



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
FAKULTA DOPRAVNÍ

ČEMUSOVÁ NIKOLA

ZVÝŠENÍ BEZPEČNOSTI CHODCŮ
V PŘESTUPOVÝCH UZLECH MHD

Diplomová práce

2021



K616.....**Ústav dopravních prostředků**

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Bc. Nikola Čemusová

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

N 3710 – IS – Inteligentní dopravní systémy

Název tématu (česky): **Zvýšení bezpečnosti chodců v přestupových uzlech MHD**

Název tématu (anglicky): Increase of pedestrians safety in public transport interchanges

Zásady pro vypracování

Při zpracování diplomové práce se řiďte následujícími pokyny:

- Proveďte analýzu nehodovosti mezi chodci a tramvajemi a definujte situace se zvýšeným rizikem nebezpečí
- Definujte a popište možnosti komunikace mezi chodci a tramvajemi, prostudujte možnosti vizuálního rozhraní pro komunikaci mezi chodci a dopravními prostředky
- Navrhněte design a technické řešení vizuální komunikace, které přispěje ke zvýšení bezpečnosti chodců v oblasti přestupních uzlů
- Připravte a proveďte experiment ve VR, který umožňuje hodnotit vliv tohoto technického řešení na zvýšení bezpečnosti chodců
- Na základě naměřených dat z experimentu vyhodnoťte přínos tohoto řešení komunikace pro bezpečnost chodců



Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucích

Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)

Seznam odborné literatury: Statistika dopravní nehodovosti ČR
CHARLTON, Alistair. How should driverless cars communicate with pedestrians? [online] Dostupné z: <https://www.gearbrain.com/driverlesscar-pedestrian-communication-2623192871.html>

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Adam Orlický**
doc. Ing. Stanislav Novotný, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: **3. června 2020**
(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: **17. května 2021**
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

doc. Ing. Petr Bouchner, Ph.D.
vedoucí
Ústavu dopravních prostředků



doc. Ing. Pavel Hrubeš, Ph.D.
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.

Bc. Nikola Čemusová
jméno a podpis studenta

V Praze dne 3. června 2020

Poděkování

Chtěla bych poděkovat všem, kteří mi pomohli s vypracováním této práce a za odborné rady. Zejména bych poděkovala Ing. Adamu Orlickému a doc. Ing. Stanislavu Novotnému, Ph.D.

Prohlášení

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

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

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

V Praze dne 1.8.2021

Nikola Čemusová
podpis

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

Ústav dopravních prostředků

ZVÝŠENÍ BEZPEČNOSTI CHODCŮ V PŘESTUPOVÝCH UZLECH MHD

Diplomová práce

srpen 2021

Nikola Čemusová

Abstrakt

Tato práce se zabývá návrhem a testováním zařízení, které slouží ke zvýšení bezpečnosti chodců na tramvajových zastávkách.

Teoretická část se zabývá popisem tramvajové dopravy - geometrie kolejí, statistikou nehodovosti mezi chodci a tramvajemi a výhledovými poměry chodce a řidiče. Dále popisuje současné prvky zvyšující bezpečnost tramvajové dopravy, analyzuje prvky využívané ke zvýšení bezpečnosti chodců v oblasti autonomních vozidel a na jejich základě navrhuje nová výstražná zařízení pro tramvajovou dopravu.

V praktické části je proveden experiment ve virtuální realitě, který ověřuje účinnost navržených výstražných zařízení. Je využita technologie HMD s eyetrackingem, pomocí které je analyzování chování chodců na navržené systémy výstrahy.

Klíčová slova: Unity, scéna, scénář, HMD, Eye tracker, bezpečnostní zařízení, tramvajová doprava, bezpečnost chodců

CZECH TECHNICAL UNIVERSITY IN PRAGUE

Faculty of Transportation Sciences

Department of Vehicle Technology

INCREASING OF PEDESTRIANS SAFETY IN PUBLIC TRANSPORT INTERCHANGES

Diploma's thesis

August 2021

Nikola Čemusová

Abstract

This diploma thesis focuses on the design and testing of a device to improve pedestrian safety at tram stops.

The theoretical part starts with a description of tramway traffic - track geometry, statistics of pedestrian-tram accidents and the pedestrian's and driver's field of view. It then describes the current safety-enhancing features of tramway traffic, analyses the features used to enhance pedestrian safety in autonomous vehicles, and proposes new warning devices for tramway traffic based on these features.

In the practical part, a virtual reality experiment is conducted to verify the effectiveness of the proposed warning devices. HMD technology with eyetracking is used to analyse pedestrian reactions to the proposed warning systems.

Keywords: Unity, scene, scenario, HMD, Eye tracker, safety device, tram traffic, pedestrian safety

Obsah

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | Úvod | 8 |
| | TEORETICKÁ ČÁST | 9 |
| 2 | Úvod do problematiky | 9 |
| 3 | Tramvajová doprava | 9 |
| 3.1 | Základní parametry tramvaje | 9 |
| 3.1.1 | Typy tramvají | 9 |
| 3.2 | Geometrie kolejí | 15 |
| 3.2.1 | Osová vzdálenost kolejí | 15 |
| 3.3 | Nehodovost mezi chodci a tramvajemi | 17 |
| 3.4 | Bezpečnost | 20 |
| 3.4.1 | Výhledové poměry řidiče tramvaje | 20 |
| 3.4.2 | Výhledové poměry chodce | 22 |
| 3.4.3 | Brzdná dráha tramvaje | 23 |
| 4 | Současné prvky zvyšující bezpečnost tramvajové dopravy | 28 |
| 4.1 | Kresba na zemi | 28 |
| 4.2 | Svislá značka upozorňující chodce | 29 |
| 4.3 | Fyzická zábrana | 29 |
| 4.4 | Svítící prvky zabudované na nástupišti | 30 |
| 4.5 | Varovné zařízení | 33 |
| 5 | Možnosti externí komunikace | 36 |
| 5.1 | Možnosti komunikace řidiče tramvaje s chodci | 36 |
| 5.2 | Návrhy pro komunikaci chodec – autonomní vozidla | 36 |
| 5.2.1 | Grafický panel | 38 |
| 5.2.2 | LED diody | 40 |
| 5.2.3 | Světelná maska | 41 |
| 5.2.4 | Zobrazování na karoserii vozidla | 42 |
| 5.2.5 | Zobrazování na skle vozidla | 43 |
| 5.2.6 | Projekce na vozovku | 44 |

| | | |
|-------|---|----|
| 6 | Metodika pro hodnocení experimentu | 46 |
| 6.1 | Možnosti testování | 46 |
| 6.2 | Virtuální prostředí | 46 |
| 6.2.1 | Eye tracker | 46 |
| 6.3 | Reálné prostředí | 47 |
| 6.4 | Výběr grafického softwaru | 48 |
| 6.4.1 | Herní enginy | 48 |
| | PRAKTICKÁ ČÁST | 49 |
| 7 | Návrh testované scény | 49 |
| 7.1 | Tvorba testované scény | 50 |
| 8 | Návrh testovaných scénářů | 50 |
| 9 | Vlastní experiment | 52 |
| 9.1 | Informace o účastnících experimentu | 53 |
| 9.2 | Pořadí scénářů | 53 |
| 9.3 | Vyhodnocení experimentu | 55 |
| 9.3.1 | Naměřená data pomocí Eye trackeru | 55 |
| 9.3.2 | Dotazníkový průzkum | 59 |
| 9.4 | Shrnutí | 62 |
| 10 | Závěr | 64 |
| 11 | Použité zdroje | 67 |
| 12 | Seznam obrázků | 71 |
| 13 | Seznam tabulek | 73 |
| 14 | Seznam grafů | 74 |

Seznam použitých zkratek

| | |
|------------------|--------------------------------------|
| HMD | Head-mounted display |
| ČR | Česká republika |
| MHD | městská hromadná doprava |
| ČKD | Českomoravská-Kolben-Daněk |
| DPP hl. m. Praha | Dopravní podnik hlavního města Praha |
| DP | diplomová práce |
| AV | autonomní vozidlo |
| VR | virtuální realita |

Seznam veličin a jednotek

| | |
|---|------|
| m | metr |
| t | tuna |

1 Úvod

Tramvajová doprava začala vznikat na počátku 19. století ve Velké Británii, kde byla zhotovena první tramvaj tažena koňmi. Tento první model tramvaje nemá s dnešními tramvajemi mnoho podobného. Postupem času se tramvajová doprava rozšířila do celého světa. Tramvaje začaly pohánět parní lokomotivy a na konci 19. století vznikla plně elektrická tramvaj. Tramvaje na elektrický princip fungují dodnes. S rostoucí hustotou tramvajových sítí a jejich implementací do prostoru chodců vznikají nehody, které je snaha snižovat. [1]

V současné době dochází v průměru k 112 dopravním nehodám mezi chodci a tramvajemi ročně. Nehodám pomáhají předejít výstražné prvky. Jak vyplývá z analýzy v teoretické části DP, ke třetině nehod odehrávajících se v zastávkách dochází v situaci, kdy chodec přechází za zadní částí tramvaje. Na zadní část tramvaje se současně nezaměřuje žádný z používaných výstražných prvků. Proto jsem se rozhodla na tuto problematiku zaměřit a navrhnout systém, který by těmto dopravním nehodám předcházel. [2]

Analyzovala jsem výstražné prvky používané v autonomních vozidlech, které ve výzkumu komunikace vozidla s chodcem dospěly nejdále. Využila jsem těchto návrhů a dva nevhodnější upravila pro použití v tramvajové dopravě.

Účinnost nově navržených prvků jsem otestovala na dobrovolnících. Pro testování těchto systémů jsem se rozhodla využít technologii VR s HMD, která dokáže simulovat realisticky vypadající prostředí. Výhodou využití VR je, že testování je pro člověka zcela bezpečné a pokusy jsou zopakovatelné při neměnných podmínkách. Při experimentu ve virtuální realitě je možné naměřit řadu dalších parametrů, například směr pohledu chodce nebo trajektorii jeho pohybu.

Test se odehrával podle předem připravených scénářů. Jejich cílem bylo porovnat chování účastníků testu za použití a za absence nově navržených výstražných prvků. Výsledky testu jsem použila k ověření dvou hypotéz: první z nich předpokládá, že chodci budou respektovat varovná zařízení a nebudou vstupovat do kolejiště. Druhá tvrdí, že chodci budou sledovat varovná zařízení místo nahlížení zpoza tramvaje.

TEORETICKÁ ČÁST

2 Úvod do problematiky

Tramvajová doprava je významným prvkem MHD sloužící k hromadné přepravě lidí. Avšak z důvodu časté integrace do silniční infrastruktury se jedná o typ dopravy interagující s mnoha jinými typy dopravních prostředků. Z těchto důvodů se účastníci této přepravy často dostávají do situací, které jsou velmi nebezpečné. Z důvodu mnohonásobně vyšší hmotnosti tramvaje vůči člověku mají případné nehody fatální následky. Proto jsem se rozhodla v této DP analyzovat kritické situace, které se při přepravě vyskytují a pokusit se nalézt řešení, které by zvýšilo bezpečnost účastníků přepravy. Před samotným řešením této problematiky jsem se však rozhodla popsat současnou tramvajovou dopravu v ČR.

3 Tramvajová doprava

Tramvajová doprava na rozdíl od dopravy silniční není rozšířena po celém území České republiky, ale vyskytuje se jen v 8 městech. Největší síť tramvajové dopravy se nachází v hlavním městě v Praze. V současné době je v Praze zavedeno 26 denních linek. Druhá největší síť tramvajové dopravy je v Brně, kde operuje 11 denních tramvajových linek. Třetí největší síť tramvajové dopravy se nachází v Ostravě, kde je možné využít 14 denních linek. Dále je možné potkat tramvaje ve městě Plzeň, kde tramvajová doprava tvoří významnou páteřní síť MHD, v Liberci a Olomouci. Města Most a Litvínov využívají společnou tramvajovou síť. [3] [4] [5]

Dále jsem se zaměřila na pražskou tramvajovou dopravu, jelikož se jedná o nejrozšířenější tramvajovou síť. Spolu s nejvyšším počtem obyvatel v ČR tato kombinace tvoří vysoké riziko počtu nehod chodců s tramvajemi. V další části jsem popsala tramvajové vozy z pohledu bezpečnosti chodce.

3.1 Základní parametry tramvaje

V Praze je v provozu několik typů tramvají. V této diplomové práci jsem se rozhodla nejčastěji se vyskytující tramvaje popsat. Zaměřila jsem se na parametry tramvaje, které jsou důležité z hlediska bezpečnosti tramvají vůči chodcům. Následně jsem tyto parametry porovnávala mezi jednotlivými typy tramvají.

3.1.1 Typy tramvají

3.1.1.1 Tatra T3

Nejrozšířenějším typem tramvajového vozu je Tatra T3 od výrobce ČKD Tatra Praha (Obr.1). Vozy se začaly vyrábět roku 1960 jako nástupce vozu Tatra T2. Celkem bylo vyrobeno okolo

14 000 kusů tohoto modelu tramvaje. Jedno vozidlo uveze až 100 cestujících. Délka vozidla je 14 m, šířka je 2,5 m, hmotnost prázdného vozu je 16 t. [6]



Obrázek 1 Tatra T3 [7]

3.1.1.2 Tatra KT8D5

Dalším typem vozu od výrobce ČKD Tatra Praha je Tatra KT8D5 (Obr.2). Jedná se o obousměrný tramvajový vůz. Tento typ tramvajového vozu se začal vyrábět od poloviny 80.let 20 století. Celkem bylo vyrobeno okolo 200 kusů. V jednom voze je celkem 231 míst pro cestující. Délka vozidla je 30,3 m, šířka je 2,5 m, hmotnost prázdného vozu činí 38 t. [8]



Obrázek 2 Tatra KT8D5 [9]

3.1.1.3 T6A5

Tatra T6A5 se svým vzhledem podobá tramvajovému vozu Tatra KT8D5 (Obr.3). Nejedná se ale o obousměrný vůz a délka tramvajového článku je poloviční. T6A5 měří 14,7 m na délku. Šířka vozidla je 2,5 m, hmotnost prázdného vozu je 18,7 t a uveze 115 cestujících. Vozidla T6A5 se vyráběla během let 1991-1998 a bylo vyhotoveno cca 300 vozů. [10]



Obrázek 3 Tatra T6A5 [11]

3.1.1.4 Škoda 14T

Modernějším typem tramvajového vozu je Škoda 14T od společnosti Škoda Transportation ve spolupráci s Porsche Design (Obr.4). Tento typ tramvajového vozu byl navržen speciálně pro podmínky pražské tramvajové dopravy. První vůz byl vyroben v roce 2005. Jedná se o 50% nízkopodlažní tramvaj – sudé články jsou nízkopodlažní, liché propojuje jeden schod. Délka jednoho vozu je 30,25 m, šířka je 2,46 m, hmotnost prázdného vozu činí 38,3 t. [12] [13]



Obrázek 4 Škoda 14T [14]

3.1.1.5 Škoda 15T

Nejmodernější tramvajovým vozem je Škoda 15T, obchodním názvem ForCity Alfa Praha (Obr.5). Stejně jako předchůzce Škoda 14T byl vůz Škoda 15T navržen speciálně pro pražskou tramvajovou síť. DPP hl. m. Prahy vybral návrh Škoda 15T ve výběrovém řízení na dodávku 250 kusů nových vozů. První vůz se dodal v roce 2010. Jedná se o první 100% nízkopodlažní sériově vyráběný vůz. Délka vozu je 31,4 m, šířka je 2,46 m. Tato velkokapacitní tramvaj přepraví najednou 180 cestujících. Zdroje neuvádějí přesnou hmotnost tohoto vozidla, avšak dle analýzy obdobných modelů lze předpokládat, že se hmotnost pohybuje okolo 40 t. [15] [16]



Obrázek 5 Škoda 15T [17]

V tabulce níže jsem shrnula parametry délka, šířka a hmotnost prázdného vozu pro jednotlivé typy tramvají (Tab.1). Tyto parametry jsou důležité z hlediska bezpečnosti pro chodce. Délka vozu je důležitý parametr, který se uplatní při obcházení tramvaje. Šířka vozu je důležitá pro chodce ve vztahu s osovou vzdáleností tramvajových pásů a tedy prostorem vznikajícím mezi dvěma tramvajemi opačného směru. Hmotnost prázdného vozu je důležitý parametr v případě srážky. Ze zákona o zachování hybnosti plyne, že při srážce záleží na hmotnosti a na rychlosti sražených objektů. Více o zákonu zachování hybnosti jsem popsala později.

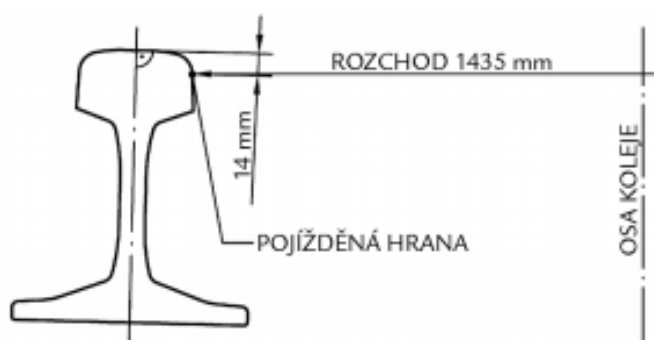
Tabulka 1 Parametry jednotlivých typů tramvají

| Typ tramvaje | Délka vozu [m] | Šířka vozu [m] | Hmotnost prázdného vozu [t] |
|--------------|----------------|----------------|-----------------------------|
| Tatra T3 | 14 | 2,5 | 16 |
| Tatra KT8D5 | 30,3 | 2,5 | 38 |
| Tatra T6A5 | 14,7 | 2,5 | 18,7 |
| Škoda 14T | 30,25 | 2,46 | 38,3 |
| Škoda 15T | 31,4 | 2,46 | odhadem 40 |

Bezpečnost chodce neovlivňují pouze typy tramvají, ale i geometrie kolejí.

3.2 Geometrie kolejí

Dalším důležitým parametrem pro tramvajovou dopravu z hlediska bezpečnosti je geometrie kolejí. Tramvajové koleje jsou liniovou stavbou. Znamená to, že převládá jeden rozměr nad ostatními. V případě kolejí převládá délka nad šířkou a výškou kolejí. Základním parametrem je rozchod kolejí. Rozchod kolejí udává vnitřní vzdálenost mezi kolejnicemi měřeno 14 mm pod temenem kolejnice (Obr. 6). Obvykle se využívá standardní rozchod 1435 mm. V Liberci je možné vidět úzkokolejný rozchod tramvajových kolejí 1000 mm. [18]



Obrázek 6 Rozchod kolejí [19]

Podstatnějším parametrem z hlediska bezpečnosti chodce je osová vzdálenost kolejí.

3.2.1 Osová vzdálenost kolejí

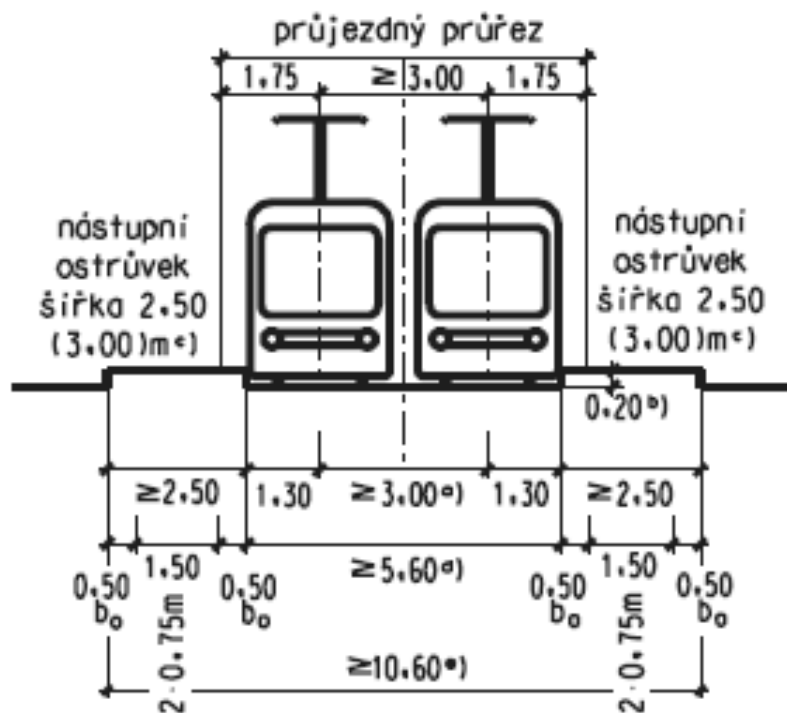
Jelikož téma mé práce je zvýšení bezpečnosti chodců v přestupových uzlech, je jedním z důležitých parametrů osová vzdálenost. Ta přímo ovlivňuje volný prostor mezi dvěma projíždějícími tramvajemi. Místem, kde nejčastěji vstupují chodci na tramvajové pásy jsou tramvajové zastávky. Chodci přecházející komunikaci za zadní částí tramvaje nemají dostatečný rozhled na tramvajový pás opačného směru. Aby se o tomto směru informovali, musí se vyklonit zpoza tramvaje a kvůli malé osové vzdálenosti tramvajových pásů může dojít k nehodě. Dle ČSN 73 6110 o projektování místních komunikací je stanovena minimální osová vzdálenost tramvajových pásů v přímé na 3 m. Jestliže předpokládám šířku tramvajového vozidla 2,5 m a osovou vzdálenost kolejí minimální hodnoty 3 m, vyplývá z toho, že prostor mezi míjejícími se tramvajemi je 0,5 m. To značně omezuje viditelnost na tramvaj v protisměru a snižuje dobu reakce pro odvrácení střetu. Na následujícím obrázku jsou vyfotografovány prostor vzniklý mezi stojícími tramvajemi na zastávce Masarykovo nádraží (Obr.7). Osová vzdálenost je zde okolo 3,3 m. [20] [21]



Obrázek 7 Osová vzdálenost kolejí na zastávce Masarykovo nádraží

Vlastní fotografie

Při vedení autobusu/trolejbusu po tramvajovém pásu se osová vzdálenost zvětšuje až na 3,5 m. V případě umístění trakčního sloupu v ose pásu se osová vzdálenost zvětšuje na 4 m. Osová vzdálenost kolejí se také zvětšuje ve směrovém oblouku. Je to z toho důvodu, že dochází k vychylování vozidla a tím pádem ke zvětšení průjezdných průřezů vozidla. Průjezdný průřez je obrys obrazce v rovině kolmé ke spojnici temen kolejnic (Obr.8). Průjezdný průřez vymezuje volný prostor nad i vedle kolejí potřebný pro bezpečný průjezd kolejových vozidel. Zvětšené minimální hodnoty osově vzdálenosti jsou pro chodce přijatelnější a vzhledem k bezpečnosti lepší. Existuje však mnoho míst, kde osová vzdálenost je na minimální hodnotě 3 m. [20]



Obrázek 8 Průjezdny průřez [20].

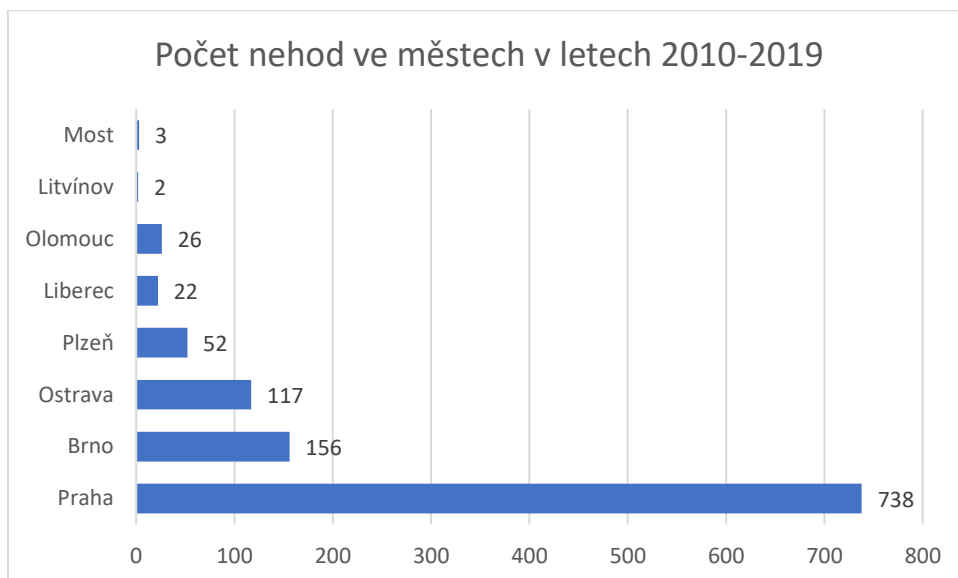
Abych zjistila, jaké riziko střetu hrozí mezi chodcem a tramvají, provedla jsem analýzu nehodovosti mezi chodci a tramvajemi.

3.3 Nehodovost mezi chodci a tramvajemi

V této části DP jsem se zabývala nehodovostí mezi chodci a tramvajemi. Záměrně jsem nepoužívala data z let 2020 a 2021, která mohla být ovlivněna vývojem epidemiologické situace v důsledku Covid-19 - práce z home office, nižší četnost vycházení, nižší četnost cestování, úbytek turistů atd. Vytvořila jsem statistiku nehod za 10 let v období od 1.1.2010 do 31.12.2019.

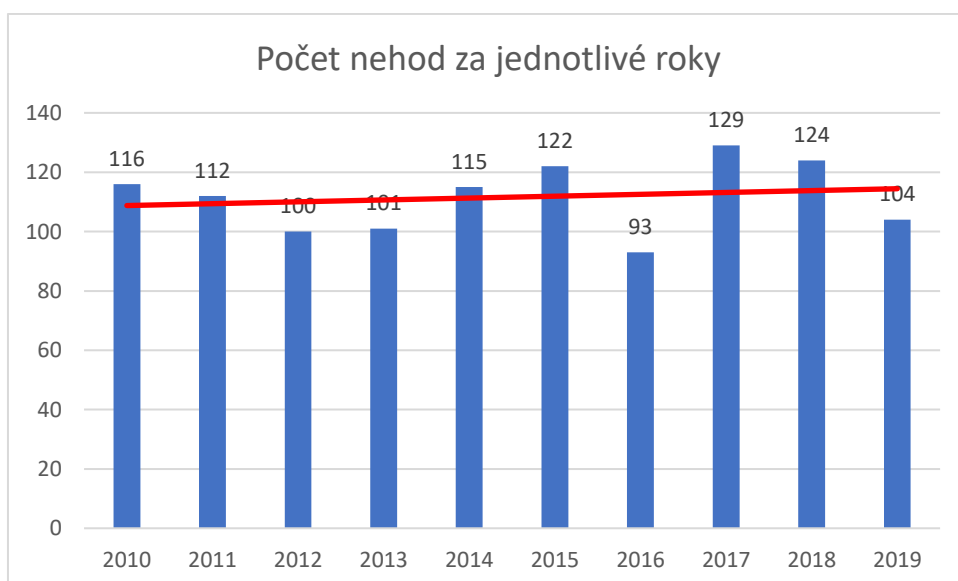
Celkem došlo k 1116 nehodám mezi tramvajemi a chodci. K jednoznačně nejvíce nehodám došlo v Praze. Je nutné říct, že Praze je největší tramvajová síť v ČR a velký vliv na tuto statistiku má počet obyvatel v jednotlivých městech. Jednotlivé počty nehod ve městech jsou vidět v grafu níže (Graf 1). [22]

Graf 1 Počet nehod ve městech v letech 2010-2019



Celkový počet nehod za 10 let nic neříká o vývoji nehod, zda během let dochází k poklesu nebo naopak k nárůstu. Vytvořila jsem graf počtu nehod za jednotlivé roky, který lze vidět níže (Graf 2). Grafem jsem proložila lineární křivku trendu vývoje. Zjistila jsem, že počet nehod za jednotlivé roky je obdobný. Křivka nepatrně roste, ale lze říct, že počet nehod je každým rokem konstantní.

Graf 2 Počet nehod za jednotlivé roky

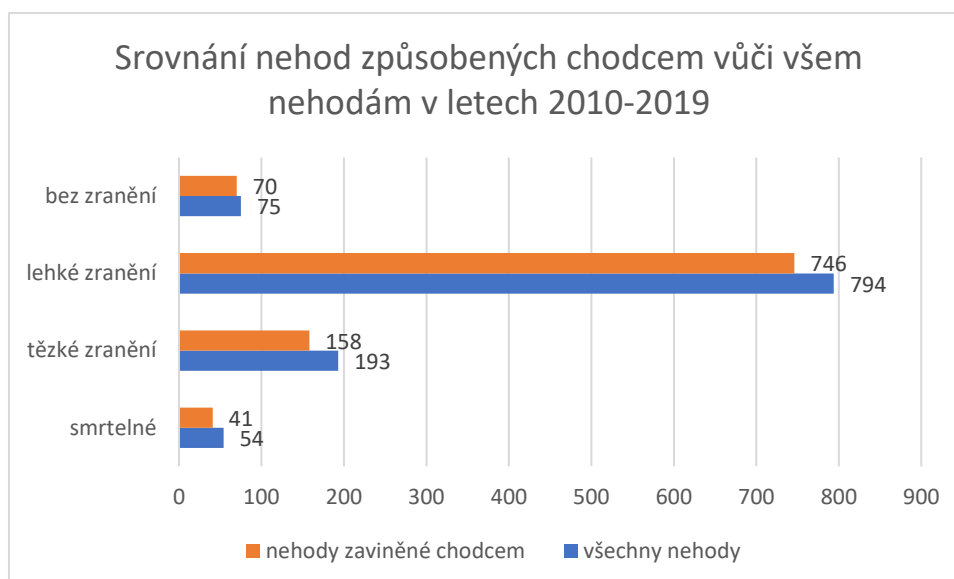


Dále lze nehody rozdělit podle vážnosti zranění. Rozlišuje se, zda došlo k nehodě bez zranění, s lehkým zraněním, s těžkým zraněním a nebo ke smrtelné nehodě. Pokud dojde k nehodě, tak jen v 7% případech se nehoda obejde bez zranění. Naopak každá 56. nehoda končí úmrtím chodce.

Následně jsem se zabývala tím, kdo mohl za zavinění nehod. Zjistila jsem, že viníkem nehod byl z 91% chodec, který zapříčinil 1015 nehod z celkových 1116. Na grafu níže lze vidět

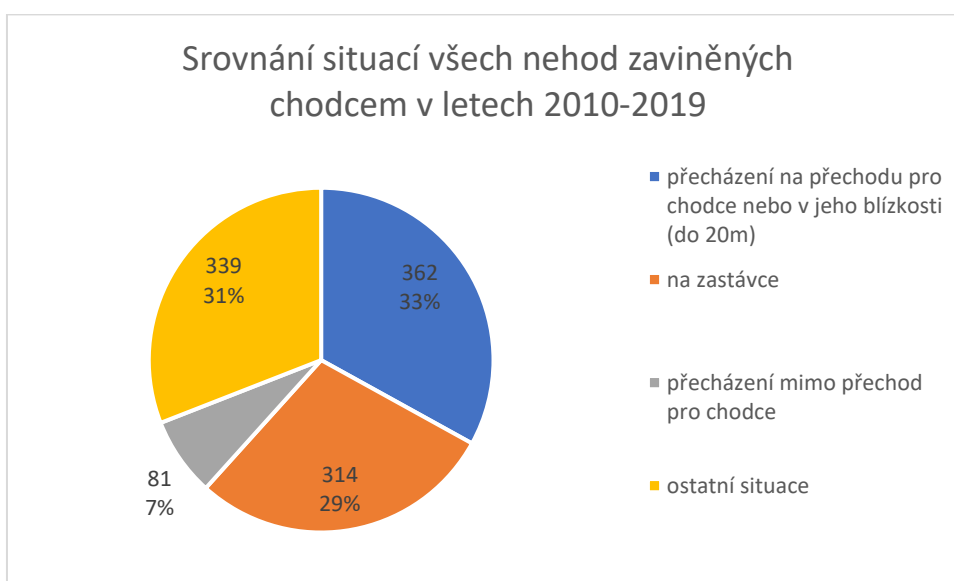
vážnost zranění osob u nehod (Graf 3). Graf zároveň porovnává počty nehod zaviněných chodcem vůči všem nehodám. [22]

Graf 3 Srovnání nehod způsobených chodcem vůči všem nehodám v letech 2010-2019



Dále jsem se zabývala tím, kde docházelo k nehodám, které zavinil chodec. Zjistila jsem, že k nejčastějšímu pochybení chodce došlo na přechodu pro chodce nebo v jeho blízkosti (do 20 m) a na zastávkách tramvaje. Níže přikládám graf, který porovnává počty nehod při jednotlivých situacích (Graf 4). Mezi ostatní situace lze zařadit například nehody zaviněné na mostě, v tunelu, na železničním přejezdu, na parkovišti. Do této kategorie jsem také zařadila nehody, u kterých nebyl v databázi vyplněn údaj.

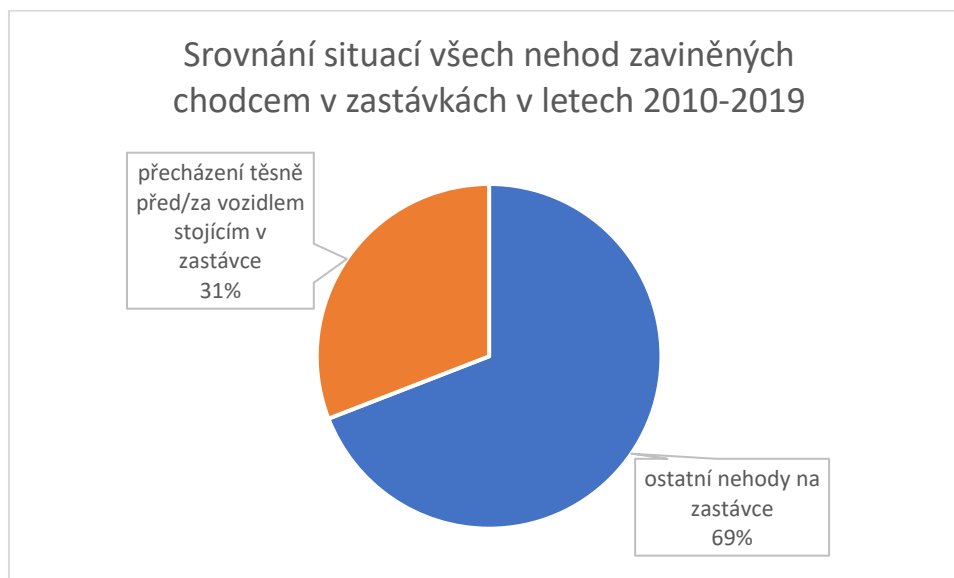
Graf 4 Srovnání situací všech nehod zaviněných chodcem v letech 2010-2019



Zaměřila jsem se na situace, které se staly na zastávkách tramvaje. Zjistila jsem, že chodec zavinil 31% nehod (97 z 314) v zastávkách tím, když přecházel těsně před/za stojícím

vozidlem v zastávce. Mezi ostatní nehody na zastávce lze zařadit přecházení přechodu v zastávce, nehody způsobené vlivem nepozornosti osoby nebo blíže neurčené způsoby nehod. (Graf 5). [22]

Graf 5 Srovnání situací všech nehod zaviněných chodcem v zastávkách v letech 2010-2019



Z důvodu vysokého podílu viny chodce při nehodách s tramvajemi jsem se zaměřila na zvýšení bezpečnosti tramvajové dopravy z pohledu chodce. Konkrétně jsem se zabývala situací přecházení chodce těsně před/za vozidlem stojícím v zastávce, která tvoří třetinu všech nehod způsobených chodcem v zastávkách. Z toho důvodu jsem se rozhodla nalézt možnost, jak těmto druhům nehod předejít.

3.4 Bezpečnost

Na zastávkách tramvaje dochází často k přecházení chodců mimo vyznačená místa pro přecházení. Standardně si chodec chce zkrátit trasu a přejde tramvajové pásy na zastávku tramvaje opačného směru. V tomto případě nemusí být vždy dodrženy nutné výhledy zajišťující bezpečnost. Nedostatečný výhled pro chodce znamená, že neuvidí přijíždějící tramvaj včas a dojde k nehodě. Nedostatečný řidičův výhled způsobí, že chodce nevidí, popřípadě chodce vidí až na poslední chvíli a už není v jeho silách tramvaj zpomalit, zastavit, aby nedošlo k neštěstí.

3.4.1 Výhledové poměry řidiče tramvaje

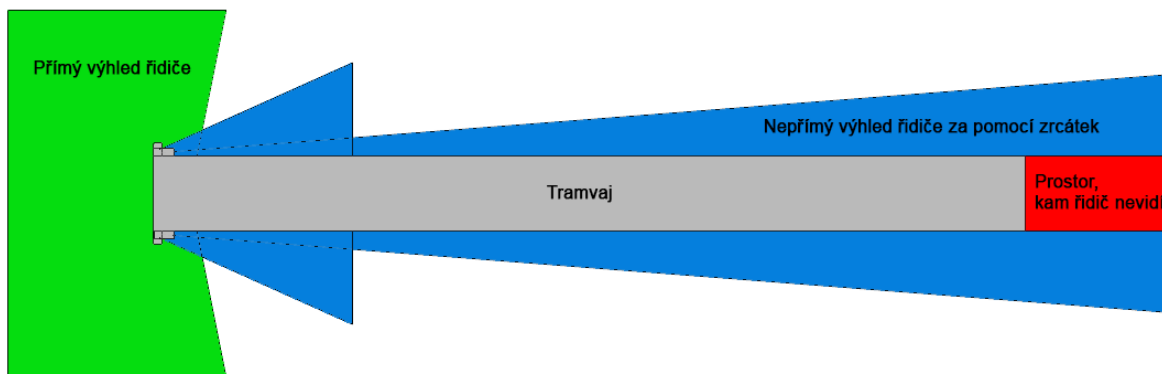
Abych lépe porozuměla situaci řidiče tramvaje, tak jsem s jedním řidičem provedla internetovou diskuzi. První otázkou byla, co všechno je schopen ze svého místa vidět. Odpovědí bylo, že v přední části vozidla není problém s viditelností (Obr. 9). Na boky tramvaje vidí pomocí zrcátek a kamer. Kamery využívá také k pohledu v oblasti nástupních ploch a ke sledování dění uvnitř tramvaje. Druhou otázkou byla, zda vidí za zadní část tramvaje.

Odovědí bylo, že v zadní části tramvaje nemá umístěny žádné kamery a zrcátka do těchto míst nedosahují. Z těchto otázek tedy vyplynulo, že řidič tramvaje nemá žádné prostředky na to, aby viděl, co se za tramvají odehrává.



Obrázek 9 Přímý výhled řidiče [23]

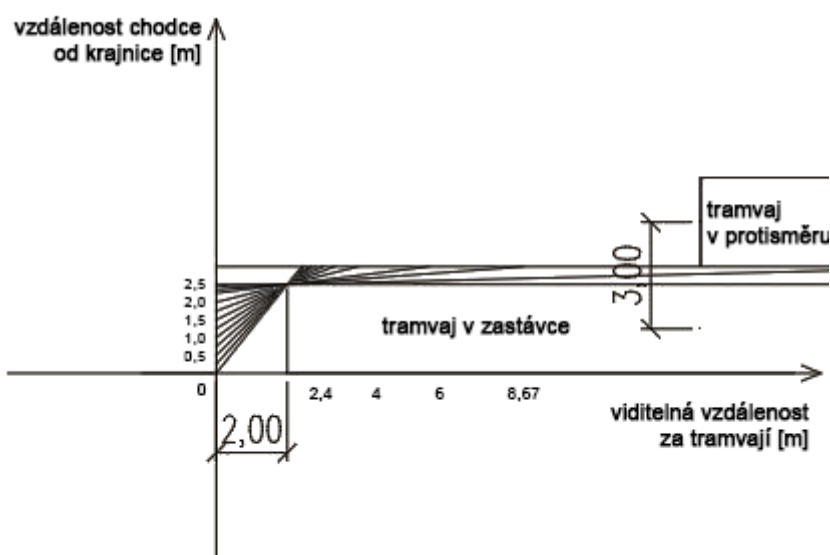
Řidič mi poskytl fotografie jako další zdroj informací a pomocí nich jsem vytvořila obrázkové schéma, které znázorňuje výhledové poměry řidiče tramvaje (Obr. 10). Přímý výhled řidiče je znázorněn zelenou barvou a ukazuje, kam řidič vidí přímo, bez pomoci kamer či zrcátek. Nepřímý výhled řidiče je ilustrován modrou barvou. Zachycuje prostory, které řidič vidí za pomoci odrazu v zrcátkách. Pohledy z kamer, které se věnují především nástupním a vnitřním prostorům na obrázku nejsou znázorněny. Červenou barvou je znázorněn prostor, kam řidič tramvaje nevidí. Jedná se o prostor za koncem tramvaje.



Obrázek 10 Schéma výhledových poměrů řidiče

3.4.2 Výhledové poměry chodce

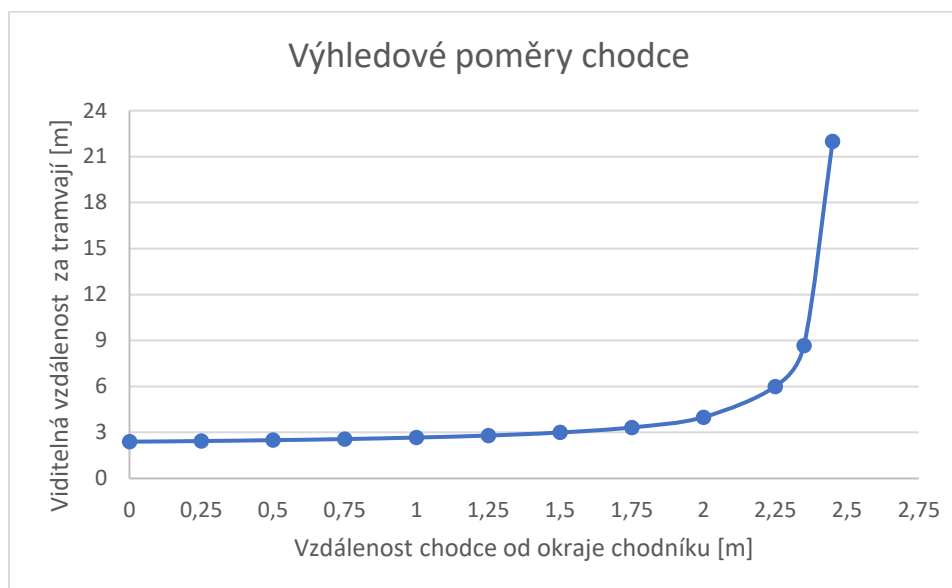
U chodce je nejrizikovější situací výhled zpoza objektu, kdy má část výhledu zastíněnou. K tomuto jevu dochází v momentě, kdy se chodec rozhodně obcházet tramvaj stojící v zastávce za její zadní částí. Kvůli obcházené stojící tramvaji nemá dostatečný výhled za tramvaj a nevidí tramvaj přijíždějící v opačném směru. Vytvořila jsem schéma, které znázorňuje problematičnost výhledu chodce zpoza tramvaje, viz obr. 11. Simuluji nejkritičtější situaci s minimální osovou vzdáleností 3 m a šířkou tramvaje 2,5 m. V navržené studii jsem simulovala přecházení chodce v zadní části tramvaje. Chodec zde přechází ve vzdálenosti 2 m za tramvaj a pohybuje se v přímém směru kolmém na okraj chodníku. Zjišťovala jsem vzdálenost, na kterou chodec uvidí za tramvaj. Vzdálenost jsem počítala od pomyslného průsečíku přímého chodcova směru chůze k pomyslné úsečce představující nejbližší hranu tramvaje opačného směru pohybující se ve směru kolmém ke směru chodcovi chůze.



Obrázek 11 Výhledové poměry chodce zpoza překážky

Pro lepší porozumění jsem vytvořila z dat graf, který znázorňuje, jak daleko je chodec od krajnice a na jakou vzdálenost v daném místě vidí, viz graf 6.

Graf 6 Výhledové poměry chodce



Z grafu je vidět, že chodec dlouhou dobu za tramvaj vidí jen velmi málo. Chodec stojící 2 m ve vozovce, tedy je vzdálený pouze 1 m od protijedoucí tramvaje, vidí za obcházenou tramvaj pouze 4 m. Od chodce cca 2 m ve vozovce vzdálenost, na kterou vidí začíná exponenciálně růst. Znamená to, že chodec, aby viděl na vzdálenost větší 4 m, se musí výrazně dostat do vozovky a přiblížit na méně než 1 m od protijedoucí tramvaje. Ve vzdálenosti 2,35 m od krajnice, tedy 65 cm od protijedoucí tramvaje, vidí na vzdálenost větší než 8 m a teprve ve vzdálenosti 2,45 m tudíž pouhých 55 cm od protijedoucí tramvaje, vidí na vzdálenost 22 m.

Dokázala jsem, že přecházení v zadní části tramvaji je pro chodce nebezpečné kvůli nedostatečným výhledům. Chodec, který přechází vozovku v blízkosti tramvaje kvůli ní nevidí tramvaj/vozidlo jedoucí v opačném směru. Kvůli malé osové vzdálenosti může lehce dojít k nehodě chodce s tramvají v opačném směru. Navíc řidič obcházené tramvaje neví, co se v zadní části děje a nemůže tak upozornit ani chodce, ani řidiče tramvaje v opačném směru. Řidič protisměrné tramvaje tak postřehne chodce na poslední chvíli a není v jeho silách nehodě zabránit z důvodu dlouhé brzdné dráhy tramvaje.

3.4.3 Brzdná dráha tramvaje

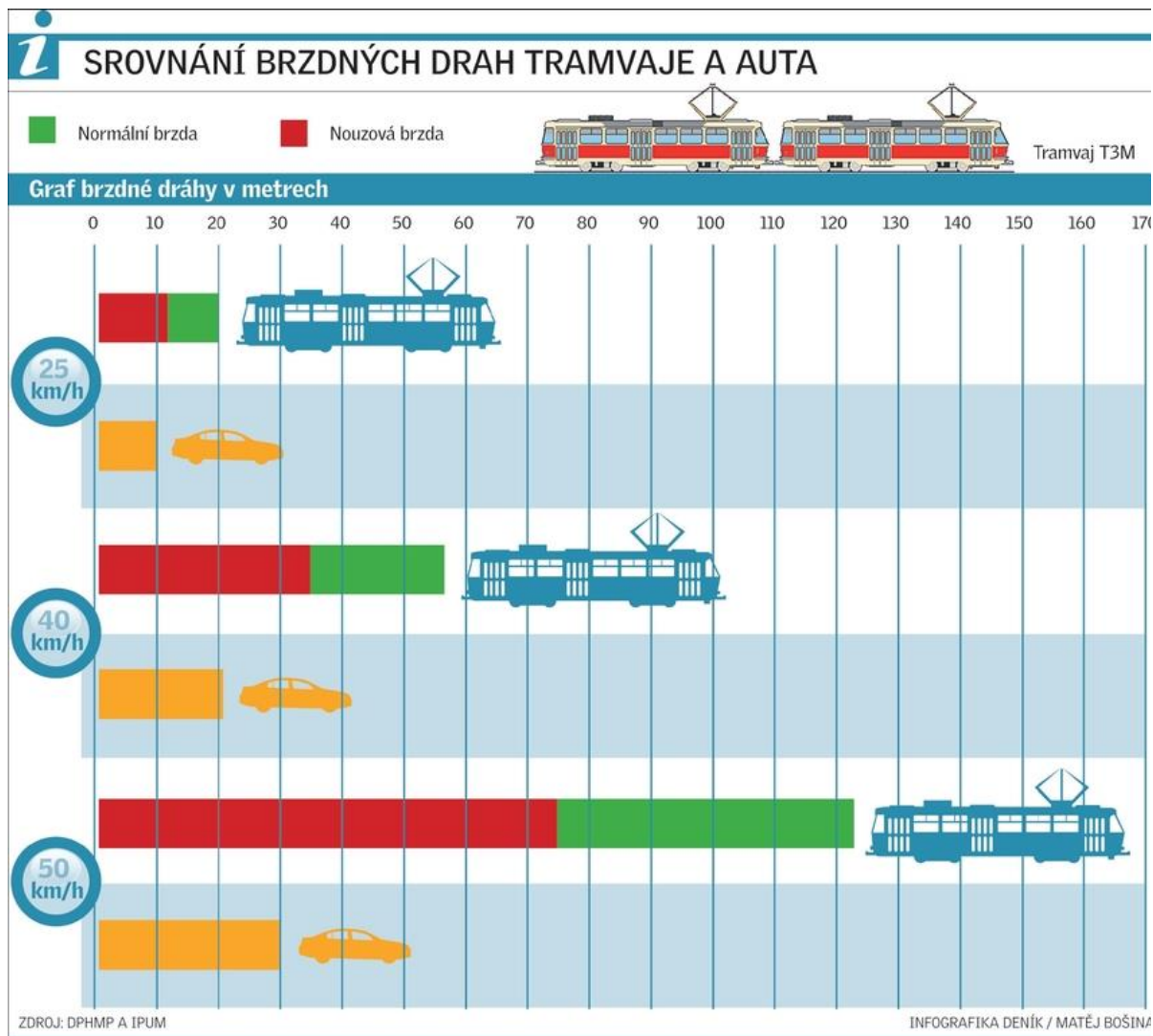
Tramvaj, jakožto kolejový druh dopravy, má obecně delší brzdnou dráhu, než je tomu u dopravy silniční. Je to způsobené rozdílným koeficientem adheze (přilnavosti). U kolejové dopravy se koeficient adheze pohybuje kolem 0,4 za sucha. Za mokra může být i menší než 0,1. V tabulce níže jsou vidět koeficienty adheze pro silniční dopravu s ohledem na různé povrchy vozovky (Tab. 2). Je patrné, že koeficient adheze pro kolejovou dopravu je porovnatelný s koeficientem adheze pro silniční dopravu při náledí. Znamená to tedy, že brzdit s tramvají je obdobné jako brzdit se silničním vozidlem na náledí. [24]

Tabulka 2 Koeficienty adheze [43]

| Vozovka | | Hodnota | Vozovka | | Hodnota |
|---------------------|-------|-----------|---------|-------|-----------|
| beton | suchý | 0,8 – 1,0 | asfalt | suchý | 0,6 – 0,9 |
| | mokrý | 0,5 – 0,8 | | mokrý | 0,3 – 0,8 |
| dlažba | suchý | 0,6 – 0,8 | makadam | suchý | 0,6 – 0,8 |
| | mokrý | 0,3 – 0,5 | | mokrý | 0,3 – 0,5 |
| polní cesta | suchý | 0,4 – 0,6 | tráva | suchý | 0,4 – 0,6 |
| | mokrý | 0,3 – 0,4 | | mokrý | 0,2 – 0,5 |
| hluboký písek, sníh | | 0,2 – 0,4 | náledí | | 0,1 – 0,3 |

Rozdílné vzdálenosti brzdných drah nejsou závislé pouze na koeficientu adheze, záleží také na hmotnosti jedoucího vozidla. S rostoucí hmotností se zvyšuje kinetická energie vozidla. Hmotnosti tramvaje a osobního automobilu jsou velmi rozdílné. Osobní automobil váží v průměru 1,5 t, hmotnost tramvaje se pohybuje od 32 t do 40 t. Hmotnost 16 t tramvaje je pouze pro jeden vagon modelu Tatra T3. Častěji jezdí 2 spojené vagony a tudíž se hmotnost dvojnásobně zvýší. Hmotnost vozidel má vliv na zpomalení vozidel. Komfortní decelerace pro cestující v osobním automobilu je $1,5 \text{ m/s}^2$, kritická decelerace vozu při využití nouzové brzdy může být až 9 m/s^2 . U tramvajů se hodnota decelerace při provozní brzdě pohybuje okolo $1,8 \text{ m/s}^2$ a při použití nouzové brzdy je zpomalení okolo 3 m/s^2 . [25] [26]

Na dalším obrázku je porovnání brzdných drah tramvaje s osobním automobilem při 3 různých rychlostech – 25 km/h, 40 km/h a 50 km/h (Obr. 12). Brzdná dráha tramvaje je rozdílná při použití běžné brzdy a nouzové brzdy. V obou případech je brzdná dráha tramvaje delší než u osobního automobilu. S rostoucí rychlostí se tento rozdíl brzdných drah velmi zvětšuje.



Obrázek 12 Srovnání brzdě dráh tramvaje a osobního automobilu [27]

Hmotnost vozidla přímo ovlivňuje další veličinu - hybnost. Hybnost se projeví především při střetu vozidel s překážkou. Při srážce těles dochází k přenosu energie mezi objekty, chodci. Výsledek srážky dvou těles je ovlivněn tím, jakou mají tělesa hybnost. Tímto problémem se zabývá fyzikální zákon – zákon o zachování hybnosti.

3.4.3.1 Hybnost

Hybnost je vektorová veličina používaná pro vyjádření stavu tělesa. Určuje „množství pohybu“ tělesa. Značí se písmenem p . Jednotkou je $kg \cdot m \cdot s^{-1}$. Je definována jako součin hmotnosti a rychlosti. Směr vektoru je shodný se směrem vektoru rychlosti. (Vzorec 1) [28]

$$p = m \cdot v \tag{1}$$

m ... hmotnost vozidla [kg]

v ... rychlost [m/s]

3.4.3.1.1 Zákon o zachování hybnosti

Zákon o zachování hybnosti říká, že celková hybnost izolované soustavy těles se nemění. Izolovanou soustavou se rozumí taková soustava těles, na které působí pouze vzájemné síly a nepůsobí na ně vnější síly. V reálném světě se dokonale izolovaná soustava hledá velmi těžko. Zákon o zachování hybnosti můžeme aplikovat i na soustavy, které nejsou zcela izolované, a to v případě když vnější síly působící na tělesa jsou zanedbatelné v porovnání se silami působícími mezi tělesy. Příklady takových soustav může být situace, kdy na sebe tělesa působí po velmi krátkou dobu a vnější síly jsou zanedbatelné. Takovým příkladem může být srážka dvou těles – například tramvaje s chodcem. Dalším příkladem, kdy lze soustavu považovat za izolovanou a aplikovat na ni zákon o zachování hybnosti, je situace, kdy vnější síly působí jiným směrem, o který se zajímáme. [28] [29]

V příkladu níže jsem zvolila situaci, kdy dojde ke kolizi tramvaje jedoucí rychlostí 50 km/h (13,89 m/s) a stojícího chodce. Hmotnost tramvaje spolu s 100 cestujícími byla 48 t. Hmotnost chodce jsem zvolila 80 kg, což simuluje hmotnost průměrného dospělého člověka. Chodec se pohyboval nulovou rychlostí. (Vzorec 2)

$$p_T + p_c = p \quad (2)$$

$$m_T v_T + m_c v_c = (m_T + m_c) v$$

$$48\,000 \cdot 13,89 + 80 \cdot 0 = (48\,000 + 80) \cdot v$$

$$666\,720 = 48\,080 \cdot v$$

$$v = \frac{666\,720}{48\,080}$$

$$v = 13,87$$

m_T ... hmotnost tramvaje [kg]

v_T ... rychlost tramvaje [m/s]

m_c ... hmotnost chodce [kg]

v_c ... rychlost chodce [m/s]

v ... rychlost po srážce [m/s]

Jestliže dojde ke středu 48 t tramvaje jedoucí rychlostí 50 km/h s chodcem o hmotnosti 80 kg, tak se po srážce pohybuje tramvaj a chodec stejným směrem. Směr pohybu má směr jízdy tramvaje. Nová společná rychlost pro tramvaj i chodce je 13,87 m/s. Pro tramvaj je úbytek

rychlosti nepostřehnutelný, zpomalení tramvaje se téměř nezměnilo. Pro chodce je tato nově přijatá rychlost velkou změnou. Chodec zrychlil z 0 km/h na 13,87 m/s v době nárazu, který trvá pouze chvíli. Zrychlení chodce je proto velmi citelné. Pro lepší představu jsem zjistila, že takto nově nabitá rychlost je stejná jako rychlost těsně před dopadem člověka z výšky 9,81 m. To je obdobné pádu člověka ze 4. patra panelového domu. [30]

Abych zjistila, jaké prostředky se v současnosti využívají pro zvýšení bezpečnosti tramvajové dopravy, provedla jsem v následující kapitole jejich analýzu.

4 Současné prvky zvyšující bezpečnost tramvajové dopravy

V této kapitole jsem provedla analýzu současně používaných prvků, které zvyšují bezpečnost tramvajové dopravy.

4.1 Kresba na zemi

Jedním z nejjednodušších prvků zvyšující bezpečnost je kresba na silnici. Kresba má pouze informativní charakter pro chodce, nijak neinteraguje s tramvají. Chodec je tedy obecně upozorněn, že si má dbát zvýšené opatrnosti, ale nikoliv, že se tramvaj v daný moment skutečně blíží. Tato forma komunikace je jednoduchá na realizaci – není třeba zásah do infrastruktury. Nevýhodou tohoto prvku je, že se postupem času kresba opotřebuje (smyje, znečistí).

Toto opatření pomohlo v irském městě Dublin, v zastávce Luas. Byly tam nainstalovány svíslé značky upozorňující chodce na tramvaje, ale chodci je přehlíželi a došlo k několika střetům chodce s tramvají. Kresba na zemi zlepšila statistiku nehodovosti a zmenšila počet srážek chodec-tramvaj (Obr. 13). [31]



Obrázek 13 Kresba na silnici [32]

4.2 Svislá značka upozorňující chodce

Dalším typem opatření je možnost instalace svislé značky. Ta má za úkol upozornit chodce na výskyt tramvají. Jedná se o řešení, které neinteraguje s tramvají. Má pouze informativní charakter pro chodce.

Na obrázku je řešení pomocí značky na svislém sloupu na zastávce Karlovo náměstí v Praze (Obr. 14). Svislé značení je doplněno o kresbu na vozovce.



Obrázek 14 Svislá značka

Vlastní fotografie

4.3 Fyzická zábrana

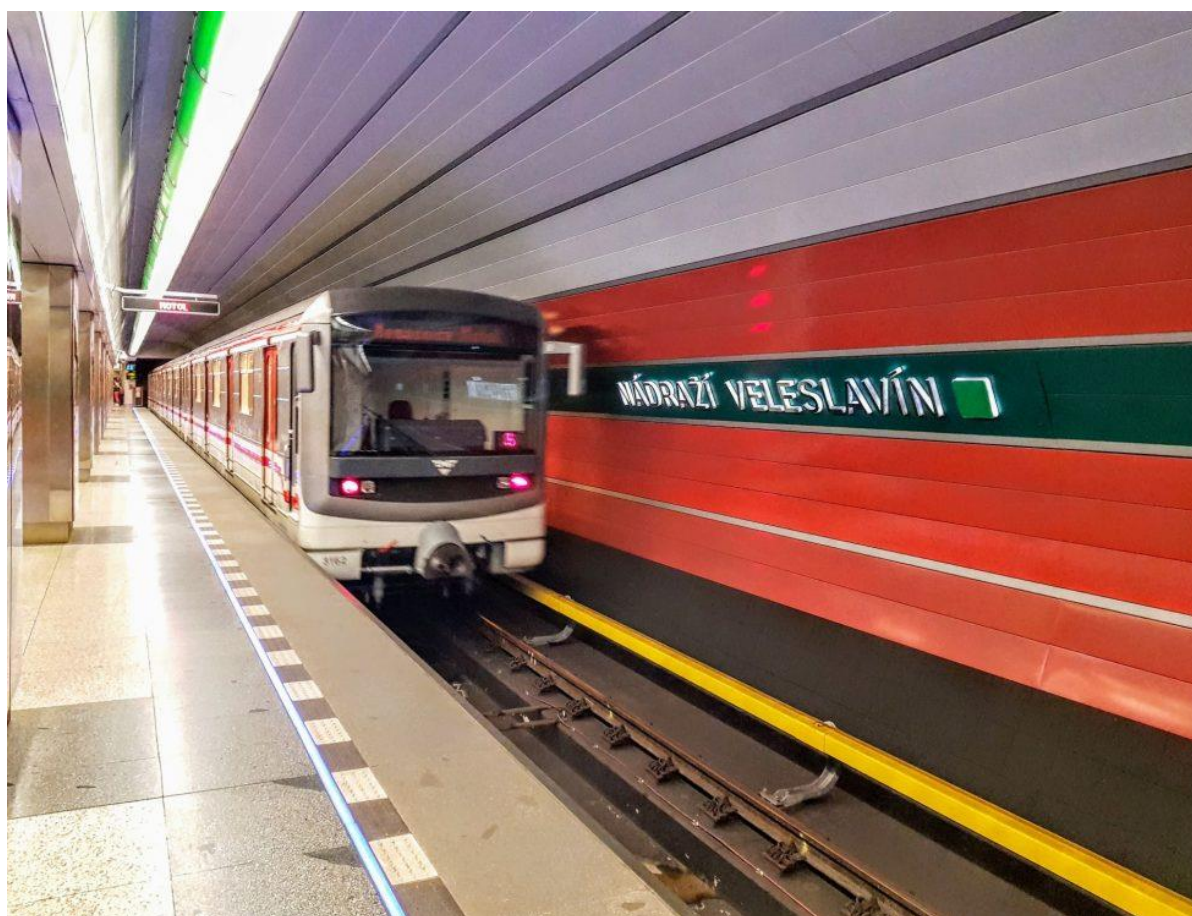
Účinným opatřením, jak zamezit nehodám chodce s tramvají je pomocí fyzických zábran. Příklad na obrázcích níže se nachází v Belgii, v bruselském Parc Elisabeth (Obr. 15). Tramvaj jezdí na okraji toho parku za alejí stromů. Nepozornost chodců vedla k jejich nehodám s tramvaji. Podél tramvajového pásu bylo nainstalováno zábradlí. Jsou zřetelně vyznačena povolená místa pro přecházení. U míst pro přecházení jsou výstražné cedule. [31]



Obrázek 15 Fyzická zábrana [33]

4.4 Svítící prvky zabudované na nástupišti

Svítící prvky zabudované na nástupišti můžeme vidět např. na nověji vybudovaných stanicích metra A v Praze (Obr. 16). Jedná se o systém, který interaguje s dopravním prostředkem. Prvky se rozsvítí nebo rozblíkají, jestliže přijíždí vozidlo do stanice. Dají tak cestujícím znamení, že se vozidlo blíží a člověk by tak měl dbát zvýšené opatrnosti. Cestující by neměl překračovat svítící prvky a vyčkat za nimi, než vozidlo přijede a zastaví ve stanici.



Obrázek 16 Svítící prvky na nástupišti [34]

Obdobný princip jako v pražském metru je možné vidět ve městě Istanbul v Turecku (Obr. 17) (Obr. 18). Systém byl nainstalován v centru města na silnici, kde vede páteřní linka tramvaje.

Varovný systém byl použit na úseku silnice, která propojuje známé turistické atrakce Hagiu Sofiu s Grand bazarem a kvůli tomu se zde vyskytuje vysoký počet turistů. Ve vozovce na obou stranách vozovky byl nainstalován pás světel, která se rozsvítí, jakmile se blíží tramvaj z kteréhokoliv směru. Varují tak chodce, aby nepřecházel vozovku.



Obrázek 17 Svítící prvky v Istanbulu 1
Vlastní fotografie



Obrázek 18 Svítící prvky v Istanbulu 2

Vlastní fotografie

Další příklad vizuálních prvků můžeme vidět ve španělském městě Bilbao, v ulici Ribiera (Obr. 19) (Obr. 20). Tramvajová trať zde vede velmi blízko budovy. Sloupy infrastruktury omezovaly výhled chodců do silnice a docházelo tak k nehodám. Na kraj chodníku mezi sloupy byly nainstalovány čtvercové prvky, které se rozsvítí v případě blížící se tramvaje. Instalací těchto prvků se počty nehod snížily o 60%. [31]



Obrázek 19 Situace zastávky v Bilbao [35]



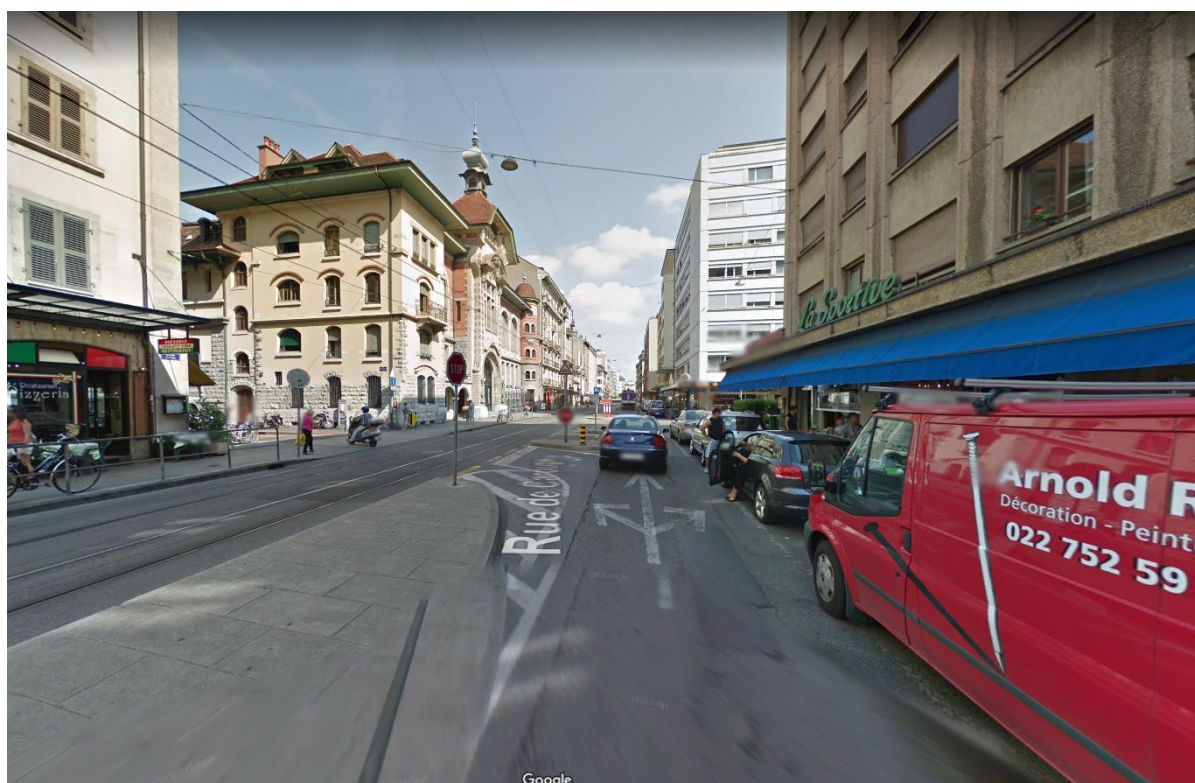
Obrázek 20 Svítící prvky na zastávce v Bilbao [36]

4.5 Varovné zařízení

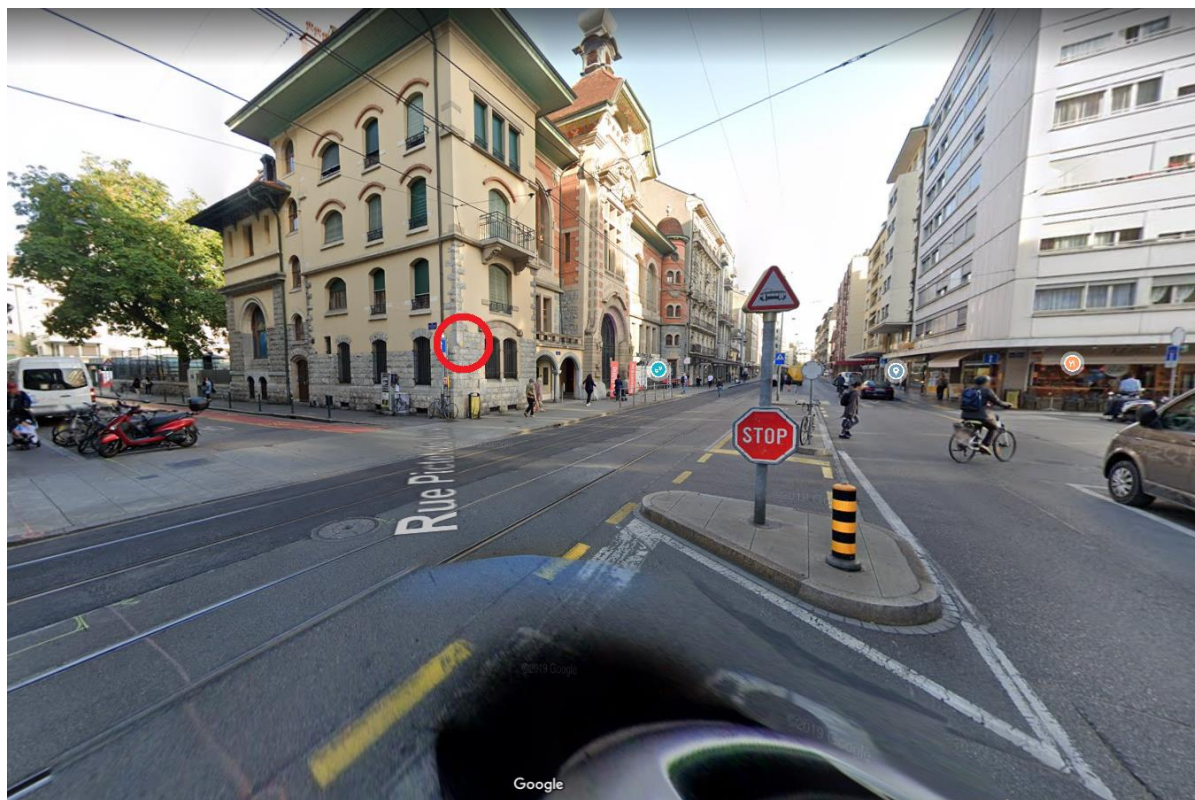
Ve švýcarské Ženevě na křižovatce mezi rue de Carouge a rue Pictet-de-Bock docházelo ke kolizím silničních vozidel s tramvajemi. Na hlavní ulici rue de Carouge vedou tramvajové pásy v obou směrech (Obr. 21). Souběžně s jedním kolejovým pásem vede silnice pro silniční vozidla. Vozidla musí při odbočení přejet oba tramvajové pásy. K nehodám docházelo v situaci, kdy jedoucí vozidlo přehlédlo souběžně jedoucí tramvaj a nedalo jí přednost, i přestože má na křižovatce příkaz „Stůj!“. Vozidla tramvaj přehlížela, protože úhel křížení s tramvajemi nebyl pro silniční vozidla vyhovující. Pro zřízení světelné signalizace nebyl

v místě prostor. Nebezpečná situace se zlepšila po instalaci oranžově blikajícího zařízení (Obr. 22). To se aktivovalo v případě, když se blížila ke křižovatce tramvaj. [31]

Tato forma komunikace by šla aplikovat i na chodce. Jestliže se blíží tramvaj k zastávce, zařízení by se rozblikalo/rozsvítilo a upozornilo tak chodce na nebezpečí. V případě obcházení stojící tramvaje v zastávce by zařízení vysílající signál mohlo být umístěno na konci této tramvaje. Tramvaj přijíždějící do zastávky z opačného směru by se stojící tramvají interagovala a na konci stojící tramvaje by se rozblikalo/rozsvítilo zařízení, což by upozornilo chodce obcházející tuto tramvaj.



Obrázek 21 Situace křižovatky v Ženevě [37]



Obrázek 22 Varovné zařízení [38]

Z analýzy současně používaných prvků pro zvýšení bezpečnosti tramvajové dopravy vyplývá, že prvky neřeší problém kritické zadní části tramvaje. Z toho důvodu jsem se zaměřila na vývoj autonomních vozidel, u kterého se již v současné době řeší bezpečnost vzhledem k chodcům.

5 Možnosti externí komunikace

5.1 Možnosti komunikace řidiče tramvaje s chodci

Mezi hlavní možnosti externí komunikace tramvají s chodci patří akustická komunikace. Akustická komunikace mezi tramvají a chodcem spočívá v tom, že tramvaj vyše signál pomocí zvonku. Tím upozorní chodce, že se tramvaj blíží. Tato komunikace je jednosměrná – tramvaj dá signálem najevo svoji přítomnost a je na chodci, jak bude reagovat. Existuje zde riziko, že chodec tramvaj neuslyší nebo nebude respektovat.

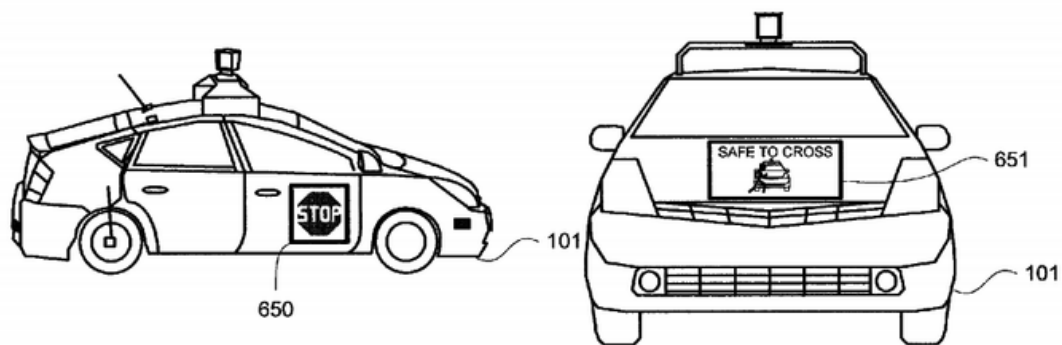
Dalším způsobem komunikace je gesto řidiče. Avšak řidič může komunikovat pouze v oblasti přední části tramvaje. V zadní části tramvaje řidič nemá žádné možnosti komunikace. Gestem dá řidič tramvaje najevo, že chodec buď může přejít silnici, nebo má naopak zůstat stát a nepřecházet, protože se tramvaj rozjíždí.

Snažila jsem se najít možnosti, jak vyřešit komunikaci zadní oblasti tramvaje s chodcem. Nejdále s touto problematikou došla oblast automobilové dopravy, u které se řeší možnost AV s chodcem. Zde jsou provedeny možné analýzy technických řešení. Zabývala jsem se tím, zda je řešení možné implementovat na tramvaje, aby vyřešily problém se zadní částí.

5.2 Návrhy pro komunikaci chodec – autonomní vozidla

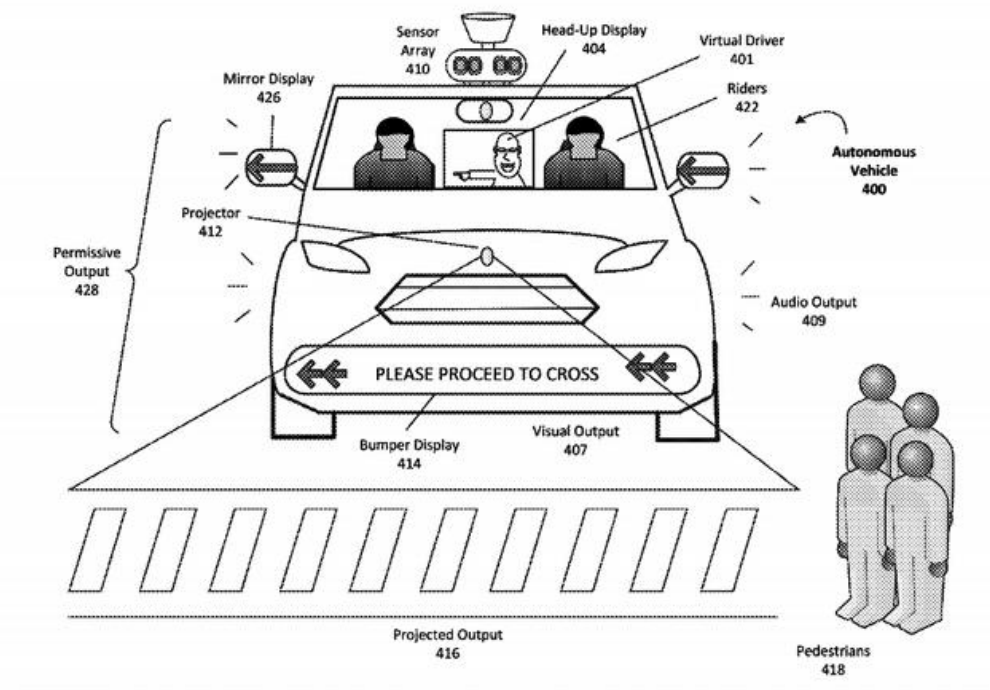
V plně autonomních vozidlech jsou pouze cestující, žádný řidič, který by mohl komunikovat s chodcem. Chodec tedy neví, zda ho má autonomní vozidlo v úmyslu nechat přejít vozovku.

Z toho důvodu se vymýšlí návrhy, jak chodci za pomoci autonomního vozidla sdělit, zda může bezpečně přejít vozovku. Patent publikovaný v roce 2015 společností Google nese název „Upozornění chodců o úmyslu autonomního vozidla“. Varovný systém funguje na principu notifikace směrem k chodci, kterou zobrazí při zpozorování chodce v blízkosti silnice. Příkladem může být nápis „Stůj“ nebo „Můžeš přejít“. Může se jednat i o akustickou formu komunikace (Obr. 23). [39]



Obrázek 23 Koncept Google [40]

Obdobnou myšlenku publikovala v roce 2017 společnost Uber. Ti využívají virtuálních řidičů zobrazovaných na skle vozidla. Dále využívají psané instrukce a šipky, aby chodci ukázali, jakým směrem vozidlo chce, aby se chodci pohybovali. Psané instrukce směr doplňují o informaci, že je vozidlo pouští a mohou tedy přejít (Obr. 24). [39]



Obrázek 24 Koncept Uber [41]

Společnost Lyft publikovala svůj patent v roce 2018. Společnost zastává názor, že jsou lidé zvyklí na určitou formu komunikace a v důsledku nových forem komunikace autonomních vozidel nemusí dojít k jejich pochopení. Navrhla tedy systém s notifikacemi např. „Můžeš přejít“, „Máš přednost“ doplněný o šipky ukazující chodci, kudy vozidlo očekává, že chodec bude přecházet. Navrhuje i notifikaci „Můžeš mě předjet“, která je užitečná zejména cyklistům (Obr. 25). [39]

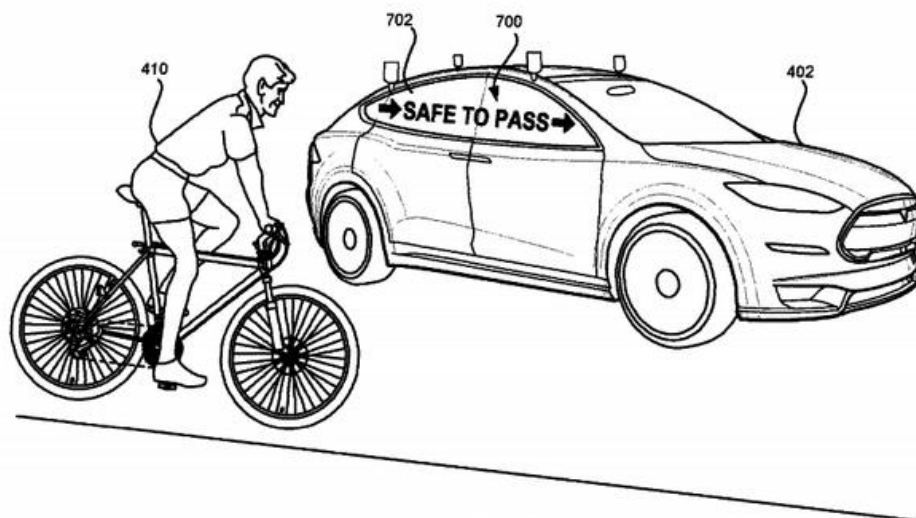


FIG. 7

Obrázek 25 Koncept Lyft [42]

V současnosti veškeré automobilky využívají vizuálního rozhraní pro komunikaci autonomních vozidel s chodci. Rozhraní je navrhováno tak, aby bylo srozumitelné a jednoduché na pochopení pro všechny účastníky provozu. Existuje mnoho návrhů vizuální komunikace, které se testují. Technická řešení návrhů jsou velmi různorodá a každé přináší určité výhody a nevýhody. Nechala jsem se jimi inspirovat a popsala jsem, jak by se se jednotlivá rozhraní dala využít při komunikaci tramvaje s chodci v oblasti zadní části tramvaje.

5.2.1 Grafický panel

Možným návrhem je umístění grafického panelu do karoserie vozidla. Nevýhodou je, že se jedná o velký zásah do vzhledu vozidla. Z hlediska konstrukce se jedná o jednoduché řešení bez zásahu do výrobního procesu. V případě obcházení tramvaje bych umístila panel na zadní stranu a bok tramvaje. Znaky na panelech jsou dobře viditelné z chodníku díky bočnímu panelu i z míst za tramvají díky panelu na zadní straně. Výhodou je, že na panelech může být zobrazován jakýkoliv znak, jakékoliv barvy. [44]

V současné době se používá několik typů tramvají. Konkrétní umístění panelu by záleželo na konkrétním typu tramvaje. Panel by tak na různých typech tramvaje byl umístěn na nejvhodnějším místě vzhledem k typu tramvaje. Parametry panelu - velikost, šířka, délka by se přizpůsobily konkrétnímu typu tramvaje.

5.2.1.1 Testování vhodné signalizace

Grafický panel se zdá být vhodné rozhraní pro upozornění chodců. Jelikož má panel neomezené množství znaků, které může zobrazovat provedla jsem výzkum, který z nabízených symbolů je pro lidi nejvíce intuitivní. Vybrala jsem 3 známé, jednoduché symboly – značku stop, křížek a symbol pro pozor, které mají chodce zastavit před vstupem do vozovky (Obr. 26).



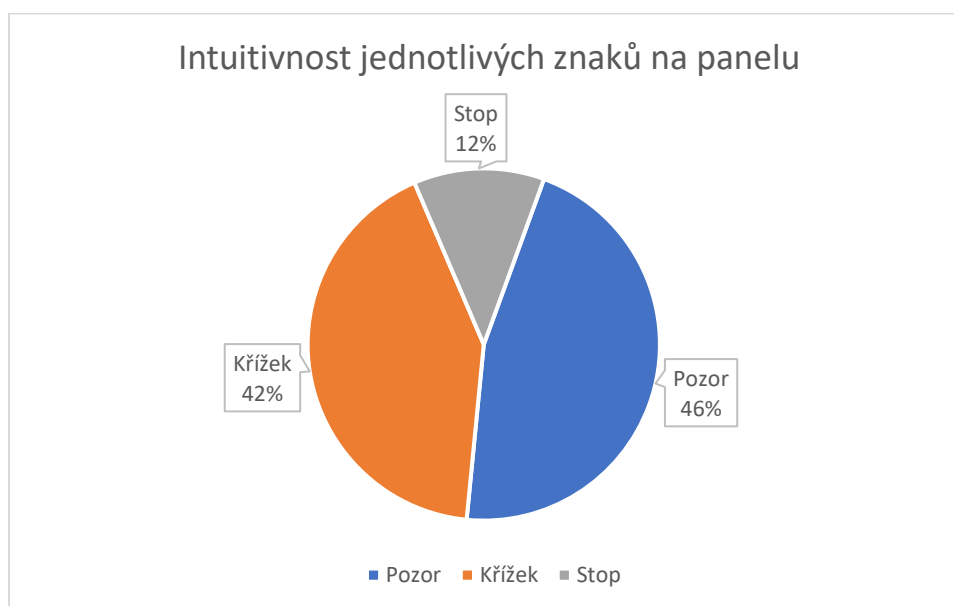
Obrázek 26 Použité obrázky v internetové anketě

Tyto návrhy jsem použila pro internetovou anketu.

V anketě jsem se zeptala, který znak je pro lidi nejvíce intuitivní ve smyslu upozornění chodce na případné nebezpečí na vozovce (jedoucí tramvaj z opačného směru/jízda IZS,...). Anketu se zúčastnilo 50 respondentů. Každý dotazovaný měl za úkol označit právě jeden symbol, který je dle jeho uvážení nejlepší.

Symbol pro pozor označilo jako nejintuitivnější variantu 46% dotazovaných, symbol křížek se pak označilo 42% respondentů. Celkové rozložení hlasů mezi symboly lze vidět na grafu níže (Graf 7).

Graf 7 Oblíbenost jednotlivých znaků na panelu



5.2.2 LED diody

Jako koncept s nejvyšší pravděpodobností implementace lze považovat využití LED diod (Obr. 27). Jedná se o pás diod měnící svoji barvu, frekvenci blikání, animaci dle záměrů vozidla. Jeho implementace do vozidel je jednoduchá a levná, nevyžaduje většího zásahu do karoserie. Toto řešení se dá aplikovat i do stávajících vozidel. LED pásek je možné umístit na zadní část tramvaje vodorovně po celém jejím obvodu nebo svisle na hranu mezi zadní a boční částí tramvaje. Zkusila jsem obě varianty v modelovacím softwaru Rhinoceros. Díky tomuto pokusu jsem zjistila, že vhodnější variantou je vodorovná varianta LED pásku, protože ho chodec při přecházení vozovky bezproblémově vidí do poslední chvíle obcházení tramvaje. Při použití svislé varianty LED diod by chodec ve vozovce již upozornění neviděl. Konkrétní umístění LED pásku však záleží na konkrétním typu tramvaje. Na rozdíl od panelů je LED pásek omezený, co se týče vysílaných signálů. Předpokládám, že v kombinaci s informační kampaní může být LED pásek dostatečný. [44]



Obrázek 27 Obrázek 4 LED diody na tramvaji

5.2.3 Světelná maska

Jedná se o podobný princip jako u LED diod. Světelné oblasti/pásy jsou umístěny do karoserie vozidla (Obr. 28). Mají stejné možnosti komunikace jako LED diody – animace, změna barvy, frekvence blikání. Jedná se o dražší úpravu než LED pásek a vyžaduje zásah do karoserie vozidla. Velkou nevýhodou je, že se tento návrh nedá implementovat do stávajících vozidel. Vozidla musí touto technologií disponovat od své výroby. Před zavedením tohoto typu komunikace by bylo zapotřebí zavést určitý standard pro implementaci světelné masky pro všechna vozidla. Jedná se o dražší, náročnější variantu na implementaci a nedá se použít do stávající flotily vozidel. Světelné oblasti/pásy by se aplikovaly na zadní stranu tramvaje, popř. na část boční strany. [44]



Obrázek 28 Světelná maska na tramvaji

5.2.4 Zobrazování na karoserii vozidla

Zobrazování na karoserii je z technologického hlediska ve fázi vývoje. Výhodou je neomezené množství znaků, tvarů, animací, které lze zobrazit na libovolné místo na karoserii (Obr. 29). Muselo by být legislativně zajištěno, aby barva vozidla neovlivnila viditelnost zobrazovaných signálů. Tato technologie lze použít pouze na nově vyrobená vozidla, do současných vozidel není možná implementace. Varování pro chodce by mohlo být po celé ploše tramvaje, popř. jen na zadní straně a na boku. Bylo by zajištěno, že chodec varování uvidí včas ze všech úhlů. Nevýhodou je, že by všechna vozidla tramvaje musela být nahrazena novým typem, které touto technologií disponuje. [44]



Obrázek 29 Zobrazování symbolů na karoserii tramvaje

5.2.5 Zobrazování na skle vozidla

V současnosti existují určité technologie, které umožňují zobrazování signálů na sklo vozidla (Obr. 30). Jedná se o neprůhledné displeje místo skleněných panelů, průhledné displeje zabudované do skla nebo projekci na speciální vrstvu na skle. Je možné zobrazovat libovolné znaky, signály. Nevýhodou může být oslnění cestujících ve vozidle během vysílání signálu, což by nemělo vliv na funkčnost, ale komfort cestujících v blízkosti vysílaných signálů by poklesl. Tento nedostatek by měl být vyřešen použitím správné technologie. Nevýhodou je, že u některých typů tramvaje jsou skla vysoko a osoby nízkého vzrůstu a děti by nemuseli vysílaný varovný symbol zpozorovat. Vozidlo musí technologií zobrazování signálů na skla disponovat již od výroby, není možná implementace do stávajících skel. [44]



Obrázek 30 Zobrazování na skle tramvaje

5.2.6 Projekce na vozovku

Technologie nově vyráběných světel umožňuje projekci na vozovku (Obr. 31). Největším nebezpečím tohoto řešení je nedostatečný výkon světel/projektorů pro projekci na vozovku, zvláště pak přes slunný den hrozí riziko, že signál nebude dostatečně vidět. Pro řízení v noci vypadá toto řešení velmi slibně. Na druhou stranu v noci jsou vidět i normální světla od vozidla a není akutní přidávat do tramvají další systém. Určité by toto řešení šlo použít jako doplňkové varování za tmy. Zadní část tramvaje by vysílala signál na vozovku a tím varovala chodce. [44]



Obrázek 31 Projekce na vozovku

Pro ověření funkčnosti zařízení na tramvaji jsem se rozhodla vhodné návrhy otestovat pomocí experimentu ve virtuální realitě. Z analýzy rozhraní jsem se rozhodla otestovat grafický panel a LED pásku. Tyto typy rozhraní jsou nejjednodušším a zároveň funkčním řešením pro stávající tramvaje.

6 Metodika pro hodnocení experimentu

Rozhodla jsem se otestovat vybrané typy varovných zařízení na probandech. Při testování bylo nutné zapojit lidský faktor. Zabývala jsem se chováním probandů, na jehož základě jsem určila funkčnost jednotlivých typů varovných zařízení. Nejprve jsem provedla analýzu možností testování.

6.1 Možnosti testování

Pozorovat chování probandů v určitých situacích lze dvěma způsoby. Prvním z nich je vytvořit potřebný scénář v reálném prostředí. Další možností je přenesení probanda do virtuálního prostředí pomocí virtuální reality a tam modelovat požadovanou situaci. Každé z těchto prostředí má své výhody a nevýhody, které jsem popsala níže.

6.2 Virtuální prostředí

Virtuální prostředí je počítačově vytvořené prostředí. Za poslední roky udělala VR velký pokrok a vytvořené virtuální prostředí velmi věrohodně napodobuje prostředí reálného světa. Pro experimenty týkající se zkoumání chování chodců je velmi vhodné využít metodu využívající HMD (Head-mounted display). HMD je náhlavní souprava se zabudovanými displeji, která umožňuje promítat prostředí VR a tím přenést probanda do modelovaného prostředí. Záleží na konkrétních typech HMD, ale často jsou jejich součástí sluchátka, která doplňují promítaný obraz o akustický vjem.

Největší výhodou virtuálního prostředí jsou jeho konstantní podmínky během testování. Průběh testování není ovlivněn vlivem počasí, náhodnými okolními událostmi. Osoby ve VR, jsou při testování v bezpečí, vše je pouze virtuální a osobám se nemůže nic stát. Zejména při testování systémů teprve na začátku vývoje je bezpečnostní hledisko velmi podstatné. Z finančního hlediska je testování pomocí VR levnější variantou. Často jde pouze o digitální formu systému, u které se zjišťuje, jak by měl systém nejlépe fungovat a až poté se vyrobí fyzický prototyp. Další výhodou je možnost zjišťování a zaznamenávání dat pomocí počítače. Moderní HMD systémy disponují zabudovaným systémem Eye tracker.

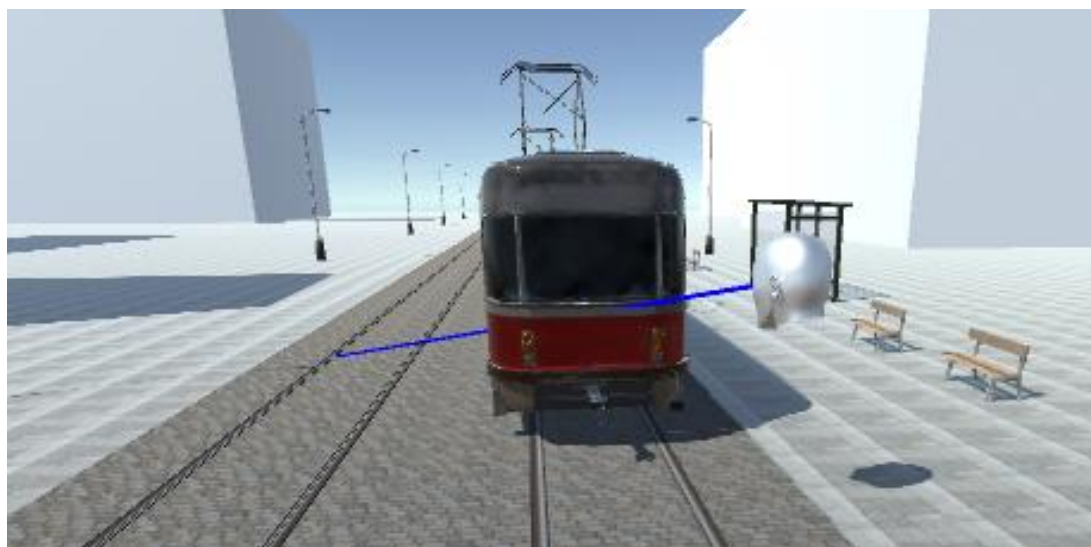
6.2.1 Eye tracker

Eye tracker je zařízení, které rozpozná směr pohledu osoby. Díky tomuto zařízení je možné zjistit, na co se osoba v průběhu experimentu zaměřila, co ji zaujalo, čeho si naopak nevšimla. Eye tracker lze použít pro širokou škálu experimentů. Dá se použít například k experimentům týkajících se řízení automobilu ve vozovém simulátoru pod vlivem alkoholu nebo se spánkovou deprivací. Z výsledků je následně možné analyzovat odchylky v soustředění při normálním stavu řidiče a řidiče ovlivněného alkoholem nebo nedostatkem spánku. Dále lze Eye tracker využít k tomu, aby se zjistilo, na co se testovaná osoba ve scéně soustředila (Obr. 32). Určitá

skupina Eye trackerů také umožňuje sledovat pohyb a otočení hlavy probanda (Obr. 33). Například při testování vizuálních rozhraní pro zvýšení bezpečnosti tramvajové dopravy jsem zjišťovala, jestli si daného výstražného zařízení chodci všimli a řídili se jím při svém chování.



Obrázek 32 Směr pohledu pomocí Eye trackeru



Obrázek 33 Směr pohledu a pohyb probanda pomocí Eye trackeru

6.3 Reálné prostředí

Další možností, kde lze testovat experimenty je v reálném prostředí. Největší výhodou je realističnost prostředí, ve kterém lze zaznamenat přirozené chování testované osoby. Nevýhodou tohoto prostředí je, že je daný scénář těžko opakovatelný za stejných podmínek. Při experimentech týkající se dopravní bezpečnosti, které jsou na počátku vývoje, nemusí být

testování vždy bezpečné. Další nevýhodou může být finanční náročnost experimentu, aby se zajistily všechny potřebné podmínky.

Jelikož jsem ve své práci zkoumala dopad na chování chodců s ohledem na jejich bezpečnost pomocí nového výstražného zařízení, rozhodla jsem se pro testování využít virtuální prostředí se systémem HMD.

6.4 Výběr grafického softwaru

Pro vytvoření virtuálního prostředí jsem potřebovala grafický software. Pro mé účely bylo nejvhodnější využít herní engin.

6.4.1 Herní enginy

Herní enginy mají nejpropracovanější vizualizační úroveň. Využívají se k tvorbě her v herním průmyslu. V herním průmyslu je dostatek peněz a také vysoká poptávka po produktech. Z těchto důvodů dochází ke stálému vývoji těchto enginů. Ve své práci jsem se rozhodla využít herního enginu Unity, jelikož jsem v něm již dříve pracovala a firma nabízí bezplatnou verzi pro osoby s výdělkem nižším než 100 000 dolarů za rok při používání softwaru. Dalšími rozšířenými herními enginy jsou Unreal engine a CryEngine. Oba tyto herní enginy jsou náročné na hardwarové vybavení.

PRAKTICKÁ ČÁST

7 Návrh testované scény

Cílem mé DP bylo zvýšit bezpečnost chodců v přestupových uzlech. Vybrala jsem dva prvky, které jsem otestovala v experimentu ve virtuální realitě. Pro vytvoření scény virtuálního prostředí jsem zvolila engine Unity, protože byl pro mé účely zadarmo, již dříve jsem v něm pracovala a není tak náročný na hardwarové vybavení jako ostatní dříve zmiňované herní enginey.

Jelikož se jednalo o prvotní návrh na zvýšení bezpečnosti v oblasti zadní části tramvaje, vytvořila jsem jednoduchou scénu (Obr. 34). Scéna byla umístěna do městského prostředí a odehrávala se v okolí tramvajových zastávek. Při tvorbě scény jsem se zaměřila na realističnost kolejových pásů, chodníku, tramvají, přístřešků zastávek, sloupů veřejného osvětlení a laviček. Vzdálenější okolí jako domy, panelové domy a vegetaci jsem v mé scéně neřešila, aby zbytečně neodváděla pozornost probandů. Při zkoušení scény s dobrovolníkem jsem zjistila, že se dobrovolník o vzdálenější prostředí nezajímal a ani to nenarušilo jeho celkový pocit.



Obrázek 34 Ukázka z prostředí scény

7.1 Tvorba testované scény

V této části jsem popsala, jak jsem danou scénu vytvořila. Nejprve jsem pomocí softwaru pro modelování Rhinoceros zhotovila základní plochu, která obsahuje chodníky, tramvajové koleje a tramvajový prostor. Pro jednoduchost scény jsem fyzicky vymodelovala pouze tramvajové koleje.

Na jednotlivé objekty jsem aplikovala různé barevné textury. Textura bývá zpravidla čtvercový obrázek. Důležité je, aby textura byla tzv. seamless. To znamená, že při aplikaci textury na objekt nejsou vidět hrany spojující jednotlivé čtverce. Na obrázcích níže jsou vidět použité textury pro tvorbu chodníku, tramvajového prostoru a tramvajových kolejí (obrázky jsou seřazeny dle vyjmenovaného pořadí) (Obr. 35).



Obrázek 35 Použité textury pro tvorbu chodníku, tramvajového prostoru a tramvajových kolejí

Takto připravený model jsem vložila do Unity. Ostatní modely (přístřešky zastávek, sloupky, veřejné osvětlení, lavičky, tramvaj) jsem již měla předpřipravené a pouze jsem je do Unity rozmístila dle potřeby. Tramvaje jsem umístila s ohledem na experiment. Jednu tramvaj jsem umístila na zastávku, tato tramvaj byla po celou dobu experimentu statická. Druhou tramvaj jsem umístila jako protijedoucí tramvaj. Ta se v průběhu experimentu pohybovala. Okolní domy tvořené bílými kvádry jsem vytvořila přímo v Unity. Tímto způsobem vznikla statická scéna. Pro experiment bylo nutné do statické scény přidat scénáře.

8 Návrh testovaných scénářů

Scénář je soubor událostí odehrávající se ve scéně. V mém experimentu jsem testovala 3 scénáře – bez výstražného zařízení, scénář s LED páskou a scénář s grafickým panelem. Pro tato testovaná zařízení jsem se rozhodla z předchozí analýzy. V experimentu jsem testovala situaci, kdy chodec přecházel zpoza stojící tramvaje přes tramvajový prostor na druhou stranu chodníku.

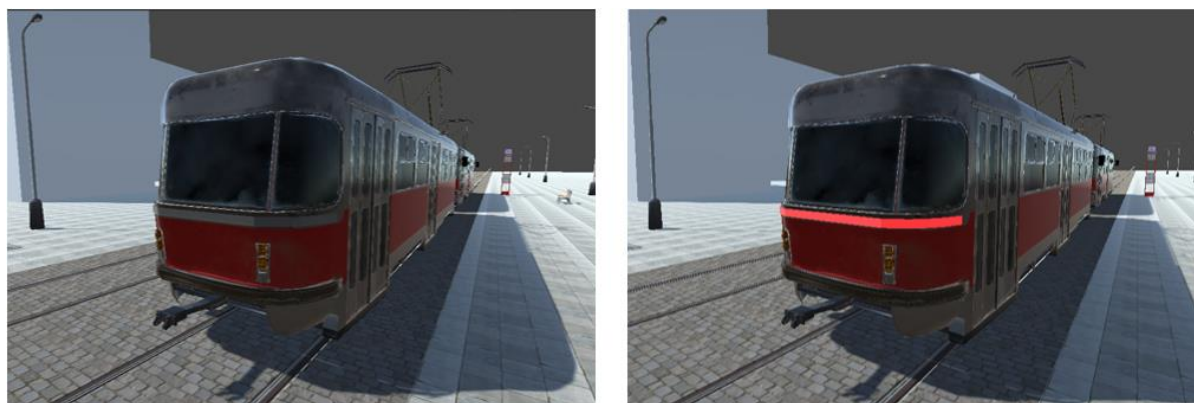
První scénář byl scénář bez výstražného zařízení (Obr. 36). Tento scénář sloužil jako referenční měření, na jehož základě jsem porovnávala odchylky v chování probanda v situaci

bez zařízení a se zařízením. Tento scénář odpovídal současnému stavu v reálném světě, tj. neexistuje žádné upozornění v zadní části tramvaje.



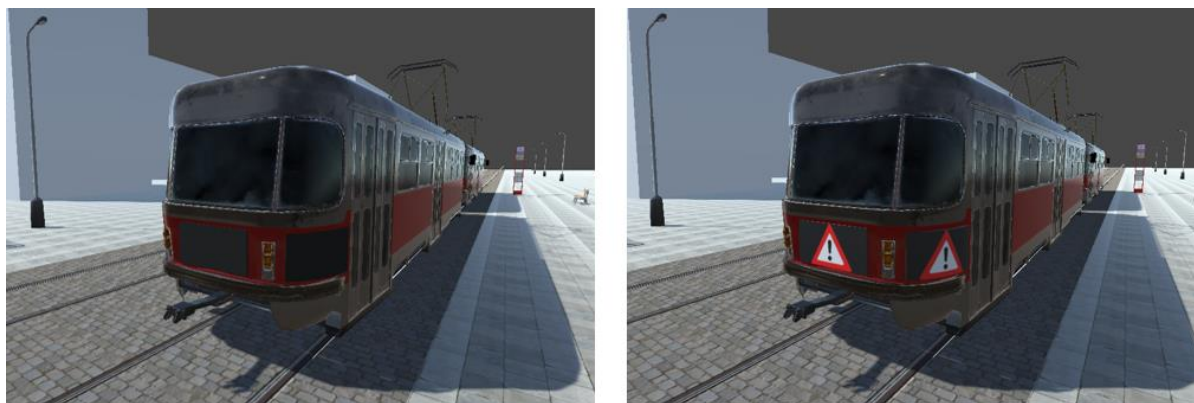
Obrázek 36 Tramvaj bez výstražného zařízení

Dalším scénářem bylo použití LED pásky jakožto výstražného prvku upozorňujícího chodce na tramvaj v protisměru (Obr. 37). V průběhu výstrahy LED páska blikala. Blikání bylo zajištěno pomocí animace v Unity.



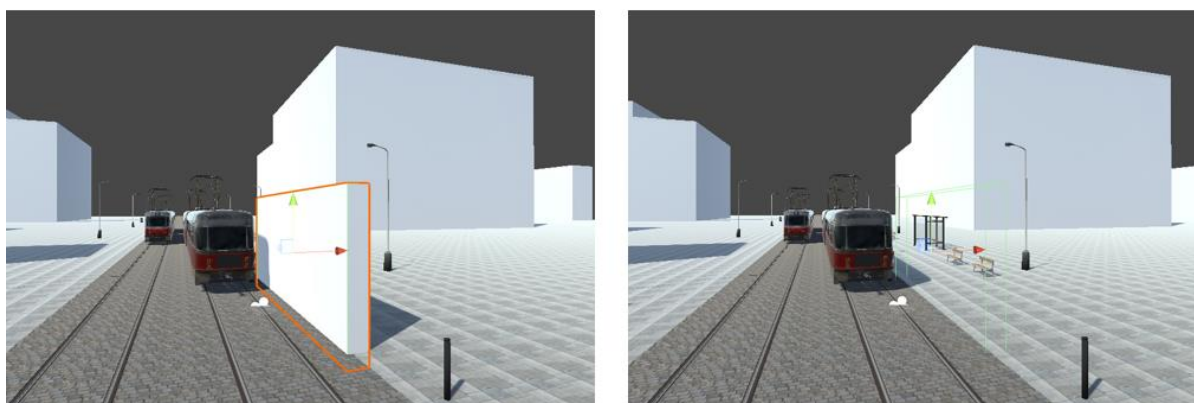
Obrázek 37 Tramvaj s LED páskou

Posledním testovaným scénářem bylo využití výstražného trojúhelníku zobrazovaném na grafickém panelu (Obr. 38). Stejně jako u LED pásky v době výstrahy trojúhelník blikal pomocí vytvořené animace.



Obrázek 38 Tramvaj s výstražným panelem

Obecně výstražná zařízení byla aktivní a blikala pouze v době, kdy hrozilo chodci nebezpečí v případě vejítí do tramvajového prostoru. Toto nebezpečí bylo simulováno pomocí tramvaje v protisměru. Tramvaji jsem definovala konstantní rychlost, kterou se pohybovala a zároveň jsem tramvaj ve scéně umístila do takové vzdálenosti, aby se střetla s chodcem, který přecházel tramvajové pásy. Aktivace a deaktivace výstražných zařízení se řídila pomocí triggerů. Trigger pro aktivaci zařízení se sepnul přítomností chodce v oblasti. Trigger byl umístěn na rozhraní chodníku s tramvajovým prostorem tak, aby jím chodec stoprocentně prošel (Obr. 39). Trigger pro deaktivaci byl řízen protisměrnou tramvají.



Obrázek 39 Trigger

Takto připravené scénáře jsem se rozhodla otestovat v experimentu na probandech.

9 Vlastní experiment

Pro porovnání jednotlivých typů zařízení, případně scénáře bez zařízení, jsem se rozhodla provést experiment s pozvanými lidmi. Provedla jsem analýzu chování chodců za pomoci Eye trackeru a pomocí dotazníkového průzkumu. Dotazník probandi vyplnili po skončení experimentu a proběhla následná diskuze

Před spuštěním simulace jsem probandům oznámila jejich úkol, který zněl: „Dostanete postupně 3 různé scénáře. Vaším úkolem je dostat se pokaždé na druhou stranu chodníku k další tramvajové zastávce. Ve 2 scénářích jsou určitá výstražná zařízení, která varují před

nebezpečím hrozící z protisměru v podobě jedoucího vozidla“ Testovala jsem tedy chování lidí za předpokladu, že znali význam výstražných zařízení.

Abych docílila obcházení stojící tramvaje zezadu, proband byl od začátku simulace umístěn do míst za stojící tramvají. Na obrázku níže lze vidět, kde se proband při spuštění simulace nacházel a jakým směrem byl natočený (Obr. 40).



Obrázek 40 Pohled probanda při vstupu do simulace

Jelikož měl na výsledek experimentu vliv lidský faktor, v další části jsem popsala shrnující informace o probandech.

9.1 Informace o účastnících experimentu

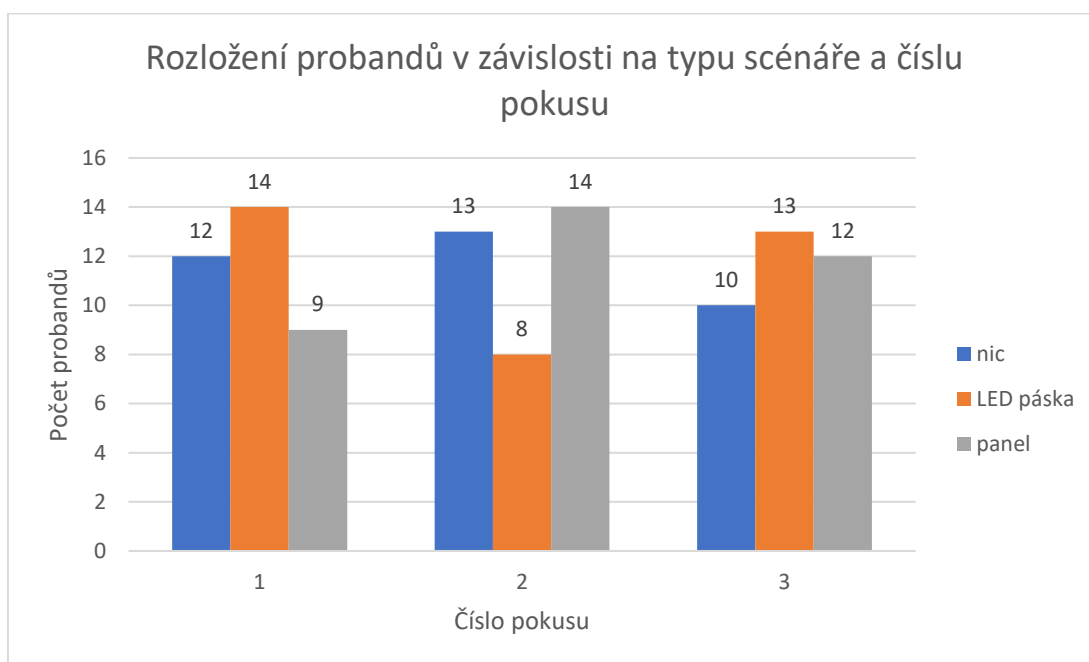
Vliv na experiment měla vybraná skupina osob, která se testování zúčastnila. Celkem jsem pozvala 35 lidí. Testování se zúčastnili především mladí lidé. Věkový průměr probandů byl 26 let. Experimentu se zúčastnili studenti i pracující lidé. Většina probandů měla vysokoškolský titul. Probandi pocházeli z hlavního města Prahy nebo jeho okolí a do Prahy dojížděli za prací nebo za studiem. Tento poznatek byl důležitý, protože měli zkušenosti s pražskou tramvajovou dopravou. Většina probandů neměla zkušenost s virtuální realitou. Tento údaj mohl zkreslit jejich počínání zejména během jejich prvního pokusu, kdy se s virtuální realitou seznamovali.

9.2 Pořadí scénářů

Nevýhodou testování s více pokusy je, že proband po prvním pokusu už ví, co ho čeká. Z toho důvodu jsem probandům spouštěla scénáře s náhodným pořadím, aby všechny scénáře měly stejné podmínky.

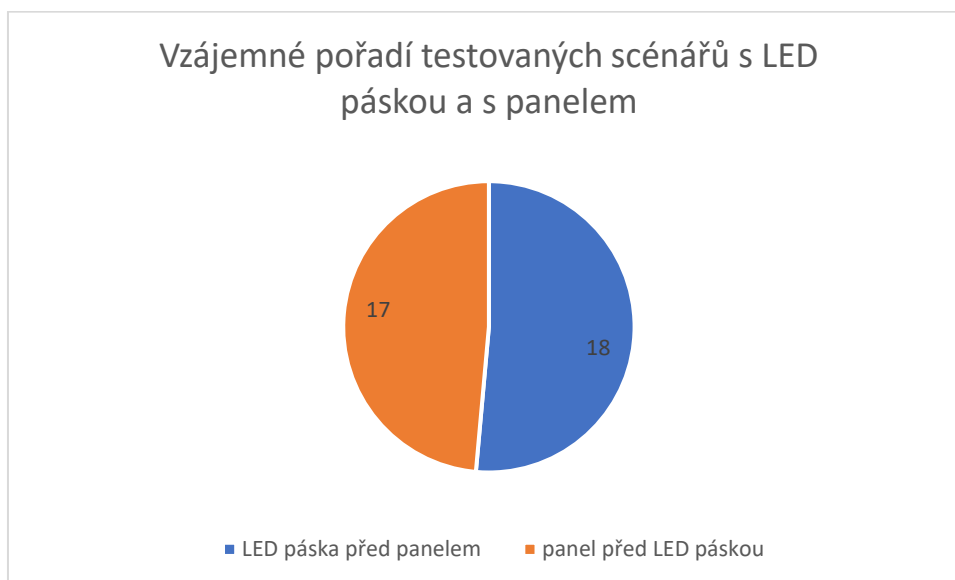
Následně jsem z těchto dat vytvořila graf pro jednotlivé pokusy probandů (Graf 8).

Graf 8 Rozložení probandů v závislosti na typu scénáře a číslu pokusu



Z grafu je patrné, že jednotlivé scénáře měly být rovnoměrněji rozděleny dle pořadí pokusu. Avšak pro analýzu funkčnosti výstražných zařízení bylo také důležité, které zařízení měl proband ve svých pokusech dříve a které později. Proto jsem vytvořila další graf, který porovnává pořadí scénářů s varovnými zařízeními mezi sebou (Graf 9).

Graf 9 Vzájemné pořadí testovaných scénářů s LED páskou a s panelem



Z grafu je patrné, že polovina testovaných měla scénář s LED páskou před scénářem s panelem a naopak. Toto rovnoměrné rozložení scénářů s výstražným zařízením pomohlo k redukci zkreslení výsledků způsobených vlivem pořadí pokusů.

9.3 Vyhodnocení experimentu

K vyhodnocení experimentu jsem použila naměřená data za pomoci Eye trackeru a data získaná za pomoci dotazníkového průzkumu. Data z Eye trackeru lze považovat za objektivní měření. Informace získané z dotazníkového průzkumu jsou založena spíše na subjektivních pocitech probandů.

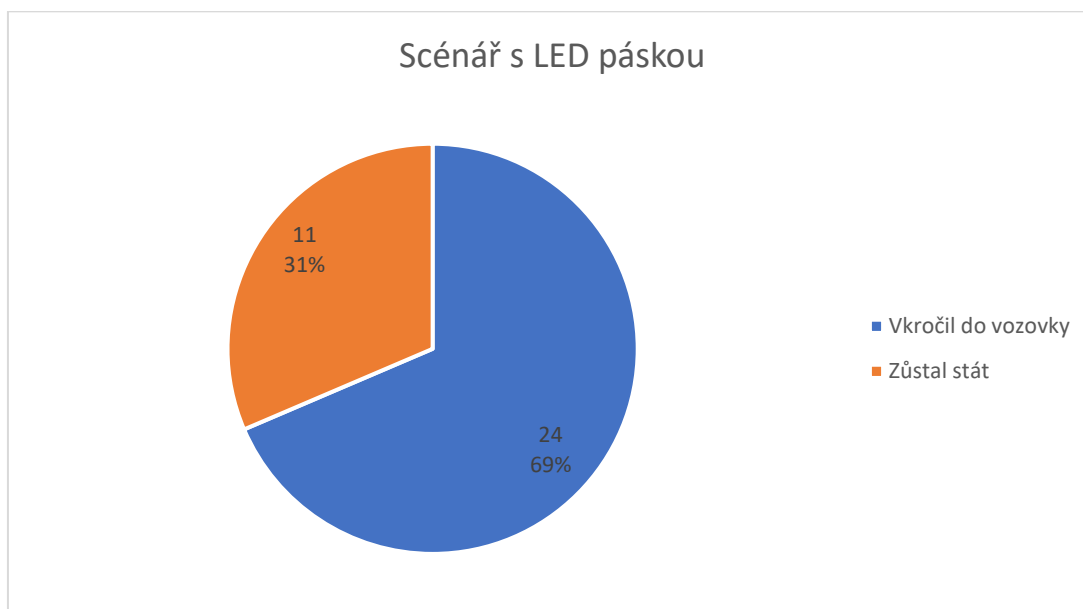
9.3.1 Naměřená data pomocí Eye trackeru

Jak jsem již dříve popsala, systém Eye tracker umožňuje sledovat směr pohledu osoby ve VR. Systém také umožňuje sledovat pohyb osoby ve scéně. Tyto dvě funkce jsem využila z vyhodnocení mého experimentu. Stanovila jsem si dvě hypotézy, které jsem se snažila potvrdit.

První zkoumaná hypotéza byla, zda chodci při zpozorování výstražných zařízení zůstali stát na chodníku a nevstupovali do kolejového prostoru. Během referenčního měření bez varovného zařízení všichni účastníci testování vstoupili do kolejového prostoru. Vyhodnocení hypotézy jsem provedla v závislosti na konkrétním typu zařízení.

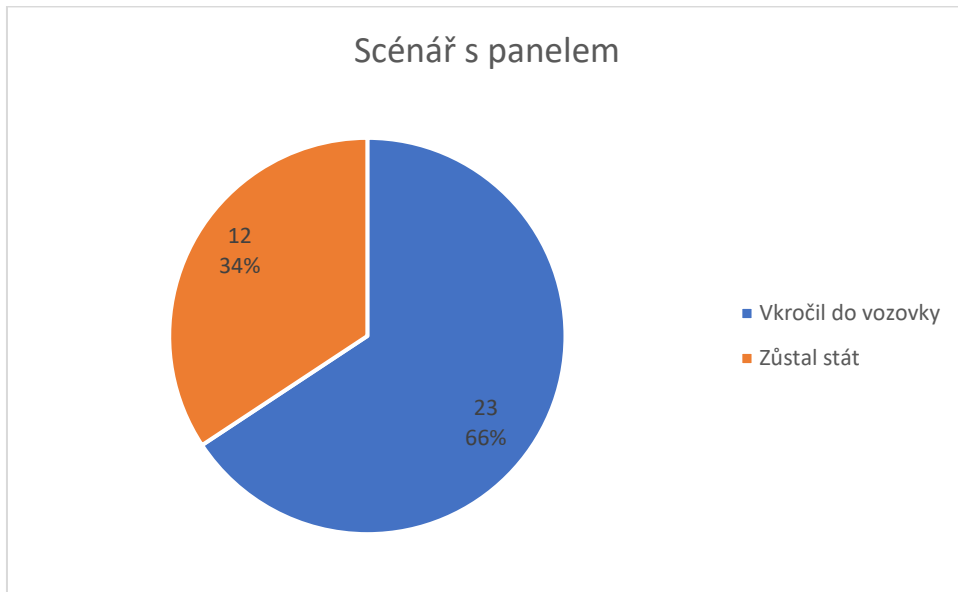
Nejdříve jsem se zabývala scénářem s LED páskou. Zjistila jsem, že 31% chodců zůstalo stát a zbytek vešel do vozovky viz graf níže (Graf 10).

Graf 10 Hypotéza 1: scénář s LED páskou



Poté jsem se zabývala scénářem s panelem. Výsledky byly obdobné jako u scénáře s LED páskou. Z grafu níže je zřejmé, že 34% probandů zůstalo stát na chodníku a 66% vstoupilo do tramvajového prostoru (Graf 11).

Graf 11 Hypotéza 1: scénář s panelem

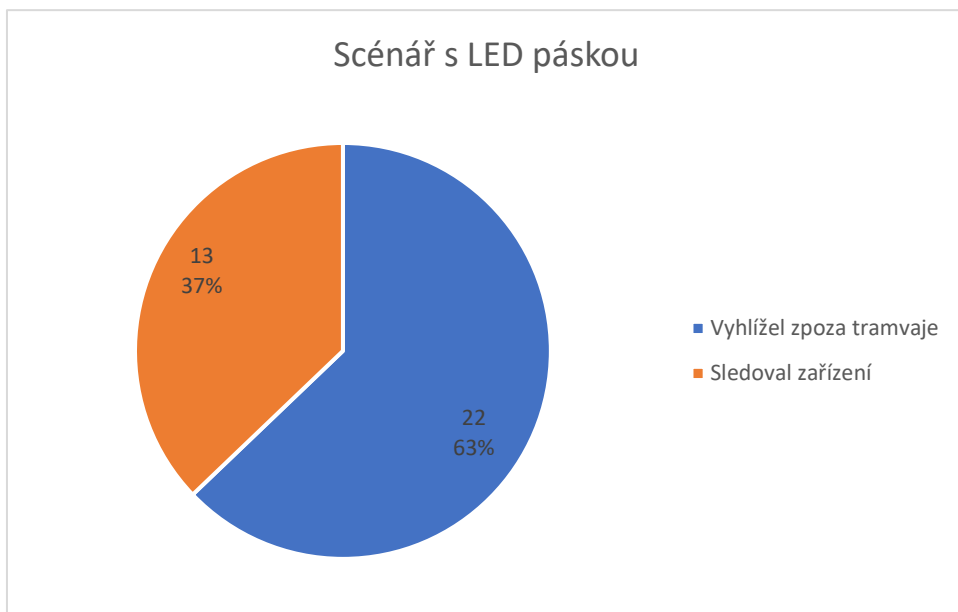


Z grafů je vidět, že jednotlivé typy zařízení neměli na vývoj experimentu výrazný vliv.

Druhou zkoumanou hypotézou bylo, jestli se chodci soustředili na výstražná zařízení, nebo jestli je ignorovali a vyhlíželi protijedoucí tramvaj zpoza stojící tramvaje. Opět jsem provedla analýzu v závislosti na jednotlivých typech scénáře.

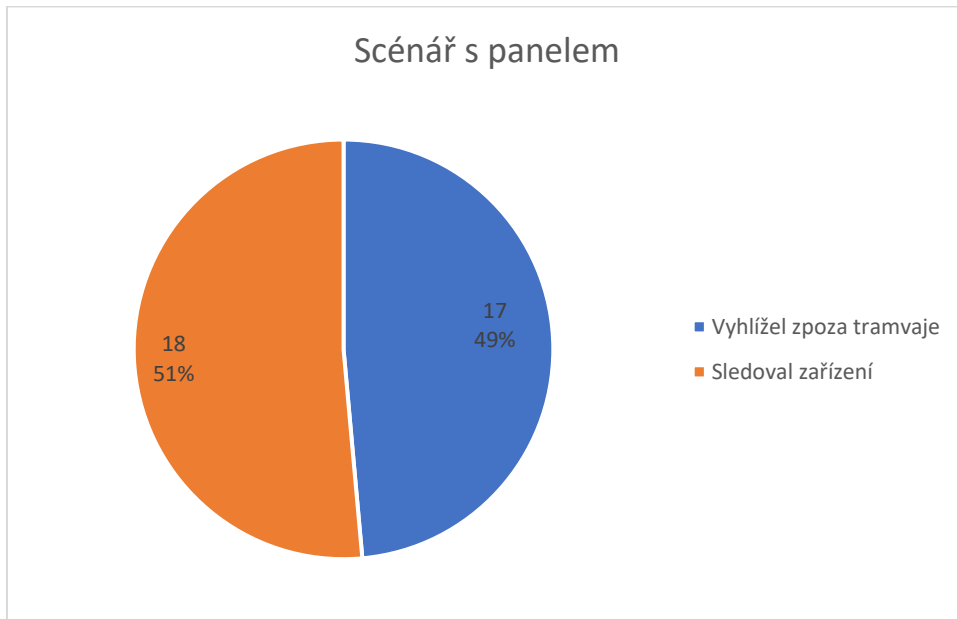
Nejdříve jsem se zabývala scénářem s LED páskou. Z grafu níže lze vidět, že 37% chodců věřilo varovnému zařízení a sledovali ho do doby, než před nimi projížděla tramvaj z protisměru (Graf 12).

Graf 12 Hypotéza 2: scénář s LED páskou



Poté jsem analyzovala scénář s panelem. V tomto případě panel sledovalo 51% chodců a 49% vyhlíželo zpoza tramvaje viz graf níže (Graf 13).

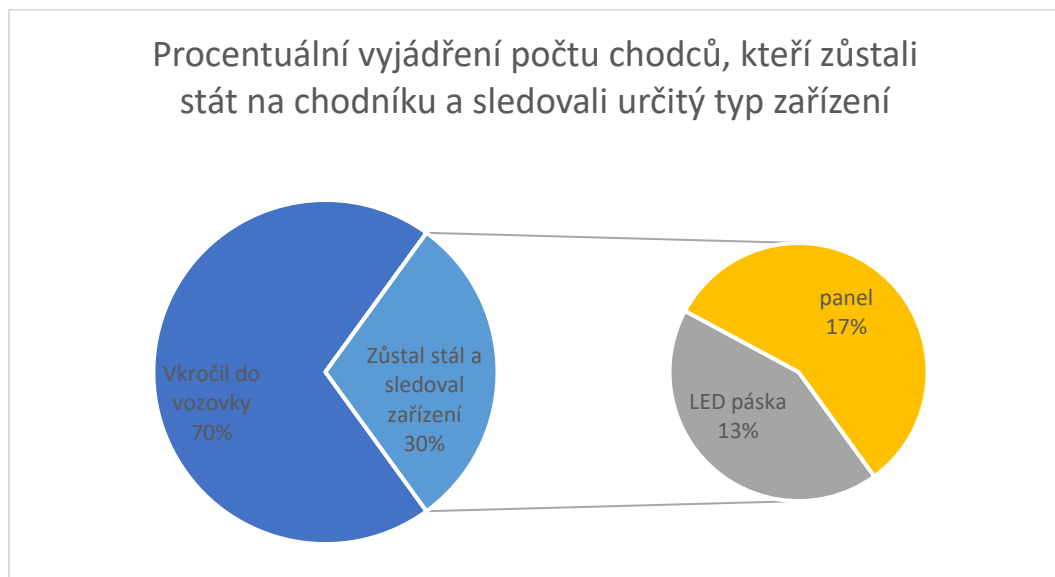
Graf 13 Hypotéza 2: scénář s panelem



Z grafů je patrné, že grafický panel lidé pozorovali častěji než LED pásku. Domnívám se, že je to dáno kvůli jeho velikosti a obecně známému symbolu výstražného trojúhelníku pro nebezpečí.

Na závěr jsem udělala průnik obou hypotéz a vyhodnotila, kolik procent lidí při konkrétním scénáři zůstalo stát na chodníku a zároveň sledovalo výstražné zařízení.

Graf 14 Průnik hypotézy 1 a hypotézy 2

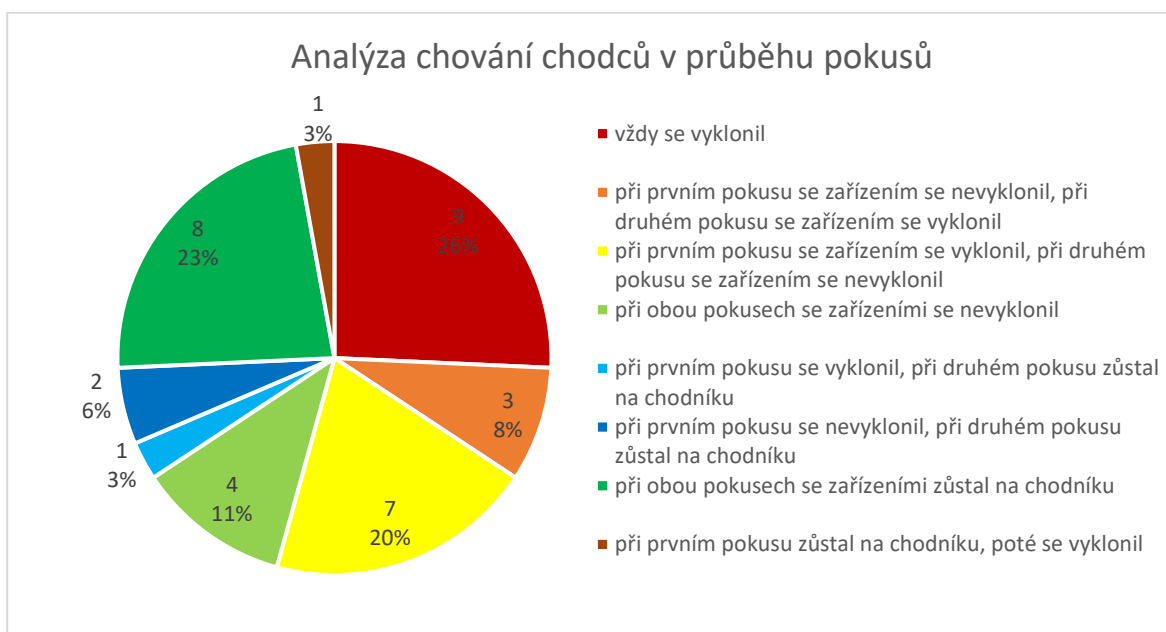


V grafu lze vidět, že třetina testovaných nevkročila do vozovky a respektovala výstražná zařízení. Konkrétně 13% lidí zůstalo stát na chodníku a sledovalo LED pásku a 17% lidí zůstalo stát a sledovalo panel (Graf 14).

Dále jsem se zabývala chováním chodců v průběhu jejich pokusů se zařízeními. Chování jsem porovnávala vzhledem k chování probanda k referenčnímu scénáři bez zařízení. Zjišťovala jsem, zda se během jejich pokusů chování měnilo, případně jakým způsobem.

V průběhu analýzy jsem zjistila několik situací, které se často opakovaly. Chodci buď zůstali stát na chodníku, nebo vstoupili do kolejiště, nevyklonili se zpoza stojící tramvaje a počkali, až přejede tramvaj v protisměru, nebo vstoupili do kolejiště a vyklonili se zpoza stojící tramvaje. Situaci, kdy se chodec vyklonil považuji za nejnebezpečnější, protože mezi chodcem a protijedoucí tramvají je nejmenší vzdálenost ze všech zmiňovaných situací. Vytvořila jsem graf, který zachycuje všechny situace, které nastaly (Graf 15).

Graf 15 Analýza chování chodců v průběhu pokusů



Pouhých 24% probandů nezměnilo své chování oproti scénáři bez zařízení a během pokusu vždy vešlo do kolejiště a vyklonilo se zpoza tramvaje. Veškerých 76% lidí své chování během jednotlivých scénářů změnil, z toho 65% se chovalo bezpečněji. 23% probandů zůstalo při typech zařízení stát na chodníku. 20% probandů se při prvním typu zařízení vyklonilo zpoza stojící tramvaje, avšak na druhý pokus se probandi již nevyklonili a počkali v kolejišti, než tramvaj projela. 11% chodců při obou pokusech vešlo do kolejiště, ale nevyklonilo se zpoza tramvaje. 8% lidí se při prvním pokusu se zařízením nevyklonilo zpoza tramvaje, při druhém pokusu se však vyklonili. Další kategorií jsou chodci, kteří při druhém pokusu zůstali na chodníku. Z nich se 3% při prvním pokusu vyklonilo a 6% nevyklonilo zpoza tramvaje. V 1 případě došlo k situaci, kdy chodec při prvním pokusu zůstal na chodníku, při druhém však vešel do kolejiště a vyklonil se zpoza tramvaje.

Po tomto zjištění jsem se zabývala tím, zda mělo na chování chodců vliv jednotlivé typy výstražných zařízení. Výsledky lze vidět v tabulce 3.

Tabulka 3 Vliv jednotlivých typů zařízení na chování chodce

| | zůstal na chodníku | vstoupil do vozovky a nevyklonil se | vstoupil do vozovky a vyklonil se |
|--------------|--------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| bez zařízení | 0 | 4 | 31 |
| LED páska | 11 | 8 | 16 |
| panel | 12 | 9 | 14 |

Z této analýzy vyplývá, že jednotlivé typy zařízení neměly na chování chodce výraznější vliv. Ve scénáři bez zařízení se chodci vyklonili zpoza tramvaje v 89% případech. Ve scénářích s výstražnými zařízeními se lidé vyklonili pouze v 43% případů.

V jednom případě se scénářem s LED páskou se stalo, že daná osoba se vůbec nerozhlédla a byla sražena tramvají. V tomto případě se jednalo o její první pokus v experimentu a osoba byla velmi nesoustředěná.

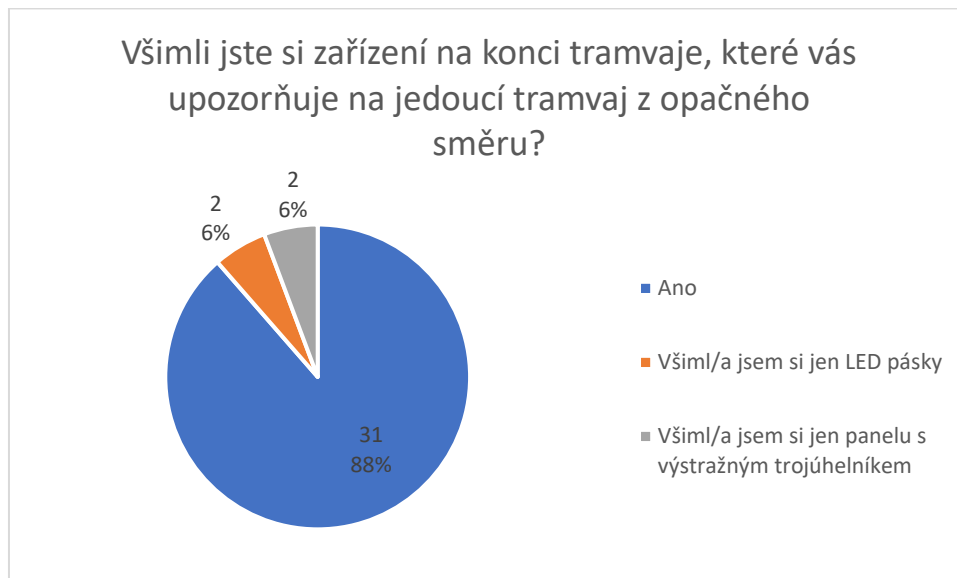


Obrázek 41 Ukázka testování

9.3.2 Dotazníkový průzkum

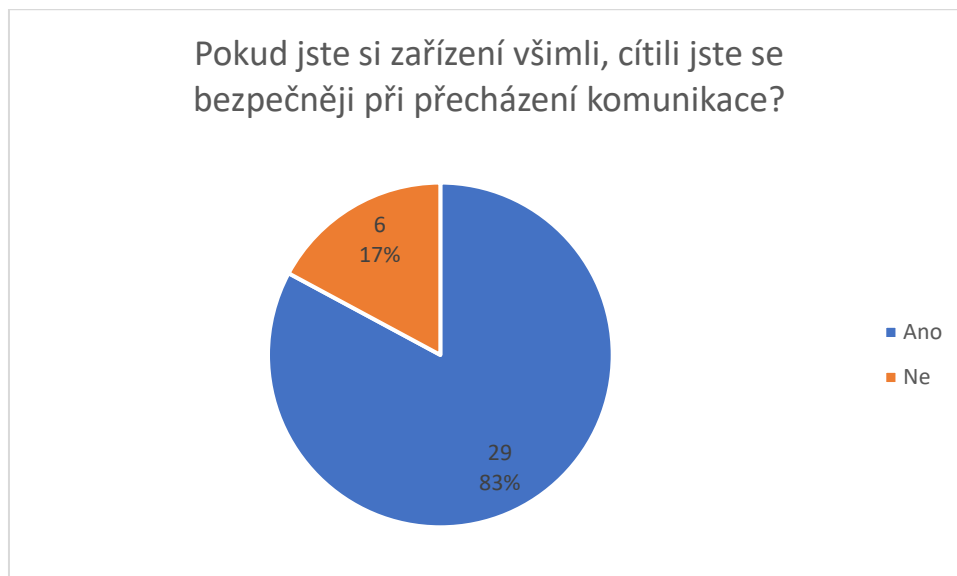
Po skončení experimentu vyplnil proband připravený dotazník týkající se převážně jeho pocitů z testování, které pomocí Eye trackeru nebylo možné zachytit. Šlo zejména o subjektivní názory na jednotlivé typy varovných zařízení. Dotazník se skládal z celkem 5 otázek. Jednotlivé otázky a odpovědi lze vidět v grafech níže (Graf 16).

Graf 16 Dotazníkový průzkum: Otázka 1



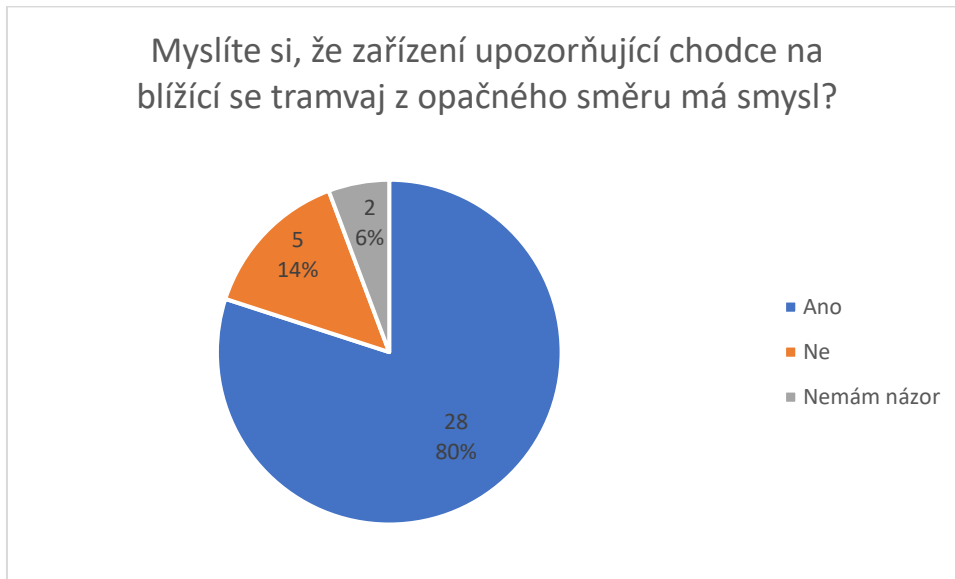
První otázka byla obecnější charakteru. Dle dotazníkového průzkumu 88% probandů uvedlo, že si všimlo výstražných zařízení. 6% si všimlo pouze LED pásky a stejné procento si všimlo pouze výstražného trojúhelníku (Graf 17). Tyto odchylky bych odůvodnila pořadím typů scén probandů, popřípadě rozržitostí probandů. 3 z 4 probandů, kteří si nevšimli daného zařízení, měli scénu s daným zařízením během svého prvního pokusu.

Graf 17 Dotazníkový průzkum: Otázka 2



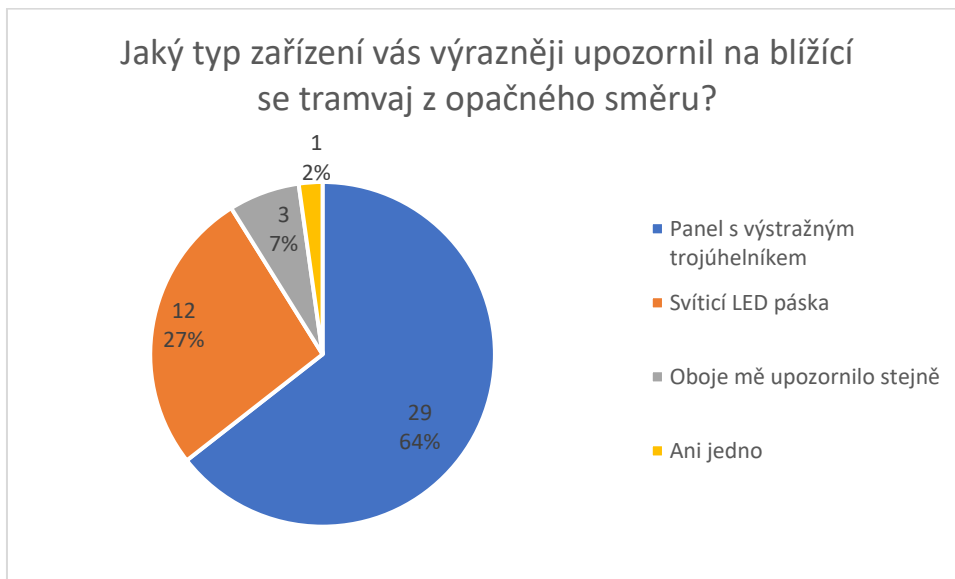
Další otázkou bylo, zda se chodci cítili bezpečněji s výstražnými zařízeními při přecházení komunikace. 83% uvedlo, že se cítilo bezpečněji. Věděli, že se z protisměru blížilo vozidlo a byli na to připraveni. 17% uvedlo, že se necítili bezpečněji (Graf 18). Tímto bylo myšleno, že se jejich pocit bezpečí nijak nezměnil od situace, kdy na tramvaji nebylo žádné zařízení. Myslím si, že je to dáno tím, že ani v současné době na tramvaji žádné výstražné zařízení není a lidé na zařízení nejsou zvyklí a chovají se stejně jako se chovají v reálné situaci.

Graf 18 Dotazníkový průzkum: Otázka 3



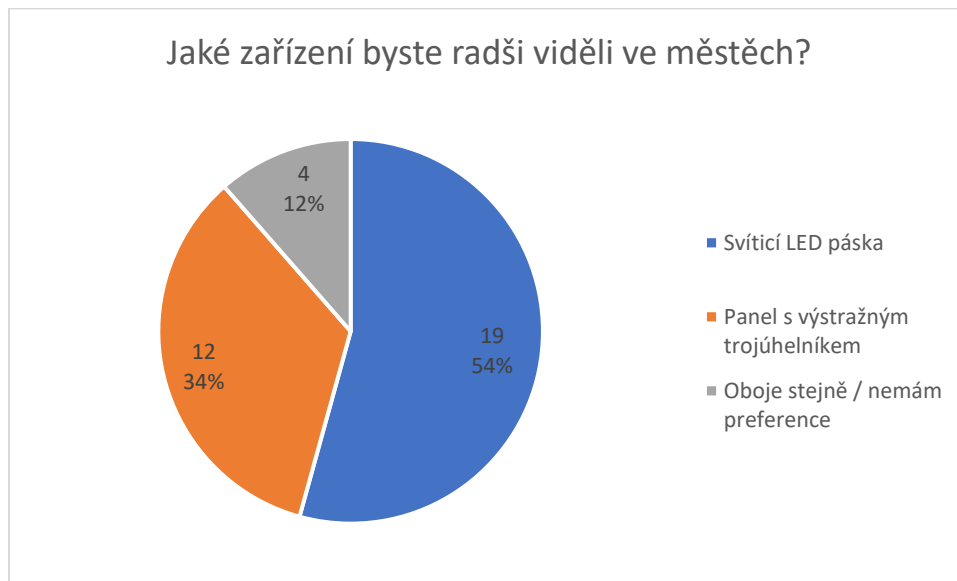
Třetí otázka byla, zda si lidé mysleli, jestli mají výstražná zařízení smysl. 80% lidí odpovědělo, že zařízení smysl mají. 14% si myslelo, že zařízení smysl nemají (Graf 19). Tito lidé uvedli, že přecházejí přes tramvajové koleje bez zařízení i v současné době a přišlo jim nové zařízení zbytečné.

Graf 19 Dotazníkový průzkum: Otázka 4



Další otázkou bylo, jaký typ zařízení chodce výrazněji upozornil ve smyslu, že si zařízení více všimnul. Na tuto otázku odpovědělo 64% dotazovaných, že je více upozornil panel s výstražným trojúhelníkem. 27% probandů více upozornila LED páska (Graf 20). Ostatní neměli názor, nebo je neupozornilo nic. Skutečnost, že nejvíce hlasů získal panel s výstražným trojúhelníkem je dána dle mého tím, že panel byl objektivně větší než LED páska. Spousta lidí mi tuto otázku doplnilo tím, že panel byl intuitivnější, jelikož měl na sobě výstražný trojúhelník, což je obecně platný symbol pro nebezpečí.

Graf 20 Dotazníkový průzkum: Otázka 5



Poslední otázkou bylo, které zařízení by lidé radši viděli na tramvajích ve městech. V tomto případě vyhrála LED páska s 54% hlasů. Pro panel s výstražným trojúhelníkem hlasovalo 34% probandů a 12% lidí nemělo preference. Tuto skutečnost lidé okomentovali tím, že LED páska byla vzhledově lepší, byl by to menší zásah do vzhledu vozidla. Avšak doplnili, že by bylo třeba lidi informovat o jejím významu, že není tak intuitivní jako výstražný trojúhelník na panelu. Lidé by zpočátku nemuseli chápat význam výstražného zařízení.

Z dotazníkového průzkumu vyplývá, že implementace výstražných zařízení by pro osoby měla smysl. Lidé se cítili bezpečněji při přecházení tramvajových pásů a věděli, že mohou očekávat vozidlo v opačném směru. Probandy více varoval panel s výstražným trojúhelníkem, avšak lépe si lidé představí ve městech LED pásku.

9.4 Shrnutí

Provedla jsem experiment, v kterém jsem testovala dva typy výstražných zařízení zvyšující bezpečnost tramvajové dopravy. Prvním typem zařízení byla LED páska a druhým typem byl grafický panel. Experiment probíhal v prostředí VR s pomocí systému HMD Vive Pro Eye se zabudovaným Eye trackerem. Celkem jsem provedla testování na 35 probandech s tím, že každý otestoval tři scénáře – scénář bez zařízení, scénář s LED páskou a scénář s grafickým panelem. Po absolvování experimentu lidé vyplnili dotazník ohledně jejich subjektivních pocitů. Objektivní data ohledně chování chodců jsem analyzovala díky Eye trackeru. Zabývala jsem se tím, jestli chodci při aktivaci výstražných zařízení nevstupovali do kolejového prostoru a jestli sledovali výstražná zařízení místo toho, aby vyhlíželi protijedoucí tramvaj zpoza stojící tramvaje.

Z naměřených dat jsem zjistila, že třetina osob splnila moji domněnku – sledovala výstražná zařízení a čekali na projetí protisměrné tramvaje na chodníku. Chování chodců se mezi jednotlivými pokusy měnilo a zjistila jsem, že celých 76% probandů změnilo svoje chování při scénářích s výstražnými zařízeními, z většinové části (65%) bezpečnějším způsobem chování. Zjistila jsem, že jednotlivé typy výstražných zařízení nemají významnější vliv na chování chodců. Z dotazníkového průzkumu jsem zjistila, že 80% lidí si myslí, že výstražná zařízení mají smysl a 83% se při přecházení komunikace cítilo bezpečněji. Domnívám se, že tato skutečnost je dána tím, že téměř všichni lidé výstražná zařízení zpozorovali, a to ihned po jejich aktivaci a dostali tím potřebnou informaci a varování.

Z experimentu vyplývá, že by lidé výstražná zařízení ocenili. Musela by však proběhnout informativní kampaň, která by lidi informovala o novém typu bezpečnostního zařízení. O jaký typ bezpečnostního zařízení by se jednalo experiment zcela nepotvrdil. Z naměřených dat vyšel lépe grafický panel. Z dotazníkového průzkumu si lidé spíše představí LED pásku.

10 Závěr

Mým cílem bylo zvýšit bezpečnost chodců v přestupových uzlech MHD. Zabývala jsem se zvýšením bezpečnosti tramvajové dopravy. Ve virtuální realitě jsem otestovala 2 prototypy varovných zařízení, které varovali chodce před tramvají v protisměru.

Nejdříve jsem se zabývala tramvajovou dopravou v České republice a provedla analýzu vozového parku v Praze. Zaměřila jsem se na parametry tramvaje, které mají vliv na bezpečnost chodce. Bezpečnost chodce nezávisí pouze na typu tramvají, ale i na geometrii kolejí. Nejdůležitějším parametrem z hlediska bezpečnosti je osová vzdálenost kolejí. Ta přímo definuje volný prostor mezi dvěma protijedoucími tramvajemi.

Abych zjistila, jaké riziko střetu hrozí mezi chodci a tramvajemi, provedla jsem analýzu nehodovosti. Nehodovost mezi chodci a tramvajemi jsem zkoumala v období 2010 - 2019. Zjistila jsem, že trend vývoje počtu nehod je konstantní, v průběhu let se tedy vývoj nezlepšuje. Nejvíce nehod bylo způsobeno zaviněním chodce v oblasti přechodů a tramvajových zastávek.

V zastávkách dochází k častému přecházení mimo vyznačená místa k tomu určená. Nejčastěji se jedná o případ, kdy chodec přechází přes kolejový prostor a obchází stojící tramvaj. Při obcházení zpoza tramvaje má chodec zastíněný výhled na vozidlo v protisměru. Ani řidič tramvaje nemá o zadní části tramvaje žádné informace a nemůže tak chodce před blížícím se vozidlem varovat. Tomuto druhu nehody nemůže zabránit ani řidič protisměrné tramvaje z důvodu dlouhé brzdné dráhy vozidla. Naopak by těmto nehodám mohly zabránit bezpečnostní prvky.

V současnosti existují prvky, které chodce před tramvají varují. Tyto prvky jsou většinou statické, neinteragují na změnu ve svém okolí. Navíc prvky neřeší problém zadní části tramvaje. Problematikou bezpečnosti chodce se ale zabývá vývoj autonomních vozidel. Využila jsem jejich koncepty a navrhla jsem implementaci na tramvaj. Po analýze prvků jsem se rozhodla v experimentu otestovat dva nejvhodnější – grafický panel a LED diody.

Experiment jsem provedla ve virtuální realitě s HMD systémem se zabudovaným Eye trackerem. Virtuální prostředí jsem zvolila, protože se jedná o pilotní návrh zařízení a testovat ve skutečném prostředí by nebylo bezpečné. Virtuální prostředí zajistí neměnné podmínky pro testování a je finančně výhodnější. Ve virtuálním prostředí je důležité navodit chodci takové prostředí, aby se cítil jako v reálném světě. K tomu jsou vhodné herní enginey, které mají nejlepší vizualizační kvalitu. Je to tím, že herní průmysl je bohatá oblast a dochází k neustálému vývoji. Z toho důvodu jsem využila herní engine Unity k vytvoření virtuálního prostředí.

Bylo zapotřebí vytvořit statickou scénu, ve které se odehrávaly scénáře. Nejprve jsem vytvořila městskou scénu v oblasti tramvajových zastávek. K vyhotovení scény jsem využila modelovací software Rhinoceros a engine Unity. Dále jsem vytvořila tři různé scénáře. První scénář byl bez varovného zařízení. Ten simuloval současnou situaci v reálném světě a sloužil jako referenční scénář. Druhý scénář byl s výstražným prvkem v podobě LED pásky a třetí scénář byl s varovným zařízením v podobě grafického panelu. Výstražná zařízení varovala před jedoucí tramvají z opačného směru. Ta se pohybovala konstantní rychlostí z definované vzdálenosti tak, aby zkomplikovala chodci přejít vozovku. Varovná zařízení a tramvaj se aktivovaly pomocí triggeru, který byl umístěn na okraji chodníku a spustil se ve chvíli, kdy jím prošel chodec. Takto připravené scénáře jsem dala k otestování pozvaným lidem.

Experimentu se zúčastnilo 35 lidí z Prahy nebo okolí s tím, že většina testovaných byla ve virtuální realitě poprvé. Probandi měli za úkol dostat se na druhou stranu vozovky a byli předem informováni, k čemu slouží varovná zařízení. Každý otestoval všechny tři scénáře a následně vyplnil dotazník o subjektivních pocitech, na který navázala diskuze ohledně jeho odpovědí. Jelikož se ve scénářích měnil jen typ výstražného zařízení a úkol přejít vozovku zůstal stejný, záleželo na pořadí jednotlivých scénářů. Z toho důvodu jsem pořadí scénářů probandům změnila, aby výsledky nebyly zkresleny touto skutečností.

Vyhodnocení experimentu jsem provedla za pomoci Eye trackeru a dotazníkového průzkumu. Pomocí Eye trackeru jsem si stanovila dvě hypotézy, které jsem zkoumala. První z nich byla, zda lidé po aktivaci výstražných zařízení zůstali stát na chodníku a druhá byla, zda pozorovali výstražná zařízení, a nebo vyhlíželi zpoza tramvaje. Moje teorie, že lidé zůstanou na chodníku a počkají až tramvaj přejede, byla potvrzena. Z naměřených dat jsem zjistila, že v referenčním scénáři bez zařízení všichni probandi vešli do kolejiště. Při scénářích s výstražnými zařízeními je třetina lidí sledovala a zůstala stát na chodníku. Varovných zařízení si probandi všimli okamžitě po jejich aktivaci. Druhá hypotéza, zda chodci vyhlíželi zpoza tramvaje, a nebo sledovali výstražná zařízení byla též potvrzena. Při scénáři s LED páskou 37% lidí sledovalo zařízení. Při scénáři s grafickým panelem polovina lidí sledovala zařízení.

V průběhu analyzování hypotéz jsem zjistila, že chodci změnili chování v 76% případů během jednotlivých pokusů a pouhých 24% nezměnilo své chování oproti referenčnímu scénáři bez zařízení. Zaměřila jsem se na změnu chování při scénářích s výstražnými zařízeními. Zjistila jsem, že docházelo k několika situacím – chodec zůstal na chodníku, chodec vešel do kolejiště, sledoval zařízení a počkal, dokud nepřejela tramvaj v protisměru, nebo chodec vešel do kolejiště a vyklonil se zpoza stojící tramvaje – tuto variantu považuji ze zmiňovaných za nejnebezpečnější. V 65% případů se testovaní zachovali bezpečnějším způsobem, tj. zůstali stát na chodníku, popř. se nevyklonili zpoza stojící tramvaje. Na základě tohoto zjištění jsem

provedla jsem analýzu typů zařízení v těchto případech a zjistila jsem, že na chování chodců typ zařízení neměl výraznější vliv.

V dotazníkovém průzkumu lidé odpověděli, že se při přecházení s výstražnými zařízeními cítili bezpečněji a že pro ně zařízení měla smysl. Více je upozornil systém grafického panelu, protože působil intuitivněji a byl rozměrově výraznější. Naopak lépe si ve městech umí představit LED pásku.

Shrnutím poznatků z experimentu jsem došla k závěru, že by lidé varovný systém velmi ocenili. Potvrzují to dotazníkový průzkum i naměřená data, kde třetina lidí zůstala v bezpečí na chodníku a 65% lidí změnilo své chování bezpečnějším způsobem v průběhu pokusů při testování. Z experimentu nevyplývalo, který varovný systém by měl být použit. Lepší výsledky vykazoval grafický panel, protože působil intuitivněji a byl výraznější. LED páska je jednodušší na aplikaci a lze ji snadněji použít na všechny typy tramvaje. Oba prvky by šlo využít nejen pro tramvaje, ale i pro ostatní vozidla MHD. Předpokládám, že společně s informační kampaní může být LED pásek stejně účinný jako grafický panel. Jakmile by si lidé zvykli na nový typ varování, nebyl by zapotřebí výrazný prvek, ale stačilo by jednoduché vizuální upozornění.

Tato práce upozornila na nedostačující bezpečnost v zadní části tramvaje a může posloužit jako návrh pro nový typ bezpečnostního zařízení v této oblasti. V mé práci jsem navrhla dva vizuální prvky zvyšující bezpečnost, ale ráda bych svůj výzkum zdokonalila navržením akustických varovných zařízení, které by mohly podpořit prvky vizuální.

11 Použité zdroje

- [1] Train History [online]. [cit. 2021-8-6]. Dostupné z: <http://www.trainhistory.net/railway-history/tram/>
- [2] Dopravní nehody v ČR [online]. [cit. 2021-8-6]. Dostupné z: <https://nehody.cdv.cz/statistics.php>
- [3] Pražská integrovaná doprava [online]. [cit. 2021-8-6]. Dostupné z: <https://pid.cz/tramvaje/>
- [4] Dopravní podnik města Brna, a.s. [online]. [cit. 2021-8-6]. Dostupné z: <https://www.dpmb.cz/cs/novinky/all>
- [5] Dopravní podnik Ostrava [online]. [cit. 2021-8-6]. Dostupné z: <https://www.dpo.cz/soubory/jr/schema-tram-dopravy-2021-01-02.pdf>
- [6] Tramvaje [online]. [cit. 2021-8-6]. Dostupné z: <http://tramvaje.net/tramvaje-vyrobene-v-cr/skoda-transportation/skoda-14t>
- [7] Tatra T3 [online]. [cit. 2021-8-6]. Dostupné z: http://tramvaje.net/sites/default/files/tt3_velka.jpg
- [8] Tramvaje [online]. [cit. 2021-8-6]. Dostupné z: <http://tramvaje.net/tramvaje-vyrobene-v-cr/ckd-tatra-praha/tatra-kt8d5>
- [9] Pražský vůz KT8D5 [online]. [cit. 2021-8-6]. Dostupné z: http://tramvaje.net/sites/default/files/tkt8d5_velka.jpg
- [10] Tramvaje [online]. [cit. 2021-8-6]. Dostupné z: <http://tramvaje.net/tramvaje-vyrobene-v-cr/ckd-tatra-praha/tatra-t6a5>
- [11] Tatra T6A5 [online]. [cit. 2021-8-6]. Dostupné z: http://tramvaje.net/sites/default/files/styles/galerie_male/public/tt6a5_velka.jpg?itok=_lqAmsAU
- [12] Tramvaje [online]. [cit. 2021-8-6]. Dostupné z: <http://tramvaje.net/tramvaje-vyrobene-v-cr/skoda-transportation/skoda-14t>
- [13] Škoda [online]. [cit. 2021-8-6]. Dostupné z: <https://www.skoda.cz/reference/tramvaj-forcity-alfa-praha/?from=prod>
- [14] Tramvaj Elektra Praha [online]. [cit. 2021-8-6]. Dostupné z: <https://www.skoda.cz/photo-ct-2411-760-546-.jpg>

- [15] Tramvaje [online]. [cit. 2021-8-6]. Dostupné z: <http://tramvaje.net/tramvaje-vyrobene-v-cr/skoda-transportation/skoda-15t>
- [16] Škoda [online]. [cit. 2021-8-6]. Dostupné z: <https://www.skoda.cz/reference/tramvaj-forcity-alfa-praha/?from=prod>
- [17] Tramvaj ForCity Alfa [online]. [cit. 2021-8-6]. Dostupné z: <https://www.skoda.cz/photo-ct-2410-760-546-.jpg>
- [18] Pražské tramvaje [online]. [cit. 2021-8-6]. Dostupné z: <https://www.prazsketramvaje.cz/view.php?cisloclanku=2010031701>
- [19] Rozchod kolejí [online]. [cit. 2021-8-6]. Dostupné z: <https://www.skoda.cz/photo-ct-2410-760-546-.jpg>
- [20] PROKEŠ, Stanislav. Projektování místních komunikací: komentář k ČSN 73 6110 : komentované příklady řešení. Praha: Český normalizační institut, 2007. Stavebnictví (komunikace, silnice). ISBN 978-80-7283-216-3.
- [21] Prah_6-1-31 [online]. [cit. 2021-8-6]. Dostupné z: https://opendata.iprpraha.cz/CUR/ORT/ORT_MIMOVEGET/S_JTSK/prah_6-1-31.jpg
- [22] Dopravní nehody v ČR [online]. [cit. 2021-8-6]. Dostupné z: <https://nehody.cdv.cz/statistics.php>
- [23] Jdeme na to! [online]. [cit. 2021-8-6]. Dostupné z: http://ridicprazsky.cz/wp-content/uploads/2021/01/IMG_7591-2-1-1024x768.jpg
- [24] ŽelPage [online]. [cit. 2021-8-6]. Dostupné z: <https://www.zelpage.cz/clanky/pojednani-o-styku-kola-a-kolejnice?lang=cs>
- [25] SKUPOVÁ, Bc. Dagmar. Nalýza zpomalování tramvají a vyhodnocení jeho účinku na stojící cetující [online]. Brno, 2012 [cit. 2021-8-6]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=53222. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [26] PUDOVÁ, Bc. Klára. Automatická tvorba provozu ve scénářích pro vozidlové simulátory. Praha, 2019. Diplomová práce. ČVUT. Vedoucí práce Doc. Ing. Stanislav Novotný, Ph.D, Ing. Adam Orlický.
- [27] Srovnání brzdných drah tramvaje a auta [online]. [cit. 2021-8-6]. Dostupné z: https://g.denik.cz/63/f6/infografika_brzdna_draha.jpg

- [28] Hybnost, impulsová věta [online]. [cit. 2021-8-6]. Dostupné z: <http://www.realisticky.cz/ucebnice/02%20Fyzika%20SŠ/01%20Mechanika/02%20Dynamika/17%20Hybnost,%20impulsová%20věta.pdf>
- [29] Kinetika - Zákon zachování hybnosti [online]. [cit. 2021-8-6]. Dostupné z: <https://www.fsps.muni.cz/emuni/data/reader/book-1/23.html>
- [30] HALLIDAY, David, Robert RESNICK a Jearl WALKER. Fyzika: vysokoškolská učebnice obecné fyziky. Brno: VUTIUM, 2000. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 80-214-1869-9.
- [31] Operation and safety of tramways in interaction with public space : Analysis and Outcomes - Detailed Report. Final. COST Association, 2015. ISBN ISBN-978-2-11-139720-0.
- [32] Dublin, tram warning pavement marking, Operation and safety of tramways in interaction with public space : Analysis and Outcomes - Detailed Report. Final. COST Association, 2015. ISBN ISBN-978-2-11-139720-0.
- [33] Brussels, Pantheonlaan and barriers installed, Operation and safety of tramways in interaction with public space : Analysis and Outcomes - Detailed Report. Final. COST Association, 2015. ISBN ISBN-978-2-11-139720-0.
- [34] Metro ve stanici Nádraží Veleslavín [online]. [cit. 2021-8-6]. Dostupné z: <https://zdopravy.cz/wp-content/uploads/2020/05/metroveleslav%C3%ADn.jpg>
- [35] Bilbao, Ribera street, Operation and safety of tramways in interaction with public space : Analysis and Outcomes - Detailed Report. Final. COST Association, 2015. ISBN ISBN-978-2-11-139720-0.
- [36] Bilbao, warning lights, Operation and safety of tramways in interaction with public space : Analysis and Outcomes - Detailed Report. Final. COST Association, 2015. ISBN ISBN-978-2-11-139720-0.
- [37] Google Maps [online]. [cit. 2021-8-6]. Dostupné z: https://www.google.com/maps/@46.1937118,6.1437445,3a,75y,334.27h,73.59t/data=!3m7!1e1!3m5!1sO2DRk3iMEbVDVNnKH4U2Pg!2e0!6shttps:%2F%2Fstreetview.pixels-pa.googleapis.com%2Fv1%2Fthumbnail%3Fpanoid%3DO2DRk3iMEbVDVNnKH4U2Pg%26cb_client%3Dmaps_sv.tactile.gps%26w%3D203%26h%3D100%26yaw%3D144.31804%26pitch%3D0%26thumbfov%3D100!7i13312!8i6656

- [38] Google Maps [online]. [cit. 2021-8-6]. Dostupné z: <https://www.google.com/maps/@46.1938037,6.1436983,3a,75y,313.54h,82.49t/data=!3m6!1e1!3m4!1sgWoe0R4fVelpddGsbiE1dQ!2e0!7i16384!8i8192> ; upraveno
- [39] CHARLTON, Alistair. How should driverless cars communicate with pedestrians? [online] Dostupné z: <https://www.gearbrain.com/driverlesscar-pedestrian-communication-2623192871.html>
- [40] Google [online]. [cit. 2021-8-6]. Dostupné z: <https://assets.rebelmouse.io/eyJhbGciOiJIUzI1NiIsInR5cCI6IkpXVCJ9.eyJpbWFnZSI6Imh0dHBzOi8vYXNzZXRzLnJibC5tcy8xODk5NjExNS9vcmlnaW4ucG5nliwiZXhwXJlc19hdCI6MTY0MDA1NTkxM30.46UBINWojavFe19b70vQmePGQdEt6WSRG7XYHp4StyM/img.png?quality=80&width=760>
- [41] Uber [online]. [cit. 2021-8-6]. Dostupné z: <https://assets.rebelmouse.io/eyJhbGciOiJIUzI1NiIsInR5cCI6IkpXVCJ9.eyJpbWFnZSI6Imh0dHBzOi8vYXNzZXRzLnJibC5tcy8xODk5NjExOS9vcmlnaW4ucG5nliwiZXhwXJlc19hdCI6MTY2MDIzMjE2OH0.0xpRyLG6sZgHMRhBGtvFiETKkXMK9z2hINZKgyYgHbk/img.png?quality=80&width=760>
- [42] Lyft [online]. [cit. 2021-8-6]. Dostupné z: https://assets.rebelmouse.io/eyJhbGciOiJIUzI1NiIsInR5cCI6IkpXVCJ9.eyJpbWFnZSI6Imh0dHBzOi8vYXNzZXRzLnJibC5tcy8xODk5NjEzMS9vcmlnaW4ucG5nliwiZXhwXJlc19hdCI6MTY1NjU4MDQ0NX0.ApMmyn0ssqkH0_F64HY1oZWc_ploKJQsUg-KVIYX6vs/img.png?quality=80&width=760
- [43] VLK, František. *Dynamika motorových vozidel*. 2. vyd. Brno: František Vlk, 2003. ISBN isbn80-239-0024-2.
- [44] ORLICKÝ, Adam. *Problematika komunikace chodců a autonomních vozidel*. 2021. Disertační práce. České vysoké učení technické. Vedoucí práce Doc. Ing. Stanislav Novotný, Ph.D., *WIP*.

12 Seznam obrázků

| | |
|--|----|
| Obrázek 1 Tatra T3 [7]..... | 10 |
| Obrázek 2 Tatra KT8D5 [9]..... | 11 |
| Obrázek 3 Tatra T6A5 [11]..... | 12 |
| Obrázek 4 Škoda 14T [14]..... | 13 |
| Obrázek 5 Škoda 15T [17]..... | 14 |
| Obrázek 6 Rozchod kolejí [19]..... | 15 |
| Obrázek 7 Osová vzdálenost kolejí na zastávce Masarykovo nádraží | 16 |
| Obrázek 8 Průjezdny průřez [20]..... | 17 |
| Obrázek 9 Přímý výhled řidiče [23] | 21 |
| Obrázek 10 Schéma výhledových poměrů řidiče | 22 |
| Obrázek 11 Výhledové poměry chodce zpoza překážky | 22 |
| Obrázek 12 Srovnání brzdných drah tramvaje a osobního automobilu [27]..... | 25 |
| Obrázek 13 Kresba na silnici [32]..... | 28 |
| Obrázek 14 Svislá značka | 29 |
| Obrázek 15 Fyzická zábrana [33]..... | 30 |
| Obrázek 16 Svítící prvky na nástupišti [34] | 30 |
| Obrázek 17 Svítící prvky v Istanbulu 1 | 31 |
| Obrázek 18 Svítící prvky v Istanbulu 2..... | 32 |
| Obrázek 19 Situace zastávky v Bilbao [35] | 33 |
| Obrázek 20 Svítící prvky na zastávce v Bilbao [36]..... | 33 |
| Obrázek 21 Situace křižovatky v Ženevě [37] | 34 |
| Obrázek 22 Varovné zařízení [38]..... | 35 |
| Obrázek 23 Koncept Google [40]..... | 37 |
| Obrázek 24 Koncept Uber [41]..... | 37 |
| Obrázek 25 Koncept Lyft [42]..... | 38 |
| Obrázek 26 Použité obrázky v internetové anketě | 39 |
| Obrázek 27 Obrázek 4 LED diody na tramvaji | 41 |
| Obrázek 28 Světelná maska na tramvaji..... | 42 |
| Obrázek 29 Zobrazování symbolů na karoserii tramvaje..... | 43 |
| Obrázek 30 Zobrazování na skle tramvaje..... | 44 |
| Obrázek 31 Projekce na vozovku..... | 45 |
| Obrázek 32 Směr pohledu pomocí Eye trackeru..... | 47 |
| Obrázek 33 Směr pohledu a pohyb probanda pomocí Eye trackeru | 47 |
| Obrázek 34 Ukázka z prostředí scény | 49 |

| | |
|---|----|
| Obrázek 35 Použité textury pro tvorbu chodníku, tramvajového prostoru a tramvajových kolejí | 50 |
| Obrázek 36 Tramvaj bez výstražného zařízení | 51 |
| Obrázek 37 Tramvaj s LED páskou | 51 |
| Obrázek 38 Tramvaj s výstražným panelem | 52 |
| Obrázek 39 Trigger | 52 |
| Obrázek 40 Pohled probanda při vstupu do simulace | 53 |
| Obrázek 41 Ukázka testování | 59 |

13 Seznam tabulek

| | |
|---|----|
| Tabulka 1 Parametry jednotlivých typů tramvají | 14 |
| Tabulka 2 Koeficienty adheze [43] | 24 |
| Tabulka 3 Vliv jednotlivých typů zařízení na chování chodce | 59 |

14 Seznam grafů

| | |
|--|----|
| Graf 1 Počet nehod ve městech v letech 2010-2019..... | 17 |
| Graf 2 Počet nehod za jednotlivé roky | 18 |
| Graf 3 Srovnání nehod způsobených chodcem vůči všem nehodám v letech 2010-2019 | 19 |
| Graf 4 Srovnání situací všech nehod zaviněných chodcem v letech 2010-2019 | 19 |
| Graf 5 Srovnání situací všech nehod zaviněných chodcem v zastávkách v letech 2010-2019 | 20 |
| Graf 6 Výhledové poměry chodce..... | 23 |
| Graf 7 Oblíbenost jednotlivých znaků na panelu | 40 |
| Graf 8 Rozložení probandů v závislosti na typu scénáře a číslu pokusu | 54 |
| Graf 9 Vzájemné pořadí testovaných scénářů s LED páskou a s panelem | 54 |
| Graf 10 Hypotéza 1: scénář s LED páskou | 55 |
| Graf 11 Hypotéza 1: scénář s panelem..... | 56 |
| Graf 12 Hypotéza 2: scénář s LED páskou | 56 |
| Graf 13 Hypotéza 2: scénář s panelem..... | 57 |
| Graf 14 Průnik hypotézy 1 a hypotézy 2..... | 57 |
| Graf 15 Analýza chování chodců v průběhu pokusů | 58 |
| Graf 16 Dotazníkový průzkum: Otázka 1..... | 60 |
| Graf 17 Dotazníkový průzkum: Otázka 2..... | 60 |
| Graf 18 Dotazníkový průzkum: Otázka 3..... | 61 |
| Graf 19 Dotazníkový průzkum: Otázka 4..... | 61 |
| Graf 20 Dotazníkový průzkum: Otázka 5..... | 62 |