

UNIVERZITA PARDUBICE  
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2019

Bc. Vojtěch Krupař

Univerzita Pardubice

Dopravní fakulta Jana Pernera

Vyhodnocování běžného provozu vozidla MHD při vybraných dopravních  
situacích

Bc. Vojtěch Krupař

Diplomová práce

2019

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Vojtěch Krupař**  
Osobní číslo: **D17376**  
Studijní program: **N3708 Dopravní inženýrství a spoje**  
Studijní obor: **Dopravní prostředky: Silniční vozidla**  
Název tématu: **Vyhodnocování běžného provozu vozidla MHD při vybraných dopravních situacích**  
Zadávací katedra: **Katedra dopravních prostředků a diagnostiky**

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

Cílem práce je navržení metodiky sběru dat pomocí nových komunikačních technologií jako nenákladný způsob získávání dat a současně navržení postupu pro jejich efektivní vyhodnocování. Následně vyhodnocení těchto dat v užším profilu dle příslušných kritérií.

- 1) Úvod.
- 2) Základy analýzy dopravních nehod.
- 3) Metodika měření.
- 4) Výběr a analýza dopravních situací.
- 5) Vyhodnocování dat.
- 6) Závěr.

Rozsah grafických prací: podle pokynů vedoucího práce

Rozsah pracovní zprávy: 50 - 60 stran textu a přílohy

Forma zpracování diplomové práce: tištěná

Seznam odborné literatury:

- [1] RÁBEK, V.: Vybrané postupy analýzy dopravních nehod: (sborník převzatých cizojazyčných publikací) = Ausgewählte Fälle in der Verkehrsunfallrekonstruktion : (Sammelbuch übernommener fremdsprachigen Veröffentlichungen). Olomouc: Vlastimil Rábek, 2009. ISBN 978-80-554-0033-4.
- [2] RÁBEK, V., ed.: Vnímání a rozhodování účastníků silničního provozu - denní doba: (sborník tuzemských a převzatých cizojazyčných publikací) = Menschliche Wahrnehmung und Entscheidungsprozesse in Straßenverkehr - Tageszeit : (Sammelbuch inländischer und übernommener fremdsprachigen Veröffentlichungen). Olomouc: Properus, 2014. ISBN 978-80-904944-2-8.
- [3] RÁBEK, V.: Vnímání a rozhodování účastníků silničního provozu - noční doba: (sborník tuzemských a převzatých cizojazyčných publikací) = Menschliche Wahrnehmung und Entscheidungsprozesse in Straßenverkehr - Nachtzeit : (Sammelbuch inländischer und übernommener fremdsprachigen Veröffentlichungen). Pardubice: Univerzita Pardubice, 2014. ISBN 978-80-7395-816-9.
- [4] BRADÁČ, A.: Soudní inženýrství. Brno: CERM, 1997. ISBN 80-7204-057-X.

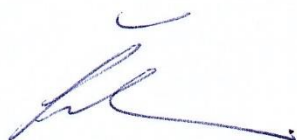
Vedoucí diplomové práce:

**Ing. Zdeněk Mrázek, Ph.D.**

Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

Datum zadání diplomové práce: **15. února 2019**

Termín odevzdání diplomové práce: **20. května 2019**



doc. Ing. Libor Švadlenka, Ph.D.  
děkan

L.S.



Ing. Jakub Vágner, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 15. února 2019

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 9/2012, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

Tato diplomová práce byla realizována s využitím technologií Výukového a výzkumného centra v dopravě.

V Pardubicích dne 20. 5. 2019

Vojtěch Krupař

## **PODĚKOVÁNÍ**

Na tomto místě bych chtěl poděkovat vedoucímu mé diplomové práce Ing. Zdeňku Mrázkovi, Ph.D. za konzultace, pomoc, cenné rady a věcné připomínky. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Janu Pokornému, Ph.D. za provedení a pomoc při porovnávacím měření a také panu Lud'ku Žákovi z DPMP a.s. za umožnění realizace této práce.

V neposlední řadě bych na tomto místě chtěl poděkovat mé rodině a přítelkyni za trpělivost a velkou podporu při mém studiu.

## **ANOTACE**

Cílem práce je navržení metodiky sběru dat pomocí nových komunikačních technologií jako nenákladný způsob získávání dat a současně navržení postupu pro jejich efektivní vyhodnocování. V teoretické části práce jsou popsány způsoby měření hodnot zrychlení, a vlivy působící na řidiče vozidel MHD. V praktické části jsou popsány jednotlivé vybrané dopravní situace a jejich vyhodnocení v souvislosti s naměřenými hodnotami zrychlení.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

autobus, trolejbus, dopravní nehody, měření zrychlení, akcelerometr, dopravní situace

## **TITLE**

Evaluation of the normal operation of the public transport vehicle in selected traffic situations.

## **ANOTATION**

The main goal of this work is to propose methodology of data collection by means of new communication technologies such as inexpensive way of data collecting and to design procedure for their effective assessment at the same time. Methods for measuring acceleration values and influences on the public transport driver are described in the theoretical part. In the practical part you can find individual traffic situations and their results in relation to the measured acceleration values.

## **KEYWORDS**

bus, trolleybus, traffic accidents, acceleration measurement, accelerometer, traffic situations

# OBSAH

<b>SEZNAM ILUSTRACÍ, TABULEK A GRAFŮ .....</b>	<b>10</b>
<b>SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK .....</b>	<b>12</b>
<b>ÚVOD.....</b>	<b>13</b>
<b>1 ZÁKLADY ANALÝZY DOPRAVNÍCH NEHOD .....</b>	<b>14</b>
1.1 Záznamová zařízení .....	15
1.2 Rozjezd vozidla.....	15
1.3 Brzdění vozidla .....	16
1.3.1 Doba potřebná pro brzdění .....	16
1.3.2 Dráha k zastavení vozidla .....	18
<b>2 MĚŘENÍ ZRYCHLENÍ .....</b>	<b>21</b>
2.1 Zrychlení .....	21
2.2 Akcelerometry.....	22
2.2.1 Kapacitní akcelerometry .....	22
2.2.2 Piezoelektrické akcelerometry .....	23
2.2.3 Piezorezistivní akcelerometry.....	24
2.3 Mobilní zařízení a měřicí aplikace.....	24
2.4 Porovnávací měření s akcelerometrem na vozidle.....	26
2.4.1 Porovnávací jízdní zkouška .....	27
2.4.2 Vyhodnocení porovnávacího měření .....	27
2.4.3 Korekce hodnot příčného zrychlení .....	29
2.4.4 Vyhodnocení porovnávacího měření po provedení korekce .....	30
2.4.4.1 Pozvolný rozjezd a brzdění .....	31
2.4.4.2 Prudký rozjezd a brzdění .....	31
2.4.4.3 Příčné zrychlení .....	31
2.5 Měření v běžném provozu na vozidlech MHD .....	32
<b>3 VOZOVÝ PARK DOPRAVNÍHO PODNIKU MĚSTA PARDUBIC A.S. ....</b>	<b>33</b>
3.1 Autobusy .....	34
3.1.1 Karosa B951E .....	34
3.1.2 Renault Citybus 12M, Irisbus Citybus 12M, Irisbus Citelis 12M .....	35
3.1.3 Iveco Crossway LE City 12M .....	36
3.1.4 Iveco Urbanway 12M .....	37
3.2 Trolejbusy .....	38
3.2.1 Škoda 14TrM .....	39



3.2.2	Škoda 21Tr.....	40
3.2.3	Škoda 24Tr.....	41
3.2.4	Škoda 26Tr a 28Tr .....	42
3.2.5	Škoda 30Tr.....	43
<b>4</b>	<b>TECHNIKA JÍZDY S VOZIDLY MHD.....</b>	<b>45</b>
4.1	Správné sezení.....	45
4.2	Hmotnost vozidla .....	46
4.3	Rozměry vozidla .....	46
4.4	Průjezd zatáčkou .....	47
4.5	Odbočování .....	47
4.6	Jízda s autobusem.....	48
4.7	Jízda s trolejbusem .....	49
4.7.1	Jízda po rovině a velmi mírném oblouku.....	49
4.7.2	Jízda v obloucích .....	50
4.7.3	Jízda přes trolejové výhybky .....	52
4.7.4	Jízda přes trolejová křižení a úsekové děliče.....	54
4.7.5	Izolovaná místa a důležitá místa na trati.....	54
4.7.6	Klimatické vlivy .....	55
4.7.7	Jízda s třínápravovým vozidlem .....	56
4.7.8	Jízda mimo trolejové vedení .....	57
<b>5</b>	<b>VÝBĚR A ANALÝZA DOPRAVNÍCH SITUACÍ .....</b>	<b>58</b>
5.1	Zastávky .....	58
5.1.1	Zastávka v jízdním pruhu .....	60
5.1.2	Zastávka se zálivem .....	60
5.2	Provoz řízený semaforem.....	62
5.3	Nebezpečné dopravní situace .....	63
<b>6</b>	<b>VYHODNOCOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH DAT .....</b>	<b>65</b>
6.1	Zastávky .....	65
6.1.1	Výjezd ze zastávky .....	66
6.1.1.1	Maximální hodnota podélného zrychlení .....	67
6.1.1.2	Průměrné podélné zrychlení .....	69
6.1.1.3	Čas potřebný k výjezdu ze zastávky.....	70
6.1.1.4	Rychlost na konci manévru .....	71
6.1.1.5	Maximální příčné zrychlení.....	71
6.1.2	Výjezd ze zastávky se zvýšenou opatrností.....	72

6.1.3	Celkové vyhodnocení výjezdů ze zastávek .....	73
6.2	Provoz řízený semaforem.....	75
6.2.1	Situace 1.....	76
6.2.2	Situace 2.....	78
6.2.3	Situace 3.....	80
6.2.4	Situace 4.....	82
6.2.5	Situace 5.....	84
6.3	Nebezpečné dopravní situace.....	85
6.3.1	Situace 1.....	86
6.3.2	Situace 2.....	87
6.3.3	Situace 3.....	89
6.3.4	Situace 4.....	91
<b>7</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>93</b>
<b>8</b>	<b>POUŽITÁ LITERATURA .....</b>	<b>95</b>
<b>9</b>	<b>PŘÍLOHY .....</b>	<b>97</b>

## SEZNAM ILUSTRACÍ, TABULEK A GRAFŮ

Obrázek 1 - Průběh brzdné síly a zpomalení v procesu brzdění.....	16
Obrázek 2 - Průběh brzdění .....	18
Obrázek 3 - Konstrukce kapacitního akcelerometru.....	23
Obrázek 4 - Piezoelektrický akcelerometr .....	23
Obrázek 5 - Piezorezistivní akcelerometr .....	24
Obrázek 6 - Prostředí aplikace Accelerometer Meter.....	25
Obrázek 7 - Datový výstup aplikace zobrazený v tabulkovém procesoru.....	26
Obrázek 8 - Porovnávací měření – vozidlo .....	27
Obrázek 9 - Zrychlení – souřadný systém na vozidle.....	28
Obrázek 10 - Karosa B951E .....	35
Obrázek 11 - Renault Citybus 12M .....	36
Obrázek 12 - Iveco Crossway LE City 12M.....	37
Obrázek 13 - Iveco Urbanway 12M .....	38
Obrázek 14 - Škoda 14TrM .....	40
Obrázek 15 - Škoda 21Tr.....	41
Obrázek 16 - Škoda 24Tr.....	42
Obrázek 17 - Škoda 26Tr a 28Tr .....	43
Obrázek 18 - Škoda 30Tr.....	44
Obrázek 19 - Vedení v přímém směru.....	50
Obrázek 20 - Oblouková víceúchyťová svorka.....	51
Obrázek 21 - Průjezd obloukem .....	52
Obrázek 22 - Trolejová výhybka .....	53
Obrázek 23 - Úsekový dělič s návěstní deskou .....	54
Obrázek 24 - Poškození vozidla od nástupní hrany zastávky.....	60
Obrázek 25 - Výjezd ze zálivu s vyznačenou trajektorií jízdy .....	61
Obrázek 26 - Nebezpečné dopravní situace – zkracování jízdní dráhy .....	64
Obrázek 27 - Výjezd ze zastávky .....	66
Obrázek 28 - Výjezd ze zastávky se zvýšenou opatrností .....	73
Obrázek 29 - Semafory – průběh situace 1 .....	76
Obrázek 30 - Semafory – průběh situace 2 .....	78
Obrázek 31 - Semafory – průběh situace 3 .....	80
Obrázek 32 - Semafory – průběh situace 4.....	82

Obrázek 33 - Semafory – průběh situace 5 .....	84
Obrázek 34 - Nebezpečné dopravní situace – průběh situace 1 .....	86
Obrázek 35 - Nebezpečné dopravní situace – průběh situace 2 .....	88
Obrázek 36 - Nebezpečné dopravní situace – průběh situace 3 .....	89
Obrázek 37 - Nebezpečné dopravní situace – průběh situace 4 .....	91
Tabulka 1 - Základní údaje mobilního telefonu.....	24
Tabulka 2 - Statistické vyhodnocení – maximální hodnoty podélného zrychlení .....	67
Tabulka 3 - Statistické vyhodnocení – průměrné podélné zrychlení.....	69
Tabulka 4 - Statistické vyhodnocení – čas potřebný k výjezdu ze zastávky .....	70
Tabulka 5 - Statistické vyhodnocení – rychlost na konci manévru .....	71
Tabulka 6 - Statistické vyhodnocení – maximální příčné zrychlení.....	71
Tabulka 7 - Statistické vyhodnocení – výjezd ze zastávky se zvýšenou opatrností.....	73
Tabulka 8 - Hodnoty použité pro teoretické výpočty celkové dráhy pro zastavení .....	75
Graf 1 - Porovnávací měření.....	28
Graf 2 - Příčné zrychlení – sklopná plošina.....	29
Graf 3 - Příčné zrychlení – sklopná plošina (korekce akcelerometru) .....	30
Graf 4 - Průběh podélného zrychlení při rozjezdu ze zastávky .....	67
Graf 5 - Histogram – maximální hodnoty podélného zrychlení .....	68
Graf 6 - Histogram – průměrné podélné zrychlení .....	69
Graf 7 - Histogram – čas potřebný k výjezdu ze zastávky .....	70
Graf 8 - Histogram – maximální příčné zrychlení.....	72
Graf 9 - Průběh podélného zrychlení při rozjezdu ze zastávky se zvýšenou opatrností.....	72
Graf 10 - Semafory situace 1 – průběh zrychlení .....	77
Graf 11 - Semafory situace 2 – průběh zrychlení .....	78
Graf 12 - Semafory situace 3 – průběh zrychlení .....	81
Graf 13 - Semafory situace 4 – průběh zrychlení .....	83
Graf 14 - Semafory situace 5 – průběh zrychlení .....	85
Graf 15 - Nebezpečná dopravní situace 1 – průběh zrychlení.....	87
Graf 16 - Nebezpečná dopravní situace 2 – průběh zrychlení.....	88
Graf 17 - Nebezpečná dopravní situace 3 – průběh zrychlení.....	90
Graf 18 - Nebezpečná dopravní situace 4 – průběh zrychlení.....	92

## SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

DP	–	dopravní podnik
DPMP	–	Dopravní podnik města Pardubic
EHK	–	Evropská hospodářská komise
GPS	–	globální polohový systém
MHD	–	městská hromadná doprava
MU	–	mimořádná událost
OSN	–	Organizace spojených národů
SSZ	–	světelné signalizační zařízení
SU	–	Solaris Urbino
VJŘ	–	vozový jízdni řád
VVCD	–	Výukové a výzkumné centrum v dopravě

## ÚVOD

V posledních letech dochází k podstatnému nárůstu dopravy jak ve městech, tak mimo ně. Velká hustota dopravy v sobě skrývá velké riziko vzniku nebezpečných situací, které mohou snadno vyústit v dopravní nehodu. Komunikace ve městech často nezvládají nápor automobilové a kamionové dopravy, především pak v časech ranní a odpolední dopravní špičky. V kombinaci s neexistujícími obchvaty měst jsou nuceni řidiči projíždět prakticky středy měst, ve kterých se dostávají do kontaktu s dopravou v centru, kde se ve velkém počtu a hustotě pohybují chodci, cyklisté a vozidla městské hromadné dopravy.

Právě na řidiče vozidel určených pro hromadnou přepravu osob jsou kladeny velké požadavky na odolnost proti fyzické a psychické zátěži. Řidiči MHD musí být neustále soustředění, být ve střehu, a hlavně musí předvídat pohyb ostatních účastníků silničního provozu. Reakce a vyhodnocování situací musí řidič provádět i s ohledem na cestující ve vozidle. Cestující, kteří po dobu přepravy stojí mají povinnost se za jízdy držet. Ale ne každý cestující, který se drží, dokáže vyvinout dostatečnou sílu k udržení v případě, že řidič autobusu nebo trolejbusu nečekaně razantněji zabrzdí v reakci na náhlou situaci, která vznikla před vozidlem. Každý pád ve voze je dopravní nehodou, která často vede ke zranění cestujícího. Proto je potřeba, aby řidič co nejvíce předvídal a měl přehled o prostoru kolem vozu. Při jízdě vozidla městské hromadné dopravy se najde mnoho situací, se kterými se řidiči setkávají a na které musí správně reagovat. Zajímavý pohled na jízdu vozidla MHD přináší rozbor jízdní dynamiky vozidla, především pak zrychlení, v reakci na různé dopravní situace a manévry.

Chceme-li měřit velikost dosahovaného zrychlení vozidel, je potřeba zapojení a nastavení poměrně složité měřící aparatury skládající se z akcelerometru se záznamovým zařízením. V současné době, kdy velká většina lidí nosí v kapse doslova malý počítač v podobě „chytrého“ mobilního telefonu, se nabízí otázka, zda je možné toto zařízení využít i k měření a záznamu dat při jízdních zkouškách vozidel. Mobilní telefony jsou v dnešní době vybaveny mnoha snímači a detektory, které pomocí vhodné aplikace lze používat i k jiným účelům, než kvůli kterému byly do zařízení umístěny.

Tato práce se zaměřuje na tento alternativní způsob sběru dat pomocí nových komunikačních technologií jako nenákladný a rychlý způsob získávání těchto dat a na jejich následné vyhodnocení při vybraných dopravních situacích během jízdy vozidla MHD.

# 1 ZÁKLADY ANALÝZY DOPRAVNÍCH NEHOD

Dopravní nehody jsou, bohužel, nedílnou součástí každodenního silničního provozu. Příčiny a následky jednotlivých nehod jsou různé, a právě analýza těchto nehod je předmětem vyšetřování a posuzování na základě dostupných parametrů a informací získaných na místech dopravních nehod.

Paragraf 47 zákona 361/2000 Sb. definuje dopravní nehodu jako: „*událost v provozu na pozemních komunikacích, například havárie nebo srážka, která se stala nebo byla započata na pozemní komunikaci a při níž dojde k usmrcení nebo zranění osoby nebo ke škodě na majetku v přímé souvislosti s provozem vozidla v pohybu.*“ [1]

Mezi prvky dopravní nehody patří:

- vozidlo – konstrukční a pohybové parametry, ...,
- člověk – reakce, jednání, rozhodování, psychologie, ...,
- okolí, prostředí – vozovka a její stav, adheze, viditelnost, ...,
- pravidla – zákon o provozu na pozemních komunikacích, ...

Důležité jsou veškeré informace o dopravní nehodě:

- trasologické – brzdné, blokovací, smykové, dřecí, rycí stopy, rozstřík provozních kapalin, ...,
- na vozidle – deformace, stopy otěru, stopy posádky, úlomky, ...,
- na osobách – zranění, stopy oděru, ...,
- paměťové stopy – výpovědi, ...,
- záznamová zařízení – kamerové záznamy, černá skříňka.

Všechny tyto informace jsou velice důležité a slouží jako vstupní údaje pro výpočetní programy určené k analýze dopravních nehod. Pomocí těchto počítačových programů jako je například PC-Crash nebo Virtual CRASH, lze posuzovat na základě různých vstupních hodnot velké množství variant průběhů nehodového děje. Grafický výstup těchto analýz umožňuje názorně porovnat průběh nehody se zjištěnými skutečnostmi na místě dopravní nehody (stopy a konečné postavení vozidel po nehodě). [2]

## 1.1 Záznamová zařízení

Při analýzách dopravních nehod jsou velkými pomocníky palubní kamery nahrávající situaci před vozidlem, případně i za vozem, a které současně umožňují zaznamenávat rychlost pomocí GPS. V základní výbavě osobních vozidel se nenachází žádné záznamové zařízení, ze kterého by bylo možné vyčíst hodnoty rychlosti nebo zrychlení, případně stav ostatních ovládacích prvků vozidla. Vozidla s hmotností nad 3,5 tuny jsou povinně vybaveny záznamovým zařízením neboli tachografem. Tachografy jsou instalovány do nákladních vozidel a autobusů. Kromě pracovní činnosti řidiče jako je jízda nebo přestávka v řízení zaznamenává také rychlost jízdy. Tuto informaci lze potom využít ke zjištění rychlosti v případě nehody.

Drážní vozidla, pohybující se v silniční dopravě, stejně jako v železniční dopravě, musí být vybavena registračním rychloměrem. Registrační rychloměr musí zaznamenávat informace o dráze a rychlosti vozidla, počátku a konci brzdění, druhu použité brzdy, použití směrovek a použití výstražného signálu. [3] V drážní dopravě se vyskytuje termín mimořádná událost. Touto mimořádnou událostí (MU) se rozumí závažná nehoda, nehoda nebo ohrožení v drážní dopravě. Při vzniku MU např. trolejbusu, kdy dojde ke střetu s jiným trolejbusem, nebo s vozidlem jiného účastníka silničního provozu, popř. s pevnou překážkou, při které lze předpokládat, že došlo ke škodě na majetku nebo k újmě na zdraví účastníků MU, je povinností ponechat vozidla v konečném postavení až do vyšetření MU. Účastníci MU mohou vozidla odklidit až po souhlasu od inspektora Drážní inspekce. [4]

Jako podklady pro analýzu dopravní nehody slouží informace o dopravní nehodě zpracovaných Policií České republiky. Mezi tyto informace patří protokol o nehodě, plánek místa nehody, fotodokumentace, výpovědi účastníků nehody a svědků. S výhodou lze také využít informace právě ze záznamových zařízení vozidel. Pro určení střetové rychlosti a předstřetového pohybu se v analýze dopravních nehod používá jednoduchých fyzikálních vztahů. [2]

## 1.2 Rozjezd vozidla

Při analýzách dopravních nehod, které se zabývají rozjezdem vozidla, se používá základních fyzikálních vztahů. Těmito výpočty lze na základě známé hodnoty zrychlení a času



potřebného k rozjezdu vozidla stanovit dráhu, jakou vozidlo při rozjezdu ujede a také rychlost, kterou na konci této dráhy vozidlo dosáhne.

$$s_A = \frac{1}{2} \cdot a_A \cdot t_A^2 \quad (1)$$

$$v_A = a_A \cdot t_A \quad (2)$$

kde  $s_A$  – dráha ujetá při rozjezdu [m]

$a_A$  – hodnota zrychlení při rozjezdu [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ ]

$t_A$  – čas rozjezdu [s]

$v_A$  – dosažená rychlost na konci dráhy  $s_A$  [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ]

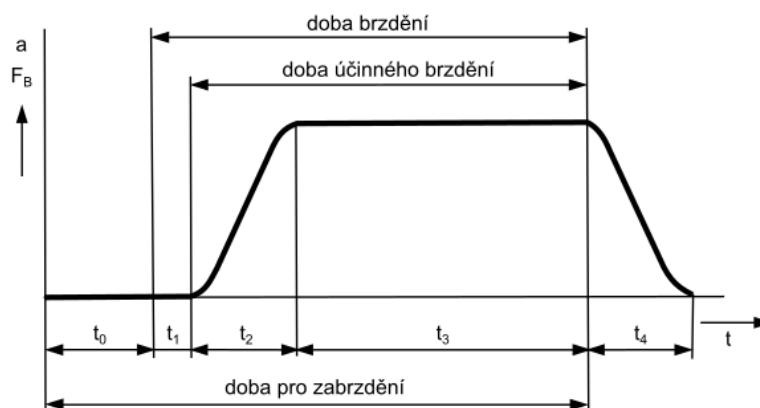
Tyto vztahy se využívají například při vyhodnocování situace nedání přednosti v jízdě, kdy se zjišťuje průběh předehodového děje a možné míry zavinění nehody jednotlivých účastníků.

### 1.3 Brzdění vozidla

Při brzdění vozidlo snižuje svou rychlost na určité dráze. Během brzdění se pohybová energie vozidla přeměňuje třením, případně jiným způsobem, na tepelnou energii vyjádřenou prací konanou brzdými silami na určité dráze, kterou je dráha brzdění.

#### 1.3.1 Doba potřebná pro brzdění

Při zanedbání odporu vzduchu, odporu valení a předpokladu jízdy po rovině má průběh brzdné síly nebo zrychlení v závislosti na čase tvar znázorněný na obrázku 1.



Obrázek 1 - Průběh brzdné síly a zpomalení v procesu brzdění [5]

Čas  $t_0$  je reakční doba řidiče. Jedná se o dobu od okamžiku, kdy řidič zaregistruje podmět k brzdění, do okamžiku, kdy začne řidič působit silou na brzdový pedál. Tato doba se skládá ze tří částí: a) optická reakce – registrace podmětu, rozpoznání nebezpečí,

b) psychická reakce – od optického zafixování objektu po počátek svalové reakce,

c) svalová reakce – fyzický pohyb k provedení úkonu (předání nohy z pedálu na pedál).

V případě, že objekt, na který řidič reaguje, je přímo viditelný bez nutnosti změny pohledu, je možné dobu optické reakce brát jako nulovou. Reakční doba se pohybuje v rozmezí 0,3 – 1,8 s. Běžná reakční doba řidiče se pohybuje okolo 1 sekundy. [5, 6]

Na reakční dobu má dopad mnoho vlivů:

- věk řidiče,
- psychický a zdravotní stav,
- únava,
- oslnění,
- dopravní situace,
- meteorologické podmínky,
- alkohol a drogy, ...

Čas  $t_1$  je doba prodlevy brzd. Jde o dobu od okamžiku, kdy začne řidič působit na brzdový pedál, do doby dotyku brzdových ploch. Doba prodlevy brzd je různá pro kapalinové a vzduchové brzdy. Pro kapalinové se uvažuje doba  $t_1 = 0,05 - 0,1$  s, a pro vzduchové brzdy je doba prodlevy brzd  $t_1 = 0,2 - 0,5$  s. [5]

Čas  $t_2$  je doba náběhu brzd. Počítá se od doby dotyku brzdových ploch po počátek plného požadovaného brzdného účinku. Pro kapalinové brzdy je doba  $t_2 = 0,1 - 0,3$  s, a pro vzduchové brzdy  $t_2 = 0,5 - 1$  s. [5]

Čas  $t_3$  je doba plného brzdění od chvíle, kdy brzdy dosáhnou požadovaného účinku, až do chvíle, kdy po uvolnění brzdového pedálu začne brzdový účinek klesat. V případě brzdění až do zastavení trvá tato doba až do uvedení vozidla do klidu. [5]

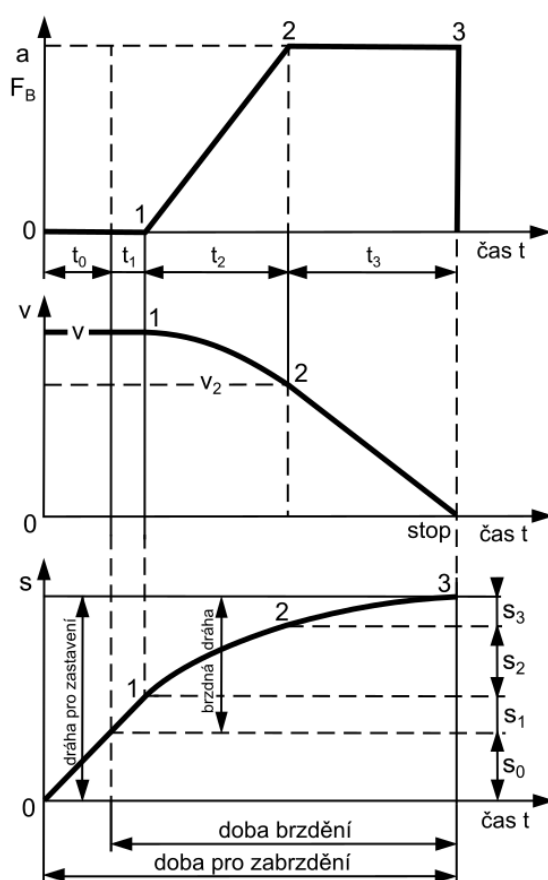
Čas  $t_4$  je doba doběhu brzdění. Jedná se o dobu, kdy brzdná síla a hodnota zrychlení poklesne na nulovou hodnotu.

Celková doba pro zabrzdění je pak dána vztahem:

$$t_B = t_0 + t_1 + t_2 + t_3 \quad (3)$$

### 1.3.2 Dráha k zastavení vozidla

Dráha k zastavení vozidla se skládá z několika částí, které odpovídají jednotlivým dobám při brzdění vozidla. Pro výpočet dráhy k zastavení se uvažuje s časy  $t_0$ – $t_3$ . Celková dráha k zastavení vozidla se pak vypočítá jako součet úseků těchto dob.



Obrázek 2 - Průběh brzdění [5]

a) Dráha ujetá během reakční doby řidiče.

V časových úsecích  $t_0$  a  $t_1$  jede vozidlo konstantní rychlostí  $v = konst.$  a proto  $|a_{01}| = 0$ .

Pro tento úsek platí:

$$v_{01} = v$$

$$s_0 + s_1 = v \cdot (t_0 + t_1) \quad (4)$$

b) Dráha ujetá během náběhu brzd.

V době náběhu brzd  $t_2$  je zrychlení, resp. zpomalení, vozidla:

$$|a_{12}| = \frac{|a|}{t_2} \cdot t \quad (5)$$

rychlost jízdy bude klesat:

$$v_{12} = v - \int |a_{12}| \cdot dt = v - \frac{|a|}{2 \cdot t_2} \cdot t^2 \quad (6)$$

dráha ujetá během doby náběhu brzd je tedy:

$$s_2 = \int_0^{t_2} v_{12} \cdot dt = v \cdot t_2 - \frac{|a|}{6} \cdot t_2^2 \quad (7)$$

c) Dráha ujetá během plného brzdění.

Zpomalení má konstantní hodnotu a rychlost pohybu vozidla při tom klesá:

$$v_{23} = v_2 - |a| \cdot \int dt = v_2 - |a| \cdot t \quad (8)$$

kde  $v_2$  je rychlost na počátku plného brzdění, a vypočítá se z rovnice (6) pro čas  $t = t_2$ :

$$v_2 = v - \frac{|a|}{2} \cdot t_2 \quad (9)$$

doba plného brzdění, při které klesne rychlost jízdy na nulu, vyplývá z rovnice (8) pro  $v_{23} = 0$ ;  $t = t_3$ :

$$t_3 = \frac{v_2}{|a|} = \frac{v}{|a|} - \frac{t_2}{2} \quad (10)$$

ujetá dráha během tohoto úseku je:

$$\begin{aligned} s_3 &= \int_0^{t_3} v_{23} \cdot dt = v_2 \cdot t_3 - \frac{|a|}{2} \cdot t_3^2 = \frac{v_2^2}{2 \cdot |a|} = \\ &= \frac{1}{2 \cdot |a|} \cdot \left( v^2 - v \cdot |a| \cdot t_2 + \frac{|a|^2 \cdot t_2^2}{4} \right) \end{aligned} \quad (11)$$

celková dráha do zastavení vozidla se určí jako:

$$\begin{aligned} s_B &= s_0 + s_1 + s_2 + s_3 = \\ &= v \cdot \left( t_0 + t_1 + \frac{t_2}{2} \right) + \frac{v^2}{2 \cdot |a|} - \frac{|a|}{24} \cdot t_2^2 \end{aligned} \quad (12)$$

kde poslední člen rovnice má zanedbatelnou hodnotu, tedy:

$$s_B = v \cdot \left( t_0 + t_1 + \frac{t_2}{2} \right) + \frac{v^2}{2 \cdot |a|} \quad (13)$$

Brzdná dráha je dráha, kterou vozidlo ujede od chvíle kdy řidič začne působit na brzdový pedál do zastavení vozidla. Nezahrnuje tedy reakční dobu řidiče a vypočítá se podle vztahu:

$$s_B = v \cdot \left( t_1 + \frac{t_2}{2} \right) + \frac{v^2}{2 \cdot |a|} \quad (14)$$

## 2 MĚŘENÍ ZRYCHLENÍ

Mobilní telefony jsou dnes vybaveny velkým množstvím snímačů, které je možné pomocí vhodných programů využívat pro různé účely. V kombinaci s vhodnými softwary nabízí mobilní zařízení zajímavý způsob získávání velkého množství dat pomocí mnohem jednoduššího a cenově přijatelného řešení. Jedním z cílů této práce je zjištění, zda je možné využívat těchto zařízení ke sběru dat a následné analýze. Výbava smartphonů, neboli chytrých telefonů, prošla během posledního desetiletí velkým vývojem. Telefony dostávají sofistikovanější výbavu a spousty senzorů, které se výrobci snaží využívat nejrůznějšími způsoby, ať už v oblasti zabezpečení, nebo aby výbava nového modelu telefonu zaujala nové zákazníky.

Tato práce je zaměřena na měření podélného a příčného zrychlení. Chytré telefony, ale také počítačové tablety, mají ve výbavě jako jeden ze snímačů akcelerometr. Akcelerometr je v těchto zařízeních umístěn z důvodů zjišťování polohy zařízení. To je pro výrobce mobilních zařízení důležité. Může tak zajistit, aby se obrazovka zařízení samočinně natočila v závislosti podle toho, v jakém směru nebo v jaké poloze uživatel dané zařízení drží. Pomocí akcelerometru je tak možné zjistit, zda je zařízení drženo na výšku nebo na šířku, případně zda leží displejem nahoru nebo dolů. Akcelerometr používají také výrobci herních aplikací, kdy naklápění mobilního zařízení umožňuje hráči ovládat směr i rychlost vozidla u závodních her, případně může být využit u her zaměřených na postřeh a zručnost hráče.

Zajímavější je ovšem možnost pokusit se pomocí akcelerometru v mobilním zařízení a vhodné aplikace měřit hodnoty zrychlení, které se dosahují při jízdě vozidla v běžném provozu, v tomto konkrétním případě vozidla MHD. V provozu s cestujícími není možné vozit ve vozidle rozměrnou měřicí aparaturu s komplikovaným kabelovým propojením jednotlivých měřících zařízení a měřících ústředen. Zde je jistá výhoda právě mobilního zařízení, které je velice skladné, nezabírá mnoho místa a umožňuje velmi rychlé zprovoznění a prakticky okamžité měření.

### 2.1 Zrychlení

Zrychlení je pohyb, který udává změnu rychlosti tělesa nebo hmotného bodu v čase. Jednotkou zrychlení je  $m \cdot s^{-2}$ . Pro zrychlení se také běžně používá jednotka  $g$ , vztažená k tíhovému zrychlení. Rozlišujeme zrychlení okamžité a průměrné. Okamžité zrychlení  $a$  se

vypočítá jako první derivace rychlosti podle času. Průměrné zrychlení  $a_p$  jako změna rychlosti  $\Delta v$  v časovém intervalu  $\Delta t$ .

$$a = \frac{dv}{dt} \quad (15)$$

$$a_p = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (16)$$

Zrychlení u vozidel uvažujeme dle souřadného systému vozidla ve třech hlavních osách – podélné ( $x$ ), příčné ( $y$ ) a svislé ( $z$ ). V podélném směru osy  $x$  zjišťujeme u vozidla zrychlení a zpomalení, v příčné ose  $y$  potom boční zrychlení vozidla a v ose  $z$  svislou dynamiku vozidla, jako je kmitání a vertikální zrychlení mezi odpruženou a neodpruženou hmotou. [7]

## 2.2 Akcelerometry

Akcelerometr je snímač, který snímá jak statické (sílu působením gravitace), tak dynamické (sílu vzniklou změnou rychlosti pohybujícího se senzoru) zrychlení. Je možné ho používat i k měření setrvačných a odstředivých sil, k určování polohy, naklonění, a vibrací. Akcelerometry pracují na různých fyzikálních principech. Používají se například piezoelektrické akcelerometry, které využívají piezoelektrický jev, piezorezistivní akcelerometry, kde zrychlení odpovídá změně odporu, a kapacitní akcelerometry, využívající změny kapacity elektrod. [8]

### 2.2.1 Kapacitní akcelerometry

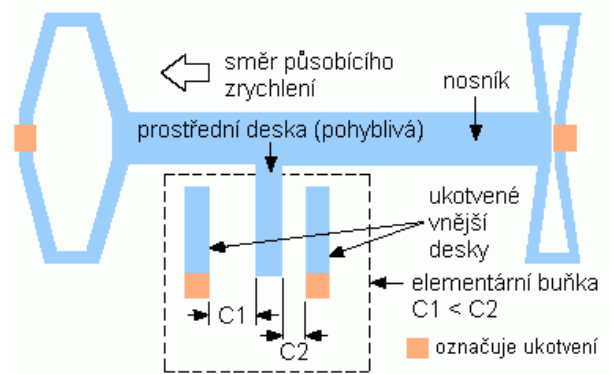
„V současné době je tento princip u akcelerometrů nejrozšířenější. Je založen na funkci deskového kondenzátoru. Kde velikost kapacity  $C$  závisí na ploše desek kondenzátoru  $S$ , vzdálenosti mezi nimi  $d$  a permitivitě dielektrika  $\varepsilon$  ( $\varepsilon_0$ ,  $\varepsilon_r$ ).“ [9 s. 9,10]

$$C = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot \frac{S}{d} \quad (17)$$

„Vyrábí se technologií MEMS, z toho vyplývá, že samotný integrovaný senzor je vlastně povrchová mikromechanická polykřemíková struktura (nosník, pružiny, pevné úchyty) "plovoucí" na povrchu křemíkového monokrystalu. Křemíkové pružiny umožňují pohyb celé

mechanické struktury po povrchu monokrystalu a zároveň poskytují mechanický odpor síle vzniklé zrychlením.“ [10 s. 20]

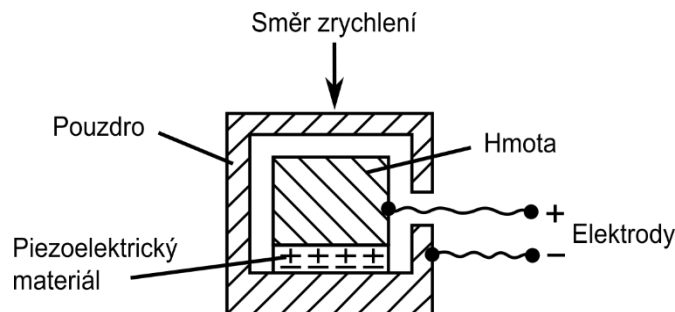
Aby bylo možné používat akcelerometry ve více směrech, vyrábějí se takzvané víceosé snímače, a to dvouosé nebo tříosé. U smartphonů se používají především 3D akcelerometry, tedy tříosé, aby bylo možné kontrolovat polohu zařízení ve všech směrech.



Obrázek 3 - Konstrukce kapacitního akcelerometru [9]

### 2.2.2 Piezoelektrické akcelerometry

U těchto akcelerometrů se využívá piezoelektrického jevu. Zrychlení působí na seismickou hmotu, která je připevněna na piezoelektrickém materiálu. Pohybem seismické hmoty se mechanicky deformuje piezokrystal a tím vzniká náboj. Tento náboj je poté odváděn pomocí elektrod, kterými je snímač vybaven. Výhodou tohoto řešení je možnost měření velkých zrychlení. Nevýhoda této konstrukce je, že snímač nelze použít pro měření menších frekvencí než 0,1 Hz, tedy pro měření statického (konstantního) zrychlení. Schéma principu piezoelektrického snímače je na obrázku 4. [10]

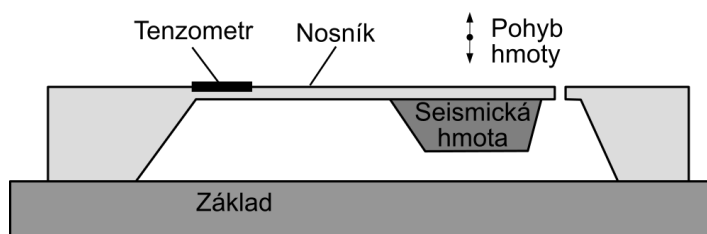


Obrázek 4 - Piezoelektrický akcelerometr [11]



### 2.2.3 Piezorezistivní akcelerometry

„Tento typ akcelerometru pracuje na základě pohybující se seismické hmoty na volném konci vetknutého nosníku. Pohyb hmoty je přes nosník přenášen do místa vetknutí, na kterém je umístěn tenzometr. Dochází tak ke zkracování nebo prodlužování odp. dráhy, což má za následek ohmickou změnu odporu. Tato změna odpovídá výchylce seismické hmoty. Vyhodnocování se provádí pomocí můstkového zapojení, kdy do něj s výhodou můžeme zapojit dva tenzometry, jeden z nich se stlačuje a druhý roztahuje. Sníží se tak vliv teploty a díky můstku využíváme čtyřvodičové zapojení, čímž snížíme vliv odporu u přírodních vodičů. Piezorezistivní akcelerometry dokážou měřit i neměnné zrychlení tzn., frekvenci změn od 0 Hz.“ [9 s. 8]



Obrázek 5 - Piezorezistivní akcelerometr [9]

### 2.3 Mobilní zařízení a měřicí aplikace

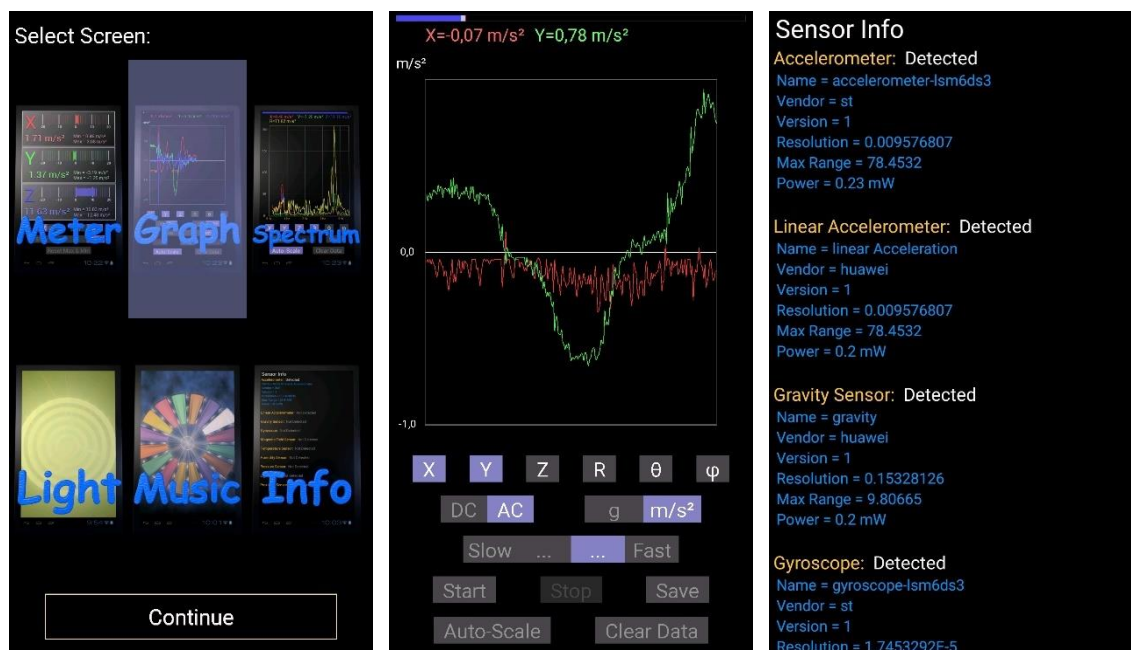
Pro měření v rámci této diplomové práce byl použit sériově vyráběný mobilní telefon a zdarma veřejně dostupná aplikace pro měření zrychlení využívající vestavěný akcelerometr mobilního telefonu. Jako zařízení pro praktické měření byl použit „chytrý“ mobilní telefon značky Honor. Základní specifikace mobilního telefonu včetně verze softwaru je uvedena v tabulce 1.

Tabulka 1 - Základní údaje mobilního telefonu

Značka telefonu	Honor 9
Model	STF-L09
Číslo sestavení	STF-L09 8.0.0.385(C432)
Operační systém	Android
Verze systému	8.0.0
Verze EMUI	8.0.0
Procesor	Hisilicon Kirin 960
Operační paměť	4,0 GB

Tento telefon je vybaven snímačem otisků prstů, senzorem přiblížení, senzorem intenzity okolního osvětlení, gyroskopem a také akcelerometrem. Primární účel, pro který jsou v mobilních zařízeních používány akcelerometry byl uveden v úvodu této kapitoly. Aby bylo možné akcelerometr využívat i pro účely měření a záznamu dat, bylo zapotřebí použít vhodnou aplikaci. Bylo potřeba nalézt takovou aplikaci, která dokáže měřená data ukládat ve vhodném formátu a zaznamenávat jejich změnu v dostatečně krátkém časovém intervalu.

V nákupní aplikaci operačního systému Android byla vybrána volně dostupná aplikace Accelerometer Meter od vývojáře keuwlsoft. Aplikace byla naposledy aktualizována v roce 2015 do verze 1.32. Aplikace je uživatelsky jednoduchá a snadno ovladatelná. Nabízí několik pracovních režimů. Základní tři režimy jsou Meter, Graph a Spectrum. První režim Meter umožňuje zaznamenat minimální a maximální hodnoty zrychlení, režim Graph umožňuje vykreslovat výstup z akcelerometru v závislosti na čase a vykreslovaná data ukládat do paměti telefonu. Režim Spectrum umožňuje zobrazovat frekvenční spektrum dat akcelerometru. Aplikace také umožňuje zobrazit informace o senzorech mobilního telefonu, například o výrobci, verzi, rozlišení a rozsahu. Následující obrázek 6 ukazuje prostředí aplikace. [12]



Obrázek 6 - Prostedí aplikace Accelerometer Meter

Při měření bylo používáno výhradně režimu Graph. Ten kromě zobrazování aktuálně dosahovaného zrychlení na displeji umožňuje naměřená data uložit k pozdějšímu vyhodnocení. Aplikace zaznamenávaná data ukládá do textového souboru s koncovkou .txt. Aplikace umožňuje zaznamenávat ve čtyřech různých rychlostech. Pro praktické měření v rámci této

práce byla používána třetí rychlost sběru dat s přírůstkem po 0,02 s. Aplikace má i jisté nevýhody. Na používaném mobilním telefonu docházelo k tzv. „zamrznutí“ aplikace při určitém postupu ovládání, nicméně při akceptování této skutečnosti lze s aplikací normálně pracovat pro potřeby měření. Další výraznou nevýhodou je možnost záznamu v délce pouhých 400 s, což odpovídá 20 000 řádků textového souboru zaznamenaných dat. Nicméně aplikace nahrává i přes tento uvedený časový rozsah a umožňuje zpětného odečtu dat od doby zastavení záznamu zpět o 400 s. To je naopak výhodnější pro účel měření v této práci, kdy lze ukládat pouze konkrétní krátký časový úsek z dlouhého záznamu měření v provozu, který není pro nás podstatný, nebo důležitý.

	A	B	C	D	E	F	G
1							
2	Keuwl Accelerometer Data File						
3	2019-03-19 07-04-40						
4							
5	Time (s)	X (m/s <sup>2</sup> )	Y (m/s <sup>2</sup> )	Z (m/s <sup>2</sup> )	R (m/s <sup>2</sup> )	Theta (deg)	Phi (deg)
6	0	0,230466	0,122841	0,120669	0,09175	-2,298407	-115,055
7	0,0200217	0,24962	0,170725	0,063209	0,035529	-2,007727	-111,0801
8	0,0400128	0,335811	0,113265	0,072785	0,045927	-1,844318	-131,14
9	0,060004	0,402849	0,113265	0,053632	0,028774	-1,49557	-136,5896
10	0,0800256	0,441156	0,141995	0,072785	0,049744	-1,226546	-135,2257
11	0,1000168	0,48904	0,084534	0,024901	0,002897	-1,078655	-144,9693
12	0,1200079	0,565655	0,094111	0,005748	-0,012589	-0,627841	-146,4406
13	0,1400296	0,584808	0,113265	-0,051713	-0,06871	-0,471095	-144,9923
14	0,1600207	0,632692	0,074957	-0,032559	-0,047502	-0,260007	-150,1013

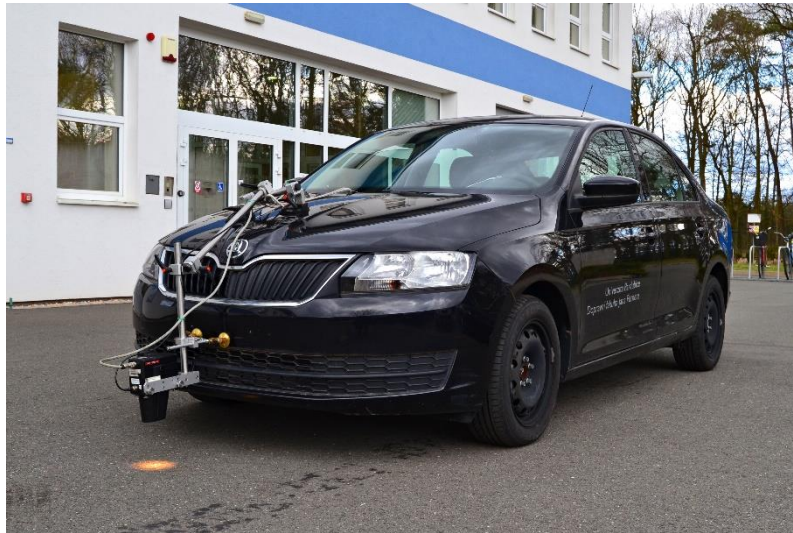
Obrázek 7 - Datový výstup aplikace zobrazený v tabulkovém procesoru

## 2.4 Porovnávací měření s akcelerometrem na vozidle

Po výběru aplikace bylo nutné provést srovnávací měření s měřícím zařízením používaným pro záznam jízdní dynamiky, kterým disponuje Výukové a výzkumné centrum v dopravě (VVCD) Dopravní fakulty Jana Pernera v Pardubicích. Porovnávací měření bylo provedeno na školním testovacím vozidle Škoda Rapid 1.2 TSI (63 kW) na účelových komunikacích areálu VVCD. Při zkušebním porovnávacím měření byla snímána rychlost, podélné a příčné zrychlení. Jako snímač pro měření rychlosti byl použit snímač Correvit S-CE s gyroskopem od výrobce Corrsys-Datron. K měření podélného a příčného zrychlení byl použit tříosý snímač zrychlení iMEMS typu ADXL311. Pro sběr a záznam dat z jednotlivých snímačů byly použity měřicí ústředny Cronos a Cansas výrobce imc. Tyto ústředny spolu vzájemně komunikují pomocí sběrnice CAN. Měřicí ústředny společně s přídatným akumulátorem pro jejich napájení byly umístěny v zavazadlovém prostoru vozidla. [13]

### 2.4.1 Porovnávací jízdní zkouška

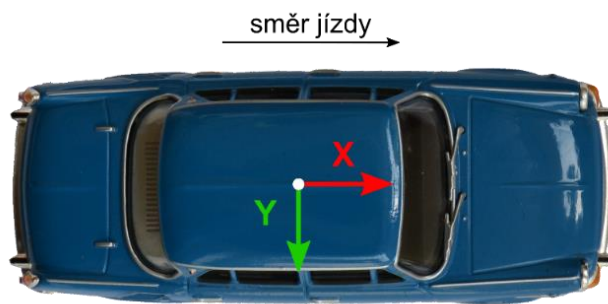
Po upevnění akcelerometru a mobilního telefonu do vzájemné blízkosti a nastavení měřicí aparatury akcelerometru mohlo dojít k jízdním zkouškám. Akcelerometr a mobilní telefon byly umístěny ve středové loketní opěrce mezi předními sedadly. Provedlo se celkem 15 měření. Při prvním měření se zkušel pozvolný rozjezd vozidla a další tři byly zaměřeny na jízdu rychlostí maximálně 30–35 km/h a se zatáčením. Aby se porovnaly i hodnoty při ostřejší jízdě, provedla se série 10 měření s prudkým rozjezdem na rychlost přibližně 45 km/h s krátkým udržením této rychlosti a následným prudkým brzděním až do zastavení vozidla. Aby se ověřila i práce akcelerometru v příčném směru bylo poslední měření zaměřeno na jízdu s různými poloměry zatáček a rychlostmi průjezdu těchto zatáček.



Obrázek 8 - Porovnávací měření – vozidlo

### 2.4.2 Vyhodnocení porovnávacího měření

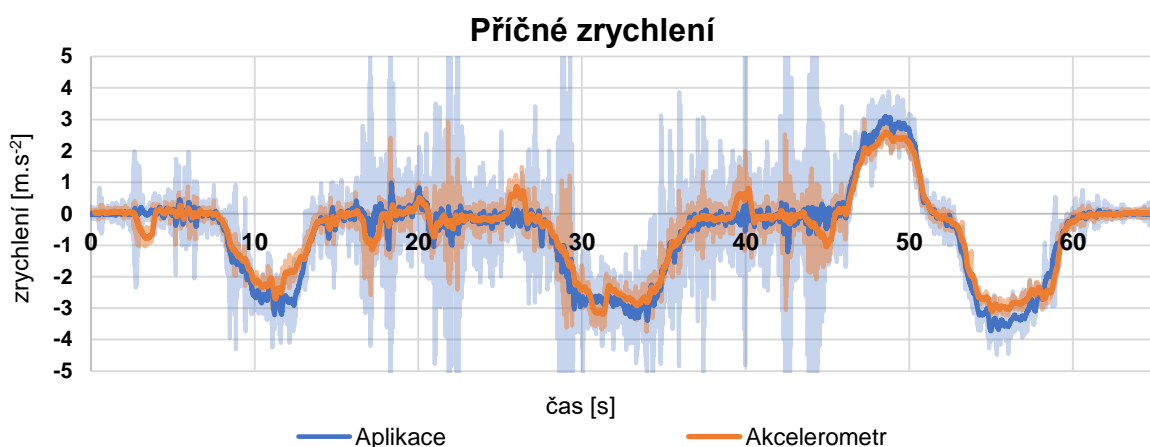
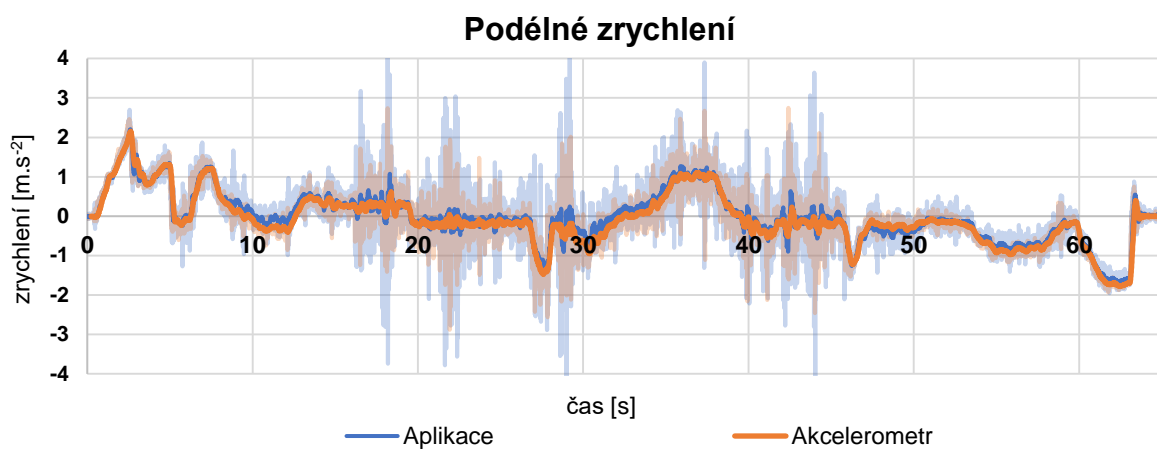
Pro zpracování naměřených hodnot byl použit tabulkový procesor Microsoft Office 2016. Po načtení dat do programu a provedení nezbytných úprav byla naměřená data zobrazena ve formě grafů. Z důvodů rozdílného souřadného systému měřících zařízení byl zvolen jednotný souřadný systém použitý při vyhodnocování porovnávacího měření, ale i v rámci celé této práce. Na obrázku 9 je uveden tento souřadný systém s kladnými směry jednotlivých os. Při akceleraci je hodnota zrychlení kladná, při brzdění je záporná. Pokud vozidlo zatáčí doprava má hodnota zrychlení kladný smysl, pokud zatáčí vlevo, je hodnota zrychlení záporná.



Obrázek 9 - Zrychlení – souřadný systém na vozidle

Křivky naměřených zrychlení zobrazených v grafu se následně vyhladily pomocí spojnice trendů. Jako spojnice trendů byl použitý klouzavý průměr s různými periodami tak, aby došlo k vyhlazení křivky se zachováním změn v hodnotách zrychlení. Poté byly odečteny a porovnány jednotlivé maximální hodnoty pro zrychlení při měření pomocí akcelerometru a mobilní aplikace. Na následujících grafech je porovnání jednoho takového měření zrychlení v podélném a příčném směru. Názorně je vidět, v jaké míře se naměřená data jednotlivých záznamových zařízení shodují.

Graf 1 - Porovnávací měření

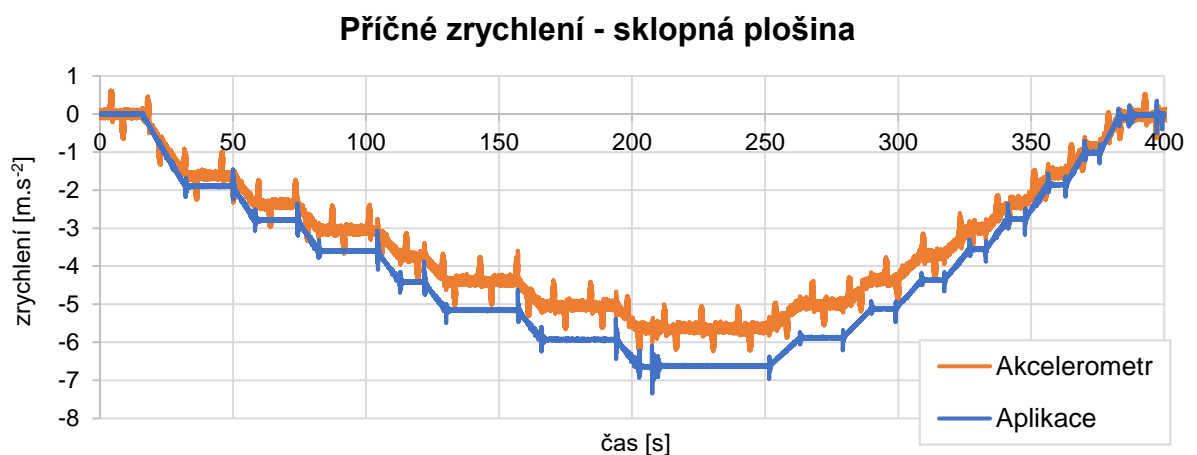


Hodnoty a průběhy zrychlení v podélném směru vyšly totožné při porovnání obou akcelerometrů. U příčného zrychlení se ale maximální dosahované hodnoty lišily, a to až o  $0,5 \text{ m/s}^2$ . Z tohoto důvodu bylo potřeba provést srovnávací měření naklopením akcelerometrů pod různými úhly a stanovit tak korekční veličinu pro vyhodnocení naměřených dat z jízdní zkoušky.

### 2.4.3 Korekce hodnot příčného zrychlení

Měření proběhlo na sklopné plošině nacházející se ve VVCD Univerzity Pardubice. Po upevnění měřících zařízení ve vozidle následovalo postupné naklápění vozidla. Naklápění bylo vždy zastaveno po dosažení určitých úhlů naklopení a po krátké prodlevě sloužící k ustálení měřících přístrojů se pokračovalo s naklápěním vozidla. První hodnota úhlu naklopení vozidla byla  $10^\circ$ . Poté se zvyšoval náklon vždy po  $5^\circ$  až do úhlu  $40^\circ$ . Po krátkém ustálení byla hodnota naklopení snižována o  $5^\circ$  až do nuly. Naměřená data z tohoto měření znázorňuje graf 2.

Graf 2 - Příčné zrychlení – sklopná plošina



V grafu 2 je názorně vidět rozdíl příčného zrychlení mezi mobilním telefonem a akcelerometrem. Aby se zjistilo, které hodnoty jsou správné, provedlo se ještě porovnávací měření na desce pomocí úhlooměru. Na desce se zjišťovaly hodnoty zrychlení pro úhly  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$  a  $90^\circ$ . Nejjednodušší ověření správnosti je při úhlu  $90^\circ$ , kdy hodnota zrychlení musí odpovídat hodnotě gravitačního zrychlení  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ .

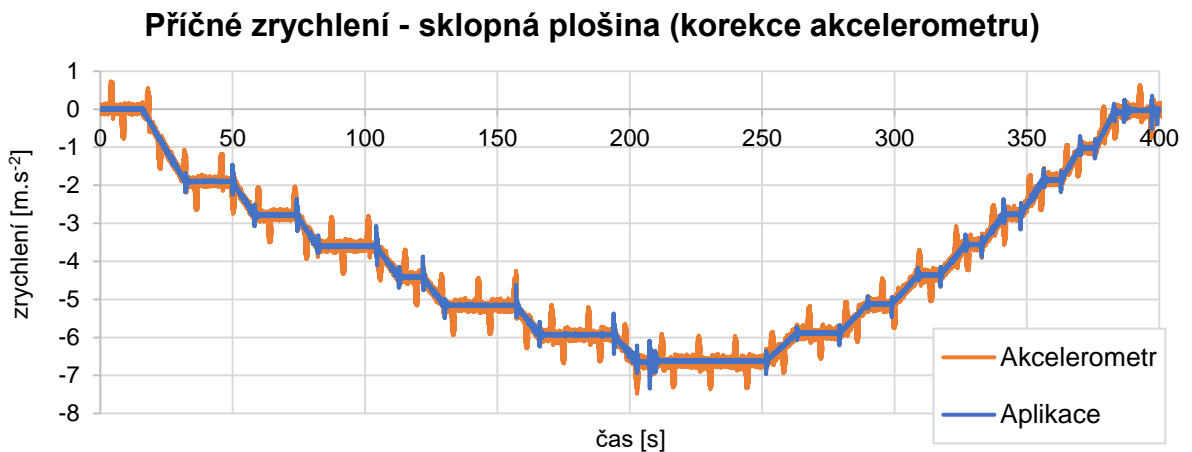
Pro ostatní úhly byl proveden orientační výpočet zrychlení pomocí hodnoty gravitačního zrychlení v závislosti na úhlu naklopení.

$$a_{\alpha} = g \cdot \sin \alpha \quad (6)$$

kde  $a_{\alpha}$  – hodnota zrychlení odpovídající úhlu natočení  $\alpha$  [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ ]  
 $g$  – gravitační zrychlení [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ ]  
 $\alpha$  – úhel naklopení měřícího zařízení [ $^{\circ}$ ]

Mobilní telefon ukázal při naklopení  $90^{\circ}$  zrychlení  $9,8 \text{ m/s}^2$ , akcelerometr při tomto náklonu zaznamenal hodnotu  $8,3 \text{ m/s}^2$ . Z této skutečnosti vyplynulo, že je u předešlých měření potřeba provést korekci hodnot u akcelerometru. Nesprávné hodnoty zrychlení u akcelerometru pravděpodobně způsobila špatně nastavená kalibrační konstanta. Z naměřených hodnot pro různé úhly naklopení vozidla na sklopné plošině se stanovila korekční konstanta, která byla aplikována na naměřená data akcelerometru z porovnávacích jízdních zkoušek. Graf 3 znázorňuje stejná data z měření uvedeného v grafu 2, jen zde došlo ke korekci hodnot zrychlení akcelerometru pomocí korekční konstanty. Hodnota zrychlení udávaná akcelerometrem byla o 18 % menší než zrychlení naměřené pomocí mobilního telefonu.

Graf 3 - Příčné zrychlení – sklopná plošina (korekce akcelerometru)



#### 2.4.4 Vyhodnocení porovnávacího měření po provedení korekce

Po provedení korekce naměřených dat z akcelerometru pro všechny jízdní zkoušky popsaných v kapitole 2.4.1 bylo opět provedeno porovnání s hodnotami naměřených pomocí mobilního telefonu. Vyhodnocení naměřených hodnot zrychlení bylo rozděleno do skupin: pozvolný rozjezd a brzdění, prudký rozjezd a brzdění a příčné zrychlení.

#### 2.4.4.1 Pozvolný rozjezd a brzdění

Hodnoty pro toto vyhodnocení byly vybrány z prvních čtyř jízdních zkoušek a také z jízdní zkoušky pro porovnání příčného zrychlení. Maximální hodnoty zrychlení naměřené mobilním telefonem se při pozvolném rozjezdu vozidla pohybovaly v rozmezí od 0,8 do 2,2  $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ , a pro brzdění byla hodnota zrychlení, resp. zpomalení, v intervalu od 1,3 do 1,7  $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ . Naměřené hodnoty zrychlení mobilním telefonem a akcelerometrem ADXL311 byly v případě rozjezdu shodné. Při brzdění byla zaznamenána odchylka mezi měřicími zařízeními o 0,1  $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ . O tuto odchylku byla větší hodnota dosahovaného zrychlení u akcelerometru. Tato odchylka byla zjištěna u dvou hodnot z osmi.

#### 2.4.4.2 Prudký rozjezd a brzdění

V této sérii jízdních zkoušek, bylo provedeno celkem 10 měření. Dosahovaná maximální hodnota zrychlení při rozjezdech automobilu se u mobilního telefonu pohybovala od 3,3 do 4  $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ . Naměřené hodnoty brzdného zpomalení při prudkém brzdění se pohybovaly v rozsahu od 5,7 do 7,2  $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ . Maximální odchylka mobilního telefonu od akcelerometru ADXL311 byla 0,1  $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ . Větší hodnota zpomalení byla naměřena opět u akcelerometru. Z deseti měření, se odchylka jedné desetiny v případě rozjezdu vyskytovala u tří a v případě brzdění u čtyř hodnot. Způsobená odchylka může být způsobena nedostatečným upevněním měřicích zařízení a jejich nepatrným pohybem při prudké změně zrychlení.

#### 2.4.4.3 Příčné zrychlení

Po korekci hodnot zrychlení akcelerometru a zobrazení těchto naměřených hodnot, bylo zjištěno, že dosahované příčné zrychlení v kladném i záporném směru je totožné pro mobilní telefon i akcelerometr. Zrychlení, kterého se dosahovalo během jízdní zkoušky s automobilem, se pohybovaly od 2,2 do 3,8  $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ .

Vezmeme-li v úvahu, že pořizovací náklady mobilního telefonu v porovnání s měřicí aparaturou jsou mnohem menší a s přihlédnutím na fakt, že akcelerometr v mobilním telefonu není určen k měření, ale slouží jako senzor pro snímání polohy zařízení, je zjištěná shoda s měřicí technikou pro potřeby této diplomové práce k měření dosahovaného zrychlení v provozu dostatečná. Chybovost, resp. odchylky, které byly porovnáním zjištěny, mohou být také způsobeny jistým opotřebením snímače akcelerometru v mobilním telefonu. Každodenní používání telefonu a jeho neustálé zatěžování vibracemi ve všech směrech



a o různé velikosti, a také to, že občas dojde k jeho pádu z výšky na pevnou podložku, může mít do jisté míry negativní vliv právě na citlivost a opotřebenání snímače.

## 2.5 Měření v běžném provozu na vozidlech MHD

Měření zrychlení v běžném provozu bylo měřeno mobilním telefonem a zaznamenáváno pomocí aplikace Accelerometer Meter. Mobilní telefon byl umístěn v přední části vozidla v blízkosti pracovního místa řidiče. Měření se provádělo v různých denních časech na linkách městské hromadné dopravy provozovaných Dopravním podnikem města Pardubic a.s. Při experimentálním měření byly použity autobusy Karosa B951E, Irisbus Citybus, Irisbus Citelis CNG a trolejbusy Škoda 14TrM, Škoda 24Tr, Škoda 30Tr a Škoda 30Tr s pomocným bateriovým pohonem. Podrobný popis těchto vozidel, ale i ostatních typů autobusů a trolejbusů, které vlastní DPMP a.s. jsou uvedeny v kapitole 3. Řidiči vozidel MHD se mohou v provozu setkat s velkým množstvím dopravních situací. V rámci této diplomové práce bylo vybráno několik těchto situací. Konkrétní vybrané dopravní situace, jejich popis a analýza jsou popsány v kapitole 5, naměřená data zrychlení z provozu a jejich vyhodnocení v závislosti na jednotlivých dopravních situacích jsou uvedeny v kapitole 6 této práce.

### **3 VOZOVÝ PARK DOPRAVNÍHO PODNIKU MĚSTA PARDUBIC A.S.**

Řidiči DPMP a.s. jsou rozděleni na základě jejich kvalifikace. Kvalifikací se rozumí, zda má řidič oprávnění pouze na řízení autobusu, nebo disponuje dvěma oprávněními, na autobus i na trolejbus. Každý řidič musí být zacvičen na všechny typy vozidel a musí být seznámen s jejich obsluhou a základy údržby. Před výjezdem vozidla na linku je nutné provést předepsané úkony a kontroly, které řidiči ukládají interní předpisy a směrnice DPMP. V rámci kontroly vozidla se zjišťuje celkový stav vozidla, kontrola osvětlení, stav pneumatik, dotažení matic kol a funkčnost všech zařízení potřebných pro provoz vozidla na linkách MHD. U autobusů se navíc kontroluje stav klínových řemenů, stav provozních náplní a zda nedochází k úniku některých z provozních náplní. Řidiči trolejbusů musí před výjezdem zkontrolovat stav a funkčnost sběračů, sběracích hlavic (tzv. botek) a uhlíkových vložek v hlavicích. Dále se kontroluje stav provazů od sběračů a stav a natažení stahováků. Provazy a stahováky společně zabraňují v případě výpadku sběračů z trolejové sítě jejich zdvižení, zamotání nebo nárazu do trolejového vedení.

Jednotlivé typy vozidel se od sebe v mnoha věcech liší. Rozdíly jsou nejen v rozmístění jednotlivých ovládacích prvků a kontrol, způsobech a možnostech seřízení sedačky, volantu a přístrojové desky, ale hlavně také v jízdních vlastnostech. Řidiči zaměstnaní na hlavní pracovní poměr mají přidělené vozidlo, se kterým pravidelně jezdí a které dokonale znají. Může se však stát, že přidělené vozidlo je odstavené pro poruchu nebo údržbu, případně skladba směn řidiče neumožňuje nasazení přiděleného vozidla. V takovém případě řidič dostane jiné volné vozidlo, které se po jízdní stránce liší od vozu, na který je řidič zvyklý. To na něho klade nutnost reagovat a rychle se přizpůsobit jízdním vlastnostem vozidla, především pak brzdám, se kterými je potřeba zacházet obzvlášť obezřetně.

Dopravní podnik města Pardubic používá pro provoz na linkách MHD autobusy a trolejbusy. Ve vozovém parku se nenachází žádný kloubový autobus ani kloubový trolejbus. Dále v této kapitole budou podrobněji popsány jednotlivé typy autobusů a trolejbusů, se kterými se může řidič DPMP setkat a se kterými bylo prováděno měření zrychlení a následná analýza dopravních situací v rámci této diplomové práce. Vozový park je velice rozmanitý a nachází se zde zastoupení mnoha výrobců vozidel, např. Iveco, Solaris, SOR, Škoda a další.

Vozidla používaná na linkách MHD v Pardubicích:

- autobusy: Renault Citybus 12M  
Irisbus Citybus 12M  
Irisbus Citelis 12M  
Irisbus Citelis 12M CNG  
Iveco Crossway LE City 12M  
Iveco Urbanway 12M  
Karosa B951E
- trolejbusy: Škoda 14TrM  
Škoda 21Tr  
Škoda 24Tr (karoserie Irisbus Citelis)  
Škoda 26Tr (karoserie Solaris Urbino 12)  
Škoda 28Tr (karoserie Solaris Urbino 15)  
Škoda 30Tr (karoserie SOR City NB12)

### 3.1 Autobusy

K řízení autobusu opravňuje osobu vlastnění řidičského průkazu skupiny D1 nebo D. Před započítáním výcviku k získání řidičského oprávnění musí osoba projít zdravotní prohlídkou předepsanou pro tuto skupinu a musí být vlastníkem řidičského oprávnění skupiny B. Veškeré podmínky k získání řidičského oprávnění jsou stanoveny v zákoně č. 361/2000 Sb., o provozu na pozemních komunikacích, konkrétně hlava III – Řidičské oprávnění a řidičský průkaz. [1] Zaměstnanci DPMP a.s. musí být vlastníky řidičského oprávnění pro skupinu D. Řidiči v pracovně právním vztahu musí rovněž podstoupit školení k zdokonalení odborné způsobilosti řidičů a získat průkaz profesní způsobilosti řidiče. Poslední zákonnou povinností před zahájením výkonu činnosti jako profesionálního řidiče autobusů je absolvování dopravně psychologického vyšetření (viz §87 zákon č. 361/2000 Sb.).

#### 3.1.1 Karosa B951E

Autobusy Karosa B951E vyráběla firma Karosa z Vysokého Mýta od roku 2003 do roku 2007. Jde o modernizovanou verzi autobusu B951, který se vyráběl od roku 2002. Verze E se od klasické verze odlišuje především v odlišné masce předního chladiče a lepenými skly,

namísto skel umístěných v těsnící gumě. Pardubický DP v současné době provozuje 10 autobusů verze B951E vyrobených v roce 2006.

Jedná se o vysokopodlažní, necelých 12 metrů dlouhý autobus s automatickou převodovkou. Vozidlo je vybaveno hydrodynamickým retardérem sloužícím ke zpomalování vozidla. Ovládání retardéru je možné dvěma způsoby. Ruční ovládání samostatnou páčkou napravo pod volantem umožňuje čtyř polohové ovládání požadovaného stupně zpomalení. Druhou možností je ovládání retardéru brzdovým pedálem, který je společný s brzdovým pedálem pro provozní brzdění. Pomocí příslušného tlačítka může řidič vypnout ovládání retardéru brzdovým pedálem, což je žádoucí především při snížených adhezních podmínkách. Autobus je vybaven zastávkovou brzdou, která je aktivována automaticky při otevření dveří vozidla. K odbrzdění zastávkové brzdy dochází při zavřených dveřích a následném sešlápnutí akceleračního pedálu.



*Obrázek 10 - Karosa B951E*

### 3.1.2 Renault Citybus 12M, Irisbus Citybus 12M, Irisbus Citelis 12M

Prvním zástupcem nízkopodlažních autobusů v DPMP se staly vozidla Renault Citybus. Tyto autobusy vyráběla společnost Karosa ve spolupráci s francouzskou firmou Renault. První vozy byly do DP dodány v rozmezí let 1998–2001. Do dnešního dne je provozováno celkem 10 autobusů typu Renault Citybus 12M. Od roku 2003 do roku 2005 byly dodány další vozidla novější konstrukce, při které došlo mj. i k přeznačení výrobce na Irisbus. V provozu je celkem 12 těchto vozů.

V roce 2007 a 2008 zakoupil dopravní podnik 4 autobusy Irisbus Citelis 12M. Tento model autobusu je nástupcem autobusu Irisbus Citybus. Jedná se o nízkopodlažní vozidla vybavená vznětovým motorem. V letech 2009–2014 došlo k dodávce celkem 22 autobusů typu Citelis 12M CNG. K pohonu těchto autobusů se používají motory na stlačený zemní plyn. Všechna dodaná vozidla typu Citelis jsou stále v provozu.

Uvedené autobusy jsou vybaveny automatickou převodovkou. Dále jsou tato vozidla vybavena retardérem, který je možné ovládat pomocí brzdového pedálu, případně páčkou pod volantem – u vozidel Renault páčkou na přístrojové desce. Zastávkovou brzdu u těchto vozidel musí řidič aktivovat ručně před otevřením dveří. Aktivaci řidič provádí buď pákou zastávkové brzdy umístěnou na bočním ovládacím panelu, nebo u vozidel Citelis páčkovým přepínačem na přístrojové desce. Pro její odbrzdění je nutné dát páčku zpět do odbrzděné polohy a mít zavřené všechny dveře. Pro úplné odbrzdění je dále nutné sešlápnout akcelerační pedál.



*Obrázek 11 - Renault Citybus 12M*

### 3.1.3 Iveco Crossway LE City 12M

Iveco Crossway LE vyrábí firma Iveco Czech Republic a.s. od roku 2007. Zkratka LE označuje „Low Entry“, tedy umožnění snadného nástupu do vozu díky nízkopodlažní přední části vozu. Autobus je rozdělen na dvě části. Přední polovina autobusu je řešena jako nízkopodlažní se střední částí umožňující přepravu kočárku nebo invalidního vozíku. Za druhými dveřmi je zadní část vozu vyvýšena a uspořádání připomíná meziměstské verze autobusů Crossway. Firma Iveco nabízí velké množství variant konfigurace této modelové řady.

Pardubický DP provozuje celkem 5 vozů v provedení LE City 12M z roku 2015. Autobus je 12 metrů dlouhý ve třídveřovém provedení se vznětovým motorem, automatickou převodovkou a celovozovou klimatizací. Odlehčovací brzda (retardér) se ovládá brzdovým pedálem nebo páčkou pod volantem. Zastávková brzda autobusu je aktivována automaticky před otevřením dveří vozidla, nebo ji lze uvést do činnosti příslušným tlačítkem na přístrojové desce. K odbrzdění dochází při zavřených dveřích a následném sešlápnutí akceleračního pedálu.



Obrázek 12 - Iveco Crossway LE City 12M

### 3.1.4 Iveco Urbanway 12M

Nejnovějšími autobusy, kterými DPMP a.s. disponuje jsou vozidla Iveco Urbanway 12M. Dopravní podnik vlastní celkem 6 těchto dvanáctimetrových nízkopodlažních autobusů z roku 2016–2017. Modelová řada Urbanway od firmy Iveco Czech Republic je nástupcem autobusů Irisbus Citelis.

Jedná se o moderní vozidlo s velkým komfortem pro řidiče. Kabina řidiče je prostorná s množstvím odkládacích prostor. Vysoko položené místo k sezení umožňuje řidiči lepší přehled o situaci daleko před vozem, a ergonomicky řešený prostor a ovládání zajišťuje snadné řízení a obsluhu autobusu. Vůz je vybaven celovozovou klimatizací, která řidiči vytváří pohodlné pracovní prostředí i v horkých dnech. Pardubické vozy jsou vybaveny vznětovými motory s automatickou převodovkou a hydraulickým retardérem, který je možno ovládat brzdovým pedálem nebo ručně pomocí páčky pod volantem. Zastávková brzda vozidla je aktivována automaticky před otevřením dveří nebo ji je možné také aktivovat plným

sešlápnutím brzdového pedálu. K odbrzdění dochází při zavřených dveřích a následném sešlápnutí akceleračního pedálu.



*Obrázek 13 - Iveco Urbanway 12M*

### 3.2 Trolejbusy

Trolejbus je drážní vozidlo pohybující se po pozemní komunikaci a zároveň po dráze trolejbusové. Podle § 2 odst. 1 zákona č. 266/1994 Sb, o drahách, je dráha definována jako cesta určená k pohybu drážních vozidel včetně pevných zařízení potřebných pro zajištění bezpečnosti a plynulosti drážní dopravy [14]. Trolejbus se smí pohybovat pouze po trolejbusové dráze schválené drážním úřadem. Tato dráha je vymezena polohou trolejového vedení a dosahem sběračů trolejbusu. Za trolejbusovou dráhu se rovněž považuje pozemní komunikace, která je správním drážním úřadem jako dráha schválena, ale nenachází se na ní trolejové vedení. Takto schválenou trasu využívají trolejbusy, které jsou vybaveny pomocným dieselaagregátem nebo bateriovým pohonem umožňující jejich pohyb bez nutnosti použití trolejového vedení pro jejich napájení. Provoz trolejbusů se při pohybu po pozemních komunikacích řídí stejně jako u autobusů všemi příslušnými pravidly provozu na pozemních komunikacích, ale navíc také drážním zákonem. I když je trolejbus silniční motorové vozidlo není opatřeno registrační značkou a nepodléhá nutnosti pravidelných technických prohlídek a měření emisí podle zákona č. 56/2001 Sb. Schvalování technické způsobilosti včetně rozsahu a intervalů pravidelných technických prohlídek trolejbusů upravuje vyhláška 173/2000 Sb. (Vyhláška Ministerstva dopravy, kterou se vydává dopravní řád drah).

„Řidič trolejbusu musí splňovat požadavky odborné kvalifikace v elektrotechnice dle podmínek stanovených přílohou číslo 4 k vyhlášce číslo 100/1995 Sb. v platném znění alespoň v rozsahu čl. 3 „osoba poučená“.“ [15 s. 33] „Osoba poučená“ k řízení trolejbusu se smí dotýkat jen těch ovládacích prvků, které jsou určeny pro obsluhu. [15]

Veškeré podmínky k zahájení výcviku k získání odborné způsobilosti opravňující k řízení hnacího vozidla na dráze trolejbusové stanovuje zákon č. 266/1994 Sb., o drahách. Osoba musí být držitelem řidičského oprávnění skupiny D a žadatel musí být uznán zdravotně způsobilým podle vyhlášky 101/1995 Sb. „Nezbytnou součástí každé lékařské prohlídky je anamnéza s cíleným zaměřením, komplexní fyzikální vyšetření (včetně vyšetření sluchu, zraku, vyšetření barvocitu tabulkami a orientačního vyšetření zorného pole a rovnováhy), vyšetření moče, glykemie, eventuálně ostatní laboratorní vyšetření podle anamnézy a fyzikálního vyšetření. Při vstupní prohlídce k získání odborné způsobilosti se vyšetření navíc rozšíří o elektrokardiografické vyšetření, o neurologické vyšetření, včetně elektroencefalografického, o ušní, nosní a krční vyšetření, včetně audiometrického, o oční vyšetření, včetně vyšetření očního pozadí, prostorového vidění a šerosleposti, a o vyšetření psychiatrické.“ [16]

Uchazeč o získání odborné způsobilosti je během výcviku seznámen se všeobecnými základy v oblasti provozování trolejbusové dráhy a drážní dopravy, s odborným názvoslovím, dopravní cestou a jejím zařízením a s návěstní soustavou. Dále je seznámen s obsluhou, údržbou a řízením jednotlivých typů trolejbusů, odstraňování jejich provozních poruch, a v neposlední řadě také se správnou technikou jízdy při řízení trolejbusu. Technika jízdy s trolejbusem bude detailněji popsána v kapitole 4.7.

### 3.2.1 Škoda 14TrM

Jedná se o dvounápravový vysokopodlažní trolejbus se samonosnou karoserií vyráběný v letech 1995–2004 dnes již neexistující firmou Škoda Ostrov, která vyráběla od roku 1960 trolejbusy nejen pro tuzemský, ale také světový trh. Jde o modernizovanou verzi trolejbusu Škoda 14Tr vyráběný od roku 1981. Pardubický dopravní podnik vlastní ještě 3 vozy, které mohou zasáhnout do běžného provozu. Vozidla prošla v letech 2006–2007 generální opravou v Dopravním podniku v Plzni. Některé dopravní podniky takto opravené trolejbusy označují jako typ Škoda 14TrR.



Toto vozidlo vyžaduje zvláštní koncentraci na řidiče z důvodu jeho ovládání. Vůz je vybaven dvěma brzdovými pedály zajišťující provozní a odlehčovací brzdění a pedálem jízdy. Pedál jízdy se nachází zcela vpravo a je ovládán pravou nohou stejně tak jako odlehčovací elektrodynamická brzda, která se nachází uprostřed. Provozní brzda je umístěna nalevo od volantu a je tak ovládána levou nohou. Ovládání provozní brzdy klade na řidiče požadavek jistého „citu“ levé nohy k ovládání brzdového pedálu tak, aby bylo brzdění a následné zastavení co nejplynulejší bez „cuknutí“, které je obzvláště nebezpečné při zastavování v zastávce, kdy může docházet k situaci, že se cestující již nedrží, ačkoliv má ještě tu povinnost dle smluvních přepravních podmínek, a hrozí tak riziko úrazu.



Obrázek 14 - Škoda 14TrM

### 3.2.2 Škoda 21Tr

První nízkopodlažní trolejbus a zároveň poslední typ trolejbusu vyráběný závodem Škoda Ostrov v letech 1995–2004. DPMP provozuje ještě 8 trolejbusů tohoto typu vyrobených v letech 2003–2004, které stále zasahují do běžného provozu na linkách v pracovní dny.

K ovládání rychlosti slouží dva pedály, pedál jízdy, který se nachází úplně napravo, a sdružený brzdový pedál. Brzdový pedál je společný pro provozní elektrodynamickou nezávislou brzdu (bez rekuperace) a pneumatickou (vzduchovou) dvouokruhovou brzdu. Při stání vozidla a následném plném sešlápnutí tohoto brzdového pedálu dojde k aktivaci zastávkové (staniční) brzdy. Pokud je tato brzda aktivována, je aktivace signalizována kontrolkou na palubní desce a není nutné v zastávce držet sešlápnutý brzdový pedál ani

aktivovat parkovací brzdu. K odbrzdění zastávkové brzdy dochází při zavřených dveřích a sešlápnutí pedálu jízdy.



Obrázek 15 - Škoda 21Tr

### 3.2.3 Škoda 24Tr

Škoda 24Tr je dvounápravový nízkopodlažní trolejbus vyráběný v letech 2003–2014 společnostmi Škoda Electric a Irisbus. Základem tohoto trolejbusu je karosérie s mechanickou částí autobusu Irisbus Citybus 12M nebo Irisbus Citelis 12M. Montáž elektrické výzbroje a dokončovací práce potom probíhaly v areálu Škody Electric v Plzni. Pardubický DP provozuje celkem 6 těchto trolejbusů s karosérií Irisbus Citelis 12M.

Brzdový pedál je jako u předchozího vozidla společný pro elektrodynamickou nezávislou brzdu a pneumatickou dvouokruhovou brzdu. Zastávková brzda se aktivuje samočinně při zastavení vozidla a k odbrzdění dochází po sešlápnutí pedálu jízdy. Elektrická výzbroj tohoto vozidla umožňuje vracet přebytečnou energii vznikající při brzdění vozidla zpět do sítě, tzv. rekuperaci. Takto vytvořenou energii vrácenou do elektrické sítě může spotřebovat jiný trolejbus, který se nachází v oblasti stejné měřírny. Pokud není možné tuto přebytečnou energii nikterak využít, je poté mařena v odporech. Ne vždy je však rekuperace žádaná, například při přejíždění izolovaných míst na trolejovém vedení, proto je trolejbus vybaven zvláštním tlačítkem, takzvanou „antivýhybkou“, která zakáže rekuperaci a zajistí nulový odběr z trolejového vedení. Jízda přes izolovaná místa a tlačítko antivýhybky budou ještě popsány v kapitole 4.7.5.



Obrázek 16 - Škoda 24Tr

### 3.2.4 Škoda 26Tr a 28Tr

Tyto dva typy trolejbusů jsou výrobní spolupráce polské firmy Solaris Bus & Coach a plzeňské firmy Škoda Electric. Zatímco firma Solaris dodává autobusové karoserie, Škoda Electric zajišťuje pohonnou část a provádí finální kompletaci trolejbusu. Rozdílem těchto dvou typů trolejbusů je v provedení karoserie. Obě dvě vozidla jsou vybavena opět sdruženým brzdovým pedálem zahrnující provozní a elektrodynamickou brzdu. Elektrická výzbroj vozidla umožňuje rekuperaci a vracet tak přebytečnou energii zpět do trolejové sítě.

Škoda 26Tr využívá jako základ karoserii dvounápravového dvanáctimetrového nízkopodlažního autobusu Solaris Urbino 12. Tato vozidla byla dodána do DPMP v letech 2012–2014 s karoserií SU 12 III. generace v počtu 10 kusů.

Základem trolejbusu Škoda 28Tr je karoserie Solaris Urbino 15. Jedná se o třinápravový patnáctimetrový nízkopodlažní trolejbus, který má druhou nápravu hnací a třetí nápravu hnanou řídicí, která se natáčí samovolně v závislosti na směru jízdy. Tento typ trolejbusu je vůbec prvním výrobkem vzešlý ze spolupráce firmy Solaris a Škoda, která započala v roce 2008. Pardubický DP vlastní celkem 10 vozidel, včetně prototypu, dodaných mezi lety 2008–2012 v provedení karoserie SU 15 III. generace. Zadní natáčecí náprava trolejbusu způsobuje, že při natočení kol do plného rejdu vybočuje zadní část vozu o 1,4 metru vůči jízdní stopě vozidla. Tuto skutečnost musí mít řidič na paměti při odbočování, prudkých změnách směru jízdy,

a navíc také při vyjíždění ze zastávek. Technika jízdy s třínápravovým vozidlem včetně všech bezpečnostních rizik bude podrobněji popsána v kapitole 4.7.7.



Obrázek 17 - Škoda 26Tr a 28Tr (vlevo)

### 3.2.5 Škoda 30Tr

V roce 2016 byly do Pardubic dodány první 3 trolejbusy tohoto typu. V roce 2018 k těmto třem vozům přibylo dalších 19 včetně 4 trolejbusů vybavených pomocným bateriovým pohonem pro jízdu mimo trolejové vedení. Jedná se o nízkopodlažní dvounápravový dvanáctimetrový trolejbus s karoserií od firmy SOR sídlící v Dolních Libchavách u Ústí nad Orlicí a elektrickou výzbrojí od firmy Škoda Electric. Základní autobusová karoserie je typu SOR NB12. Vůz je vybaven opět dvěma pedály, a to pedálem jízdy a sdruženým brzdovým pedálem. Samozřejmostí je také samočinně aktivovaná zastávková brzda při zastavení vozidla. Během brzdění elektrodynamickou brzdou dochází k rekuperaci elektrické energie zpět do sítě. Rekuperaci umožňují i vozidla s pomocným bateriovým pohonem. Pokud vozidlo k jízdě používá energii z pomocných baterií a při tom dochází k brzdění elektrodynamickou brzdou, rekuperovaná energie se využívá k pokrytí spotřeby spotřebičů vozidla a k dobíjení pomocných baterií. V případě, že vytvořená energie je větší než množství energie, které může trolejbus spotřebovat, maří se tato přebytečná energie v odporcích na střeše vozidla. Způsob jízdy s vozidlem na bateriový pohon mimo trolejové vedení je uvedena v kapitole 4.7.8.



*Obrázek 18 - Škoda 30Tr*

## 4 TECHNIKA JÍZDY S VOZIDLY MHD

Znalost řízeného vozidla a správná technika jízdy jsou důležitými prvky ekonomické, ekologické, a především také bezpečné jízdy. Bezpečná jízda je více než namístě, neboť vozidla určená pro hromadnou přepravu osob nejsou vybavena bezpečnostními pásy pro cestující a více jak polovina obsaditelnosti vozidla tvoří místa pro stojící cestující. Podle smluvních přepravních podmínek pro přepravu ve vozidlech MHD je cestující povinen držet se, pokud po dobu přepravy stojí. Ale ani držící stojící cestující není schopen se udržet za všech situací, zejména pokud dojde k náhlému prudkému zabrzdění. Proto je potřeba, aby řidič co nejvíce předvídal a měl přehled o situaci před vozidlem a dokázal včas reagovat na případné nestandardní chování ostatních účastníků provozu a zabránil tak možnému zranění. Udržení pozornosti po celou dobu směny je velmi náročné. Ve městech přibývá vozidel a společně se špatnou dopravní infrastrukturou dochází na mnoha linkách ke zpoždění způsobené různou hustotou provozu a je prakticky nemožné tyto nepravidelnosti zohlednit v jízdách mezi zastávkami. Neustálé zpoždění může vést ke vzniku stresu u řidiče, například ze slovního konfliktu s nespokojenými cestujícími.

### 4.1 Správné sezení

Správně seřízená sedačka umožňuje řidiči využívat jeden z prvků aktivní bezpečnosti, kterým je výhled z vozidla. Důležité pro řidiče rozměrných vozidel je také ničím nebráněný výhled do venkovních zpětných zrcátek a u řidičů vozidel pro přepravu osob také do zrcátek pokrývající prostor pro cestující, které jsou důležité především při obsluze zastávek. Dále je nezbytné, aby řidič pohodlně dosáhl na všechny ovládací prvky a viděl na ukazatele a kontrolky provozního stavu vozidla.

Oproti osobnímu automobilu jsou hlavními rozdíly vysoký posed na vzduchem odpružené sedačce, ovládání pedálů více shora a více položený volant. Vyvýšená poloha místa k sezení umožňuje řidiči lepší přehled o situaci na vozovce i mimo ni i na delší vzdálenost, a navíc vzduchem odpružená sedačka umožňuje lépe utlumit rázy vznikající přejezdem nerovností. Problém pro některé řidiče může představovat více položený volant. I když moderní vozidla často umožňují nastavení většího sklonu volantu, jsou i vozidla které neumožňují žádné nastavení polohy volantu. To může řidičům s kratšími pažemi znesnadňovat ovládání volantu, především ztěžuje ideální přehmatávání v jeho horní části. [17]

## 4.2 Hmotnost vozidla

Hmotnost osobního automobilu se běžně pohybuje do dvou tun. Pohotovostní hmotnosti autobusů a trolejbusů se pohybují v rozmezí 10 až 12 tun, výjimkou je třínápravový trolejbus Škoda 28Tr, který má pohotovostní hmotnost 13 700 kg. Tuto hmotnost je potřeba si stále uvědomovat, hlavně z důvodu delší brzdné dráhy takto těžkého vozidla. Proto je nutné dodržovat mnohem větší odstup od vpředu jedoucího vozidla. Takzvané dvouvteřinové pravidlo používané při řízení osobních vozidel je potřeba u těchto vozidel navýšit minimálně o jednu sekundu, a to za ideálních podmínek. Pro řidiče vozidel MHD je důležitější okamžitá hmotnost vozidla než hmotnost pohotovostní. Není výjimkou, aby na zastávce najednou nastoupilo takové množství cestujících odpovídající plné kapacitě vozidla. Celková obsaditelnost standardního nekloubového vozidla MHD je až 100 cestujících (Škoda 28Tr až 135 cestujících). Budeme-li počítat zatížení 68 kg na osobu (dle EHK OSN: Předpis č. 107 [18]), jedná se při plné obsaditelnosti vozidla o rozdíl 6 800 kg, o který se navýší okamžitá hmotnost vozidla. Ignorování této skutečnosti může mít za následek velmi nepříjemné zjištění zhoršené účinnosti brzdění při zastavování v zastávce, případně dobrzdování před křižovatkou nebo přechodem pro chodce v podobě prodloužení brzdné dráhy. Opakem je pomalejší akcelerace a delší doba rozjezdu vozidla, která může mít vliv při vyjíždění ze zastávek nebo průjezdu křižovatkou, kdy může dojít špatným odhadem řidiče k ohrožení ostatních účastníků provozu, namísto pouhého omezení.

## 4.3 Rozměry vozidla

Dalším důležitým parametrem vozidla MHD jsou jeho rozměry. V městském a mimoměstském provozu na linkách MHD, kde je trasa linky plánovaná s ohledem na rozměry vozidla, není nutné se tolik zaobírat výškou vozidla. Samozřejmě může nastat situace, kdy je řidič vypraven na zájezd s autobusem městské hromadné dopravy do míst, která nejsou součástí pravidelných tras MHD, ale i v tomto případě je trasa předem schválena vedoucím pracovníkem, a proto by neměl nastat problém s výškovou průjezdností vozidla. Dalším případem, kdy je rozhodující výška vozidla, je v místech oprav trolejového vedení pracovníky vrchního vedení na plošině. V takové situaci je nutné pracovní místo objet s dostatečným bočním odstupem, případně zastavit a počkat na pokyn od pracovníků vrchního vedení, zda je možné bezpečně projet pod plošinou.

V městském provozu mívají řidiči rozměrných vozidel problémy s průjezdností způsobenou šířkou vozidla. Velká šířka vozidla způsobuje nutnost volby správné stopy jízdy, aby vozidlo bylo schopno projet zúženým prostorem. Komplikací s průjezdností způsobují špatně zaparkovaná vozidla, omezení z důvodů stavebních prací, ale také projektování pozemních komunikací ve městech na nejmenší možnou normou dovolenou šířku. Další komplikací jsou ostrůvky vytvořené na přechodech pro chodce a místech pro přecházení, kolem kterých musí řidiči projíždět v mnoha případech s opatrností a sníženou rychlostí, aby vyhýbací manévr nepůsobil příliš rušivě na cestující ve voze, případně aby řidič mohl bezpečně vést vozidlo a nedošlo ke kolizi pneumatik nebo jiných částí vozidla s obrubníky nebo dopravním značením v blízkosti vozovky.

Poslední důležitým rozměrovým parametrem je délka vozidla. Problematika vlivu délky vozidla na jeho jízdu je popsána v následujících dvou kapitolách.

#### 4.4 Průjezd zatáčkou

Pro průjezd vozidla zatáčkou je rozhodující rozvor náprav vozidla a poloměr zatáčky. Při zatáčení opisuje vnitřní kolo zadní nápravy menší poloměr než vnitřní kolo přední nápravy. Rozdíl v těchto poloměrech je tím větší, čím je delší rozvor náprav. V mírných zatáčkách se tento vliv neprojevuje v takové míře jako v případě prudších zatáček. Při průjezdu pravotočivou zatáčkou je nutné dávat si pozor, aby v zatáčce nedošlo k najetí zadní nápravy na krajnici, která může být nebezpečná. Mohlo by dojít k utržení takovéto krajnice pod vozidlem. V prudkých zatáčkách je navíc nutné počítat s převísem karoserie před přední nápravou, který může zasahovat do protisměru. V případě levotočivé zatáčky hrozí nebezpečí, že zadní část vozidla bude zasahovat do protisměrného pruhu, a mohlo by tak dojít k ohrožení protijedoucích vozidel. Obecné pravidlo pro volbu správné stopy pro průjezd zatáčkou je shodné jako u osobního automobilu.

#### 4.5 Odbočování

Stejně jako v případě průjezdu zatáčkou je důležitým parametrem rozvor náprav. Autobusy a trolejbusy jsou konstrukčně uspořádány tak, že řidič sedí před přední nápravou. To znamená, že při odbočování musí řidič začít točit volantem mnohem později, než je tomu u osobního automobilu. To v některých situacích způsobuje potřebu najet přední částí vozu do



protisměru při odbočování vpravo, případně protáhnout přední část vozu nad chodník při odbočování vlevo. Pro odbočování na křižovatkách mají rozdílné poloměry stop vnitřních kol přední a zadní nápravy veliký vliv. U křižovatek s malým poloměrem odbočení je potřeba dbát na to, aby při odbočování vpravo nenajela kola zadní nápravy na obrubník, resp. chodník. Dále je nutné vhodně si nadjet co nejvíce ke středu vozovky, případně až do protisměrného pruhu. Při tom je řidič povinen dávat po celou dobu úkonu znamení o změně směru jízdy vpravo. Během odbočování doleva je nutné dávat pozor na zkracování poloměru zatačení zadní nápravou a možnou kolizi s vozidlem vyjíždějící z komunikace, na kterou řidič rozměrného vozidla odbočuje. Při odbočování do stísněnějších míst je potřeba začít provádět celý manévr co nejdříve a citelně pro ostatní řidiče, kteří nemusejí zamýšlený manévr správně pochopit. [17]

#### 4.6 Jízda s autobusem

Pro provoz v městské hromadné dopravě bývají v současné době autobusy vybaveny výhradně automatickou převodovkou. To přináší řidiči značné zjednodušení při řízení vozidla a zvýšení komfortu. Automatická převodovka je vybavena zpravidla třemi ovládacími tlačítky. Řidič má možnost zvolit jednu ze tří možností: neutrál „N“, jízda vpřed „D“ a jízda vzad „R“. Neutrál se volí v případě stojícího vozidla. Pokud není zařazen neutrál, nelze nastartovat motor vozidla. Pokud je zvolena možnost jízda vpřed „D“, pracuje převodovka v plně automatickém režimu pro řazení z nižších převodových stupňů na vyšší a naopak.

V provozu může nastat situace, kdy je potřeba rychle akcelarovat, například při předjíždění. V případě jízdy s manuální převodovkou se postupuje tak, že řidič přeřadí na nižší převodový stupeň a přidá plyn. U automatické převodovky stačí pouze prudce sešlápnout plynový pedál a podržet ho. Automatická převodovka následně přeřadí na nižší převodový stupeň a umožní výrazné zrychlení. [17]

Autobusy jsou vybaveny odlehčovací brzdou. Používání odlehčovací brzdy ke snižování rychlosti vozidla je výhodné z hlediska šetření provozních brzd, především jejich menším zahříváním a menším opotřebením brzdového obložení a destiček. Jako odlehčovací brzda se u autobusů nejčastěji používá hydrodynamická brzda tzv. retardér. Retardér je možné ovládat nohou sešlápnutím brzdového pedálu v první části jeho zdvihu, případně je ovládán pomocí zvláštní páčky umístěné na přístrojové desce nebo pod volantem. Brzdny účinek odlehčovací brzdy může řidič pomocí ovládací páčky volit v několika stupních.

## 4.7 Jízda s trolejbusem

Trolejbus pro pohyb používá elektromotor, který převádí elektrickou energii na energii mechanickou. “ Elektrický proud z trolejového vedení je do vozidla přiváděn tyčovými sběrači přes vstupní filtr, svodič přepětí a hlavní vypínač do elektrických regulačních obvodů. Vstupní filtr slouží k vyhlazení proudu, který může z důvodu různých vnějších vlivů vykazovat nepravidelnosti napětí. Svodič přepětí (také katodová bleskojistka) slouží k odstínění vozidla proti přepětí v trolejovém vedení, které může vykazovat zčásti vysokou energii a tím poškodit elektronické součásti vozidla. Elektromotor přitom funguje jednodušeji a efektivněji než spalovací motor. Skládá se z (vnějšího) statoru a (vnitřního) rotoru. Rotor je pohyblivý a je po celém obvodu osazen trvalými magnety střídavě polarizovanými na sever nebo jih. Z důvodu elektronické regulace otáček pulzním měničem nepotřebuje trolejbus k přenosu tohoto otáčení převodovku.“ [19 s. 37, 38] Absence převodového ústrojí zmenšuje výsledný odpor působící proti směru jízdy vozidla. To umožňuje efektivně využívat jízdu setrvačností, bez zpomalování způsobené brzděním motorem jako je tomu u vozidel poháněných spalovacím motorem.

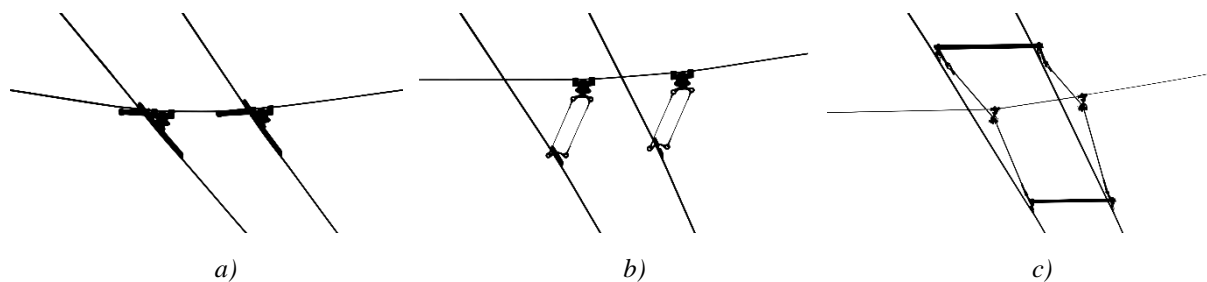
Základem úsporné jízdy je plynulá jízda ve spojení s předvídaním. Řidič by se měl vyvarovat prudkým rozjezdům, po nichž následuje intenzivní brzdění. Správnou technikou jízdy se šetří nejen elektrická energie, ale také napájecí zařízení a elektrovýzbroj vozidla. Dále jsou řidiči trolejbusů povinni dodržovat mezi sebou rozestupy a rozjíždět se postupně, aby nedošlo k náhlému velkému odběru proudu z elektrické sítě, který by mohl způsobit následný výpadek proudu. Pokud k výpadku proudu dojde je řidič povinen vypnout hlavní vypínač (tzv. automat) a na příkaz dispečera také stáhnout alespoň jeden sběrač z trolejového vedení. [15]

Na řidiče trolejbusu jsou kladeny mnohem vyšší nároky na pozornost, než je tomu u řidiče autobusu. Řidiči trolejbusů musí během jízdy navíc sledovat trolejové vedení a přizpůsobovat jízdu jeho stavu a poloze. Dále se musí řídit drážními návěstmi, obecnými a místními pravidly pro jízdu po trolejovém vedení.

### 4.7.1 Jízda po rovině a velmi mírném oblouku

Jízda po rovině v sobě zahrnuje také jistá omezení rychlosti jízdy. Trolejové vedení v přímém směru může být vytvořeno pomocí pevného vedení, pružného vedení nebo vedení s přídatným lanem. Pevné vedení je takové, kde jsou závěsy namontovány k nosnému lanu nepohyblivě a hůře tak spolupracuje se sběrači trolejbusu. Na takovémto vedení je nutné dodržet maximální rychlost do 50 km/h. Pružné vedení nesou svorky, které jsou výkyvně

zavěšeny na nosném laně. Takovéto vedení vykazuje klikatost, které má pozitivní vlastnosti jako je částečná kompenzace teplotní roztažnosti měděného trolejového drátu, vyšší pružnost ve vertikálním směru a v neposlední řadě umožňuje utlumení kmitů trolejového drátu po průjezdu trolejbusu. „Vedení s přidavným lanem je neseno tzv. „delta závěsy“. Jedná se o dvojice svorek za sebou propojených plastovým lanem přes nosnou kladku. Toto řešení je vhodné pro úseky napínané závažím, jakož i pro úseky s delšími vzdálenostmi mezi stožáry.“ [15 s. 16] Maximální rychlost jízdy trolejbusu pro pružné vedení a vedení s přidavným lanem je do 65 km/h. Maximální rychlosti lze dosahovat pouze na rovných a kvalitních úsecích vozovky a vozidlo musí být v optimální stopě vůči trolejovému vedení. Optimální postavení osy vozidla od osy trolejového vedení je  $\pm 1,5$  m. Při větším vzdalování trolejbusu od osy vedení je nutné úměrně tomu snižovat rychlost jízdy. Není při tom žádoucí prudce akcelarovat. Naopak rovnoměrné brzdění má na sběrače příznivý vliv. Maximální vychýlení osy vozidla od osy trolejového vedení je 4,5 metru, v takovém případě je dovolena maximální rychlost jízdy do 5 km/h. V místech, kde dochází k napínání trolejového drátu závažím se nachází na trolejovém vedení takzvané výměnné pole tvořené dilatační spojkou, na které sběrače přechází z jednoho trolejového drátu na druhý. Přes toto výměnné pole je řidič povinen dodržovat maximální rychlost jízdy do 40 km/h. Velmi mírný oblouk je tvořen pomocí pružných rovinných závěsů nebo z vedení s přidavným lanem vhodnou úpravou klikatosti trolejové stopy. [15]

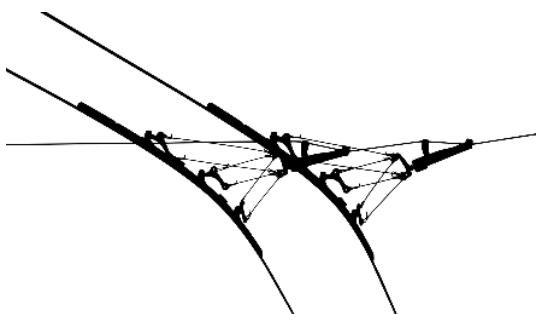


Obrázek 19 - Vedení v přímém směru: a) pevné, b) pružné, c) s přidavným lanem

#### 4.7.2 Jízda v obloucích

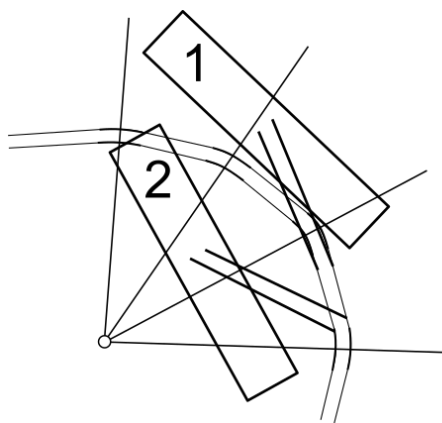
Při jízdě po oblouku musí trolejbus jet vždy sníženou rychlostí. Při jízdě na točnách a v prudkých obloucích do 15 km/h, a v mírných obloucích rychlostí do 30 km/h. Prudké oblouky se nacházejí na křižovatkách a točnách. Jsou tvořeny víceúchyťovými obloukovými svorkami nebo ohnutými podvěsnými trubkami. Mírné oblouky jsou tvořeny jedno nebo dvouúchyťovými obloukovými svorkami. Ne vždy lze určit o jaký typ oblouku se jedná, pro tyto případy je vytvořený seznam maximálních dovolených rychlostí v úsecích, kde by mohlo

dojít k pochybnostem vůči uvedeným obecným situacím. Oblouky trolejového vedení nemají tvar kružnice nebo oblé křivky, ale jsou ve tvaru lomené čáry nebo mnohoúhelníku se zakulacenými vrcholy. Tyto vrcholy jsou vytvářeny pomocí obloukových svorek, nebo je oblouk vytvořen ohnutými podvěsnými trubkami. Při průjezdu obloukem působí na sběrače odstředivá síla, která je tím větší, čím je vyšší rychlost jízdy a hmotnost sběračů a čím je svorka kratší a ohnutější. V obloucích se vedení nechová pružně, a proto se musí této skutečnosti přizpůsobit sběrač a utlumit tak své kmity. Při průjezdu prudkými oblouky, kde se svorky nachází blízko za sebou, projíždí sběrač zpravidla klidně. Problém nastává u táhlých oblouků, kde je vzdálenost mezi jednotlivými zlomy větší. V takovém případě může při vyšší rychlosti dojít k nadměrnému rozkmitání sběračů, které není schopno utlumit ani vedení, ani samotné sběrače, a může tak dojít k vypadnutí sběračů z vedení. V případě táhlých oblouků je trolejbus znevýhodněn nutností snížení rychlosti jízdy oproti autobusu, který může takovou zatáčkou projíždět prakticky neměnnou rychlostí. Pro průjezd obloukem je také vhodné, pokud jsou sběrače trolejbusu co nejlehčí (v současné době se používají sklolaminátové sběrače). Výhodné je také použití sběračů, které jsou na konci zahnuté a při průjezdu obloukem využívají svou torzní pružnost. [15]



Obrázek 20 - Oblouková víceúchyťová svorka

Důležitým pravidlem je také způsob zvolení správné stopy průjezdu oblouku. „Optimální dráha trolejbusu při průjezdu obloukem je taková, kdy osy sběracích tyčí v půdorysu tvoří přibližně tečnu ke křivce vedení. A proto, pokud tomu okolnosti dovolí, je výhodné projíždět obloukem po jeho vnější straně. Botky nejsou vytočeny do strany a jejich rychlost po vedení je nižší nežli rychlost vozu, který takto jede po delší dráze. Je-li řidič okolnostmi donucen projet obloukem jinak, zejména pak po jeho vnitřní straně, musí úměrně tomu snížit rychlost jízdy a vyvarovat se prudší akcelerace. Naopak správné a rovnoměrné brždění působí na sběrače i za této situace příznivě.“ [15 s.17] Po průjezdu oblouku je dovolené akcelarovat až poté, co sběrače trolejbusu projedou poslední dlouhou obloukovou svorku.

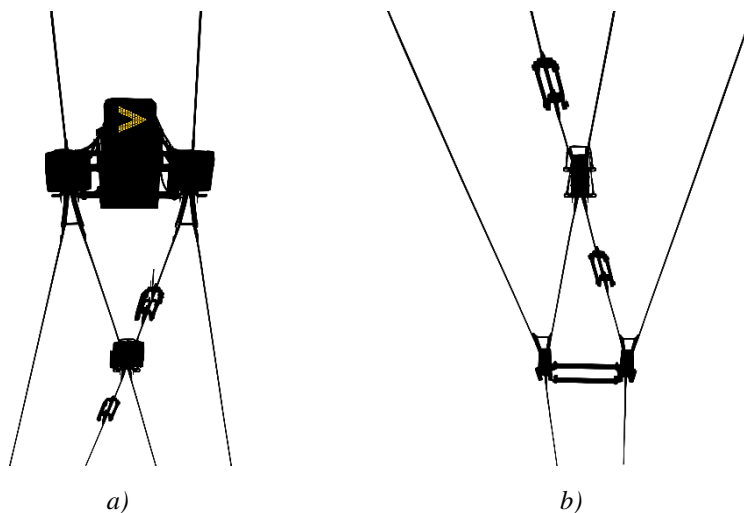


Obrázek 21 - Průjezd obloukem: 1 – optimální, 2 – rizikový

#### 4.7.3 Jízda přes trolejové výhybky

Trolejové výhybky se dělí do dvou skupin. Na výhybky mechanické (sjížděcí) a elektromagnetické (s volbou směru jízdy). V Pardubicích jsou všechny elektromagnetické výhybky ovládány radiovým signálem. „Takové výhybky jsou vybaveny tzv. napěťovými cívkami nebo motorovými přestavníky a nemají pevnou základní polohu. Jazyky se po průjezdu nevracejí a zůstávají ve směru, kam projel předchozí trolejbus.“ [15 s. 17] Některé výhybky jsou vybaveny optickým, mechanickým nebo indukčním členem, který způsobí, že po průjezdu trolejbusu přestaví výhybku do základního (hlavního) směru. Tyto členy se používají na místech, kde jeden směr využívá malý počet trolejbusových spojů, případně u manipulačních stop. Tato funkce není však dostatečně spolehlivá, takže se řidič musí před každou výhybkou s volbou směru jízdy přesvědčit, zda je výhybka postavena do správného směru. K přestavování směru těchto výhybek řidič používá barevně rozdílných tlačítek umístěných na palubní desce každého trolejbusu. Každá barva tlačítka odpovídá barvě návěsti „směr postavení výhybky“. Řidič smí přestavovat pouze výhybku kterou bude bezprostředně projíždět, při tom musí dát pozor, aby nepřestavil výhybku trolejbusu před sebou, případně nepřestavil výhybku v době, kdy sběrače předchozího trolejbusu tuto výhybku zcela neprojely. Dále se před průjezdem těchto výhybek musí přesvědčit o signální návěsti každé výhybky a samozřejmě také vizuálně zkontrolovat samotnou výhybku, zda není po průjezdu předchozího trolejbusu nijak poškozena. Návěstidlo má několik stavů. Prvním je tvar šipky, která určuje směr přestavení výhybky a musí odpovídat požadovanému směru jízdy. Druhý stav je takový, že na návěstidle svítí tečka. Pro řidiče takováto návěst značí poruchu výhybky, nebo může být výhybka v mezipoloze. V takovém případě je nutné před takovou výhybkou zastavit a pokusit se pomocí tlačítka přestavit výhybku. Pokud to není možné, musí řidič kontaktovat dispečera o sjednání opravy. Projíždět takovouto výhybkou smí řidič sníženou rychlostí do 5 km/h. Dalším stavem je

blikající znak. Ten označuje zablokovanou výhybku, která může být zablokována řidičem, případně pracovníky vrchního vedení nebo při vyloučeném provozu v jednom směru. Poslední možností je zhasnuté návěstidlo, které může značit poruchu nebo trvalý stav (např. při výluce). Pokud se jedná o poruchu musí se řidič zachovat stejným způsobem jako v případě, kdy na návěstidle svítí tečka. Mechanické (sjížděcí) výhybky nekladou na řidiče nijak velké nároky kromě dodržení maximální dovolené rychlosti a správného směru jízdy pod trolejovým vedením. Při průjezdu přes výhybky není vhodné akcelarovat, neboť sběrače trolejbusu ztrácí potřebný přítlak důležitý například pro překonání odporu pružinových jazyků ve výhybce. Aby nedošlo ke zkratování trolejových drátů s opačnou polaritou, musí být ve výhybkách odizolovaná místa. Pokyny pro jízdu přes tato izolovaná místa jsou popsány v kapitole 4.7.5. [15]



Obrázek 22 - Trolejová výhybka: a) elektromagnetická, b) mechanická

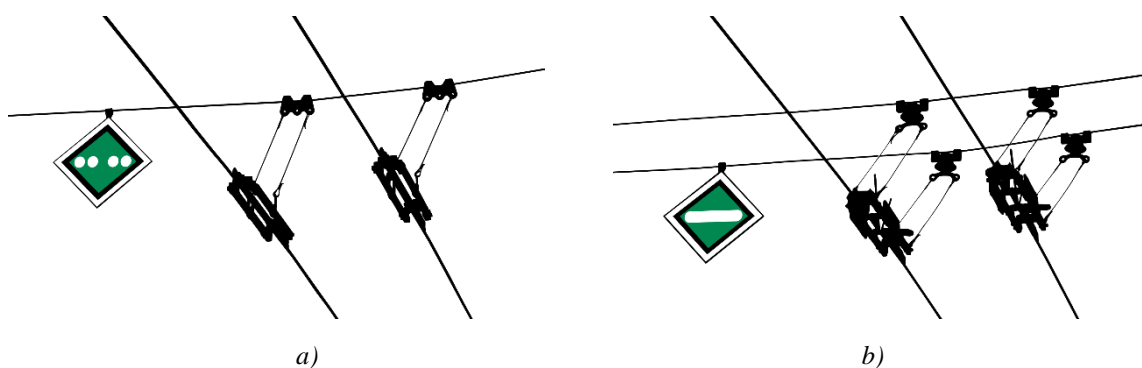
„Z hlediska rychlosti průjezdu lze rozdělit výhybky na obyčejné a rychloprůjezdné. Platí pro ně tyto povolené rychlosti:

- do 5 km/h – při návěsti „výhybka v mezipoloze“ (svítí tečka) – nutno sledovat sběrače
- do 10 km/h – přes obyčejné trolejové výhybky do odbočení
- do 20 km/h – přes obyčejné trolejové výhybky v přímém směru
- do 30 km/h – přes rychloprůjezdné výhybky mechanické (sjížděcí) a přes rychloprůjezdné výhybky elektromagnetické nesouměrné ve směru prudšího odbočení
- do 40 km/h – přes rychloprůjezdné výhybky elektromagnetické souměrné v obou směrech nebo přes rychloprůjezdné výhybky elektromagnetické nesouměrné ve směru mírnějšího odbočení“ [15 s. 18]

#### 4.7.4 Jízda přes trolejová křížení a úsekové děliče

Křížení trolejových stop může být provedeno v různých úhlech. Pokud se jednotlivé stopy kříží pod úhlem 20 až 90 stupňů, jsou křížení bez pohyblivých částí. V případě křížení pod úhlem 10 stupňů je křížení vybaveno pohyblivými jazyky, které se přestavují v závislosti na průjezdu sběrací hlavičky tzv. botky, stejně jako u mechanické (sjížděcí) výhybky. Při jízdě přes trolejová křížení je třeba dodržovat maximální povolenou rychlost: do 15 km/h při jízdě přes křížení v oblouku a do 25 km/h pro křížení v přímém směru. V některých případech může být příslušným ustanovením zvýšena maximální dovolená rychlost až na 35 km/h. Aby nedošlo ke zkratování trolejových drátů s opačnou polaritou, musí být v křížení odizolovaná místa. Pokyny pro jízdu přes tato izolovaná místa jsou popsány v kapitole 4.7.5.

Úsekové děliče slouží k oddělování jednotlivých napájecích úseků nebo podúseků trolejového vedení. Dělič je tvořen lištou z izolačního materiálu, nebo ho tvoří lišta z kovových segmentů propojených diodami – takový dělič se nazývá diodový. Zvláštním případem děliče je tzv. pracovní dělení, kde namísto lišty z izolačního materiálu je trolejový drát nebo kovová sjízdná trubka. Úsekové děliče na širé trati jsou označeny návěstními deskami (čtvercová na vrcholu postavená zelená deska, bílé a černě orámovaná s příslušným vyobrazením, viz obr. 23). Maximální dovolená rychlost při průjezdu děliče je 40 km/h.



Obrázek 23 - Úsekový dělič s návěstní deskou: a) s izolační lištou, b) diodový

#### 4.7.5 Izolovaná místa a důležitá místa na trati

Zvláštními místy na trolejové síti jsou izolovaná místa, též tzv. „mrtvá místa“. Jedná se o místa na vedení, kdy při jejich přejezdu je přerušena dodávka elektrické energie do vozidla. Ztráta napětí je řidiči signalizována akustickým signálem a kontrolkou. Tato místa se nachází ve výhybkách, kříženích trolejových stop a v úsekových děličích. Pokud se nejedná o diodový dělič nebo pracovní mezeru označených příslušnou značkou (obr. 23 b), je nutné tato místa

projíždět setrvačností. Je tedy zakázáno přes takováto místa jet s našlápnutým pedálem jízdy a se zapnutým topením do vozu. Navíc je zakázáno na těchto místech rekuperovat, tedy vracet přebytečnou energii do trolejové sítě. Pro tyto případy je většina trolejbusů vybavena tlačítkem „antivýhybka“, po jehož stisknutí se na krátkou dobu vyřadí z provozu topení do vozu a rekuperace. Je tedy nutné, aby měl trolejbus dostatečnou rychlost k překonání úseku bez napětí. Pokud řidič zastaví v blízkosti takového místa, je potřeba dostatečně akcelarovat k dosažení potřebné rychlosti. Při tom však musí postupovat tak, aby zrychlení nebylo v rozporu s pravidly jízdy s trolejbusem a nepůsobilo rušivě, nebo aby nebylo nebezpečné pro cestující ve voze. Pedál jízdy při tom musí být puštěn před izolovaným místem včas, aby byl odběr proudu pokud možno nulový a nedošlo tak při přerušení dodávky proudu ke „škubnutí“ trolejbusu, které cestující neočekává a které by mohlo vést ke zranění nebo pádu. Pokud vůz na takovém místě zastaví, řidič musí ručně přesadit minimálně jeden sběrač na drát, který není izolovaný. Když není tento postup možný, musí řidič požádat o pomoc dispečera. Je zakázáno, aby trolejbus z takového místa odtlačili cestující.

Důležitými místy se specifickými podmínkami pro jízdu trolejbusů je podjezd v ulici 17. listopadu a prostor před pardubickým nádražím. Na obou místech je omezena maximální dovolená rychlost. Při projíždění podjezdu je řidič trolejbusu povinen dodržovat maximální rychlost do 30 km/h z důvodu velmi malé výšky trolejového vedení, které je navíc zavěšeno pevně, a tím dochází ke špatné spolupráci sběračů trolejbusu s trolejovým vedením. Řidič vozidla Škoda 21Tr navíc musí být velmi opatrný, neboť u tohoto typu trolejbusu jsou provazy od sběračů (společně se stahováků v zadní části vozu zabraňují v případě výpadku sběračů z trolejové sítě jejich zdvižení, zamotání nebo nárazu do vedení) vedeny přes rolny do stahováků. To může způsobit jejich zamotání při rychlém klesání sběračů při vjezdu a přibrzdění pohybu sběrače nahoru při výjezdu z podjezdu. V prostoru pardubického přednádraží je omezení rychlosti jízdy na 20 km/h, z důvodů velkého pohybu chodců v jízdni dráze, zhoršených rozhledových poměrů při objíždění odstavených vozidel, složité trolejové sítě a výškových retardérů na vozovce. [15]

#### 4.7.6 Klimatické vlivy

Jedním z klimatických faktorů je venkovní teplota. Při vysokých teplotách dochází k prověšení trolejového vedení, sběrače trolejbusu potom hůře spolupracují s vedením a je náchylnější k poškození během výpadku sběračů. Mrazivé počasí mimo jiné způsobuje až nebezpečné napnutí trolejového vedení, které může vést k prasknutí drátů nebo v obloucích až



k vytržení závěsů ze zdí domů. Z těchto důvodů je důležité jezdit opatrně a předcházet tak velkým škodám, které by mohl vypadnutý sběrač způsobit. [15]

Dalším klimatickým vlivem jsou sněhové srážky a náledí. Uježděná vrstva sněhu snižuje setrvačnost vozidla a je nutné s tímto počítat především při přejezdu izolovaných míst, aby nedošlo k uváznutí vozu na takovém místě. Při jízdě na náledí, především při rozjíždění je potřeba zacházet citlivě s jízdním pedálem. „Je zakázáno nechat prokluzovat kola, zatímco trolejbus stojí na místě, neboť by mohlo dojít k přepálení trolejového drátu přímo v botkách, nehledě na riziko poškození pneumatik. Pokud se prudce prokluzující kolo náhle dostane na část vozovky bez ledu, může být zničena hnací náprava.“ [15 s. 21] U třínápravového trolejbusu Škoda 28Tr je před rozjezdem na kluzké nebo zasněžené vozovce vhodné tlačítka na přístrojové desce odlehčit třetí nápravu vozidla a tím přitížit hnací nápravu.

Zvláště problémovým vlivem počasí je vznik námrazy na trolejovém vedení. Vzniká v zimě zejména při inverzním rázu počasí, kdy jsou trolejové vodiče obalovány ledovými krystalky. Ty znesnadňují odběr elektrické energie z vedení způsobený špatným dotykem sběrače s trolejovým drátem. To způsobuje jiskření a nepravidelný chod trakčního motoru projevujícím se „cukáním“ při sešlápnutí jízdního pedálu, případně při velké námraze úplně znemožňuje jízdu trolejbusu. Pokud dochází k jiskření, je nutné v zájmu ochrany vlastního zraku řidiče dodržovat dostatečný rozestup od předchozího vozidla a vyvarovat se pohledu do místa jiskření. [15]

#### 4.7.7 Jízda s třínápravovým vozidlem

Ve vozovém parku DPMP, jak již bylo uvedeno v kapitole 3, se nachází třínápravový trolejbus Škoda 28Tr. Délka tohoto vozidla je necelých 15 metrů. To si vyžádalo konstrukční řešení s přidáním třetí natáčecí nápravy. Tato náprava se natáčí samovolně podle směru jízdy vozidla. Natáčecí zadní náprava ale způsobuje, že zadní část vozidla při zatáčení s koly do plného rejdu vybočuje o 1,4 metru. V provozu tak hrozí nebezpečí, že při prudkých změnách směru jízdy může snadno dojít k zásahu zadní části vozidla do sousedního jízdního pruhu, a může dojít ke vzniku dopravní nehody. Řidiči těchto vozidel tuto skutečnost musí mít na paměti a v situacích, kdy musí natočit kola o velký úhel, se musí přesvědčit, zda nedojde k ohrožení ostatních účastníků silničního provozu, nebo nedojde ke kontaktu zadní části vozidla s dopravním značením nebo městským mobiliářem. Toto nebezpečí hrozí také při vyjíždění ze

zastávkového zálivu, což může mít za následek nepříjemná zranění chodců. V krajním případě může dojít až k zachycení osoby stojící v blízkosti nástupní hrany.

#### 4.7.8 Jízda mimo trolejové vedení

Trolejbusy vybavené pomocným dieselaagregátem nebo pomocným bateriovým pohonem umožňují vozidlu pohyb i mimo trolejové vedení. Pardubický DP vlastní čtyři trolejbusy Škoda 30Tr s pomocným bateriovým pohonem. Trolejbus s pomocným pohonem se smí pohybovat pouze po pozemní komunikaci, která byla drážním úřadem prohlášena za trolejbusovou dráhu (viz kap. 3.2).

Než trolejbus může jet nezávisle mimo trolejové vedení, je nejprve potřeba, aby řidič pomocí tlačítka přepnul napájení z trolejové sítě na pomocné akumulátory. V místě daného čtvercovou zelenou návěstní tabulkou „stáhni sběrače“, případně pokynem ve vozovém jízdním řádu (VJŘ) nebo na pokyn dispečera řidič zmáčkne příslušné tlačítko a následně dojde k automatickému stažení sběračů do háků na střeše vozidla. Stahování sběračů se může provádět u stojícího vozidla, například při čekání v zastávce nebo za jízdy. Pokud se sběrače stahují za jízdy, je nutné držet vozidlo ideálně pod trolejovou stopou, dodržovat rychlost do 30 km/h a vyvarovat se prudkého brzdění. Řidič nesmí pokračovat v další jízdě, pokud nemá signalizací na palubní desce potvrzeno zajištění sběračů ve střešních hácích. Pokud je vše splněno může řidič pokračovat v jízdě dle VJŘ. Řidič při jízdě mimo trolejové vedení musí dodržovat zásady správné jízdy s trolejbusem, zejména co nejvíce využívat setrvačnost vozidla, řídit se všemi drážními návěstmi a obecnými a místními pravidly. Při jízdě na akumulátorový pohon tedy odpadá nutnost snižování rychlosti v táhlých zatáčkách a lze je s výhodou projíždět stejnou rychlostí jako autobus.

## 5 VÝBĚR A ANALÝZA DOPRAVNÍCH SITUACÍ

Při jízdě vozidla MHD se nachází celá řada různých dopravních situací se kterou se musí řidič potýkat a na které musí správně reagovat. V rámci této práce bylo zvoleno celkem tři různé typy dopravních situací:

- zastávky – vyjždění ze zastávek je nejčastější jízdni manévr, se kterým se řidiči městské hromadné dopravy potýkají,
- provoz řízený světelnými signály – analýza průjezdu vozidla místem řízeného světelnými signály a vyhodnocení reakce řidiče na změnu světelného signálu,
- nebezpečné dopravní situace – situace, se kterými se v hustém městském provozu lze setkat, např. vyjetí vozidla z vedlejší komunikace, náhlý vstup chodce do vozovky apod.

### 5.1 Zastávky

Z hlediska přepravy je zastávka místo určené k zastavování vozidel veřejné dopravy, sloužící k nástupu a výstupu cestujících a je náležitým způsobem označena. Interní předpisy DPMP a.s. přesně stanovují, jak se mají řidiči vozidel MHD při zastavování na zastávkách chovat:

*„Mimo případy uvedené v zákoně o provozu na pozemních komunikacích je řidič povinen zastavovat jen v zastávkách MHD (zastávky, které jsou provozovány i jinými dopravci, mohou být osazeny jen označником jiného dopravce).*

*V zastávkách zastavuje řidič vozidlo přední částí u označniku zastávky. Je-li zastávka v zálivu, zastaví v jeho přední rovinné části. Stojí-li v zastávce více vozidel současně, je řidič povinen zastavit znovu každé třetí vozidlo u označniku zastávky, pokud nejde o místní úpravu. Pokud se na zastávce nachází osoba na vozíku pro invalidy nebo se slepeckou holí, musí řidič u označniku zastavit vždy. V rámci provozních možností řidič počká na opožděné cestující.*

*Postup řidiče při příjezdu na zastávku na znamení:*

- řidič na zastávce zastaví vždy, když se v prostoru zastávky nachází jiný vůz MHD,
- řidič na zastávce zastaví, pokud se v prostoru zastávky nachází cestující (cestující není povinen dát řidiči informaci o zamýšleném nástupu gestem, neboť stačí jeho přítomnost na zastávce),

- řidič na zastávce zastaví, když cestující ve vozidle dá řidiči signál o zamýšleném výstupu stisknutím tlačítka STOP.“ [15 s. 5]

Zákon o provozu na pozemních komunikacích v několika paragrafech říká, jak se mají jednotliví účastníci provozu chovat vůči řidičům autobusů a trolejbusů při stání a vyjíždění ze zastávek. Jedná se především o § 25 odstavec 6 a § 27 odstavec 1 písmene f zákona 361/2000 Sb.

§ 25 odst. 6: „Řidič vozidla, které zastavilo nebo stálo a opět vyjíždí od okraje pozemní komunikace nebo od chodníku, musí dávat znamení o změně směru jízdy a nesmí ohrozit ostatní účastníky provozu na pozemních komunikacích. Řidiči autobusu hromadné dopravy osob nebo trolejbusu musí v obci řidiči ostatních vozidel umožnit vyjetí ze zastávky nebo ze zastávkového pruhu, a to snížením rychlosti jízdy, popřípadě i zastavením vozidla; řidič autobusu nebo trolejbusu přitom nesmí ohrozit zejména řidiče vozidel jedoucích stejným směrem.“ [1]

§ 27 odst. 1 písm. f): „Řidič nesmí zastavit a stát u zastávky tramvaje, autobusu nebo trolejbusu bez nástupního ostrůvku v úseku, který začíná dopravní značkou "Zastávka autobusu", "Zastávka tramvaje" nebo "Zastávka trolejbusu" a končí ve vzdálenosti 5 m za označником zastávky, a tam, kde taková dopravní značka není, ve vzdálenosti kratší než 30 m před a 5 m za označником zastávky; je-li prostor zastávky vyznačen vodorovnou dopravní značkou "Zastávka autobusu nebo trolejbusu" nebo "Zastávka tramvaje", platí tento zákaz jen pro vyznačený prostor.“ [1]

Paragraf 25 odstavec 6 tedy řidičům ostatních vozidel ukládá povinnost v obci umožnit vyjetí autobusu nebo trolejbusu vyjetí ze zastávky, snížením rychlosti nebo zastavením vozidla. Naproti tomu řidič autobusu nebo trolejbusu nesmí řidiče v jízdním pruhu ohrozit, může je však omezit. Řidiči autobusů a trolejbusů na tento paragraf zákona nemůžou spoléhat, protože řidiči ostatních vozidel občas vůbec nereagují na autobus v zastávce, který dává znamení o změně směru jízdy. Nereagují ani v případě, kdy vozidlo dokonce již vyjíždí ze zastávkového zálivu, a namísto zpomalení naopak ještě zrychlí, aby se zařadili před vozidlo MHD.

Podíváme-li se na manévr výjezdu ze zastávky z pohledu řidiče vozidla MHD, je potřeba provést několik úkonů před samotným rozjezdem vozidla. Po ukončení výstupu a nástupu cestujících a zavření dveří je nutné zkontrolovat jejich skutečné zavření signalizované kontrolkou nebo symbolem na přístrojové desce. Rozjezd vozidla je vhodné začít až ve chvíli, kdy starší osoby, případně malé děti, sedí, aby při rozjezdu nedošlo k jejich pádu. Okamžik, ve

kterém řidič vozidla MHD začne dávat znamení o směru jízdy, je zpravidla v době, kdy dochází k zavírání dveří. Při výjezdu ze zastávky také závisí na stavební konstrukci zastávky. Zastávky, které se vyskytují v linkovém vedení DPMP, mohou být dvojího druhu – v jízdním pruhu a zastávka se zálivem.

### 5.1.1 Zastávka v jízdním pruhu

Zastávka v jízdním pruhu dokáže do jisté míry udržet řidiče ostatních vozidel za vozidlem MHD stojícím v zastávce. Ale zákon samozřejmě umožňuje takovéto vozidlo objíždět, není-li autobus označen označením autobusu přepravujícího děti, jak je uvedeno v §15 odst. 2 zákona 361/2000 Sb. Při vyjíždění od hrany takovéto zastávky se řidič vozidla MHD musí především přesvědčit, zda ho v danou chvíli neobjíždí jiné vozidlo. Pokud ne a dovolují to okolní podmínky, může řidič akcelarovat normálním způsobem bez omezení. Při vyjíždění z takovéto zastávky přitom působí jen nepatrné příčné zrychlení.

### 5.1.2 Zastávka se zálivem

Zastávka se zálivem už vyžaduje jízdní manévry se dvěma oblouky. Nástupní hrana takovéto zastávky se nachází mimo jízdní pruh. Při zajíždění do zastávky musí řidič dávat znamení o změně směru jízdy. Při tom musí řidič vozidla MHD dávat pozor na okolí zastávky, ve které se mohou vyskytovat zaparkovaná vozidla zasahující do prostoru zastávky, a na výšku nástupní hrany zastávky a také na úhel, pod kterým do zastávky vjíždí. Kombinace nízkopodlažního vozidla a vysokého obrubníku v zastávce může způsobit náraz hrany vozidla do obrubníku, což může vést k poškození vozidla.



Obrázek 24 - Poškození vozidla od nástupní hrany zastávky

Při vyjíždění ze zastávky se zálivem si řidič vozidla MHD musí počínat opatrně. Zvýšenou pozornost musí dbát řidiči třínápravových vozidel Škoda 28Tr. Při výjezdu ze zastávky s velkým natočením volantu hrozí, že zadním převisem vozidla, který vybočuje až o 1,4 metru, může dojít ke kontaktu tohoto převisu s hranou obrubníku, případně může dojít i ke střetu zadní části vozidla s osobou stojící na zastávce. Před započítím manévru výjezdu ze zastávky musí dát řidič znamení o změně směru jízdy. Po výstupu a nástupu cestujících, zavření dveří a kontrole jejich zavření, řidič vozidla MHD začne sledovat situaci v průběžném jízdním pruhu do kterého se chce zařadit.

V tomto okamžiku může nastat několik situací:

- a) v průběžném pruhu se nenachází žádné vozidlo,
- b) v průběžném pruhu se nachází vozidlo, které dává jasným signálem řidiči vozidla MHD pokyn, že může bezpečně vyjet ze zastávky,
- c) vozidlo v průběžném pruhu dává nejednoznačný signál a řidič vozidla MHD neví jistě, zda může ze zastávky vyjet,
- d) v průběžném pruhu jede souvislý proud vozidel neměnnou rychlostí, nereagujících na znamení o změně směru jízdy davané autobusem nebo trolejbusem stojícího v zastávce.



*Obrázek 25 - Výjezd ze zálivu s vyznačenou trajektorií jízdy*

Nastane-li situace *a)* nebo *b)* může řidič vozidla MHD akcelarovat bez omezení, a pokud tomu nebrání situace před vozidlem, může tak co nejrychleji dosáhnout cestovní rychlosti.

V případě situace *c)* se řidič rozjíždí ze zastávky se zvýšenou opatrností, nemůže si být stoprocentně jistý, zda mu vozidlo v průběžném pruhu umožní vyjetí ze zastávkového

zálivu, nebo řidič automobilu v průběžném pruhu zpomalil z jiného důvodu a vozidlo MHD s úmyslem opustit zastávku nezaregistroval. Rozjezd autobusu nebo trolejbusu je pomalejší, ne tak rázný, s menší hodnotou zrychlení.

Ačkoliv dle litery zákona by nemělo k takové situaci, která je popsána v odstavci *d*), vůbec docházet, není tento případ neobvyklý. V takové situaci řidiči autobusu nebo trolejbusu nezbývá jiná možnost než pomalou akcelerací a mírným vybočením vozidla viditelněji upozornit na záměr vyjetí ze zastávkového zálivu. Po zdůraznění úmyslu opuštění zastávky může nastat situace *c*) nebo *b*), případně po průjezdu všech vozidel situace *a*).

Vyhodnocení popsaných situací včetně naměřených dat zrychlení při vyjíždění ze zastávky v závislosti na jednotlivých situacích je uvedeno v kapitole 6 Vyhodnocování naměřených dat.

## 5.2 Provoz řízený semaforem

Pro řízení provozu na křižovatkách, samostatných přechodech pro chodce nebo přejezdech pro cyklisty se pro vozidla používá zejména tříbarevné soustavy SSZ. Na území České republiky se nepoužívá upozornění na změnu světelného signálu (ze zelené na žlutou) přerušovaným blikáním zeleného světla nebo návěstidlem s časovým odpočtem změny světelného signálu. To může být jistou komplikací pro řidiče těžkých nákladních vozidel a řidiče vozidel určených pro hromadnou přepravu osob.

Nejčastějším řešeným problémem je pro tyto řidiče vyhodnocení aktuální situace v okamžiku, kdy na semaforu dojde ke změně ze zeleného signálu „Volno“ na žlutý „Pozor!“. V této chvíli musí řidič zareagovat a vyhodnotit situaci, zda stihne před semaforem zastavit nebo ne. Problematickým je především okamžik změny světelného signálu ve chvíli, kdy je semafor takzvaně „na projetí daleko a na zastavení moc blízko“. Paragraf 70 odstavec 2 písmeno *d*) zákona 361/2000 Sb. mimo jiné uvádí – je-li vozidlo při rozsvícení signálu „Pozor!“ (žluté světlo) již tak blízko, že by řidič nemohl vozidlo bezpečně zastavit, smí pokračovat v jízdě.

Jak již bylo zmíněno, pro řízení provozu se používá zejména tříbarevné světelné soustavy. Pro řízení provozu na křižovatkách se v některých případech používá signálu „Doplňková zelená šipka“. U tohoto signálu nedochází k žádnému předchozímu upozornění, že dojde ke

zhasnutí této šipky a signální soustava tak v jednom okamžiku přejde ze signálu „Volno“ na „Stůj!“. Signální plán ovšem s tímto jevem počítá a cyklus řízení křižovatky je prodloužen o vyklizovací časy po této změně signálu. Provoz autobusů a trolejbusů může být také řízen SSZ se signály „Signály pro tramvaje“. Tyto signály se využívají v jízdních pruzích vyhrazených pro autobusy městské hromadné dopravy osob nebo trolejbusy.

Pořadí a délku jednotlivých světelných signálů určuje signální plán. Tyto signální plány se dělí na statické a dynamické. Právě znalost signálních plánů míst řízených semaforem je pro řidiče jediným možným způsobem v odhadu, zda křižovatku stihne projet, nebo bude muset zastavit. Řidiči MHD, kteří se pohybují po městě, znají ze zkušeností tyto signální plány a mohou se podle nich řídit. Například, blíží-li se k přechodu řízeného semaforem chodec, lze očekávat, že po zmáčknutí poptávkového tlačítka semaforu chodcem se změní signál pro vozidla na „Stůj!“. Tak může řidič dostatečně daleko před semaforem začít pozvolna brzdit. Stejně tak je možné na křižovatkách odhadnout změnu signálu například podle souběžného semaforu pro chodce.

Délky dob, po kterou jednotlivé signály svítí, musí splňovat požadavky ČSN 36 5601-1. Minimální hodnoty signální doby je pro signál „Volno“ 5 sekund, pro signál „Pozor!“ (současně svítící červené a žluté světlo) 2 sekundy a pro signál „Pozor!“ (žluté světlo) jsou to 3 sekundy.

### 5.3 Nebezpečné dopravní situace

Do této kategorie se dá zařadit velké množství situací, které mohou být vytvořeny různými účastníky silničního provozu. Za nebezpečné dopravní situace se dá považovat například nedání přednosti v jízdě, náhlé vstoupení chodce do vozovky, nebo omezení v jízdě. Nedání přednosti v jízdě vede k nutnosti prudkého zabrzdění, které je velice nebezpečné pro přepravované cestující.

K omezení v jízdě nejčastěji dochází v zatáčkách a křižovatkách, kdy vzhledem k šířce autobusu nebo trolejbusu je nutné využít co největší prostor jízdního pruhu. Řidiči ostatních vozidel často nevyužívají pouze svého pruhu, ale jízdní dráhu si zkracují, a tím zasahují do jízdní dráhy širšího vozidla. Nejčastěji je tento případ vidět právě v zatáčkách, kdy vozidla ve vedlejším jízdním pruhu, případně v protisměrném jízdním pruhu, tímto manévrem omezují až ohrožují ostatní vozidla. Dalším případem, který se vyskytuje v křižovatkách, je vybočování



vozidel na opačnou stranu, než ve skutečnosti odbočují. Tento zlozvyk si řidiči ani neuvědomují, ale k dopravní nehodě v takovém případě často schází pouhé centimetry.

Dalším omezením v jízdě ze strany automobilů je náhlá změna jízdního pruhu na vícepruhových komunikacích, případně před křižovatkou, při řazení do jízdních pruhů. Řidiči automobilů přejíždějí z pruhu do pruhu a řadí se natěsně před vozidlo které předjely. Tím se ale předjetému vozidlu výrazně zkrátí bezpečný rozestup mezi vozidly. V okamžiku, kdy pak začne automobil, který se před toto vozidlo zařadil, brzdit, např. před křižovatkou nebo přechodem pro chodce, nastává velké nebezpečí vzniku dopravní nehody, ať již nedobrzdním za automobilem, případně pádem cestujícího ve vozidle MHD.

Jedinou možností, jak předcházet mimořádným situacím jsou zkušenosti a znalosti místních poměrů, a v rizikových místech, kde se opakuje nestandardní a nebezpečné chování ostatních účastníků provozu, počítat s omezením ke kterému může potenciálně docházet. Typickým příkladem místa, kde velmi často dochází k porušování předpisů a tím i omezování jízdy rozměrných vozidel v pravém jízdním pruhu, je zatáčka u Střední průmyslové školy potravinářství a služeb ve směru od zimního stadionu na Náměstí Republiky (obrázek 26). Při jízdě s autobusem nebo trolejbusem pravým jízdním pruhem je nutné počítat s možností vjetí automobilu z levého jízdního pruhu do jízdní dráhy vozidla MHD. A právě předvídáním tohoto chování je možné se těmito nepříjemným situacím vyhnout a tím zabránit případné dopravní nehodě. Jinými slovy, udělat z neočekávané situace, situaci očekávanou.



*Obrázek 26 - Nebezpečné dopravní situace – zkracování jízdní dráhy*

## 6 VYHODNOCOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH DAT

Jak již bylo zmíněno, měření bylo prováděno v běžném provozu s cestujícími na linkách městské hromadné dopravy v Pardubicích. Data byla měřena pomocí mobilního telefonu a zaznamenávána pomocí mobilní aplikace Accelerometer Meter. Měření probíhalo 11 dní a po dobu celé směny. Během těchto směn byla ujeta vzdálenost 1000 km. Autobusy a trolejbusy po celou dobu měření řídil stejný řidič. Řidič, muž ve věku 26 let, bez očních vad, pracující u DP tři roky a je zaměstnán na pracovní dohodu. Za tuto dobu na linkách MHD ujel vzdálenost 33 000 km.

Vyhodnocení naměřených dat bude v závislosti na vybraných dopravních situacích, jak bylo uvedeno v předchozí kapitole. V případě zastávek bude provedena analýza tohoto manévru ve spojitosti s dosahovaným zrychlením a časem potřebným k provedení tohoto manévru. U semaforů se bude řešit správnost vyhodnocení situace řidičem, zda bylo vhodné pokračovat v jízdě, nebo byl dostatečný čas k bezpečnému zastavení vozidla před semaforem a také jaká velikost brzdného zpomalení vozidlo dosáhlo v případě zastavení. V podkapitole nebezpečné dopravní situace bude provedena analýza vzniku a řešení vybraných nebezpečných situací v souvislosti s reakcí řidiče.

V příloze této práce se nachází CD s videi se všemi zde uvedenými situacemi, přičemž z kapitoly Zastávky jsou vybrány dvě vzorové situace a pro kapitoly Provoz řízený semaforem a Nebezpečné dopravní situace jsou videa ze všech vyhodnocovaných situací.

### 6.1 Zastávky

Vyhodnocení manévru výjezdu vozidla MHD ze zastávky se zářivkem bude rozděleno na dvě situace. První vyhodnocení bude pro případ, kdy se v průběžném pruhu nenachází žádné vozidlo nebo se v průběžném pruhu nachází vozidlo, které dává jasným signálem řidiči vozidla MHD pokyn, že může bezpečně vyjet ze zastávky (kapitola 5.1.2 situace *a*, *b*). Druhým případem bude situace, kdy nebylo zcela jasné, zda vozidlo v průběžném pruhu umožní autobusu nebo trolejbusu bezpečné vyjetí ze zastávky a řidič vozidla MHD se rozjíždí se zvýšenou opatrností (kapitola 5.1.2 situace *c*, *d*).

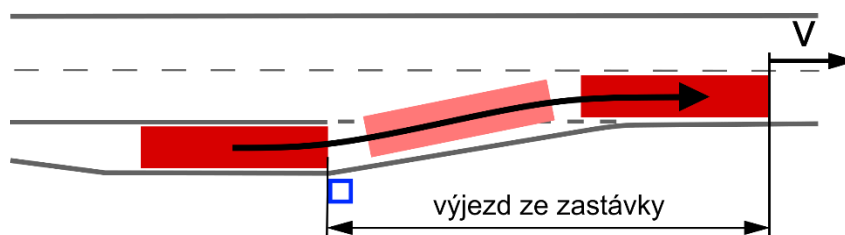
### 6.1.1 Výjezd ze zastávky

Pro vyhodnocení této situace bylo zpracováno celkem 200 výjezdů ze zastávky se zálivem. Naměřená data hodnot zrychlení byla společná pro autobusy a pro trolejbusy. Každá skupina obsahovala 100 hodnot. Soubor naměřených dat byl následně statisticky vyhodnocen pro parametry:

- maximální hodnota podélného zrychlení
- průměrné podélné zrychlení
- čas potřebný k výjezdu ze zastávky
- rychlost na konci manévru
- maximální příčné zrychlení (110 hodnot, viz. dále)

Čas potřebný k výjezdu ze zastávky je doba od okamžiku, kdy se vozidlo začalo rozjíždět, do doby zařazení vozidla do jízdniho pruhu, viz. obrázek 27. Konec manévru byl určen pomocí kamerového záznamu a nulové hodnoty příčného zrychlení.

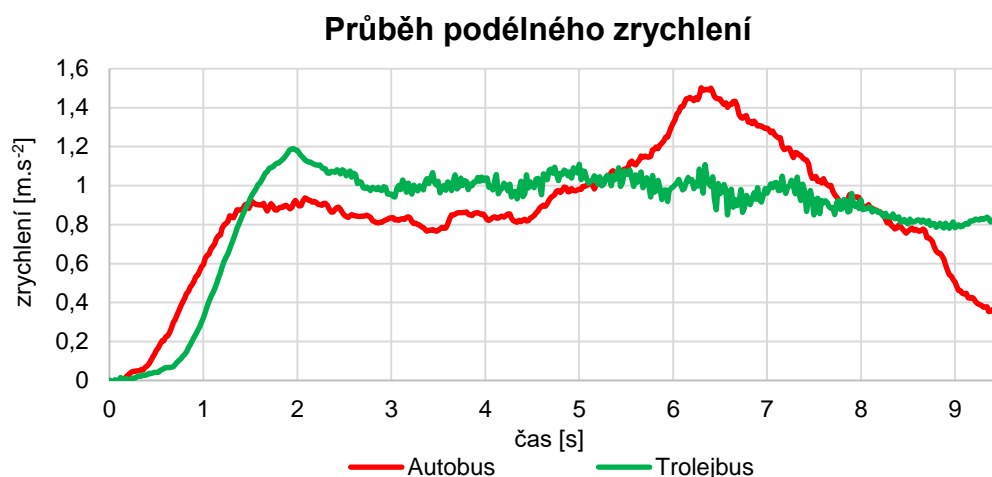
Vyhodnoceny byly rovněž hodnoty příčného zrychlení, kterých se dosahovalo během výjezdů ze zastávek. Vzhledem ke skutečnosti, že ne vždy bylo možné umístit mobilní telefon do osy souměrnosti vozidla, byl vyhodnocen soubor dat pro menší počet výjezdů ze zastávek, celkem 110 hodnot, aby nebyly hodnoty příčného zrychlení zkresleny výrazným kolébáním vozidla podle osy x.



Obrázek 27 - Výjezd ze zastávky

Průběh zrychlení během výjezdu ze zastávky znázorňuje graf 4. U autobusů průběh zrychlení během rozjezdu výrazně kolísá. To je způsobeno především změnou převodového stupně během rozjezdu vozidla. V případě trolejbusů je hodnota dosahovaného podélného zrychlení největší v okamžiku rozjezdu a postupně klesá. To je dáno účinností elektromotoru, který poskytuje největší točivý moment takřka v nulových otáčkách.

Graf 4 - Průběh podélného zrychlení při rozjezdu ze zastávky



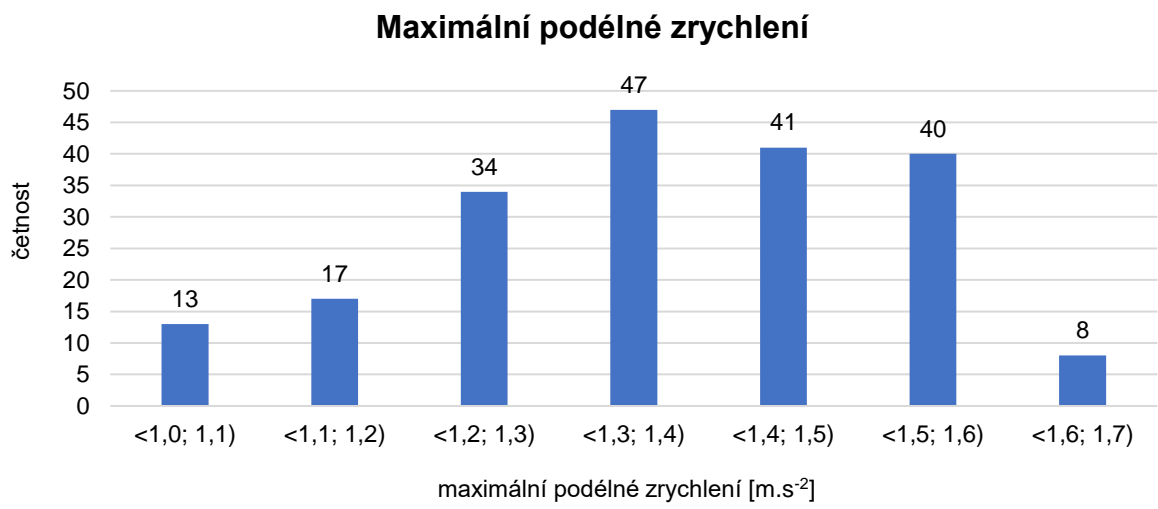
### 6.1.1.1 Maximální hodnota podélného zrychlení

Maximální hodnoty podélného zrychlení se pohybovaly v rozmezí od 1 do 1,6 m.s<sup>-2</sup>. Variační rozpětí pro maximální zrychlení je tedy 0,6 m.s<sup>-2</sup>. V následující tabulce jsou rozděleny naměřené hodnoty zrychlení podle intervalů.

Tabulka 2 - Statistické vyhodnocení – maximální hodnoty podélného zrychlení [m.s<sup>-2</sup>]

Interval hodnot zrychlení	Četnost
<1,0; 1,1)	13
<1,1; 1,2)	17
<1,2; 1,3)	34
<1,3; 1,4)	47
<1,4; 1,5)	41
<1,5; 1,6)	40
<1,6; 1,7)	8
Σ	200
<b>Střední hodnota</b>	1,32
<b>Směrodatná odchylka</b>	0,16
<b>Medián</b>	1,3
<b>Modus</b>	1,3

Graf 5 - Histogram – maximální hodnoty podélného zrychlení



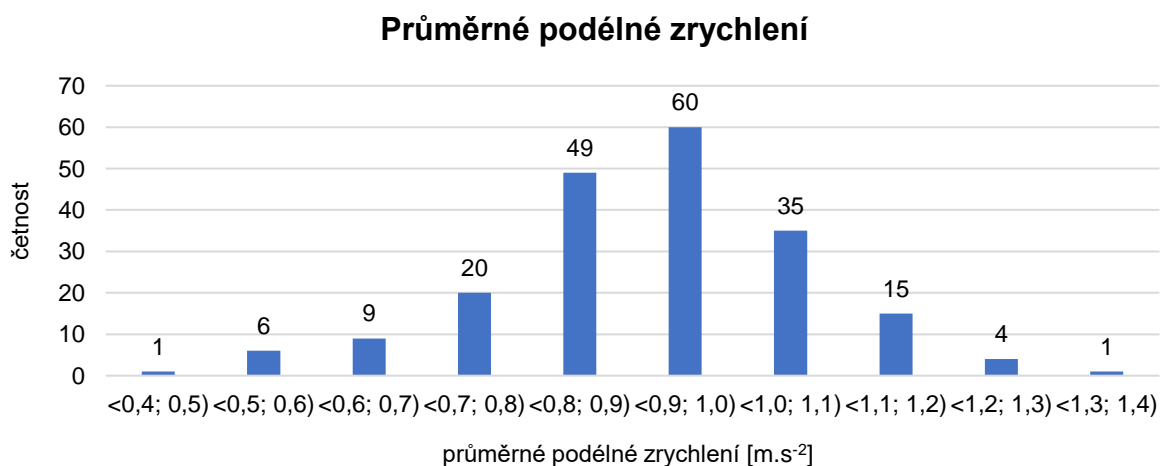
### 6.1.1.2 Průměrné podélné zrychlení

Hodnoty průměrného podélného zrychlení, kterých se dosahovalo během výjezdu ze zastávky, se pohybovaly v rozmezí od 0,46 do 1,33 m.s<sup>-2</sup>.

Tabulka 3 - Statistické vyhodnocení – průměrné podélné zrychlení [m.s<sup>-2</sup>]

Interval hodnot zrychlení	Četnost
<0,4; 0,5)	1
<0,5; 0,6)	6
<0,6; 0,7)	9
<0,7; 0,8)	20
<0,8; 0,9)	49
<0,9; 1,0)	60
<1,0; 1,1)	35
<1,1; 1,2)	15
<1,2; 1,3)	4
<1,3; 1,4)	1
$\Sigma$	200
Střední hodnota	0,91
Směrodatná odchylka	0,15
Medián	0,91
Modus	0,83
Variační rozpětí	0,87
Minimum	0,46
Maximum	1,33

Graf 6 - Histogram – průměrné podélné zrychlení



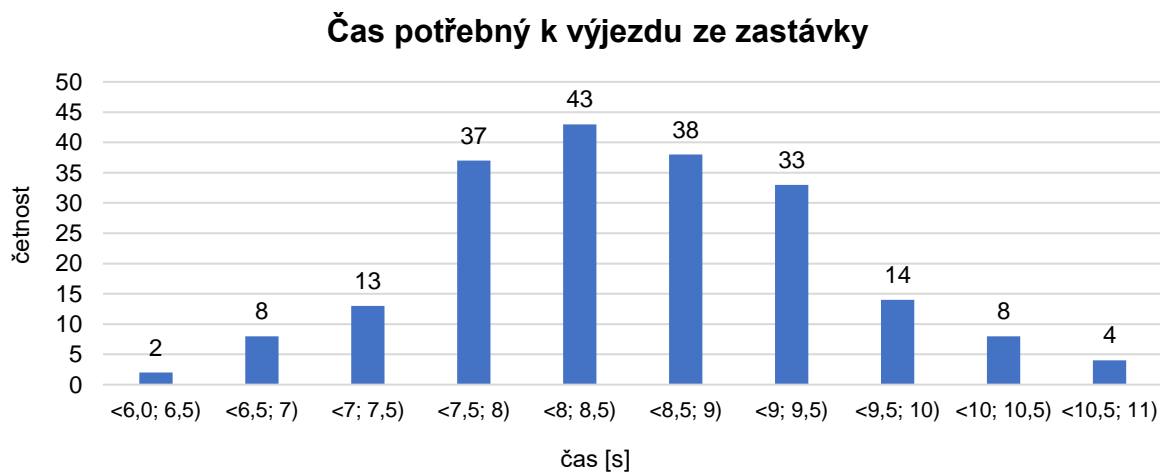
### 6.1.1.3 Čas potřebný k výjezdu ze zastávky

Čas, který je potřeba od rozjezdu po zařazení vozidla MHD do jízdního pruhu se pohyboval v rozmezí od 6 do 10,8 sekundy.

Tabulka 4 - Statistické vyhodnocení – čas potřebný k výjezdu ze zastávky [s]

Časový interval	Četnost
<6,0; 6,5)	2
<6,5; 7,0)	8
<7,0; 7,5)	13
<7,5; 8,0)	37
<8,0; 8,5)	43
<8,5; 9,0)	28
<9,0; 9,5)	33
<9,5; 10,0)	14
<10,0; 10,5)	8
<10,5; 11,0)	4
$\Sigma$	200
<b>Střední hodnota</b>	8,4
<b>Směrodatná odchylka</b>	0,9
<b>Medián</b>	8,4
<b>Modus</b>	8,0
<b>Variační rozpětí</b>	4,8
<b>Minimum</b>	6,0
<b>Maximum</b>	10,8

Graf 7 - Histogram – čas potřebný k výjezdu ze zastávky



#### 6.1.1.4 Rychlost na konci manévru

Hodnoty dosahovaných rychlostí na konci manévru byly rozprostřeny do širokého variačního rozpětí od 14 do 39 km/h. V následující tabulce je základní statistické vyhodnocení souboru dat dosahovaných rychlostí.

Tabulka 5 - Statistické vyhodnocení – rychlost na konci manévru [km.h<sup>-1</sup>]

Střední hodnota	27,55
Směrodatná odchylka	4,77
Medián	28
Modus	30
Variační rozpětí	25
Minimum	14
Maximum	39

#### 6.1.1.5 Maximální příčné zrychlení

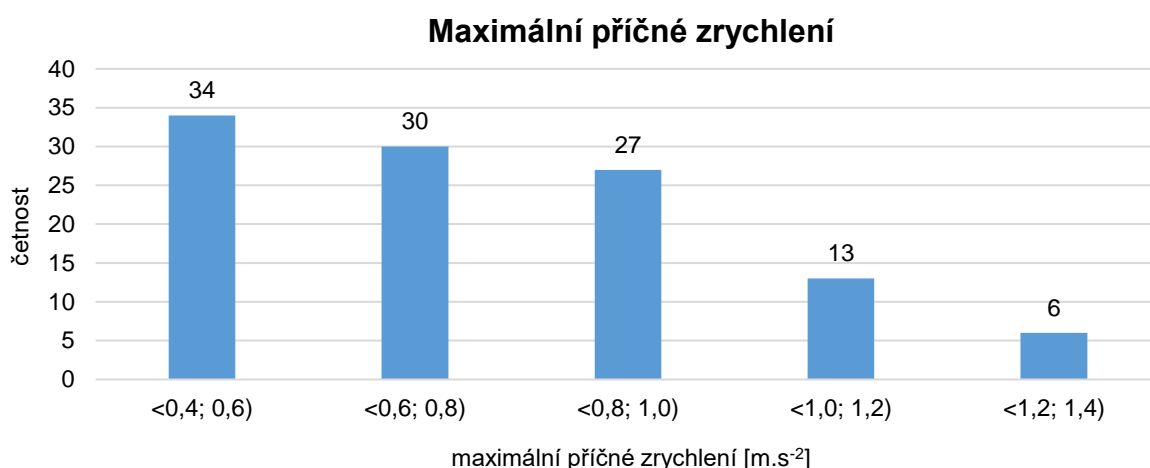
Maximální hodnoty příčného zrychlení se pohybovaly v rozmezí od 0,4 do 1,3 m.s<sup>-2</sup>. V následující tabulce jsou rozděleny naměřené hodnoty zrychlení do intervalů. Velikost intervalu 0,2 m.s<sup>-2</sup> je pro rozdělení hodnot příčného zrychlení dostatečná.

Tabulka 6 - Statistické vyhodnocení – maximální příčné zrychlení [m.s<sup>-2</sup>]

Interval hodnot zrychlení	Četnost
<0,4; 0,6)	34
<0,6; 0,8)	30
<0,8; 1,0)	27
<1,0; 1,2)	13
<1,2; 1,4)	6
Σ	110
Střední hodnota	0,71
Směrodatná odchylka	0,23
Medián	0,7
Modus	0,5
Variační rozpětí	0,9
Minimum	0,4
Maximum	1,3



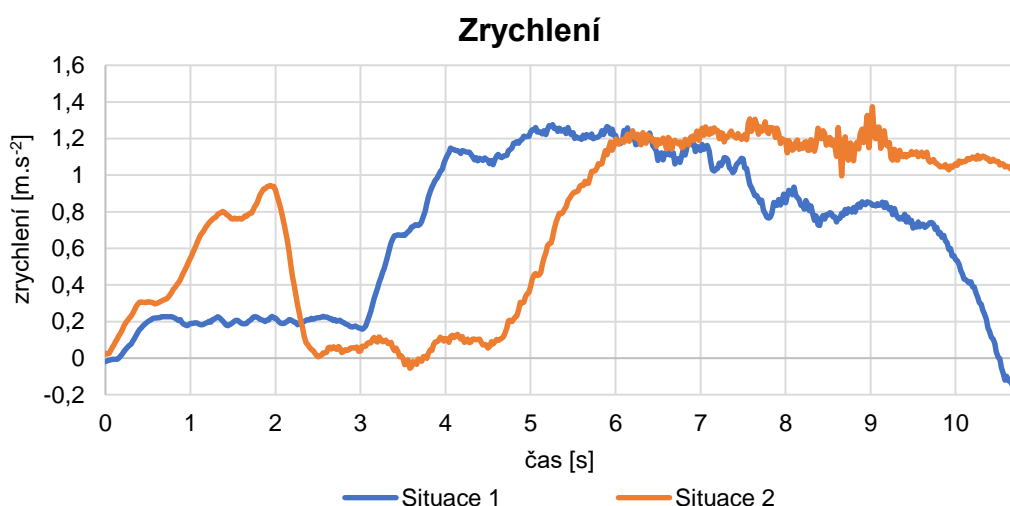
Graf 8 - Histogram – maximální příčné zrychlení



### 6.1.2 Výjezd ze zastávky se zvýšenou opatrností

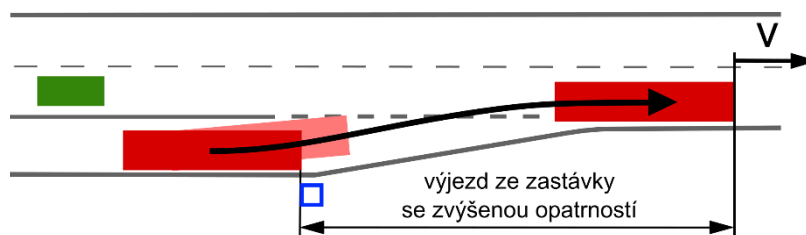
Jedná se o situaci, kdy se v jízdním pruhu nachází vozidlo, které nedává jednoznačný signál řidiči vozidla MHD, zda může ze zastávky vyjet. Graf 9 znázorňuje dvě situace průběhu zrychlení, kdy řidič autobusu nebo trolejbusu si není jistý, zda může ze zastávky bezpečně vyjet.

Graf 9 - Průběh podélného zrychlení při rozjezdu ze zastávky se zvýšenou opatrností



Situace 1 zobrazuje případ, kdy se řidič autobusu nebo trolejbusu začíná pomaličku rozjíždět s přibližně konstantním zrychlením do okamžiku, kdy dostane od řidiče automobilu v jízdním pruhu jasnější signál, že může bezpečně vyjet, a poté je už rozjezd shodný jako výjezd ze zastávky uvedený v kapitole 6.1.1. V prvním názorném případě je tedy celý manévr výjezdu ze zastávky se zálibem prodloužen o 3 sekundy. Situace 2 znázorňuje druhý případ, kdy řidič nejprve akceleruje a poté nechá vozidlo jet setrvačností až do doby, kdy mu automobil v jízdním

pruhu umožní bezpečné vyjetí ze zastávky. U druhého konkrétního případu je celková doba potřebná k vyjetí ze zastávky prodloužena o 4,5 sekundy. V této době, o kterou se prodlužuje celková doba výjezdu ze zastávky, řidič autobusu nebo trolejbusu se mírným vybočením vozidla snaží o viditelnější upozornění na záměr vyjetí ze zastávkového zálivu. Toto vybočení je výraznějším podmětem pro řidiče vozidel jedoucích v jízdním pruhu, kteří měli na směrovku vozidla MHD zakrytý výhled nebo si ji nevšimli. Na obrázku 28 vystihuje poloha autobusu vyznačená růžovou barvou okamžik, který je pro řidiče vozidel v průběžném pruhu výrazným podmětem ke zpomalení, případně zastavení a umožnění vyjetí autobusu ze zastávky.



Obrázek 28 - Výjezd ze zastávky se zvýšenou opatrností

Tento soubor dat obsahoval 21 situací, ve kterých se řidič vozidla MHD rozjížděl se zvýšenou opatrností. Vyhodnocení je společné pro jízdu s autobusem i trolejbusem. V tabulce 7 je statistické vyhodnocení podle stejných parametrů jako v předchozím případě, tedy: maximální hodnota podélného zrychlení, průměrné podélné zrychlení, čas potřebný k výjezdu ze zastávky a rychlost na konci manévru.

Tabulka 7 - Statistické vyhodnocení – výjezd ze zastávky se zvýšenou opatrností

	Maximální zrychlení [m.s <sup>-2</sup> ]	Průměrné zrychlení [m.s <sup>-2</sup> ]	Čas potřebný k výjezdu ze zastávky [s]	Rychlost na konci manévru [km.h <sup>-1</sup> ]
Střední hodnota	1,22	0,71	10,9	27,5
Medián	1,3	0,76	10,9	29
Modus	1,3	0,76	11,8	32
Variační rozpětí	0,7	0,6	3,3	21
Minimum	0,8	0,37	9,0	14
Maximum	1,5	0,97	12,3	35

### 6.1.3 Celkové vyhodnocení výjezdů ze zastávek

Ze statistického vyhodnocení vyplývá, že nejčastější dosahovaná maximální hodnota podélného zrychlení je 1,3 m.s<sup>-2</sup>, se střední hodnotou 1,32 m.s<sup>-2</sup>. Hodnota průměrného podélného zrychlení, které lépe vystihuje zrychlení během celého manévru výjezdu ze

zastávky, se pro 72 % hodnot nachází v intervalu  $<0,80; 1,10)$   $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ . Čas, který řidič vozidla MHD potřebuje od doby rozjezdu ze zastávky, po zařazení do jízdního pruhu se pohybuje od 6 do 10,8 sekund, přičemž střední hodnota celého souboru dat je 8,4 sekundy se směrodatnou odchylkou 0,9 sekundy. Na konci této doby potřebné k provedení celého manévru se rychlosti vozidel MHD pohybovaly v rozmezí 14 až 39 km/h. Okrajové nízké nebo naopak vysoké hodnoty všech uvedených posuzovaných veličin jsou dány rozdílnou konstrukcí jednotlivých zastávek, především hloubkou a délkou celého zálivu nacházející se mimo jízdní pruh. U průměrného podélného zrychlení a rychlosti jsou nízké hodnoty, a naopak delší časy rozjezdů, způsobeny ze strany souboru dat trolejbusů. Je to z důvodu nutnosti přizpůsobit techniku jízdy, resp. rozjezd, konstrukci trolejového vedení, především pak výhybkám v blízkosti zastávek, které je nutno projíždět sníženou rychlostí a pokud možno bez akcelerace. Nicméně naopak vyšší rychlosti na konci manévru jsou opět způsobeny trolejbusy. Vyšší hodnoty průměrného zrychlení, díky momentové charakteristice elektromotoru a absenci převodového ústrojí, dovolují trolejbusům větší akceleraci a dřívější dosažení vyšších rychlostí. V přílohách této práce se nachází celý tento hodnocený soubor dat rozdělen zvláště pro autobusy a trolejbusy. Hodnoty maximálního příčného zrychlení při výjezdu ze zastávek jsou mnohem více rozloženy v širším intervalu. Tomu odpovídá i větší směrodatná odchylka. Střední hodnota maximálního příčného zrychlení při výjezdu ze zastávky je  $0,71 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ , přičemž nejčastější dosahovanou hodnotou maximálního příčného zrychlení je  $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ .

Pro soubor dat výjezdu ze zastávky se zvýšenou opatrností je charakteristické zmenšení hodnoty průměrného podélného zrychlení a prodloužení času potřebného k provedení celého manévru. U průměrného zrychlení je střední hodnota zrychlení menší o  $0,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ , tj. o 22 %. Čas potřebný k výjezdu ze zastávky se v průměru prodlužuje o 2,5 sekundy. Při výjezdu ze zastávky se zvýšenou opatrností je tedy potřeba v průměru přibližně o 30 % více času, oproti situaci, kdy může řidič vozidla MHD bezpečně vyjet. Prodloužením času celého manévru vzniká menší potřeba větší akcelerace k dosažení cestovní rychlosti a tím dochází k poklesu maximálních hodnot zrychlení.

## 6.2 Provoz řízený semaforem

Jak již bylo zmíněno v kapitole Výběr a analýza dopravních situací, místa řízená světelnými signály představují jisté riziko pro řidiče vozidel určených pro hromadnou přepravu osob. Jedná se o riziko vzniku dopravní nehody pádem cestujícího ve vozidle, způsobené prudkým brzděním před semaforem, na kterém dojde ke změně světelného signálu.

V této kapitole bude vyhodnoceno několik situací, kdy došlo ke změně světelného signálu v okamžiku, kdy řidič vozidla MHD měl omezený čas na reakci a zhodnocení, zda bude bezpečnější pokračovat v jízdě nebo stihne bezpečně zastavit před místem daným zákonem.

Z vyhodnocení experimentů provedených v rámci diplomové práce Analýza zpomalování trolejbusů a vyhodnocení jejich účinků na stojící cestující od Bc. Petra Semmlera, který provedl soubor jízdních zkoušek a následné vyhodnocení vlivu brzdění na stabilitu stojících cestujících bylo zjištěno, že oblast zhoršené stability při brzdění se u mužů pohybuje v rozsahu zpomalení od 2,1 do 3,3 m/s<sup>2</sup> a u žen se tato oblast pohybuje od 1,9 do 2,8 m/s<sup>2</sup>. Oblast pro hodnoty menší jak 2,1 u mužů a 1,9 m/s<sup>2</sup> u žen je označena jako oblast bez zjevného vlivu na cestujícího. Oblast nad hodnotami 3,3 m/s<sup>2</sup> resp. 2,8 m/s<sup>2</sup> je označena za oblast extrémního zhoršení stability a pádu cestujícího. [20]

Z tohoto vyhodnocení vyplívá, že brzděné zpomalení vyšší jak 3 m/s<sup>2</sup> se již nachází na hranici definice „bezpečně zastavit vozidlo“. Pro teoretické výpočty byly zvoleny reprezentativní hodnoty brzděného zpomalení. Jako minimální hodnota brzděného zpomalení byla zvolena hodnota 2 m/s<sup>2</sup> jako hranice mezi nenarušenou a zhoršenou stabilitou stojících cestujících a maximální hodnota zpomalení 3 m/s<sup>2</sup> jako hranice mezi zhoršenou a extrémně zhoršenou stabilitou stojících cestujících.

Tabulka 8 - Hodnoty použité pro teoretické výpočty celkové dráhy pro zastavení

reakce řidiče $t_0$	1 s
prodleva brzd $t_1$	0,2 s
doba náběhu brzd $t_2$	0,5 s
minimální zpomalení $a_{min}$	2 m.s <sup>-2</sup>
maximální zpomalení $a_{max}$	3 m.s <sup>-2</sup>

### 6.2.1 Situace 1

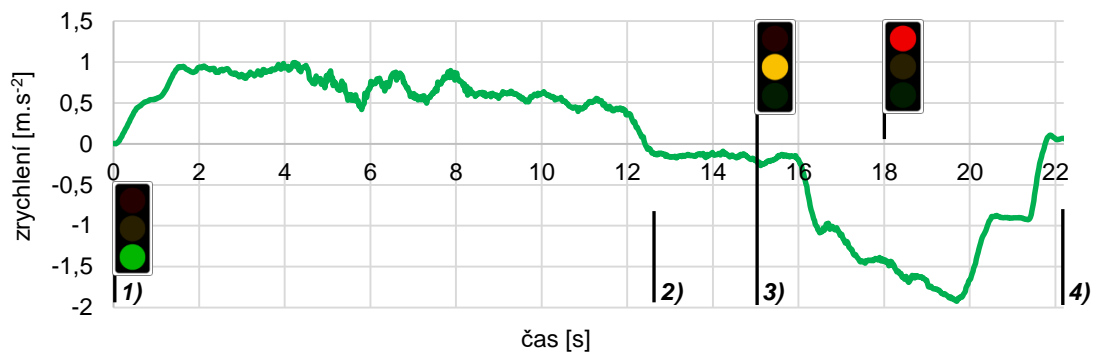
Výjezd z ulice Demokratické mládeže, křižovatka s ulicemi Jana Palacha, Chrudimská, Pod Břízkami řízená SSZ. Vozidlo, trolejbus Škoda 30Tr na lince č. 27, všichni cestující ve vozidle seděli. Ve vzdálenosti 100 metrů před křižovatkou se nachází zastávka Demokratické mládeže.



Obrázek 29 - Semaforey – průběh situace 1

- 1) Trolejbus se rozjíždí ze zastávky, která se nachází 100 metrů od křižovatky. Na křižovatce již svítí signál „Volno“.
- 2) Ve vzdálenosti 56 metrů před křižovatkou se nachází elektromagnetická výhybka, kterou lze ve směru na Zborovské náměstí projíždět rychlostí do 40 km/h. Aktuální rychlost vozidla 27 km/h. Trolejbus přes výhybku projíždí setrvačností.
- 3) Ve vzdálenosti 24 metrů od příčné čáry souvislé dochází na semaforu ke změně signálu z „Volno“ na „Pozor!“. Aktuální rychlost vozidla 26 km/h.
- 4) Po 7 sekundách od změny signálu trolejbus zastavuje před příčnou čarou souvislou.

Graf 10 - Semafory situace 1 – průběh zrychlení



Hodnota maximálního brzdného zpomalení byla  $1,9 \text{ m/s}^2$ , která nemá na stabilitu stojících cestujících výrazný vliv a vzhledem ke skutečnosti, že se ve vozidle nacházeli pouze sedící cestující byla celá situace vyhodnocena správně. Průměrné zpomalení bylo  $1,2 \text{ m/s}^2$ . Celková dráha pro zastavení dle vztahu (14) uvedeného v kap. 1, pro hodnoty uvedené v tabulce 8 z rychlosti  $26 \text{ km/h}$  je pro hodnotu  $2 \text{ m/s}^2$   $23,5$  metru a pro hodnotu  $3 \text{ m/s}^2$   $19,2$  metru.

## 6.2.2 Situace 2

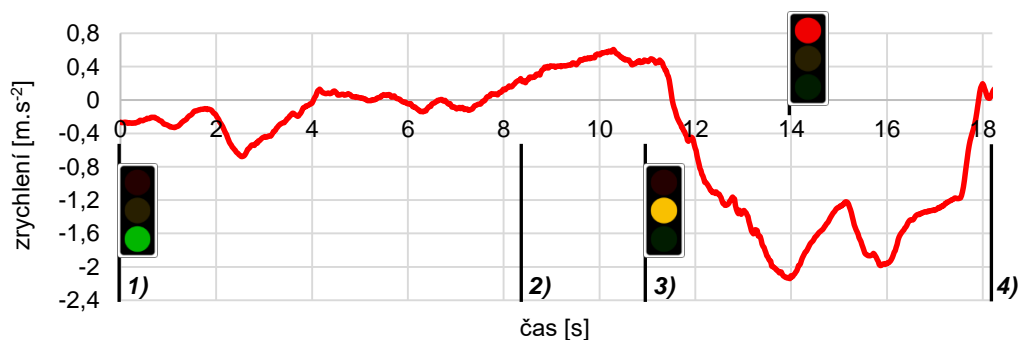
Semafor na přechodu pro chodce na Náměstí Republiky. Vozidlo, autobus Karosa B951E na lince č. 12 jedoucí ve směru na Hlavní nádraží. Ve vozidle byli sedící i stojící cestující. V místě přechodu pro chodce je dopravním značením omezena maximální rychlost na 30 km/h.



Obrázek 30 - Semafor – průběh situace 2

- 1) Autobus vjíždí do zatáčky u divadla rychlostí 30 km/h.
- 2) Ve vzdálenosti 54 metrů před přechodem pro chodce vybavený SSZ, a po projetí zatáčky začíná autobus zrychlovat. Aktuální rychlost vozidla 26 km/h.
- 3) Ve vzdálenosti 34 metrů od příčné čáry souvislé dochází na semaforu ke změně signálu z „Volno“ na „Pozor!“. Aktuální rychlost vozidla 30 km/h.
- 4) Po 7 sekundách od změny signálu autobus zastavuje čelem na příčné čáře souvislé.

Graf 11 - Semafor situace 2 – průběh zrychlení



Hodnota maximálního brzdného zpomalení byla  $2,15 \text{ m/s}^2$ . Tato hodnota se nachází již v oblasti zhoršené stability stojících cestujících. To je potvrzeno i ze sledování v této konkrétní situaci, kdy bylo jasně slyšet smýkání podrážek bot cestujících po podlaze autobusu. Průměrné zpomalení bylo  $1,3 \text{ m/s}^2$ . Celková dráha pro zastavení dle vztahu (14) uvedeného v kap. 1, pro hodnoty uvedené v tabulce 8 z rychlosti  $30 \text{ km/h}$  je pro  $a_{min}$   $29,4 \text{ m}$  a pro  $a_{max}$   $23,7 \text{ m}$ . To je minimálně o  $4,6 \text{ m}$  méně, než měl řidič k dispozici. Na grafu 11 (mezi body 3) a 4)) je také vidět, že tuto vzdálenost řidič využil a zpomalení se snažil co nejlépe rozložit a brzdit co nejvíce plynule.



### 6.2.3 Situace 3

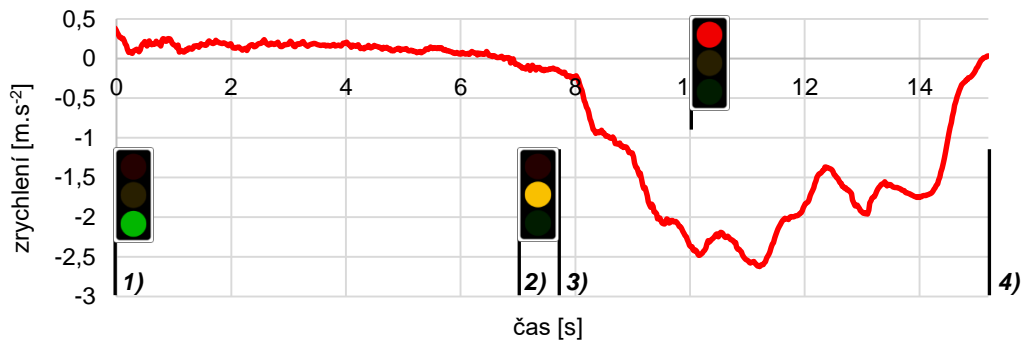
Křižovatka ulic Palackého a K Polabinám řízená SSZ s dynamickým řízením cyklu reagující na vozidla vyjíždějící z ulice K Polabinám. Vozidlo, autobus Irisbus Citybus na lince č. 9 směřující na Hlavní nádraží. Ve vozidle se nacházeli sedící cestující a 5 cestujících v době brzdění stálo. Maximální povolená rychlost v místě je 50 km/h.



Obrázek 31 - Semafory – průběh situace 3

- 1) Autobus míjí zastávku Palackého a pohybuje se rychlostí 36 km/h a zrychluje.
- 2) Ve vzdálenosti 48 metrů od příčné čáry souvislé dochází na semaforu ke změně signálu z „Volno“ na „Pozor!“. Aktuální rychlost vozidla 40 km/h.
- 3) Téměř okamžitě řidič na tuto situaci zareagoval a došlo k přendání nohy z akceleračního pedálu na brzdový pedál (dle zvuku na videozáznamu) a začíná brzdit. Rychlost jízdy je stejná jako v předchozím případě 40 km/h.
- 4) Po necelých 8 sekundách od změny signálu autobus zastavuje přibližně 0,5 metru za příčnou čarou souvislou.

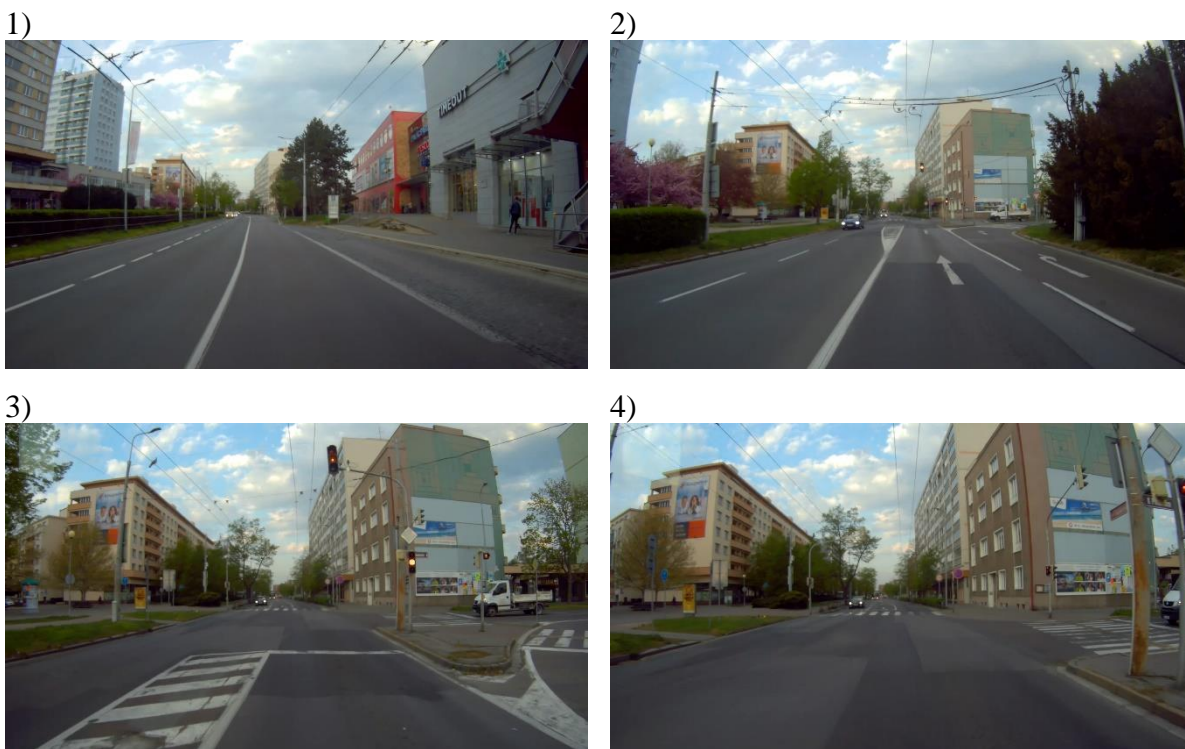
Graf 12 - Semaforey situace 3 – průběh zrychlení



Hodnota maximálního brzdného zpomalení byla  $2,6 \text{ m/s}^2$ . Tato hodnota zpomalení se nachází v oblasti zhoršené stability pro stojící cestující. Průměrné zpomalení bylo  $1,6 \text{ m/s}^2$ . Opět jako v předchozím případě bylo slyšet smýkání podrážek bot cestujících po podlaze a byl viditelný i jejich výrazný pohyb dopředu způsobený brzděním. Celková dráha pro zastavení dle vztahu (14) uvedeného v kap. 1, pro hodnoty uvedené v tabulce 8 z rychlosti  $40 \text{ km/h}$  je pro  $a_{min}$   $47 \text{ m}$  a pro  $a_{max}$   $36,7 \text{ m}$ . Na grafu 12 (mezi body 3) a 4)) je vidět, jak se řidič snažil co nejlépe využít zbývající vzdálenost před semaforem a brzdil co nejvíce plynule, a to až do zastavení i za cenu přejetí příčné čáry souvislé, tedy místa dané zákonem, kde řidič musí zastavit vozidlo před semaforem.

#### 6.2.4 Situace 4

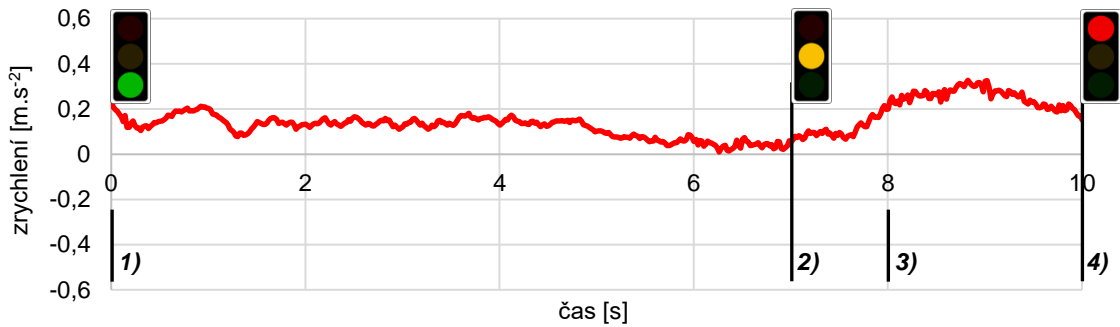
Křižovatka ulic Palackého a K Polabinám řízená SSZ s dynamickým řízením cyklu reagující na vozidla vyjíždějící z ulice K Polabinám. Vozidlo, autobus Irisbus Citybus na lince č. 16 směřující na Hlavní nádraží. Ve vozidle se nacházeli sedící a stojící cestující. Maximální povolená rychlost v místě je 50 km/h.



Obrázek 32 - Semaforey – průběh situace 4

- 1) Autobus míjí zastávku Palackého a pohybuje se rychlostí 34 km/h a zrychluje.
- 2) Ve vzdálenosti 36 metrů od příčné čáry souvislé dochází na semaforu ke změně signálu z „Volno“ na „Pozor!“. Rychlost autobusu je 38 km/h.
- 3) Po změně signálu řidič vyhodnotil situaci jako rizikovou pro brzdění a rozhodl se křižovatkou projet a lehce sešlápl akcelerační pedál (viz graf).
- 4) Po 3 sekundách od okamžiku změny signálu z „Volno“ na „Pozor!“ dochází ke změně signálu SSZ na „Stůj!“. V tomto okamžiku míjí čelo vozu příčnou čáru souvislou, rychlost jízdy 41 km/h.

Graf 13 - Semafory situace 4 – průběh zrychlení



V okamžiku změny signálu ze zelené na žlutou měl řidič k dispozici na zastavení před příčnou čarou souvislou 36 metrů, přičemž rychlost autobusu byla 38 km/h. Při použití vztahu (14) uvedeného v kapitole 1 a dosazení hodnot dle tabulky 8, vychází celková dráha pro zastavení pro  $a_{min}$  43,2 m a pro  $a_{max}$  33,9 metru. V ideální případě byla možnost zastavit autobus ještě před místem k tomu určeným. Vzhledem k tomu, že se v autobusu nacházelo i větší množství stojících cestujících, řidič situaci vyhodnotil jako nebezpečnou z důvodu, že by musel začít prudce brzdít a místo brzdění mírně zrychlil. I přes to, že autobus do křižovatky vjíždí na červenou, bylo dle názoru řidiče bezpečnější projetí této křižovatky než případné brzdění s možným pádem cestujícího ve vozidle.

Protože se jedná o reálnou situaci, musíme při teoretickém výpočtu potřebného brzdného zpomalení do zastavení před semaforem uvažovat i reakční dobu řidiče. Použitím rovnice (14) a hodnot  $t_0 - t_2$  z tabulky 8, vychází hodnota potřebného brzdného zpomalení  $2,69 \text{ m/s}^2$ . V případě náhlého zabrzdění by okamžitá hodnota maximálního zpomalení dosáhla hodnot blízkých  $3 \text{ m/s}^2$ . Tato hodnota je hraniční hodnotou mezi zhoršenou stabilitou stojících cestujících a extrémně zhoršenou stabilitou stojících cestujících s možným rizikem jejich pádu.

### 6.2.5 Situace 5

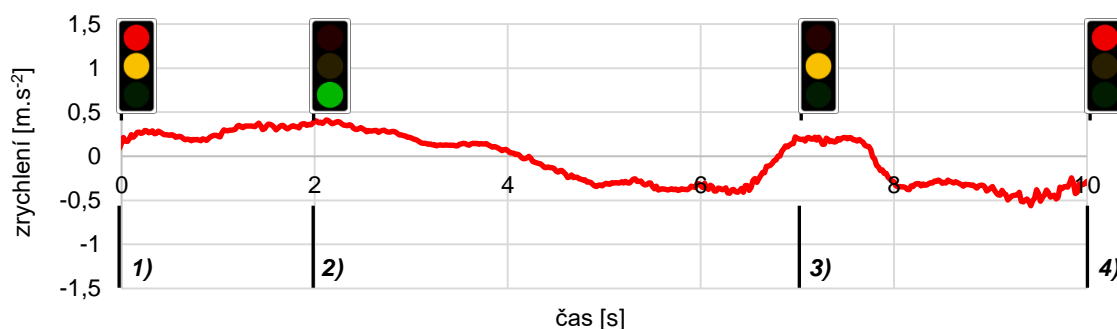
Křižovatka ulic Palackého a Hlaváčova řízená SSZ. Vozidlo, autobus Irisbus Citybus na lince č. 9 směřující na Hůrka. Ve vozidle se nacházel jeden sedící a jeden stojící cestující. Maximální povolená rychlost v místě je 50 km/h.



Obrázek 33 - Semafory – průběh situace 5

- 1) Autobus vyjíždí z vyhrazeného jízdního pruhu ze zastávky Hlavní nádraží a pohybuje se rychlostí 38 km/h.
- 2) Ve vzdálenosti přibližně 102 metrů od příčné čáry souvislé se mění na semaforu signál na „Volno“. Rychlost autobusu je 38 km/h a zrychluje.
- 3) Ve vzdálenosti 37 metrů od příčné čáry souvislé dochází na semaforu ke změně signálu z „Volno“ na „Pozor!“. Rychlost autobusu v tomto okamžiku je 42 km/h.
- 4) Po 3 sekundách od okamžiku změny signálu z „Volno“ na „Pozor!“ dochází ke změně signálu SSZ na „Stůj!“. V tomto okamžiku míjí čelo vozu příčnou čáru souvislou, rychlost jízdy 43 km/h.

Graf 14 - Semafory situace 5 – průběh zrychlení



V okamžiku změny signálu ze zelené na žlutou měl řidič k dispozici na zastavení před příčnou čarou souvislou 37 metrů, přičemž rychlost autobusu byla 42 km/h. Při použití vztahu (14) uvedeného v kapitole 1 a dosazení hodnot dle tabulky 8, vychází celková dráha pro zastavení pro  $a_{min}$  50,9 m a pro  $a_{max}$  39,6 metru. To znamená, že by vozidlo zastavilo nejdříve až 2,6 metru za místem daném zákonem. I když se jednalo o brzké ranní hodiny a malý počet cestujících ve vozidle, bylo by reálné brzdit i s větším brzdným zpomalením. Nicméně řidič situaci vyhodnotil tak, že by bylo brzdění náhlé a chtěl se vyhnout možným komplikacím případným zraněním stojícího cestujícího, který by takto prudké zabrzdění nemusel čekat.

Protože se opět jedná o reálnou situaci, musíme při teoretickém výpočtu potřebného brzdného zpomalení do zastavení před semaforem uvažovat i reakční dobu řidiče. Použitím rovnice (14) a hodnot  $t_0 - t_2$  z tabulky 8, vychází hodnota potřebného brzdného zpomalení 3,38 m/s<sup>2</sup>. Tato hodnota zpomalení již výrazně zasahuje do pásma extrémně zhoršené stability stojících cestujících vedoucích až k jejich pádu. V tomto konkrétním případě se tedy jedná o nebezpečnou situaci pro cestující ve voze a rozhodnutí řidiče pokračovat v jízdě i za cenu projetí semaforu na červenou bylo správné.

### 6.3 Nebezpečné dopravní situace

Jak bylo uvedeno v kapitole 5.3, do této kategorie se dají zařadit různé situace. Pro analýzu a vyhodnocení v rámci této diplomové práce byly vybrány celkem čtyři konkrétní případy, při kterých musel řidič velmi rychle reagovat na vzniklou situaci sešlápnutím brzdového pedálu. Pro každou situaci bude popsáno, co jí předcházelo a jak a kdy na tuto situaci začal reagovat řidič vozidla MHD.

Všechny následující situace byli na základě naměřených hodnot zrychlení a videozáznamů zpracovány v programu PC-Crash. Grafické výstupy z těchto analýz jsou uvedeny na volně vložených listech jako přílohy této práce.

### 6.3.1 Situace 1

Vstup chodce do vozovky před přechodem pro chodce v ulici Jana Zajíce u zastávky Dubina, centrum. Vozidlo, trolejbus Škoda 14TrM na lince č. 11 jedoucí směrem na konečnou Dubina, sever. Ve vozidle se nacházeli sedící cestující, kteří se v době 2) – 3) uvedeným na obrázku 34 začali zvedat a připravovat k výstupu.

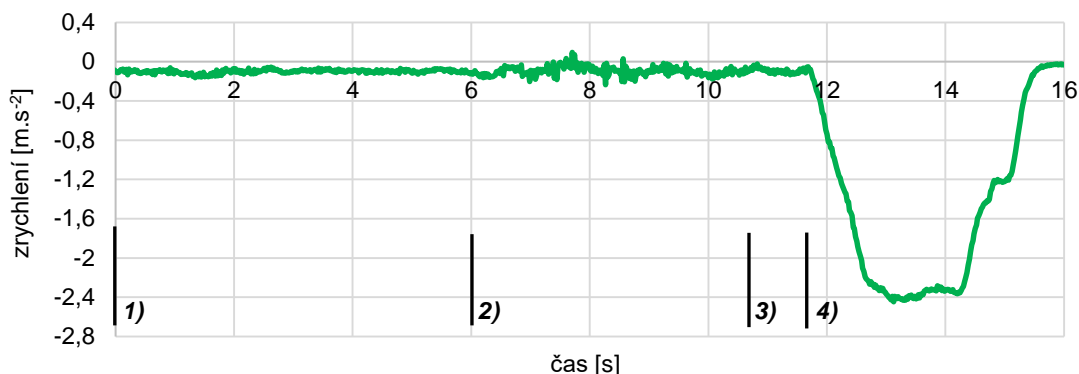


Obrázek 34 - Nebezpečné dopravní situace – průběh situace 1

- 1) Trolejbus jede rychlostí 38 km/h, řidič sleduje řadu zaparkovaných vozidel po pravé straně, zda nějaké z nich nevyjíždí z parkovacího stání.
- 2) Ve vzdálenosti 57 metrů od přechodu pro chodce řidič vidí skupinku chodců, kteří zjevně hodlají použít přechod a také registruje chodce v blízkosti přechodu (označen žlutým kroužkem). Aktuální rychlost vozidla 34 km/h. Vzhledem k zastávce nacházející se za přechodem řidič usoudil, že vzhledem k přecházejícím chodcům nebude muset nijak výrazněji brzdit a za skupinkou chodců projede s dostatečnou časovou rezervou.

- 3) Ve vzdálenosti 27 metrů od přechodu se skupinka chodců nachází již na ostrůvku a trolejbus má volnou cestu. Aktuální rychlost trolejbusu je 31 km/h. V ten samý okamžik chodec nacházející se vpravo na chodníku mění rychlost své chůze a směřuje k vozovce.
- 4) Chodec vstupuje bez rozhlédnutí do vozovky a v ten samý okamžik již začíná řidič okamžitě brzdit. Pro zesílení brzdného účinku sešlapuje oba dva brzdové pedály (elektrodynamickou brzdu a pneumatickou provozní brzdu).

Graf 15 - Nebezpečná dopravní situace 1 – průběh zrychlení

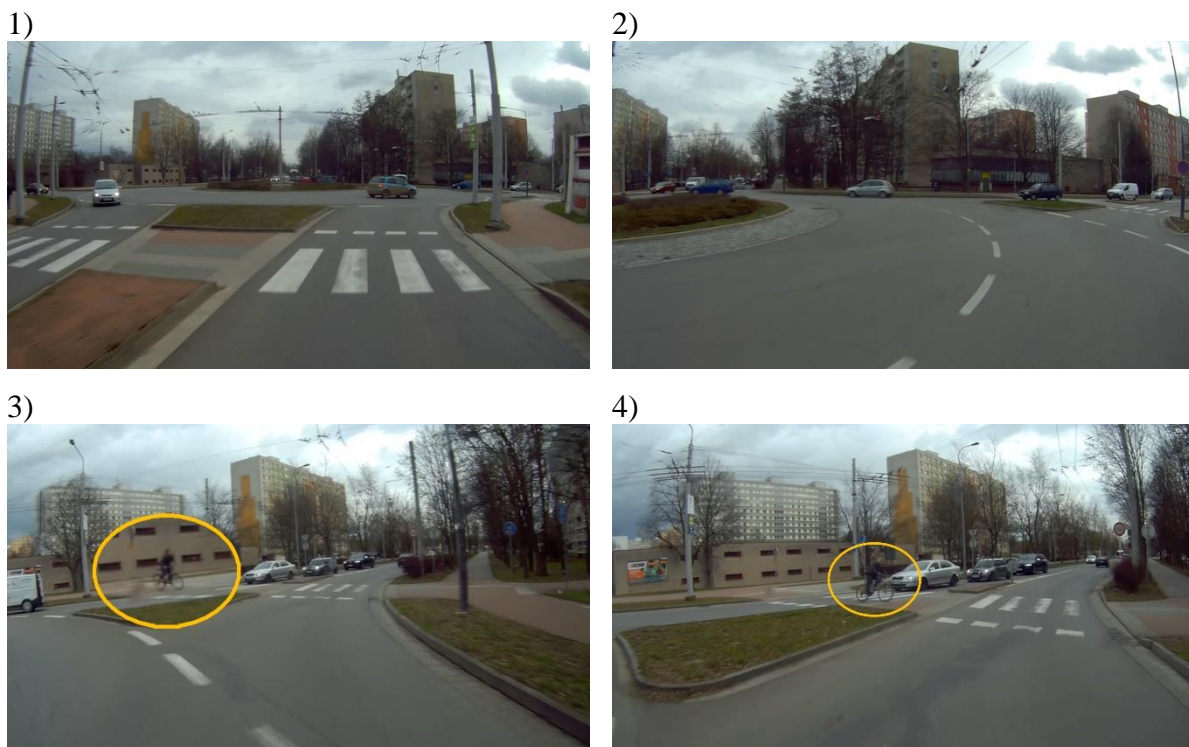


Na grafu 15 je vidět, že řidič s trolejbusem až do okamžiku vstupu chodce do vozovky 3) jel setrvačností. Krátce před okamžikem, než chodec vstoupil do vozovky, řidič jeho možný záměr vstupu do vozovky registroval a na videozáznamu je vidět i slyšet, že ve chvíli, kdy chodec vstupuje do vozovky již šlape na brzdové pedály. Předvídání a téměř okamžitá reakce sešlápnutím brzdových pedálů umožnila brzdění s menším zpomalením a tím i menší vliv na cestující, kteří se v danou chvíli připravovali k výstupu a bylo tak zvýšené riziko zhoršení jejich stability. Maximální zpomalení, které se při brzdění dosáhlo bylo  $2,4 \text{ m/s}^2$ , při průměrném zpomalení  $1,6 \text{ m/s}^2$ . Brzdění probíhalo po dobu 4 sekund a došlo ke snížení rychlosti o 23 km/h. Řidič přestal brzdit v době, kdy chodec se chodec nacházel na ostrůvku.

### 6.3.2 Situace 2

Přejezd pro cyklisty přimknutý k přechodu pro chodce na kruhovém objezdu v ulici Kpt. Bartoše v Polabinách. Vozidlo, trolejbus Škoda 14TrM na lince č. 13 jedoucí směrem na konečnou Dubina, sever. Vzhledem k předchozí zastávce u nákupního centra a odpolední špičce se ve vozidle nacházel větší počet cestujících včetně stojících.

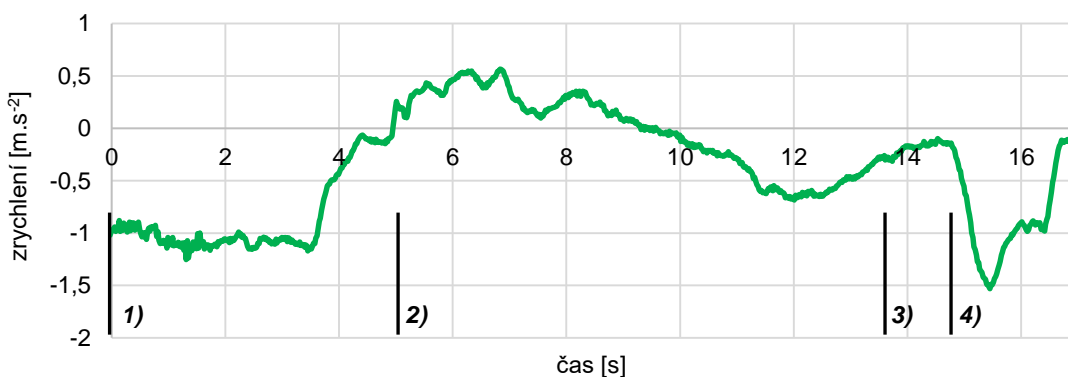




Obrázek 35 - Nebezpečné dopravní situace – průběh situace 2

- 1) Trolejbus vjíždí na kruhový objezd, řidič dává přednost vozidlům na kruhovém objezdu.
- 2) Po vjezdu na kruhový objezd řidič pohledem kontroluje směr postavení výhybky umístěné na kruhovém objezdu a také chování řidičů přijíždějících ze směru od Rosic. Aktuální rychlost vozidla vzhledem k přizpůsobování rychlosti jízdy trolejovému vedení je 18 km/h.
- 3) Ve vzdálenosti 15 metrů od přechodu řidič registruje rychle se pohybující cyklistku vjíždějící zleva na přejezd pro cyklisty přimknutý k přechodu pro chodce.
- 4) Řidič začíná okamžitě reagovat a pro potřebu případného zabrzdění do zastavení sešlapuje oba dva brzdové pedály (elektrodynamickou brzdu a pneumatickou provozní brzdu).

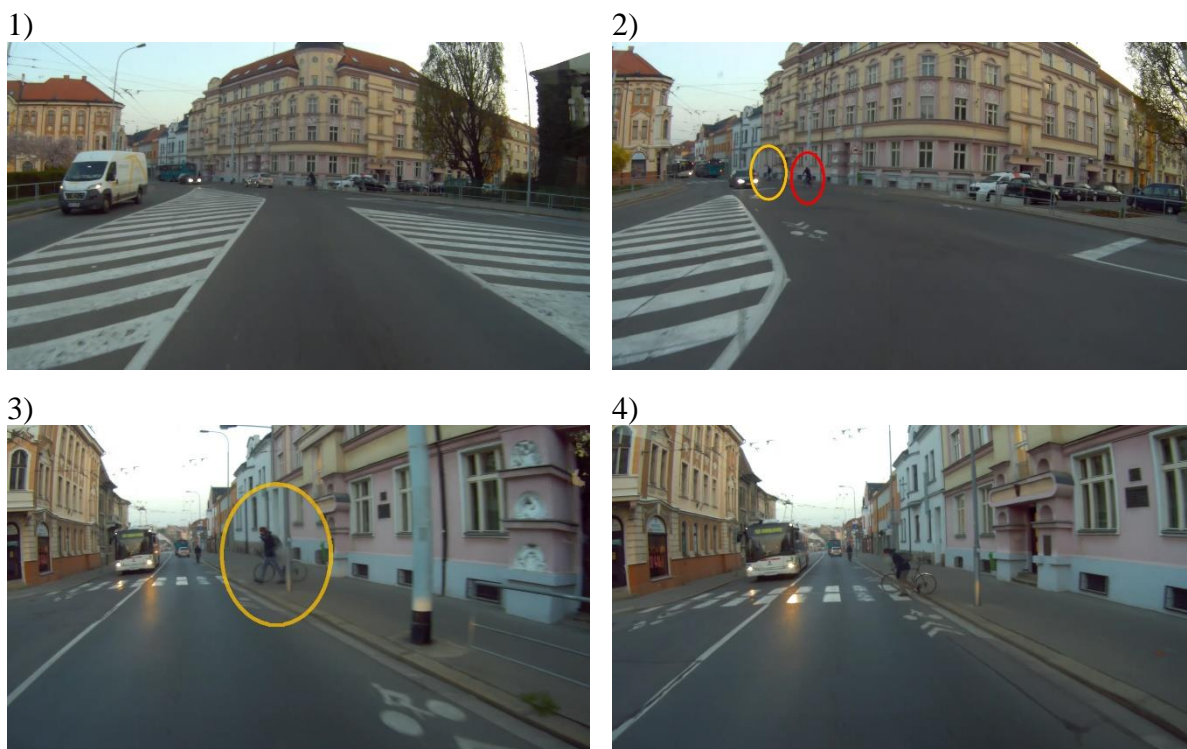
Graf 16 - Nebezpečná dopravní situace 2 – průběh zrychlení



Z průběhu zrychlení na grafu 16 je vidět, že řidič krátce po vjezdu na kruhový objezd jede s trolejbusem setrvačností a trolejbus pomalu zpomaluje. Jízda setrvačností je na místě, řidič trolejbusu zde musí přizpůsobit rychlost jízdy trolejovému vedení. Na kruhovém objezdu se nachází velmi prudké oblouky, mechanická (sjížděcí) výhybka za kterou se nachází elektromagnetická výhybka s volbou směru jízdy. Obě dvě výhybky jsou ve směru jízdy trolejbusu bez izolovaných míst. V okamžiku 3) začíná řidič reagovat. Delší doba od zpozorování cyklistky 3) do počátku brzdění 4) je způsobena tím, že se řidič trolejbusu chystal zrychlovat při výjezdu z kruhového objezdu. Vzhledem k rychlosti cyklistky, nebylo potřeba brzdit až do zastavení. Maximální zpomalení, které se při brzdění dosáhlo bylo  $1,5 \text{ m/s}^2$ , při průměrném zpomalení  $0,9 \text{ m/s}^2$ . Brzdění probíhalo po dobu 2 sekund a došlo ke snížení rychlosti o  $6,5 \text{ km/h}$ . Řidič přestal brzdit v okamžik, kdy cyklistka opouštěla prostor vozovky.

### 6.3.3 Situace 3

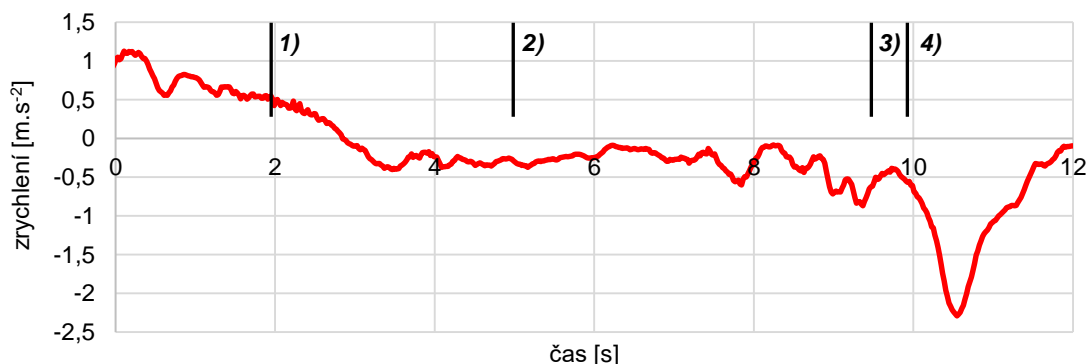
Přechod pro chodce v ulici Štrossova v blízkosti křižovatky s ulicí Dašická. Vozidlo, autobus Irisbus Citybus na lince č. 12 směřující na Hlavní nádraží. Vozidlo bylo obsazeno přibližně ze tří čtvrtin.



Obrázek 36 - Nebezpečné dopravní situace – průběh situace 3

- 1) Autobus vjíždí do křižovatky, řidič sleduje chování vozidla přijíždějícího z centra města, které musí dát autobusu přednost v jízdě.
- 2) Ve vzdálenosti 40 metrů před vozidlem, řidič registruje chodce vedoucího jízdní kolo stojícího u přechodu pro chodce (žlutý kroužek), který zjevně hodlá použít přechod. Nicméně, ačkoliv je to řidičova povinnost, nemá v úmyslu chodci umožnit přejít, resp. očekává, že chodec začne přecházet ihned po průjezdu cyklisty jedoucího po silnici (červený kroužek) a poté bude třeba jen lehkého zpomalení. Aktuální rychlost vozidla 21 km/h.
- 3) Chodec však stále čekal na pokyn, zda může přejít. Protijedoucí pomalu jedoucí trolejbus má v úmyslu umožnit chodci na přechodu přejít. Ve vzdálenosti 15 metrů před přechodem, ačkoliv od řidiče autobusu nedostal signál (bliknutím světel, pokynem rukou), chodec zvedá ruku jako poděkování a ihned vstupuje do vozovky. Rychlost jízdy je 18 km/h.
- 4) Řidič okamžitě reaguje sešlápnutím brzdového pedálu.

Graf 17 - Nebezpečná dopravní situace 3 – průběh zrychlení



V tomto případě měl chybný předpoklad a nedodržení zákonné povinnosti řidiče autobusu za následek vznik zbytečné nebezpečné situace. Řidič autobusu o chodci na přechodu pro chodce věděl dopředu na vzdálenost 40 metrů. I přes to až do vzdálenosti 15 metrů před přechodem a do okamžiku vstupu chodce do vozovky řidič autobusu výrazně nebrzdil. To mělo za následek následné prudké brzdění s maximální hodnotou brzdného zpomalení  $2,3 \text{ m/s}^2$  s průměrnou hodnotou  $1 \text{ m/s}^2$ . Řidič brzdil po dobu 2,2 sekundy, při tom zpomalil na rychlost 10 km/h a nemusel brzdit až do zastavení. Řidič přestal brzdit ve chvíli, kdy se chodec nacházel ve 3/4 jízdního pruhu autobusu.

#### 6.3.4 Situace 4

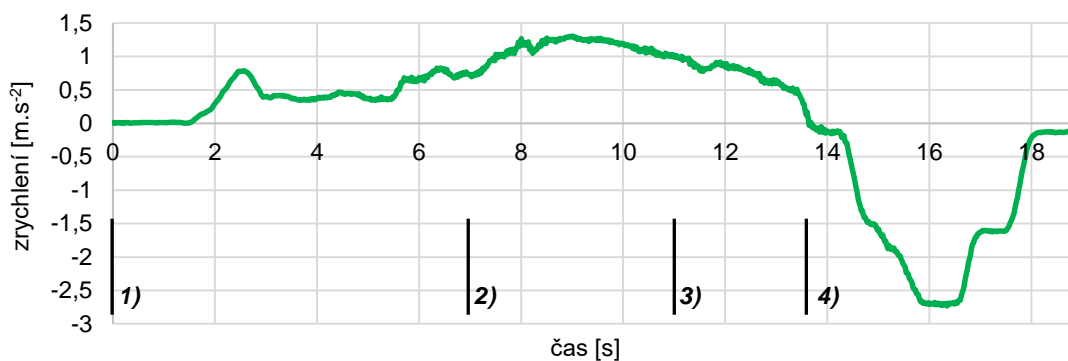
Ulice 17. listopadu. Vozidlo, trolejbus Škoda 30Tr na lince č. 1 směřující do Dukly, vozovny. Ve vozidle se nacházeli pouze sedící cestující.



Obrázek 37 - Nebezpečné dopravní situace – průběh situace 4

- 1) Po obslužení zastávky 17. listopadu dává řidič trolejbusu znamení o změně směru jízdy a sleduje situaci v jízdním pruhu do kterého se chce zařadit a po průjezdu dvou vozidel se začíná opatrně rozjíždět.
- 2) Po 7 sekundách dochází ještě k průjezdu dvou automobilů a řidič trolejbusu začíná výrazněji zrychlovat.
- 3) Po 4 sekundách si řidič trolejbusu všimá směrovky a brzdových světel vozidla před ním, které se chystá odbočit na parkoviště nacházející se mimo pozemní komunikaci. Řidič odhadem předpokládá, že bude maximálně stačit uvolnit pedál jízdy a jet setrvačností. V tomto okamžiku je rychlost jízdy trolejbusu 25 km/h.
- 4) Po ujetí 22 metrů po 3 sekundách od registrování směrovky červeného vozidla si za pravé straně stojící dodávkou řidič trolejbusu všimá chodce na chodníku (označen žlutým kroužkem), kterému bude muset dát vozidlo před ním přednost. Aktuální rychlost trolejbusu je 31 km/h. V této chvíli červené vozidlo již téměř stojí a řidič trolejbusu začíná okamžitě brzdit.

Graf 18 - Nebezpečná dopravní situace 4 – průběh zrychlení



Špatný odhad řidiče trolejbusu měl za následek vznik nebezpečné dopravní situace. Řidič trolejbusu nereagoval na před ním jedoucí automobil, který dával znamení o změně směru jízdy, a až do okamžiku 4), než zpozoroval chodce na chodníku, řidič trolejbusu zrychloval. To mělo za následek nutnost prudkého zabrzdění s maximální hodnotou brzdného zpomalení  $2,7 \text{ m/s}^2$  s průměrnou hodnotou  $1,7 \text{ m/s}^2$ . Dle pocitů řidiče se již jednalo o výrazné brzdění, které by bylo velmi nepříjemné pro případné stojící cestující. Brzdění probíhalo po dobu 4 sekund a došlo ke snížení rychlosti o  $24,5 \text{ km/h}$ . Řidič přestal brzdit v době, kdy vozidlo před trolejbusem opustilo jízdní dráhu trolejbusu.

## 7 ZÁVĚR

Tato práce se zaměřuje na vyhodnocování běžného provozu vozidel MHD při vybraných dopravních situacích. Tyto dopravní situace byly vyhodnocovány na základě naměřených hodnot zrychlení. V souvislosti s tímto vyhodnocováním, bylo v rámci této práce potřeba nalézt způsob měření zrychlení pomocí nových komunikačních technologií, jako efektivní a široce uplatnitelný způsob sběru dat. Protože se měření provádělo v běžném provozu na linkách MHD s cestujícími, byly požadavky na měřicí zařízení navíc takové, aby bylo co nejskladnější, s rychlou možností zprovoznění a aby bylo možné naměřená data následně vyhodnotit.

V dnešní době disponují „chytré“ mobilní telefony bohatou výbavou nejrůznějších snímačů a detektorů, které lze pomocí vhodného softwaru využít i jiným způsobem, než ke kterému byly do mobilního telefonu umístěny. Právě proto byl pro tento alternativní způsob sběru dat zvolen právě mobilní telefon s aplikací, která dokáže měřit a zaznamenávat průběh a velikost dosahovaného zrychlení v závislosti na čase.

Jako zařízení pro měření a sběr dat byl zvolen mobilní telefon Honor 9 s aplikací Accelerometer Meter. Z výsledků porovnávacího měření provedeného na zkušebním vozidle s tříosým snímačem zrychlení iMEMS typu ADXL311 bylo zjištěno, že hodnoty a průběhy zrychlení v podélném směru vyšly totožné a u příčného zrychlení se maximální dosahované hodnoty lišily, a to až o  $0,5 \text{ m.s}^{-2}$ . Po zjištění, pomocí naklápění mobilního telefonu a akcelerometru, který z akcelerometrů měřil a zaznamenával nepřesné hodnoty zrychlení, se provedla korekce těchto hodnot. Po provedení korekce byla zjištěna shoda naměřených hodnot příčného zrychlení obou akcelerometrů. V případě podélného zrychlení byla maximální odchylka měřících zařízení  $0,1 \text{ m.s}^{-2}$ . Tato odchylka byla zaznamenána při rozjezdu u maximálních hodnot zrychlení v rozsahu od  $3,3$  do  $4 \text{ m.s}^{-2}$  a také při brzdění v rozsahu od  $1,3$  do  $1,7 \text{ m.s}^{-2}$  a od  $5,7$  do  $7,2 \text{ m.s}^{-2}$ . Častěji se odchylka vyskytovala při prudkých změnách zrychlení. To mohlo být zapříčiněno nedostatečným upevněním měřících zařízení a jejich nepatrným pohybem právě při prudké změně zrychlení.

Výsledná přesnost měření mobilního telefonu byla velmi překvapivá. Vezmeme-li v úvahu, že snímač v mobilním telefonu je neustále zatěžován rázy a není primárně určen k měření, ale slouží jako senzor pro snímání polohy zařízení, je zjištěná shoda s měřicí technikou pro potřeby této diplomové práce k měření dosahovaného zrychlení v provozu dostatečná.

Z první zvolené dopravní situace, kterým je výjezd ze zastávky, vyplynulo, že střední hodnota maximálního podélného zrychlení je  $1,3 \text{ m/s}^2$ , s hodnotou průměrného podélného zrychlení  $0,91 \text{ m/s}^2$ . Průměrný čas, který je potřeba od rozjezdu vozidla po zařazení do jízdního pruhu je 8,4 sekundy s nejčastější hodnotou 8 sekund. Rychlosti, kterých se dosahuje na konci tohoto manévru se pohybují ve velkém rozmezí od 14 do 39 km/h. Hodnoty rychlostí závisí na průměrném zrychlení, délce manévru a v případě trolejbusů také na přizpůsobování jízdy trolejovému vedení. Výjezd ze zastávky se zářivem je manévr se dvěma oblouky, při kterém se dosahuje maximálního příčného zrychlení se střední hodnotou  $0,71 \text{ m/s}^2$ . V případě, kdy se řidič vozidla MHD rozjíždí ze zastávky se zvýšenou opatrností z důvodu, že mu řidiči v průběžném pruhu neumožňují plynulé vyjetí, se snižuje hodnota průměrného podélného zrychlení o 22 % a čas celého manévru se prodlužuje o 30 %.

V případě vybraných konkrétních situacích zastavení před semaforem a nebezpečných dopravních situacích uvedených v této práci se dosahovalo hodnot maximálního brzdného zpomalení do  $2,7 \text{ m/s}^2$ . Ze dvou situacích uvedených v této práci, kdy řidič autobusu projel křižovatkou již na červenou, by bylo potřebné zpomalení vozidla větší než  $2,7 \text{ m/s}^2$ . Okamžitá hodnota brzdného zpomalení by ale byla větší než uvedená hodnota a řidič tak nechtěl riskovat prudké zabrzdění a případné zranění cestujících způsobené pádem. Z uvedených případů tedy vyplývá jistá podvědomá hranice u řidiče, při které se rozhoduje o možných následcích jeho reakce. Při běžných provozních rychlostech kolem 40 km/h se rozhodnutí řidiče, zda zastaví nebo projede, mění ve vzdálenosti přibližně 35–40 metrů před semaforem. Pro lepší analýzu situací zastavení před semaforem by bylo nutné analyzovat mnohem větší vzorek dat. Z naměřených hodnot brzdného zpomalení a zobrazených ve formě grafů je názorně vidět, že řidič vozidla MHD v první fázi brzdění zpomaluje s větším zpomalením a v okamžiku, kdy má situaci pod kontrolou, povolí brzdový pedál a snaží se co nejlépe využít zbývající dráhy kterou má k dispozici a brzdí co nevíce plynule, aby byl negativní vliv zpomalení na přepravované cestující co nejmenší.

Tyto poznatky naměřené v reálném provozu v rámci této diplomové práce mohou sloužit jako vstupní hodnoty pro simulační programy jako jsou PC-Crash nebo Virtual CRASH při řešení dopravních nehod a řešení míry zavinění těchto nehod jednotlivými účastníky. Mobilní zařízení a jejich snímače v sobě skrývají velký potenciál pro výzkum chování řidičů v závislosti na různých dopravních situacích, například reakce na změny světelných signálů, na chodce, analýza průjezdu křižovatkou apod.

## 8 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] *Zákon č. 361/2000 Sb. Zákon o provozu na pozemních komunikacích a o změnách některých zákonů (zákon o silničním provozu)*. In: . Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-361>
- [2] *Přednášky z předmětu Bezpečnost silničního provozu*. Pardubice, 2017
- [3] *Vyhláška č. 173/1995 Sb. Vyhláška Ministerstva dopravy, kterou se vydává dopravní řád drah*. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1995-173>
- [4] *Povinnosti řidičů TR při mimořádné události v drážní dopravě*. Interní materiál. Poskytnuté dne 13.4.2019 Dopravním podnikem města Pardubic, Luďkem Žákem.
- [5] VALA, Miroslav a Miroslav TESAŘ. *Teorie a konstrukce silničních vozidel I*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2003. ISBN 80-719-4503-X.
- [6] SEMELA, Marek. *Analýza dopravních nehod I*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, 2012. ISBN 978-80-214-4559-8.
- [7] CHOLASTA, Lukáš. *Měření a porovnání jízdních parametrů vozidel v různých jízdních režimech*. Brno, 2010. Dostupné také z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=33506](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=33506). Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství.
- [8] VODĚREK, Daniel. *Využití 3D akcelerometru pro sledování pohybu vozidla*. Pardubice, 2011. Dostupné také z: [https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/41981/VoderekD\\_SledovaniVozidla\\_ZN\\_2011.pdf?sequence=2&isAllowed=n](https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/41981/VoderekD_SledovaniVozidla_ZN_2011.pdf?sequence=2&isAllowed=n). Bakalářská práce. Univerzita Pardubice, Fakulta elektrotechniky a informatiky.
- [9] HRUŠKA, František. *Náklonoměr s akcelerometrem*. Praha, 2014. Dostupné také z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/24408/F3-BP-2014-Hruska-Frantisek-prace.pdf>. Bakalářská práce. České vysoké učení technické, Fakulta elektrotechnická.
- [10] KUBIZŇÁK, Václav. *Jednonápravový balancující robot*. Pardubice, 2013. Dostupné také z: [https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/52097/KubiznakV\\_BalancujiciRobot\\_PR\\_2013.pdf?sequence=4&isAllowed=y](https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/52097/KubiznakV_BalancujiciRobot_PR_2013.pdf?sequence=4&isAllowed=y). Bakalářská práce. Univerzita Pardubice, Fakulta elektrotechniky a informatiky.
- [11] *Principy akcelerometrů - 1. díl - Piezoelektrické. Automatizace.hw.cz: Rady a poslední novinky z oboru* [online]. [cit. 2019-03-28]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/clanek/2007011401>



- [12] KUEWLSOFT. Accelerometer Meter. Google Play [online]. [cit. 2019-03-29].  
Dostupné z:  
[https://play.google.com/store/apps/details?id=com.keuwl.accelerometer&hl=en\\_US](https://play.google.com/store/apps/details?id=com.keuwl.accelerometer&hl=en_US)
- [13] JILEK, Petr. *Vývoj systému pro ověřování jízdní stability silničního vozidla ve vztahu k adhezním podmínkám*. Pardubice, 2018. Dostupné také z:  
<https://dk.upce.cz/handle/10195/71111>. Disertační práce. Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera.
- [14] *Zákon č. 266/1994 Sb. Zákon o drahách*. Dostupné také z:  
<https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1994-266>
- [15] *Pravidla pro výkon služby řidiče DPMP a.s.* Interní materiál. Poskytnuté dne 13.4.2019 Dopravním podnikem města Pardubic, Ludškem Žákem.
- [16] *Vyhláška č. 101/1995 Sb. Vyhláška Ministerstva dopravy, kterou se vydává Řád pro zdravotní a odbornou způsobilost osob při provozování dráhy a drážní dopravy*. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1995-101>
- [17] FAUS, Pavel a Miroslav OLŠAN. *Autoškola - C, D, E, T: učebnice pro řidiče nákladních vozidel, autobusů a traktorů*. Brno: Computer Press, 2007. ISBN 978-80-251-1715-6.
- [18] *Předpis Evropské hospodářské komise Organizace spojených národů (EHK OSN) č. 107 – Jednotná ustanovení pro schvalování vozidel kategorie M2 nebo M3 z hlediska jejich celkové konstrukce [2018/237]*. In: . Evropská komise, 2017. Dostupné také z: <https://esipa.cz/sbirka/sbsrv.dll/sb?DR=SB&CP=42018X0237>
- [19] GALČAN, Přemysl. *Výukový program pro bezpečné a hospodárné ovládání trolejbusu v městské hromadné dopravě osob* [online]. Brno, 2006 [cit. 2019-02-20]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/th/llwxx/>. Bakalářská práce. Masarykova univerzita, Pedagogická fakulta, Katedra fyziky, chemie a odborného vzdělávání.
- [20] SEMMLER, Petr. *Analýza zpomalování trolejbusů a vyhodnocení jejich účinků na stojící cestující*. Brno, 2012. Dostupné také z: <https://dspace.vutbr.cz/handle/11012/8958>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství.

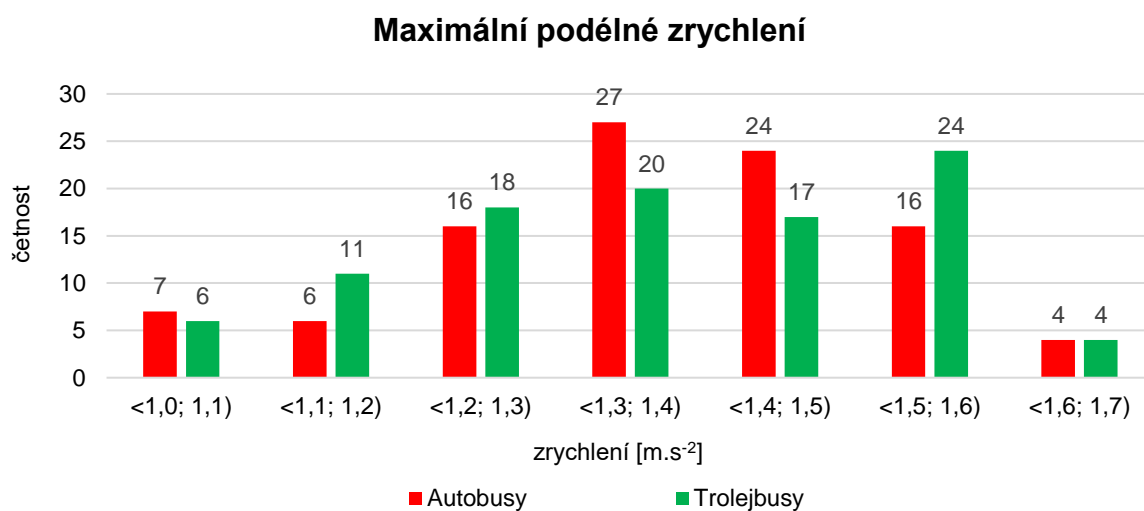
## 9 PŘÍLOHY

Příloha A – <i>Statistický soubor vyhodnocení výjezdu ze zastávky rozdělený na autobusy a trolejbusy</i> .....	98
Příloha B – <i>Nebezpečná dopravní situace 1 – PC-Crash</i>	
Příloha C – <i>Nebezpečná dopravní situace 2 – PC-Crash</i>	
Příloha D – <i>Nebezpečná dopravní situace 3 – PC-Crash</i>	
Příloha E – <i>Nebezpečná dopravní situace 4 – PC-Crash</i>	
Příloha F – <i>CD s videozáznamy vybraných dopravních situací</i>	

Příloha A – Statistický soubor vyhodnocení výjezdu ze zastávky rozdělený na autobusy a trolejbusy

1) Maximální hodnota podélného zrychlení autobusy / trolejbusy [m.s<sup>-2</sup>]

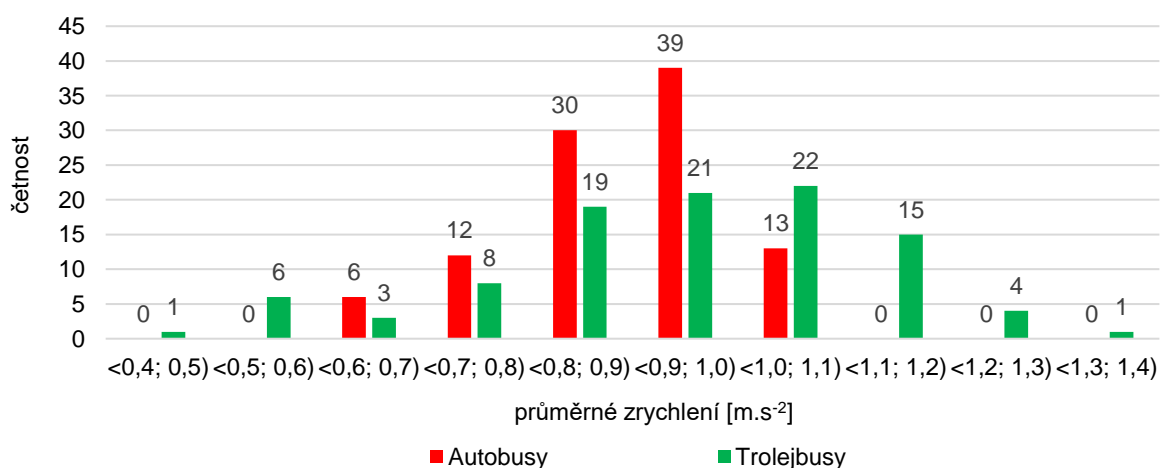
Interval hodnot zrychlení	Četnost	
	Autobusy	Trolejbusy
<1,0; 1,1)	7	6
<1,1; 1,2)	6	11
<1,2; 1,3)	16	18
<1,3; 1,4)	27	20
<1,4; 1,5)	24	17
<1,5; 1,6)	16	24
<1,6; 1,7)	4	4
Σ	100	100
Střední hodnota	1,32	1,32
Medián	1,3	1,3
Modus	1,3	1,5



2) Průměrné podélné zrychlení autobusy / trolejbusy [m.s<sup>-2</sup>]

Interval hodnot zrychlení	Četnost	
	Autobusy	Trolejbusy
<0,4; 0,5)	0	1
<0,5; 0,6)	0	6
<0,6; 0,7)	6	3
<0,7; 0,8)	12	8
<0,8; 0,9)	30	19
<0,9; 1,0)	39	21
<1,0; 1,1)	13	22
<1,1; 1,2)	0	15
<1,2; 1,3)	0	4
<1,3; 1,4)	0	1
$\Sigma$	100	100
Střední hodnota	0,89	0,94
Medián	0,9	0,95
Modus	0,83	1,11
Variační rozpětí	0,45	0,87
Minimum	0,63	0,46
Maximum	1,08	1,33

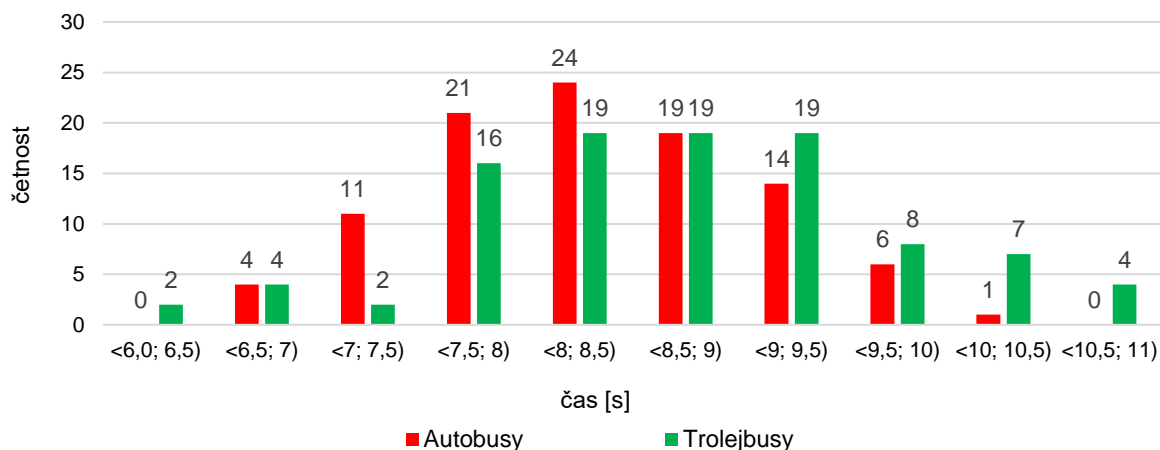
**Průměrné podélné zrychlení**



3) Čas potřebný k výjezdu ze zastávky autobusy / trolejbusy [s]

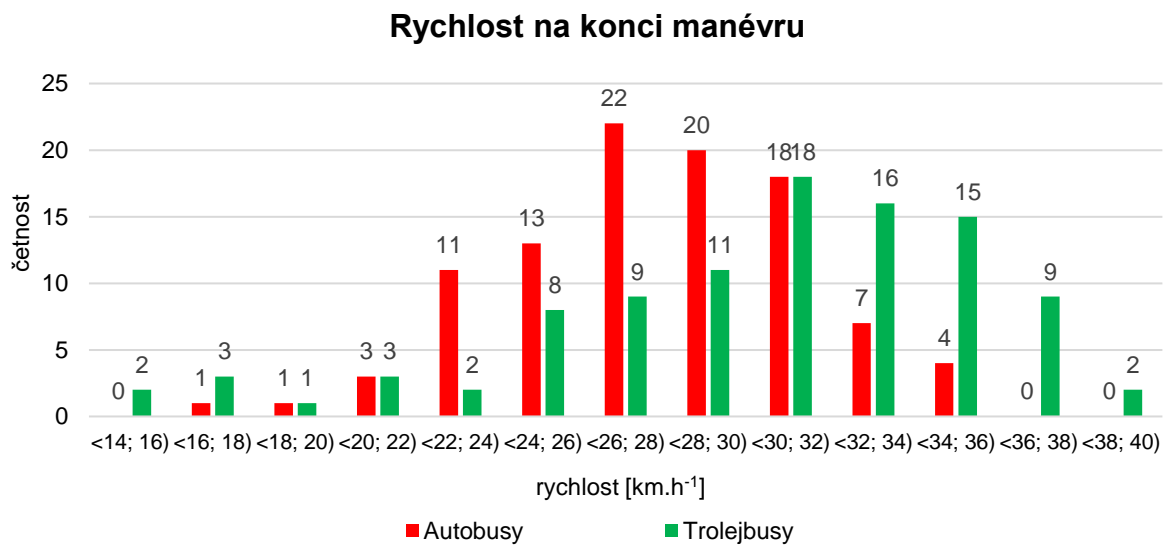
Časový interval	Četnost	
	Autobusy	Trolejbusy
<6,0; 6,5)	0	2
<6,5; 7,0)	4	4
<7,0; 7,5)	11	2
<7,5; 8,0)	21	16
<8,0; 8,5)	24	19
<8,5; 9,0)	19	19
<9,0; 9,5)	14	19
<9,5; 10,0)	6	8
<10,0; 10,5)	1	7
<10,5; 11,0)	0	4
$\Sigma$	100	100
Střední hodnota	8,27	8,59
Medián	8,25	8,65
Modus	8	8
Variační rozpětí	3,3	4,8
Minimum	6,7	6
Maximum	10	10,8

**Čas potřebný k výjezdu ze zastávky**



4) Rychlost na konci manévru autobusy / trolejbusy [km.h<sup>-1</sup>]

	Autobusy	Trolejbusy
Střední hodnota	26,3	28,8
Medián	26,2	30
Modus	25	30
Variační rozpětí	18	25
Minimum	16	14
Maximum	34	39

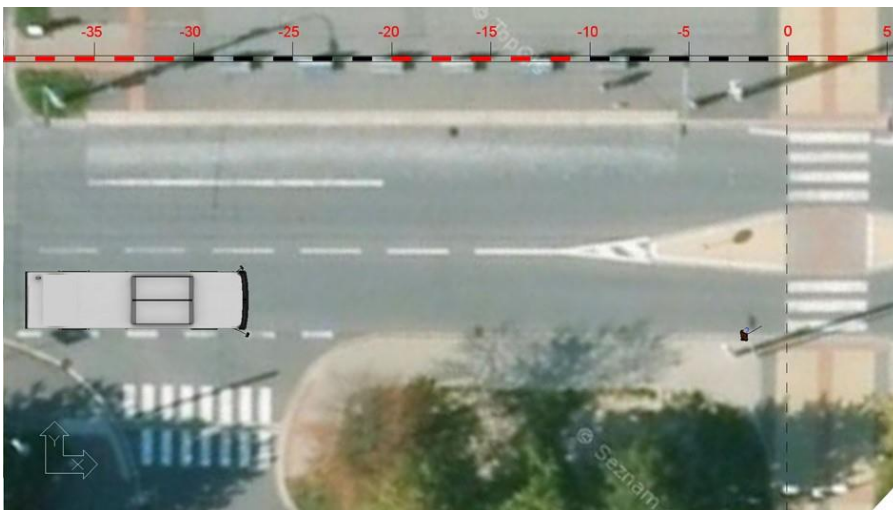


Příloha B – *Nebezpečná dopravní situace 1 – PC-Crash*

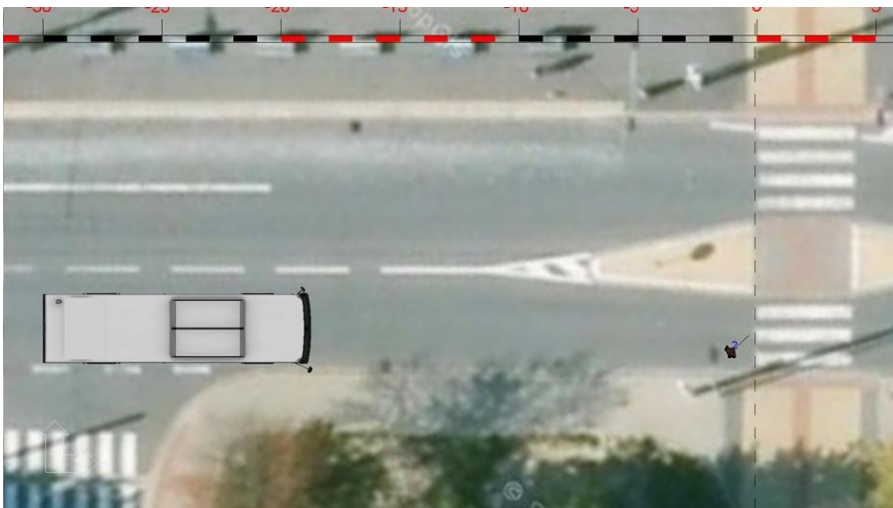
a) situace odpovídající okamžiku 2); chodec (žlutý kroužek) se pohybuje konstantní rychlostí 5 km/h



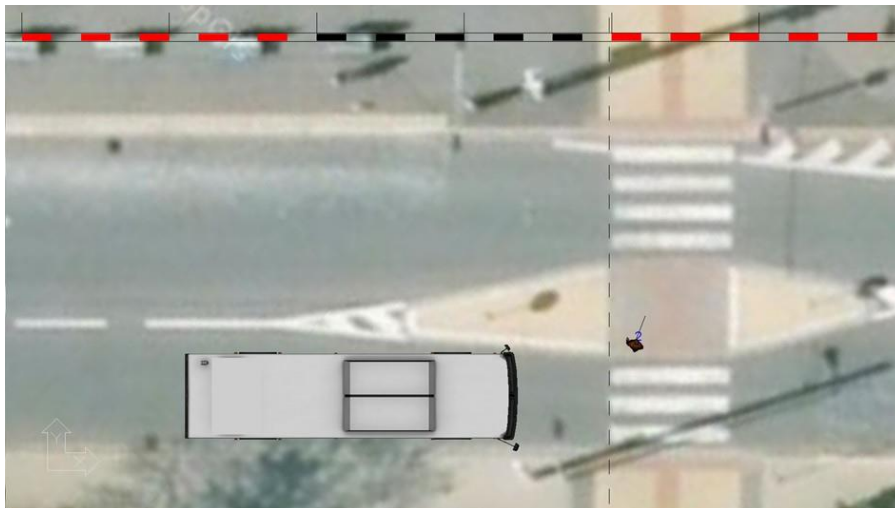
b) situace odpovídající okamžiku 3); chodec směřuje směrem k vozovce



c) situace odpovídající okamžiku 4); chodec vstupuje do vozovky; počátek brzdění



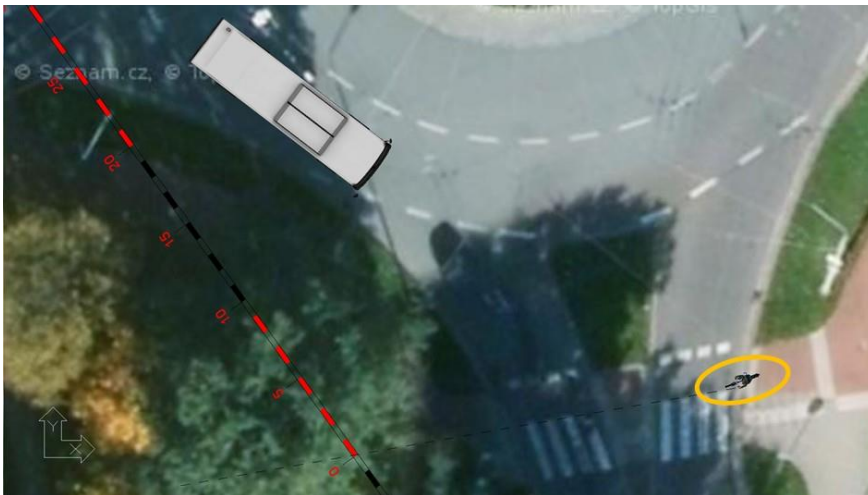
d) okamžik, kdy řidič přestal brzdit



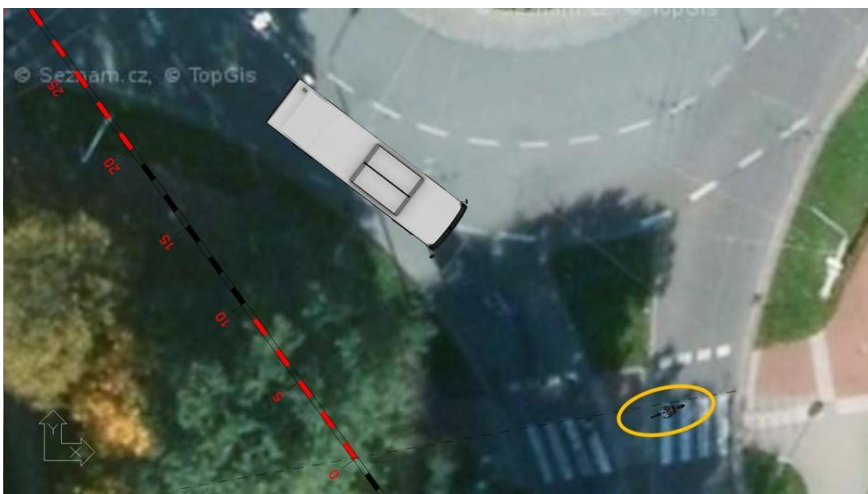


Příloha C – *Nebezpečná dopravní situace 2 – PC-Crash*

- a) situace odpovídající okamžiku 3); řidič trolejbusu zaregistroval cyklistku (žlutý kroužek) vjíždějící na přejezd pro cyklisty; cyklistka se pohybuje konstantní rychlostí 15 km/h



- b) situace odpovídající okamžiku 4); počátek brzdění; cyklistka začíná zrychlovat se zrychlením  $1 \text{ m/s}^2$



- c) okamžik, kdy řidič přestal brzdít



Příloha D – *Nebezpečná dopravní situace 3 – PC-Crash*

- a) situace odpovídající okamžiku 2); řidič registruje chodce vedoucí jízdní kolo (žlutý kroužek) na přechodu pro chodce



- b) situace odpovídající okamžiku 3); po 4,6 sekundách od okamžiku 2), chodec zvedá ruku a začíná se pohybovat směrem do vozovky se zrychlením  $1 \text{ m/s}^2$



- c) situace odpovídající okamžiku 4); po další 1 sekundě chodec vstupuje do vozovky; počátek brzdění

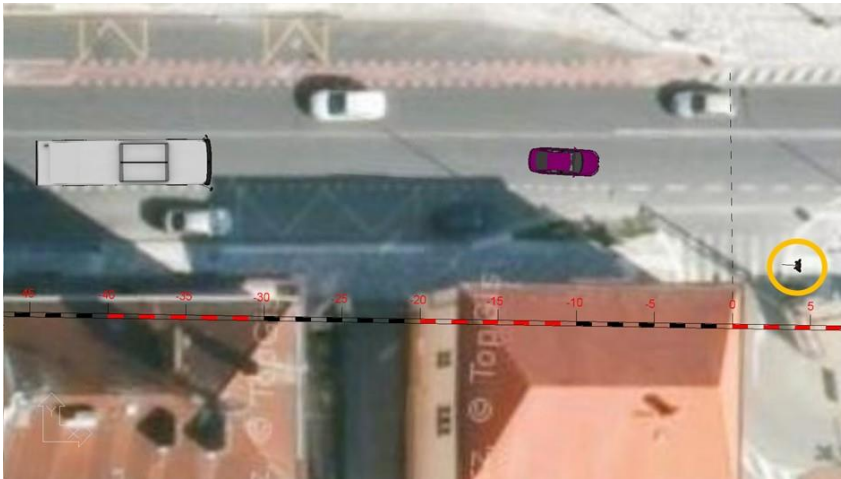


d) okamžik, kdy řidič přestal brzdit

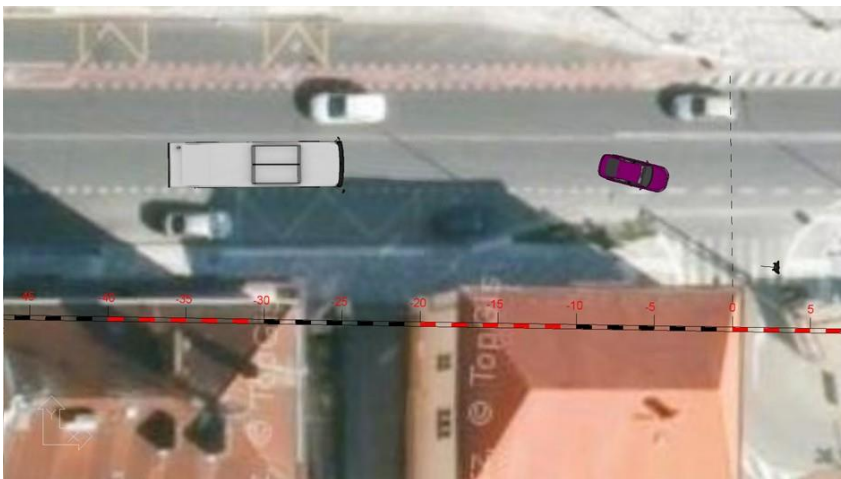


Příloha E – *Nebezpečná dopravní situace 4 – PC-Crash*

- a) situace odpovídající okamžiku 4); řidič trolejbusu registruje chodce na chodníku, kterému musí před ním jedoucí automobil dát přednost; automobil brzdil se zpomalením  $1,5 \text{ m/s}^2$ , chodec (žlutý kroužek) se pohyboval konstantní rychlostí  $5 \text{ km/h}$



- b) okamžik, kdy řidič trolejbusu začíná brzdit; po 1 sekundě od okamžiku 4)



- c) okamžik, kdy řidič přestal brzdit; 4,5 sekundy od okamžiku 4)

