

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: Dopravní a manipulační technika

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Možnosti využití autonomního řízení u tramvajového vozidla

Autor: **Roman LIŠKA**

Vedoucí práce: **Doc. Ing. Josef FORMÁNEK, Ph.D.**

Akademický rok 2017/2018

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Roman LIŠKA**
Osobní číslo: **S17B0042P**
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Dopravní a manipulační technika**
Název tématu: **Možnosti využití autonomního řízení u tramvajového vozidla**
Zadávací katedra: **Katedra konstruování strojů**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Základní požadavky:

Cílem je provést rozbor možností ve využitelnosti autonomního řízení pro tramvajová vozidla. Dále provést specifikaci požadavků s ohledem na bezpečnost provozu a jeho rizika. Výsledné řešení je ve zhodnocení využitelnosti, technických vlastností a základním návrhu uspořádání vybraných technických komponent ve vozidle.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova bakalářské práce:

1. Vypracování rešerše včetně systematického popisu funkce.
2. Vypracování rozboru technických parametrů tramvajových vozidel.
3. Vypracování základní varianty koncepčního řešení.
4. Zhodnocení navrženého technického řešení.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah kvalifikační práce: **30-40 stran A4**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

KOLÁŘ, J. *Teoretické základy konstrukce kolejových vozidel*, ČVUT v Praze, Praha, 2009

HELLER, P., DOSTÁL, J. *Kolejová vozidla III*, ZČU v Plzni, Plzeň, 2011

Jenčík, J., Volf, J. *Technická měření*, Praha ČVUT v Praze, Praha, 2000

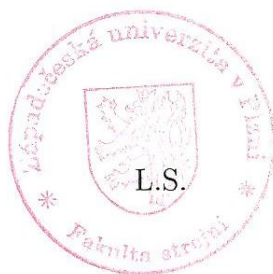
Podkladový materiál, výkresy, prospekty, katalogy apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.

Vedoucí bakalářské práce: **Doc. Ing. Josef Formánek, Ph.D.**
Katedra konstruování strojů
Konzultant bakalářské práce: **Ing. Jiří Vokoun**
Škoda Transportation a.s.

Datum zadání bakalářské práce: **19. září 2017**
Termín odevzdání bakalářské práce: **21. května 2018**



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan



Doc. Ing. Václava Lašová, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 19. září 2017

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské/diplomové práce.

V Plzni dne:

autora

.....

podpis

Poděkování

Rád bych poděkoval panu Doc. Ing. Josefu Formánkovi, Ph.D. a panu Ing. Jiřímu Vokounovi za cenné rady a věcné připomínky, které mi pomohly tuto práci zkompletovat.

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

| | | | |
|----------------------|--|-------------------|--------------------------------|
| AUTOR | Příjmení Liška | Jméno Roman | |
| STUDIJNÍ OBOR | B2301- „Dopravní a manipulační technika“ | | |
| VEDOUCÍ PRÁCE | Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Formánek, Ph.D. | Jméno Josef | |
| PRACOVIŠTĚ | ZČU - FST - KKS | | |
| DRUH PRÁCE | DIPLOMOVÁ | BAKALÁŘSKÁ | Nehodící se škrtněte |
| NÁZEV PRÁCE | Možnosti využití autonomního řízení u tramvajového vozidla | | |

| | | | | | |
|----------------|---------|----------------|-----|--------------------|------|
| FAKULTA | strojní | KATEDRA | KKS | ROK ODEVZD. | 2018 |
|----------------|---------|----------------|-----|--------------------|------|

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

| | | | | | |
|---------------|----|---------------------|----|----------------------|---|
| CELKEM | 45 | TEXTOVÁ ČÁST | 45 | GRAFICKÁ ČÁST | 0 |
|---------------|----|---------------------|----|----------------------|---|

| | |
|--|--|
| STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY | <p>Cílem je provést rozbor možností ve využitelnosti autonomního řízení pro tramvajová vozidla. Dále provést specifikaci požadavků s ohledem na bezpečnost provozu a jeho rizika. Výsledné řešení je ve zhodnocení využitelnosti, technických vlastností a základním návrhu uspořádání vybraných technických komponent ve vozidle.</p> |
| KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE | tramvajové vozidlo, autonomní, senzor |

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

| | | | |
|--------------------------|---|-----------------|-----------------------------------|
| AUTHOR | Surname Liška | Name Roman | |
| FIELD OF STUDY | B2301- "Transport and handling machinery" | | |
| SUPERVISOR | Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Formánek, Ph.D. | Name Josef | |
| INSTITUTION | ZČU - FST - KKS | | |
| TYPE OF WORK | DIPLOMA | BACHELOR | Delete when not applicable |
| TITLE OF THE WORK | Possibilities of using autonomous control on a tram vehicle | | |

| | | | | | |
|----------------|------------------------|-------------------|----------------|---------------------|------|
| FACULTY | Mechanical Engineering | DEPARTMENT | Machine Design | SUBMITTED IN | 2018 |
|----------------|------------------------|-------------------|----------------|---------------------|------|

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

| | | | | | |
|----------------|----|------------------|----|-----------------------|---|
| TOTALLY | 45 | TEXT PART | 45 | GRAPHICAL PART | 0 |
|----------------|----|------------------|----|-----------------------|---|

| | |
|---|--|
| BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS | The aim is to analyze the possibilities in the use of autonomous control for tram vehicles. Additionally, specification of the requirements with regard to traffic safety and its risks. The resulting solution is to evaluate the usability, technical properties and basic design of the selected technical components in the vehicle. |
| KEY WORDS | tram vehicle, autonomous, sensor |

Obsah

| | |
|--|-----------|
| 1 Úvod | 8 |
| 1.1 Definice autonomního řízení | 8 |
| 1.2 Stupně autonomního řízení..... | 8 |
| 2 Rešerše současného stavu autonomních vozidel ve světě | 10 |
| 2.1 Současný stav autonomních vozidle ve světě..... | 10 |
| 2.2 Patenty | 13 |
| 2.1 Legislativa | 13 |
| 3 Možný vliv autonomního řízení pro bezpečnost provozu a jeho rizika | 15 |
| 3.1 Možná ohrožení vozidla a vnější vlivy | 15 |
| 3.2 Možné ohrožení ostatních účastníků dopravy případně cestujících selháním autonomních funkcí vozidla | 16 |
| 4 Charakteristika a specifika provozů tramvajových vozidel z pohledu řízení a provozu (nalezení a definování reprezentativního provozu tramvajového vozidla), a jeho přenesení na autonomní řízení a provoz | 19 |
| 4.1 Přizpůsobení řízení vozidla dle provozu ve městě | 19 |
| 4.2 Přizpůsobení řízení vozidla dle dění uvnitř vozu | 19 |
| 4.3 Přizpůsobení provozního prostředí vozidlu..... | 21 |
| 5 Další možná zlepšení veřejné dopravy | 22 |
| 5.1 Dynamická doprava..... | 22 |
| 5.2 Chytrá zastávka | 22 |
| 5.3 Možnost dalšího směřování | 23 |
| 6 Specifikace a základní návrh vhodných architektur řízení autonomního tramvajového vozidla s naznačením možných způsobů řešení jednotlivých podsystémů | 24 |
| 6.1 Funkce vozidla..... | 24 |
| 6.2 Výčet subjektivních požadavků na autonomní tramvajové vozidlo | 25 |
| 6.3 Základní architektura a prvky vozidla | 26 |
| 6.4 Koncepční návrh rozmístění senzorů na vozidle | 27 |
| 6.5 Ukázka jednotlivých snímačů s naznačením jejich možné instalace na vozidlo | 35 |
| 6.6 Výpočtové hodnocení..... | 39 |
| 7 Závěr | 42 |
| Seznam použité literatury | 43 |

1. Úvod

Ve své práci se budu zabývat řešením problematiky autonomního řízení tramvajového vozidla pro městskou hromadnou dopravu. Cílem je zjištění aktuální situace ve světě v tomto technickém odvětví, definování nejruznějších rizik, aspektů, okrajových podmínek a jejich řešení. Je zde taktéž řešena charakteristika a specifika provozů z různých pohledů. Základní návrh osazení vozidla senzory a zhodnocení možnosti využitelnosti řešení.

1.1 Definice autonomního řízení

Autonomní vozidlo je vozidlem, které ke svému provozu nepotřebuje řidiče a je schopné se samo orientovat za pomoci senzorů a počítačových systémů, které sledují okolí vozidla, vyhodnocují aktuální situaci a dále určují jeho trasu a chování. Vozidlo je schopné samo reagovat na různá ohrožení plynoucí z provozu a v určité míře jim i předcházet, například vhodnější volbou trasy během dopravní špičky ve městě, apod. Je také schopné komunikovat s dalšími autonomními vozidly v okolí a navzájem si předávat informace o aktuálním provozu a omezeních v okolí. [1]

1.2 Stupně autonomního řízení

(Příklady jsou uvedeny pro automobilový průmysl.)

Úroveň autonomie 0

Vozidlo je plně řízeno pouze řidičem. Řidič se zde stará o ovládání vozu, sledování okolí a jeho navigaci. Systémy automobilu nemají nad vozidlem vůbec žádnou kontrolu. Mohou pouze spustit varování v podobě rozsvícení kontrolky či zvukového tónu. [2] [3]

Asi nejstarším příkladem je varování před námrazou navázané na teploměr. Dalším příkladem je první generace systému hlídání slepého úhlu. To řidiče pouze informovalo rozsvícením LED a písknutím, pokud dal blinkr, ale nezasahovalo do řízení. [2] [3]

Úroveň autonomie 1

Vozidlo je již částečně schopno v určitých situacích samostatné jízdy ovšem řidič musí být stále připraven převzít nad ním kontrolu. [2] [3]

Spadají sem systémy adaptivního tempomatu, druhá generace hlídání jízdy v pruzích, která již koriguje dráhu jízdy, systémy automatického parkování i libovolná kombinace těchto systémů. [2] [3]

Úroveň autonomie 2

Řidič stále detekuje objekty a události v okolí. Musí reagovat v okamžiku, kdy automatický systém v dané situaci vůbec nezareaguje, anebo zareaguje špatně. Automatický systém má na starosti zrychlování, brzdění i zatáčení a je deaktivován, jakmile řidič převezme kontrolu nad vozidlem. Je však limitován do určitých rychlostí. [2] [3]

Do této úrovně spadá první generace autopilota Tesly. I proto Tesla důsledně říká, že řidič musí dál věnovat pozornost řízení a mít ruce na volantu. [2] [3]

Úroveň autonomie 3

Ve známém a omezeném prostředí (například na dálnicích) nemusí řidič věnovat řízení větší pozornost, pouze musí být připraven v případě potřeby převzít řízení. Vozidlo sleduje své okolí a je schopné zrychlovat, brzdít a přejíždět mezi pruhy. Pořád je ale limitováno do určitých rychlostí. V případě dosažení svých limitů vozidlo vyzve řidiče, aby převzal řízení. [2] [3]

Úroveň autonomie 4

Při zapnutí autonomního řízení již řidič nemusí sledovat dění v provozu a automatizovaný systém je schopný kontrolovat vozidlo téměř za všech okolností. Vyjma náhlých situací či povětrnostních podmínek, kdy vozidlo požádá řidiče o pomoc, a pokud řidič nebude nijak reagovat, je vozidlo schopné samo dále manévrovat a pokusit se daný problém zvládnout. [2] [3]

Úroveň autonomie 5

Na této úrovni je vozidlo plně automatizované a může provádět všechny jízdní úkony na jakékoliv cestě za jakýchkoli podmínek, ať už je na palubě člověk či nikoli. [2] [3]

„Řidič“ určí pouze cílovou destinaci a případně nastartuje. Zbytek úkonů si vozidlo obstará zcela samo. Automatizovaný systém pak dopraví vozidlo kamkoliv je potřeba. [2] [3]

Vozidlo již nemusí být ani vybaveno ovládacími prvky typu volant a pedály. [2] [3]

2 - Rešerše současného stavu autonomních vozidel ve světě

Autonomní vozidla se postupně, již několik let, stávají naprosto běžnou věcí ve světě. Největší rozmach v tomto odvětví zatím zažilo metro, které je již v mnoha velkých městech po celém světě běžnou realitou. V Evropě to jsou například Norimberk, Kodaň, Londýn, Madrid a jiné.

2.1 - Současný stav autonomních vozidel ve světě

(Přehled zúžen pouze na kolejová vozidla.)

Největším průkopníkem v této oblasti je zřejmě společnost Siemens, která již mnoho svých vozů provozuje všude ve světě. Níže je uvedeno několik příkladů automatických kolejových vozidel.

Níže uváděné stupně autonomie jsou pouze odhadovány podle specifikací vozidel. Nicméně by se od skutečnosti neměli nijak výrazně lišit.

Alstom 9000 series - Barcelonské metro

| <i>Specifikace vlaku</i> | |
|--------------------------|---------------------------------|
| <i>Stupeň autonomie</i> | <i>Subjektivně určeno 5</i> |
| <i>Kapacita</i> | <i>112 sedadel/300 pasažérů</i> |
| <i>Max. rychlost</i> | <i>80 km/h</i> |

V Barceloně je více jak 25% souprav autonomních a další budou přibývat. Vlaky jsou plně automatizované a jezdí dle předem nastaveného rozvrhu. Jsou pouze podle potřeby ovládány na dálku z kontrolního stanoviště, které v reálném čase sleduje dění na trati i ve vozech. Díky tomu tyto soupravy-vlaky již nemají na palubě žádný personál. Kontrolní centrum mimo jiné sleduje aktuální vytíženost linky a podle toho je schopné v případě potřeby přidat další soupravy do provozu. [4]

Nově je také řešeno uspořádání uvnitř vozu. Díky absenci kabiny je prostor pro cestující zvětšen vpředu i vzadu. A pro případ nouze jsou zde umístěny únikové východy. Samozřejmě jsou zde aktivní informační systémy. [4]

Za zmínku také rozhodně stojí uspořádání zastávek. Kolejště je od nástupiště



Obrázek 1 – Metro Barcelona [17]

odděleno skleněnou stěnou s dveřmi, které se synchronizují s dveřmi vlaku pro umožnění nástupu cestujících. Tímto efektivním způsobem se dá vcelku elegantně předejít nehodám typu pádu člověka, či nějakého předmětu do kolejiště. [4]

Siemens Inspiro – Metro Rijád

| Specifikace vlaku | |
|--------------------------|--|
| <i>Stupeň autonomie</i> | <i>Subjektivně určeno 5</i> |
| <i>Kapacita</i> | <i>55/123 sedadel (2vozy/4vozy)</i> |
| <i>Max rychlost</i> | <i>90 km/h (konstrukční), 80 km/h (provozní)</i> |

- Soupravy jsou konstruovány pro plně automatický provoz bez strojvedoucího.
- Na obou koncích soupravy jsou pomocné řídicí pulty, které umožňují ruční ovládání v případě nouze anebo při pojíždění v depu.
- Na koncových podvozcích jsou instalovány senzory pro detekci překážek.
- Vnitřek vozu je vybaven interaktivním informačním systémem pro cestující. Informace jsou poskytovány i vně soupravy.
- Dění v interiéru vozu je snímáno kamerami a online přenášeno do řídicího střediska.
- Pro případnou komunikaci cestujících s dispečinkem je ve voze nainstalován interkom.
- Vozy v soupravě jsou spojeny poloautomatickými spřáhly. Koncové jsou vybaveny spřáhly automatickými.
- V každém voze se nacházejí 2 klimatizační jednotky
- Vysoká úroveň recyklovatelnosti souprav na konci životnosti [5]

Bombardier CITYFLO 650 - Madridské metro, Mnichovské letiště

| Specifikace vlaku | |
|--------------------------|-----------------------------|
| <i>Stupeň autonomie</i> | <i>Subjektivně určeno 4</i> |
| <i>Kapacita</i> | - |
| <i>Max. rychlost</i> | - |

- Jedná se o systém pro provoz bez řidiče a bez obsluhy, určený k provozu metra a na letištích. Systém se používá pro automatický provoz vlaků na oddělených tratích.
- Komunikace trati a vlaku je dosažena pomocí nejmodernější bezdrátové technologie, která zajišťuje obousměrnou komunikaci vozidla a trati.
- Poloha vlaků je v reálném čase sledována pomocí systému CBTC.
- Přesnost zastavení vlaku ve stanici je +/-15 cm. [6]

Hitachi – Metro Řím

| Specifikace vlaku | |
|--------------------------|-----------------------------|
| <i>Stupeň autonomie</i> | <i>Subjektivně určeno 5</i> |
| <i>Kapacita</i> | - |
| <i>Max. rychlost</i> | <i>120-160 km/h</i> |

Systémy vozidla jsou řízeny plně automatizovaným počítačovým systémem umístěným v řídicím a servisním středisku. Automatické řízení vlaku se skládá ze tří subsystémů: automatické ochrany vlaku, automatického provozu vlaku a automatického řízení vlaku. Ty jsou zodpovědné za řízení rychlosti vlaku, zajištění, že jsou dveře před odjezdem zavřeny, a že spínače jsou správně nastaveny. [7]

Autopilot řídí vlaky v souladu s předem definovaným rozvrhem, zajišťuje zastavení vlaku ve stanici a ovládá dveře. Systém monitoruje všechny součásti sítě, včetně kolejnic a všech vlaků v systému. Zobrazuje živé schéma v řídicím centru a v případě nouze zastaví vlaky. Další aspekty systému, kterými jsou třeba napájení, ventilace, bezpečnostní poplachy a kamery, jsou řízeny systémem nazvaným "Řízení, regulace a sledování". [7]

RATP - prototyp

| Specifikace vlaku | |
|--------------------------|-----------------------------|
| <i>Stupeň autonomie</i> | <i>Subjektivně určeno 4</i> |
| <i>Kapacita</i> | - |
| <i>Max. rychlost</i> | - |

- Tramvaj pomocí snímačů detekuje překážky a reaguje na ně snížením rychlosti, maximálním provozním brzděním nebo případně nouzovým zastavením. Je také schopna situovat se na místě a rozpoznat místo kde se nachází. [8]

- Výsledky potvrzují možnost použití těchto nových technologií např. uvnitř skladu, kdy se vozidlo pohybuje autonomně. Pohybuje se požadovanou rychlostí po přímce nebo v křivce a zastavuje na předem stanoveném místě. V budoucnosti jistě zkušenosti s tímto provozem budou použity i pro tramvajový provoz. [8]



Obrázek 2 – RATP [18]

2.2 Patenty

Patent - US8660734 B1 - Detekce a klasifikace objektů pro autonomní vozidla

Objekty, které jsou zjištěny senzory vozidla, mohou být rozpoznány pomocí relativního umístění v silniční mapě. Tato mapa obsahuje informace o jízdnicích pruzích, křižovatkách, přechodech pro chodce, cyklistických trasách atd. Například objekt detekovaný v prostoru přechodu pro chodce, je detekován jako osoba. Identifikací typu objektu tímto způsobem, může být autonomní vozidlo lépe připraveno reagovat na danou situaci. [9]

Patent - US20150248131 A1 – Vzdálená pomoc pro autonomní vozidlo v předem stanovených situacích

Jedná se o systémy a metody umožňující autonomnímu vozidlu požádat o pomoc vzdáleného operátora v předem určených situacích. Vozidlo pomocí senzorů vyhodnocuje aktuální dění v provozu a porovnává ho s předem stanovenými situacemi, kdy si má vyžádat pomoc. Pokud k takovému případu dojde, vozidlo informuje vzdálenou podporu, která se situaci pokusí vyřešit. V situaci, kdy vzdálená podpora nezareaguje, je vozidlo připraveno se s tímto problémem pokusit vypořádat samo, podle předem stanovených postupů. [10]

2.3 Legislativa

V rámci České republiky zatím legislativa nepočítá s provozem autonomních vozidel, a proto nijak neupravuje odpovědnost za škody jím způsobené, a ani blíže nespecifikuje viníka těchto nehod. Zatím se pouze uvažuje o jejím případném přizpůsobení. Kdy se to stane skutečností, je zatím však nejasné. Nejspíše to bude v rámci několika příštích let. Je však již teď jasné, že velkou část odpovědnosti budou přebírat výrobci těchto vozidel, ale kdy a v jaké míře je prozatím nejasné.

Ve světě se již začínají postupně vytvářet různé předpisy a směrnice, které upravují možnosti testování autonomních vozidel v reálném provozu. Například v Kalifornii je od letošního roku (2017) možné testovat v provozu auta, která nemají ovládací prvky typu volant, pedály apod. Společnost, která má v úmyslu provádět tato testování, musí předem příslušným úřadům nahlásit svůj záměr, kdy a v jakém městě bude tyto testy provádět. [11]

Velká část legislativy ale stále není vytvořena a dostatečně přizpůsobena. To by se však v nejbližších letech mělo změnit.

Asi největší problém při tvorbě legislativy je etická otázka koho obětovat při bezvýchodné situaci. Tím je myšlena situace, kdy vozidlo již nemůže jakýmkoliv způsobem zabránit srážce ale má pouze možnost ovlivnit jak se srazí. Modelová

situace: Vozidlo (v tomto případě myšleno auto) se pohybuje po silnici ve městě a těsně před něj do vozovky vstoupí bez rozhlédnutí matka s dítětem. Vůz již nestíhá zabrzdít, a proto zbývá pouze varianta strhnout řízení. Ale kam? Strhnutím jízdy do protisměru je vystavena ohrožení posádka vozu a lidé v protijedoucích vozidlech. Strhnutím doprava, kde se nachází autobusová zastávka, jsou zase ohroženi cestující čekající na spoj. To jak by se v této situaci mělo zachovat autonomní vozidlo je zatím objektem řešení. Nejspíše však půjde o volbu menšího zla. Tj. pomocí rychlého výpočtu proběhne kalkulace možných ztrát na životech při různých řešeních situace a podle toho dojde k rozhodnutí, které bude co nejméně destruktivní. U kolejových vozidel ovšem tento problém nebude hrát až tak velkou roli jelikož zde není možné strhnout řízení do strany, z důvodu jasně definované dráhy vozidla.

3 - Možný vliv autonomního řízení pro bezpečnost provozu a jeho rizika

Tato kapitola se zabývá všemi možnými ohroženími a vnějšími vlivy, které jsou spojeny s provozem autonomního vozidla a návrhy na jejich řešení. Tato problematika se dá rozdělit do dvou základních skupin. První jsou možná ohrožení vozidla a vnější vlivy. Takto se dají označit ostatní účastníci provozu, vliv počasí, nečistoty na trati a jiné. Druhou skupinou je možné ohrožení ostatních účastníků dopravy popřípadě cestujících při selhání autonomních funkcí vozidla.

3.1 - Možná ohrožení vozidla a vnější vlivy

Problém: Největším rizikem jsou beze sporu ostatní účastníci provozu. Ti mu mohou například naprosto neočekávaně zkřížit cestu, ať už z důvodu řešení nějaké krizové situace, anebo prostě jen svojí nedbalostí. Nejedná se ovšem pouze o řidiče automobilů. Vozidlo musí být schopné stejně dobře zaregistrovat i menší objekty typu cyklista, chodec či pes. Chodci patří k velmi častému riziku, mimo jiné i kvůli tomu, že velmi často přecházejí kolejiště na červenou nebo mimo místa k tomu určená. Také jsou schopni při dobíhání tramvaje na zastávku vozidlu nebezpečně zkřížit cestu, nehledě na riziko s tím spojené. Jízdu by také neměla negativně ovlivnit možná srážka s ptákem, i když tento druh nehody není častý, přesto by se neměl zcela opomíjet.

Řešení: Instalace vhodných senzorů v dostatečném množství, které jsou propojeny s palubním počítačem. Dále kvalitní software pro vyhodnocování získaných dat s pečlivě propracovanou rozhodovací logikou.

Problém: Dalším vnějším vlivem je počasí. Vozidlo musí být schopné se vyrovnat s měnícím se počasím a teplotami. Pokud bude pršet či bude mrznout, tak je nutné počítat s tím, že koleje jsou kluzčí a tudíž brzdění musí být pozvolnější. Vydatný déšť či vánice také mohou snížit účinnost senzorů a „dohled“ tramvaje se tím sníží. Případně se na senzorech při mrazu může vytvářet námraza. Podobným, i když ne tak zásadně ovlivňujícím, faktorem může být mlha. Velmi nebezpečným také může být silný boční vítr, který může vozidlo třeba rozhoupat nebo v krajním případě i převrátit. Velmi nebezpečnou komplikací je také možné zamrznutí výhybky, která se v potřebný moment nepřehodí a tím zapříčiní vykolejení vozidla.

Řešení: Styl jízdy je nutné přizpůsobit aktuálním klimatickým podmínkám. Proto palubní systém bude mít online přístup aktuálním datům o počasí a podle nich bude reagovat.

Problém: Nebezpečí představuje také jakákoliv překážka v podobě spadlé větve stromu či jiného cizího tělesa v kolejišti. Při vydatných deštích se můžou v podjezdech vytvářet velké louže vody. I tato rizika musí být vozidlo schopné včas detekovat, vyhodnotit a správně zareagovat.

Řešení: Instalace vhodných senzorů v dostatečném množství, které jsou propojeny s palubním počítačem. Dále kvalitní software pro vyhodnocování získaných dat s pečlivě propracovanou rozhodovací logikou.

Problém: Vozidlo se také může stát terčem vandalů, kteří mohou chtít vozidlo záměrně poškodit, ať už tvorbou grafitů na stěnu vozu či ničením interiéru.

Řešení: První případ je spíše ohrožení při odstavení tramvaje ve vozovně. Pro tuto situaci by tramvaj mohla být vybavena systémem detekce pohybu v okolí vozu i při úplném vypnutí vozidla. Jednalo by se o takový spánkový režim, kdy je tramvaj zcela neaktivní, až na pohybové senzory v okolí vozu. Ty by při dlouhodobém nebo velmi frekventovaném narušení ochranného pásma upozornily ostrahu vozovny, která by situaci prověřila. Pro případ opakovaného planého poplachu může ostraha zadat patřičný ignorující příkaz do počítače pro danou situaci.

Druhý případ tj. ničení interiéru vozu je naopak rizikem především za provozu. Tyto situace jsou monitorovány kamerovým a pohybovým systémem uvnitř vozidla, který vyhodnocuje rizikové chování některých cestujících, např. opakované rychlé pohyby jako při kopání. Při zjištění podezření informuje palubní personál pomocí chytré aplikace v telefonu a ten situaci prověří. V případě většího ohrožení může zalarmovat i policii. Mezitím pomocí palubního interkomu výtržníky vyzývá, aby svého jednání zanechali.

3.2 - Možné ohrožení ostatních účastníků dopravy případně cestujících selháním autonomních funkcí vozidla

Problém: Ohrožujícím faktorem se může stát i samotné autonomní vozidlo. Kdykoliv může nastat případ, že některý jeho systém selže. Vozidlo začne špatně vyhodnocovat situace a začne být nebezpečným sobě, cestujícím i ostatním účastníkům provozu. V nejhorším případě začne být zcela neovladatelné.

Řešení: Pro tyto případy by systémy měly mít záložní pracovní okruh, který by ihned informoval dispečink o nesrovnalostech v přijímaných datech z primárního okruhu. Dispečink situaci vyhodnotí a podle její vážnosti, zvolí vhodné řešení, což v krajním případě může být i nouzové zastavení vozidla. V případě méně vážného problému je možné vozidlo bezpečně dovést do cílové destinace pomocí dálkového ovládání. Poté odstavit a odstranit závadu. Jako další a zřejmě nejspolehlivější kontrolní subjekt bude i nadále člověk. Ten však nemusí být neustále přítomen v kabině vozu, ale může se věnovat aktivitám uvnitř celého vozidla jako palubní steward.

Problém: Velké obezřetnosti musí být dbáno také v prostoru dveří při nástupu a výstupu cestujících, aby nedošlo k jejich skřípnutí do dveří a případnému zranění.

Řešení: Tento problém je možné řešit čidly kontrolující dveřní prostor a bezpečnostním dorazem dveří. Tím je myšleno přerušování zavírání dveří, pokud na ně bude vyvinut určitý protitlak, jako v případě skřípnutí cestujícího.

Problém: Další potíže může představovat přeplněný vůz, kdy senzory budou snímat cestující v prostoru dveří.

Řešení: V tomto případě by pomocí rozhlasu ve voze měli být cestující požádáni o posunutí se dále do vozu, pro umožnění zavření dveří.

Problém Vážným rizikem pro každé vozidlo je vznik požáru uvnitř vozu způsobený třeba vadnou elektroinstalací nebo úmyslným založením některým z cestujících. V tomto případě může také dojít při selhání systému k uvěznění lidí ve voze.

Řešení: Pro tyto případy by vůz měl být vybaven kouřovými čidly a mít systém rychlé evakuace. Ten by mohl mít podobu okamžitého zastavení vozu a otevření všech dveří. Jako další je možné kontrolované odstřelení oken pomocí zabudovaných patron. Během toho musí být pasažéři pomocí rozhlasu instruováni, jak mají postupovat při evakuaci. V neposlední řadě samozřejmě musí být ihned zalarmovány i záchranné složky.

Aby se předešlo případnému uvěznění cestujících ve vozidle, bude vhodné, aby bezpečnostní systémy měly svůj záložní okruh pro případ selhání primárního. Kdyby došlo k selhání i záložního systému. Je zde ještě obsluha v dispečinku, která může vůz otevřít na dálku.

Problém: Velký důraz je nutné brát také na softwarové zabezpečení vůči hackerům, kteří by mohli chtít získat kontrolu nad vozem, poté ho zneužít ať už pro svoje pobavení, nebo za účelem vydírání či dokonce teroristického útoku.

Řešení: Provozovatel autonomního vozidla musí mít přístup k nejnovějším aktualizacím softwaru vydaných výrobcem, anebo by měl zaměstnávat své IT specialisty, kteří by se o tuto problematiku starali. Nejlepším řešením jistě bude ale spojení obou těchto variant.

Problém: Hledání viníka při dopravní nehodě a důvodů jejího vzniku.

Řešení: Pro případ nehody bude jistě vhodné do vozidel zabudovat černé skříňky, které by fungovaly na podobném principu jako v letadlech. Zaznamenávaly by parametry jízdy, dění ve voze apod. Díky těmto datům bude pak mnohem snazší zjistit příčinu nehody a odhalit případného viníka.

Problém: Neočekávaný výpadek elektřiny. Zde je největším rizikem krátká jízda bez jakékoliv kontroly a také opět riziko uvěznění lidí uvnitř vozidla.

Řešení: Pro tyto situace, musí být vozidlo vybaveno bateriovým systémem, který by byl schopen zajistit bezpečný dojezd alespoň do nejbližší stanice a umožnit výstup cestujících.

Problém: Větší pozornost bude jistě vhodné věnovat srážce s chodcem a snaze co možná nejvíce snížit možná zranění chodce při incidentu a zároveň tím i snížení škod způsobených na vozidle.

Řešení: Možné následky nehody lze lehce snížit vhodnou architekturou přední části vozidla, která bude k chodci „vlídnější“. Tím je myšlen tvar karoserie, která nebude mít ostré hrany případně její řešení tak aby chodec nebyl sražen pod kola tramvaje. Výraznější efekt by mohla mít instalace venkovních airbagů na přední část vozu. Ty by se aktivovaly ve chvíli, kdy tramvaj bude v pohybu a zároveň pomocí čelních senzorů zaznamená objekt (chodce) v těsné blízkosti od vozidla. Tímto způsobem by se dalo zamezit mnoha vážným zraněním těchto nepozorných chodců.

4 - Charakteristika a specifika provozů tramvajových vozidel z pohledu řízení a provozu (nalezení a definování reprezentativního provozu tramvajového vozidla)

V této kapitole je podrobněji rozebrána problematika přizpůsobení řízení vozidla dle provozu ve městě i podle dění uvnitř vozu. A na závěr možná přizpůsobení provozního prostředí autonomnímu vozidlu pro zvýšení bezpečnosti a efektivity jízdy.

4.1 - Přizpůsobení řízení vozidla dle provozu ve městě

Autonomní tramvaj musí být schopna pružně reagovat na aktuální hustotu provozu ve městě a podle toho přizpůsobit svůj styl jízdy. To může dělat dvěma způsoby.

Prvním je přednastavení chování vozidla podle aktuálního času a dne. Tím je myšleno, že vozidlo musí být „obezřetnější“ třeba ve všední den odpoledne, kdy je doprava velmi hustá a tudíž je zde největší riziko nějaké nehody. Proto může být v těchto časových úsecích přednastavena nižší maximální rychlost či případně pomalejší rozjezdy atd. A naopak zase v noci, kdy je doprava minimální se může třeba pohybovat o něco rychleji, protože ohrožení již není tak vysoké.

Dalším způsobem bude monitorování okolí vozidla senzory. Kdy tramvaj registruje počet dalších účastníků provozu v jeho okolí a podle toho volí styl jízdy. Ideální samozřejmě bude ale opět kombinace těchto dvou způsobů.

4.2 - Přizpůsobení řízení dle dění uvnitř vozidla

Vozidlo musí být schopné také patřičně reagovat na dění uvnitř vozu a podle potřeby se mu přizpůsobovat.

Aspekt: Prvním aspektem je přizpůsobení chování vozidla podle počtu lidí uvnitř vozu. Zde se jedná především o dobu otevření dveří pro nástup a výstup cestujících.

Řešení: Když bude vůz plný, tak se interval otevření dveří prodlouží, protože je možné, že některým z pasažérů bude déle trvat se prodrat skrze ostatní cestující až ke dveřím. A naopak pokud bude vůz prázdný, není nutné nástupový interval nějak prodlužovat.

Aspekt: Přizpůsobení jízdy podle počtu cestujících uvnitř vozu.

Řešení: V případě prázdné tramvaje s minimem cestujících je možné větší zrychlení při rozjezdech tramvaje, jelikož většina cestujících bude bezpečně sedět na sedadlech. Naopak u plného vozu by rozjezdy a brzdění byly pozvolnější kvůli většímu počtu stojících pasažérů, kteří mohou snáze spadnout a v krajním případě se i zranit.

Aspekt: Vozidlo musí být schopné se vyrovnat i s krizovými situacemi jako je třeba požár na palubě. Viz. kapitola 3.2.

Řešení: V této chvíli tramvaj co nejdříve zastaví v co možná nejbezpečnějším místě pro výstup cestujících a evakuuje je. Zároveň zalarmuje záchranné složky.

Aspekt: Krizovou situací je také kolaps některého z cestujících.

Řešení: Pro tento případ by bylo vhodné vozidlo vybavit tlačítky pro spojení se záchrannou službou. Ta by pomocí interkomu dávala pokyny cestujícím jak postupovat při oživování. Tramvaj by mezitím dojela do nejbližší zastávky a tam by vyčkala příjezdu záchranné služby. Poté co bude situace vyřešena, tramvaj pokračuje dále ve standardním provozu. Možnost zneužití těchto tlačítek je vcelku malá, protože proti nechtěnému stisknutí mohou být chráněna odnímatelnou krytkou a případní vtipálci by díky kamerovému systému byli velice snadno dopadeni a potrestáni.

Aspekt: Jako další rizikový případ je napadení cestujícího případně revizora uvnitř vozu.

Řešení: Vozidlo monitoruje dění uvnitř vozu a v případě podezření na napadení upozorní palubní personál a dispečink, který situaci prověří a podle potřeby zvolí adekvátní řešení problému. Ten může v krajním případě, když uzná za vhodné vozidlo zastavit a otevřít nejbližší dveře u incidentu a tím se pokusí umožnit únik napadené osoby ven z vozu. Pro případ neaktivity těchto dvou kontrolních subjektů vozidlo upozorní policii. Tramvaj v tuto chvíli pokračuje stále v jízdě a vyčkává na pokyny z dispečinku, zatímco z interkomu zní varování pro násilníky, že jejich počínání je monitorováno a již byla kontaktována policie (což může a nemusí být pravda podle toho, jak situaci aktuálně řeší dispečink), čímž může útočníky rozhodit a donutit k co nejrychlejšímu útěku z vozidla a tím i k přerušení útoku. Následné dopadení je již v kompetenci policie, které budou samozřejmě poskytnuty video záznamy.

Aspekt: Neméně závažným ohrožením je také vandalismus viz. Kapitola 3.1.

Řešení: V tomto případě vozidlo stále pokračuje v jízdě a zároveň informuje dané subjekty o situaci.

Aspekt: Nástup a výstup vozičkáře.

Řešení: Pro nástup do vozidla bude na dveřích speciální tlačítko pro nástup vozičkáře. Po jeho stisknutí se vysune nájezdová plošina a vozičkář tak může pohodlně vjet do vozu. V tuto chvíli samozřejmě systém počítá s delším intervalem otevření dveří. Stejně tak i pro výstup. Pouze s tím rozdílem, že toto tlačítko bude nainstalováno v prostoru pro vozičkáře. Nikoli na dveřích.

4.3 – Přizpůsobení provozního prostředí vozidlu

Ke zvýšení bezpečnosti autonomních tramvají může zásadně přispět přizpůsobení okolního prostředí vozidlu.

Aspekt: Nejdůležitějším prvkem je *oddělení tramvajového a silničního pásu*, aby nedocházelo ke zbytečným střetům mezi vozidly.

Řešení: Oddělení je řešeno ideálně pomocí nějaké překážky, kterou auta stěží překonají např.: betonové zábrany, pruh zeleně se svodidly atd. Vhodné by bylo se vyhnout řešení se stromy v pruhu zeleně. Nejenom, že by znečišťovaly kolejiště větvemi a listím. Také by mohli mást senzory vozidla. A to při větru kdy by se kymácely a svým pohybem by mohli způsobit nechtěné brzdění vozidla.

Aspekt: Asi nejvíce problémovým místem je *průjezd křižovatkou*.

Řešení: Jako první krok je možné přizpůsobit světelnou signalizaci. Ve chvíli, kdy se tramvaj bude blížit ke křižovatce, tak pošle signál semaforům, aby jí zprůjezdnily cestu. Tím se docela zásadně zvýší rychlost a efektivita přepravy cestujících.

Za úvahu také stojí zbudování nadjezdů či podjezdů přes/pod velkými a hodně frekventovanými křižovatkami. Tím se opět zvýší rychlost přepravy, ale také se tím zcela eliminuje riziko srážky vozidel v křižovatce. V těchto místech by také mohli být zbudovány zastávky. Tím by se ušetřilo místo pro silniční dopravu. Myslet se zde ovšem musí také na vliv počasí (mráz, déšť) aby byla zaručena sjízdnost těchto úseků za každého počasí. Proto je důležité kvalitní odvodnění, a mírné stoupání. Nevýhodou tohoto řešení je ovšem jeho velká finanční náročnost.

Aspekt: Problémy také může činit přesné zastavení tramvaje v zastávce.

Řešení: Primárně se zřejmě bude řešit pomocí GPS systému a také podle ujeté vzdálenosti od předchozí zastávky. Přesnost zastavení se ovšem dá také zvýšit instalací dojezdových čidel do kolejiště. Tramvaj nejprve začne postupně zpomalovat. To trvá až do chvíle, než vozidlo dojede nad koncový spínač v kolejišti, který v tu chvíli dá signál, že tramvaj je již v požadovaném místě a má již zcela zastavit. Ke koncovému spínači se vozidlo bude samozřejmě přibližovat již velmi pomalu, aby pak při sepnutí nedošlo k příliš prudkému brzdění.

5 – Další možná zlepšení veřejné dopravy

5.1 – Dynamická doprava

Pro zkvalitnění veřejné dopravy a nalákání nových cestujících je důležité, aby za každé situace byl počet cestujících v rozumném poměru ke kapacitě vozidla. Tím nebude docházet k mačkání cestujících ve voze a cestovní komfort se zásadně zvýší. Problém nedostatečné kapacity často způsobují nárazové akce typu fotbalový zápas či koncert, kdy dojde k rapidnímu navýšení počtu cestujících oproti normálu v krátkém časovém úseku. Ideálním řešením je navýšení počtu a objemu vozů v těchto chvílích. Způsobu jak toho docílit je koncept dynamické dopravy.

Jedná se o vyhodnocování počtu cestujících v reálném čase, kdy podle úrovně zaplnění vozidel reaguje dopravce zvýšením, nebo naopak snížením přepravní kapacity. Způsobů zjištění, kolik pasažérů se nachází ve voze je více možností např. pomocí čítačů v prostoru dveří či pomocí kamerového systému vybaveného rozpoznávacím systémem počtu lidí. V reakci na úroveň zaplnění vozu by bylo možné navýšit kapacitu připojením dalšího článku tramvaje. Ten by s předstihem již byl připraven na co nejbližší zastávce ve směru jízdy. Po přijetí tramvaje do zastávky by došlo k automatickému spojení vozidla s novým článkem a tím ke zvýšení kapacity tramvaje. Tímto způsobem by bylo možné navýšovat přepravní objem až do doby, dokud bude stačit délka zastávky k odbavení cestujících. Pokud by to nestačilo, je možné vypravit i další soupravu. Vyhodnocení zda a kdy regulovat objem přepravy by záleželo na softwaru a také na řídicím středisku kde bude i lidská obsluha. Středisko může s vědomím, že se koná nějaká akce pružně reagovat dle potřeby a už s předstihem naddimenzovat přepravní objem.

Se zjišťováním počtu cestujících by mohly pomoci také chytré zastávky, které by monitorovali počty čekajících pasažérů. To také umožní již s určitým předstihem regulovat kapacitu vozů.

5.2 – Chytrá zastávka

Současným trendem je snaha o vytvoření „chytrého“ města v co možná největší míře. Proto se zde nabízí myšlenka vytvoření také chytré zastávky, která by byla schopná nabídnout mnohem více než současné zastávky. Tím by byl cestujícím nabídnut i mnohem větší komfort při cestování a mohli by být osloveni další potenciální pasažéři. [12]

Taková zastávka může být řešena jako takový „malý domeček“ tzn., že by se jednalo o uzavřený prostor, ale dostatečně prosklený prostor aby nepůsobil klaustrofobicky. Zde bude automatická regulace teploty podle podmínek venkovního prostředí. Jednoduše řečeno se zde bude v zimě topit a v létě klimatizovat. Dále zde bude také přístup k internetu. [12]

Samozřejmostí je informační systém o aktuálních příjezdech hromadné dopravy a případných výlukách. Možné využití je i pro město, které může prostřednictvím těchto zastávek informovat cestující o nových událostech v něm. [12]

Tyto vytápěné zastávky by ovšem mohli být lákadlem pro bezdomovce, kteří by se sem hlavně v zimě stahovali. Tomu se dá předejít jednoduchým způsobem a to, že ke vstupu do zastávky cestující použije dopravní kartu.

Zastávka bude také schopna počítat čekající pasažéry pomocí kamerového systému s rozpoznávacím systémem počtu lidí a také čítači ve dveřích. Tyto informace se posílají do kontrolního centra, které pak může pružně reagovat na aktuální počty cestujících a tím upravovat přepravní kapacitu.

V neposlední řadě zde bude pro případ nouze instalován telefon nebo tlačítko s možností zavolání záchranných a bezpečnostních složek.

Energetická náročnost těchto zastávek by se dala snížit instalací solárních panelů na jejich střechy.

5.3 – Možnosti dalšího směřování

Velkou výhodou jistě určitě bude možnost tramvaje jízdy na čistě bateriový pohon. Baterie by bylo možné dobíjet jak při jízdě ze sítě tak i při stání na konečné, kde by mohly být nainstalované rychlonabíjecí stanice. Samozřejmostí je dnes také rekuperace. Díky tomu by případný výpadek elektřiny neznamenal žádný problém. Především však by už nebylo nutné při stavbě nových tramvajových úseků instalovat elektrické vedení nad kolejištěm. Stačili by pouze nabíjecí stanice na konečných. Tímto se sníží pro města náklady na výstavbu nových úseků, což opět tuto tramvaj dělá mnohem atraktivnější pro potenciální kupce.

6 – Specifikace a základní návrh vhodných architektur řízení autonomního tramvajového vozidla s naznačením možných způsobů řešení jednotlivých podsystémů

Cílem této kapitoly je výčet nutných požadavků, které musí autonomní vozidlo splňovat a následně i jeho základní koncepční návrh včetně výčtu použitých senzorů a případně i jejich přibližný počet a umístění na vozidle. Dále základní rozhodovací logika a blokové schéma.

6.1 – Funkce vozidla

Tramvajové vozidlo, jako vozidlo veřejné dopravy musí splňovat pět základních funkcí. Tyto funkce jsou: Rychlost, Bezpečnost, Komfort, Spolehlivost a Nízká cena.

Rychlost – V dnešní uspěchané době je velký důraz kladen na co nejvyšší rychlost a efektivitu dopravy. Cestovní rychlost vozidla se s velkou pravděpodobností v budoucnosti nebude nijak rapidně zvyšovat kvůli bezpečnosti. Výjimkou by mohli být oddělené, ideálně mimoúrovňové tratě od ostatní dopravy. Základním aspektem však bude přesné dodržování jízdních řádů. Tím se sníží prostoje cestujících na zastávce a zvýší se efektivita cestování. Dalším aspektem je co nejsnazší a tím i nejrychlejší nástup a výstup cestujících. Samozřejmě musí být synchronizace vozidla s městským dopravním systémem. Cílem je, aby vůz jel na tzv. „zelené vlně“ a tím odpadlo čekání na semaforech. Důležitá je také dostatečná kapacita vozu aby se nestalo, že někteří cestující musí čekat na další tramvaj. Tato problematika je podrobněji rozebrána níže v kapitole 4.5-Dynamická doprava.

Bezpečnost – Zásadní je samozřejmě bezpečnost jak cestujících uvnitř vozidla tak i ostatních účastníků provozu. V ideálním případě již autonomní vozidla dokážou zcela předejít jakékoliv dopravní nehodě a maximálně eliminovat všechna rizika spojená s veřejnou dopravou. Samozřejmě čím bude vozidlo bezpečnější, tím bude i jeho konkurenceschopnost na trhu vyšší.

Komfort – Důležitou funkcí je také cestovní komfort cestujících. Ti se musí ve vozidle cítit co možná nejpříjemněji. Výstup a nástup musí být pohodlný, tzn. žádné stoupání do schodů a dostatečně velký dveřní prostor. Dále pohyb po voze musí být co nejjednodušší. Interiér by měl být koncipován podle nejpravděpodobnějších směrů pohybu pasažérů a tomu být přizpůsoben aby v cestě nic zásadně nepřekáželo. Vozidlo musí být dostatečně prostorné a prosklené, aby nepůsobilo stísněným dojmem. Pohodlí zajišťují i anatomicky tvarovaná sedadla. Neméně důležitým prvkem je plynulost pohybu tramvaje. Rozjezdy a brzdění by měly být plynulé, aby se zabránilo případným pádům pasažérů při náhlé změně rychlosti. Důležitý je také kvalitní informační systém pro cestující. Jako další prvek komfortu může být brán palubní stevard, který bude cestujícím připraven jakkoliv pomoci.

Spolehlivost – Vozidlo musí být také co nejvíce spolehlivé a bezporuchové. Tím se snižují jeho provozní náklady. Samozřejmě se tím zvyšuje efektivita a bezpečnost dopravy.

Ekonomický (Levný) – V neposlední řadě je taky důležitá cena vozidla. Zde musí být co nejlepší poměr cena/výkon. Tím je myšlena co nejvyšší kvalita za co nejpříznivější cenu. Kterému výrobcu se to nejvíce podaří, ten má největší šanci, že právě jeho výrobek se bude dobře prodávat.

6.2 – Výčet subjektivních požadavků na autonomní tramvajové vozidlo

Níže jsou uvedeny nutné požadavky pro autonomní tramvajové vozidlo, které musí nutně splňovat, aby spolehlivě a v dostatečné kvalitě splňovalo funkce, ke kterým je určeno.

1) Transport cestujících

- Uspokojivě velké prostory uvnitř vozu pro přepravu pasažérů, které jsou přizpůsobeny jejich pobytu a pohybu v něm.
- Přítomnost sedadel.
- Instalace madel a tyčí pro držení cestujících po celé délce vozu.
- Umožnění nástupu a výstupu dveřmi, které mají dostatečné rozměry pro pohodlný nástup a umístěných ve vozidle v přijatelných vzdálenostech od sebe.
- Při setrvání člověka v prostoru dveří nesmí dojít k jeho zranění při jejich zavírání.
- Možnost bezbariérového nástupu.
- Kvalitní cirkulace vzduchu.
- Možnost vytápění a klimatizování vozu.
- Informační systém.
- Pohodlný nákup, případně označení lístků ve vozidle.
- Umožnění evakuace cestujících z vozidla při vzniku nebezpečí.
- Plynulost jízdy.
- Dostatečný počet a dobrá přístupnost tlačítek pro otevírání dveří
- Signalizační tlačítka pro případ ohrožení
- Nízká hlučnost
- Minimalizace vibrací

2) Řízení a systémy vozidla

- Vůz musí být schopný sledovat všechny účastníky silničního provozu a zabránit případné srážce s nimi.
- Včasná detekce jakákoliv překážky v cestě a včasné zastavení vozidla.
- Schopnost přizpůsobit se změnám počasí.
- Systém nočního vidění pro jízdu v noci
- Předejít selhání autonomních funkcí instalací záložních systémů.

- V případě potřeby možnost ovládní na dálku z řídicího centra.
- Odolnost vůči pokusům o zneužití pomocí hackerského útoku.
- Přítomnost černé skříňky pro případ nehody
- Schopnost řešit krizové situace uvnitř vozu jako je třeba požár.
- V případě výpadku elektřiny možnost aspoň krátké jízdy na baterie.
- Přesné zastavení tramvaje v zastávce.
- Monitorování dění uvnitř vozidla.
- Rozhodovací logika pro všechny myslitelné typy situací.

3) Interakce s okolím

- Komunikace se semaforem na křižovatkách.
 - Prodloužení či zkrácení intervalů semaforů podle potřeb tramvaje.
- Výměna dat s „chytrými“ zastávkami.
 - Informace pro cestující čekající na zastávce o aktuálním čase příjezdu tramvaje.
 - Monitorování počtu cestujících uvnitř vozidla i na zastávce pro potřeby dynamické dopravy.
- Přizpůsobení řízení dle podmínek v provozu a aktuálního počasí.
- Komunikace a sdílení dat s dalšími autonomními vozidly ve svém okolí.
- Online odesílání dat o poloze a provozu do řídicího centra.

6.3 – Základní architektura a prvky vozidla

V této kapitole je již blíže rozvedena možná architektura vozidla s výčtem prvků, bez kterých se autonomní vozidlo nemůže obejít, aby plnilo požadované funkce. Architekturu vozidla je možné rozdělit na vnější a vnitřní.

Vnitřní architektura

- Architektonické řešení interiéru vozidla bude s největší pravděpodobností velmi podobné dnešním vozům (stále zde budou sedadla, uličky, madla, tyče, dveře apod.) snad pouze s výjimkou možné absence kabiny řidiče, která již u plně autonomních vozidel nebude zapotřebí. Díky tomu se zvětší prostor pro cestující a samozřejmě zvýší přepravní kapacita vozidla.
- Vyšší počet kamer pro monitorování dění uvnitř vozu a počtu cestujících. Přibudou především v prostoru dveří, aby byl zajištěn bezpečný nástup a výstup cestujících.
- Čidla v sedadlech pro přesnější určení počtu pasažérů.
- Měření vnitřního zatížení vozu, aby nedošlo k jeho přetížení a tím i k případnému ohrožení jak vozidla, tak i cestujících (např. z důvodu již nedostatečné kapacity brzd).
- Výkonná počítačová jednotka pro zpracovávání všech informací.
- Informační systém pro cestující zůstane v přibližně stejné podobě jako dnes. Stále zde bude fungovat interkom v kombinaci s obrazovkami.
- Přítomnost automatů pro nákup jízdenek a také jejich označovačů.

- Tlačítka pro signalizaci nebezpečí, případně pro otevírání dveří.
- Samozřejmostí je dostatečný počet a velikost oken, aby vůz nepůsobil klaustrofobicky.
- Prostor pro umístění reklamy (není nutnou podmínkou pro provoz, ale provozovatel tuto možnost rád uvítá).

Vnější architektura

- Také exteriér se nebude od dnešních tramvají výrazně lišit. „Pořád zde budou kola, světla, blinkry, pantograf, klimatizace na střeše apod.“
- Otočné podvozky.
- Nově však bude na vozidle nainstalováno velké množství snímačů a kamer.
- U tramvají, které budou umožňovat ještě stále řízení člověkem z kabiny vozu je nutná přítomnost zpětných zrcátek, případně kamer, které tuto funkci zastoupí. V případě plně autonomního vozidla již ovšem nebudou zapotřebí.
- Spřáhla pro spojení vozů. V případě pokročilejší autonomie s podporou dynamické dopravy budou tato spřáhla automatická.

Tato práce se bude dále zabývat pouze vnější architekturou vozidla a to především v rámci rozmístění a funkce senzorů a kamer.

6.4 – Konceptní návrh rozmístění senzorů na vozidle

V této kapitole jsou již naznačena možná řešení rozmístění senzorů na vozidle včetně jejich funkce pro 3 různé konceptní varianty vozidla.

Použité snímače a senzory

Lidar – Slouží k vytvoření podrobné 3D mapy okolo vozidla pomocí zobrazení mračna bodů získaných laserovým paprskem. Funguje na principu rychlosti šíření světla. Měří se čas, za jak dlouho se vyslaný paprsek vrátí do snímače po odražení o zkoumaný objekt. Tyto údaje jsou následně vyhodnocovány softwarem a je z nich vytvořena výsledná mapa. [13]

Použité parametry: Dosah – 150 m
Měřicí úhel: 73°x20°
Přesnost: ± 3 cm

Radar – Jeho úkolem je hlídání vzdáleností od okolních překážek a měření rychlostí pohybujících se objektů. Fungují na principu vysílání mikrovlnných nebo elektromagnetických impulsů do okolí. Tyto impulsy ve chvíli, kdy narazí na nějakou překážku, se od této překážky odrazí a vrátí se zpět do snímače. Opět se zde měří čas od vyslání pulsu do jeho návratu. [14]

Použité parametry: Rozsah: 0,5 – 70 m

Měřicí úhel: $150^{\circ} \times 22^{\circ}$

Ultrazvukový snímač – Používají se také k detekci objektů v okolí vozidla. Jsou schopny detekovat jakýkoliv materiál. I zde je princip fungování stejný jako u radaru. Tedy, opět jsou vysílány ultrazvukové pulsy. Ty se od překážek odrážejí a vracejí se zpět do snímače. Snímač vyhodnocuje, jaká doba uplyne od vyslání pulsu do jeho návratu. [15]

Použité parametry: Rozsah: 0,02 - 4 m
Měřicí úhel: 15°

Kamerový systém - Operuje v úzké kooperaci s inteligentním softwarem, který je schopen rozpoznávat dopravní značky, světla na semaforu, počítat cestující, sledovat jejich chování apod. Kamery budou instalovány, jak zevnějšku vozu, tak i v jeho interiéru.

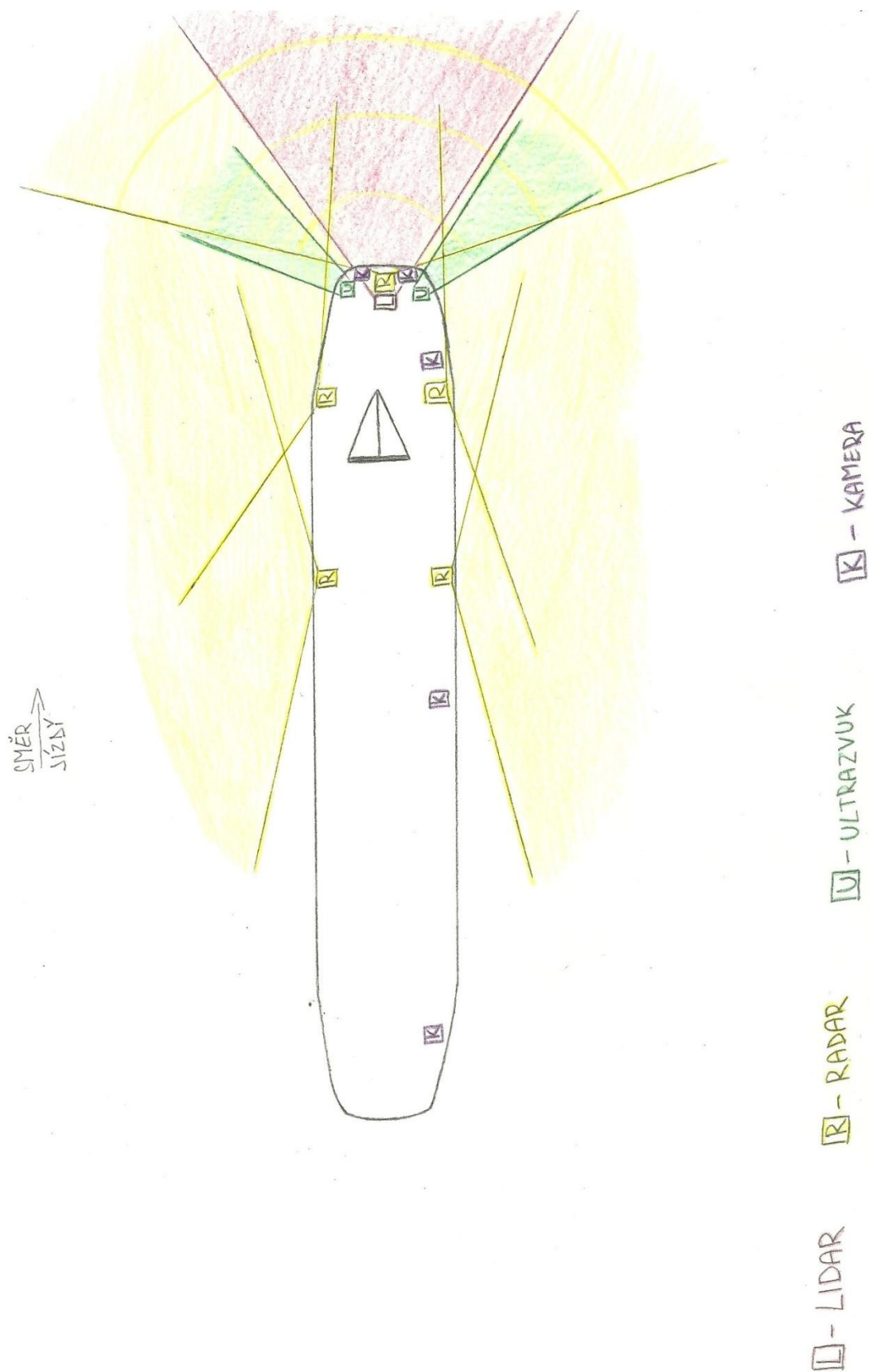
Nárazové čidlo – Tyto snímače jsou vybaveny akcelerometrem. Ten měří aktuální zrychlení vozidla. V případě dopravní nehody zaregistruje výraznou odchylku ve zrychlení oproti normálu, čímž zaznamená, že došlo k nějakému incidentu.

GPS – Je systém pro určení polohy, kterou určuje pomocí satelitů na oběžné dráze Země. Družice vysílají signál a opět se zde měří čas, za jak dlouho doputuje k objektu, u kterého určíme jeho polohu. Porovnáním časových signálů z více družic je tak možné určit polohu s přesností na jeden metr. [16]

Výčet koncepčních variant:

Koncepční varianta 1

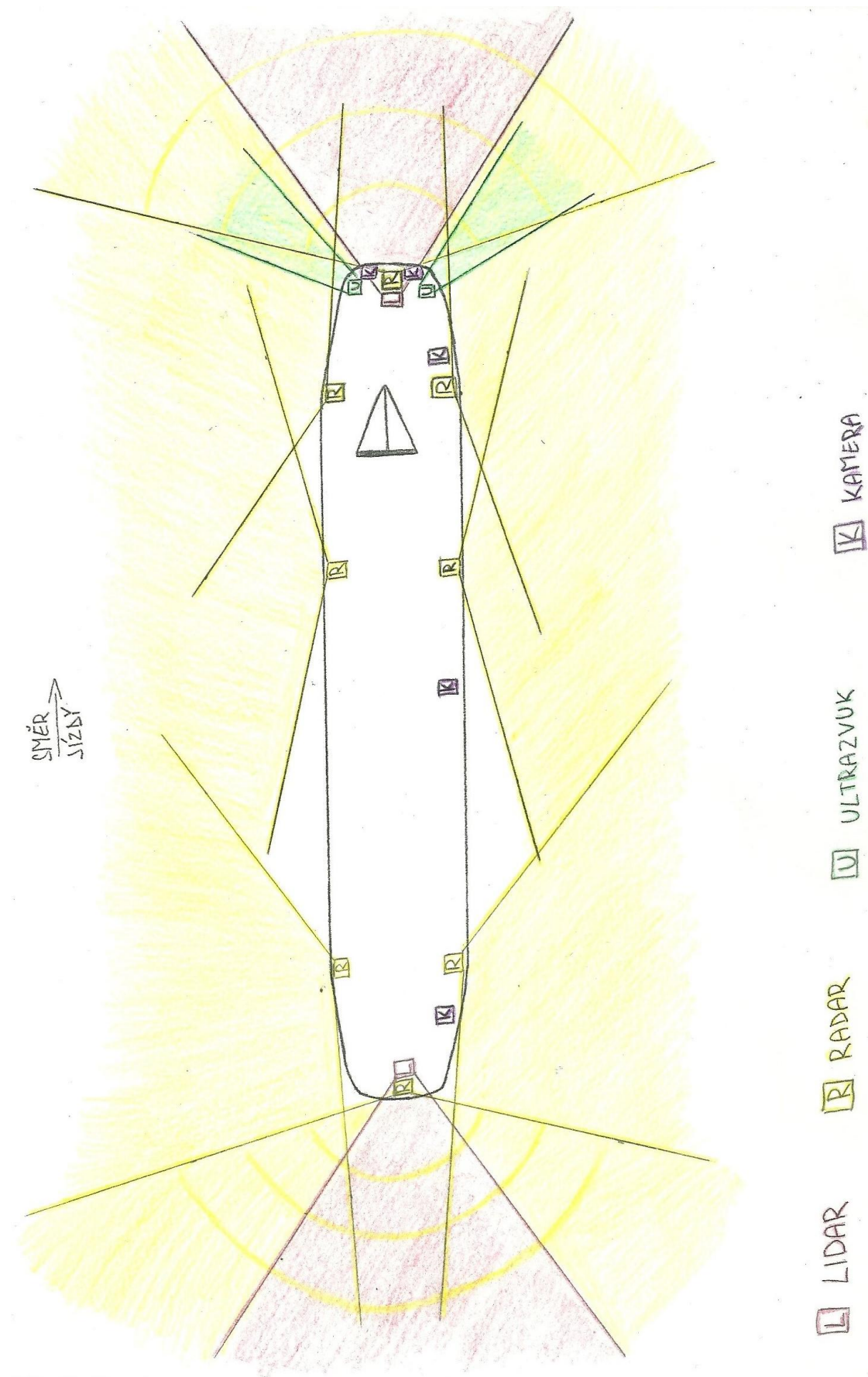
- Tato tramvaj je navržena pouze pro autonomní provoz v jednom směru, kdy se počítá s možností otočení tramvaje na konečné. Nebude tedy schopná autonomní jízdy zpět.
- V případě potřeby např. při pojíždění ve vozovně ji bude nutné ovládat manuálně.
- Po celém obvodu bude osazena nárazovými čidly pro případ nehody.
- Přední část je osazena lidarem a radary pro důkladné monitorování okolí ve směru jízdy
- V přední části vozu jsou umístěny dvě kamery, které rozeznávají dopravní značení a identifikují typ zaznamenaného objektu, především chodce.
- Prostor dveří je monitorován kamerami s funkcí detekce lidí.
- Ultrazvuk má za úkol vykrýt případný slepý úhel u tramvaje
- U této varianty lze tedy počítat s nižší výrobní náročností ale především s nižší výrobní cenou. Nevýhodou je však její nižší „samostatnost“.



Obrázek 3 – Rozmístění senzorů 1

Koncepční varianta 2

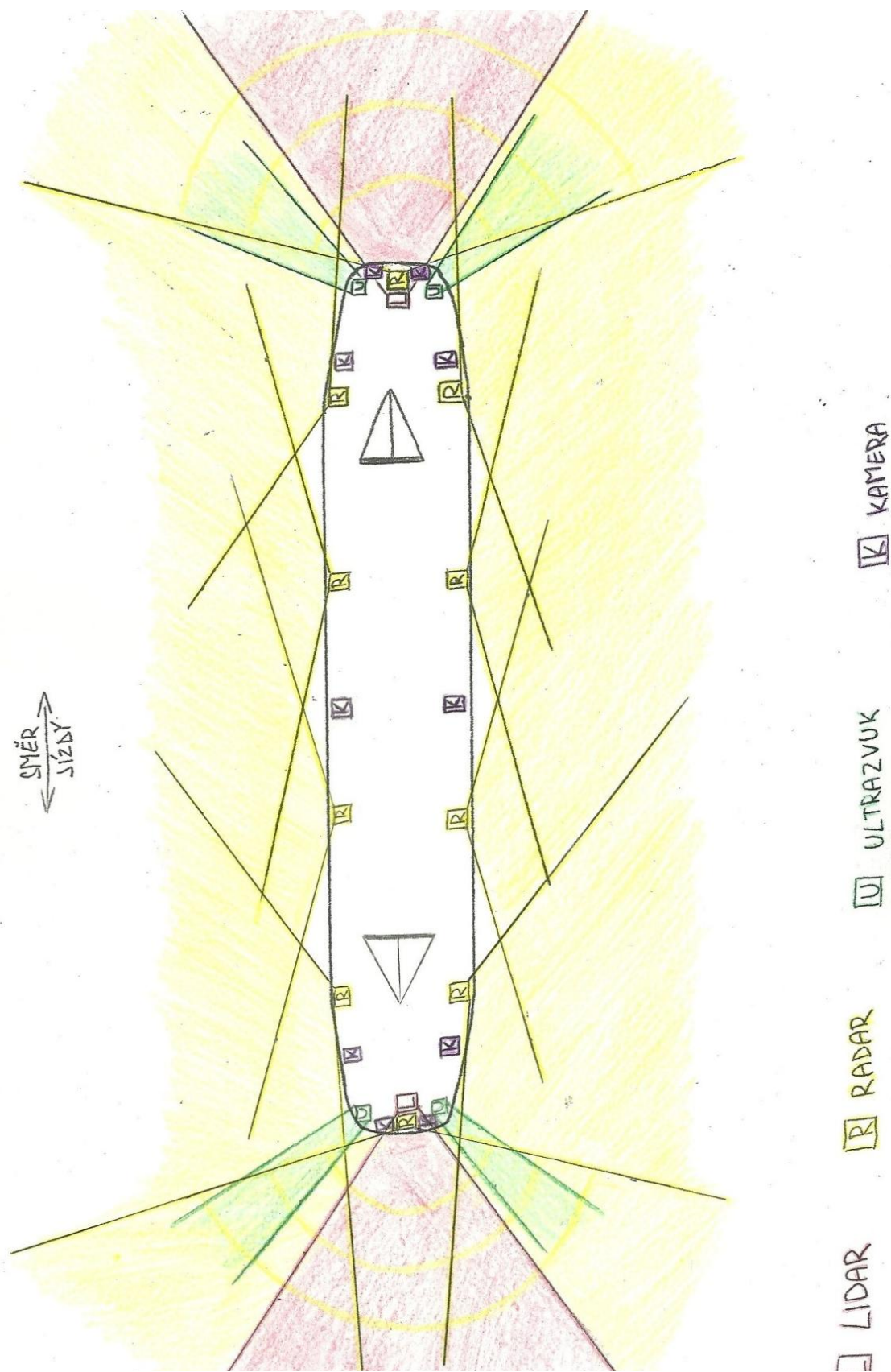
- V této koncepci je tramvaj také navržena pro jednosměrný provoz s tím rozdílem, že již je schopna i krátké jízdy dozadu. Tudíž již odpadá nutnost ji manuálně řídit třeba při zpětném pojíždění ve vozovně.
- Rozdílem oproti předchozí variantě je osazení vozidla lidarem a radary i na zadní části vozidla. Funkce a rozmístění ostatních senzorů a kamer zůstává stejná jako v předchozím případě.
- Lidar je aktivní vždy pouze na té části vozidla, která se aktuálně pohybuje vpřed.
- Všechny radary jsou aktivní po celou dobu jízdy.
- I zde jsou nainstalována nárazová čidla po obvodu vozidla.
- U této koncepce se tedy jedná o jakýsi kompromis mezi možnostmi použití a výrobní cenou.



Obrázek 4 – Rozmístění senzorů 2

Koncepční varianta 3

- U této varianty se již jedná o naprosto samostatné vozidlo, které je schopné obousměrné jízdy v plné autonomii.
- Funkce a rozmístění snímačů, které byly uvedeny v předchozích, variantách zůstává stále stejná.
- Vůz je nyní osazen stejnými snímači na obou koncích vozidla. Na původně zadní části jsou nainstalovány k původním čidlům navíc ještě ultrazvukové snímače a kamery.
- Dále přibyly na bocích radary pro dokonalé pokrytí celého okolí vozidla.
- Jelikož se u této koncepcie počítá s jízdou oběma směry, je nutné tedy počítat s přítomností dveří na obou stranách tramvaje, jejichž prostor snímají kamery k tomu určené.
- Podle směru jízdy bude vždy aktivní pouze část kamer a dveří na příslušné straně.
- Jeho předností je rozhodně univerzálnost použití. Ta je ovšem kompenzována jeho vyšší cenou.



Obrázek 5 – Rozmístění senzorů 3

Rozmístění senzorů – čelní pohled



Obrázek 6 – Rozmístění senzorů čelní pohled

- Toto rozmístění platí pro všechny tři koncepční varianty

6.5 - Ukázka jednotlivých snímačů s naznačením jejich možné instalace na vozidlo:

Radar



Obrázek 7 – Radar [19]

- Radar je k vozidlu připevněn pomocí šroubů

Ultrazvuk



Obrázek 8 – Ultrazvuk [20]

- Ultrazvukový senzor je přichycen konektorem

Stereo kamera



Obrázek 9 – Stereo kamera [21]

- Instalace stereo kamery je řešena pomocí nacvakávacího držáku viz. další obrázek



Obrázek 10 – Držák stereo kamery [22]

Kamera pro monitorování dveřního prostoru



Obrázek 11 – Kamera 360° [23]

- Tento typ kamer je již běžně instalován do dveřního prostoru v nových tramvajích Vario

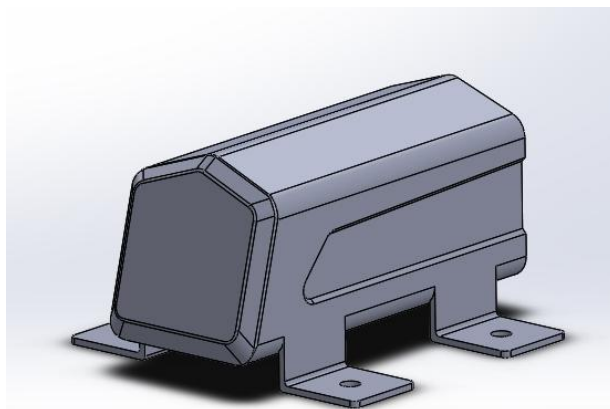
Lidar



Obrázek 12 – Lidar [24]

Možné koncepční varianty uchycení lidarů

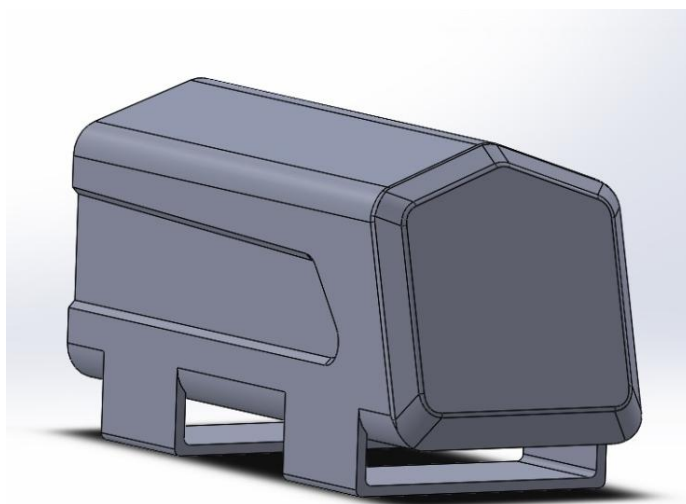
Varianta 1



Obrázek 13 – Uchycení lidarů V1

- V tomto případě by výrobce opatřil lidar úchyty, pomocí kterých by byl lidar připevněn k vozidlu.
- Samotné uchycení je možné řešit pomocí šroubů a nebo přilepením.
- Pod dosedacími plochami bude použita tvarová guma, jejíž tvar by se odvíjel od tvaru karoserie daného typu vozidla. (Použita bude na dosedacích plochách i u následujících variant. Dále již tedy nebude zmiňována).

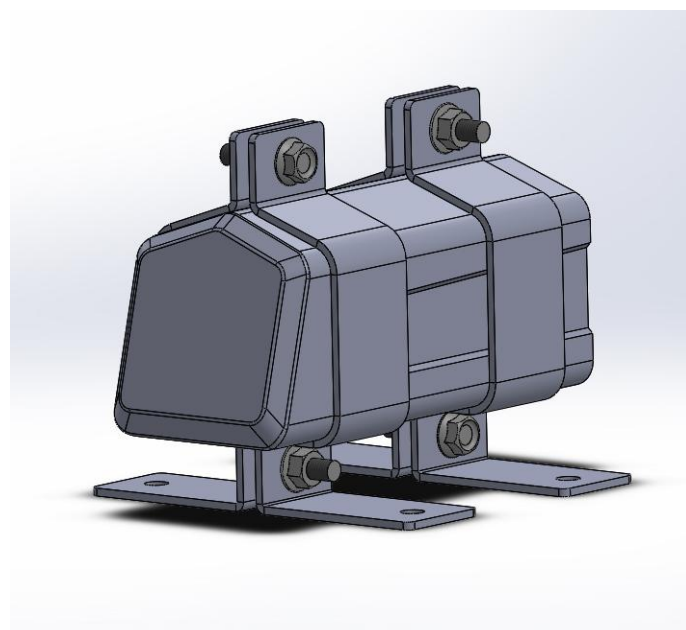
Varianta 2



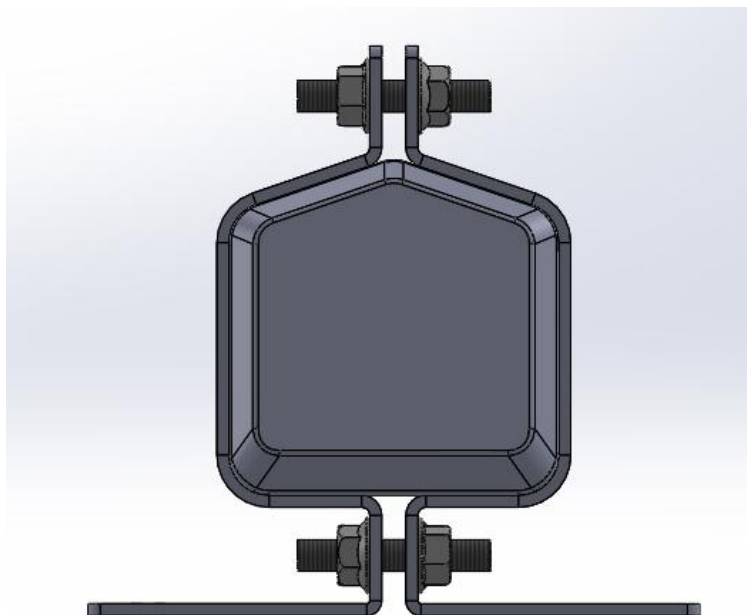
Obrázek 14 – Uchycení lidarů V2

- V tomto provedení výrobce opět opatří lidar „nožičkami“.
- Tato verze je pouze určena k instalaci pomocí lepení .

Varianta 3



Obrázek 15 – Uchycení lidarů V3



Obrázek 16 – Uchycení lidaru V2, čelní pohled

- Jak je již vidět z obrázků, lidar je připevněn pomocí objímek, které se vozidlu opět mohou přišroubovat anebo přilepit.
- Velikost šroubů je M8
- Dosedací plocha objímky k lidaru bude pogumována pro vyšší součinitel tření

6.6 – Výpočtové hodnocení:

Odporová síla vzduchu

$$F_o = C_x * \frac{\rho}{2} * S_x * (v_{voz} + v_{vzduch})^2 = 0,6 * \frac{1,3951}{2} * 0,007340814 * (28 + 16,7)^2 = 6,14 \text{ N}$$

C_x - Součinitel odporu vzduchu – volí se podle velikosti a tvaru vozidla [-]

ρ – Hustota vzduchu [$\frac{kg}{m^3}$]

v_{voz} - Rychlost vozidla [m/s]

v_{vzduch} - Rychlost vzduchu – zvolena pro případ vichřice [m/s]

S_x - Čelní plocha vozidla [m^2]

Setrvačná síla – počítána pro případ nárazu

$$F_s = m * a = m * \frac{v}{t} = 1,56 * \frac{16,7}{1} = 26,1 \text{ N}$$

m – hmotnost [kg]

a – zrychlení [$m*s^{-2}$]

v – rychlost [m/s]

t – čas [s]

Předepnutí šroubového spoje spojovacího objímky

$$F_p = F_2 + \Delta F_2 = 18,24 + 13,73 = 31,97 \text{ N}$$

F_p - Předepínací síla [N]

F_2 - Síla působící ve spojovaných součástech [N]

ΔF_2 - Část síly F připadající na spojované součásti [N]

$$F_2 = \psi * F = 0,7 * 26,05 = 18,24 \text{ N}$$

Ψ - Součinitel proti odlehnutí (0,2-1,2) – volí konstruktér [-]

F – Působící síla [N]

$$\Delta F_2 = F * \frac{k_2}{k_1 + k_2} = 26,05 * \frac{260750}{234094 + 260750} = 13,73 \text{ N}$$

k_1 - Tuhost šroubu [N/mm]

k_2 - Tuhost spojovaných součástí [N/mm]

$$k_1 = \frac{k_z * k_d}{k_z + k_d} = \frac{294916,2 * 1135081,4}{294916,2 + 1135081,4} = 234094 \text{ N/mm}$$

k_z – Tuhost závitu [N/mm]

k_d – Tuhost dřívku [N/mm]

$$k_z = \frac{E_1 * S_j}{l_z} = \frac{2,1 * 10^5 * 30,9}{22} = 294916,2 \text{ N/mm}$$

S_j - Plocha průřezu jádra šroubu [mm²]

E_1 – Modul pružnosti šroubu [MPa]

l_z – Délka závitu [mm]

$$k_d = \frac{E_1 * S_d}{l_d} = \frac{2,1 * 10^5 * \frac{\pi * 7,42^2}{4}}{22} = 1135081,4 \text{ N/mm}$$

S_d - Plocha průřezu dřívku šroubu [mm²]

E_1 – Modul pružnosti šroubu [MPa]

l_d – Délka dřívku [mm]

$$k_2 = \frac{E_2 * S_2}{L_s} = \frac{2,1 * 10^5 * 7,45}{6} = 1081500 \text{ N/mm}$$

S_2 - Plocha pružnosti spojovaných součástí [mm²]

E_2 – Modul pružnosti spojovaných součástí [MPa]

L_s – Tloušťka spojovaných součástí [mm]

$$S_2 = \frac{\pi * (D^2 - D_0^2)}{4} = \frac{\pi * (8,572^2 - 8^2)}{4} = 7,45 \text{ mm}^2$$

D - Průměr oblasti ve spojovaných součástech ovlivněných předpětím [mm]

D_0 - Průměr díry [mm]

$$D = S + \frac{Ls}{x} = 8 + \frac{6}{10} = 8,6 \text{ mm}$$

S – Vnější průměr dosedací plochy [mm]

Ls - Tloušťka spojovaných součástí [mm]

x – pro ocel $x = 10$ [-]

- Z výpočtů je patrné, že síly působící na snímač jsou malé a tudíž se nemusíme bát o případnou nedostatečnou pevnost a životnost držáku snímače.

7 – Závěr

V této práci byla provedena rešerše současného stavu autonomních vozidel ve světě. Následně byl zhotoven rozbor autonomního řízení včetně všech rizik a aspektů, se kterými se může vozidlo v provozu setkat a nastínění možností jejich řešení. Dále byl proveden rozbor technických požadavků na tramvajové vozidlo a poté zhotoveny 3 koncepční návrhy rozmístění senzorů na vozidle včetně popsání jejich funkcí a připevnění k vozidlu. V případě lidarů byly provedeny kontrolní výpočty pro jednu z koncepčních variant. Závěrem lze tedy říct, že uváděné návrhy by po přizpůsobení danému typu vozu měly být schopny aplikace v reálném prostředí.

Autonomní vozidla jsou bezesporu budoucností dopravy. Je to především z důvodu mnohem vyšší bezpečnosti a komfortu přepravy cestujících. Bezpečnost je znatelně vyšší, jelikož autonomní vozidlo na rozdíl od řidiče sleduje naráz dění v celém okolí vozidla a nikdy u něj nehrozí únava a tím i snížení pozornosti. Již dnes se s nimi můžeme v určitých případech setkat, avšak jejich masovému nástupu zatím brání určité technologické nedostatky a především legislativa, která na ně ještě není připravena. Nicméně vyřešení těchto problémů se pravděpodobně dočkáme již v průběhu několika příštích let.

Seznam použité literatury

Internetové zdroje

[1] Samořízené motorové vozidlo. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-11-26]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Samo%C5%99%C3%ADzen%C3%A9_motorov%C3%A9_vozidlo

[2] Úrovně autonomního řízení – jak šel čas od nuly až k Tesle. *TESLAFAN* [online]. 2016, 2016 [cit. 2017-11-26]. Dostupné z: <https://www.teslafan.cz/clanky/urovne-autonomniho-rizeni-jak-sel-cas-od-nuly-az-k-tesle>

[3] The 6 levels of self-driving car - and what they mean for motorists. *TheJournal.ie* [online]. 2017 [cit. 2017-11-26]. Dostupné z: <http://www.thejournal.ie/self-driving-cars-autonomy-levels-3603253-Sep2017/>

[4] What's an automated metro? *TMB* [online]. [cit. 2017-11-26]. Dostupné z: <https://www.tmb.cat/en/about-tmb/transport-network-improvements/automated-metro/what-is-it>

[5] Metro bez řidiče - Rijád. *Siemens* [online]. [cit. 2018-02-15]. Dostupné z: <http://www.siemens.cz/smartcities/download.php?fid=869>

[6] CITYFLO 650. *Bombardier* [online]. [cit. 2017-11-26]. Dostupné z: <http://www.bombardier.com/en/transportation/products-services/rail-control-solutions/mass-transit-solutions/cityflo-650.html>

[7] AnsaldoBreda Driverless Metro. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-11-26]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/AnsaldoBreda_Driverless_Metro

[8] Alstom and the RATP carry out first tests on the autonomous stabling of a tram in a depot. *Alstom* [online]. 2017 [cit. 2017-11-26]. Dostupné z: <http://www.alstom.com/press-centre/2017/04/alstom-and-the-ratp-carry-out-first-tests-on-the-autonomous-stabling-of-a-tram-in-a-depot/>

[9] Remote Assistance for Autonomous Vehicles in Predetermined Situations. *Google patent* [online]. 2014 [cit. 2017-11-26]. Dostupné z: <https://www.google.com/patents/US20150248131>

[10] Object detection and classification for autonomous vehicles. *Google patent* [online]. 2014 [cit. 2017-11-26]. Dostupné z: <https://www.google.ch/patents/US8874372>

[11] Autonomous cars without human drivers will be allowed on California roads starting next year. *The Verge* [online]. 2017 [cit. 2017-11-26]. Dostupné z: <https://www.theverge.com/2017/10/11/16458850/self-driving-car-california-dmv-regulations>

- [12] Chytrá zastávka. *CityOne* [online]. 2017 [cit. 2017-12-08]. Dostupné z: <https://www.cityone.cz/chytra-zastavka/t6349>
- [13] Lidar. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-02-13]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Lidar>
- [14] Radar. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Radar>
- [15] Ultrazvukový snímač. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: https://sk.wikipedia.org/wiki/Ultrazvukov%C3%BD_sn%C3%ADma%C4%8D
- [16] GPS. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Global_Positioning_System
- [17] PT_distribuidora_nivell-3-Metro-automa%3Ftic.jpg. In: *TMB* [online]. [cit. 2017-11-26]. Dostupné z: <https://www.tmb.cat/en/about-tmb/transport-network-improvements/automated-metro>
- [18] Tn_fr-paris_T7_Citadis_02.jpg. In: *Metro-report* [online]. [cit. 2017-11-26]. Dostupné z: http://www.metro-report.com/uploads/pics/tn_fr-paris_T7_Citadis_02.jpg
- [19] *Bosch presents new radar sensor* [online]. In: . [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <http://www.bosch-presse.de/pressportal/de/en/bosch-presents-new-radar-sensor-42312.html>
- [20] *Bosch ultrasonic sensors* [online]. In: . [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <http://www.bosch-presse.de/pressportal/de/en/bosch-ultrasonic-sensors-55689.html>
- [21] *The Bosch innovations on show at the IAA 2016* [online]. In: . [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <http://www.bosch-presse.de/pressportal/de/en/the-bosch-innovations-on-show-at-the-iaa-2016-55626.html>
- [22] *The Bosch stereo video camera provides important optical information about the vehicle's surroundings* [online]. In: . [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <http://www.bosch-presse.de/pressportal/de/en/the-bosch-stereo-video-camera-provides-important-optical-information-about-the-vehicles-surroundings-121096.html>
- [23] *Panoramic cameras* [online]. In: . [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <https://www.axis.com/technologies/panoramic-cameras>
- [24] *Land mobile mapping system* [online]. In: . [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <http://www.lidaruav.eu/index.php/component/k2/item/11-3d-lidar-sensor-360>

Seznam obrázků

| | |
|--|----|
| Obrázek 1 – Metro Barcelona [17] | 10 |
| Obrázek 2 – RATP [18] | 12 |
| Obrázek 3 – Rozmístění senzorů 1 | 30 |
| Obrázek 4 – Rozmístění senzorů 2 | 32 |
| Obrázek 5 – Rozmístění senzorů 3 | 34 |
| Obrázek 6 – Rozmístění senzorů čelní pohled..... | 35 |
| Obrázek 7 – Radar [19]..... | 35 |
| Obrázek 8 – Ultrazvuk [20] | 36 |
| Obrázek 9 – Stereo kamera [21] | 36 |
| Obrázek 10 – Držák stereo kamery [22] | 36 |
| Obrázek 11 – Kamera 360° [23] | 37 |
| Obrázek 12 – Lidar [24]..... | 37 |
| Obrázek 13 – Uchycení lidarů V1 | 37 |
| Obrázek 14 – Uchycení lidarů V2 | 38 |
| Obrázek 15 – Uchycení lidarů V3 | 38 |
| Obrázek 16 – Uchycení lidarů V2, čelní pohled..... | 39 |