



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ**

**FAKULTA DOPRAVNÍ**

Pavel Mašinda

**Návrh postupu pro využití cyklosčítačů v českých  
podmínkách**

**Diplomová práce**

**2024**

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

Fakulta dopravní

děkan

Konviktská 20, 110 00 Praha 1



**K620..... Ústav dopravní telematiky**

**ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**  
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

**Bc. Pavel Mašinda**

Studijní program (obor/specializace) studenta:

**navazující magisterský – IS – Inteligentní dopravní systémy**

Název tématu (česky): **Návrh postupu pro využití cyklosčítačů v českých podmínkách**

Název tématu (anglicky): Proposed Procedure for the Use of Cycle Counters in Czech Conditions

**Zásady pro vypracování**

Při zpracování diplomové práce se řiďte následujícími pokyny:

- Rešerše technologií pro sčítání cyklistické dopravy v ČR a zahraničí;
- Definování konkrétních Use Case (případů užití) sčítačů cyklistické dopravy;
- Sběr a analýza dostupných datových zdrojů z cyklosčítačů včetně doplnění vlastních místních šetření;
- Metodický návrh postupu pro využití technologií pro sčítání cyklistické dopravy pro definované Use Case;
- Ověření navrženého postupu ve vhodné lokalitě v ČR.



- Rozsah grafických prací: dle požadavků vedoucích DP
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: Dharmaju Raghuram et al: An evaluation of technologies for automated detection and classification of pedestrians and bicycles  
INTENS Corporation s.r.o. a Ing. Tomáš Stárek, Ph.D.  
Metodika pro užití dopravně telematických aplikací pro cyklistickou dopravu

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Viktor Beneš, MSc.**  
**Ing. Jiří Růžička, Ph.D.**

Datum zadání diplomové práce: **30. června 2023**  
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání diplomové práce: **15. května 2024**  
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia  
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

Ing. Zuzana Bělinová, Ph.D.  
vedoucí  
Ústavu dopravní telematiky



prof. Ing. Ondřej Příbyl, Ph.D.  
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.

Bc. Pavel Mašinda  
jméno a podpis studenta

V Praze dne ..... 30. června 2023

## Poděkování

Na úvod mé práce bych rád poděkoval všem, kteří mi poskytli podklady pro její vypracování a při psaní práce mě podporovali. Zvláště pak děkuji Viktoru Benešovi a Jiřímu Růžičkovi za odborné vedení a konzultování diplomové práce a za rady, které mi poskytovali po celou dobu jejího zpracování. Dále bych chtěl poděkovat svým rodičům a blízkým za podporu, které se mi dostávalo po celou dobu studia. Nakonec bych chtěl poděkovat společnosti Operátor ICT, a.s. za poskytnutí součinnosti s vypracováním této práce.

## Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr magisterského studia na ČVUT v Praze Fakultě dopravní.

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

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

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval(a) samostatně a uvedl(a) veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací a Rámcovými pravidly používání umělé inteligence na ČVUT pro studijní a pedagogické účely v Bc. a NM studiu.

V Praze dne 15.05.2024

.....

podpis

# ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

## Návrh postupu pro využití cyklosčítačů v českých podmínkách

diplomová práce

květen 2024

Pavel Mašinda

### **ABSTRAKT**

Diplomová práce se zabývá detektory používanými k detekci cyklistů. V rešeršní části jsou popsány všechny uvažované technologie a jejich případné výhody a nevýhody. V rámci praktické části byla provedena série testů dostupných technologií v různých situacích. Data z těchto testů jsou následně použita pro vybrání vhodné technologie a instalace pro každou ze situací.

### **KLÍČOVÁ SLOVA**

Cyklosčítače, detektory, monitoring pohybu cyklistů, indukční smyčky, mikrovlnné radary, piezoelektrické detektory, pneumatické detektory, videodetekce, magnetometrické detektory

# CZECH TECHNICAL UNIVERSITY IN PRAGUE

Faculty of transportation sciences

## Proposed procedure for the use of cycle counters in Czech conditions

diploma thesis

May 2024

Pavel Mašinda

### **ABSTRACT**

This diploma thesis focuses on the detectors used to detect cyclists. The research part describes all considered technologies and their possible advantages and disadvantages. In the practical part, a series of tests of the available technologies in different situations were carried out. The data from these tests are then used to select the appropriate technology and installation for each of the situations.

### **KEY WORDS**

Cycle counters, detectors, cyclist movement monitoring, induction loops, microwave radars, piezoelectric detectors, pneumatic detectors, video detection, magnetometric detectors

## Obsah

Seznam použitých zkratk	7
Úvod	8
1. Rešerše dostupných technologií	9
1.1. Indukční smyčka	9
1.2. Pneumatický detektor	12
1.3. Mikrovlnný radar	14
1.4. Magnetometrický detektor	16
1.5. Videodetekce	18
1.6. Piezoelektrický detektor	20
1.7. Ostatní možnosti detekce jízdních kol	22
1.8. Srovnání jednotlivých detektorů	23
2. Definice příkladů užití detektorů cyklistické dopravy	26
2.1. Příklady užití v provozu s automobily	26
2.2. Příklady užití v oblasti bez normálního provozu automobilů	29
3. Testování a analýza dat	34
3.1. Postup při testování a jeho výsledky	34
3.2. Výsledky pro každý příklad užití	36
3.3. Testování pneumatického detektoru	41
3.4. Testování karbonového kola na indukční smyčce	43
4. Návrh postupu využití technologií pro sčítání cyklistické dopravy	45
4.1. Smíšený provoz s automobily	45
4.2. Smíšený provoz vlevo od zaparkovaných automobilů	47
4.3. Cyklopruh	49
4.4. Cyklopruh vlevo od zaparkovaných automobilů	51
4.5. Stezka s možným průjezdem automobilů	54
4.6. Křižovatka na stezce pro cyklisty a chodce	55
4.7. Stezka pro cyklisty a chodce	57
4.8. Stezka pro cyklisty a chodce na lávce	59

4.9.	Stezka pro cyklisty a chodce na chodníku .....	60
4.10.	Nezpevněná stezka .....	61
5.	Ověření navržených postupů .....	63
5.1.	Příklad dobré praxe .....	63
5.2.	Příklad špatné praxe.....	64
	Závěr .....	66
	Použité zdroje.....	67
	Seznam obrázků.....	69
	Seznam tabulek .....	70



## **Seznam použitých zkratk**

GSM – Groupe Spécial Mobile – Globální systém pro mobilní komunikaci

MHD – Městská Hromadná Doprava

OICT – Operátor ICT, a.s.

RSU – Road Side Unit

# Úvod

V dnešní době dochází k uzavírání center měst pro automobily, a naopak stále více lidí preferuje cyklistickou dopravu – ať už pro denní dojíždění do práce, nebo pro rekreaci. Právě proto je vhodné jejich pohyb monitorovat. Například v červenci 2023 projelo přes pražskou podolskou náplavku necelých 54 000 cyklistů, což představuje přibližně 1 742 průjezdů cyklistů denně. [1]

Detekce cyklistů může být užitečná hned pro několik použití. Například pro dynamicky řízené křižovatky se světelnou signalizací, kdy je potřeba detekovat cyklisty, jinak by se mohlo stát, že budou stát na červené, dokud nepřijede auto, které je detekováno. To se v dnešní době řeší zejména pomocí indukčních smyček, které jsou schopné detekovat auto i jízdní kolo. Druhým a pro tuto práci zásadním příkladem použití detektorů jízdních kol je sčítání za analytickými a statistickými účely.

Počty průjezdů přes strategické oblasti lze využít k určení hlavních cest používaných cyklisty, jejich směrovosti, k celkovému přehledu pohybu cyklistů na určitém území a k určení vytíženosti současných cyklostezek. Například poslední zmíněný důvod lze následně využít k obhájení potřeby revitalizace nebo rozšíření dané cyklostezky nebo vybudování nových tam, kde je to potřeba.

Na začátku práce je potřeba zjistit, jaké technologie se pro detekci cyklistů používají, jak fungují a jaké jsou jejich výhody a nevýhody.

Cílem druhé části práce je zjistit v jakých situacích (příkladech užití) se v dnešní době nejčastěji používají cyklosčítače a k těmto situacím následně přiřadit jeden nebo více vhodných detektorů. Aby tento cíl mohl být splněn, tak muselo v průběhu řešení práce proběhnout testování. To proběhlo celkem na 32 různých lokalitách, a to pro oba směry pohybu cyklistů. Na základě dat a zkušeností z těchto testů následně vznikla doporučení pro použití a instalaci určitých detektorů po každou popsanou situaci. Tato doporučení byla autorem ověřena na 2 konkrétních lokalitách, které nebyly předmětem původního testování.

# 1. Rešerše dostupných technologií

V dnešní době lze cyklistickou dopravu sčítat mnoha způsoby. Ne každý je však vhodný pro jakékoliv prostředí. Například indukční smyčka se nedá použít pro sčítání cyklistů v automobilovém dopravním proudu. Naopak na cyklostezce se jeví jako nejjednodušší a nejčastěji používané řešení.

Základem pro správný výběr technologie je tedy rešerše toho, co se v dnešní době používá, nebo toho, co by šlo pro sčítání cyklistické dopravy potenciálně použít. Zároveň je vhodné zjistit dodavateli udávané přesnosti měření a toto tvrzení následně vlastním měřením potvrdit nebo vyvrátit.

Tato práce se zabývá technologiemi nejčastěji používanými, ale i takovými, které se moc často pro sčítání cyklistické dopravy nevyužívají, zároveň se zabývá jak intrusivními technologiemi, tak i neintrusivními. Mezi ty první patří:

- Indukční smyčka
- Magnetometrický detektor
- Piezoelektrický detektor

Neintrusivní detektory, kterými se tato práce zabývá, jsou:

- Pneumatický detektor
- Mikrovlnný radar
- Videodetekce

## 1.1. Indukční smyčka

Indukční smyčka je ve své nejjednodušší podobě cívka ze zakopaného drátu připojená ke zdroji střídavého proudu, který vytváří magnetické pole. Když přes indukční smyčku přejíždí vozidlo, magnetické pole se mění a snižuje vnímanou indukčnost smyčky. Přítomnost vozidla nad smyčkou se zjistí pozorováním změny rezonanční frekvence způsobené změnou indukčnosti. [1]

Indukční smyčka se začala používat již v padesátých letech 20. století a dnes patří mezi nejrozšířenější způsoby detekce vozidel. Používá se pro měření intenzity, obsazenosti, přítomnosti a případně při použití několika smyček i rychlosti.

Smyčka je tvořena několika závitů měděného izolovaného vodiče. Umisťuje se 30–100 mm pod povrch komunikace (u smyček určených k detekci cyklistické dopravy se vodič umisťuje

do hloubky max. 55 mm), přičemž s větší hloubkou klesá citlivost, ale naopak se zvětšuje odolnost smyčky (vzniká menší šance na její poškození). Ve vzdálenosti do 20 metrů od samotné smyčky musí být umístěna RSU, která slouží k napájení smyčky a odesílání dat (ve většině případů pomocí mobilní sítě). Ta je zároveň napojena na stálý zdroj napětí, nebo případně napájena z baterie. V tom případě je třeba počítat s nízkou životností a potřebou výměny (baterie mívá životnost do 1 roku). Kvůli tomu, že indukční smyčka je intruzivní detektor, se varianta s baterií takřka nevyužívá. Pro dočasné sčítání se častěji používá neintruzivní pneumatický detektor (viz kapitola 1.2). [3]

Jelikož musí být indukční smyčka umístěna pod povrchem, tak není vhodná pro nezpevněné dopravní cesty.

### **1.1.1. Využití Indukční smyčky pro detekci cyklistické dopravy**

Protože jízdní kola neobsahují velké množství vodivých materiálů, musí být indukční smyčka k jejich detekci upravena. Dělá se tak dvěma různými způsoby. Prvním je menší hloubka umístění vodiče a druhým je samotný tvar smyčky. Pro automobily se používají smyčky čtvercového a obdélníkového tvaru. U těchto tvarů je však velká šance, že nebude kolo detekováno, proto se používají nejčastěji obdélníky umístěné šikmo přes vozovku (používají se pro detekci kol i automobilů zároveň) nebo kosočtverce (uzpůsobené pro detekci pouze jízdních kol) (Obr. 1).

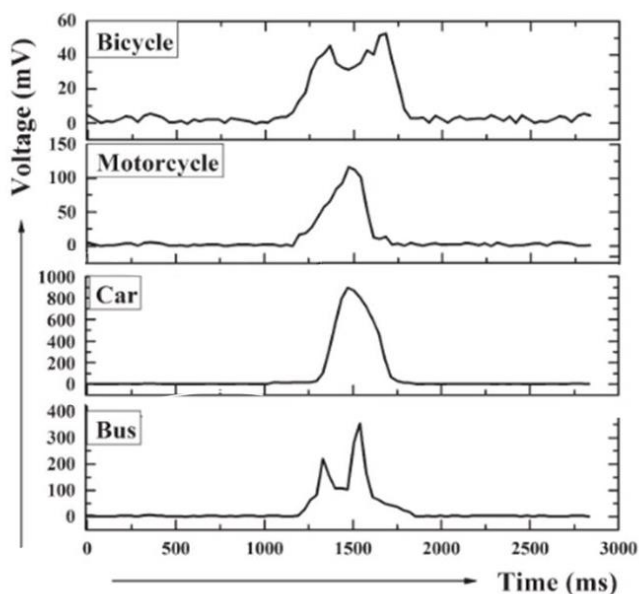


*Obr. 1 Zdvojené indukční smyčky na Povltavské ulici [zdroj vlastní]*

Pro samotnou detekci jízdních kol je nejdůležitější ta část kola, která je nejbližší vozovce. To jsou hlavně ráfky. V současné době se stále více uplatňují kola vyrobená z neferomagnetických materiálů, jako je uhlíkové vlákno, zejména díky jejich nižší hmotnosti a vylepšeným jízdním vlastnostem. Tento trend může představovat výzvu pro indukční smyčky při detekci těchto kol. Uhlíková vlákna se však primárně používají při výrobě horských kol, která se používají zejména mimo urbanizovaná prostředí a tím pádem v místech, kde se zřídka sčítá cyklistická doprava.

Kvůli tomu, že dojde k detekci pouze na základě narušení magnetického pole, nelze detekovat další mód aktivní mobility a to chodce. Správně zkalibrovaná smyčka by však měla dokázat rozlišit mezi jízdním kolem, motocyklem a koloběžkou. [4]

Na Obr. 2 je vidět rozdíl v indukovaném napětí a průběhu pro různé dopravní prostředky. Podle tohoto průběhu se data klasifikují. Je vidět, že kolo má nejdelší průběh (je nejpomalejší), ale zároveň indukuje nejméně napětí (má nejméně kovových součástí). Velký vliv na napětí má to, jak nízko u země se daná kovová část dopravního prostředku nalézá. Proto indukuje auto více napětí než autobus, který má vysoko podvozek.



Obr. 2 Průběh napětí pro různé druhy dopravních prostředků [4]

### 1.1.2. Výhody a nevýhody indukčních smyček

Výhody:

- Nízká pořizovací cena zařízení
- Bez ovlivnění počasím

- Osvědčená a funkční technologie

Nevýhody:

- Narušení dopravy při instalaci a údržbě
- Pro přesné měření je zapotřebí více detektorů (avšak jedna RSU)
- Snižují životnost vozovky
- Problematická detekce kol z neferomagnetických prvků
- V případě oprav vozovky dochází k poškození smyčky [5]

## 1.2. Pneumatický detektor

Pneumatické detektory jsou gumové trubice, které jsou umístěné na povrchu vozovky. Hadice se oběma konci zapojí do RSU a následně se položí na vozovku kolmo ke směru jízdy vozidel. Detekce je provedena po změně tlaku v trubici, která vznikne, když přes ní přejede vozidlo.

V ideálním případě by měli být hadice dvě a na opačném konci by měli být zaslepené. Pokud by byla hadice jen jedna a připojená do obou portů RSU, tak by mohlo dojít k „ozvěně“, kdy se signál o změně tlaku v trubici dostane do RSU z obou stran. Pneumatický detektor se díky dvěma vstupům může použít v mnoha konfiguracích. Tou základní je položení obou trubic paralelně 1 metr od sebe, to se používá zejména pro měření rychlosti a rozlišení směru jízdy. Další může být například položení RSU mezi dvě komunikace a natěžení každé trubice na jednu komunikaci. Tímto způsobem se dá monitorovat intenzita na více místech najednou, avšak ztrácí se možnost měření rychlosti a klasifikace.

Tato metoda detekce se používá především k určení intenzity. Dále se dá použít pro klasifikaci vozidel, obsazenost a v případě položení trubic v dostatečné vzdálenosti od sebe i pro zjištění rychlosti vozidel.

Pneumatické detektory nejsou určeny k permanentní instalaci na vozovku, a to primárně kvůli omezené životnosti hadice a k celkové náchylnosti k úmyslnému poškození (ostatní detektory jsou bezpečně uloženy ve vozovce, nebo v dostatečné výšce, pneumatický detektor je pouze položen na povrchu vozovky). Hlavní využití pneumatického detektoru spočívá v jednorázových dopravních průzkumech. Kdy se trubice položí na danou vozovku, kde je třeba měřit intenzitu (nebo jinou veličinu), a nechá se tam jeden a více dní. Následně se detektor odstraní a dojde k analýze dat. Příklad pneumatického detektoru je vidět na Obr. 3.



*Obr. 3 Příklad pneumatického detektoru na cyklostezce [6]*

Většina pneumatických detektorů určených k dopravním průzkumům disponuje vlastní baterií s kapacitou do jednoho roku provozu. Tato baterie se mezi průzkumy dá dobít. Zařízení také disponuje vlastní pamětí k ukládání „raw“ dat, která se následně analyzují po připojení k počítači.

### **1.2.1. Využití pneumatického detektoru pro detekci cyklistické dopravy**

I přesto, že existují i varianty, které jsou specificky udělané na počítání cyklistů, tak většina pneumatických detektorů je spíše uzpůsobena k počítání automobilů. Jízdní kola jsou v těchto případech moc lehká, nebo jedou moc pomalu, aby došlo k detekci (někteří výrobci uvádí minimální rychlost pro identifikaci 10 km/h). [6]

Dalším problémem pro pneumatický detektor může být průjezd více kol najednou. Například výrobce Metrocount stanovuje minimální časový rozstup mezi stlačením trubice na 25 milisekund. Problém nastane i při průjezdu více kol z hlediska přejetí druhé trubice, ta totiž nedokáže spárovat jednotlivé stlačení první a druhé trubice k sobě a může tak mít problémy s klasifikací nebo stanovením rychlosti. [6]

### **1.2.2. Výhody a nevýhody pneumatických detektorů**

Výhody:

- Vhodné pro krátkodobé průzkumy

- Rychlá a jednoduchá instalace
- Levné řešení
- Klasifikace kolo/motorka/auto

Nevýhody:

- Pouze dočasné řešení
- Velmi náchylné na poškození běžným provozem
- Problémové sčítání více cyklistů projíždějících najednou

### **1.3. Mikrovlnný radar**

Mikrovlnný radar funguje na principu Dopplerova jevu. Radar vysílá kontinuální signál nízkenergetického mikrovlnného záření na cílovou oblast a poté analyzuje odražený signál. Detektor registruje změnu frekvence vlnění, ke které dochází, když se zdroj mikrovln a vozidlo vůči sobě pohybují. To umožňuje zařízení detekovat pohybující se vozidla. Nejčastější paprsek vysílaný mikrovlnným radarem má 90° horizontálně a 65° ve vertikálním směru. Šířku záběru radaru netvoří jen jeden paprsek, ale matice 16 samostatných paprsků s vysokým rozlišením, které se nacházejí v těsné blízkosti. Šestnáct samostatných vysílacích/přijímacích antén generuje paprsky a měří vzdálenosti ke všem cílům v každém paprsku, čímž vytváří dvourozměrný obraz známý jako radarové vidění. [7]

Mikrovlnný radar pro detekci vozidel se musí umístit minimálně ve výšce 1,5 metru nad vozovkou. Proto se musí uchytit na dopravní značení, případně na sloup veřejného osvětlení. V případě detekce cyklistů nebo chodců stačí výška 1 metru. Dále musí být radar neustále připojen k vlastnímu řadiči, ve kterém musím být zdroj napětí, jednotka na zpracování dat z radaru a případně GSM vysílač pro odesílání dat do datové platformy. [8]

#### **1.3.1. Využití mikrovlnného radaru pro detekci cyklistické dopravy**

Mikrovlnné radary lze použít pro sčítání jak cyklistické dopravy, tak chodců. Jeden radar by měl být schopen je od sebe odlišit. Samotná kategorizace je u většiny radarů realizována pomocí rychlosti objektu. To s sebou však nese několik problémů. Rychle jedoucí cyklista může být u některých radarů klasifikován jako motocykl, případně i jako automobil, a naopak pomalu jedoucí cyklista bývá neprávem označován jako chodec. Právě z těchto důvodů je velmi důležité umístění radaru. Tato vlastnost radaru také značně ovlivňuje jeho přesnost. [7]

Příklad mikrovlnného radaru používaného pro počítání cyklistů je vidět na Obr. 4.





*Obr. 4 Příklad mikrovlnného radaru [zdroj vlastní]*

Existují i varianty radaru, které jsou intrusivní. Například FlexRadar™ od společnosti Sensys Networks je malý mikrovlnný radar s vlastní baterií, který se umístí doprostřed vozovky. Takovéto radary představují levnější variantu klasického radaru, avšak je třeba narušit povrch vozovky pro jejich instalaci a uvědomit si, že takovýto radar má životnost okolo 5 let z důvodu malé baterie. Tyto radary používají pro klasifikaci šířku objektu, tudíž nedokáží rozlišit mezi jízdním kolem a motocyklem, navíc mohou mít problém rozlišit i mezi jízdním kolem a chodcem, proto jsou určeny primárně k detekci jízdních kol na křižovatkách řízených světelným signalizačním zařízením, kde špatná kategorizace není takový problém. [9]

### **1.3.2. Výhody a nevýhody mikrovlnných radarů**

Výhody:

- Multimodalita – dá se použít pro sčítání osob i kol
- Nezáleží na materiálu kola
- Neintrusivní
- Snadno konfigurovatelný při změnách na vozovce
- Typicky odolný vůči různým světelným podmínkám

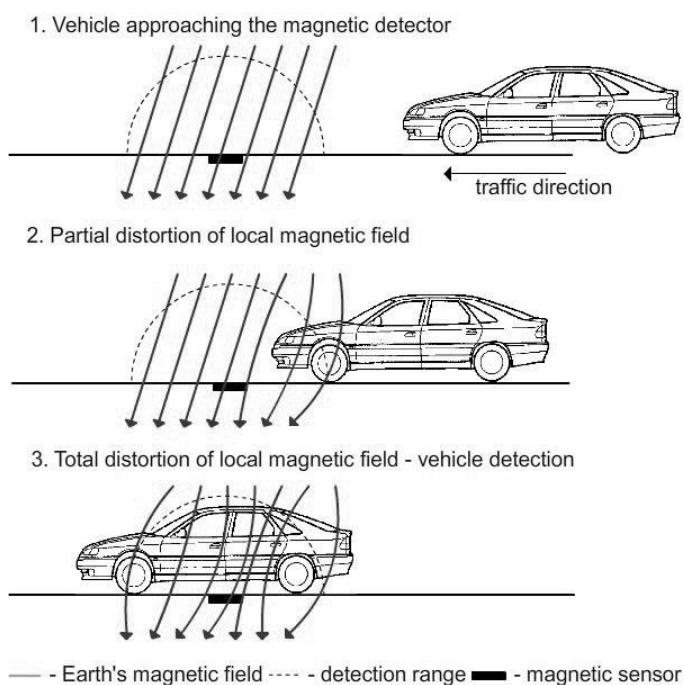
Nevýhody:

- Může mít problém s fungováním v blízkosti kovových konstrukcí, například mostů
- Nutná přesná konfigurace pro každé místo použití
- Nutnost instalace na nejbližší sloup veřejného osvětlení nebo dopravního značení

- Není vhodný na detekci ve špatných povětrnostních podmínkách (např. silný déšť)
- Problematická kategorizace (např. u pomalých cyklistů)
- Vyšší pořizovací cena

#### 1.4. Magnetometrický detektor

Magnetometrický detektor je založený na měření parametrů magnetického pole ve svém okolí. Detektor je schopný rozpoznat, když dojde k narušení magnetického pole kovovou konstrukcí automobilu nebo i jízdního kola. Magnetometrické detektory jsou nejčastěji bezdrátové, intrusivní zařízení, které tvoří z velké části baterie, která je důležitá, aby zařízení mohlo samo fungovat i několik let bez potřeby výměny. Detektor je schopný rozpoznat, když dojde k narušení magnetického pole kovovou konstrukcí automobilu nebo i jízdního kola. Obr. 5 Magnetometrické detektory jsou nejčastěji bezdrátové, intrusivní zařízení, které tvoří z velké části baterie, která je důležitá, aby zařízení mohlo samo fungovat i několik let bez potřeby výměny. Dále ho tvoří samotný magnetometr a úzkopásmový rádiový vysílač, který posílá data do blízké gateway. Existují i provedení detektoru bez vysílače, které mají místo něj vlastní úložný prostor pro naměřená data. Takovýto magnetometr se může použít například pro měření intenzity cyklistické dopravy na odlehlých místech, například cyklostezkách v lese. Na Obr. 5 je vidět průběh narušení magnetického pole vozidlem a následná detekce magnetometrickým detektorem.[10]



Obr. 5 Detekce vozidla pomocí magnetometrického detektoru [10]

Magnetometrické detektory se nejčastěji používají pro detekci obsazenosti parkovacích míst. Takovéto detektory nejsou vhodné pro jiné použití, protože zaznamenávají pouze změnu, a navíc v minutových intervalech. Jejich výhodou je malá konstrukce a dlouhá výdrž baterky (5 až 10 let). Magnetometrické detektory se dají použít například pro detekci vozidel na křižovatce, pro toto použití je však třeba častější zasilání dat, což má za následek, že tyto detektory se musí každé 1 až 2 roky měnit. Mezi jiné použití magnetometrických detektorů patří měření intenzity nebo rychlosti (při použití dvou detektorů). [10]

Většina magnetometrických detektorů je intrusivní, musí se tedy do vozovky vyvrtat otvor ve tvaru detektoru většinou ve tvaru puku, nebo válce. Používají se i varianty, které se k vozovce pouze přivrtají, ty se však používají primárně pro detekci parkujících těžkých vozidel.



*Obr. 6 Příklad magnetometrického detektoru ve vozovce [zdroj vlastní]*

#### **1.4.1. Využití magnetometrického detektoru pro detekci cyklistické dopravy**

Magnetometrické detektory pro detekci cyklistické dopravy se ve městech používají velmi zřídka. Jejich zásadní nevýhodou je šířka detekce. Detektory detekují jízdní kolo v okruhu jednoho metru. Dají se tedy nainstalovat doprostřed cyklostezky, která je maximálně 2 metry široká. Měřit se tak dá ale pouze počet cyklistů, kteří přes daný bod projedou, ale ne jejich směrovost. Pro výpočet směrovosti je třeba kvůli jednoduchosti magnetometrických detektorů použít dva za sebou. [11]

Jedním z problémů detekce cyklistické dopravy magnetometrickým detektorem je jeho relativně vysoká nepřesnost. První nepřesnosti vznikají v souvislosti s koly

z neferomagnetických materiálů (kola z uhlíkových vláken nebo duralu). Taková kola by magnetometrický detektor neměl vůbec detekovat.

Dalším problémem jsou pak skupinky cyklistů. Magnetometrický detektor totiž zaznamenává jen narušení magnetického pole. To vznikne už s prvním kolem. Skupinka cyklistů jedoucích blízko sebe tak může být zaznamenána jako jeden.

#### **1.4.2. Výhody a nevýhody magnetometrických detektorů**

Výhody:

- Nízká pořizovací cena zařízení
- Bezdrátová technologie (stále je třeba, u většiny druhů, gateway poblíž pro přenos dat)
- Možnost použití i mimo dosah napájení (varianta s vlastním uložištěm dat)
- Není ovlivněn povětrnostními podmínkami

Nevýhody:

- Intrusivní zařízení (poškození vozovky)
- Malá zóna detekce
- Výdrž baterie (v závislosti na provedení 1-5 let)
- Detekce pouze kol z feromagnetických materiálů

### **1.5. Videodetekce**

Videodetekce je nedestruktivní detektor, který funguje na principu získávání informací z obrazu pro další softwarové zpracování. Samotná kamera se nejčastěji umísťuje na nejbližší prvek infrastruktury (nejčastěji sloup veřejného osvětlení či světelné signalizace). Zároveň však musí mít kamera neustálé připojení k elektrickému proudu, proto jsou právě sloupy veřejného osvětlení nejčastější volbou. Zpracovávají se data ze statického obrazu, na kterých se mění hodnoty barev a jasu vlivem projíždějících vozidel a cyklistů nebo procházejících chodců. Kvalita rozpoznání záleží na kvalitě softwaru, ale i na povětrnostních podmínkách. [12]

Většina pokročilých kamer s videodetekcí provádí analýzu přímo v kameře a samotný obraz dále už nemusí posílat.

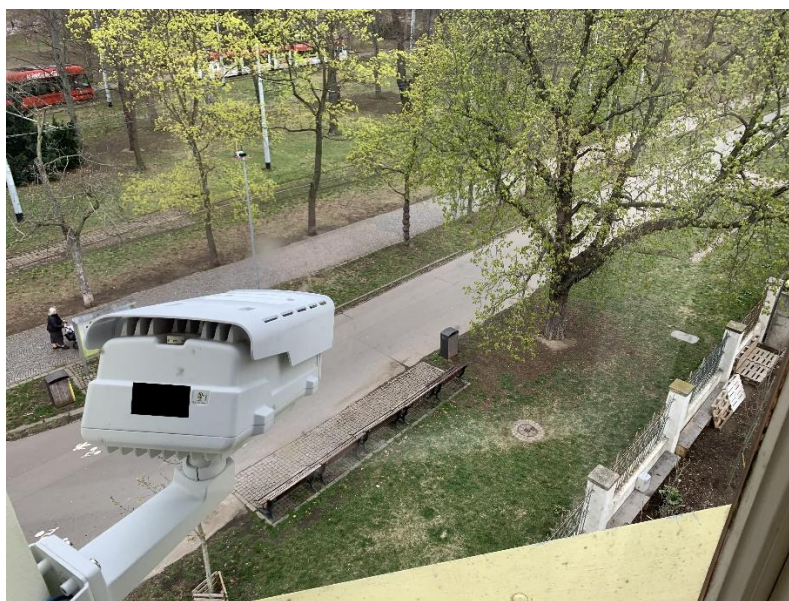
Výhodou videodetekce může být velké zorné pole jedné kamery. Nevýhodou pak například je problém s pořizováním obrazu. Videodetekce podléhá GDPR, tudíž při pořizování záznamu a jeho posílání dále je třeba se jím řídit.

### 1.5.1. Využití videodetekce k detekci cyklistické dopravy

Při využití videodetekce je jednou z nejdůležitějších vlastností úhel snímání obrazu. Nejčastěji se používá kamera umístěná na sloupu světelné signalizace tedy v úhlu 45° proti dopravnímu proudu. To se ovšem může ukázat nedostačující pro přesnou detekci cyklistické dopravy, a to kvůli tomu, že cyklisté jezdí například dost blízko u sebe. V tomto může být započítáno méně cyklistů, než v realitě projelo. Dalším příkladem je cyklista pomalu jedoucí proti kameře, kterého může software klasifikovat jako chodce. Nejlepším umístěním kamery se zdá být z boku komunikace a v dostatečné vzdálenosti a výšce (aby projíždějící cyklista v popředí nezastínil jiné). V tomto případě však nesmí být komunikace využívána i automobily. Ty by mohly zastínit možné projíždějící cyklisty a snížit tím celkovou přesnost detektoru. [12]

Jednou z hlavních výhod využívání videodetekce pro monitoring cyklistické dopravy je její multimodalita, tedy schopnost rozeznávat a monitorovat intenzitu různých módů dopravy. Při použití na stezce, může kamera jednoduše rozlišovat mezi chodci, cyklisty a v případě pokročilého softwaru i dalšími účastníky dopravy (koloběžky, kočárky aj.).

Na Obr. 7 je vidět zorné pole kamery monitorující pohyb chodců a cyklistů u vchodu do pražské Stromovky.



*Obr. 7 Videodetekce chodců a cyklistů v pražské Stromovce [zdroj OICT]*

### 1.5.2. Výhody a nevýhody videodetekce

Výhody:

- Multimodalita

- Neintrusivní detekce (nesnižuje kvalitu vozovky)
- Široký záběr kamery
- Nezáleží na materiálu kola

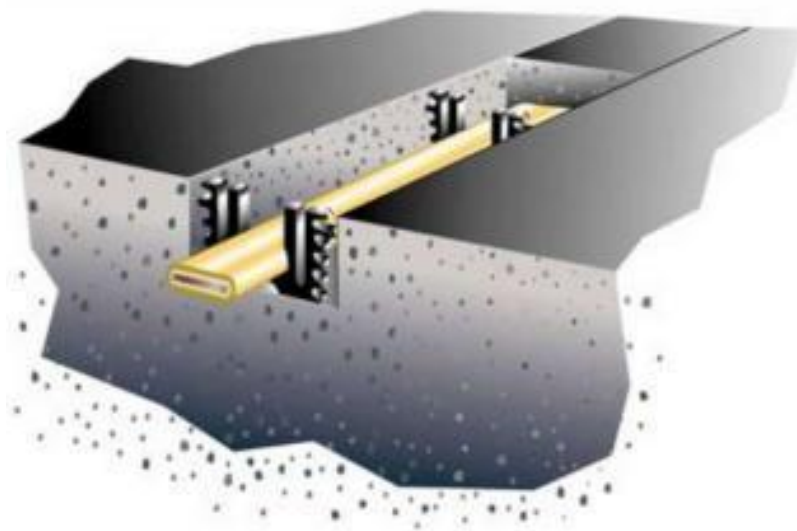
Nevýhody:

- Vysoká pořizovací cena
- Snadno ovlivnitelná povětrnostními podmínkami
- Nutnost instalace na nejbližší sloup veřejného osvětlení nebo na jiný prvek infrastruktury
- Problém s uchováváním záznamu kvůli GDPR

## 1.6. Piezoelektrický detektor

Piezoelektrické detektory sbírají data konvertováním mechanické energie na elektrickou energii. Při stlačení piezoelektrického kabelu dochází ke generování napětí, které je lineárně úměrné působícímu tlaku. To zajišťuje spolehlivost piezoelektrických detektorů k monitorování dopravy. Zároveň je díky tomu možné klasifikovat vozidla. [13]

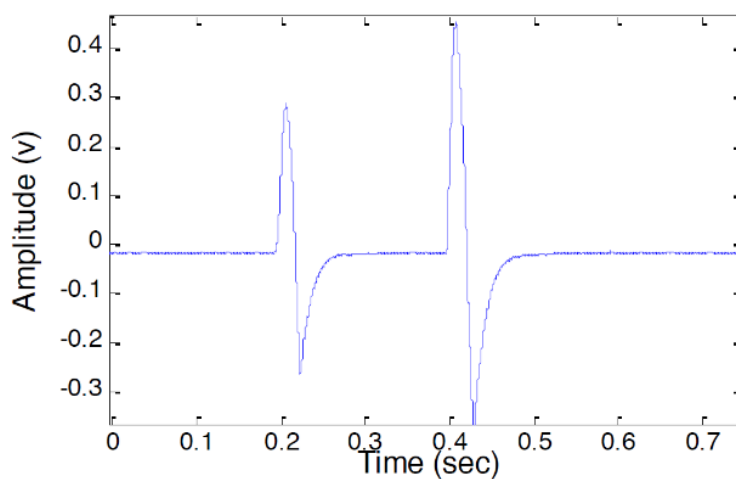
Piezoelektrické detektory se vyrábějí v různých tvarech a velikostech. Pro monitorování intenzity, počítání náprav nebo klasifikaci vozidel se nejčastěji používají dlouhé úzké pásy (vizte Obr. 8). Tyto pásy se používají v trvalých instalacích, kde se instalují těsně pod povrch vozovky. Dalším častým použitím piezoelektrických detektorů je vážení vozidel za jízdy (Weight In Motion). Stejně jako u jiných detektorů zvládnou dva piezoelektrické detektory položené za sebou měřit rychlost a směr vozidel. [13, 14]



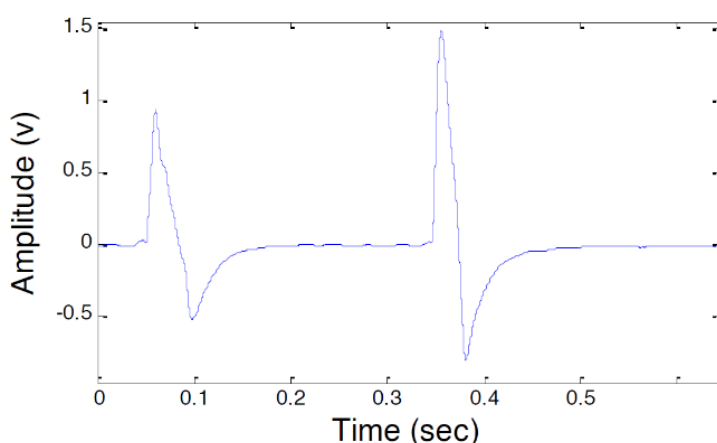
Obr. 8 Ukázka piezoelektrického pásu [15]

### 1.6.1. Využití piezoelektrického detektoru k detekci cyklistické dopravy

Piezoelektrické detektory jsou v současné době čím dál více oblíbenější pro detekci cyklistické dopravy, a to primárně kvůli jejich dodavateli udávané přesnosti a Multimodalitě (zvládnou klasifikovat všechny základní druhy dopravy). Právě Multimodalita je jednou z hlavních výhod, protože piezoelektrický detektor se může umístit na místa, kde přes něj budou kromě kol jezdit i automobily nebo motocykly. Rozdíl v generovaném napětí při průjezdu motocyklu a jízdního kola je vidět na Obr. 9 a Obr. 10. U obou obrázků jsou vidět dvě aktivace piezoelektrického detektoru. Nejprve přední kolo a následně těžší zadní. Je také vidět, že motocykl generuje cca 3x více napětí než jízdní kolo. Právě tento fakt společně s rychlostí spočítanou pomocí druhého piezoelektrického pásu určuje správnou kategorizaci. [16]



Obr. 9 Průběh průjezdu jízdního kola přes piezoelektrický pás [17]



Obr. 10 Průběh průjezdu motocyklu přes piezoelektrický pás [17]

V praxi se nejčastěji používají dva piezoelektrické kabely položené cca 30 cm od sebe a napojené na jedno RSU. Díky tomu se vypočítá rychlost a pomocí té pak vzdálenost

jednotlivých kol jízdního kola od sebe, což zpřesňuje klasifikaci a zároveň to minimalizuje šanci špatné detekce při průjezdu několika cyklistů najednou. Právě to je jeden ze záporů piezoelektrického detektoru. Při průjezdu dvou cyklistů stejnou rychlostí a ve stejný čas může dojít ke špatné klasifikaci a označit průjezd jako jeden skútr nebo motorku, protože napětí generované každým kolem se sečte dohromady. [16]

### **1.6.2. Výhody a nevýhody piezoelektrických detektorů**

Výhody:

- Vysoká přesnost detekce (při použití dvou kabelů)
- Multimodalita
- Možnost použití ve smíšeném provozu (spolu s auty nebo chodci)
- Není ovlivněn povětrnostními podmínkami

Nevýhody:

- Vysoká pořizovací cena
- Intrusivní detektor (při instalaci se musí uzavřít vozovka)
- Snižuje životnost vozovky

## **1.7. Ostatní možnosti detekce jízdních kol**

Výše zmíněné detektory nejsou jediné používané, avšak jsou zdaleka nejčastější. Existuje však několik dalších způsobů k detekci cyklistické dopravy, které jsou však z objektivních důvodů horší.

### **1.7.1. Pasivní infračervené detektory**

Pasivní infračervené (PIR) detektory fungují na principu měření rozdílu teplot mezi snímaným objektem (vozovka) a projíždějícím objektem (vozidlo, cyklista). Tyto detektory se používají pro detekci vozidel a ve složitějším provedení mohou i měřit rychlost. [18, 19]

Hlavním důvodem, proč se PIR senzory nepoužívají pro detekci cyklistů, je jejich neschopnost rozlišovat mezi cyklisty a chodci nebo motocykly. Zároveň nefungují dobře při snížených povětrnostních podmínkách (převážně v mlze). Ve většině případů je výhodnější použití mikrovlnného radaru, který má obdobnou instalaci, ale dosahuje lepších výsledků (i přes vyšší náklady). [18, 19]



### 1.7.2. PYRO detektory

Pyroelektrické infračervené detektory jsou podobně jako PIR detektory jednoduchá zařízení, která se používají pro detekci osob. Pyroelektrický snímač generuje náboj úměrný změně teploty. Tyto detektory se v dopravě používají pro sčítání chodců nebo cyklistů. Nedokáží však rozpoznat, zdali se jedná o cyklistu, chodce, nebo například o zvíře. Zároveň při průchodu více osob nebo cyklistů dochází k detekci pouze jedné osoby. Tyto jednoduché detektory se dají použít spolu s jinými detektory pro zpřesnění detekce. [20]

### 1.7.3. Ultrazvukové detektory

Ultrazvukové detektory vysílají v pravidelných intervalech vlnu a měří čas, než se odražená vlna vrátí zpět. Pokud je časový interval návratu kratší než interval po odražení od vozovky, je detekce pozitivní. Tato technologie se používá například pro měření intenzity ve vozovce, kde je jedno o jaký druh dopravy se jedná. Ultrazvukový detektor totiž nedokáže jednotlivé druhy dopravy od sebe odlišit. Dal by se tedy použít pouze na cestě, kde se pohybují pouze cyklisté.

Ultrazvukový detektor může za detekci označit i například zvíře, takže dochází k velkému procentu špatných záznamů. [19]

## 1.8. Srovnání jednotlivých detektorů

V Tabulka 1 je vidět srovnání jednotlivých technologií. Většina parametrů a rozdělení detektorů vychází z jejich fyzikálních a jiných vlastností, které jsou popsány v kapitole 1 této práce. V tabulce jsou uvedeny následující parametry:

- Možnost sčítání chodců – Zelená je v případě, že detektor bez problémů dokáže rozlišovat mezi chodci a cyklisty a zvláště je sčítat. Oranžová je v případě, kdy senzor dokáže sčítat pěší, ale velmi nespolehlivě a nepřesně. Červená označuje detektory, které pěší detekovat nezvládnou.
- Rozlišení směrovosti (dvou směrů) – Zelená je v případě, že detektor dokáže rozpoznat, jakým směrem cyklista jede. Oranžová v tomto případě není a červená znamená, že detektor nezvládne rozlišovat směrovost cyklistů.
- Rozlišení více než dvou směrů – Zeleně označené pole znamená, že detektor zvládne rozlišit několik různých směrů. Oranžová znamená potřebu instalace více detektorů stejného typu. Červeně označený detektor nezvládne rozlišit směrovost cyklistů.
- Nenáchylné na povětrnostní podmínky – Zeleně označené jsou detektory, na které nemají povětrnostní podmínky vliv. Oranžově označené jsou ty, na které mají vliv pouze extrémní povětrnostní jevy. Červeně jsou ty, na které má vliv většina nepříznivých povětrnostních podmínek (tzn. jsou negativně ovlivněny změnou počasí).

- Detekce nekovových kol – Schopnost detektoru rozpoznat kolo vyrobené z neferomagnetických materiálů. Zeleně označené zvládnou detekovat kola vyrobená z jakýchkoliv materiálů. Oranžové označení znamená, že detektor dokáže rozpoznat kolo, pokud má alespoň malou část z kovu (například kovové ráfky). Červeně označené potřebují k detekci větší množství kovu, tedy nedetekují kola z neferomagnetických materiálů.
- Bez potřeby zásahu do vozovky při instalaci – Rozdělení na intrusivní a neinrusivní. Zelené jsou neinrusivní. Oranžově označené detektory se neinstalují přímo do vozovky, ale musí se k ní specificky přidělat (přilepit, nebo přidělat hřeby). Červená označuje detektory, které vyžadují velký zásah do vozovky (umísťují se do vozovky).
- Nenáchylné na poškození běžným provozem – Zeleně označené jsou senzory, u kterých za normálních podmínek nedojde k poškození běžným provozem. Oranžové jsou takové senzory, na které je vyvíjen konstantní tlak a u kterých tak může dojít k poškození. Červeně označené jsou takové detektory, u nichž dochází běžně v provozu k poškození. U tohoto parametru není bráno v úvahu úmyslné poškození.
- Možnost sčítání několika cyklistů projíždějících najednou – Zelená označuje detektory, které zvládnou detekovat i skupinky několika cyklistů najednou. Oranžová označuje detektory, u kterých to možné je, ale s menší přesností nebo za určitých podmínek (například při zachování minimálního časového rozestupu 25 milisekund). Červená je v případě, že detektor nezvládá detekci více než jednoho cyklisty blízko sebe.
- Bez nutnosti připojení k el. síti – Tento parametr rozlišuje detektory na ty, které musejí být připojeny k síti a ty, které nemusejí. Zelené jsou takové, které se nejčastěji používají bez připojení k síti. Oranžové jsou takové, které mohou teoreticky mít v sobě baterii, která by jim dovolila fungování po omezenou dobu. Červeně jsou označeny ty, které spotřebují tolik energie, že musejí být připojeny k síti.

	Indukční smyčka	Pneumatický detektor	Mikrovlnný radar	Magnetometrický detektor	Videodetekce	Piezoelektrický detektor
Možnost sčítání chodců	Red	Yellow	Green	Red	Green	Green
Rozlišení směrovosti	Green	Green	Green	Red	Green	Green
Rozlišení více než dvou směrů (použití v křižovatce)	Yellow	Yellow	Yellow	Red	Green	Yellow
Nenáchylné na povětrnostní podmínky	Green	Green	Yellow	Green	Red	Green
Detekce nekovových kol	Yellow	Green	Green	Red	Green	Green
Bez potřeby zasahovat při instalaci do vozovky	Red	Green	Green	Red	Green	Red
Nenáchylná na poškození běžným provozem	Yellow	Red	Green	Yellow	Green	Yellow
Možnost sčítání několika cyklistů projíždějících najednou	Yellow	Yellow	Green	Red	Green	Yellow
Bez nutnosti připojení k el. síti (fungování pouze s baterií)	Yellow	Green	Yellow	Green	Red	Yellow

Tabulka 1 Srovnání technologií pro sčítání cyklistické dopravy

## 2. Definice příkladů užití detektorů cyklistické dopravy

K odhalení různých příkladů užití a jejich následnému definování byly v první řadě projity místa v Hlavním městě Praze, kde již k monitoringu cyklistické dopravy dochází. Tato místa jsou následně rozdělena do několika sad na základě různých odlišností. Například zdali se sčítač nachází v místě provozu osobních automobilů, nebo se jedná o oblast pro automobily nepřístupnou. Další příklady užití byly vybrány na základě doporučení definovaných dodavateli cyklosčítačů.

V následující části práce jsou popsány jednotlivé zkoumané příklady použití.

### 2.1. Příklady užití v provozu s automobily

Při použití v komunikaci nebo vedle komunikace na které probíhá provoz osobních automobilů se dá očekávat, že vybraný cyklosčítač nebude mít problém s rozlišením kola od automobilu a že jeho provoz nebude nijak rušen projíždějícími auty. Zároveň se může stát, že řidiči zastaví vozidla na kraji vozovky a cyklista je tak musí objet, pokud se toto stane v místě, kde je cyklosčítač, tak nemusí dojít k detekci. Toto je třeba brát v úvahu při výběru technologie. [21]

#### 2.1.1. Smíšený provoz s automobily (cyklistický piktokoridor)

Prvním příkladem užití cyklosčítače je sčítání cyklistů na komunikaci s běžným provozem automobilů. V některých případech může být jízdní pruh doplněn o cyklopiktokoridor, který označuje doporučenou trasu pro cyklisty a zároveň upozorňuje řidiče na možnost přítomnosti cyklistů v jejich jízdním pruhu. Přítomnost nebo nepřítomnost cyklopiktokoridoru však nijak neovlivňuje cyklosčítač. [21]

Speciální verze provozu cyklistů s automobily může být také vyhrazený pruh pro vozidla veřejné hromadné dopravy a jízdní kola. Z hlediska cyklistů je tato verze znatelně bezpečnější a klidnější, protože jde o druh preference MHD a cyklistické dopravy. Používá se zejména v místech s vysokou intenzitou provozu motorové dopravy. [22]

Příklad počítání jízdních kol po celé délce komunikace je vidět na cyklosčítači v pražských Hlubočepích (Obr. 11).



*Obr. 11 Indukční smyčky po celé šířce komunikace [zdroj vlastní]*

Může nastat situace, kdy je třeba počítat jízdní kola ve smíšeném provozu, avšak mezi chodníkem se stožáry veřejného osvětlení, na které se nejčastěji umísťují cyklosčítače, a jízdním pruhem se nachází parkovací pruh. V tomto případě je sčítání jízdních kol značně ztíženo, protože intrusivní detektory nemusí být v hustém provozu tak přesné, a naopak neintrusivní detektory nemusí mít dostatečný výhled na komunikaci. I přes poslední jmenovaný problém se dnes v Praze v těchto případech nejčastěji používají mikrovlnné radary.

### **2.1.2. Provoz vedle automobilů (cyklopruh)**

Tento příklad užití je často k vidění ve městech v místech, kde jsou široké ulice (jízdní pruh je širší než 3,5 m). Jde o vyhrazený nebo ochranný cyklopruh mezi jízdním pruhem pro automobily a chodníkem.

Ochranný cyklopruh se používá v místech, které jsou užší (šířka jízdního pruhu s ochranným pruhem musí být nejméně 3,75 m), aby si případně větší vozidla do něj mohla najet. Proto do něj mohou okolní vozidla volně zasahovat. Na druhou stranu do vyhrazeného cyklopruhu už mohou vozidla vjíždět jen ve výjimečných situacích. Šířka jízdního pruhu s přidruženým vyhrazeným cyklopruhem je standardně 4,75 m. [23]

Velmi podobný jako vyhrazený cyklopruh je i samostatný jednosměrný cyklistický pás, který se používá v jednosměrných komunikacích, aby cyklisté mohli jet oběma směry. Příkladem je cyklistický pás v Pelléově ulici v Praze (Obr. 12).



*Obr. 12 Příklad samostatného jednosměrného cyklistického pásu [zdroj vlastní]*

Stejně jako u smíšeného provozu s automobily, může i zde nastat situace, kdy je třeba sčítat jízdní kola v cyklopruhu přes zaparkovaná vozidla. Za těchto podmínek se nejčastěji v prostředí Prahy používají mikrovlnné radary, které jsou usazeny ve výšce cca 2 metrů. V případě, že před radar zaparkuje vyšší vozidlo, například dodávka, neuvidí radar nic, což může značně zkreslovat data z dané oblasti. Příkladem může být radar v pražských Vršovcích (Obr. 13).



*Obr. 13 Cyklosčítač počítající cyklisty v ochranném cyklopruhu [zdroj vlastní]*

### 2.1.3. Stezka s možným průjezdem automobilů

Tato situace nastává v místech, kde je značně větší intenzita pěších a cyklistů oproti automobilům. V centrech měst se s tímto případem užití lze setkat pouze v oblastech, kam je omezený vjezd vozidel, a naopak umožněn volný pohyb cyklistů a pěších, tedy nejčastěji v pěších zónách.

Příklad může být příjezd na Císařský ostrov v Praze (Obr. 14). Při dopravním průzkumu na této lokalitě byla intenzita 5 automobilů za hodinu, ale zároveň se zde hojně pohybují cyklisté, pěší i jezdcí na koních (na ostrově se nachází jezdecká hala a stáje). Na této lokalitě probíhá sčítání pomocí indukčních smyček.



*Obr. 14 Cyklostezka s volným pohybem automobilů [zdroj vlastní]*

## 2.2. Příklady užití v oblasti bez normálního provozu automobilů

Použití cyklosčítačů mimo komunikace pro motorová vozidla je v mnohém snazší. Zejména kvůli tomu, že auta mohou stínit cyklisty nebo vyvolávat false-positive záznamy (detektor započítá průjezd cyklisty, i přesto, že projelo auto a ne cyklista). Právě proto jsou na těchto místech nižší požadavky na cyklosčítač. Na druhou stranu může též chybět infrastruktura pro něj potřebná (např. chybějící stožáry veřejného osvětlení, nebo dokonce přívod elektrického proudu).

### 2.2.1. Stezka pro chodce a cyklisty

Jedním z nejčastějších míst, kde dochází k počítání projíždějících cyklistů, je stezka pro chodce a cyklisty, případně cyklostezka. Jednou z hlavních vlastností je, že na toto místo nesmějí vjet motorová vozidla. V praxi zde však mohou projet vozidla údržby nebo jiná dopravní obsluha, avšak jejich počet nepřesáhne jednotky denně.

Stezky pro chodce a cyklisty mohou dosahovat různých šířek od 3 metrů do více než 10 metrů (například Pražská náplavka má pod Vyšehradským železničním mostem šířku přibližně 16 metrů). U cyklostezky je minimální šířka 2 metry. [24]

Častou charakteristikou stezky pro chodce a cyklisty je monitoring nejen cyklistické, ale i pěší dopravy. V těchto případech se používají technologie, které jsou schopné sčítat oba druhy dopravy.

Příkladem je stezka v ulici Povltavská a zároveň cyklostezka A2 mezi Trojským mostem a pražskou Zoo (Obr. 15). Na tomto úseku je vhodné sčítat oba dopravní módy, avšak v současné době probíhá sčítání pouze cyklistické dopravy, a to pomocí indukčních smyček.



*Obr. 15 Stezka pro cyklisty a chodce v pražské Troji [zdroj vlastní]*

#### 2.2.1.1. Stezka pro chodce a cyklisty na chodníku

Samostatným příkladem užití cyklosčítače je chodník u silnice s povoleným vjezdem cyklistů. Tato lokalita je rozdílná v tom, že okolní motorová vozidla mohou ovlivňovat monitoring cyklistické dopravy, zároveň není na této lokalitě dostatek místa.



### **2.2.1.2. Nezpevněná stezka**

Další variantou sčítání jízdních kol na stezce pro chodce a cyklisty je nezpevněná stezka. Tato lokalita se nejčastěji nachází mimo urbanizované prostředí, a to z toho důvodu, že ve městech jsou často užívané cyklostezky, kde je třeba monitorovat pohyb cyklistů, zpevněné. Nezpevněné cesty s potřebou sčítání počtu projíždějících kol se mohou nacházet například v národních parcích, kde je monitoring osob důležitý. Tato lokalita se může též nacházet podél řek. Například podél Labe vede několik důležitých cyklostezek, které jsou mezi městy nezpevněné (Labská cyklostezka 2).

Hlavní charakteristikou nezpevněných stezek je nedostupnost elektrického proudu. Proto se musí nejčastěji používat cyklosčítače s vlastní baterií případně v kombinaci se solárním panelem. Zároveň se pro úsporu energie často data neodesílají, nýbrž uchovávají přímo v cyklosčítači. Případně se odesílají v delších intervalech, například jednou denně. [11]

### **2.2.1.3. Stezka pro chodce a cyklisty na lávce**

Tento příklad užití je oproti stezce na chodníku rozdílný pouze v tom, že se jedná o úzkou lávku/most, po které nejedí vozidla. V tomto případě záleží umístění cyklosčítače na typu lávky. Pokud se nachází na lávce osvětlení, tak je tam i nataženo elektrické vedení a sčítač se tedy může nacházet na samotné lávce a ne v těsné blízkosti před ní.

V Praze se tato situace vyskytuje celkem často. Lávka totiž slouží jako úzké hrdlo, kam se mohou sjíždět cyklisté z blízkých stezek, aby překročili řeku nebo silnici. Na Obr. 16 je vidět lávka mezi Prosekem a Letňany, která přemostuje pražský okruh (ulici Kbelská). Na tomto místě se monitoruje cyklistická doprava pomocí mikrovlnného radaru, který je vidět vpravo na sloupu veřejného osvětlení.



*Obr. 16 Lávka z Proseku do Letňan [zdroj vlastní]*

#### **2.2.1.4. Křižovatka na stezce pro chodce a cyklisty**

Na rozdíl od klasické křižovatky pro motorová vozidla jde v praxi na křižovatce na stezce pro chodce a cyklisty monitorovat jejich pohyb, a to kvůli tomu, že v okolí nejsou vozidla, která by stínila jízdní kola a zároveň kvůli tomu, že je na to dostatečně úzká.

Příkladem lokality, kde probíhá sčítání cyklistů v křižovatce je pražský Radotín, resp. nájezd na Radotínský most pro cyklisty na křižovatce cyklostezek A1 a A102 (Obr. 17). Sčítání zde probíhá pomocí mikrovlnného radaru umístěného v přímé blízkosti křížení.



*Obr. 17 Křižovatka na stezce pro cyklisty a chodce v pražském Radotíně [zdroj vlastní]*

### 3. Testování a analýza dat

Cílem této kapitoly je otestování jednotlivých technologií v praxi, posbírání dat pro datovou analýzu a následně vyhodnotit přesnosti různých technologií. Původní účel testování bylo ověření přesnosti pro objednatele jednotlivých cyklosčítačů. Toto testování probíhalo ve druhé polovině roku 2022. Jednalo se o ruční sčítání všech dopravních prostředků nebo osob procházejících v místě, kde probíhá sčítání pomocí cyklosčítače.

Testování probíhalo na cyklosčítačích v době psaní nasazených v Praze. Jedná se o 30 lokalit, kde je instalována indukční smyčka, nebo mikrovlnný radar (případně jejich kombinace) a 2 lokality, kde jsou nasazeny kamery. Dále proběhlo vlastní šetření s pneumatickým detektorem.

Data z ručního sčítání byla následně napárována s daty z cyklosčítačů poskytnutých od pražské datové platformy Golemio.

#### 3.1. Postup při testování a jeho výsledky

Během testování se ručně sčítaly jednotlivé módy dopravy (cyklisté i pěší v místech, kde byla videodetekce nebo radar), data o pohybu pěších nebyly v rámci této práce brána v úvahu. Testování probíhalo na každé lokalitě po dobu jedné hodiny v ranní špičce (nejčastěji mezi 7:30 a 9:30) a po dobu jedné hodiny v odpolední špičce (mezi 16:00 a 18:00). Ruční data se následně napárovala s daty ze sčítačů. Pro každou lokalitu, směr i čas se tak mohla vypočítat přesnost technologie. Ta se počítala podle následujícího vzorce:

- Pokud byl počet kol spočítaných na místě menší, než počet daný detektorem použil se následující vzorec:  $Přesnost = \frac{\text{počet kol spočtených na místě}}{\text{počet kol spočtených detektorem}} * 100$
- Pokud byl počet kol spočítaných na místě větší, než počet daný detektorem použil se následující vzorec:  $Přesnost = \frac{\text{počet kol spočtených detektorem}}{\text{počet kol spočtených na místě}} * 100$

V Tabulka 2 je vidět příklad výstupu z testování z lokality na stezce okolo Rokytky.

Datum testování	Čas testu	Venkovní teplota	Počasí	Směr pohybu objektů	sčítání cyklistů		
					Počet na místě	detektor	souhrn Přesnost
čtvrtek 25.8.2022	9:00 - 10:00	20 °C	jasno	O2 Arena ul. U elektry	30	18	60 %
					23	23	100 %
	16:30 - 17:30	26 °C	jasno	O2 Arena ul. U elektry	55	49	89 %
					102	101	99 %

Tabulka 2 Příklad výstupu z testování jedné lokality

K jednotlivým lokalitám byl přiřazen jeden z definovaných příkladů užití z kapitoly 2 a následně se vypočítala průměrná přesnost. Jelikož na každé lokalitě jsou dva směry, které nemusí mít stejný příklad užití (například v jednom směru se může nacházet cyklopruh a v druhém směru pouze cyklopiktokoridor navíc vlevo od parkovacího pruhu), tak je v rámci analýzy brán každý směr zvlášť. Celkem se jedná o 64 lokalit. Výsledky jsou vidět v Tabulka 3. Z této tabulky je vyjmut případ užití “nezpevněná stezka,” protože v oblasti Prahy, kde bylo prováděno testování se žádný cyklosčítač na nezpevněné stezce nenachází. Dále se z dat muselo vyjmout několik směrů, nebo celých lokalit z důvodu výpadku v době testování (celkem se jedná o 9 z 64 lokalit, tyto lokality jsou v rámci celkového počtu uvažovány). Jednou z lokalit s kompletním výpadkem je cyklosčítač v Radotíně, což je jediná lokalita použitá v křižovatce. Přesnost je počítána jednoduchým průměrem dílčích přesností. Není brána v úvahu váha počtu průjezdů, jelikož je několik lokalit, na kterých projelo několikanásobně více cyklistů než na jiných a přesnosti těchto lokalit by značně ovlivnily celkové přesnosti.

Příklad užití	průměrná přesnost bez ohledu na použitý sčítač
smíšený provoz s automobily	63 %
smíšený provoz s automobily vlevo od zaparkovaných aut	49 %
cyklopruh	60 %
cyklopruh vlevo od zaparkovaných aut	41 %
stezka s možným průjezdem automobilů	87 %
stezka pro cyklisty a chodce	77 %
stezka pro cyklisty a chodce / lávka	85 %
stezka pro cyklisty a chodce na chodníku	69 %

*Tabulka 3 Jednotlivé příklady užití a přesnost cyklosčítačů na nich*

Pro každý příklad užití připadají nejméně 3 lokality (resp. směry). Přesnost je vypočítána bez ohledu na druh detektoru. Z těchto dat je vidět, že v místech, kde se pohybují automobily, dosahují technologie nižší přesnosti, což je předpokládatelný jev.

Na všech výše zmíněných příkladech užití jsou použity indukční smyčky i mikrovlnné radary, s výjimkou cyklopruhu vedle zaparkovaných aut a smíšeného provozu s automobily vedle zaparkovaných automobilů, kde je použit pouze radar. Videodetekce byla použita na dvou lokalitách, které spadají do stezky pro chodce a cyklisty a do stezky možným průjezdem automobilů. Pro každou technologii zvlášť byla též spočítána průměrná přesnost bez ohledu na lokalitu nebo příklad užití. Tyto přesnosti jsou níže:

- Mikrovlnný radar - 64 %
- Indukční smyčky - 80 %
- Videodetekce - 86 %

## 3.2. Výsledky pro každý příklad užití

V této kapitole jsou po jednom rozebrány všechny příklady užití a technologie na nich použité cyklosčítače. U většiny příkladů jsou porovnávány pouze indukční smyčky s mikrovlnným radarem, protože jsou tyto technologie momentálně nejčastěji používané v oblasti Prahy.

### 3.2.1. Smíšený provoz s automobily

Z 64 testovaných lokalit s monitoringem pohybu cyklistů bylo 10 ve smíšeném provozu s automobily. Z těchto 10 lokalit měly 3 výpadek. 2 z důvodu stavby na Smetanově nábřeží a 1 měla dlouhodobý výpadek, pravděpodobně z důvodu fyzického poškození indukční smyčky, které bylo odpozorováno na místě. Ze zbývajících 7 lokalit jsou na 3 z nich instalovány indukční smyčky a na 3 jsou instalovány mikrovlnné radary. Na poslední lokalitě jsou instalovány obě technologie, avšak data z nich jsou zprůměrována na straně dodavatele technologií, výsledek tedy nelze přiřadit ani jedné z technologií. Průměrné přesnosti technologií na těchto šesti lokalitách jsou níže:

- Mikrovlnný radar - 41 %
- Indukční smyčky - 89 %

Zásadní rozdíl mezi lokalitami, který by mohl vysvětlit míru nepřesnosti mikrovlnného radaru je intenzita automobilové dopravy. 2 radary se totiž nacházejí na Plzeňské ulici v Praze, kde projede v pracovní den okolo 20 000 vozidel. Mnoho vozidel projede v oblasti relativně nízkou rychlostí. Ty může radar, který klasifikuje primárně na základě rychlosti, vyhodnotit jako průjezd cyklisty. [25]

### 3.2.2. Smíšený provoz s automobily vlevo od zaparkovaných automobilů

Na vozovce se smíšeným provozem cyklistů a automobilů vlevo od zaparkovaných automobilů se nachází celkem 5 lokalit, z nichž 1 měla výpadek. Ve všech případech monitorují počet cyklistů mikrovlnné radary. Souhrnná přesnost radarů na tomto příkladu užití je relativně nízkých **49 %**. Z pozorování na jednotlivých lokalitách je zřejmé, že za nízkou přesnost může fakt, že radar je vždy umístěný na sloupu veřejného osvětlení a je namířený na vozovku skrz parkující vozidla. V případě, kdy je v zorném poli radaru nižší auto, tak je část cyklisty zakrytá. V případě, že se v parkovacím pruhu nachází vyšší vozidlo, například dodávka, je zorné pole radaru zakryto zcela.

Data potvrzují, že pokud se mezi chodníkem (kde se nejčastěji umísťuje radar) a vozovkou nachází parkovací pruh, tak se přesnost sčítání zhoršuje průměrně o 17 %. Indukční smyčky

se v tomto případě použijí jen velmi obtížně. Parkující auta mohou totiž jejich přesnost značně zkreslovat.

### 3.2.3. Cyklopruh

Cyklopruh je reprezentován pouze čtyřmi lokalitami z nichž jedna měla v době testování dlouhodobý výpadek. Zbylé 3 lokality jsou rozděleny mezi radar a indukční smyčku v poměru 2:1. Přesnost technologií na cyklopruhu je následující:

- Mikrovlnný radar - 57 %
- Indukční smyčky - 78 %

Ani jedna z technologií nemá příliš vysokou přesnost. S největší pravděpodobností to má opět spojitost s provozem automobilů v blízkosti cyklistické dopravy. Nepřesnost indukční smyčky může být ovlivněna projíždějícími automobily. Ve chvíli, kdy bude automobil projíždět blízko cyklopruhu, kterým ve stejnou chvíli pojedou cyklista, tak může snadno dojít k jeho „zastínění“. Tedy smyčka bude indukovat napětí na základě průjezdu automobilu i kola a signál bude natolik zkreslený, že nedojde k rozpoznání cyklisty, a tedy ani k detekci.

Rozdíl oproti smíšenému provozu je ten, že cyklopruhem může projíždět cyklista a ve stejnou chvíli vedle něj projede automobil. Může tedy dojít k výše zmíněnému zastínění smyčky, ale zároveň i k zastínění radaru.

### 3.2.4. Cyklopruh vlevo od zaparkovaných automobilů

Cyklopruh vlevo od zaparkovaných automobilů je na tom velmi podobně jako smíšený provoz s automobily vlevo od zaparkovaných automobilů. K dispozici jsou také data ze 4 lokalit. Na všech 4 jsou instalovány mikrovlnné radary. Průměr přesnosti těchto 4 radarů je pouze **41 %**. Tedy v průměru dojde k detekci pouze 4 cyklistů z 10.

Nízká přesnost je s největší pravděpodobností opět spojena s parkujícími vozidly mezi radarem a cyklopruhem. Na jedné lokalitě během jednoho ze dvou testování stála vysoká dodávka, která částečně zakrývala zorné pole radaru. Další faktor, který mohl ovlivnit přesnost je kolmé parkování na jedné z lokalit. Kolmé parkovací stání zabírá mezi chodníkem a cyklopruhem více místa a vozidla tak ještě více zastiňují zorné pole radaru. Tato situace je vidět na Obr. 18 (radar se nalézá na sloupu veřejného osvětlení v levé části fotografie).



*Obr. 18 Cyklopruh vlevo od zaparkovaných vozidel [zdroj vlastní]*

### **3.2.5. Stezka s možným průjezdem automobilů**

Posledním příkladem užití v provozu s automobily je stezka s možným průjezdem automobilů. Těchto lokalit se v testovaném vzorku nachází 6. 2 lokality jsou osazeny indukčními smyčkami, 2 lokality mikrovlnnými radary a 2 lokality videodetekcí. Přesnosti jednotlivých technologií pro tento příklad užití jsou následující:

- Mikrovlnný radar - 91 %
- Indukční smyčky - 89 %
- Videodetekce - 79 %

Ze všech použití s motorovými vozidly je právě stezka, na které se pohybuje minimální počet automobilů, ta nejvíce vhodná pro monitoring cyklistické dopravy. Překvapivě nejhorších výsledků dosahuje videodetekce. To je pravděpodobně způsobeno umístěním kamer. Ty jsou obě připevněny ze spodní části Vyšehradského železničního mostu nad výtoňskou náplavkou. Jedna z kamer je namířena na jih od mostu a druhá na sever. Kamery zabírají cyklisty jedoucí k nim nebo od nich pod úhlem cca 30°, snadno tak může dojít k nerozpoznání jedoucího cyklisty.



Na všech lokalitách byl zaznamenán nízký počet automobilů (mezi 5 a 20 za hodinu), což má jistě také vliv na přesnost jednotlivých technologií.

### **3.2.6. Křižovatka na stezce pro cyklisty a chodce**

Křižovatka na stezce pro cyklisty a chodce je reprezentována pouze jednou lokalitou se třemi směry. Tento radar, ač má v záběru celou křižovatku, počítá pouze cyklisty jedoucí z a do jednoho ramena křižovatky. Na této lokalitě byly provedeno hned několik testování, avšak ve všech případech měl radar výpadek.

Pro tento příklad užití tedy nejsou žádná relevantní data. Nelze tedy zhodnotit, jak se na něm jednotlivé technologie chovají.

### **3.2.7. Stezka pro cyklisty a chodce**

Stezka pro cyklisty a chodce je nejvíce zastoupeným příkladem užití co se počtu lokalit týče. Testováno bylo celkem na 22 lokalitách, které pod ní spadají. Z toho na 14 lokalitách jsou instalovány indukční smyčky, na 6 jsou mikrovlnné radary a na 2 je videodetekce. Průměrná přesnost těchto technologií je následující:

- Mikrovlnný radar - 69 %
- Indukční smyčky - 78 %
- Videodetekce - 94 %

Z dat je vidět, že nejlépe si vede videodetekce. Ta je instalována v parku Stromovka a zvládá hlídat oba směry. Kamera je namířena kolmo na stezku, vidí tedy projíždějící cyklisty z profilu, což značně vylepšuje její přesnost (záběr této kamery je vidět na Obr. 7).

U indukčních smyček v tomto případě velmi záleží na jejich instalaci. Například na stezce okolo Rokytky v pražských Vysočanech dosahují indukční smyčky v jednom směru přesnosti 100 %, což je způsobeno instalací přes celou šíři stezky bez možnosti objetí. Naopak na lokalitě v pražských Modřanech, kde jsou smyčky nainstalovány přes celou šíři cyklostezky podél Vltavy, docházelo během testování k častému objíždění stezky po nezpevněném povrchu vedle ní. To mohlo být způsobeno procházejícími chodci, které se cyklisté rozhodli objet anebo zpomalovacími polštáři, které byly položeny v místě indukčních smyček.



Obr. 19 Lokalita v pražských Modřanech [zdroj vlastní]

### 3.2.8. Stezka pro cyklisty a chodce na lávce

Stezka pro cyklisty a chodce na lávce je velmi podobná klasické stezce pro cyklisty a chodce, má však jednu výhodu: pomyslný bod detekce umístěný na lávce se nedá objet. To však souvisí s tím, že se vybraná technologie musí umístit přímo na lávku a RSU od ní se musí dát mimo lávku, tedy na nejbližší sloup veřejného osvětlení nebo značku.

V testovaném vzorku byly celkem 3 lávky. Na všech se měří oba směry, takže dohromady to je 6 lokalit. Na 2 lokalitách měří indukční smyčky. Na zbylých 4 mikrovlnné radary. Přesnost těchto technologií je následující:

- Mikrovlnný radar - 89 %
- Indukční smyčky - 77 %

Mikrovlnné radary v tomto případě dosahují větší přesnosti kvůli lokalitě na Drážní stezce Vítkov, kde je radar umístěn ještě před samotným mostem a jeho zorné pole zabírá druhou stranu, než je samotný most.

Indukční smyčky dosahují nižší přesnosti, než je jejich celkový průměr. V tomto případě je těžké stanovit důvod pro jejich nepřesnost. Může to být například ovlivnění funkčnosti indukční smyčky kovovou konstrukcí lávky.

### 3.2.9. Stezka pro cyklisty a chodce na chodníku

Stezek pro cyklisty a chodce na chodníku vedle silnice není tolik jako jiných příkladů užití. Z 64 zkoumaných lokalit jich pro tento příklad užití připadá 5. Ve 2 případech se jedná o nájezd na chodník na most (lokalita Nuselský most na Praze 2). Ve zbylých případech se jedná o chodník s povoleným vjezdem cyklistů. Na dvou lokalitách jsou instalovány mikrovlnné radary. Na zbylých jsou instalovány kombinace mikrovlnných radarů a indukčních smyček. Níže jsou přesnosti těchto dvou technologií:

- Mikrovlnný radar - 98 %
- Kombinace radaru a smyčky - 50 %

Vzhledem k tomu, že není jasné, jakým způsobem se vyhodnocuje kombinace dvou různých technologií, nelze tento případ nijak vyhodnotit. Je například možné že jedna technologie měla přesnost 100 % a druhá měla výpadek a algoritmus má pouze naučeno dělat z těchto čísel průměr, což by alespoň vysvětlilo výslednou přesnost 50 %.

Mikrovlnnému radaru se na druhou stranu daří výborně. Této přesnosti dosáhly 2 mikrovlnné radary umístěné na Podolském nábřeží a namířené každý na jednu stranu chodníku.

### 3.3. Testování pneumatického detektoru

Pro ověření více technologií z kapitoly 1 proběhlo testování i s dostupným pneumatickým detektorem. Tento detektor byl k testování zapůjčen z laboratoře Katedry dopravní telematiky fakulty dopravní ČVUT. Jedná se o pneumatický detektor MC5600 od společnosti MetroCount. Jedná se o starší technologii z roku 2009 což může ovlivnit výsledky testování. Zároveň je přednostně určen pro monitoring automobilové dopravy.

Testování proběhlo nejdříve v uzavřeném prostředí pro zprovoznění detektoru a aplikace pro jeho ovládání. Právě tato aplikace se ukázala být prvním problémem, jelikož je stavěna pro operační systém Windows XP a její zprovoznění není snadné, navíc není jisté, zda si aplikace udrží všechny funkcionality i na novějším operačním systému.

#### 3.3.1. První testování

Po zprovoznění ovládání byl detektor přemístěn na účelovou komunikaci s minimálním pohybem vozidel. Trubice od detektoru byly umístěny paralelně ve vzdálenosti 1 metr od sebe, tímto způsobem by měl mít detektor nejsnazší kategorizaci a zároveň by měl zvládnout stanovovat rychlost projíždějících vozidel.

Při tomto testování byl detektor po celou dobu připojen k počítači, pro snazší práci s ním a okamžité zobrazení průjezdů. Bohužel i při vyzkoušení několika různých nastavení detekce nedošlo k detekci průjezdu jízdního kola. Pro ověření funkčnosti detektoru byl následně testován průjezd jinými dopravními prostředky. Jako první byl zvolen moped, u kterého při nízké rychlosti taktéž nedošlo k detekci. Při rychlejším průjezdu byla zaznamenána první detekce. Jako další byl testován automobil. K jeho detekci došlo při jakékoliv rychlosti, avšak nedošlo ke kategorizaci a data se tak neuložila.

Každý export z testování byl prázdný. Po několika hodinách tak byl první test ukončen jako neúspěšný.

Druhé testování proběhlo v parku, kde se často pohybují cyklisté. Trubice od detektoru byly položeny paralelně přes celou šířku cesty a detektor aktivován. Na rozdíl od prvního testování zde k detekci došlo. Připravený detektor je k vidění na Obr. 20.



*Obr. 20 Pneumatický detektor instalovaný na stezce [zdroj vlastní]*

Během hodinového testování projelo oblastí 12 cyklistů. Zásadní problém pneumatického detektoru se ukázal být strach cyklistů z jeho průjezdu. Většina cyklistů se trubici pokusila objet

přes trávník, nebo kvůli průjezdu velmi zpomalili. Bez zpomalení nebo vyhnutí se projeli přes trubici 3 cyklisté. Zároveň s tím byla pro ověření trubice přejížděna na mopedu, u kterého by mělo dojít spíše k detekci kvůli jeho vyšší váze a vyšší rychlosti průjezdu (mezi 20 a 30 km/h). Těchto průjezdů bylo provedeno 20.

Detektor zaznamenal průjezd mopedu celkem 13krát a cyklistu zaznamenal pouze jednoho. Rychlost všech objektů byla mezi 20 a 30 km/h. Zdá se tedy, že detektor má zásadní problém s pomalu jedoucími objekty. Dle manuálu dodaného s detektorem by objekty pohybující se rychleji než 10 km/h nemělo být problém detekovat, toto tvrzení se však primárně vztahuje na automobily, protože tento detektor je určený právě k jejich detekci.

Nejcennějším závěrem tohoto testování tedy je vyzpozorované chování cyklistů, když vidí před sebou na zemi pneumatický detektor. Kvůli nevědomosti ho ve většině případů neprojedou v plné rychlosti. Naopak buďto se rozhodnou zpomalit nebo se detektoru vyhnout úplně.

### **3.4. Testování karbonového kola na indukční smyčce**

Pro ověření, zdali dokáže indukční smyčka detekovat kolo s co nejnižším počtem kovu, byl proveden test. Test probíhal ve středu 17.04.2024, když byla venkovní teplota pouhých 9 °C na Císařském ostrově v Praze. Na této lokalitě byla během předešlého testování naměřena přesnost 89 %. Test sestával z počítání průjezdů karbonového kola přes indukční smyčku a sčítání těchto průjezdů. Zároveň byl započítáván ostatní provoz proudící přes indukční smyčku do samostatné kategorie. Samotné testování karbonového kola trvalo 10 minut (2 pětiminutové intervaly). K tomu bylo provedeno stejně dlouho trvajícím referenčním měřením pro ověření přesnosti smyčky. Bohužel vzhledem k počasí se na místě pohybovalo malé množství cyklistů, a naopak velké množství automobilů.

V dnešní době jsou nejčastější dva druhy karbonových kol. Jedno má karbonový rám a zbytek kola z levnějšího kovu a druhé je celokarbonové. Tudíž ráfky, které jsou nejčastěji detekovanou částí (z celého kola jsou nejbliž zemi), jsou také karbonové. Jízdní kolo použité k testu je celokarbonové. Jediné součásti, které by teoreticky mohly být detekovány indukční smyčkou jsou v tomto případě dráty pro výplet kola.

Výsledky testu jsou s největší pravděpodobností kvůli nízkému provozu ostatních kol nejednoznačné. Během jednoho z ověřovacích pětiminutových intervalů projely přes indukční smyčku pouze dva automobily. Indukční smyčky ovšem zaznamenaly průjezdů 6. Kde se tyto záznamy vzaly není možné určit. Ve třech ostatních ověřovacích intervalech byla přesnost 100 % (buďto neprojelo žádné jízdní kolo a žádné nebylo zaznamenáno, nebo projely dvě a byly zaznamenány dvě).

V Tabulka 4 jsou uvedeny výsledky z testování. Přesnosti jsou počítány následovně:

- Přesnost detekce normálních kol =  $\frac{\text{počet klasických kol}}{\text{data z indukční smyčky}} * 100$  pro případ kdy indukční smyčka ukazuje více kol, než v realitě projelo. V případě, kdy projelo více kol, než bylo spočítáno, tak budou data z indukční smyčky vydělena počtem kol napočítaným na místě.
- Přesnost celková =  $\frac{\text{počet klasických kol} + \text{počet karbonových kol}}{\text{data z indukční smyčky}}$
- Přesnost detekce karbonových kol =  $\frac{\text{data z indukční smyčky} - \text{počet klasických kol}}{\text{počet karbonových kol}}$

V případě, že bylo detekováno 0 a zároveň projelo 0 jízdních kol byla přesnost stanovena na 100 %. U přesnosti detekce karbonových kol bylo uvažováno, že všechna klasická kola byla detekována.

směr		14:40 - 14:45	14:45 - 14:50	14:50 - 14:55	14:55 - 15:00
Stromovka	klasické kolo	0	2	3	0
	karbonové kolo	0	0	9	22
	automobil	6	7	4	6
	koloběžka			1	
	data z indukční smyčky	0	2	7	2
	přesnost detekce normálních kol	100 %	100 %	43 %	0 %
	přesnost celková			58 %	9 %
	přesnost detekce karbonových kol			44 %	9 %
Troja	klasické kolo	0	0	2	1
	karbonové kolo	1	0	11	21
	automobil	2	2	1	0
	koloběžka	0	0	0	1
	data z indukční smyčky	0	6	3	5
	přesnost normálních kol	100 %	0 %	67 %	20 %
	přesnost celková	0 %	0 %	23 %	23 %
	přesnost detekce karbonových kol	0 %		9 %	19 %

Tabulka 4 Testování karbonového kola ze dne 17.4.2024

Vzhledem k celkové přesnosti nelze přesně určit, zdali dochází nebo nedochází k detekci karbonových kol. Pokud by se brala data z testovacího intervalu za zcela pravdivá, tak by se dalo říci, že došlo k detekci karbonového kola pouze v 20 % případech. Vzhledem k tomu, že je testovací vzorek příliš malý, nelze toto tvrzení s jistotou potvrdit.

Během testování bylo zároveň vyzorováno, že z náhodně projížděných cyklistů mělo 20 % z nich také karbonové kolo (2 z 10).

## 4. Návrh postupu využití technologií pro sčítání cyklistické dopravy

V následující kapitole je rozebrán každý příklad užití a porovnáno chování jednotlivých technologií na něm.

Pro každý příklad užití nelze vybrat jeden „ideální“ cyklosčítač. Lze však určit, která technologie cyklosčítače není pro danou lokalitu vhodná. U zbývajících technologií lze určit, jak co nejlépe daný cyklosčítač nainstalovat pro zajištění co největší přesnosti měření/detekce

V celé kapitole není uvažován pneumatický detektor, a to z toho důvodu, že se jedná o detektor určený k dopravním průzkumům. Je tedy vhodný pro všechny aplikace, kdy se sčítá doprava v krátkodobém intervalu (například do 3 měsíců). Z fyzikálního principu jeho fungování vychází, že nedojde ke správné detekci, když společně s cyklistou projede přes trubici automobil. V tomto ohledu je tedy podobný indukční smyčce.

Podobně jako pneumatický detektor nebyl dále brán v úvahu magnetometrický detektor (s výjimkou nezpevněné stezky). Magnetometrický detektor není vhodný do míst s provozem automobilů, a to kvůli tomu, že většina z nich nedokáže klasifikovat vozidla a rozlišit mezi automobilem a cyklistou. Druhým zásadním problémem je nemožnost rozlišení směrovosti (to by se mělo dát částečně eliminovat osazením dvou detektorům za sebe).

### 4.1. Smíšený provoz s automobily

U smíšeného provozu s automobily jsou nejvíce ovlivňující faktor právě automobily. Ty mohou zastínit průjezd cyklisty nebo v horším případě způsobit false-positive záznam.

Podle dat to vychází tak, že indukční smyčka dosahuje lepších výsledků než mikrovlnný radar (pro připomenutí smyčka na testovaných lokalitách dosahuje přesnosti 89 % a mikrovlnný radar 41 %). To může být i tím, že smyčky jsou instalovány pouze na komunikacích s nízkou intenzitou. Z pozorovaného chování detektorů je však zřejmé, že záleží na mnoha různých faktorech, které jsou popsány níže.

#### 4.1.1. Indukční smyčka

Indukční smyčka musí být použita v užších místech, tak aby se nemohlo stát, že cyklista projíždí vedle automobilu. V případě, že by projížděli blízko vedle sebe v místě položené smyčky, nemělo by dojít k detekci z důvodu moc velkého množství kovu (z projíždějícího automobilu). Druhá varianta instalace indukční smyčky je aplikovaná na testované lokalitě

v Hlubočepích. Je to instalace přes celou šíři vozovky v místě s velmi nízkou intenzitou automobilové dopravy (na Hlubočepské ulici to bylo během hodinového testování méně než 100 vozidel).

Indukční smyčka naopak není vhodná do míst s vysokou intenzitou provozu. Před výběrem technologie je také důležité zjistit, zdali nedochází k častému předjíždění cyklistů stejným jízdním pruhem.

#### **4.1.2. Mikrovlnný radar**

Dva ze tří testovaných radarů ve smíšeném provozu s automobily byly umístěny na pražském andělu na Plzeňské ulici. Radar je zde umístěn tak, aby zabíral hlavně cyklopiktokoridor. Cyklisté však jezdili i po chodníku nebo po tramvajovém pásu. V tomto případě mohl radar zachytit pouze malou část jízdních kol. Další problém radaru může v tomto případě vycházet z nastavení. Jak je zmíněno v kapitole 1, radar kategorizuje primárně podle rychlosti pohybujících se objektů. Na dané lokalitě se ve špičce automobily pohybují pomaleji než cyklisté, čímž mohou vznikat false-positive záznamy.

Radar je vhodný pro sčítání cyklistů ve smíšeném provozu, avšak pouze v určitých případech. Důležitý faktor je plynulost okolního provozu. Pokud nebudou muset cyklisté mezi automobily kličkovat, ale pojedou plynule při kraji vozovky, mělo by dojít k detekci bez problémů. To samé platí pro komunikace s nízkou intenzitou provozu automobilů, která byla například odporována během testování v Atletické ulici. Na té dosahuje přesnost radaru 82 %.

Co se instalace týče, tak vzhledem k tomu, že cyklisté jezdí po pravém okraji vozovky, tak je vhodné instalovat radary dva. Pro každý směr jeden, tedy na každou stranu silnice.

#### **4.1.3. Videodetekce**

Videodetekce se na žádné z testovaných lokalit na tomto příkladu užití nenachází. Je však zřejmé, že pro něj není příliš vhodná. Ač by pravděpodobně dosáhla vysoké přesnosti, tak je stále dražší. Hlavním problémem je, že většina komunikací, kde probíhá smíšený provoz automobilů a cyklistů je moc široká pro dobrý záběr jedné kamery. Ta musí být instalována nejlépe tak, aby zabírala cyklistu z profilu. Z těchto důvodů by se musely na místo instalovat kamery dvě, pro každý směr jedna.

#### **4.1.4. Piezoelektrický detektor**

Piezoelektrický detektor nemohl být kvůli své nedostupnosti vyzkoušen. Nejbližší instalované jsou ve Vídni a v Nizozemsku. Vzhledem k jeho fyzikálním vlastnostem lze říci, že je pro tento příklad užití vhodný. A to zejména kvůli faktu, že dokáže bez problémů rozlišit mezi



automobilem, motocyklem a jízdním kolem (zejména kvůli váze) a díky tomu, že dokáže rozlišit dva signály s rozestupem minimálně 0,1 sekundy. [26]

V případě komunikací s velkou intenzitou automobilové i cyklistické dopravy se může stát, že automobily budou stát v zácpě a cyklisté budou mezi nimi kličkovat a projíždět. Pokud by automobil stál kolem na detektoru, nemohlo by dojít k detekci žádného cyklisty. Tato situace může nastat u výše zmíněné lokality na pražském Andělu, kde automobily často stojí a cyklisté se snaží mezi nimi projet. Pro lokality s nižší intenzitou provozu se však tento detektor jeví jako vhodný.

#### **4.1.5. Shrnutí**

Dle technických parametrů vychází v tomto příkladu užití nejlépe videodetekce (horší to však bude s instalací a cenou) a jako druhý vychází nejlépe piezoelektrický detektor. Nejdůležitější je však nejprve zhodnotit situaci, konkrétně intenzitu a průměrnou rychlost automobilů na lokalitě, a to ideálně ve všední den v dopravní špičce. V lokalitách s velmi nízkou intenzitou dopravy (do 100 automobilů za hodinu) lze použít indukční smyčky (po zohlednění faktu, že sčítají pouze kovová kola) nebo piezoelektrické detektory. Naopak v lokalitách s úzkou vozovkou a vysokou intenzitou dopravy je lepší se indukčním smyčkám vyhnout.

### **4.2. Smíšený provoz vlevo od zaparkovaných automobilů**

Smíšený provoz vlevo od zaparkovaných automobilu je velmi podobný jako smíšený provoz. Musí se však brát v úvahu fakt, že neintrusivní detektory umístěné na sloupech veřejného osvětlení mohou být stíněny vozidly, a naopak u intrusivních detektorů je třeba brát v úvahu fakt, že parkující vozidla mohou ovlivnit jejich funkčnost.

Bohužel otestována byla na tomto příkladu užití pouze jedna technologie, a to radar. Ten dosahoval průměrné přesnosti 49 %.

#### **4.2.1. Indukční smyčka**

Indukční smyčka je instalována na jedné lokalitě na tomto příkladu užití. Ta měla však výpadek v době testování. Smyčka vykazovala známky poškození okolním provozem (ze země vyčníval kus přerušeno drátu). Právě častější poškození smyček může být jeden z důvodů, proč je na tento příklad užití raději nevybírat.

Dalším zásadním problémem je indukování napětí na základě aut parkujících přímo u smyčky. V takovém případě nemůže dojít k detekci cyklisty projíždějícího poblíž zaparkovaných vozidel. Tento příklad je vidět na Obr. 21.



*Obr. 21 Indukční smyčky pro monitoring průjezdů cyklistů vedle parkujícího vozidla [zdroj vlastní]*

#### **4.2.2. Mikrovlnný radar**

V tomto případě je pro radar nejpodstatnější umístění. Radar by neměl mít v zorném poli parkující automobily. Zároveň by však neměl být moc vysoko, to by ztížilo detekci i instalaci. Během testování tohoto příkladu užití byly všechny radary umístěny tak, že vysoké parkující vozidlo by zamezilo jakékoliv detekci. I to může být důvod nízké naměřené přesnosti.

Radary se musí instalovat dva. Na každou stranu vozovky jeden, protože mají malé zorné pole, které obě strany vozovky nezabere, a navíc by projíždějící vozidla bránila ve výhledu na druhou stranu komunikace.

Nejllepší možnost pro instalaci radaru je nalézt poblíž zkoumané lokality úzké hrdlo, kde není parkovací pruh a instalovat ho tam. V městském prostředí nebývá problém nalézt takový prostor, například u nejbližšího přechodu bývá parkovací pruh přerušen a z lokality se tak stává příklad užití bez parkujících vozidel.

Sčítání v místech, kde se nachází parkovací pruh není pro mikrovlnný radar vhodné.

#### **4.2.3. Videodetekce**

Videodetekce se na žádné lokalitě s daným příkladem užití nenalézá. Lze však říci, že by se chovala podobně jako mikrovlnný radar. Pro správné měření by bylo vhodné použít dvě kamery, kde každá by zabírala jeden směr (jednu stranu komunikace). Zároveň by se kamera

musela dát dostatečně vysoko, aby její zorné pole nebylo blokováno parkujícími vozidly. Kameře by větší výška vadit neměla, přesto, že nejlepších výsledků dosahuje, když má cyklistu v zorném poli z profilu, ve stejné výšce.

#### **4.2.4. Piezoelektrický detektor**

Piezoelektrický detektor by se v tomto případě měl chovat velmi podobně jako indukční smyčky. Tedy při instalaci, kdy by piezoelektrický kabel zasahoval i do parkovacího pruhu, by mohlo docházet k rušení parkujícími vozidly. Toto rušení by však na rozdíl od smyčky nastalo pouze v případě, že by auto stálo kolem přímo na detektoru. Tomu se dá předejít tak, že bude detektor nainstalovaný pouze v daném pruhu a nebude zasahovat do parkovacího pruhu.

Na dvou lokalitách bylo odpozorováno, že když je parkovací pruh prázdný, jezdí cyklisté v něm a vyhýbají se tak pruhu s projíždějícími automobily. V takovém případě by musel být detektor instalován i v tomto pruhu, což by bylo náročnější a mohlo by docházet k rušení popsanému výše.

#### **4.2.5. Shrnutí**

Pro všechny výše popsané detektory je vhodné vyhnout se místu s parkovacím pruhem. Nejjednodušší způsob je nalezení nejbližšího úzkého hrdla a instalace detektoru tam. Pokud by to nebylo možné tak čistě z technického hlediska by se na daný příklad užití nejvíce hodila videodetekce, případně piezoelektrický detektor, pokud by byl vhodně instalován.

### **4.3. Cyklopruh**

Cyklopruh je velmi podobný jako ostatní příklady užití s automobily. Je však znatelně jednodušší detekovat cyklisty. Primárně kvůli jejich částečnému oddělení od ostatního provozu.

Pro připomenutí, radary měly během testování na tomto příkladu užití přesnost 57 % a indukční smyčka 78 %. Je třeba však podotknout, že radary byly testovány na dvou lokalitách a na jedné měly 88 % přesnost a na druhé 25 %.

#### **4.3.1. Indukční smyčka**

U indukční smyčky záleží opět nejvíce na její instalaci. Neměla by přesahovat do pruhu pro automobily, protože by mohlo dojít k narušení projíždějícím vozidlem. Tento příklad užití je pro indukční smyčku více vhodný, protože by se nemělo stát, že přes ní přejezdí auto ve stejné chvíli jako cyklista (do vyhrazeného cyklopruhu auta nesmí zasahovat vůbec).

Jak bylo odpozorováno, počet karbonových kol v Praze není nízký. Pro připomenutí, může se jednat až o 20 % všech projíždějících kol. To samo o sobě značně zhorší přesnost indukčních smyček a může to vysvětlovat přesnost 78 % naměřených na této lokalitě, protože jinak je indukční smyčka pro tento případ vhodná.

#### 4.3.2. Mikrovlnný radar

Pro mikrovlnný radar je tento příklad užití vhodnější než počítání ve smíšeném provozu. Avšak stále se může stát, že bude zabírat i vozidla projíždějící v přilehlém pruhu. Na testovaných lokalitách bylo zároveň odpozorováno, že cyklisté jezdí i po chodníku, pokud je dostatečně široký, a vyhýbají se tak silnici i radaru (tato lokalita je na Obr. 22)



*Obr. 22 Nábřeží kapitána Jaroše – cyklopruh s širokým chodníkem vedle [zdroj vlastní]*

Z výše uvedených důvodů je vhodné instalovat radar tak, aby zabíral cyklopruh a co největší část chodníku k tomu, zároveň by neměl zabírat přilehlý pruh pro automobily.

#### 4.3.3. Videodetekce

Videodetekce je po technické stránce na tento příklad užití vhodná. Stejně jako radar by kamera měla zabírat i přilehlý chodník pro případ, kdy cyklisté pojedou po něm (i přesto, že ve většině příkladů nemohou).

Stejně jako u předchozích příkladů užití, ani u tohoto by nestačila jedna kamera. Instalovat by se musely kamery dvě. Problém však je, že pokud by se kamera instalovala v místě, kde se

sčítá, zabírala by cyklisty zezadu, nebo zepředu. Nejvhodnější použití kamery je, když vidí jízdní kola kolmo (z profilu), protože tak dojde nejnázem k detekci. Například na lokalitě vyobrazené na Obr. 22 by nejvhodnější bylo kameru umístit na sloup veřejného osvětlení na protější straně ulice v dostatečné výšce, aby nedocházelo k častému zakrytí projíždějících cyklistů automobily.

Je předpokladem, že cena a náročnost instalace dvou kamer by převýšila výhody, které videodetekce přináší oproti jiným detektorům.

#### **4.3.4. Piezoelektrický detektor**

Piezoelektrický detektor se zdá být vhodný pro tuto lokalitu. Oproti indukčním smyčkám detekuje všechny druhy kol a neměl by být ovlivněn okolním provozem (pokud by byl instalován pouze v daném cyklopruhu a nepřesahoval by). V případě, že se jedná o lokalitu, kde si cyklisté často zjednoduší trasu jízdou po chodníku může se piezoelektrický pás instalovat i tam. Výhodou by bylo napojení na jedno RSU.

#### **4.3.5. Shrnutí**

Na tento příklad užití jsou při správné instalaci vhodné všechny zmíněné detektory. Nejhůře by si měly vést indukční smyčky kvůli problémům s detekcí nekovových jízdních kol. Vzhledem k ceně a náročnosti instalace ostatních detektorů vychází nejlépe mikrovlnné radary nebo piezoelektrické detektory.

### **4.4. Cyklopruh vlevo od zaparkovaných automobilů**

Tento příklad užití je velmi podobný použití ve smíšeném provozu vlevo od zaparkovaných automobilů. Chování neintrusivních detektorů by mělo být velmi podobné. Pro intrusivní detektory je zde zásadní rozdíl v tom, že ve sledovaném cyklopruhu nebudou projíždět automobily (automobily však musí cyklopruhem projet, aby se dostali do parkovacího pásu, který je vpravo od něj).

Při testování byla průměrná přesnost radaru 41 %. Žádná jiná technologie nebyla na tomto příkladu užití testována.

#### **4.4.1. Indukční smyčka**

Indukční smyčka si v tomto případě bude vést hůř než v cyklopruhu bez zaparkovaných automobilů. Důvodem je rušení indukční smyčky parkujícími vozidly, stejně jak je to na Obr. 21.

Indukční smyčka se pro tento příklad užití použít může, existují však vhodnější detektory a je třeba počítat s tím, že může docházet k rušení, nesčítání karbonových kol nebo objíždění cyklopruhu v prázdném parkovacím pruhu.

#### **4.4.2. Mikrovlňový radar**

Mikrovlňový radar též nebude mít nikdy stoprocentní výsledky na této lokalitě. Hlavním důvodem pro to jsou parkující vozidla. Radar nelze umístit tak vysoko, aby převyšoval i dodávky, které před ním mohou parkovat. V takové výšce by radar pravděpodobně již nedokázal správně rozpoznat projíždějící cyklisty. Radar nejlépe funguje, když se objekty pohybují k němu, nebo od něj.

Stejně tak musí mít radar dostatečné zorné pole, aby dokázal identifikovat cyklisty jedoucí v cyklopruhu i v parkovacím pruhu, v případě, že by v něm nebyly automobily. Tato situace nastala na jedné z ověřovaných lokalit, viz Obr. 23.



*Obr. 23 Lokalita v pražských Vršovicích. Cyklopruh mezi jízdním pruhem a prázdným parkovacím pruhem [zdroj vlastní]*

#### **4.4.3. Videodetekce**

Videodetekce by se zde mohla instalovat stejně jako u varianty bez parkovacího pruhu. Tedy Na sloupu veřejného osvětlení na protější straně komunikace, v dostatečné výšce. Parkující vozidla by jí tak neměla vůbec vadit a zároveň by jízdní kola byla vidět kolmo (z profilu).

Z technického hlediska se tak zdá videodetekce jako nejlepší varianta pro tento příklad užití. Do rozhodování se však musí zahrnout i fakt, že cena a náročnost instalace budou vysoké.

#### **4.4.4. Piezoelektrický detektor**

Piezoelektrický detektor by se na této lokalitě choval o něco lépe než indukční smyčka. Jeden (případně dva) piezoelektrický pás by měl být instalován v celé délce cyklopruhu tak, aby nezasahoval do parkovacího pásu nebo jízdního pruhu pro automobily.

Aby se zamezilo objíždění cyklopruhu parkovacím pruhem, je možné dát další pás tam. Neměl by to však být ten stejný natažený přes oba pruhy. Pokud by tam totiž parkovalo vozidlo a stálo kolem přesně na piezoelektrickém pásu (šance, že se parkující auto trefí přesně bude velmi nízká) docházelo by k rušení.

#### **4.4.5. Shrnutí**

Stejně jako u smíšeného provozu s automobily vlevo od zaparkovaných vozidel i zde by se nejvíce vyplatilo hledat úzké hrdlo v blízkosti lokality. Pokud by se však trvalo na počítání vlevo od parkovacího pruhu vychází nejlépe videodetekce. Případně piezoelektrický detektor, pokud by se vyřešilo monitorování cyklistů jedoucích jinudy než cyklopruhem.

### **4.5. Stezka s možným průjezdem automobilů**

Tento příklad užití leží mezi smíšeným provozem s automobily a cyklostezkou. Stejně jako u cyklostezky se i zde musí počítat přes celou šíři vozovky. Avšak stejně jako u smíšeného provozu i zde mohou přes sčítač projíždět automobily.

Na testovaných lokalitách to vycházelo nejlépe pro mikrovlnný radar – 91 %. Druhou nejvyšší přesnost měly indukční smyčky – 89 % a třetí videodetekce – 79 %.

#### **4.5.1. Indukční smyčka**

Indukční smyčka je dle dat pro tento příklad užití vhodná. Podstatné je, aby smyčky byly nainstalovány přes celou šíři vozovky.

Nevýhodou je průjezd cyklisty a automobilu ve stejnou chvíli. To se sice kvůli nízké intenzitě během testování nestalo, avšak nastat to může a způsobí to nedetekování kola. Je pravděpodobné, že mezi projíždějícími jízdniemi koly byla karbonová kola, což by ponížilo vysokou přesnost.

#### **4.5.2. Mikrovlnný radar**

Mikrovlnný radar není vhodný pro příliš široké vozovky. Cyklisté totiž v těchto případech mohou projíždět v celé šířce. Radar nemá tak široké zorné pole, aby zabral lokalitu vyobrazenou na Obr. 14. Zároveň se na takovou lokalitu nemohou instalovat radary dva (každý na jednu stranu komunikace), jelikož nelze přesně určit hranici kde jeden končí s detekcí a druhý začíná.

Lokalita, na které byl u tohoto příkladu užití radar je dostatečně úzká, aby to radar zvládl zabrat sám (neprojedou zde dvě vozidla vedle sebe).



### **4.5.3. Videodetekce**

Videodetekce je u tohoto příkladu užití vhodná. Musí se však správně instalovat. Stejně jako u ostatních příkladu užití je důležité, aby kamera byla instalována kolmo ke směřům pohybu cyklistů.

Videodetekce byla otestována na Podolském nábřeží, pod železničním mostem. Kamery jsou v tomto případě instalovány dvě. Obě jsou umístěné na spodní části mostu tak, že mají v zorném poli cyklisty zepředu nebo zezadu. Právě z tohoto důvodu zde kamera nedosahuje tak vysoké přesnosti.

Kamera by v tomto případě měla být umístěna na spodní části mostu, avšak dále, aby mohla být otočena o 90° oproti současné instalaci a měla cyklisty v zorném poli kolmo, tak by došlo k jednoduššímu rozpoznání. V takovém případě by však byla velmi náročná instalace.

### **4.5.4. Piezoelektrický detektor**

Piezoelektrický detektor lze nainstalovat na celou šíři vozovky a zároveň by měl detekovat všechny projíždějící cyklisty. Pravděpodobnost, že vedle sebe projede automobil i jízdní kolo a nastane chvíle, kdy mají oba kolo na detektoru, je velmi nízká. Stačí aby oba stlačili piezoelektrický pás 0,5 sekundy po sobě a měli by být bez problému detekováni.

Piezoelektrický detektor se jeví jako technicky nejlepší pro tento příklad užití.

### **4.5.5. Shrnutí**

Jako nejlepší detektor se pro tento případ užití jeví piezoelektrický. Radar je další vhodnou technologií, avšak pouze v případě že šířka vozovky, na které probíhá detekce je malá (odhadem méně než 3 metry). V případech, kdy je kam umístit videokamery, lze použít i videodetekci.

## **4.6. Křižovatka na stezce pro cyklisty a chodce**

Křižovatka na stezce pro cyklisty a chodce je velmi specifický příklad užití cyklosčítače. Od detektoru se očekává, že zaznamená všechny vjezdy i výjezdy z křižovatky tak, aby se dalo co nejpřesněji trasovat odkud kam cyklisté jeli.

Bohužel ač v Praze je jedna lokalita na tříramenné křižovatce, tak v době testování měla dlouhodobý výpadek. Další problém na testované lokalitě je, že s největší pravděpodobností zde nainstalovaný radar nedokáže přesně monitorovat vjezdy a výjezdy na jednotlivých ramenech.

#### **4.6.1. Indukční smyčka**

Indukční smyčka by v tomto případě měla bez problémů fungovat (samozřejmě s detekcí jediné kovových kol). Smyčky by se však musely instalovat na všechna ramena křižovatky, a to po celé délce. Těžko říci, zdali by na toto stačilo pouze jedno RSU, nebo by byla potřeba instalovat další hardware.

#### **4.6.2. Mikrovlnný radar**

Mikrovlnný radar si bude vést hůř než indukční smyčka. Jeden radar bude mít z fyzikálního hlediska velký problém s rozpoznáním více než dvou směrů. Instalace více než dvou radarů je taktéž složitá, protože jejich zorné pole se nesmí protínat. Tento problém by vyřešilo, kdyby byl radar instalován směrem od křižovatky na každé rameno. To je však poměrně náročné na instalaci a cenu. Zároveň by se na každém ramenu křižovatky musel nalézat nějaký sloup (ať už veřejného osvětlení, nebo například dopravního značení), na který by se radar mohl umístit.

#### **4.6.3. Videodetekce**

Videodetekce by na tomto příkladu užití mohla být nejvhodnější variantou. Stačila by totiž jedna kamera, která by měla v záběru celou křižovatku se všemi rameny.

Jediný problém s videodetekcí je její instalace. Kamera by se musela umístit v dostatečné vzdálenosti od křižovatky a ve výšce cca 3 metry, tak aby měla nejlepší možný výhled. Právě nalezené dostatečně vhodné místo pro instalaci může být pro kameru zásadní problém.

#### **4.6.4. Piezoelektrický detektor**

Piezoelektrický detektor je pro tuto lokalitu taktéž vhodný. Stejně jako u indukčních smyček by se musely piezoelektrické pásy instalovat na všechny ramena křižovatky a není zcela jasné, jestli by stačilo jedno RSU (pravděpodobně záleží na výrobci).

Na rozdíl od indukční smyčky by zde měl piezoelektrický detektor fungovat absolutně bez problémů a počítat všechny projíždějící cyklisty.

#### **4.6.5. Shrnutí**

Pro monitoring cyklistů na křižovatce na stezce pro chodce a cyklisty jsou vhodné všechny výše zmíněné detektory s výjimkou mikrovlnného radaru. Jako nejvhodnější se zdá být videodetekce, která zároveň zvládne i monitorovat průchody chodců. Pokud je tedy na místě vhodné místo k umístění kamery. Jinak lze bez problémů použít také piezoelektrický detektor.

## 4.7. Stezka pro cyklisty a chodce

Stezka pro cyklisty a chodce je pravděpodobně nejčastější místo s potřebou monitoringu pohybu cyklistů. Vypovídají o tom i testovací data, kdy testovaných lokalit na tomto příkladu užití bylo celkem 22.

Pro připomenutí přesnosti technologií na cyklostezce jsou následující:

- Indukční smyčka – 78 %
- Mikrovlnný radar – 69 %
- Videodetekce – 94 %

### 4.7.1. Indukční smyčka

Indukční smyčka je v současnosti nejčastěji používaná technologie na cyklostezkách. S postupujícím časem však tato technologie stárne. Právě kvůli nemožnosti detekování nekovových kol a zároveň nemožnosti detekce jiných módů dopravy se v dnešní době přestává k podobným účelům používat.

Indukční smyčka se instaluje přes celou šíři stezky ideálně v místě, kde se nedá objet a zároveň tak, aby většina cyklistů projela přes střed indukční smyčky (viz Obr. 24).



Obr. 24 Indukční smyčky na cyklostezce (Stezka okolo Rokytky) [zdroj vlastní]

#### **4.7.2. Mikrovlnný radar**

Mikrovlnný radar je pro tento příklad užití také vhodný. Jeho jedinou slabinou je relativně malé zorné pole. Je tedy vhodné spíše pro užší stezky (do 4 metrů). U širších stezek by se musely použít radary dva, to není vůbec jednoduché, protože zorné pole radarů se nesmí protínat.

V případě užší stezky lze radary bez problémů použít. Lepší radary by zároveň neměly mít problém se sčítáním více módů dopravy (počítání jízdních kol, chodců, případně i kočárků atd.).

Radar se instaluje na okraj stezky tak, aby mířil na jeden směr stezky a počítal tak cyklisty jedoucí k němu nebo od něj. Na rozdíl od kamery by se radar neměl používat kolmo ke zkoumané stezce.

#### **4.7.3. Videodetekce**

Videodetekce by se na rozdíl od radaru neměla instalovat čelem ke směru pohybu objektů, avšak kolmo. To může být u některých stezek problém, protože není kam kameru umístit tak, aby byla dostatečně daleko od stezky, aby měla dobrý přehled a zároveň neměla ničím zastíněné zorné pole.

Správně umístěná kamera by měla bez problémů sčítat všechny cyklisty, ale zároveň i všechny ostatní módy dopravy (chodce, koloběžky, kočárky atd.).

#### **4.7.4. Piezoelektrický detektor**

Piezoelektrický detektor je pro cyklostezky také vhodný. Ač není nejlepší pro monitoring chodců (ne každý chodec na piezoelektrický pás šlápne), tak pro sčítání jízdních kol rozhodně vhodný je.

Piezoelektrický pás je schopný klasifikovat mezi všemi dopravními prostředky s minimálně dvěma nápravami. Chodce rozpozná také, tam je ovšem problém právě stlačení piezoelektrického pásu. [16]

Dva pásy natažené po celé délce jsou ideální pro detekci všech průjezdů jízdních kol, nebo koloběžek.

#### **4.7.5. Shrnutí**

Pro tento příklad užití jsou vhodné všechny výše uvedené technologie. Radar v závislosti na šířce cyklostezky a videodetekce v závislosti na možnosti umístění kamery. Jako u ostatních

příkladů užití i zde je třeba brát u úvahu omezení indukční smyčky, která by zde sice měla detekovat všechny všechna projíždějící kola, ale pouze pokud jsou z kovových materiálů.

#### **4.8. Stezka pro cyklisty a chodce na lávce**

Stezka pro cyklisty a chodce na lávce je dost specifická a vhodný detektor může být jiný pro každý případ. V některých případech může být jednodušší sčítat cyklisty mimo lávku, v její těsné blízkosti. Naopak jsou případy, kdy lávka představuje úzké hrdlo, a tedy vhodné místo pro detekci, protože není možné ho objet.

Z instalovaných technologií jsou na dvou lávkách technologie instalovány těsně před nimi. Ve třetím případě je naopak detektor instalován uprostřed lávky.

Indukční smyčky měly při testování přesnost 77 % a mikrovlnné radary 89 %.

##### **4.8.1. Indukční smyčka**

Indukční smyčka se na samotnou lávku nehodí. Kovová konstrukce lávky by totiž mohla značně narušit její fungování.

Před lávku se hodí pouze pokud lze umístit po celé délce a zaznamenat tak všechny projíždějící cyklisty. Právě tato forma instalace se nalézá na pražském Chodově.

##### **4.8.2. Mikrovlnný radar**

Mikrovlnný radar může být podobně jako indukční smyčka ovlivněn množstvím kovu ve svém dosahu, proto by se neměl instalovat na velké kovové konstrukce. Pokud se však nainstaluje ve výšce nad lávkou (například na sloup veřejného osvětlení), tak by neměl být konstrukcí ovlivněn. Právě taková instalace je na lokalitě vyobrazené na Obr. 16. Zde je však problém, že radar je instalován mezi stromy. Ty mohou v určitých měsících zakrýt radar svými listy.

Pravděpodobně nejlepší instalace by byla, kdyby byl radar umístěn před lávku a namířen na ní. Žádní cyklisté by se mu tak nemohli vyhnout, zároveň by se pohybovali k němu nebo od něj, což je pro radar nejlepší.

##### **4.8.3. Videodetekce**

Jediná možná instalace videodetekce by byla vždy ve směru pohybujících se cyklistů, ať už by kamera byla umístěna nad lávkou, nebo před ní. Není tedy možné, aby se objekty v jejím zorném poli pohybovaly vůči ní kolmo. Dá se tedy předpokládat, že tato instalace kamery by měla negativní vliv na její přesnost.

#### **4.8.4. Piezoelektrický detektor**

Piezoelektrický detektor by neměl mít problém s kovovou konstrukcí lávky. Avšak ne každá lávka je stavěná tak, aby do ní šel piezoelektrický detektor umístit.

Piezoelektrický detektor se stejně jako indukční smyčka hodí nejvíce pro instalaci před lávkou. Pokud půjde nainstalovat tak, že bude zabírat celou šířku komunikace. Při takovéto instalaci, by měl mít piezoelektrický detektor stejné vlastnosti jako má při instalaci na stezku pro chodce a cyklisty.

#### **4.8.5. Shrnutí**

Pro tento příklad užití je důležité, jestli je třeba instalovat detektor přímo na lávku, nebo jestli ho lze instalovat před ní. Na samotné lávce bude nejvhodnější radar za předpokladu, že je na ní nějaký sloup, na který lze radar umístit a zároveň přívod elektřiny. Teoreticky lze použít také piezoelektrický detektor, pokud to konstrukce lávky umožní.

Pro instalaci před lávkou je nejvhodnější piezoelektrický detektor.

### **4.9. Stezka pro cyklisty a chodce na chodníku**

Stezka pro cyklisty a chodce na chodníku je specifická zejména tím, že cyklisté ji mohou, ale nemusí využít a mohou zároveň jet i po silnici. To je však jiný případ užití a v takovém případě je vhodná jejich kombinace. Naopak tento příklad užití se jinak moc neliší od klasické stezky. Snad jen nedostatkem místa, protože, stezky na chodníku bývají ve většině případů úzké.

#### **4.9.1. Indukční smyčka**

Indukční smyčka je v tomto případě podobně jako u klasické stezky vhodná. Její instalace musí být provedena přes celou šířku chodníku. Často se stává, že tyto stezky jsou rozdělené na část pro cyklisty a část pro chodce, to je však často ze strany cyklistů ignorováno a minimálně pro předjíždění používají i část pro chodce. Právě proto by indukční smyčky měly být instalovány po celé šířce.

#### **4.9.2. Mikrovlnný radar**

Mikrovlnný radar by měl být instalován tak, aby co nejméně zabíral jízdní pruh vedle chodníku. Tedy měl by být umístěn na kraji chodníku a namířen po směru chodníku (ne kolmo).

Výhodou radaru by v tomto případě mělo být sčítání i procházejících osob.

### **4.9.3. Videodetekce**

Videodetekce má jako jediný problém v této lokalitě umístění. Ne vždy se dokáže najít ideální umístění tak, aby kamera měla v záběru samotný chodník, a to kolmo ke směru pohybu cyklistů a osob.

Pokud by bylo třeba počítat na chodnících na obou stranách vozovky, musely by se instalovat kamery dvě.

### **4.9.4. Piezoelektrický detektor**

Piezoelektrický detektor je v tomto případě taktéž vhodný. Instalovat se musí přes celou šíři chodníku. Detektor by detekoval veškerý pohyb cyklistů nejedoucích po vozovce. Pokud by bylo nutné sčítat na obou stranách vozovky, musel by se detektor instalovat i na druhou stranu společně s dalším RSU.

### **4.9.5. Shrnutí**

Na tento případ užití se hodí všechny detektory. Vzhledem k malé šířce chodníků zde lze bez problému doporučit mikrovlnný radar nebo případně piezoelektrický detektor.

Doporučení videodetekce je zde méně vyhovující z důvodu její náročné instalace a u indukčních smyček je opět problém s detekcí jiných objektů než kovových jízdních kol.

## **4.10. Nezpevněná stezka**

Nezpevněná stezka je specifický příklad. Často se totiž může nalézat mimo dosah zdroje elektřiny. Pokud tomu tak je, tak se musí instalovat pouze detektory s vlastní baterií a dlouhou výdrží.

Klasické intrusivní detektory jako je indukční smyčka nebo piezoelektrický detektor se na tuto lokalitu nehodí, protože může snadno dojít k jejich poškození a zároveň jejich instalace není pevná, což může velmi zkreslovat data (obzvlášť u piezoelektrického). Neintrusivní detektory nezvládnou pracovat tak dlouho pouze s vlastní baterií. Jediný neintrusivní detektor, který zvládne alespoň rok fungovat pouze s vlastní baterií, je pneumatický. Ten má však problém s nezpevněným terénem. Po několika stlačení by se mohl začít zabořovat do země, která by zároveň pohlcovala tlak působený kolem. Tento detektor by tedy dokázal měřit jen velmi krátkou dobu a následně by potřeboval úpravu, vhodný tedy není.

Kvůli výše zmíněným problémům se začal používat magnetometrický detektor. Ten se může instalovat pod stezku, nebo v případě úzké stezky i vedle ní. Většina magnetometrických detektorů určených k detekci cyklistů funguje tak, že neodesílá hned data, ale ukládá si je na

vnitřní uložště. Může se tak k němu pouze jednou za rok dojit vyměnit baterii a stáhnout data. [11]

Tento detektor sám o sobě není přesný. Pokud projíždí několik cyklistů za sebou, spočítá to jako jednoho. Zároveň jsou potřeba alespoň dva detektory na nepřesné určení směrovosti.

#### 4.11. Přehled

V tabulce níže je vidět přehled příkladů užití a hlavních zmíněných detektorů. V tabulce je barvami označená vhodnost daného detektoru pro daný příklad užití. Veškeré poznatky, použité k vytvoření tabulky, jsou obsaženy v textu výše. V tabulce se nacházejí následující barvy:

- Zelená – označuje vhodný detektor pro daný příklad užití
- Žlutá – Označuje detektor, který by na dané lokalitě měřil dobře, avšak mohl by mít určité problémy. Například vyžaduje specifickou instalaci, nebo nedokáže detekovat všechny druhy kol (z toho důvodu není indukční smyčka nikdy zelená)
- Oranžová – Označuje detektory, které jdou použít jen v malém množství specifických příkladů pro danou lokalitu
- Červená se v tabulce nenalézá. Pro všechny příklady použití totiž jdou v určitých případech použít všechny detektory

	indukční smyčka	mikrovlnný detektor	videodetekce	piezoelektrický detektor
Smíšený provoz s automobily	Oranžová	Žlutá	Zelená	Zelená
Smíšený provoz vlevo od zaparkovaných automobilů	Oranžová	Oranžová	Zelená	Žlutá
Cyklopruh	Žlutá	Zelená	Žlutá	Zelená
Cyklopruh vlevo od zaparkovaných automobilů	Oranžová	Oranžová	Zelená	Žlutá
Stezka s možným průjezdem automobilů	Žlutá	Zelená	Žlutá	Zelená
Křižovatka na stezce pro cyklisty a chodce	Žlutá	Oranžová	Zelená	Zelená
Stezka pro cyklisty a chodce	Žlutá	Žlutá	Žlutá	Zelená
Stezka pro cyklisty a chodce na lávce	Oranžová	Zelená	Oranžová	Žlutá
Stezka pro cyklisty a chodce na chodníku	Žlutá	Zelená	Žlutá	Zelená

Tabulka 5 Shrnutí výsledků kapitoly 4



## 5. Ověření navržených postupů

Pro ověření návrhu umístování detektorů byly vybrány 2 lokality pro dodatečné ověření. Jedna lokalita je z původních 32 na kterých se ověřovalo v rámci kapitoly 3. Tato lokalita byla vybrána, protože během původního testování měla dlouhodobý výpadek. Tato lokalita byla vybrána jako příklad špatné instalace. Další lokalita je zcela nová a během původního testování na ní nebyl žádný detektor instalován. Dnes je na ní detekce nainstalována správně

Testování obou lokalit probíhalo v první polovině roku 2024 tedy rok a půl po původním testování.

Lokality byly vybrány, protože jedna je dle návrhu instalace v kapitole 4 navržena a instalována špatně a druhá naopak dobře. Díky tomu může testování na těchto lokalitách potvrdit (nebo případně vyvrátit) postupy navržené v kapitole 4.

### 5.1. Příklad dobré praxe

První testování proběhlo v pražských Holešovicích. Přesněji na lávce spojující Holešovice a Karlín. Probíhalo 26.04.2024 od 16:20 do 17:30. Monitorován byl vstup a výstup z lávky na Holešovické straně.

Na této lokalitě je instalována videodetekce na jedné z budov Pražské tržnice. Kamera má v záběru vstup na lávku a samotnou lávku a to tak, že vidí všechny cyklisty a osoby ze strany. Na této lokalitě byla umístěna pouze týden před testováním. Její přesnost tedy nebyla před tímto testováním zjišťována.

Umístění kamery má zde několik drobných nevýhod. První jsou projíždějící tramvaje. Kamera je umístěná dostatečně vysoko, aby i přes tramvaje lávku stále viděla, avšak tramvaj z části zakrývá cyklisty před vjezdem na lávku. Druhou nevýhodou je dopravní značení těsně před vstupem na lávku, to může v určitých situacích cyklisty nebo chodce vstupující na lávku zakrýt. Kromě těchto nedostatků je instalace optimální.

Výsledky na obou směrech této lokality jsou následující:

- Směr Karlín – V tomto směru projelo 70 cyklistů. Kamera jich zaznamenala 58. Přesnost videodetekce je tedy **83 %**.
- Směr Holešovice – V tomto směru projelo 55 cyklistů. Kamera jich zaznamenala 49. Přesnost videodetekce v tomto směru je tedy **89 %**.

V obou případech spočítala kamera méně cyklistů, než v reálu projelo. To může být způsobeno právě překážkami mezi kamerou a lávkou. Ty však zastiňují pouze vstup na samotnou lávku.

Kamera je zde instalována pro počítání nejenom cyklistické dopravy, ale i dopravy pěší. Z tohoto důvodu nejsou vhodné intrusivní detektory. Kamera je zde nainstalována vhodně, na základě otestování je však vhodné ji kalibrovat (posunout pomyslný práh, kde dochází ke sčítání).

## 5.2. Příklad špatné praxe

Druhé ověřovací testování probíhalo na Smetanově nábřeží v Praze 26.04.2024 od 18:00 do 19:00. Oba směry této lokality patří mezi smíšený provoz s automobily. Zároveň jsou na obou směrech instalovány mikrovlnné radary. Ty jsou umístěné cca 100 metrů od tramvajové zastávky Karlovy lázně směrem k národnímu divadlu. Oba radary a okolní situace je vidět na Obr. 25.



Obr. 25 Situace na Smetanově nábřeží [zdroj vlastní]

Na této lokalitě byla odpozorována relativně vysoká intenzita okolního provozu automobilů, ty se zároveň pohybovaly velmi nízkou rychlostí. Pokud se nacházela tramvaj na zastávce, tak ve směru ke Karlovu mostu auta stála a cyklisté kličkovali mezi nimi.

V opačném směru, tedy k národnímu divadlu se automobily pohybovaly taktéž velmi pomalu a často ve vlnách za tramvají vyjíždějící ze zastávky.

Výsledky po oba směry jsou následující:

- Ve směru k národnímu divadlu projelo během testování 16 cyklistů. Radar jich napočítal 66. Vydělením těchto čísel a vynásobením stem se dostane výsledná přesnost **24 %**.
- Ve směru ke Karlovu mostu během testování 25 cyklistů. Radar napočítal pouze 8. Výsledná přesnost tedy je **32 %**.

Lze předpokládat že radar, který napočítal více cyklistů, než v realitě projelo, počítal i pomalu jedoucí automobily. Ty se na této lokalitě často pohybovaly i pomaleji než samotní cyklisté. Zároveň na lokalitě během testování projelo i několik motocyklů, které se stejně jako automobily pohybovaly nízkou rychlostí.

Radar směrem k národnímu divadlu napočítal pouze třetinu cyklistů, kteří zde reálně projeli. Při bližším prozkoumání, proč tomu tak může být, bylo zjištěno, že radar je namířený na okraj vozovky. Část cyklistů však v tomto směru projížděla středem tramvajového pásu (pruh pro vozidla se hned za radarem slučuje s tramvajovým pásem). Právě to může být faktor ovlivňující tento radar.

Navrhnout na této lokalitě lepší způsob monitoringu pohybu cyklistů je složité. Vzhledem k tomu, kolik cyklistů používá tramvajový pás, muselo by se monitorovat i na něm. To vylučuje použití intrusivních detektorů, které přes kolejový pás instalovat nejdu. Radary se na tomto místě ukazují též jako neefektivní. Jednou z možností, jak zlepšit výsledky radaru, by bylo jejich přesunutí na úzké hrdlo. V tomto případě by stačilo jen o deset metrů dále, kde je veškerý provoz sloučen do tramvajového pásu. V tomto případě je však stále možné, že by radary počítaly i pomalu jedoucí auta. Tím pádem jako jediná možnost zůstává videodetekce. Dva tramvajové pásy by měla zvládnout monitorovat jedna kamera umístěná na jedné z okolních budov nebo vysoko a sloupu veřejného osvětlení (aby viděla i přes stojící tramvaje).

## Závěr

Cílem této práce bylo zjistit, které technologie se v dnešní době nejčastěji používají k detekci a monitoringu pohybu cyklistů. Zároveň zjistit, v jakých situacích se tyto cyklosčítače používají a navrhnout pro každou situaci vhodnou technologii a instalaci.

V první části práce jsou popsány nejčastěji používané technologie k detekci cyklistů. Těmi jsou indukční smyčka, mikrovlnný radar, videodetekce, piezoelektrický detektor, magnetometrický detektor a pneumatický detektor. U všech technologií je popsán princip fungování a jeho výhody a nevýhody pro sčítání cyklistů.

V druhé části jsou popsány jednotlivé příklady užití, na kterých se v současné nejčastěji monitoruje pohyb cyklistů. Tyto situace jsou ještě rozděleny na příklady užití v provozu s automobily a příklady užití v oblasti bez provozu automobilů.

Ve třetí části práce jsou popsány výsledky testování cyklosčítačů v různých příkladech užití. Zároveň jsou zde rozebrány výsledné přesnosti jednotlivých testovaných technologií pro každý příklad užití, který byl testován. Hlavními testovanými detektory byla indukční smyčka, mikrovlnný radar a videodetekce. Každý z těchto detektorů má své výhody a nevýhody. Nejlepších výsledků dosahovala při testování videodetekce.

V rámci třetí části navíc proběhlo samostatné testování pneumatického detektoru, který jinak není na žádné dostupné lokalitě instalován. Zároveň proběhlo testování karbonového kola na indukční smyčce kvůli podezření, že nedojde ke správné detekci. Toto tvrzení bylo potvrzeno.

V další části práce jsou probrány všechny definované příklady užití a pro každý z nich jsou definovány vhodné a nevhodné technologie a je vysvětleno proč tomu tak je. Výsledkem je vybrání nejvíce vhodných detektorů a případný návrh jejich instalace.

V závěru práce bylo provedeno ověření tvrzení o správně a nesprávně instalaci z kapitoly 4. Proběhlo testování na dvou vytipovaných lokalitách, které nebyly součástí původního testování. První z lokalit byla vybrána kvůli nevhodně instalovaným mikrovlnným radarům. Data z testování potvrdila nesprávně zvolenou technologii a instalaci. Druhá lokalita byla vybrána pro ověření správné instalace videodetekce. Data z ověření potvrdila správnou instalaci kamery, i když by bylo vhodné provést drobnou úpravu pro zlepšení kvality dat. V budoucnu by bylo vhodné toto ověření provést na více lokalitách. V době psaní práce však už nebyla žádná další lokalita v Praze, kde by měření neproběhlo.

## Použité zdroje

- [1] Cyklodoprava v praze. Online. Dostupné z: <https://golemio.cz/data/cyklodoprava>. [cit. 2024-05-05].
- [2] GUIZHU, Wang; ZONGFA, Chen a LINGAN, Xu. Induction Loop Detection of Bicycles Flow Based on Pattern Recognition (PR) Techniques. Online. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474667017474404>. [cit. 2024-05-05].
- [3] Monitoring návštěvnosti cyklistických a pěších stezek ve městech i v přírodě. Online. Dostupné z: [https://www.scitace.cz/Scitace/media/PDF/Nabidka\\_Scitace\\_Eco-counter\\_2022.pdf](https://www.scitace.cz/Scitace/media/PDF/Nabidka_Scitace_Eco-counter_2022.pdf). [cit. 2024-05-05].
- [4] MOHAMMED ALI, S. Sheik; GEORGE, Bobby; VANAJAKSHI, Lelitha a VENKATRAMAN, Jayashankar. A Multiple Inductive Loop Vehicle Detection System for Heterogeneous and Lane-Less Traffic. Online. 2011. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6095626>. [cit. 2024-05-05].
- [5] PŘIBYL, Ondřej. Detektory zasahující do vozovky, úvod do detekce. Online. Dostupné z: <https://zolotarev.fd.cvut.cz/mzd/ctrl.php?act=show,file,23843>. [cit. 2024-05-05].
- [6] METROCOUNT. RidePod® BT. Online. Dostupné z: <https://www.metrocount.com/traffic-counters-classifiers/ridepod-bt>. [cit. 2024-05-05].
- [7] CHANG, David K.; SAITO, Mitsuru; SCHULTZ, Grant G. a EGGETT, Dennis L. Use of Hi-resolution data for evaluating accuracy of traffic volume counts collected by microwave sensors. Online. 2017. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095756416301532?via%3Dihub>. [cit. 2024-05-05].
- [8] ALTA. Bicycle Detection, A review of available technologies and practical experience to aid in the creation of smarter intersections that work for all users. Online. Dostupné z: [https://altago.com/wp-content/uploads/ALTA\\_Bike\\_Detection\\_White\\_Paper\\_July2021.pdf](https://altago.com/wp-content/uploads/ALTA_Bike_Detection_White_Paper_July2021.pdf). [cit. 2024-05-05].
- [9] SENSYS NETWORKS. FlexRadar. Online. Dostupné z: <https://sensysnetworks.com/products/flexradar/>. [cit. 2024-05-05].
- [10] BUGDOL, Marcin; MIODONSKA, Zuzanna Ewa; KRECICHWOST, Michal a KASPEREK, Paweł. Vehicle detection system using magnetic sensors. Online. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/287944531\\_Vehicle\\_detection\\_system\\_using\\_magnetic\\_sensors](https://www.researchgate.net/publication/287944531_Vehicle_detection_system_using_magnetic_sensors). [cit. 2024-05-05].
- [11] TRAFx Vehicle Counter. Online. Dostupné z: <https://www.trafx.net/products#vehicle-counter>. [cit. 2024-05-05].
- [12] ARINALDI, Ahmad; PRADANA, Jaka Arya a GURUSINGA, Arlan Arventa. Detection and classification of vehicles for traffic video analytics. Online. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050918322361>. [cit. 2024-05-05].

- [13] FEJL, David. Analýza metod sběru dopravně-inženýrských dat v městském prostředí. Online. Dostupné z: [https://portal.upce.cz/StagPortletsJSR168/PagesDispatcherServlet?pp\\_destElement=%23ssSouboryStudentuDivId\\_1532&pp\\_locale=cs&pp\\_reqType=render&pp\\_portlet=souboryStudentuPagesPortlet&pp\\_page=souboryStudentuDownloadPage&pp\\_nameSpace=G11278&soubi dno=100732](https://portal.upce.cz/StagPortletsJSR168/PagesDispatcherServlet?pp_destElement=%23ssSouboryStudentuDivId_1532&pp_locale=cs&pp_reqType=render&pp_portlet=souboryStudentuPagesPortlet&pp_page=souboryStudentuDownloadPage&pp_nameSpace=G11278&soubi dno=100732). [cit. 2024-05-05].
- [14] LEUNG, Chung S.; HAO, Wei-Da a MONTIEL, Claudio Miguel. Piezoelectric sensors for taxiway airport traffic control system. Online. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/260737206\\_Piezoelectric\\_sensors\\_for\\_taxiway\\_airport\\_traffic\\_control\\_system](https://www.researchgate.net/publication/260737206_Piezoelectric_sensors_for_taxiway_airport_traffic_control_system). [cit. 2024-05-05].
- [15] DIAMOND TRAFFIC PRODUCTS. Piezo Sensor - BL. Online. Dostupné z: <https://diamondtraffic.com/product/Roadtrax-BL>. [cit. 2024-05-05].
- [16] METROCOUNT. RidePod® BP. Online. Dostupné z: <https://www.metrocount.com/traffic-counters-classifiers/ridepod-bp>. [cit. 2024-05-05].
- [17] RAJAB, Samer A.; OTHMAN, Ahmad S. a REFAI, Hazem H. Novel vehicle and motorcycle classification using single element piezoelectric sensor. Online. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6338778>. [cit. 2024-05-05].
- [18] BENEŠ, Martin. Počítání osob pomocí PIR senzoru. Online. Dostupné z: <https://www.fit.vut.cz/study/thesis-file/21967/21967.pdf>. [cit. 2024-05-05].
- [19] PŘIBYL, Ondřej. Neintrusivní dopravní detektory. Online. Dostupné z: <https://docplayer.cz/142984536-Neintrusivni-dopravni-detektory.html>. [cit. 2024-05-05].
- [20] ECO COUNTER. PYRO-Box Evo. Online. Dostupné z: <https://www.eco-counter.com/produits/pyro-evo-range-en/pyro-boxevo/>. [cit. 2024-05-05].
- [21] Jaké jsou rozdíly mezi cyklopruhy a cyklokoridory? Online. Dostupné z: <https://hnutispolecne.cz/blog/jake-jsou-rozdily-mezi-cyklopruhy-cyklokoridory>. [cit. 2024-05-05].
- [22] TP 179 - Navrhování komunikací pro cyklisty. Online. Dostupné z: [https://pjk.rsd.cz/data/USR\\_001\\_2\\_8\\_TP/TP\\_179\\_2017.pdf](https://pjk.rsd.cz/data/USR_001_2_8_TP/TP_179_2017.pdf). [cit. 2024-05-05].
- [23] Městem na kole. Technické podmínky 179 – nová pravidla pro cykloopatření. Online. Dostupné z: <https://mestemnakole.cz/2017/09/technicke-podminky-179-nova-pravidla-cykloopatreni/>. [cit. 2024-05-05].
- [24] Cyklistika Krnov. Základní parametry a typy cyklistických tras. Online. Dostupné z: <https://www.cyklistikakrnov.com/Cykloinformace/Zakladni-parametry-cyklistickych-tras.htm>. [cit. 2024-05-05].
- [25] TSK. Intenzity dopravy v roce 2023. Online. Dostupné z: <https://www.tsk-praha.cz/wps/portal/root/dopravni-inzenyrstvi/intenzity-dopravy>. [cit. 2024-05-05].
- [26] Bicycle counter. Online. In: Wikipedia: the free encyclopedia. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Bicycle\\_counter](https://en.wikipedia.org/wiki/Bicycle_counter). [cit. 2024-05-05].

## Seznam obrázků

Obr. 1 Zdvojené indukční smyčky na Povltavské ulici [zdroj vlastní] .....	10
Obr. 2 Průběh napětí pro různé druhy dopravních prostředků [4].....	11
Obr. 3 Příklad pneumatického detektoru na cyklostezce [6] .....	13
Obr. 4 Příklad mikrovlnného radaru [zdroj vlastní].....	15
Obr. 5 Detekce vozidla pomocí magnetometrického detektoru [10].....	16
Obr. 6 Příklad magnetometrického detektoru ve vozovce [zdroj vlastní] .....	17
Obr. 7 Videodetekce chodců a cyklistů v pražské Stromovce [zdroj OICT] .....	19
Obr. 8 Ukázka piezoelektrického pásu [15] .....	20
Obr. 9 Průběh průjezdu jízdniho kola přes piezoelektrický pás [17] .....	21
Obr. 10 Průběh průjezdu motocyklu přes piezoelektrický pás [17] .....	21
Obr. 11 Indukční smyčky po celé šířce komunikace [zdroj vlastní] .....	27
Obr. 12 Příklad samostatného jednosměrného cyklistického pásu [zdroj vlastní] .....	28
Obr. 13 Cyklosčítač počítající cyklisty v ochranném cyklopruhu [zdroj vlastní].....	28
Obr. 14 Cyklostezka s volným pohybem automobilů [zdroj vlastní] .....	29
Obr. 15 Stezka pro cyklisty a chodce v pražské Troji [zdroj vlastní] .....	30
Obr. 16 Lávka z Proseku do Letňan [zdroj vlastní].....	32
Obr. 17 Křižovatka na stezce pro cyklisty a chodce v pražském Radotíně [zdroj vlastní] .....	33
Obr. 18 Cyklopruh vlevo od zaparkovaných vozidel [zdroj vlastní] .....	38
Obr. 19 Lokalita v pražských Modřanech [zdroj vlastní] .....	40
Obr. 20 Pneumatický detektor instalovaný na stezce [zdroj vlastní] .....	42
Obr. 21 Indukční smyčky pro monitoring průjezdů cyklistů vedle parkujícího vozidla [zdroj vlastní] .....	48
Obr. 22 Nábřeží kapitána Jaroše – cyklopruh s širokým chodníkem vedle [zdroj vlastní] .....	50
Obr. 23 Lokalita v pražských Vršovicích. Cyklopruh mezi jízdniím pruhem a prázdným parkovacím pruhem [zdroj vlastní] .....	53
Obr. 24 Indukční smyčky na cyklostezce (Stezka okolo Rokytky) [zdroj vlastní].....	57
Obr. 25 Situace na Smetanově nábřeží [zdroj vlastní].....	64

## Seznam tabulek

Tabulka 1 Srovnání technologií pro sčítání cyklistické dopravy.....	25
Tabulka 2 Příklad výstupu z testování jedné lokality .....	34
Tabulka 3 Jednotlivé příklady užití a přesnost cyklosčítačů na nich .....	35
Tabulka 4 Testování karbonového kola ze dne 17.4.2024 .....	44
Tabulka 5 Shrnutí výsledků kapitoly 4.....	62