

CERTIFIKOVANÁ METODIKA

Testování detekčních technologií pro potřeby závislého řízení

T A
Č R



Ministerstvo dopravy

CERTIFIKOVANÁ METODIKA

Testování detekčních technologií pro potřeby závislého řízení

Zpracovatel:

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební

Ing. Martin Všečetka, Ph.D. (editor, zodpovědný autor)

doc. Mgr. Tomáš Apeltauer, Ph.D., Ing. Jiří Apeltauer, Ing. Martin Novák (autoři dílčích částí)

PATRIOT, spol. s r.o.

Jiří Zukal (řešitel projektu)

Ing. Marek Zukal, Ing. Pavlína Čiháčková (autoři dílčích částí)

Oponenti:

Mgr. Marek Ščerba

Ing. Bc. Petr Kumpošt, Ph.D.

Vydáno:

Brno, říjen 2016

Dokument je jedním ze tří výsledků projektu VaV TA04031141 – Světelně řízené křižovatky – inovativní způsob dynamického řízení v závislosti na nové generaci detekční technologie umožňující kontinuální sledování pohybu a trajektorie příjíždějících vozidel (07/2014 – 12/2016) podpořeného Technologickou agenturou České republiky v rámci programu Alfa.

Obsah

1.	Úvod	6
1.1.	Cíle metodiky	7
1.2.	Uživatelé metodiky	7
1.3.	Součásti metodiky	7
2.	ČÁST A: Typologie detekčních systémů	8
2.1.	Rozdělení detekce podle způsobu využití	8
2.1.1.	Výzvové detektory	8
2.1.2.	Prodlužovací detektory	9
2.1.3.	Strategické detektory	9
2.1.4.	Odjezdové detektory	10
2.1.5.	Vyklizovací detektory	11
2.1.6.	Speciální detektory	11
2.2.	Rozdělení detekce podle fyzikálního principu	12
2.2.1.	Intrusivní dopravní detektory	12
2.2.2.	Neintrusivní dopravní detektory	15
2.3.	Rozdělení detekce podle typu zpracování	23
2.3.1.	Řízená událostmi (event driven)	23
2.3.2.	Řízená stavem (state driven)	24
2.3.3.	Agregovaná data	25
3.	ČÁST B: Ověřování vlastností a měření spolehlivosti detekčních systémů	28
3.1.	Detekce řízená událostmi	28
3.1.1.	Intenzita dopravy [voz/h] – spolehlivost [%]	28
3.1.2.	Kategorizace [voz/h/kat] – spolehlivost [%]	28
3.1.3.	Měření délky vozidel [m], hmotnosti vozidel [t], rychlosti [m/s] apod.	29
3.2.	Detekce řízená stavem	29
3.2.1.	Přítomnost (stojícího) vozidla – přesnost [%]	29
3.2.2.	Přítomnost vozidla (vozidel) pro výzvu – spolehlivost [%] apod.	30
3.2.3.	Délka kolony a další skalární veličiny – přesnost [%]	30
3.3.	Ostatní vlastnosti detekčních systémů	31
3.3.1.	Vliv světelných podmínek – stíny, noc, odlesky na mokré vozovce, oslnění	31
3.3.2.	Vliv povětrnostních podmínek – déšť, sníh, mlha, námraza	31
3.3.3.	Další vlastnosti prostředí	32
4.	Shrnutí	33

Terminologie

Detektor je technické zařízení pro detekci dopravy v detekční zóně (zónách).

Detekční zóna je oblast nad povrchem vozovky, ve které detektor indikuje přítomnost vozidla (vozidel) a která je rozlišena od ostatních detekčních zón.

Detekční dosah je oblast, ve které je možné definovat detekční zónu (zóny) daného detekčního systému.

Dilema zóna je taková kombinace rychlosti přijíždějícího vozidla a jeho vzdáleností od stopčáry, při které řidič nemůže ani bezpečně zastavit, ani pokračovat v jízdě křižovatkou.

Intenzita (dopravy) je počet vozidel, která daným profilem projedou za jednotku času.

Odstup (mezi vozidly) je **1.)** doba, která uplyne mezi okamžikem, kdy do daného profilu komunikace vjede první vozidlo a okamžikem, kdy do daného profilu komunikace vjede druhé vozidlo (časový odstup); **2.)** vzdálenost mezi předním čelem prvního vozidla a přední čelem druhého vozidla (délkový odstup). Pozor, vizte též Světlý odstup.

Průjezd detekční zónou je plynulý pohyb vozidla detekční zónou, kdy vozidlo vjíždí a opouští detekční zónu v definovaných místech, případně urazí technologicky nezbytnou vzdálenost uvnitř detekční zóny bez zastavení.

Řízení dopravy je usměrňování provozu vozidel a chodců na pozemních komunikacích světelnými, případně akustickými signály.

Stopčára je vodorovné dopravní značení „Příčná čára souvislá – V 5“

Světlý odstup (mezi vozidly) je **1.)** doba, která uplyne mezi okamžikem, kdy z daného profilu komunikace odjede první vozidlo a okamžikem, kdy do daného profilu komunikace vjede druhé vozidlo (časový světlý odstup); **2.)** vzdálenost mezi zadním čelem prvního vozidla a předním čelem druhého vozidla (délkový světlý odstup). Pozor, vizte též Odstup.

Trackování (vozidla) je sledování vozidla v prostoru i čase (výstupem jsou souřadnice vozidla pro každý časový krok, např. desetinu sekundy)

Výzva je informace o tom, že přiřazená signální skupina nezobrazila od poslední detekce přítomnosti vozidla signál „Volno“.

Zastavení v detekční zóně je zastavení vozidla, kdy větší část povrchu průmětu vozidla po ose kolmé k povrchu vozovky leží uvnitř detekční zóny.

1. Úvod

Jedním z klíčových aspektů dopravy ve městech je efektivní řízení dopravy na křižovatkách, především prostřednictvím světelných signalizačních zařízení (dále jen SSZ). Se vzrůstající technologickou vyspělostí a rozvojem výpočetních metod se do oblastí zájmu dostávají nové možnosti detekce dopravy pomocí detektorů nové generace a s následnými novými možnostmi závislého řízení SSZ. Pro detekci vozidel na křižovatkách se v současné době nejčastěji používají indukční smyčkové detektory, které navzdory svým nedostatkům stále patří k nejspolehlivějšímu druhu detekce. S přibývajícím počtem různých detekčních technologií pracujících na různých fyzikálních principech však narůstá také potřeba efektivně posoudit, které typy detektorů jsou vhodné pro konkrétní aplikace. V současné době neexistují žádné technické podmínky, popř. norma, která by stanovila podmínky pro konkrétní technologie, nebo způsob ověřování účinnosti, spolehlivosti, nebo přesnosti takových detektorů. Původní návrh normy pro detekci dopravy ENV 13563, který se zabýval především smyčkovými detektory, nikdy nevešel v platnost.

Tato metodika má za cíl poskytnout základní přehled o používaných typech dopravních detektorů s možností zvýšení efektivity dopravně závislého řízení a nabídnout jejich obecné srovnání. V další části metodiky je popsán postup, jakým je možné testovat funkcionality detektorů a získat tak přehled o možnostech současných, ale také budoucích technologií. Nebylo cílem popsat a zavést komplikovaný způsob testování detektorů před nasazením na trh, ale poskytnout nástroj, jak definovat funkčnost a způsob využití těchto detekčních technologií.

V souhrnu byly identifikovány tyto zásadní důvody, které přispěly ke vzniku této metodiky:

- Neexistující opora v technických podmínkách a normách pro detekční technologie, které jsou pro optimální funkci dopravně závislého řízení na SSZ klíčové. Pro účely stanovení parametrů detektorů, které jsou používány pro řízení dopravy na křižovatkách, byla navržena již v roce 2001 ČSN P ENV 13563 Řízení dopravy na pozemních komunikacích – Zařízení a příslušenství – Detektory vozidel, která ovšem nikdy nevešla v platnost. Uvedený návrh normy se zabýval pouze smyčkovými detektory a její přílišná podrobnost a neaktuálnost neumožňuje její zavedení do praxe.
- Smyčky již nelze považovat za jedinou možnost detekce. Jízdní kola a motocykly byly vždy na hraně detekovatelnosti, přičemž s přibývajícím mírou používání odlehčených konstrukčních materiálů již nejsou detekovatelné vůbec. Přesto je premisou této metodiky, že smyčkové detektory lze stále považovat za nejspolehlivější způsob detekce.
- Zvýšit povědomí odborné veřejnosti o nových technologiích a poskytnout jednoduchý návod jak přistupovat k dané problematice. Cílem je poskytnout obecné srovnání napříč technologiemi a poskytnout snadný způsob ověření vlastností jednotlivých detektorů, definování jejich funkčnosti, způsobu využití a metody testování pro různé případy užití.
- Usnadnit dodavatelům a investorům mapování nových možností dopravně závislého řízení na SSZ a zvýšit poptávku po nových technologiích, které přispějí k efektivnějším způsobům řízení dopravy v městských oblastech.

1.1. Cíle metodiky

Tato metodika si klade za hlavní cíl podpořit rozvoj a efektivitu dopravně-závislého řízení dopravy na světelně řízených křižovatkách. Není cílem zvýhodnit konkrétní technologie, ale vytvořit nástroj dodavatelských i investorských subjektů pro ověřování funkcionality a použitelnosti nových technologií, které mohou hrát primární úlohu v efektivnějším řízení dopravy ve městech na světelně řízených křižovatkách.

Mezi další cíle této metodiky patří:

- sjednotit používanou terminologii spojenou s detekcí dopravy na křižovatkách;
- definovat pojmy související s detekcí pro dopravně závislé řízení;
- poskytnout základní přehled využitelnosti a limitů detekčních systémů;
- doporučit požadavky na detekční technologie při plánování technologických zakázek;
- definovat testy a způsob jejich vyhodnocení detekčních technologií;
- podpořit rozvoj návazných aplikací, především s ohledem na bezpečnost dopravy, např. s ohledem ochranu tzv. dilema zóny.

Uvedené body představují tzv. novost metodiky, tzn. její přínos pro odbornou veřejnost.

1.2. Uživatelé metodiky

Tato metodika poskytuje přehled problematiky detekčních technologií a ověřování jejich vlastností pro užití v systémech dopravně závislého řízení. Danou metodiku může využít široké spektrum uživatelů. Především však je určena těmto subjektům:

- úřadům státní správy a samosprávy zodpovědným za udržitelný rozvoj dopravy ve městě, regionu;
- správcům dálničních a silničních komunikací;
- akademickým a výzkumným pracovníkům;
- projekčním kancelářím, které pracují s dopravními daty;
- a dalším subjektům.

1.3. Součásti metodiky

Tato metodika se dělí na základní dvě části:

- ČÁST A: Typologie detekčních systémů – jedná se o popis různých detekčních systémů, který sice není návodem v užším slova smyslu, je však nezbytný pro pochopení problematiky a také pro definici pojmů;
- ČÁST B: Ověřování vlastností a měření spolehlivosti detekčních systémů – jedná se o základní postupy testování detektorů pro ověření jejich použitelnosti pro dopravně závislé řízení.

2. ČÁST A: Typologie detekčních systémů

Tato část dokumentu se zabývá rozdělením detekčních zařízení do typových skupin. Pro vystižení podobnosti a rozdílů jednotlivých typů detektorů používáme trojí dělení. Následuje rozdělení detekčních systémů podle:

- způsobu využití;
- fyzikálního principu;
- typu zpracování dat.

2.1. Rozdělení detekce podle způsobu využití

Tato část se věnuje způsobu detekce dopravy v lokální oblasti (na křižovatkách) s přesahem na oblastní řízení dopravy, kdy vozidla jedoucí z jedné lokality míří na další křižovatku/lokální oblast. Jedním z hlavních cílů závislého řízení je koordinace dopravy na větších územních celcích tak, aby vhodné lokální nastavení závislého řízení pozitivně a koordinovaně ovlivňovalo stav dopravy na dalších křižovatkách. Především je nutné zajistit, aby nedocházelo k jejich negativnímu vzájemnému ovlivňování.

Cílem umístění detektorů je optimální nastavení světelné signalizace, které je v čase proměnné a reaguje na okamžitý stav dopravy. Stav dopravy je získáván kontinuálně především z detekčních profilů. Cílem optimálního nastavení světelné signalizace je snížení doby jízdy mezi pevně definovanými body.

Další významnou funkcí detekce je sčítání dopravy (profilace), které charakterizujeme jako dlouhodobé sledování charakteru dopravy, jejich vlastností a změn v čase. Tyto výsledky nemusí být přímo využity pro dopravně závislé řízení, ale jako zdroj dat pro komplexní vyhodnocování, na jehož základě je prováděna dlouhodobá optimalizace řízení.

Pro vhodné dynamické nastavení lokálních signálních plánů a dlouhodobý sběr dat je doporučeno, aby na křižovatkách bylo použito souboru detektorů, které jsou strategicky rozmístěny v křižovatce nebo na jednotlivých ramenech. Dle způsobu využití detektorů nebo jejich umístění rozlišujeme tyto typy detektorů:

- výzvodé detektory;
- prodlužovací detektory;
- strategické detektory;
- odjezdové detektory;
- vyklizovací detektory;
- speciální detektory.

2.1.1. Výzvodé detektory

Hlavním účelem výzvodých detektorů je detekovat přítomnost vozidla, a tím zadat požadavek na signál „Volno“ příslušné signální skupiny. K detekci cyklistů a jednostopých vozidel se zpravidla užívá

šikmo umístěná indukční smyčka. V případě, že není některá fáze poptávána (detektor neregistruje vozidlo), zpravidla je možné využít čas pro jiné křižovatkové pohyby, nebo může být zkrácena doba cyklu. Výzvové detektory rovněž umožňují identifikovat frontu vozidel v případě, že na signál „Volno“, nestačila projet všechna vozidla.

Primární měřené veličiny výzvoových detektorů:

- intenzita [voz/h];
- přítomnost vozidla [0,1].

Volitelné měřené veličiny výzvoových detektorů:

- obsazenost za jednotku času [%];
- rychlost [km/h];
- klasifikace (délka vozidla) [1 až 12 dle celostátního sčítání dopravy] nebo [m];
- časové (světlé) odstupy [s].

2.1.2. Prodlužovací detektory

Prodlužovací detektory, resp. měřená oblast je přibližně vzdálena 30-40 m od stopčáry. Někdy se tyto detektory nazývají také vzdálené detektory. Tyto detektory mají především význam pro měření, zda při signálu “Stůj!” dochází k obsazenosti tohoto detektoru, tedy zda dochází k saturaci dopravního proudu. Při obsazenosti a v porovnání se stavem na okolních ramenech křižovatky dochází k prodlužování signálu “Volno”. Tento typ detektoru tedy zajišťuje sadu podmínek nad detekovanými daty a aktuálním stavem řízení udávající prodlužování signálu „Volno“.

Tento detektor je umístěn v tzv. dilema zóně, kdy při signálu “Pozor!” blížící se řidič vozidla ke křižovatce prochází rozhodováním, zda zastavit, nebo ještě projet křižovatkou. I z tohoto důvodu je doporučeno, aby tento detektor zaznamenával i rychlost projíždějících vozidel.

Primární měřené veličiny prodlužovacích detektorů:

- časové (světlé) odstupy [s];
- délkové (světlé) odstupy [m];
- přítomnost [0,1];
- intenzita [voz/h].

Volitelné měřené veličiny prodlužovacích detektorů:

- rychlost [km/h];
- klasifikace (délka vozidla) [1..12] nebo [m];
- obsazenost za jednotku času [%].

2.1.3. Strategické detektory

Strategické detektory se instalují minimálně ve vzdálenosti 100 metrů od stopčáry. Někdy se tyto detektory nazývají také vstupními detektory. Tyto detektory, popř. měřená oblast, jsou

primárním vstupem pro měření intenzity vozidel přijíždějících ke křižovatce (počet registrovaných vozidel ke křižovatce). Výzvové a prodlužovací detektory jsou významně ovlivněny pomalu jedoucími nebo stojícími vozidly, které mohou zkreslovat měření počtu vozidel. Na strategickém detektoru jsou zaznamenána vstupní data, která většinou přesně identifikují počet vozidel přijíždějících ke křižovatce. V případě, že délka fronty zasahuje do místa strategického detektoru, dochází ke zkreslení výpočtu intenzity. V této situaci je známa přibližná délka fronty. Opakující se trend může znamenat, že v konkrétním místě jsou dlouhé kolony, nebo že strategický detektor není instalován v dostatečné vzdálenosti. Závislé řízení tak může pracovat se vztahem závislosti mezi délkou fronty a obsazeností na strategickém detektoru.

Strategické detektory by měly být vždy instalovány/situovány ve všech jízdních pruzích. Pro indukční smyčky obecně platí, že by měly být připojeny do nejbližšího řadiče světelné signalizace, případně nezávislého sčítače dopravy. Získaná data, jako intenzity, obsazenosti nebo rychlosti jsou agregována a ukládána pro další použití. Data ze strategických detektorů mohou (ale nemusí) být použity přímo pro závislé lokální řízení.

Primární měřené veličiny strategických detektorů:

- obsazenost za jednotku času [%];
- intenzita [voz/h];
- rychlost [km/h];
- klasifikace (délka vozidla) [1..12] nebo [m].

Volitelné měřené veličiny strategických detektorů:

- Časové (světlé) odstupy [s].

2.1.4. Odjezdové detektory

Odjezdové detektory se instalují do jízdních pruhů již na výjezdu z křižovatky. Výstupy z těchto detektorů se především používají pro následnou optimalizaci závislého řízení, nebo pro oblastní řízení, kdy je nutné znát intenzitu vozidel odjíždějících z jedné mikrooblasti a zároveň přijíždějících do jiné oblasti/křižovatky, které mají koordinované řízení. V širší oblasti je tak možné odhadovat délku fronty z údajů z odjezdových detektorů, ze kterých můžeme primárně využívat výstupní intenzity. Výstupní intenzita se tedy rovná váženému součtu průjezdů přes stopčáru v ostatních ramenech křižovatky, přičemž váhami jsou odpovídající poměry odbočení.

Primární měřené veličiny odjezdových detektorů:

- obsazenost za jednotku času [%];
- intenzita (počet vozidel za jednotku času) [voz/h].

Volitelné měřené veličiny odjezdových detektorů:

- rychlost [km/h];
- klasifikace [1..12] nebo [m];
- časové (světlé) odstupy [s].

2.1.5. Vyklizovací detektory

Vyklizovací detektory se převážně užívají v místě uvnitř křižovatky a to především v případech, kdy je používána fáze se „Signálem pro opuštění křižovatky“ (tzv. vyklizovací šipkou usnadňující odbočení vlevo). V těchto případech se používají detektory umístěné v prostoru křižovatky v místech před křížením s protisměrným provozem (v místech dávání přednosti). Použití tohoto typu detekce napomáhá k prodloužení fáze vyklízení v případě detekce stojícího vozidla uvnitř křižovatky. V daném případě je doporučeno zohlednit trajektorie jak nákladních, tak osobních vozidel. Detekční pole je širší, než je tomu u jízdních pruhů, proto by mělo být v případě smyček užito smyček delších, nebo většího počtu.

Další variantou je zařazovat tzv. vyklizovací šipku na výzvu měřením časových mezer protisměru. To samozřejmě připadá v úvahu, pokud jsou mezery dostatečně dlouhé a v dostatečném počtu.

Primární měřené veličiny vyklizovacích detektorů:

- přítomnost [0,1];

2.1.6. Speciální detektory

Speciální detektory jsou takové, které poskytují speciální typy dat, které nejsou přímo užity v závislém řízení, ale například jsou používány k optimalizaci jejich nastavení v střednědobém, popř. dlouhodobém horizontu. Především hovoříme o sledování trajektorie průjezdu křižovatkou (poměr odbočení). Jedná se o časově proměnné parametry, jejichž poměr je výrazně odlišný např. v ranních a odpoledních hodinách apod. Údaje o poměru odbočení vozidel nejsou stanovitelné, i když jsou použity výjezdové i výzvodé detektory v jednotlivých jízdních pruzích. Je zapotřebí počítat s tím, že výjezd z jednoho ramene se nerovná vjezdu do ramene druhého (přikázaný směr jízdy), ale dopravní proud se rozdělí do několika směrů podle poměru odbočení. Analogicky platí to samé o výjezdových detektorech, kam většinou přijíždějí podle poměru odbočení vozidla z několika různých vjezdů. Pro sledování trajektorie vozidel se především používá videodetekčních systémů, nebo manuálního sčítání. Pro daný účel je možné využít i moderních radarových systémů, které umožňují sledovat trajektorii vozidel.

Mezi další speciální detektory, které nejsou předmětem této metodiky, ale také ovlivňují signální plán, řadíme:

- tlačítka, nebo dotykové sensory, které jsou aktivovány chodci nebo cyklisty;
- kolejové detektory;
- trolejové detektory;
- radiomodemy pro komunikaci s palubními jednotkami vozidel veřejné dopravy (přihlašování nebo odhlašování).
- Kooperativní systémy C2X

2.2. Rozdělení detekce podle fyzikálního principu

Detekční technologie jsou založeny na různých fyzikálních principech, ze kterých také vyplývá použitelnost pro změření různých dopravně-inženýrských veličin. Zároveň jsou detekční technologie rozděleny na intrusivní (nutný zásah do vozovky) a neinrusivní (bez zásahu do vozovky).

2.2.1. Intrusivní dopravní detektory

Zasahují svými konstrukčními prvky do oblasti, kterou řidič vozidla projíždí. Umísťují se na, nebo pod povrch pozemní komunikace. V minulosti patřily intrusivní detektory mezi dominantně používaný typ detektoru. S technologickým rozvojem souvisí snaha je nahradit neinrusivní typy detekce. Hlavním znakem intrusivních dopravních detektorů je jejich použití pouze při profilovém měření (v jednom bodě nebo profilu). Není tedy možné jakkoliv měřit trajektorii vozidel.

Mezi intrusivní detektory patří především:

- Indukční smyčky;
- Piezoelektrické;
- Magnetometry.

2.2.1.1. Elektromagnetická indukce – indukční smyčkové detektory

Indukční smyčkový detektor je nejrozšířenějším zařízením pro detekci silničních vozidel pracujícím na principu elektromagnetické indukce. Její konstrukce je jednoduchá a funkce je za předpokladu správného provedení naprosto spolehlivá. Indukční detektor se skládá z indukční smyčky, kabelového propojení (mezi smyčkou a detektorem) a vlastního detektoru (vyhodnocovací části). Detektor pracuje následovně: ve vozovce se nachází v hloubce cca 30-120 mm vodič, tvořící indukční smyčku. Smyčka tvoří základní článek obvodu nízkofrekvenčního generátoru, jehož frekvence se mění v závislosti na přítomnosti či nepřítomnosti vozidla (kovového předmětu) nad indukční smyčkou.

Princip činnosti – detekce

Detektory vyhodnocují jednu nebo více změn vyvolaných přítomností vozidla (tyto změny vycházejí ze změny indukčnosti cívky):

- změna amplitudy (přítomnost vozidla – menší amplituda);
- posun fáze díky přítomnosti vozidla;
- změna kmitočtu (přítomnost vozidla – vyšší kmitočet).

Výše uvedené změny mohou být poměrně malé, a proto je nutné věnovat pozornost i ztrátám na přívodním kabelu.

Výhody

- jednoduchá instalace;

- nízká cena (zásadní vliv má technologie uložení indukční smyčky a výkopové práce související s délkou přívodních kabelů);
- přizpůsobitelná konstrukce pro účely různých aplikací (detekce cyklistů, vyklízeční detektory apod.);
- osvědčená a funkční technologie prověřená desítkami let praxe a vývoje;
- poskytují základní dopravní parametry (intenzitu, obsazenost, přítomnost) a v párech umožňují měřit rychlost, klasifikaci a odstupy mezi vozidly;
- nejsou ovlivněny počasím, fungují i ve špatných klimatických podmínkách.

Nevýhody

- pro (bodové) měření je obvykle zapotřebí více detektorů (v každém jízdním pruhu indukční smyčka);
- pro měření klasifikace, rychlosti, popř. odstupu nutné instalovat v párech;
- problémy při detekci jízdních kol a jednostopých vozidel, zvláště při stoupajícím trendu užívání těchto dopravních prostředků z odlehčených materiálů;
- omezené možnosti použití v místě kolejí nebo železobetonových konstrukcí, v daném případě je nutné použít speciální technologie pro instalaci a odstínění rušivých vlivů;
- možnosti jejich porušení v případě velkých deformací vozovky, nutnost kvalitního provedení smyčky i vozovky – především v prostoru křižovatek, kde jsou obvykle umístěny, je vozovka více namáhána;
- narušení dopravy při instalaci a údržbě, kdy v obou případech je vyžadováno uzavření jízdního pruhu;
- opravy vozovky vyžadují často i reinstalaci smyčky;
- snižuje životnost vozovky;

2.2.1.2. Piezoelektrické detektory

Principem piezoelektrického efektu (řecky piezein – tlačit) je schopnost krystalu generovat elektrické napětí při jeho deformování, popřípadě jev opačný, kdy se krystal v elektrickém napětí deformuje. Může se vyskytovat pouze u krystalů, které nemají střed symetrie. Nejznámější piezoelektrickou látkou je monokrystalický křemen, (křišťál) nebo turmalín.

Piezoelektrický efekt vzniká, když se vlivem deformace posunou ionty opačných nábojů v krystalové mřížce tak, že elektrická těžiště záporných a kladných iontů, která v nezdeformovaném krystalu souhlasí, se od sebe vzdálí. Na určitých plochách krystalu se objeví elektrický náboj. Lze měřit pouze dynamické nebo měnící se události. Piezoelektrické snímače nejsou schopny měřit souvislý statický jev (zatížení). Zatímco statický jev způsobí počáteční výstupní signál, tento signál bude pomalu klesat v závislosti na piezoelektrickém materiálu nebo připojené elektronické časové konstantě. Piezoelektrické senzory nabízejí jedinečnou schopnost, kterou běžně nenajdeme u jiných snímacích technologií (jako např. široký frekvenční a amplitudový rozsah) a nevýhody (neschopnost měření statických jevů), které se odvíjí od jednotlivých aplikací. Proto je při výběru vhodného snímače a snímací technologie důležité věnovat velkou pozornost technickým podmínkám.

Výhody

- rozlišuje nápravy;
- vysoká přesnost u měření rychlosti;
- dokáže měřit hmotnost vozidel za jízdy a tím umožňuje klasifikovat podle hmotnosti vozidel.

Nevýhody:

- složitá instalace do vozovky;
- instalace a opravy vyžadují uzavření jízdního pruhu po delší časový úsek (více než 2 dny);
- náchylné na správně provedenou instalaci, kdy při nedodržení přesného postupu dochází k závažným poruchám vozovky, které mají značný vliv na měření;
- opravy vozovky vyžadují často i reinstalaci detektoru;
- v porovnání s jiným typem detekce, extrémní investiční náklady.

2.2.1.3. Magnetické detektory

Mezi druhy detektorů patří magnetické detektory, které se umísťují pod povrch vozovky (v určitých případech se mohou připevnit na vozovku). Magnetický detektor rozpozná změny magnetického pole Země, způsobené průjezdem vozidla, které obsahuje feromagnetické materiály. Magnetometr pracuje na principu měření a porovnávání horizontálních a vertikálních složek zemského magnetického pole. V případě přítomnosti vozidla v oblasti měření dojde ke změně (deformaci) zemského magnetického pole. Magnetometr detekuje změnu hustoty siločar a tu vyhodnotí jako přítomnost vozidla. Magnetometry se používají jako alternativa ke smyčkovým detektorům.

Jeho schopnost pracovat jako přítomnostní snímač, umožňuje detekovat stojící vozidla. Protože tyto snímače jsou pasivními zařízeními, nevysílají energii. Aby vozidlo bylo zaznamenáno, musí proto aspoň jeho část projet nad snímačem. Magnetometr dokáže zjistit dvě vozidla, která jsou od sebe vzdálena jen 0,3 m (1,0 ft). To dělá magnetometr při sčítání vozidel teoreticky stejně přesným, jako jsou indukční smyčkové detektory.

Výhody

- snadná manipulace a instalace na/pod povrch vozovky (cca 30 minut měřící bod);
- poměrně vysoká přesnost detekce intenzity provozu;
- magnetometry nevyžadují kabelové připojení - jsou napájeny baterií, které dosahují životnosti max. 5-6 let a detekční data přenášejí bezdrátově;
- nízké ekonomické náklady na instalaci.

Nevýhody

- použití pouze pro jeden jízdní pruh;
- pro měření rychlosti, klasifikace a odstupů nutné instalovat v párech;
- omezené možnosti použití v místě kolejí nebo železobetonových konstrukcí, v daném případě je nutné použít speciální technologie pro instalaci a odstínění rušivých vlivů;

- při instalaci a opravách je nutné omezit dopravu;
- snižuje životnost vozovky (i když méně, než je tomu u smyčkových detektorů);
- omezená životnost detektoru (bateriové napájení) – u některých výrobců lze měnit baterii, u jiných je nutná výměna celého detektoru;
- velmi omezený prostor snímání (v některých případech není možné snímat celý jízdní pruh), proto je doporučeno v jednom jízdním pruhu instalovat více detektorů;

2.2.2. Neintrusivní dopravní detektory

Nezasahují svými konstrukčními prvky do oblasti, kterou řidič vozidla projíždí. Tyto detektory svou instalací nenarušují povrch vozovky, pracují bezkontaktně a většinou se dají snadno demontovat a přemístit na jiné stanoviště. S technologickým rozvojem se neustále častěji začínají prosazovat neintrusivní metody měření dopravních veličin. V současné době se na trhu objevuje stále více detektorů (především videodetekce a mikrovlnné radary), které umožňují měřit vozidla po delší úsek (trackování vozidel). Je tedy možné sledovat trajektorii vozidel v celém detekčním rozsahu. Tento přístup umožňuje (za určitých podmínek) měřit délku kolony bez nutnosti vytváření matematických modelů z výstupů profilových detektorů. Mezi hlavní neintrusivní detektory pro použití na světelně řízených křižovatkách řadíme:

- videodetekce;
- mikrovlnné radary;
- aktivní a pasivní infračervené detektory;
- ultrazvukové detektory.

2.2.2.1. Videodetekce

Princip činnosti je založen na digitalizaci obrazu. Kamera snímá danou oblast na komunikaci, nejlépe z pohledu v ose jízdních pruhů, umísťuje se například na sloup světelné signalizace nebo na sloup veřejného osvětlení, popř. portály. Procesory pro záznam a zpracování obrazu se typicky skládají z jedné nebo více kamer, počítače pro digitalizaci a analýzu obrazu a software pro vyhodnocení obrazu a jeho konverzi na dopravní data

V uživatelském rozhraní se do snímané plochy definují detekční zóny – virtuální smyčky a jejich polohu a tvar lze obvykle zvolit libovolně. Jednotlivým virtuálním smyčkám lze přiřazovat i různé funkce – detektor přítomnosti, rychlosti, obsazenosti. Systém může předávat dopravní data z několika pruhů, nebo ve více oblastech z jednoho pruhu. Systém vyhodnocuje obsazení těchto oblastí a na výstupu generuje impulzy podobně jako klasické indukční smyčky. Stěžejním faktorem pro použití videodetekce je zorné pole. I v tomto případě je nezbytné umístit kameru tak, aby pohledu na komunikaci nebránila vegetace, troleje nebo jiné objekty, které by mohly zastiňovat sledovaná vozidla.

Výhody

- jednoduché řešení pro instalaci;
- snadná možnost provádět změny v úpravách virtuálních smyček;
- možnost klasifikace vozidel;

- široká plocha detekce (např. až 7 jízdních pruhů) i obousměrně (možnost odjezdového detektoru jedním detektorem);
- jednoduchá konfigurace detektoru (rekonstrukce, změna geometrie vozovky);
- aktuální a vizuální sledování dopravní situace;
- možnost sledování trajektorie vozidel (možnost zjišťování délky kolony jedním detektorem), popř. sledování odbočovací poměry (směrnost).

Nevýhody

- náchylnost na povětrnostní podmínky (mlha, sněžení, hustý déšť);
- nutný pravidelný servis (mytí kamery);
- náchylnost na pohyb kamery z důsledku větru, chvění konstrukce apod. (umístění na výložníku);
- vzájemné zastínění vozidel - velká vozidla mohou zakrývat malá – problémy s intenzitou provozu;
- stíny a odrazy mokré vozovky mají vliv na chyby v detekci vozidel;
- v noci kamery vyžadují pouliční osvětlení, popř. IR přísvit;
- možnost oslnění kamery při západu nebo východu slunce.

2.2.2.2. Infra videodetekce

Principem jde o videotekci, ale s rozdílným snímacím čipem. Kamera snímá obraz v infračerveném spektru. Jde tedy o metodu se stejnými vlastnostmi jako videodetekce, ovšem bez závislosti na okolních světelných podmínkách.

Výhody

- jednoduché řešení pro instalaci;
- snadná možnost provádět změny v úpravách virtuálních smyček;
- možnost klasifikace vozidel;
- široká plocha detekce (např. až 7 jízdních pruhů) i obousměrně (vjezd i výjezd z/do křižovatky je možno pokrýt jedním detektorem);
- jednoduchá konfigurace detektoru (rekonstrukce, změna geometrie vozovky);
- aktuální a vizuální sledování dopravní situace;
- možnost sledování trajektorie vozidel (možnost zjišťování délky kolony jedním detektorem), popř. sledování odbočovací poměry (směrnost).

Nevýhody

- náchylnost na povětrnostní podmínky (mlha, sněžení, hustý déšť);
- nutný pravidelný servis (mytí kamery);
- náchylnost na pohyb kamery z důsledku větru, chvění konstrukce apod. (umístění na výložníku);
- vzájemné zastínění vozidel - velká vozidla mohou zakrývat malá – problémy s intenzitou provozu;

2.2.2.3. Mikrovlnné dopravní detektory

Názvem mikrovlny se označují elektromagnetické vlnění o frekvenci vyšší než 2 GHz nebo o vlnové délce kratší než 0,15 m. Mikrovlnný signál je vyzářen anténou do prostoru, odražen od měřeného objektu a se zpožděním přijatý anténou zpět. Vzdálenost měřeného objektu od antény se stanoví na základě znalosti zpoždění mezi vyslaným a přijatým signálem. Toto zpoždění je dáno vzdáleností měřeného objektu od antény a rychlostí šíření elektromagnetického vlnění v atmosféře. Ve vztahu k vysílací frekvenci zařízení, které pracují v mikrovlnném pásmu, jsou vymezeny tyto rozsahy:

Rozsahy

- X – pásmo 10.525 GHz +/- 50 MHz
- K – pásmo 24.150 GHz +/- 100 MHz
- Ku – pásmo 13.450 GHz +/- 100 MHz
- Ka Narrow – pásmo 34.0 GHz a 34.3 GHz
- Ka Wide – pásmo 34.7 GHz +/- 1300 MHz
- Laser 904 nm

Pásmo X je v Evropě pásmem vyhrazeným pro vojenské technologie, proto na území EU nemůžou být zařízení pracující na daných frekvencích využita (např. v USA hojně užívaný detektor Wavetronix Advance).

Mikrovlnné radary dělíme dle způsobu modulace

- Radary se spojitým signálem (Continuous Wave – CW)
- Radary s rozmítaným spojitým signálem (Frequency Modulated Continuous Wave – FMCW)

AD A) Radary se spojitým signálem (Continuous Wave – CW). Radar typu CW je nejběžnějším představitelem radarové technologie. Radarový vysílač RV emituje prostřednictvím směrové antény spojitý (obvykle harmonický) signál o konstantní frekvenci, který se odrazí od měřeného objektu zpět do stejné přijímací antény. Frekvence přijatého signálu se vlivem Dopplerova jevu liší od frekvence vyslaného signálu (Dopplerův jev) o tzv. Dopplerovu frekvenci v závislosti na směru a rychlosti pohybu měřeného objektu.

AD B) Radary s rozmítaným spojitým signálem (Frequency Modulated Continuous Wave – FMCW). Radary využívající techniky rozmítaného signálu (FMCW) pracují s frekvenčně modulovaným vysokofrekvenčním signálem, jehož frekvence v daném časovém intervalu lineárně roste. Kmitočtově modulovaný vysílač vysílá prostřednictvím směrové antény signál směrem k měřenému objektu. Jakmile signál dorazí k cíli, tak se od něj odrazí a vrací se zpět do stejné (přijímací) antény. Přijímaný odražený signál, který je oproti vysílanému signálu zpožděn o dobu potřebnou k průchodu vlnění po dráze od antény k měřenému objektu a zpět se porovnává ve směšovači se signálem právě vysílaným. Vysílaný signál má v okamžiku příchodu odraženého signálu však již vyšší frekvenci. Jako rozdíl okamžitých frekvencí vysílaného a přijímaného signálu je získán mezifrekvenční signál.

V současné době je možné využívat radarových zařízení, která umožňují sledování dopravního provozu i v několika jízdních pruzích naráz. Pro svou přesnost pro zaznamenávání rychlosti se Mikrovlnné radary používají i k postihování překračování povolené rychlosti.

Mikrovlnné radarové detektory, které vysílají frekvenčně modulovaný signál FCWS, podporující měření vzdálenosti mezi snímačem a vozidlem, mohou, při montáži podél komunikace, zjišťovat stojící a jedoucí vozidla v několika pruzích. Inovativní radary se širokým svazkem, nasměřovaným vpřed, shromažďují údaje o dopravním proudu v obou směrech a více jízdních pruzích. Tyto snímače poskytují data o všech vozidlech ve snímaných jízdních pruzích a jejich trajektoriích (včetně informace o rychlosti, jejich přibližné délce apod.). Dosah nejmodernějších radarových zařízení může být až 300 metrů (možnost nastavení virtuálních měřených profilů), ale obecně nikoliv s takovou přesností o intenzitách (překryv vozidel, sdružování vozidel apod.). Přítomnost vozidel radar zjišťuje pomocí vnitřních algoritmů (sledované vozidlo nevyjelo ze sledované oblasti).

Výhody

- necitlivý ke špatnému počasí;
- bez ovlivnění funguje ve dne/v noci;
- jediný detektor umožňuje sledovat více jízdních pruhů (až 10) a je tak schopen nahradit několik indukčních smyček (boční i přímá detekce);
- dlouhá životnost;
- nové technologie umožňují sledování vozidel v delším úseku pozemní komunikace (trackování), tedy je možné sledovat trajektorii vozidel;
- možné vyhodnotit délku fronty bez nutnosti matematických modelů odhadujících délku fronty z dat konvenčních detekčních systémů;
- možnost měřit rychlost vozidla v každém okamžiku pohybu vozidla ve sledované oblasti.

Nevýhody

- při detekci z boku komunikace (sidefire) i při detekci přímé, je možný problém překrývání malých vozidel velkými (problém s určením intenzit);
- nedetekuje stojící vozidla (přítomnost vozidla může být generována na základě algoritmů);
- nová generace detektorů není dostatečně prověřena a odzkoušena v praxi.

2.2.2.4. Pasivní infračervené detektory

Pasivní snímače nevysílají žádnou vlastní energii. Detekují energii ze dvou zdrojů:

- energii emitovanou vozidly, povrchem silnice a dalšími objekty v jejich zorném poli;
- energii emitovanou atmosférou a odraženou vozidly, povrchem silnice nebo dalšími objekty do snímače.

Energie, zachycená pasivními snímači, je optickým systémem soustředěna na materiál, citlivý na infračervené záření, situovaný v ohniskové rovině optiky. Tento materiál převede odraženou a emitovanou energii na elektrický signál. Zpracování signálu v reálném čase se používá ke zjištění

přítomnosti vozidla. Snímače se instalují ve výšce tak, aby byly zaměřeny na přijíždějící nebo odjíždějící dopravu. Mohou být také umístěny na boku komunikace. Infračervené snímače se používají pro měření intenzity, rychlosti a kategorie vozidel, detekci chodců na přechodech apod. Umísťují se obvykle na sloupek nebo výložník SSZ, případně na sloup VO několik metrů nad komunikaci a směřují do příslušného jízdního pruhu před stopčáru SSZ. Jejich použití je vhodné tam, kde je z nějakých důvodů problematické umístění indukčních smyček do vozovky. Používá se také často jako provizorium při mimořádných stavech.

Výhody

- detekují přítomnost vozidla;
- funkční bez ohledu na denní dobu (problémy může generovat přímé slunce);
- nízká pořizovací cena i náklady na odstraňování poruch;
- možnost detekovat chodce, cyklisty.

Nevýhody

- výkon je ovlivněn změnami teplot a prouděním vzduchu;
- závislost na počasí – silný déšť či sněžení výrazně snižují detekční schopnost;
- nutná pravidelná údržba (čištění čočky);
- jeden detektor je třeba pro každý jízdní pruh;
- možné problémy s kalibrací (především u rychlostí);
- nepřesnost (registruje každý pohyb).

2.2.2.5. Ultrazvukové detektory

Principem ultrazvukové detekce vozidel je vysílání ultrazvukových vln pod úhlem 20-90 stupňů k vozovce. V případě průjezdu vozidla dojde ke změně intenzity odraženého paprsku, která se následně vyhodnotí. Jedná se tedy o princip založený na úbytku energie zvukových vln, která se snižuje s kvadrátem vzdálenosti. Jsou rozděleny do dvou kategorií:

- pulsní-Dopplerův;
- pulsní ultrazvukový.

Dopplerův funguje na podobném principu jako Dopplerův radar s tím rozdílem, že vysílá vlnění mezi 20-200 KHz, které je nad hranici lidského zvukového vnímání. Mohou měřit rychlost, obsazenost, přítomnost vozidla a při některých konfiguracích délku vozidla. Výseč vysílaného signálu je menší než u mikrovlňného detektoru.

Profil jednotlivých vozidel může být dosažen pomocí pulsního ultrazvukového detektoru nad vozovkou. Vertikálně umístěný sensor přenáší vlnění mezi detektorem a vozovkou. Pokud se do zorného pole dostane projíždějící vozidlo, dokáže zaznamenat jeho profil. Klasifikaci jednotlivých vozidel můžeme zaznamenat u většiny typů. Ultrazvukové detektory mají velkou výhodu oproti jiným technologiím, že dokáží identifikovat a zaznamenat stojící vozidlo. Proto je daná technologie vhodná jako doplňková k jiným technologiím.

Výhody

- umožňuje aplikaci na více jízdnicích pruzích;
- dokáže zaznamenat stojící vozidla;
- nízké pořizovací náklady.

Nevýhody

- změny teploty a extrémní poryvy větru mohou ovlivnit vlastnosti (některé modely kompenzují rozdíly teplot);
- dlouhé intervaly mezi vyslanými signály mohou omezit přesnost měření obsazenosti pro vyšší rychlosti vozidel;
- nepřesné údaje při klasifikaci.

Intrusivní detektory – zasahující do povrchu vozovky			
Princip detektoru	Aplikace a užití	Výhody	Nevýhody
Indukční smyčky	Přítomnost vozidla Intenzita Klasifikace Rychlost (pár smyček) Obsazenost	Ověřená technologie Spolehlivost Odolné proti povětrnostním vlivům Dostatečná přesnost pro většinu aplikací	Nutný zářez do vozovky Pro běžné řízení SSZ nutné instalovat větší počet smyček
Magnetometry	Přítomnost vozidla Intenzita Obsazenost Rychlost (pár detektorů) Klasifikace (pár detektorů)	Identifikuje stojící vozidla Nízké pořizovací náklady Nezávislý na počasí Zajištění funkčnosti i přes poškozený kryt vozovky Není nutné zajistit napájení detektoru	Nutný zářez/vývrt do vozovky Instalace a opravy vyžadují uzavření jízdniho pruhu Malé detekční pole, nemusí pokrýt celý jízdní pruh Pro rychlost a klasifikaci nutné instalovat v páru
Piezoelektrické	Rychlost Klasifikace Intenzita Váha vozidel	Rozlišuje nápravy Vysoká přesnost u měření rychlosti Klasifikuje podle hmotnosti vozidel	Složité instalace do vozovky Instalace a opravy vyžadují uzavření jízdniho pruhu po delší časový úsek Extrémní investiční náklady

Tab. č. 2.1. Souhrn nejdůležitějších kladných a záporných vlastností intrusivních detektorů

Neintrusivní detektory – nezasahující do povrchu vozovky			
Princip detektoru	Aplikace a užití	Výhody	Nevýhody
Videodetekce	Přítomnost vozidla Intenzita Klasifikace (omezeně) Rychlost Obsazenost Detekce incidentů Přehled – obrazový výstup	Široké možnosti použití Ekonomicky výhodné řešení Možné nastavit virtuální profily (kombinace výzvového a prodlužovacího detektoru jedním zařízením)	Nutná údržba a čištění Náchylné na klimatické podmínky (sníh, mlha, silný déšť, sněžení, světelné podmínky, stíny apod.) Nastavení významně ovlivňuje spolehlivost a přesnost měření Náchylné na světelné podmínky (stíny a odrazy mokrých vozovky, západ a východ slunce).

Neintrusivní detektory – nezasahující do povrchu vozovky			
Princip detektoru	Aplikace a užití	Výhody	Nevýhody
Infra videodetekce	Přítomnost vozidla Intenzita Klasifikace (omezeně) Rychlost Obsazenost Detekce incidentů Přehled – obrazový výstup	Široké možnosti použití Ekonomicky výhodné řešení Možné nastavit virtuální profily (kombinace výzvového a prodlužovacího detektoru jedním zařízením)	Nutná údržba a čištění Náchylné na klimatické podmínky (sníh, mlha, silný déšť, sněžení, světelné podmínky, stíny apod.) Nastavení významně ovlivňuje spolehlivost a přesnost měření
Mikrovlnné radary	Možnost měření v úseku (trajektorie), nebo z boku komunikace (sidefire) Intenzita Obsazenost Rychlost Klasifikace (délka)	Nezávislý na počasí Měření ve více jízdních pruzích jedním detektorem Bez údržby Přesné měření rychlosti V rámci měření úseku možnost velkého dosahu (až 300m) radaru a měření trajektorie vozidel Možnost měření i protisměru (odjezdová detekce)	Nemožnost detekovat stojící vozidla (pouze na základě algoritmů u měření trajektorie) Problém s překryvy vozidel (nepřesné údaje o intenzitách)
Infračervené detektory	Intenzita Přítomnost vozidel Délka vozidel Rychlost Obsazenost	Vysílá několik impulsů pro přesné měření pozice vozidla, rychlosti a délky Nízké investiční náklady Registruje chodce, cyklisty	Nutná údržba – čištění čoček Světelné podmínky – přímé slunce ovlivňuje výsledky měření Klimatické podmínky mohou významně narušit měření
Ultrazvukové detektory	Intenzita Přítomnost vozidel Rychlost Může být kombinováno s jinými detektory	Měření ve více jízdních pruzích Identifikuje stojící vozidlo	Ovlivněno špatnými klimatickými podmínkami (vítr, sněžení, srážky) Mráz ovlivňuje přesnost Není doporučeno v případech pomalu jedoucích vozidel, nebo stop and go dopravě

Tab. č. 2.2. Souhrn nejdůležitějších kladných a záporných vlastností neintrusivních detektorů

2.3. Rozdělení detekce podle typu zpracování

Nezávisle na typu a umístění detektorů by měly být shromažďovány údaje/data, která jsou pro řízení dopravy na křižovatkách pro tyto účely podstatné. V základu dělíme detekci podle typu zpracování na:

- řízená událostmi (event driven) – někdy také nazývána jako data vozidlo co vozidlo (vehicle by vehicle);
- řízená stavem (state driven);
- agregovaná data – někdy také označovaná jako intervalová.

2.3.1. Řízená událostmi (event driven)

Dopravní detektory jsou v základním nastavení schopny generovat data o každém objektu, který se dostane do jeho vymezeného zorného pole. Zorným polem rozumíme profilem silniční komunikace a to i za předpokladu, že se jedná o detektor, který umí měřit trajektorii vozidel. I v daném případě sledujeme událost v profilu komunikace, i když se jedná o softwarově nastavený virtuální profil. Data o každém vozidle jsou postupována dalšímu vyhodnocení do řadiče, ale mohou být také samy o sobě výzvou ke změně signálního plánu, pokud je takto nastaven. Součástí datového výstupu musí být informace o detektoru samotném, který upřesňuje, o jaký detektor se jedná (ID detektoru), v jakém jízdním pruhu je umístěn (v případě, že se jedná o detektor, který měří více jízdních pruhů) a v jaký čas byla událost zaregistrována. Mezi hlavní detekované události následně řadíme:

- **detekce průjezdu vozidla** – každý průjezd vozidla je dokumentován jedním datovým řádkem, který obsahuje bližší informace o události (kategorizace vozidla, rychlost vozidla, hmotnost vozidla apod.). Detekce průjezdu vozidel je vstupem pro výpočet intenzity dopravy;
- **kategorizace vozidla [1 až 12]** – dle nastavených parametrů detektoru (např. dle délky vozidla) je události přiřazen údaj o kategorii vozidla. Každý typ vozidla, nebo rozmezí délek jednotlivých vozidel (v metrech) je zařazeno do jasně definovaných skupin, které jsou označeny v datech celými čísly;
- **délka vozidla [m]** – délka vozidla je udávána v metrech. V určitých případech může být použito v centimetrech [cm]. Délka vozidla je vstupem pro kategorizaci vozidla;
- **rychlost vozidla [km/h]** – okamžitá rychlost vozidla je zaznamenána v místě detektoru. Údaj o rychlosti může být např. použit v bezpečnostních aplikacích, kdy je možné na základě znalosti o rychlosti a vzdálenosti detektoru od stopčáry vyhodnotit, že vozidlo již projede na signál „Stůj!“ apod.;
- **hmotnost vozidla [t]** – údaj o hmotnosti je možné získávat pouze z piezoelektrických detektorů. Ve většině případů je údaj o celkové hmotnosti vozidla doprovázen informacemi o hmotnosti na jednotlivé nápravy.

2.3.2. Řízená stavem (state driven)

Detekce určitého stavu je výstupem jednoho detektoru, který identifikuje určitý stav dopravy na sledované komunikaci, nebo výsledkem porovnání stavu na přilehlých detektorech. Především rozeznáváme níže uvedené stavy, které jsou pro nastavení závislého řízení podstatné.

2.3.2.1. Detekce přítomnosti vozidla (obsazenost detektoru) [0;1]

Detekce přítomnosti vozidla je základním stavem, který je vstupem dynamických signálních plánů. Především detekce přítomnosti vozidla na výzvoovém detektoru přímo určuje aktivaci signálu „Volno“ a naopak. Pokud je na výzvoovém detektoru detekována nepřítomnost, jsou aktivovány signály „Volno“ ostatních signálních skupin, za podmínky detekce přítomnosti vozidel. Spolehlivost a přesnost identifikace přítomnosti a nepřítomnosti vozidel je z pohledu závislého řízení klíčová a ve vyhodnocování přesnosti a spolehlivosti jednotlivých detekčních technologiích by měla být tomuto stavu věnována maximální pozornost. Nespolehlivost detekce stavu přítomnosti může znamenat pro správně fungující závislé řízení významný problém – prodloužení doby zdržení.

Stejně je to u detekce přítomnosti vozidel na ostatních detektorech (prodlužovacích i strategických), jelikož přítomnost vozidel na těchto detektorech indikuje délku fronty.

2.3.2.2. Počet vozidel v detekční zóně (pruhu) [voz]

Počet vozidel v detekční zóně (v jízdním pruhu) je vstupní hodnotou pro určení saturovaného dopravního proudu, který ovlivňuje délku jednotlivých signálních skupin. V řadiči nastavená prahová hodnota počtu vozidel v odbočovacích pruzích může také určovat délku jednotlivých fází. Z toho vyplývá, že údaj o počtu vozidel v jednotlivých jízdních pruzích, nebo ve sledované zóně je významným údajem, který ovlivňuje optimálně nastavené závislé řízení, proto nesprávná detekce počtu vozidel může negativně ovlivňovat dynamické řízení světelně řízené křižovatky.

2.3.2.3. Podíl obsazené plochy detekční zóny [%]

Jedná se o stav, který je svým významem blízký hustotě dopravního proudu a jedná se o jeden ze základních údajů pro vyhodnocování stavu dopravy v jednotlivých jízdních pruzích. Udává se v procentuálním vyjádření obsazenosti jednotlivých jízdních pruhů vozidly. V řadiči může být nastavená prahová hodnota udávána v procentech pro konkrétní odbočovací jízdní pruhy, které přímo ovlivňují prodloužení, nebo zkrácení signální fáze.

2.3.2.4. Délka fronty [m]

Fronta vozidel je definována tak, že v jednom cyklu, tzn. během jednoho signálu „Volno“, nestačí projet všechna vozidla, která přijela ke křižovatce. Tento jev nastává v situacích, kdy je příliš vysoká intenzita přijíždějících vozidel ke křižovatce, nebo když je fronta vozidel příliš dlouhá. Délka fronty je v současnosti velice obtížně identifikovatelná. V současnosti ji však můžeme odvozovat, popř. měřit těmito prostředky:

- **profilová detekce** – V případě profilového měření je možné odvodit délku fronty ze vstupní intenzity na strategickém detektoru, obsazenosti a délky signálu „Volno“ na SSZ;

- **měření dopravy v úseku komunikace** – detektory nové generace (převážně videdetekcí, nebo speciálními mikrovlnnými radary), které umožňují sledovat přijíždějící dopravu a trajektorii jednotlivých vozidel v úseku před křižovatkou;
- **data z plovoucích vozidel (FCD, floating car data)** – přesnost identifikace délky kolony pomocí technologie FCD je výrazně omezena penetrací vybavených vozidel. Se vzrůstající podílem vozidel odesílajících data o své poloze bude možné zpřesňovat údaje o délkách front a zařadit tento datový zdroj do dynamického řízení.

2.3.2.5. Délkový odstup, světlý délkový odstup [m]

Délkový odstup vozidel je definovaný jako vzdálenost čel za sebou jedoucích vozidel v určitém okamžiku. Základní jednotkou je metr. V této vzdálenosti je obsažena i délka vozidla a po odečtení tohoto rozměru získáme světlý délkový odstup. Pokud je tento odstup dostatečný, může ovlivnit dobu signálu „Volno“ a naopak.

2.3.2.6. Předpokládaná doba příjezdu následujícího vozidla [s]

Jedná se o parametr, který identifikuje časový odstup mezi vozidly a jedná se o dobu, která uplyne mezi průjezdy čel dvou za sebou následujících dopravních jednotek stanovených profilem pozemní komunikace. Vyjadřuje se v časové jednotce sekundě. Časový odstup je zaznamenán detektorem a může ovlivňovat dobu fáze. Např. v případě, že předpokládaná doba příjezdu (měřená na strategickém detektoru) ke stopčáře je dostatečně dlouhá, je možné zkrátit dobu signálu „Volno“.

2.3.2.7. Hustota dopravy [voz/km]

Hustotu dopravního proudu můžeme chápat jako počet dopravních jednotek, který se v určitém časovém okamžiku nalézá v jednom směru na určité délce pozemní komunikace. Hustota se uvádí v jednotkách voz/km. Hustota dopravy je blízká obsazenosti detekční zóny.

2.3.2.8. Souřadnice detekovaných vozidel (včetně směrových vektorů) [x;y]

U detekčních systémů nové generace je možné sledovat vozidla po celou dobu v monitorované oblasti a zaznamenávat tak celou trajektorii jízdy. V okamžiku, kdy se pohybující objekt (vozidlo) dostane do sledované oblasti (některé technologie umožňují dosah až 300 m) je danému objektu přiřazeno ID, které je neměnné, až do situace, kdy opustí sledovanou oblast. V každém okamžiku jsou danému objektu přiřazovány souřadnice (včetně směrových vektorů), které jsou definovány konfiguračním prostředím daného detektoru. Jedná se o souřadnice ve dvou osách – horizontální a vertikální. Tímto způsobem je možné SW upravit oblast, která je pro závislé řízení podstatná a v konkrétním sledovaném bodě můžeme vyhodnotit rychlost, přítomnost a kategorii sledovaného objektu. V jeden čas je možné sledovat více objektů (všechny ve sledované oblasti) a z naměřených dat vyhodnocovat obsazenost jednotlivých jízdních pruhů, nebo konkrétní délku fronty. Nevýhodou takových systémů může být překrývání vozidel, nebo slučování objektů.

2.3.3. Agregovaná data

Jedná se o data, která jsou odvozená z událostních dat (events). Tato primární data jsou zpracována do jednotlivých skupin za jednotku času. Tato časová jednotka může být krátkodobá, např. 90 s, tedy stále vhodná pro dynamické ovlivňování fází signálního plánu, ale také dlouhodobá.

Taková data slouží pro hledání optimálního nastavení, nebo pro vyhodnocování fungování, popř. hledání trendů. Pro účely závislého řízení jsou podstatné tyto datové skupiny:

2.3.3.1. Intenzita [voz/h]

Intenzitou dopravního proudu se rozumí počet silničních vozidel, které projedou určitým příčným profilem pozemní komunikace nebo jeho částí za zvolené časové období v jednom jízdním směru. Základní jednotkou intenzity jsou voz/h. S intenzitou je výrazně spojený pojem „saturovaný dopravní proud“, který je v teoretické rovině popisován jako maximální možný počet vozidel propuštěných za jednotku času (např. na signál „Volno“), který je stanoven za předpokladu „průměrného“ vozidla a „průměrného“ řidiče. Reálná hodnota saturovaného toku je vždy odlišná od teoretické a závisí na projíždějících vozidlech a řidičích. Proto by se měla hodnota saturovaného dopravního proudu opětovně identifikovat.

2.3.3.2. Rychlost dopravního proudu [km/h]

Rychlost dopravního proudu je možné chápat jako určitou funkci rozdělení rychlosti jednotlivých vozidel v průběhu času. V konkrétních výpočtech se pak údaj o průměrné rychlosti dopravního proudu často nahrazuje střední hodnotou rychlosti, měřené na krátkém úseku trasy, tedy okamžitou rychlostí. Rychlost je standardně označována písmenem *v*.

Je doporučeno používat rychlost dopravního proudu za určitou časovou jednotku v každém jízdním pruhu zvlášť.

V některých aplikacích se používá také termín 85. percentil, který je údajem o kumulativní četnosti vozidel, které projely měřeným profilem danou rychlostí a pomaleji.

2.3.3.3. Skladba dopravního proudu

Skladba dopravního proudu vyjadřuje podíl jednotlivých typů vozidel z jejich celkového součtu v určeném čase a úseku sledované části komunikace. Jednotlivé typy vozidel můžeme rozdělit dle jejich:

- **Délky** – udáváno v metrech. Na základě délky se nejčastěji vozidla dělí do min. 3 skupin;
- **Hmotnosti** – udáváno v kilogramech, kdy existuje standardní rozdělení do 3 skupin N1 – nejvyšší přípustná hmotnost nepřevyšuje 3 500 kg, N2 – nejvyšší přípustná hmotnost převyšuje 3 500 kg, ale nepřevyšuje 12 000 kg a N3 – nejvyšší přípustná hmotnost převyšuje 12 000 kg;
- **Kategorie** – na základě kategorie se vozidla dělí min. do těchto 3 skupin, ale mohou být kategorizována i dle detailnějšího rozdělení:
 - TV – těžká motorová vozidla;
 - O – osobní a dodávková motorová vozidla bez přívěsů i s přívěsy;
 - M – jednostopá motorová vozidla.

2.3.3.4. Obsazenost [%]

Je výpočet obsazenosti jízdního pruhu, které je vyjádřeno procentem času v definovaném intervalu, kdy je obsazeno detekční pásmo vozidly. Rozlišujeme obsazenosti jízdního pruhu za signálu „Volno“, které určuje saturaci dopravního proudu, případně frontu vozidel a také za signálu „Stůj!“,

kdy určujeme přítomnost stojících vozidel, nebo procento obsazenosti detektoru příjezdějícími vozidly ke křižovatce. Dalším výstupem je celková obsazenost detektoru za časovou jednotku. Jedná se o všechny délky narušení detekčního pásma a podílu délky zelené pro rameno a čas.

2.3.3.5. Délka fronty [m]

Délka fronty se udává v metrech a znamená délku od stopčáry, kterou zabírají vozidla čekající na vjezd do křižovatky. Délka fronty se dynamicky mění podle počtu příjezdějících vozidel do fronty a zároveň počtu vozidel, které odjíždějí v průběhu signálu „Volno“ dané signální skupiny. Délka fronty je měřitelná pouze videodetekcí (do vzdálenosti max. dosahu videodetektoru), nebo inovativními mikrovlnnými detektory (do vzdálenosti max. dosahu detektoru).

2.3.3.6. Hustota dopravy [voz/km]

Hustotu dopravního proudu je počet vozidel, který se v určitém časovém okamžiku nalézá na určité délce pozemní komunikace.

2.3.3.7. Trajektorie průjezdu vozidel

Detektory převážně na bázi videodetekce, nebo mikrovlnného měření mohou sledovat dráhu objektu (vozidla) v měřeném úseku pozemních komunikace. Jedná se o křivku, která kopíruje pohyb objektu (vozidla) v zorném poli detektoru. Z trajektorie objektu lze odvozovat směrové průzkumy (odkud – kam), nebo počet a místo změny jízdních pruhů před křižovatkou. Zároveň je možné sledovat zrychlení a zpomalení vozidel v měřeném úseku.

3. ČÁST B: Ověřování vlastností a měření spolehlivosti detekčních systémů

Tato kapitola slouží pro ověření vlastností a měření a vyhodnocení spolehlivosti konkrétních detekčních systémů. Je nutné upozornit, že uvedený postup není vyčerpávající, neboť lze najít množství dalších parametrů za množství různých podmínek – hodnocení detektorů by se tím však uživatelům metodiky výrazně zkomplikovalo a proto byla zvolen rozsah na hranici kompromisu mezi vypovídající hodnotou a náročností testu.

3.1. Detekce řízená událostmi

3.1.1. Intenzita dopravy [voz/h] – spolehlivost [%]

Metoda: srovnání výstupů detekčního systému s ručním sčítáním, kamerovým záznamem nebo jiným systémem. Spolehlivost detekce SD vyjádřena vztahem

$$SD = \frac{CD - CF}{CR} 100\%$$

kde CR udává počet reálných vozidel za dobu měření, CD je počet detekovaných vozidel zkoušeným detekčním systémem a CF je počet falešných detekcí zkoušeného systému – tedy počet detekovaných vozidel, která ve skutečnosti detekční zónu neprotrnula.

Délka měření: min. 1 hodina měření, min. 1000 vozidel.

Ovlivňující faktory:

Intenzita dopravy – některé detekční systémy mohou být spolehlivější pouze při nižších intenzitách dopravy a při vyšších intenzitách mohou ztrácet schopnost rozlišit jednotlivá vozidla. K tomuto dochází např. u kamerových systémů. Může tedy být vhodné testovat a uvádět spolehlivost detekčních systémů pro různé typy zátěže odděleně.

Neschopnost detekce konkrétní kategorie vozidel – V závislosti na detekční technologii může být detekční systém „slepý“ vzhledem k některým kategoriím vozidel (např. neschopnost detekovat cyklisty). V odůvodněných případech lze tyto skupiny vozidel vynechat z výpočtu spolehlivosti.

Skladba dopravního proudu – Spolehlivost detekce může být závislá na kategorii vozidel a různá skladba dopravního proudu může vést k různým výsledkům.

3.1.2. Kategorizace [voz/h/kat] – spolehlivost [%]

Metoda: srovnání výstupů detekčního systému s ručním sčítáním, kamerovým záznamem nebo jiným systémem. Spolehlivost detekce SD vyjádřena vztahem

$$SD = \frac{CC}{CR} 100\%$$

kde CR je počet vozidel, která reálně protнула detekční zónu a CC je počet správně kategorizovaných vozidel.

Délka měření: min. 1000 vozidel, min. 100 vozidel každé rozlišované kategorie

3.1.3. Měření délky vozidel [m], hmotnosti vozidel [t], rychlosti [m/s] a dalších veličin – přesnost [%], rozptyl a směrodatná odchylka

Tento odstavec se vztahuje na délku, hmotnost a další skalární veličiny získávané pro jednotlivá projíždějící vozidla.

Metoda: měření se provádí projížděním detekční zóny vozidly se známými parametry (např. hmotnost a délka vozidla), případně srovnáním měřených hodnot s jiným systémem (např. rychlost).

Délka měření: min. 10 měření pro každou detektorem rozpoznatelnou třídu.

Ovlivňující faktory:

Systémová odchylka detekční zóny – detekční zóna může svojí geometrií, způsobem zhotovení případně polohou v detekčním dosahu systematicky zkreslovat měřená data – tedy vychylovat měřené hodnoty kladným nebo záporným směrem.

3.2. Detekce řízená stavem

3.2.1. Přítomnost (stojícího) vozidla – přesnost [%]

Metoda: Srovnání více detekčních systémů různých vzájemně se neovlivňujících funkčních principů se stejně definovanou detekční zónou a kamerovým záznamem. Spolehlivost detekce SD je pak dána vztahem

$$SD = \frac{TC}{TR} 100\%$$

kde TR doba trvání testu a TC je doba, po kterou je detekovaný stav shodný s požadovaným.

V případě vyhodnocení přítomnosti stojícího vozidla v zóně postupujeme obdobně, ovšem s podmínkou aktivní detekce pouze v přítomnosti stojícího vozidla.

Délka měření: min. 1 hodina měření, min. 20 % času přítomno vozidlo v zóně, min. 20 % času nepřítomno vozidlo v zóně.

Ovlivňující faktory:

Skladba dopravního proudu – detekce přítomnosti vozidla může být závislá na jeho kategorii. Podobně jako u ověřování přesnosti sčítání dopravy může být vhodné počítat spolehlivost pro jednotlivé kategorie samostatně případně pro určitá použití některá vozidla z výpočtu vyjmout.

Stojící objekty – některé detekční systémy (např. založené na radarové detekci) nejsou schopny detekovat stojící objekty. Některé systémy obcházejí tuto vlastnost tak, že odhadují pozici stojících objektů na základě historických údajů programem v řídicí elektronice. Tyto údaje však nemusí být úplně přesné a mohou zkreslit vyhodnocování spolehlivosti detekce.

Geometrie detekční zóny – v případě, že detekční zóna je citlivá pouze pokud detekovaný objekt překrývá její hranu, může docházet ke slepotě k malým objektům, které se plně nacházejí uvnitř detekční zóny. S tímto je třeba počítat při návrhu geometrického uspořádání detekční zóny.

3.2.2. Přítomnost vozidla (vozidel) pro výzvu – spolehlivost [%], střední doba výskytu falešné detekce [h]

Metoda: Srovnání výstupu detekčního systému s kamerovým záznamem. Kontrola zda pro každý průjezd vozidla detekční zónou existuje kladný výstup systému. Akceptovatelné jsou i krátké pulzy včetně možnosti pouze jednoho impulzu pro dvě a více vozidel pokud je splněna podmínka, že výstup je aktivován v době, kdy jsou všechna vozidla uvnitř detekční zóny. S výhodou lze využít velikost zóny schopné pojmout více vozidel najednou. Spolehlivost S je dána vztahem

$$S = \frac{CD}{CR} 100\%$$

kde CR je počet vozidel, která reálně projela detekční zónou a CD je počet vozidel, během jejichž průjezdu došlo k aktivaci výstupu.

Střední doba falešné detekce TFD je dána vztahem

$$TFD = \frac{CF}{TT}$$

kde CF je počet falešných detekcí, tedy aktivace výstupu detekčního systému bez přítomnosti vozidla v detekční zóně a TT je doba trvání testu. Za falešnou detekci je považována každá náběžná hrana výstupu a každých následujících 10 s trvale aktivovaného výstupu bez přítomnosti vozidla.

Délka měření: min. 1 hodina měření, min. 1000 průjezdů vozidel zónou, min. 500 změn indikace výskytu v zóně, min. 20 % času nepřítomno vozidlo v zóně.

Ovlivňující faktory

Jako u měření přesnosti přítomnosti vozidla.

3.2.3. Délka kolony a další skalární veličiny – přesnost [%]

Metoda: srovnání výstupu detekčního systému s kamerovým záznamem podle potřeby doplněným o záznamy z další detekce poskytujících ověřované veličiny.

Délka měření: min. 20 náhodných vzorků ověřených nezávislým systémem, např. kamerovým záznamem. Vzorky by měly být rovnoměrně rozloženy v celém oboru hodnot měřené veličiny. Při

srovnání hodnot uvedené délky kolony by tedy mělo být srovnáno vyhodnocení krátké kolony, maximální detekovatelné délky a několika různých délek ležících mezi těmito dvěma extrémy.

Ovlivňující faktory

Systémová odchylka měření – detekční zóna, případně samotná technologie může zkreslovat měření systémovou odchylkou.

Definice měřené veličiny – hodnota měřených veličin je vždy závislá především na definici významu dané veličiny. Zvláště u skalárních hodnot získávaných z mnohem komplexnějšího stavu případně agregací mnoha měřených hodnot může existovat více různých a při tom však plně legitimních definic výpočtu. Jako příklad uveďme rychlost svazku. Průměrná, minimální i kvantilová hodnota (vstupní data mohou být navíc filtrována od odlehlých hodnot) může mít vypovídající hodnotu.

3.3. Ostatní vlastnosti detekčních systémů

U vlivů okolního prostředí rozlišujeme tři kategorie ovlivnění:

Funkce není ovlivněna – okolní podmínky nemají žádný vliv na detekční funkce. Princip detekce je nezávislý na tomto vlivu a nemůže změnou okolních podmínek dojít k narušení funkčnosti.

Funkce částečně ovlivněna – detekční parametry mohou být v nejhorším případě mírně zhoršeny, klesá spolehlivost, přesnost, dosah detekce, případně může dojít ke ztrátě rozšiřující funkčnosti. Základní detekce je zachována s dostatečnou přesností. Této kategorie nelze dosáhnout využitím náhodného generování dat případně statistickým odhadováním výstupů z historických dat jako náhrady funkčnosti znemožněné okolními podmínkami.

Funkce významně ovlivněna/znemožněna – okolní podmínky mohou výrazně snížit kvalitu detekce případně úplně zamezit funkčnosti.

3.3.1. Vliv světelných podmínek – stíny, noc, odlesky na mokré vozovce, oslnění

Především kamerové systémy mohou být citlivé na změny okolního osvětlení. Například stíny stromů ve větru mohou být falešně rozpoznány jako vozidla pohybující se v detekční zóně, případně může být snímač oslněn odleskem nebo přímým svitem Slunce postaveným nízko nad horizontem. Výjimkou jsou pak infra kamery, které jsou těmito vlivy ovlivněny minimálně nebo vůbec.

3.3.2. Vliv povětrnostních podmínek – déšť, sníh, mlha, námraza

Tyto vlivy se týkají opět především kamerových systémů, a to včetně technologií využívajících snímání infra-červeného záření, kdy může docházet ke snížení nebo zamezení viditelnosti. U kamerových systémů je nejčastějším problémem zavátí nebo tvorba námrazy na čočce objektivu. Ostatní detekční technologie nejsou tolik ovlivněny. Například radarové systémy ale mohou mít vlivem hustého deště nebo sněžení omezený detekční dosah.

3.3.3. Další vlastnosti prostředí

Jednotlivé detekční systémy mohou být dále ovlivňovány jinými druhy vlivů prostředí. Náchylnost je ovšem závislá nejen na principu, ale i na tom, jak je řešena koncepce konkrétního výrobku. Následující vlivy uvádíme jako příklady, které je nutné brát v úvahu.

Mechanická stabilita a vibrace – technologie upevněné na stožárech, ale i jiných objektech mohou být citlivé na vibrace a pohyb, který zpřesní, znemožní nebo zapříčiní falešnou detekci. Vysoký podíl těžké nákladní dopravy v kombinaci s nerovnostmi na vozovce může způsobovat vibrace znemožňující provoz takového detekčního systému.

Elektromagnetické rušení – tento druh rušení může znemožňovat detekci, pokud je rušena komunikace jednotlivých součástí detekčního systému (některé detekční systémy komunikují bezdrátově, aby se vyhnuly potřebě přírodních kabelů). Na druhou stranu, některé detekční systémy mohou například v blízkosti trakčního vedení drážní dopravy nebo kolejových výhybek generovat falešné impulzy způsobené napětím indukovaným z těchto okolních zařízení.

Opotřebení a životnost – především intrusivně instalované detekční systémy mají svou životnost svázanou s životností komunikace, do které jsou nainstalovány. Jejich opotřebení ale může být udáváno i maximálním počtem průjezdů vozidel, životností baterie nebo jinými faktory.

4. Shrnutí

Výběr správné detekční technologie závisí na dopravně-inženýrských veličinách, které je třeba v konkrétní aplikaci (např. v konkrétní křižovatce) sledovat.

Základní přehled použitelnosti jednotlivých detekčních technologií pro sbírání jednotlivých dopravně-inženýrských veličin je v tab. 4.1. Přehled je shrnutím informací popsanych v kapitolách výše, proto je u jednotlivých detekčních technologií odkaz na příslušnou kapitolu, kde lze dohledat přesnější informace. Zelené pole **ANO** značí, že detekční technologie je použitelná pro danou dopravně-inženýrskou veličinu. Žluté pole **ANO** značí, že použitelnost je omezená. V tabulce je dále označení, zda se jedná o intrusivní **I** či neintrusivní **N** technologii (tzn., zda je, nebo není nutno zasahovat do vozovky).

typ detekční technologie	kapitola	intrusivní, neintrusivní	dopravně-inženýrská veličina								
			přítomnost vozidla	intenzita	klasifikace	rychlost	obsazenost	délka vozidel	hmotnost vozidel	detekce incidentů	obrazový výstup
indukční smyčky	2.2.1.1.	I	ANO	ANO	ANO*	ANO*	ANO	ANO*			
magnetometry	2.2.1.3.	I	ANO	ANO	ANO	ANO*	ANO	ANO*			
piezoelektrické	2.2.1.2.	I		ANO	ANO	ANO*			ANO		
videodetekce	2.2.2.1.	N	ANO	ANO	ANO	ANO				ANO	ANO
infra videodetekce	2.2.2.2.										
mikrovlnný radar	2.2.2.3.	N		ANO	ANO	ANO	ANO				
infračervené detektory	2.2.2.4.	N	ANO	ANO				ANO			
ultrazvukové detektory	2.2.2.5.	N	ANO	ANO		ANO					

Tab. č. 4.1. Shrnutí použitelnosti detekčních technologií pro jednotlivé dopravně-inženýrské veličiny. ANO s hvězdičkou (ANO*) značí, že je nutno použít dvojici detektorů.

Kromě obecné použitelnosti detekčních technologií vyplývajících z fyzikálních principů (tab. 4.1.) je nutné ověřit vlastnosti konkrétního výrobku – detektoru, tzn. ověřit spolehlivost detektoru. Ověření, zda konkrétní výrobek – detektor splňuje základní požadavky tak, aby jej bylo možno využít, je rozebráno v kapitole 3.

Použitá literatura

- ČSN 73 6100 Názvosloví pozemních komunikací
- ČSN P ENV 13563 Řízení dopravy na pozemních komunikacích – Zařízení a příslušenství – Detektory vozidel
- Dopravně závislé řízení silničního provozu ve městech (1. část), Ivan Nagy, Jitka Homolová, Pavla Pecherková, AUTOMA
- MEDELSKÁ, Viera, Petr JIRAVA, Dušan NOP a Jiří ROJAN, 1991. Dopravné inžinierstvo. vyd. Bratislava: Alfa, 374 s. ISBN 80-050-0737-X.
- TP 81 Navrhování světelných signalizačních zařízení pro řízení provozu na pozemních komunikacích
- TP 235 Posuzování kapacity světelně řízených křižovatek