužel (viz kapitola 4.3.2.3) překrývala s vozidly jedoucími v bližším jízdním pruhu, tak tato vozidla radar následně vyhodnotil jako jedno dlouhé vozidlo. Proto naměřená data ze vzdálenějšího jízdního pruhu vykazovala menší přesnost. Radar se tak doporučuje v provozu používat pro získání inženýrských dat na komunikacích pouze z jednoho jízdního pruhu. Další negativní vlivy ovlivňující výsledná data byly auta jedoucí za sebou s nedostatečným odstupem a mírný déšť. Na konec tento radar disponuje i možností měření bodové rychlosti a není jim tedy možné zjišťovat úsekovou rychlost, toto testování však neproběhlo a dává se tím prostor pro budoucí disertační práci.

6.3 Sestavený detektor pohybu

Tento zhotovený jednoduchý obvod (viz Obr. 23) reaguje na pohyb osob na vzdálenost 0,3 až 1 m. Anténa, která je součástí obvodu, představuje krátký kus drátku, jehož délka se odvíjí podle požadované citlivosti. Elektrostatický náboj se mění vlivem pohybu velkých vodivých objektů (např.: osoby, vozidla aj.) v přímé blízkosti antény. V horní části obrázku 23 se nachází obvod s LED (Light Emitting Diode) diodou, která se při přiblížení vodivého objektu rozsvítí a při následném vzdálení nebo setrvání v klidovém stavu téhož objektu opět zhasne. V dolní části obrázku 23 je upravený obvod, v němž se po rozsvícení diody musí stisknout tlačítko pro její zhasnutí.



Obr. 23: Schéma elektrostatického detektoru pohybu

Zdroj: [30]

Citlivost takového obvodu závisí nejen na délce antény, ale také na kapacitě kondenzátoru C1 (kdy platí, že menší kapacita = větší citlivost). Dalším řešením pro redukci citlivosti obvodu se naskýtá v přidání nebo odebrání tranzistoru. Přidáním tranzistoru se dosáhne značného zvýšení citlivosti a naopak při odebrání tranzistoru se citlivost značně sníží. Při příliš velké citlivosti může LED dioda svítit neustále. Podle

preferencí uživatele daného zařízení, lze zaměnit LED diody též za sirénu nebo jiný obvod. Napájecí napětí v obvodu může být od 5 do 24 V a odpor R1 není kritický. [35]

Princip:

Funkce tohoto detektoru je založena na elektrostatickém principu. Pokud dojde k narušení elektrostatického pole, na tranzistoru T1 se otevře báze a sepne se tak přechod kolektor-emitor, který má za následek sepnutí dalšího tranzistoru T2 a tím další stupeň zesílení signálu z antény. Tento proces se opakuje až k poslednímu stupni zesílení tranzistoru T8 a dojde k rozsvícení indikační diody LED.



Obr. 24: Detektor pohybu

V budoucím postgraduálním studiu se na tento projekt naváže dalším krokem, který bude obsahovat vytvoření komunikačního zařízení pro propojení se zobrazeným detektorem pohybu (viz Obr. 24) a sestrojení vhodného krytu s funkcí ochrany proti poškození, jenž bude zároveň v přijatelném designovém provedení.

7 Závěr

V diplomové práci bylo provedeno testování tří detektorů, které se běžně používají pro průzkum dopravní vytíženosti na dopravních komunikacích. Jmenovitě se jednalo o tato detekční zařízení kamera HIKVISION, kamera ACTIVER a radar Sierzega. Pro zajištění objektivního hodnocení celého testování, byly zajištěny co nejvíce podobné podmínky pro všechny testované detektory. Z tohoto důvodu testování proběhlo na jednom místě ve stejný den a čas se všemi zapůjčenými detektory najednou. Pro dosažení vysoké intenzity vozidel, a tím zjištění možných nedostatků testovaných detektorů, se měření konalo v běžný všední den a to konkrétně v pondělí. Časový rozsah testování byl takový, aby v sobě zahrnoval, jak dobré světelné podmínky - za dne, tak i ty zhoršené - v noci. Každý z detektorů byl umístěn tak, aby pokud možno monitoroval oba jízdní pruhy a to jak ve směru, tak i v protisměru jízdy vozidel. Konkrétně pro oba kamerové detektory bylo navíc nutné vybrat oblast zájmu pro detekci registračních značek. Pro dohlížení a kontrolu nad detektory bylo zapotřebí čtyř osob, přičemž každá dvojice měla přiřazený kamerový systém, u kterého hlídala, zda plní svoji funkci, další člověk navíc počítal množství okolo projetých vozidel. Radar pro svou funkci potřeboval pouze prvotní nastavení a další obsluha nebyla nutná.

Před závěrečným zhodnocením naměřených dat byl kompletní kamerový záznam analyzován na PC v laboratoři dopravního inženýrství. Průběh této operace spočíval v umístění testované kamery nad obrazový panel PC, ve kterém se následně spustilo zpomalené video. Z videa byla kamerou detekována všechna vozidla i jejich registrační značky, které se v průběhu prvotního testování nepodařilo zachytit. Tato finální kontrola měření umožnila objevit většinu nedostatků v použitých detektorech.

Celkové množství projetých vozidel za celou dobu měření dosáhlo konečné hodnoty 18352 vozidel. Tato hodnota se tak stala výchozí hodnotou pro všechny testované detektory a jejich odchylky. Na základě konečné hodnoty, bylo zjištěno, že kamera značky HIKVISION detekovala 13270 vozidel s procentuální chybou 27,69 %. Kdežto kamera značky ACTIVER detekovala pouze 12229 vozidel, což bylo o 1041 méně, než tomu bylo u předešlé kamery. Tím procentuální chyba vzrostla až na hodnotu 33,36 %. Poslední použité detekční zařízení – radar značky Sierzega z celkového počtu 18352 nedetekoval 3824 vozidel, což jeho chybovost snížilo na hodnotu 20,84%.

Z přímého porovnání tak vychází jako nejlepší testovaný radarový detektor značky Sierzega, který je právě pro sčítání vozidel určen. Z této situace tak vyplynulo, že kamera ACTIVER z poskytnutých detektorů dopadla nejhůře, což bylo zapříčiněno zejména tím, že tento typ kamery není primárně určen pro sčítání vozidel, ale hlavně pro monitorování registračních značek na méně frekventovaných úsecích dopravní infrastruktury.

V závěru praktické části byl popsán sestavený detektor pohybu, který funguje na elektrostatickém principu, což znamená, že pokud dojde k narušení elektrostatického pole, rozsvítí se dioda, jejíž intenzita je závislá na vzdálenosti detekovaného objektu.

V budoucím postgraduálním studiu se na tento projekt naváže dalším krokem, který bude obsahovat vytvoření komunikačního zařízení pro propojení se zmíněným detektorem pohybu a sestavení vhodného krytu s funkcí ochrany proti poškození, jenž bude zároveň v přijatelném designovém provedení.

8 Seznam použitých zdrojů

Použitá literatura

- [1] JANOTA, A., a kol. *Aplikovaná Telematika*. Vydala Žilinská univerzita v Žiline/EDIS-vydavatelské centrum ŽU 2015. ISBN 978-80-554-1037-1
- [2] PŘIBYL, P.; MACH, R. *Řídicí Systémy Silniční Dopravy*. Vydavatelství ČVUT 2003. ISBN 80-01-02811-9
- [3] GAUTSCHI, G. *Piezoelectric Sensorics*. 1. vydání. Vydavatelství Springer Berlin Heidelberg New York, 2002. ISBN 978-3-642-07600-8
- [4] PŘIBYL, P.; SVÍTEK, M. *Inteligentní dopravní systémy*. 1. vydání. Praha: BEN - technická literatura, 2001, 543 s. ISBN 80-730-0029-6.

Internetové zdroje

- [5] Fakulta strojní, VŠB - TU Ostrava. *Kapitola III. ITS (Inteligentní Dopravní Systémy) (ČÁST 2)*. [online]. ©2009 [cit. 2018-01-23]. Dostupné z: <http://projekt150.havvel.cz/node/93>
- [6] LANGR, M.; Young Transportations Engineers Conference 2015. *Fúze heterogenních dopravních dat pro odhadování směrových vztahů*. [online]. Vydáno 30.9.2015 [cit. 2017-11-05]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/6396257-Fuze-heterogennich-dopravnich-dat-pro-odhadovani-smerovych-vztahu.html>
- [7] DARROCH, D.; HARDING, Robert S. *Charles Adler, jr., ca. 1920 - 1980*. [online]. Datum aktualizace 17. 4. 2007 [cit. 2018-01-22]. Dostupné z: <http://amhistory.si.edu/archives/d8351.htm> (anglicky).
- [8] PŘIBYL, O. *Přednáška Detektory zasahující do vozovky, úvod do detekce* [online prezentace]. ČVUT v Praze, Fakulta dopravní. 2016 [cit. 2017-11-12]. Dostupné z: <https://zolotarev.fd.cvut.cz/mzd/ctrl.php?act=show,file,23843>
- [9] Řídicí jednotky MAGNETIC [online]. Praha: Profi parking, [cit. 2017-10-12]. Kapitola Detekční smyčka MID1. Dostupné z: <http://www.turnikety-zavory.cz/?menu=214>
- [10] CROSS Zlín, a.s. *Řízení dopravy*. [online]. © 2016 [cit. 2018-01-07]. Dostupné z: <http://www.cross.cz/cs/produkty-rizeni-dopravy>

- [11] ČVUT Fakulta strojní, Ústav fyziky. *Piezoelektrické jevy*. [online pdf]. Aktualizováno 10.2.2015 [cit. 2017-11-24]. Dostupné z: http://fyzika.fs.cvut.cz/subjects/fzmt/lectures/FZMT_11.pdf
- [12] PŘIBYL, O. *Přednáška Neintrusivní dopravní detektory, úvod do detekce* [online prezentace]. ČVUT v Praze, Fakulta dopravní. 14.4.2016 [cit. 2017-11-22]. Dostupné z: <https://zolutarev.fd.cvut.cz/mzd/ctrl.php?act=show,file,23845>
- [13] JACOBSEN, F. Measurement of sound intensity: p-u probes versus p-p probes. In Paper_NOVEM_45.pdf [online pdf]. 200? [cit. 2018-01-20]. Dostupné z: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.472.5332&rep=rep1&type=pdf> (anglicky).
- [14] Microflown Technologies. *Sound Intensity*. [online]. ©2010-2012 [cit. 2017-09-20]. Dostupné z: http://www.microflown.com/products/solutions/sound-intensity_75454.html (anglicky).
- [15] D-FENS Weblog: *Radary - úvod* [online]. 2007 [cit. 2018-02-26]. Dostupné z: <http://www.dfens-cz.com/view.php?cislocclanku=2007120701>
- [16] ZAVOLANTEM.CZ. *Jak fungují pasti na piráty silnic*. [online]. Vydáno 13.1.2008 [cit. 2018-02-03]. Dostupné z: <http://www.zavolantem.cz/jak-funguji-pasti-na-piraty-silnic>
- [17] Ministerstvo obrany a Armáda České republiky: *RADAR a jeho využití* [online]. Vytvořeno 2008 [cit. 2018-02-26]. Dostupné z: http://www.army.cz/images/id_8001_9000/8753/radar/k33.htm
- [18] RAMET a.s. *Radarové měřiče rychlosti Ramer 7M*. [online pdf]. © 2014 [cit. 2018-02-26]. Dostupné z: <http://www.denker.cz/antiradary/Policejni-radar-RAMER-7M.pdf>
- [19] ČESMAD BOHEMIA. *OBU Premid (CZ)*. [online]. ©2000-2018 [cit. 2017-11-26]. Dostupné z: <http://www.vseprodopravce.cz/obu-premid-cz>
- [20] AŽD Praha. *Systémy pro silniční dopravu - Dopravní detektory*. [online pdf]. [cit. 2017-10-03]. Dostupné z: <https://www.azd.cz/admin/files/Dokumenty/pdf/Produkty/Silnicni/Dopravni-detektory.pdf>

- [21] ČÁKA, Jan. *Modulární systémy v automatizaci: Modulární kamerové systémy. Automatizace* [online]. 2009, roč. 52, č. 11, s. 632 [cit. 2018-03-05]. Dostupné z: <http://www.automatizace.cz/article.php?a=2596Ip%20kamery>
- [22] Laboratoř telematiky/Laboratory of Telematics: *Základní definice dopravní telematiky* [online]. 2013 [cit. 2018-02-12]. Dostupné z: http://www.lt.fd.cvut.cz/its/rok_2001/definice.htm
- [23] PC - IN Plzeň. *Znáte systémy CarR, ObjectR nebo FaceR?* [online]. Vydáno 5.3.2013 [cit. 2017-11-12]. Dostupné z: <https://www.pcinplzen.cz/novinky/moderni-kamerove-systemy-v-praxi>
- [24] Microsoft TechNet. *TCP/IP Protocol Architecture*. [online]. ©2018 [cit. 2017-09-17]. Dostupné z: <https://technet.microsoft.com/en-us/library/cc958821.aspx> (anglicky).
- [25] iDNES.cz/Praha a střední Čechy. *Pražské parkovací zóny ohlídá auto s kamerami, úspěšnost má 90 procent*. [online]. Vydáno 5.5.2016 [cit. 2018-02-02]. Dostupné z: https://praha.idnes.cz/monitorovaci-auto-s-kamerami-dj0-/praha-zpravy.aspx?c=A160505_112513_praha-zpravy_rsr
- [26] Fakulta bezpečnostního inženýrství VŠB-TU Ostrava. *Hodnoty emisivity běžných materiálů*. [online pdf]. ©2018 [cit. 2018-01-30]. Dostupné z: https://www.fbi.vsb.cz/export/sites/fbi/030/.content/sys-cs/resource/PDF/TechnickaMereni/5_EmisivitaBeznychMaterialu.pdf
- [27] Nové technologie - Výzkumné centrum Západočeské univerzity v Plzni. *Emisivita*. [online]. ©2000-2018 [cit. 2017-11-30]. Dostupné z: <https://ttp.zcu.cz/cz/laboratore/opticke-vlastnosti/opticke-vlastnosti/emisivita>
- [28] APELTAUER, J. *Zvýšení plynulosti dopravy a průjezdní kapacity vozovky v místech s dočasným omezeným průjezdem vozidel na D a R pomocí mobilních kooperativních ITS systémů - Mobilní liniové řízení provozu. Zvýšení plynulosti dopravy a průjezdní kapacity vozovky v místech s dočasným omezeným průjezdem vozidel na D a R pomocí mobilních kooperativních ITS systémů - Mobilní liniové řízení provozu* [online]. 2014 [cit. 2018-01-24]. Dostupné z: <http://www.modocdvinformo.cz/file/3-seminar-projektu-modocdvinformo-prezentace-apeltauer>

- [29] MICRONIX. *Kamera MZC-EX36X-IR80*. [online]. ©2013 [cit. 2018-03-09]. Dostupné z: <https://eshop.micronix.cz/zabezpecovaci-systemy/kamerove-systemy/analogove-systemy/kamery-pro-cteni-spz/mzc-ex36x-ir80.html>
- [30] VIAKOM CZ s.r.o. *HIKVISION DS-2CD4A25FWD-IZS (8-32mm)*. [online]. ©2016 [cit. 2018-03-10]. Dostupné z: <https://www.viakom.cz/hikvision-ds-2cd4a25fwd-izs-8-32mm/product-1098>
- [31] SIERZEGA. *Traffic Detection Verkehrserfassung*. [online pdf]. Vydáno 2012 [cit. 2018-03-03]. Dostupné z: [https://www.jenoptik.com/cms/jenoptik.nsf/res/Sierzega_2012.pdf/\\$file/Sierzega_2012.pdf](https://www.jenoptik.com/cms/jenoptik.nsf/res/Sierzega_2012.pdf/$file/Sierzega_2012.pdf) (německy).
- [32] Územně analytické podklady hl. m. Prahy. *Detailnější prostorový průmět systému v území - Severní sektor Prahy*. [online pdf]. Vydáno 2010 [cit. 2018-03-13]. Dostupné z: http://www.ippraha.cz/uploads/assets/soubory/data/UAP2008/2_12_doprava.pdf
- [33] EKOLA group, spol. s.r.o. *Silnice II/243 - Obchvat Březiněvsi*. [online]. Vydáno září 2008 [cit. 2018-03-02]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/43166963-Silnice-ii-243-obchvat-brezinevsi.html>
- [34] MAPY. CZ. *Březiněves*. [online]. ©2018 [cit. 2018-03-02]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?planovani-trasy&x=14.4806564&y=50.1684131&z=15&l=0&rc=9hJWwxY6YW&rs=ward&rs=&ri=13709&ri=&mrp=%7B%22c%22%3A111%7D&mrp=&rt=&rt>
- [35] DANYK.CZ. *Detektor pohybu*. [online]. Vydáno 2013 [cit. 2018-02-28]. Dostupné z: <http://danyk.cz/detpoh.html>

Seznam obrázků

Obrázek 1 – První akustický detektor	5
Obrázek 2 – Princip detekce vozidel indukční smyčkou	8
Obrázek 3 – Tvary indukčních smyček	9
Obrázek 4 – Piezoelektrický detektor s pojezdovou plochou	11
Obrázek 5 – Ukázka umístění pneumatického detektoru	13
Obrázek 6 – Vliv vozidla na magnetické siločáry	14
Obrázek 7 – Detektor s vláknovou optikou	15
Obrázek 8 – Princip zjišťování výšky vozidel ultrazvukovým detektorem	17
Obrázek 9 – Princip měření rychlosti pomocí Dopplerova jevu	19
Obrázek 10 – Jednotka OBU Premid	21
Obrázek 11 – Analýza dopravních situací IP kamerou	22
Obrázek 12 – Rozmístění kamer pro detekci přestupku	24
Obrázek 13 – Princip pasivních IR detektorů	27
Obrázek 14 – Světelné závory s odděleným a integrovaným přijímačem a vysílačem	29
Obrázek 15 – Bluetooth detekce	31
Obrázek 16 – Kamera MZC-EX36X-IR80	33
Obrázek 17 – Kamera HIKVISION DS-2CD4A25FWD-IZS	34
Obrázek 18 – Mikrovlnný radar Sierzega SR4	35
Obrázek 19 – Místo měření	37
Obrázek 20 – Umístění kamer a směr zorného pole	38
Obrázek 21 – Výběr oblasti zájmu pro lokalizaci RZ	39
Obrázek 22 – Záměna konkrétních znaků RZ	43
Obrázek 23 – Schéma elektrostatického detektoru pohybu	45
Obrázek 24 – Detektor pohybu	46

Seznam tabulek

Tabulka 1 – Emisivita materiálů	25
Tabulka 2 – Celkové automobilové zatížení komunikace Na Hlavní	37
Tabulka 3 – Výsledná data	42