



**FAKULTA  
STROJNÍ  
ČVUT V PRAZE**

Ústav automobilů, spalovacích motorů  
a kolejových vozidel

Analýza antikolizních systémů na snížení  
nehodovosti tramvají s automobily v Praze

Analysis of anti-collision systems to reduce  
the accident rate of trams with cars in Prague

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
2023**

**Adam ZAJÍČEK**

Studijní program: B2341 STROJÍRENSTVÍ  
Studijní obor: 3901R051 Konstruování podporované počítačem  
Vedoucí práce: Ing. Jakub Seidl

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Zajíček** Jméno: **Adam** Osobní číslo: **490911**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávací katedra/ústav: **Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel**  
Studijní program: **Strojírenství**  
Studijní obor: **Konstruování podporované počítačem**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Analýza antikolizních systémů na snížení nehodovosti tramvají s automobily v Praze**

Název bakalářské práce anglicky:

**Analysis of anti-collision systems to reduce the accident rate of trams with cars in Prague**

Pokyny pro vypracování:

Vypracujte:

1. Rešerši na téma: Antikolizní systémy a přehled základních technických parametrů brzdných systémů kolejových vozidel.
2. Analýza míst častých dopravních nehod tramvají s automobily v Praze.
3. Posouzení vlivu použití antikolizních systémů na snížení nehodovosti.
4. Průvodní technickou zprávou dokumentující splnění dílčích úkolů.

Seznam doporučené literatury:

Podklady z Drážního úřadu ČR - záznamy z nehod.  
Odborné časopisy, firemní literatura, patentová literatura, normy.  
Skripta ČVUT:  
KOLÁŘ, J.: Teoretické základy konstrukce kolejových vozidel

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Ing. Jakub Seidl ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel FS**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **19.04.2023**

Termín odevzdání bakalářské práce: **12.07.2023**

Platnost zadání bakalářské práce: **19.09.2023**

Ing. Jakub Seidl  
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Oldřich Vítek, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací.  
Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studenta



## Anotační záznam

Jméno autora: Adam Zajíček

Název práce: Analýza antikolizních systémů na snížení nehodovosti tramvají s automobily v Praze

Anglický název: Analysis of anti-collision systems to reduce the accident rate of trams with cars in Prague

Rozsah práce:

- 57 stran
- 32 obrázků
- 16 tabulek
- 1 graf

Akademický rok: 2022/2023

Ústav: 12 120 Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel

Studijní program: Strojírenství

Vedoucí práce: Ing. Jakub Seidl

Klíčová slova: Antikolizní systém, brzdná dráha, brzdná síla, adhezní síla, kinetická energie, redukováná hmotnost, součinitel rotačních hmot

Key words: Anti-collision systém, braking distance, braking force, adhesion force, kinetic energy, reduced mass, rotating mass coefficient



## Abstrakt

Tato práce se zaměřuje na analýzu antikolizních systémů a brzdných systémů kolejových vozidel s cílem snížit počet nehod mezi tramvajemi a automobily v Praze. Práce obsahuje rešerši existujících antikolizních systémů a brzdných systémů pro kolejová vozidla. Pro místa častých dopravních nehod v Praze byla provedena měření a výpočty brzdné dráhy. Na základě těchto výsledků byla zhodnocena efektivnost antikolizních systémů pro případné zavedení do tramvají v Praze, které by mohlo vést ke snížení počtu a závažnosti nehod.

## Abstract

This thesis focuses on the analysis of anti-collision systems and braking systems for rail vehicles with the aim of reducing the number of accidents between trams and cars in Prague. The thesis includes a research of existing anti-collision systems and braking systems for rail vehicles. Measurements and calculations of braking distances were conducted for locations prone to frequent traffic accidents in Prague. Based on these results, the effectiveness of anti-collision systems was evaluated for potential implementation in trams in Prague, which could lead to a reduction in the number and severity of accidents.



## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: “Analýza antikolizních systémů na snížení nehodovosti tramvají s automobily v Praze” vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu zdrojů, jenž tvoří poslední kapitolu této práce.

V Praze dne:

.....

(podpis autora)



## Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Jakubu Seidlovi za konzultace, podklady a čas, které mi věnoval v průběhu vypracování práce.

Dále bych rád poděkoval doc. Ing. Josefu Kolářovi, CSc. za poskytnuté podklady, rady a čas, který mi věnoval, když jsem nevěděl, jak dál pokračovat.



## Obsah

1 Úvod.....	9
1.1 Statistika nehodovosti .....	10
2 Antikolizní systémy .....	11
2.1 Norma VDV 191 .....	12
2.1.1 Požadavky ADAS .....	12
2.2 Antikolizní systém od společnosti Bosch Engineering.....	13
2.3 Antikolizní systém od společnosti Continental .....	14
2.4 Antikolizní systém od společnosti Škoda Group.....	14
2.5 Porovnání.....	15
3 Brzdné systémy.....	16
3.1 Rozdělení brzdných systémů tramvajových vozidel.....	16
3.1.1 Rozdělení brzdných systémů tramvajových vozidel dle druhu brzdění .....	16
3.1.2 Rozdělení brzdných systémů tramvajových vozidel dle způsobu brzdění .....	17
3.2 Konstrukce brzdných systémů tramvajových vozidel .....	18
3.2.1 Elektrodynamická brzda .....	18
3.2.2 Čelistová brzda .....	18
3.2.3 Kotoučová brzda .....	19
3.2.4 Magnetická kolejnicová brzda .....	20
4 Zvolená tramvaj – Škoda 15T (ForCity Alfa) .....	21
4.1 Konstrukce .....	21
4.2 Technické parametry .....	23
5 Metodika určení míst častých nehod .....	24
5.1 Ukazatele dopravní nehodovosti.....	24
5.1.1 Metoda celkového počtu nehod (N) .....	24
5.1.2 Metoda čísla závažnosti nehod (Z) .....	25
5.1.3 Metoda relativní nehodovosti (R) .....	26
6 Výpočty potřebných parametrů .....	28
6.1 Hmotnost soupravy podle obsazení.....	28
6.2 Součinitel rotačních hmot .....	28
6.3 Jízdní odpory.....	31
6.3.1 Vozidlový odpor.....	31



6.3.2 Odpor vzduchu .....	31
6.3.3 Výsledná odporová síla působící na vozidlo .....	32
6.4 Adhezní síla .....	32
7 Vybraná místa častých dopravních nehod, naměřené hodnoty a výpočty zábrzdné dráhy .....	35
7.1 Úsek č. 1.....	36
7.2 Úsek č. 2.....	40
7.3 Úsek č. 3.....	43
7.4 Úsek č. 4.....	46
7.5 Úsek č. 5.....	49
8 Závěr .....	52
9 Použitá literatura .....	53

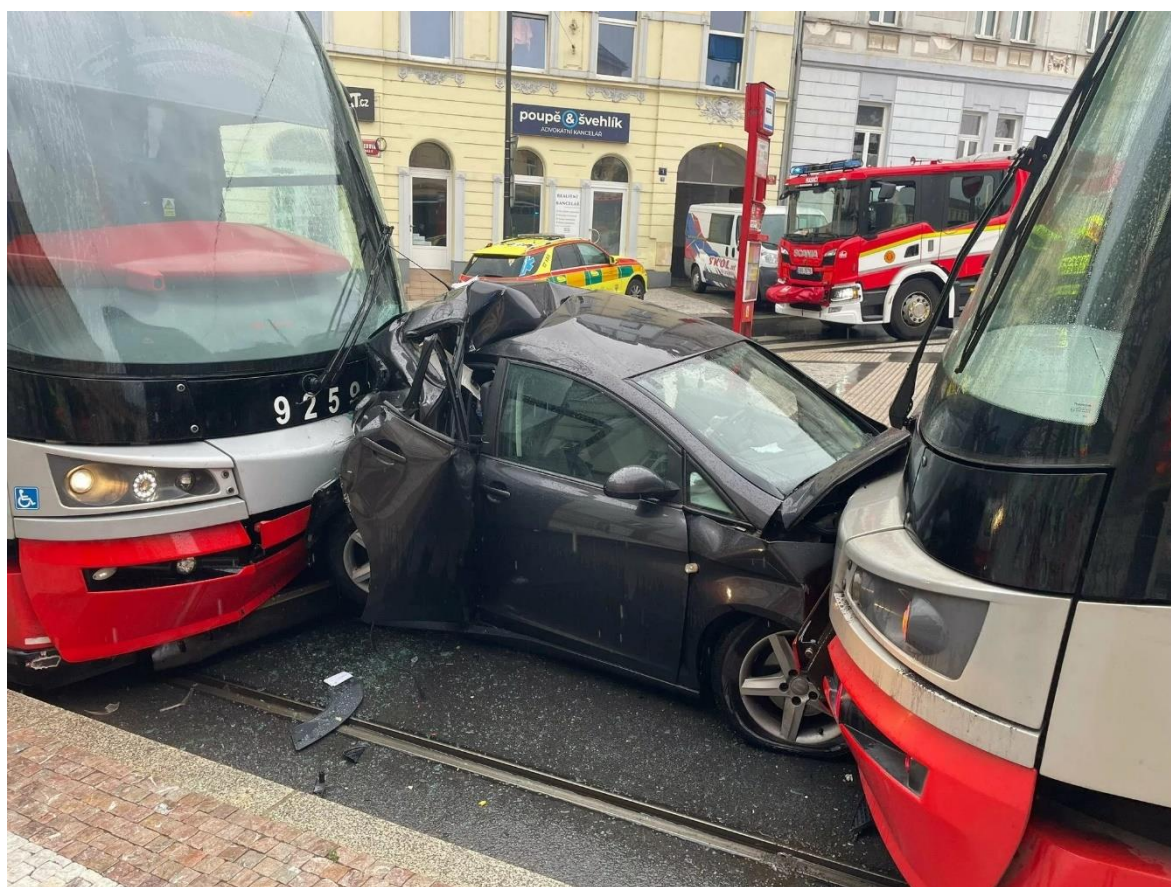




## 1 Úvod

Tato bakalářská práce se zabývá tematikou analýzy nehod v regionální železniční dopravě, konkrétně nehodami tramvají v Praze (Obr. 1).

Tramvajová síť hlavního města České republiky je jednou z nejrozsáhlejších v Evropě a měří 148 kilometrů. Tento způsob dopravy je hned po metru druhou nejvytíženější hromadnou dopravou ve městě. Za den ji využije okolo 1 220 000 cestujících na 24 denních a 9 nočních linkách. [1]



*Obr. 1 – Nehoda tramvaje s autem Praha u Křiže (14.9.2022), [23]*



## 1.1 Statistika nehodovosti

V období let 2016 až 2018 se v Praze stalo 3 215 nehod tramvají s osobními automobily. To je v průměru více než 4 nehody tramvaje s osobním automobilem denně. Při těchto nehodách vzniklo 299 lehkých zranění a 12 těžkých zranění. [2]

Nejčastějším typem nehod byl čelní střet z pravé strany, druhým nejčastějším typem byl pak boční střet z pravé strany. Větší počet střetů z pravé strany v porovnání s levou stranou je dán především rozložením komunikací. Tramvajová trať je na většině míst v České republice uprostřed ulice a komunikace pro silniční vozidla jsou po stranách (Obr. 2). [2]

Z toho vyplývá, že řidič odbočující vlevo pravděpodobně nedá přednost souběžně jedoucí tramvaji.



Obr. 2 – Rozložení komunikace ve městech v České republice (Praha), [24]



## 2 Antikolizní systémy

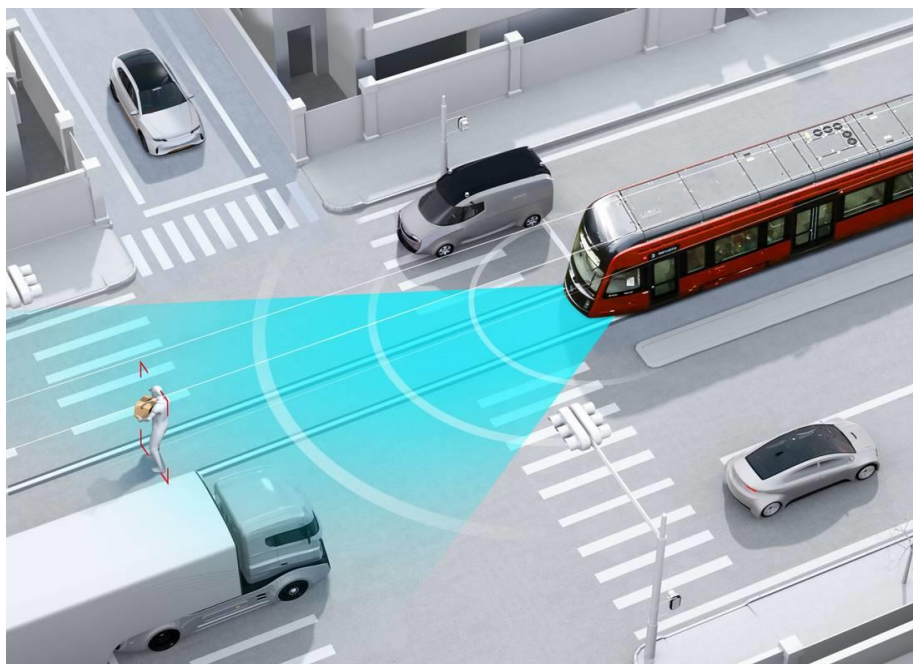
V současné době je zavádění antikolizních systémů do osobních automobilů už celkem běžná záležitost, není tomu však u tramvají. Antikolizní systémy pro tramvaje se stále testují. Jedná se o modifikovanou verzi antikolizního systému pro automobilový průmysl s úpravami vyhovujícími tramvajové dopravě.

Nejdále je s testováním společnost Bosch Engineering. S tramvajemi osazenými jejich antikolizním systémem se můžeme setkat v některých německých městech, ale také u nás v České republice, konkrétně v Ostravě.

Společnost Continental zde moc nezaostává. Tramvaje osazené tímto antikolizním systémem jezdí v německém městě Darmstadt.

Společnost Škoda Group představila svůj antikolizní systém (Obr. 3) na veletrhu InnoTrans, který se konal v Berlíně, v roce 2022. Na trh plánují svůj systém uvést v roce 2023.

Tyto systémy se řídí normou VDV 191, ve které jsou uvedené základní požadavky.



Obr. 3 – Vizualizace antikolizního systému, [25]



## 2.1 Norma VDV 191

Řidič je a nadále zůstává klíčovým prvkem řízení tramvaje. Je stále zodpovědný za předcházení kolizím. Pokročilé asistenční systémy pro řidiče (dále jen ADAS) jsou pouze doplňková výbava vozidla, která pomáhá řidiči při detekci nebezpečných situací. [3]

### 2.1.1 Požadavky ADAS

ADAS musí být schopný detekovat následující potencionální kolizní překážky umístěné na trati:

- oblast před přední částí jedoucí/ stojící tramvaje a oblast za zadní částí stojící/ jedoucí tramvaje [3],
- přední nebo zadní část motorového vozidla [3],
- výluku trati nebo zarážedlo [3].

Aby bylo možné vyhodnotit, zda je potencionální překážka v dráze tramvaje, musí ADAS sledovat trať. Jeho reakce je tedy funkcí vzdálenosti k potencionální překážce a rychlosti tramvaje. [3]

ADAS může:

- varovat řidiče (nejlépe akustickou výstrahou) [3],
- zahájit brzdění (tj. zasáhnout), pokud řidič na výstrahu nereaguje [3].

#### Detekční oblast

V případě přímé trati musí být ADAS schopen detekovat alespoň 30 metrů dlouhou trať.

#### Prvky ADAS

V zásadě se skládá z následujících součástí:

- senzory detekující překážky [3],
- ovládací zařízení s rozhraními pro ovládání vozidla [3].

V současné době se používají optické senzory (kamery nebo LIDAR) a radarové senzory. [3]

Hlavní sledovanou oblastí je trať před tramvají. Snímače by měly být namontovány na přední část tramvaje v souladu s pokyny výrobce systému. Zorné pole řidiče a ochrana chodců mají vždy nejvyšší prioritu. [3]



## 2.2 Antikolizní systém od společnosti Bosch Engineering

Tento systém vytvoří před tramvají virtuální tunel (Obr. 4), ve kterém dokáže identifikovat překážku na přímé koleji až na vzdálenost 80 metrů pomocí radaru a kamery. Sleduje přitom ostatní chodce a vozidla. [4], [5]

Systém ochrany funguje ve třech krocích – nejdříve řidiče na nebezpečí upozorní výstražná ikonka, pak i zvukový výstražný signál a nakonec řídicí systém tramvaj sám zastaví. [4], [5]

V jednom německém městě klesl počet nehod tramvají po instalaci systému o více než 40 %, přestože počet tramvají v provozu vzrostl. [4]

K 5. březnu 2021 bylo dopravním podnikem Ostrava potvrzeno trvalé osazení tramvají tímto antikolizním systémem (první v České republice). [6]



Obr. 4 – Virtuální tunel vytvořený před tramvají antikolizním systémem od společnosti Bosch Engineering, [26]



### 2.3 Antikolizní systém od společnosti Continental

V současnosti je implementován systém pouze s radarovou detekcí v tramvajové dopravě v německém městě Darmstadt. Tento systém je schopný zaregistrovat překážku na 250 – 300 metrů, záleží ovšem na trati a podmínkách. [7]

Pro varování před kolizí lze v tomto systému použít mimo radaru také kameru. [7]

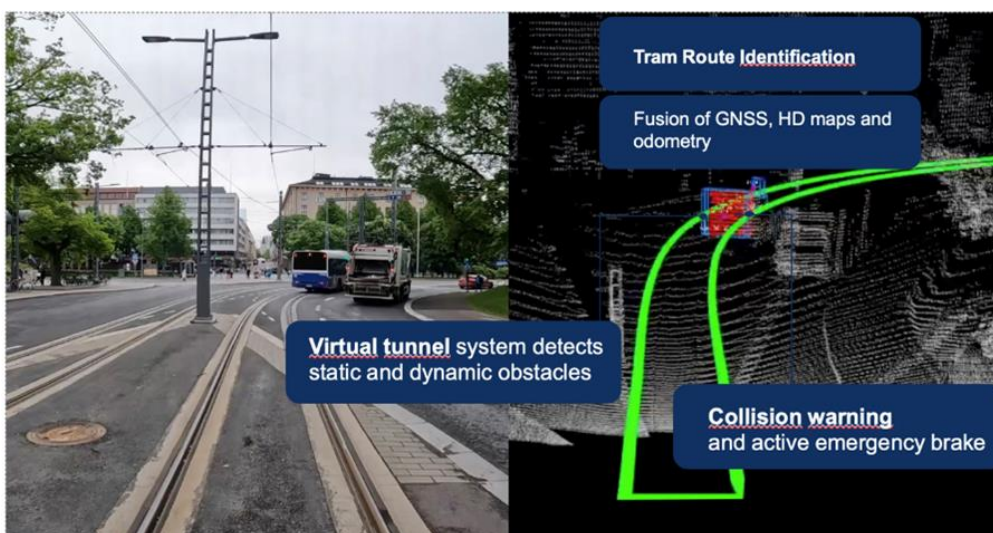
V Continental Engineering Services momentálně pracují na úpravách automobilového antikolizního systému pro tramvaje. [7]

### 2.4 Antikolizní systém od společnosti Škoda Group

Systém od této společnosti je stále ve fázi vývoje a nebyl uveden na trh, což znamená, že některé parametry se v konečné podobě mohou lišit.

Systém funguje na principu vytvoření virtuálního tunelu před tramvají (Obr. 5), ve kterém detekuje všechny statické i dynamické překážky. V případě, že se nějaká překážka nachází v nebezpečné blízkosti, upozorní řidiče a případně aktivuje záchrannou brzdu. [8], [9], [10]

Senzorická řada tohoto systému se skládá ze tří senzorů: LiDAR (3D mapování okolí v dosahu 100 – 150 metrů v horizontálním a vertikálním poli), IMU (informace o naklonění vozidla – výstup senzorů antikolizního systému je srovnáný s profilem trati) a kamera (2D snímky ve vysokém rozlišení pro zachycení více detailů). [8], [9], [10]



Obr. 5 – Vizuální tunel vytvořený před tramvají antikolizním systémem od společnosti Škoda Group, [27]

Výhodou tohoto systému oproti konkurenci je schopnost vytvářet HD mapy železniční infrastruktury pomocí LiDARu. [9]

Systém je schopný detekovat větší překážku (auto nebo tramvaj) na vzdálenost 100 metrů a menší objekty (dospělý člověk nebo dítě) na vzdálenost 50 metrů. [9]



## 2.5 Porovnání

Z porovnání v tabulce (Tab. 1) je vidět, že největší vzdálenost detekce překážky má systém od společnosti Continental. U systému od společnosti Bosch Engineering musíme brát v potaz i fakt, že prošel největším množstvím testování a na testovaných místech se podařilo snížit nehodovost zhruba o 40 %. Co se týče systému od společnosti Škoda Group, zde je výhodou použití LiDARu místo radaru a možnost vytváření HD map železniční infrastruktury.

Nelze ovšem jednoznačně říct, který z uvedených systémů je nejlepší, protože vzdálenost detekce není jediný hlavní faktor, podle kterého by se měly tyto systémy porovnávat.

Technologie antikolizních systémů pro kolejová vozidla je poměrně nová a tudíž ne tak dokonalá. Stále se vyvíjejí nové prvky, díky kterým se tyto systémy stále posouvají kupředu.

*Tab. 1 – Porovnání antikolizních systémů od tří vybraných společností*

<b>Společnost</b>	<b>Prvky systému</b>	<b>Vzdálenost detekce</b>
Bosch Engineering	Radar a kamera	80 metrů
Continental	Radar a kamera	250 – 300 metrů
<b>Škoda Group<sup>1</sup></b>	<b>LiDAR, IMU a kamera</b>	<b>50 – 100 metrů</b>

---

<sup>1</sup> Ve fázi vývoje, ještě není uveden na trh



### 3 Brzdné systémy

Brzdňý systém tramvajových vozidel je v souladu s legislativními požadavky sestaven z řady nezávislých brzdňých systémů, které jsou v činnosti buď samostatně, nebo v různých kombinacích. Použití jednotlivých brzdňých systémů se liší v závislosti na druhu požadovaného brzdění. [11]

#### 3.1 Rozdělení brzdňých systémů tramvajových vozidel

Jednotlivé brzdňé systémy lze rozdělovat pomocí různých faktorů, například podle způsobu, nebo druhu brzdění. [11]

##### 3.1.1 Rozdělení brzdňých systémů tramvajových vozidel dle druhu brzdění

Předpisy pro tramvajová vozidla určují různé druhy brzdění, které jsou používány v daných provozních situacích. Jedná se o brzdění provozní, zajišťovací, parkovací, nouzové a záchranné. [11]

###### Provozní brzdění

Provozní brzdění zajišťuje usměrňování rychlosti vozidla při běžných provozních situacích, jako je třeba zastavování v zastávkách, či křižovatkách, nebo při jízdě z kopce pro udržování konstantní rychlosti vozidla. [11]

Funkci provozního brzdění plní v souladu brzda elektrodynamická s brzdou mechanickou. Pomocí brzdy elektrodynamické je prováděna většina provozního brzdění. Při neúčinnosti brzdy elektrodynamické se zapojí brzda mechanická sloužící hlavně k dobrzdění v nízkých rychlostech přibližně 5 km/h a méně. V případě výpadku nebo poruchy elektrodynamické brzdy funguje mechanická brzda jako záložní. [11]

###### Zajišťovací brzdění

Zajišťovací brzdění zajišťuje krátkodobě stojící vozidlo proti samovolnému pohybu. Tuto funkci plní brzda mechanická. [11]

###### Parkovací brzdění

Parkovacím brzděním je vozidlo dlouhodobě zajištěno proti samovolnému pohybu. I zde plní tuto funkci brzda mechanická. [11]





### **Nouzové brzdění**

Cílem nouzového brzdění je poskytnutí větší spolehlivosti systému, než při provozním, nebo záchranném brzdění. K aktivaci této formy brzdění se zpravidla používají nouzová tlačítka umístěná v prostoru pro cestující, nebo zařízení mrtvého muže. [11]

Nouzové brzdění je zajištěno prostřednictvím součinnosti mechanické brzdy s magnetickou kolejnicovou brzdou. [11]

### **Záchranné brzdění**

Primárním cílem záchranného brzdění je zajištění maximální bezpečnosti cestujících a řidiče vozidla. Tímto způsobem brzdění se dosahuje nejvyšších hodnot zpomalení, a tím i nejkratší zábrzdě dráhy. Záchranné brzdění lze aktivovat prostřednictvím tlačítka záchranné brzdy, které se nachází na řídicím pultu na stanovišti řidiče, nebo prostřednictvím určené polohy řadiče. [11]

Při záchranném brzdění jsou v součinnosti všechny brzdě systémy najednou, tedy brzda elektrodynamická, mechanická i magnetická kolejnicová. [11]

### **3.1.2 Rozdělení brzděných systémů tramvajových vozidel dle způsobu brzdění**

Způsoby brzdění se rozdělují podle následujících kritérií: vznik, přenos a místo působení brzdě síly. Brzdy poté dělíme na dynamické, třecí a magnetickou kolejnicovou brzdu. [11]

#### **Dynamické brzdění**

Dynamické brzdění lze použít pouze při pohybu vozidla. U tramvajových vozidel je nejčastěji používané brzdění elektrodynamické, kdy trakční motory s pohonem od dvojkolí pracují v režimu generátoru. Za normálních podmínek většinu provozního brzdění tvoří elektrodynamické brzdění. [11]

#### **Třecí brzdění**

Při třecím brzdění se brzdě síla přenáší prostřednictvím tření jednotlivých částí brzd. Zpravidla se jedná o brzdy kotoučové, nebo čelistové, kdy při brzdění dochází ke tření brzdového obložení o kotouč, respektive brzdových čelistí o brzdový buben. [11]

Tento způsob brzdění se obvykle využívá jako součást provozního brzdění, a jako brzdění parkovací a zajišťovací. Při výpadku elektrodynamické brzdy plní funkci její náhrady. [11]

#### **Magnetická kolejnicová brzda**

Magnetická kolejnicová brzda využívá princip elektromagnetu, tím pádem je nezávislá na hmotnosti vozidla a adhezi mezi kolem a kolejnicí. Slouží jako součást záchranného brzdění u tramvajových vozidel. [11]



## 3.2 Konstrukce brzdných systémů tramvajových vozidel

Postupem vývoje a provozu tramvajových vozidel došlo u jednotlivých brzdných systémů k určitému ustálení jejich konstrukčního řešení. Konstrukční řešení a funkčnost nejpoužívanějších brzdných systémů, mezi které patří brzda elektrodynamická, čelistová, kotoučová a magnetická kolejnicová nastíní následující kapitola. [11]

### 3.2.1 Elektrodynamická brzda

Hlavní součást provozního brzdění tvoří elektrodynamické brzdění. Snadná regulovatelnost brzdné síly a minimální opotřebení je výhodou elektrodynamické brzdy (Obr. 6, Obr. 7, označené č. 1 na Obr. 11). [11]

Pracuje-li trakční motor v režimu generátoru, elektrodynamická brzda je v účinnosti. Vyráběný elektrický proud trakčním motorem, který je poháněn dvojkolím, je odváděn buď do odporníků, nebo zpět do napájecí sítě. V prvním případě se jedná brzdu odporovou, v druhém pak o brzdu rekuperační. Při elektrodynamickém brzdění dochází k přeměně kinetické energie na energii elektrickou, a v případě brzdění do odporníků dále na energii tepelnou. Na základě své konstrukce je elektrodynamická brzda účinná přibližně do rychlosti 5 km/h. Její konkrétní provedení pak závisí na typu použitého elektromotoru. [11]



Obr. 6 – Elektromotor s kotoučovou brzdou, [18]

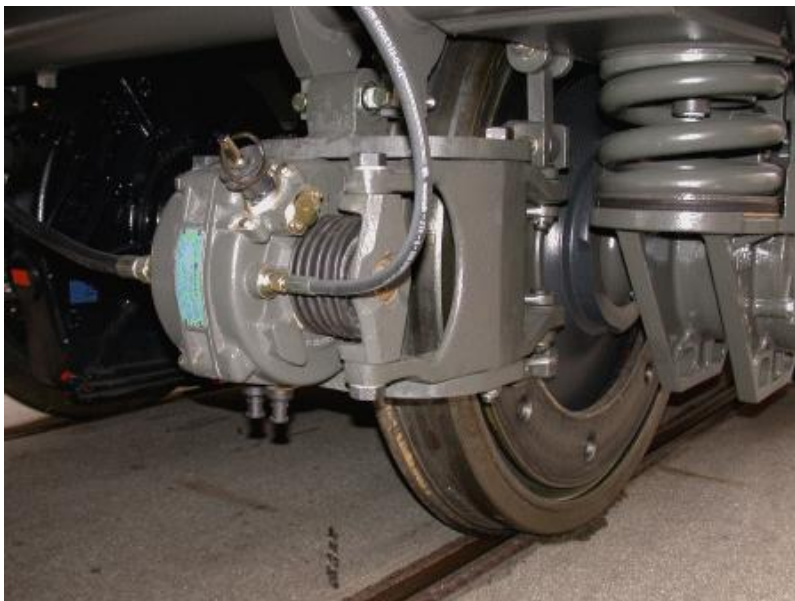


Obr. 7 – Elektromotor, [18]

### 3.2.2 Čelistová brzda

Čelistové brzdy (Obr. 8) spadají do kategorie třecích brzd, a v tramvajových vozidlech plní funkci zejména zajišťovací, parkovací brzdy, a náhrady elektrodynamické brzdy v případě výpadku. [11]

Čelistová brzda funguje na základě přitlačování brzdových čelistí s brzdovým obložením na brzdový buben, čímž vzniká brzdná síla působící proti směru pohybu vozidla. [11]



*Obr. 8 – Čelistová brzda, [28]*

### **3.2.3 Kotoučová brzda**

Kotoučová brzda (Obr. 9, označení č. 2 na Obr. 11) také spadá do kategorie třecích brzd. Smysl jejího využití na tramvajových vozidlech je totožný s brzdou čelistovou. [11]

Kotoučová brzda funguje na principu přitlačování brzdových destiček na kotouč, čímž vzniká tření a dochází k brzdění vozidla. [11]

V současné době používají tento typ brzd jak vozidla nová, tak i některá starší. Jednotlivá použitá řešení se odlišují zejména umístěním brzd a způsobu jejího ovládání. [11]

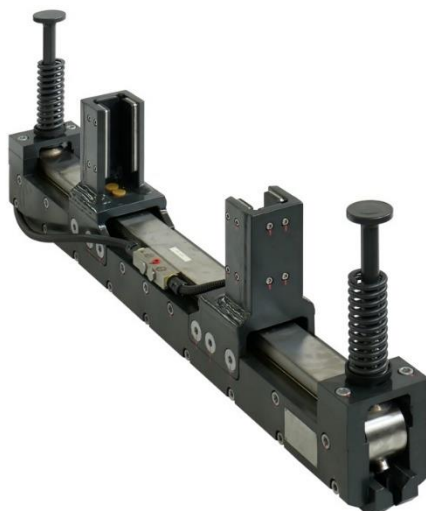


*Obr. 9 – Kotoučová brzda s elektromotorem, [18]*

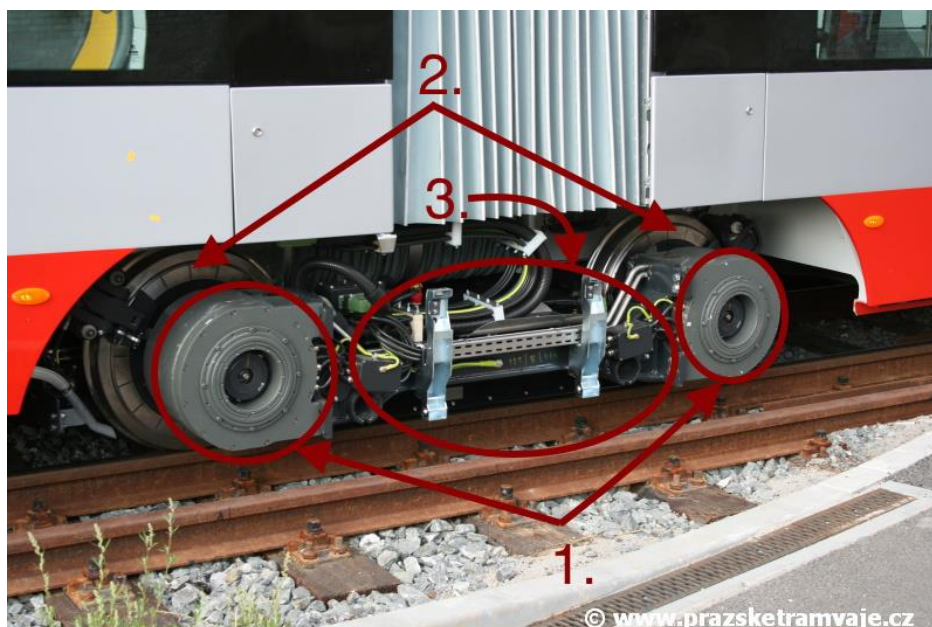


### 3.2.4 Magnetická kolejnicová brzda

Magnetická kolejnicová brzda (Obr. 10, označená č. 3 na Obr. 11) je brzdou neadhezní, tudíž nezávisí na styku kola s kolejnicí. Na tramvajových vozidlech slouží jako důležitá součást nouzového a záchranného brzdění. Magnetická kolejnicová brzda pracuje na principu magnetického působení mezi součástmi brzdy a hlavou kolejnice. Její účinek se zvyšuje s klesající rychlostí a je nezávislý na hmotnosti vozidla. [11]



Obr. 10 – Kolejnicová brzda, [29]



Obr. 11 – Vyznačené typy brzd na podvozku tramvaje Škoda 15T, [30]



## 4 Zvolená tramvaj – Škoda 15T (ForCity Alfa)

Pro tuto práci byla zvolena tramvaj Škoda 15T s obchodním názvem ForCity Alfa (Obr. 12, Obr. 13).

Tato tramvaj byla vyvinuta společností Škoda Transportation a. s. pro Dopravní podnik hlavního města Prahy (DPP) v letech 2005 až 2008. V současné době DPP vlastní 250 kusů. Poslední kus byl dodán 5. února 2019. [12], [13]

Tento typ tramvaje je nejnovější a velmi hojně využívaný DPP, tudíž nejlepší kandidát na případné osazení antikolizními systémy.



Obr. 12 – Škoda 15T na Čechově mostě, [31]

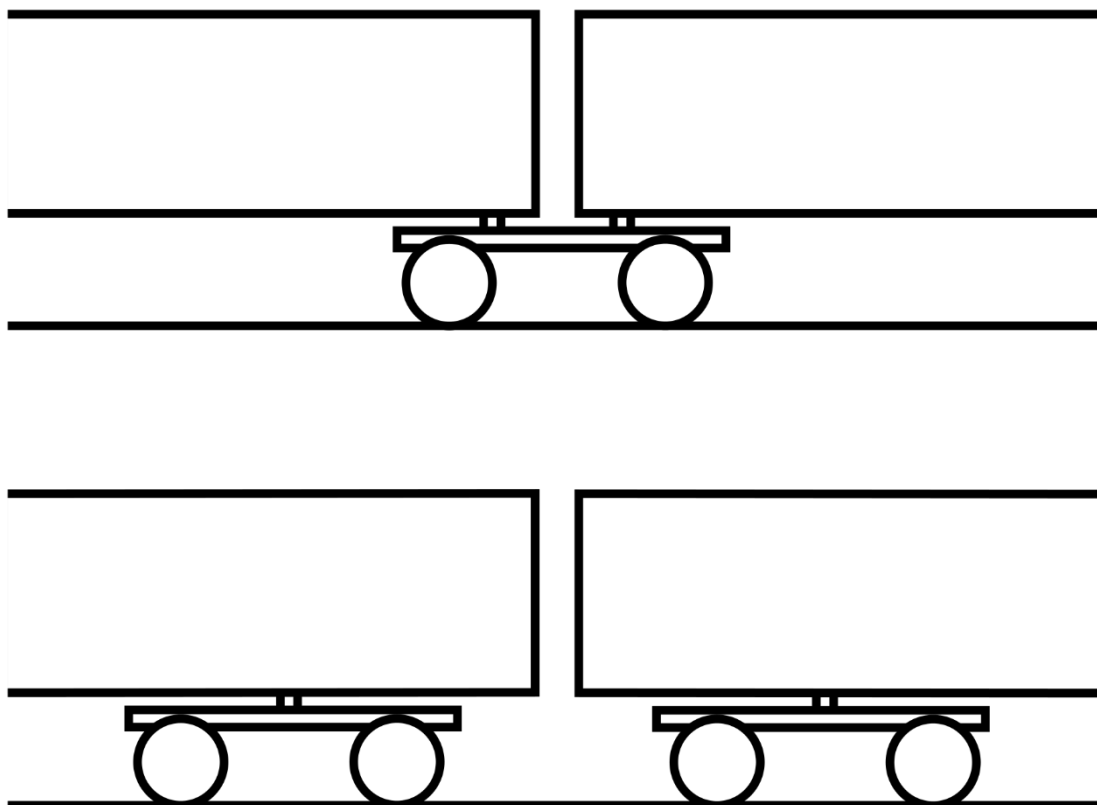
Obr. 13 – Škoda 15T na Andělu, [32]

### 4.1 Konstrukce

Jedná se o jednosměrný, plně nízkopodlažní, článkový tramvajový motorový vůz. V základní podobě se skládá ze tří článků, lze však přidat i čtvrtý článek, jako v části dodávky pro Rigu (Lotyšsko). Články jsou spojeny prostřednictvím podvozků, nikoliv kloubů – každý ze sousedních článků má vlastní uložení na Jakobsově podvozku<sup>2</sup> (Obr. 14). [12], [13]

Jedinou přímou mechanickou vazbu mezi články tvoří hydraulické tlumiče. K ochraně relativně úzkých přechodů mezi články se používají měchy. Vstup do vozidla zajišťuje šest dvoukřídlých představných dveří (dvoje v každé části). Řidič má k dispozici buď vlastní jednokřídlé dveře se stupátky nad prvním podvozkem, vedoucí přímo do jeho kabiny, nebo možnost vstoupit do kabiny z prostoru pro cestující prosklenými dveřmi. [12], [13]

<sup>2</sup> Jakobsův podvozek – Vozidlová skříň skládající se ze dvou nebo více dílů. Mezi dvěma sousedními díly je jeden společný podvozek, na kterém spočívají oba díly. Koncové díly jsou podle potřeby a zatížení opatřeny podvozkem nebo samostatným dvojkolím. Využití tohoto systému má výhodu ve snížení hmotnosti vozidla díky eliminaci jednoho podvozku a zvýšení bezpečnosti v případě vykolejení, kdy je menší vybočení z osy koleje spojených vozů. Nevýhodou je nemožnost rozpojení vozidel v běžném provozu. [21], [22]



*Obr. 14 – Schematické porovnání Jakobsova podvozku (nahore) s konvenčním uspořádáním podvozků (dole), [33]*

Konstrukce krajních i středních podvozků je prakticky shodná, což je vidět při natočení krajních podvozků, kdy kola blíže čelu vybočují mnohem více, než kola na opačné straně podvozku. Každé kolo pohání vlastní synchronní motor s permanentními magnety. Protože tramvaj nemá klasická dvojkolí, ale každé kolo má vlastní krátkou nápravu, je umožněn průjezd oblouků bez podélných skluzů. Na druhou stranu při jízdě v přímé trati chybí stabilizační efekt klasického dvojkolí. [12], [13]

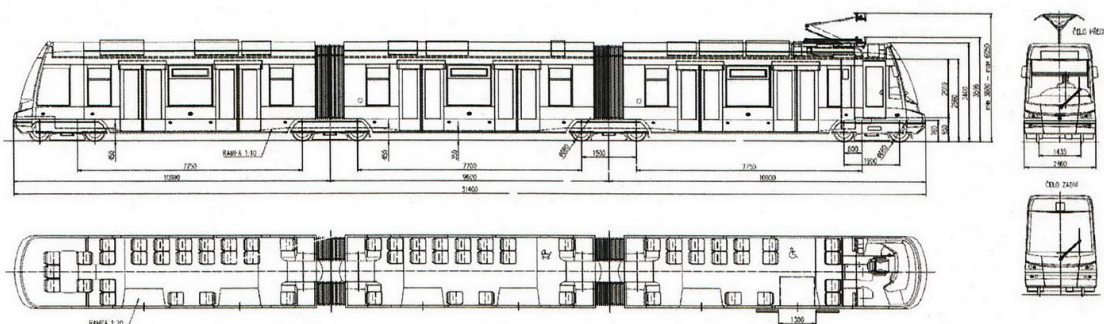
Vybavení stanoviště řidiče je podobné tramvaji Škoda 14T, dodávané do Prahy od konce roku 2005. Vůz má kamerový systém, ruční řadič pro řízení podvozku a klimatizaci pro řidiče. Kabinu řidiče odděluje od prostoru pro cestující poloprůhledná přepážka s dveřmi. [12], [13]



## 4.2 Technické parametry

Udávané parametry jsou pro pražskou verzi tramvaje (Obr. 15). [12], [13], [14]

- Délka přes čela skříně: 31 400 mm
- Šířka: 2 460 mm
- Výška (se staženým sběračem): 3 600 mm
- Rozchod: 1 435 mm
- Uspořádání podvozku: Bo', Bo', Bo', Bo' (4 podvozky po 2 dvojkolích, individuálně poháněné a uložené v podvozku)
- Adhezní hmotnost: 100%
- Pohotovostní hmotnost: 42 000 kg
- Napájení: 600 V stejnosměrné
- Motory: 16x synchronní 45 kW
- Celkový výkon: 720 kW
- Maximální rychlost: 60 km/h (elektronicky omezená)
- Konstrukční rychlost: 80 – 100 km/h
- Úroveň podlahy nad temenem kolejnice: 350/450 mm
- Celková obsaditelnost: 180 (4 os./m<sup>2</sup>)/ 210 (5 os./m<sup>2</sup>)/ 300 (8 os./m<sup>2</sup>)
  - Počet míst k sezení: 61
  - Počet míst k stání: 119 (4 os./m<sup>2</sup>)/ 149 (5 os./m<sup>2</sup>)/ 239 (8 os./m<sup>2</sup>)



Obr. 15 – Škoda 15T typový výkres, [34]



## 5 Metodika určení míst častých nehod

Nejrizikovější místa častých dopravních nehod se dají určovat několika způsoby. V této práci jsou uvedeny tři základní metody.

### 5.1 Ukazatele dopravní nehodovosti

#### 5.1.1 Metoda celkového počtu nehod (N)

Na základě celkového počtu nehod, které se staly na daném úseku trati, tato metoda určuje místa častých dopravních nehod. Tato metoda nezohledňuje následky nehod. Tím pádem přikládá stejnou váhu nehodě, při které došlo pouze k hmotným škodám, jako nehodě, při které došlo k úmrtí. V následující tabulce (Tab. 2) jsou uvedeny úseky tramvajové trati, na kterých došlo v letech 2016 až 2018 k největšímu počtu nehod. [2], [15]

Tab. 2 – Úseky tramvajových tratí v Praze s největším počtem nehod

Úsek trati			Počet nehod
Číslo	Zastávka 1	Zastávka 2	
1.	Vojenská nemocnice	Větrník	61
2.	Invalidovna	Palmovka	57
3.	Václavské náměstí	Jindřišská	56
4.	Strossmayerovo náměstí	Dlouhá třída	55
5.	Palackého náměstí	Zborovská	54
6.	Národní divadlo	Národní třída	53
7.	Národní divadlo	Staroměstská	49
8.	Nádraží Holešovice	Ortenovo náměstí	43
9.	Hradčanská	Vítězné náměstí	42
10.	Národní divadlo	Újezd	41

Při hodnocení bezpečnosti je nutné brát v úvahu i následky nehod. Pro určení míst měření nebyla zvolena tato metoda.





### 5.1.2 Metoda čísla závažnosti nehod (Z)

Tato metoda určuje místa častých dopravních nehod na základě celkového počtu nehod, ke kterým došlo na daném úseku trati a závažnosti jejich následků. Součet všech nehod vynásobený koeficienty vyjadřujícími následky nehod (hmotná škoda, lehké/ těžké zranění, úmrtí) dává číslo závažnosti nehod. Vztahem (1) je dáno číslo závažnosti nehody. V následující tabulce (Tab. 3) jsou zobrazeny úseky tramvajové trati s největším číslem závažnosti nehod. [2], [15]

$$Z = 130 \cdot N_u + 70 \cdot N_{tz} + 5 \cdot N_{lz} + 1 \cdot N_{hs} \quad [-] \quad (1)$$

- kde:  $N_u$  počet nehod s usmrcením [-],  
 $N_{tz}$  počet nehod s těžkým zraněním [-],  
 $N_{lz}$  počet nehod s lehkým zraněním [-],  
 $N_{hs}$  počet nehod s hmotnou škodou [-].

Tab. 3 – Úseky tramvajových tratí v Praze s největším číslem závažnosti nehod

Číslo	Úsek trati		Počet nehod	Následky nehod		Číslo závažnosti nehody Z
	Zastávka 1	Zastávka 2		Lehké zranění	Těžké zranění	
1.	Vojenská nemocnice	Větrník	61	9	1	166
2.	Nádraží Holešovice	Ortenovo náměstí	43	2	1	120
3.	Krematorium Motol	Motol	18	3	1	99
4.	Pohořelec	Brusnice	18	1	1	91
5.	Sídlíště Hloubětín	Lehovec	10	2	1	87
6.	Invalidovna	Palmovka	57	5	0	77
7.	Hostivařská	Na Groši	4	1	1	77
8.	Obora Hvězda	Vypich	2	0	1	71
9.	Strossmayerovo náměstí	Dlouhá třída	55	2	0	63
10.	Václavské náměstí	Jindřišská	56	1	0	60
11.	Nádraží Podbaba	Zelená	36	6	0	60

Zde není uvažováno dopravní vytížení. Pro určení míst měření nebyla zvolena tato metoda.



### 5.1.3 Metoda relativní nehodovosti (R)

Tato metoda rozlišuje metody celkového počtu nehod a čísla závažnosti nehod. Ve vztahu k průměrnému dennímu toku vozidel daným úsekem trati stanovuje pravděpodobnost vzniku nehody. Tato metoda se nejčastěji používá k hodnocení bezpečnosti nebo nebezpečnosti dané pozemní komunikace. Vztahem (2) je udávána relativní nehodovost. Při výpočtu lze zohlednit buď celkový počet nehod (N), nebo číslo závažnosti nehod (Z). Pro relevantnější vyjádření závažnosti nehod bylo použito číslo závažnosti nehod. V následující tabulce (Tab. 4) jsou uvedeny úseky tramvajové trati s nejvyšším ukazatelem relativní nehodovosti. [2], [15]

$$R = \frac{Z}{365 \cdot I \cdot t} \cdot 10^6 \text{ [závažnost nehod/milion vozidel a rok]} \quad (2)$$

- kde:  $Z$  číslo závažnosti nehod [–],  
 $I$  průměrná denní intenzita provozu [vozidel / 24 hodin],  
 $t$  sledované období [roky].

Tab. 4 – Úseky tramvajových tratí v Praze s největší relativní nehodovostí

Úsek trati			Číslo závažnosti nehody [–]	Dopravní tok [voz/rok]	Relativní nehodovost [závažnost nehod/milion vozidel a rok]
Číslo	Zastávka 1	Zastávka 2			
1.	Vojenská nemocnice	Větrník	166	70 360	786
2.	Nádraží Holešovice	Ortenovo náměstí	120	70 819	565
3.	Pohořelec	Brusnice	91	69 999	433
4.	Invalidovna	Palmovka	77	67 316	381
5.	Sídlíště Hloubětín	Lehovec	87	78 011	372
6.	Nádraží Podbaba	Zelená	60	61 779	324
7.	Invalidovna	Urxova	56	72 065	259
8.	Krematorium Motol	Motol	99	134 180	246
9.	Hostivařská	Na Groši	77	111 848	229
10.	Obora Hvězda	Vypich	71	110 043	215



Všechny uvedené lokality v tabulce (Tab. 4) jsou známé z důvodu častých dopravních nehod tramvají s jinými účastníky silničního provozu. Nedání přednosti v jízdě bylo nejčastější příčinou nehod na daných úsecích. [2]

Díky uvažování nejvíce důležitých faktorů bylo pro účel této práce vybráno prvních 5 míst z tabulky (Tab. 4).



## 6 Výpočty potřebných parametrů

### 6.1 Hmotnost soupravy podle obsazení

Vztah pro výpočet celkové hmotnosti soupravy:

$$m = m_v + m_{sed.cest.} + m_{stoj.cest.} = m_v + (n_{sed.cest.} + n_{stoj.cest.}) \cdot m_{1 cest.} \quad (3)$$

Hmotnost jednoho cestujícího je dána normou ČSN EN 12 663-1. Norma rozděljuje hmotnost cestujícího podle typu vozidla, a to konkrétně 70 kg pro tramvajová vozidla. [16]

Pohotovostní hmotnost soupravy, počty sedících a stojících cestujících při zvolené obsaditelnosti jsou uvedeny v kapitole 4.2.

Hmotnost prázdného vozu po dosazení do vztahu (3):

$$m = 42\,000 + (0 + 0) \cdot 70 = 42\,000 \text{ kg}$$

Hmotnost soupravy při obsazení 4 os./m<sup>2</sup> po dosazení do vztahu (3):

$$m = 42\,000 + (61 + 119) \cdot 70 = 54\,600 \text{ kg}$$

Hmotnost soupravy při obsazení 8 os./m<sup>2</sup> po dosazení do vztahu (3):

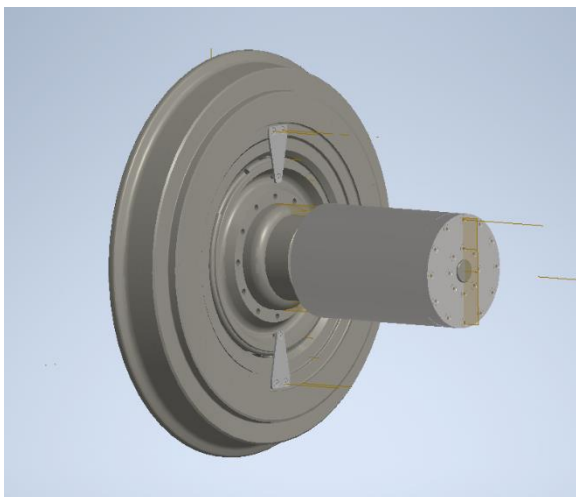
$$m = 42\,000 + (61 + 239) \cdot 70 = 63\,000 \text{ kg}$$

### 6.2 Součinitel rotačních hmot

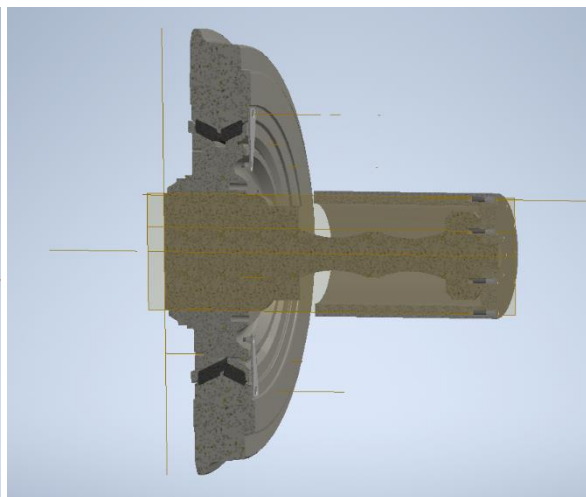
Jedná se o schopnost těles odolávat změnám rotačního pohybu. Pokud má těleso větší setrvačnost změna úhlové rychlosti, polohy osy otáčení nebo jiných fyzikálních vlastností tělesa vyžaduje více energie. Například plné rotující kolo má kvůli větší hmotnosti větší setrvačnost než kolo duté. Při určování velikosti setrvačnosti však hraje roli i rozložení hmotnosti těles vzhledem k ose rotace. Proto je pro tuto práci tato hodnota důležitá. [17]

Pohotovostní hmotnost soupravy, maximální rychlost a počet rotujících kol je uveden v kapitole 4.2. Moment setrvačnosti k ose rotace byl získán z modelu v Inventoru (Obr. 16, Obr. 17) podle výkresu kola tramvaje Škoda 15T poskytnutým doc. Kolářem,  $J_K = 14\,581\,057,565 \text{ kg} \cdot \text{mm}^2 = 14,581 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$  (Obr. 18). [18]

Poloměr kola  $r_K = 333 \text{ mm} = 0,333 \text{ m}$ . [18]



Obr. 16 – Model kola tramvaje s rotorem elektromotoru



Obr. 17 – Model kola tramvaje s rotorem elektromotoru v řezu

Sestava\_Kolo\_tramvaje\_komplet iVlastnosti

Obecné Souhrn Projekt Stav Uživatelské Uložit Fyzikální

Materiál  Aktualizovat

Hustota  Požadovaná přesnost  Schránka

Obecné vlastnosti

Zahrnout kosmetické svary  Zahrnout přepsání KS

Těžiště

Hmotnost  X

Povrch  Y

Objem  Z

Vlastnosti setrvačnosti

Hlavní momenty

I1  I2  I3

Rotace na hlavní

Rx  Ry  Rz

Obr. 18 – Tabulka fyzikálních vlastností modelu kola tramvaje



Vztah pro výpočet kinetické energie pro obecný posuvný a rotační pohyb:

$$E_K = \frac{1}{2} \cdot m_V \cdot v^2 + \frac{1}{2} \cdot n_K \cdot J_K \cdot \left(\frac{v}{r_K}\right)^2 \quad (4)$$

Po dosazení do vztahu (4):

$$E_K = \frac{1}{2} \cdot 42\,000 \cdot \left(\frac{60}{3,6}\right)^2 + \frac{1}{2} \cdot 16 \cdot 14,581 \cdot \left(\frac{\frac{60}{3,6}}{0,333}\right)^2 = 6\,125\,539 \text{ J}$$

Vztah pro výpočet kinetické energie pomocí redukované hmotnosti:

$$E_K = \frac{1}{2} \cdot m_{red} \cdot v^2 \rightarrow m_{red} = \frac{2 \cdot E_K}{v^2} \quad (5)$$

Po dosazení do vztahu (5):

$$m_{red} = \frac{2 \cdot 6\,125\,539}{\left(\frac{60}{3,6}\right)^2} = 44\,104 \text{ kg}$$

Vztah pro výpočet součinitele rotačních hmot pomocí redukované hmotnosti:

$$m_{red} = m_V \cdot \delta \rightarrow \delta = \frac{m_{red}}{m_V} \quad (6)$$

Po dosazení do vztahu (6):

$$\delta = \frac{44\,104}{42\,000} = 1,05$$

Vztah pro výpočet součinitele rotačních hmot:

$$\delta = 1 + \xi_V \rightarrow \xi_V = \delta - 1 \quad (7)$$

Po dosazení do vztahu (7):

$$\xi_V = 1,05 - 1 = 0,05$$

Běžně se u tramvají používá hodnota  $\xi_V = 0,15$ , ale tramvaj Škoda 15T nemá převodovku, ani spojená dvojkolí, nýbrž individuálně poháněná kola vlastním elektromotorem. Proto zde vychází nižší hodnota.



### 6.3 Jízdní odpory

Jízdní odpory působí vždy a vyjadřují velikost odporu vozidla, tzn. zpomalují vozidlo. Pro tuto práci je uvažována pouze přímá trať bez sklonu pro zjednodušení.

Pro výpočet jízdních odporů mi byli doc. Kolářem poskytnuty následující hodnoty k tramvaji Škoda 15T.

Součinitel jízdního odporu  $o_v = 2,1 N/kN$ ; hustota vzduchu  $\rho = 1,25 kg/m^3$ ; součinitel odporu vzduchu  $c_x = 0,5$ ; čelní plocha  $S_x = 7,5 m^2$ ; mez adheze  $\mu = 0,15$  a tíhové zrychlení  $g = 9,81 m/s$ . Hmotnosti soupravy jsou uvedeny v kapitole 6.1. [18]

Jízdní odpory jsou počítány pro rychlosti 60 km/h a 50 km/h pro prázdnou tramvaj, při obsazenosti 4 os./m<sup>2</sup> a 8 os./m<sup>2</sup>.

#### 6.3.1 Vozidlový odpor

Vztah pro výpočet vozidlového odporu:

$$O_V = m \cdot g \cdot o_v \quad (8)$$

Po dosazení do vztahu (8) pro prázdnou tramvaj:

$$O_V = 42\,000 \cdot 9,81 \cdot 2,1 = 685\, N$$

Po dosazení do vztahu (8) při obsazenosti 4 os./m<sup>2</sup>:

$$O_V = 54\,600 \cdot 9,81 \cdot 2,1 = 1\,125\, N$$

Po dosazení do vztahu (8) při obsazenosti 8 os./m<sup>2</sup>:

$$O_V = 63\,000 \cdot 9,81 \cdot 2,1 = 1\,298\, N$$

#### 6.3.2 Odpor vzduchu

Vztah pro výpočet odporu vzduchu:

$$O_{vzd.} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S_x \cdot c_x \cdot v^2 \quad (9)$$

Po dosazení do vztahu (9) při rychlosti 60 km/h:

$$O_{vzd.} = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 7,5 \cdot 0,5 \cdot \left(\frac{60}{3,6}\right)^2 = 651\, N$$

Po dosazení do vztahu (9) při rychlosti 50 km/h:

$$O_{vzd.} = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 7,5 \cdot 0,5 \cdot \left(\frac{50}{3,6}\right)^2 = 452\, N$$



### 6.3.3 Výsledná odporová síla působící na vozidlo

Vztah pro výpočet výsledné odporové síly působící na vozidlo:

$$F_O = O_V + O_{vzd}. \quad (10)$$

Po dosazení do vztahu (10) dostaneme výsledné odporové síly působící na vozidlo uvedené v následující tabulce (Tab. 5).

Tab. 5 – Výsledné odporové síly působící na vozidlo

	60 km/h	50 km/h
Prázdná tramvaj	1 516 N	1 317 N
4 os./m <sup>2</sup>	1 776 N	1 577 N
8 os./m <sup>2</sup>	1 949 N	1 750 N

Odporová síla je v porovnání s adhezní silou malá a zároveň napomáhá při brzdění vozidla, proto je v této práci pouze uvedena, ale není s ní počítáno. Výpočty jsou v tomto případě konzervativní, protože vychází větší zábrzdňá vzdálenost.

### 6.4 Adhezní síla

Výpočet adhezní síly se provede pomocí součinitele adheze  $\mu = 0,15$ ; tíhového zrychlení  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  a hmotností soupravy podle obsazenosti uvedených v kapitole 6.1.

Vztah pro výpočet adhezní síly:

$$F_{ad} = \mu \cdot Q = \mu \cdot g \cdot m_V \quad (11)$$

Po dosazení do vztahu (11) pro prázdnou tramvaj:

$$F_{ad0} = 0,15 \cdot 9,81 \cdot 42\,000 = 61\,803 \text{ N}$$

Při obsazenosti 4 os./m<sup>2</sup> :  $F_{ad4} = 80\,344 \text{ N}$

Při obsazenosti 8 os./m<sup>2</sup> :  $F_{ad8} = 92\,705 \text{ N}$

Následně je potřeba vypočítat hodnoty brzděné síly a maximální sílu, kterou je motor schopný vyprodukovat, pro vynesení do rychlostní charakteristiky.

Jmenovitý výkon  $P_{Bjmen} = 45\,000 \text{ W}$ , maximální výkon  $P_{Bmax} = 58\,000 \text{ W}$ ; poloměr kola  $r_K = 0,333 \text{ m}$ ; maximální moment  $M_{Bmax} = 2\,000 \text{ Nm}$ ; otáčky motoru při maximálním momentu  $n_{Mmax} = 277 \text{ min}^{-1}$  a rychlost jedoucí tramvaje. [18], [19]





Vztah pro výpočet brzdné síly pro 16 kol:

$$F_B = \frac{16 \cdot P_B}{v} \quad (12)$$

Po dosažení maximálního výkonu do vztahu (12):

$$F_{Bmax} = \frac{16 \cdot 58\,000}{\frac{60}{3,6}} = 55\,680\,N$$

Kvůli změně brzdné síly při různých rychlostech je v tomto postupu snižována rychlost jedoucí tramvaje po 2,5 km/h až do zastavení.

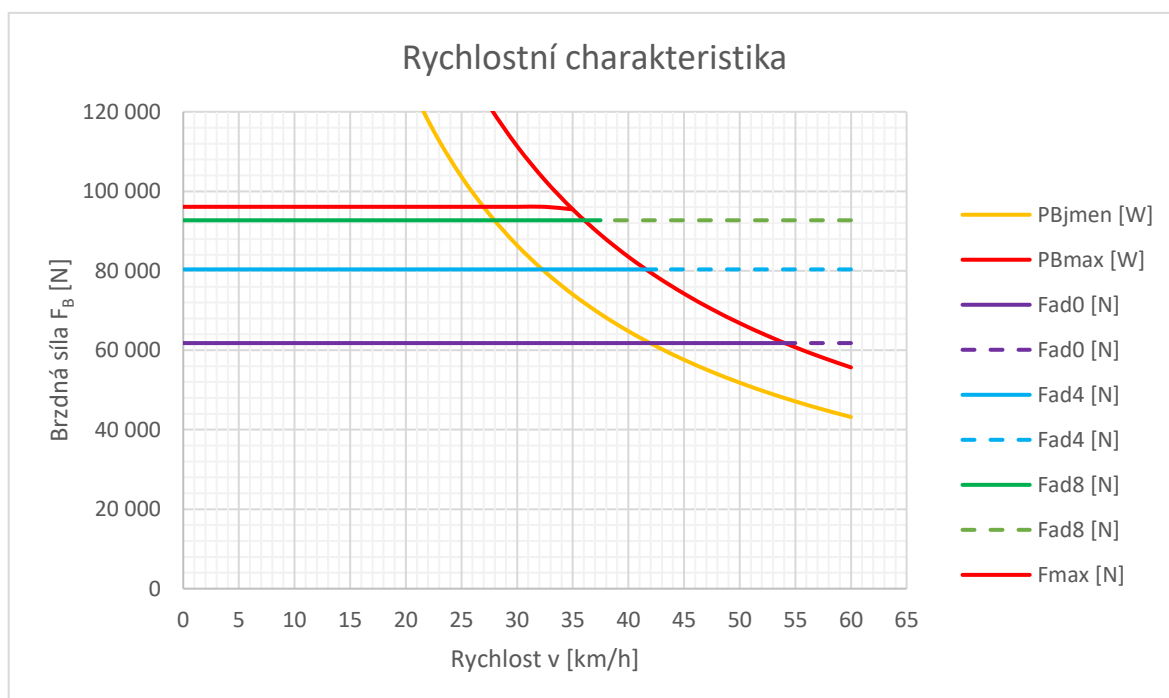
Posledním krokem je výpočet maximální síly, kterou je motor schopný vyprodukovat. Je počítáno s maximální silou motoru, jelikož se motory po zastavení chladí.

Vztah pro výpočet síly motoru pro 16 kol:

$$F_{max} = \frac{16 \cdot M_{Bmax}}{r_K} \quad (13)$$

Po dosažení do vztahu (13):

$$F_{max} = \frac{16 \cdot 2\,000}{0,333} = 96\,096\,N$$



Graf 1 – Rychlostní charakteristika tramvaje Škoda 15T



Po vytvoření grafu rychlostní charakteristiky (Graf 1) lze odečíst rychlosti, kde je brzdná síla omezená adhezní silou, uvedené v následující tabulce (Tab. 6).

Jak je patrné z grafu, tramvaj bude při všech obsazenostech brzdit na mezi adheze od určité rychlosti.

Tab. 6 – Rychlosti při adhezním omezení

Obsazenost	Rychlost
Prázdná	54 km/h
4 os./m <sup>2</sup>	41,6 km/h
8 os./m <sup>2</sup>	36 km/h

Vztah pro kontrolu odečtených rychlostí:

$$v = \frac{16 \cdot P_{Bmax}}{F_{ad}} \cdot 3,6 \quad (14)$$

Po dosazení do vztahu (14) pro prázdnou tramvaj:

$$v = \frac{16 \cdot 58\,000}{61\,803} \cdot 3,6 = 54 \text{ km/h}$$

Při obsazenosti 4 os./m<sup>2</sup> :  $v = 41,6 \text{ km/h}$

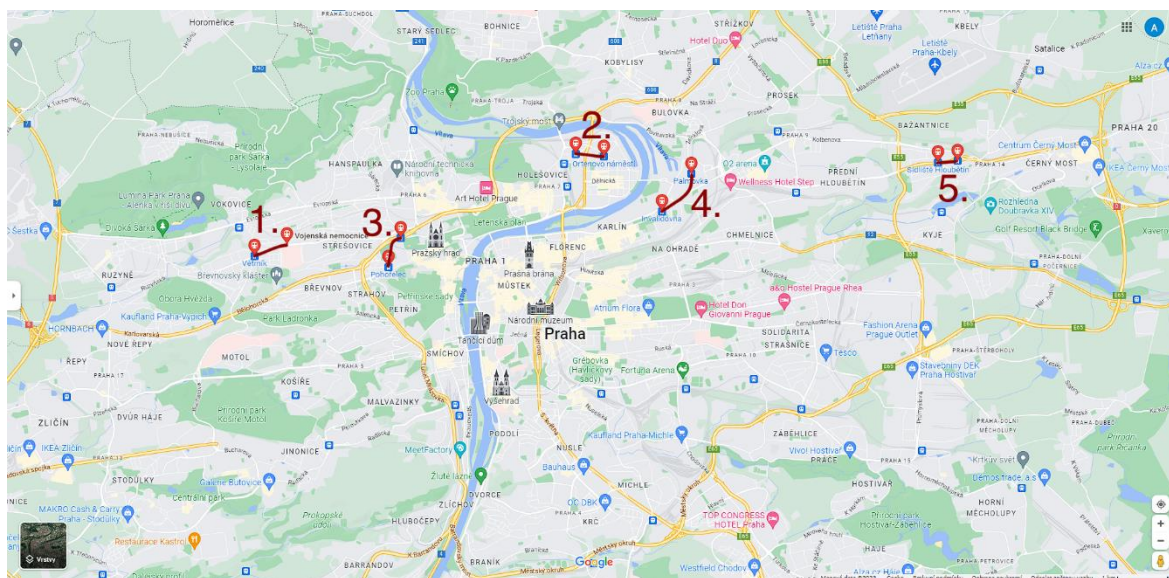
Při obsazenosti 8 os./m<sup>2</sup> :  $v = 36 \text{ km/h}$



## 7 Vybraná místa častých dopravních nehod, naměřené hodnoty a výpočty zábrzdné dráhy

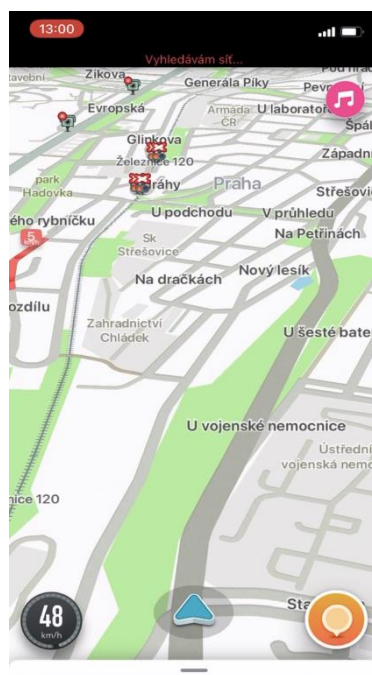
Pro výběr měřených úseků byla použita metoda relativní nehodovosti.

Vybraná místa lze vidět na mapě (Obr. 19).



Obr. 19 – Mapa vybraných míst pro měření rychlosti, [35]

Na měření rychlosti v úsecích tramvajových tratí v Praze byla použita aplikace Waze (Obr. 20).

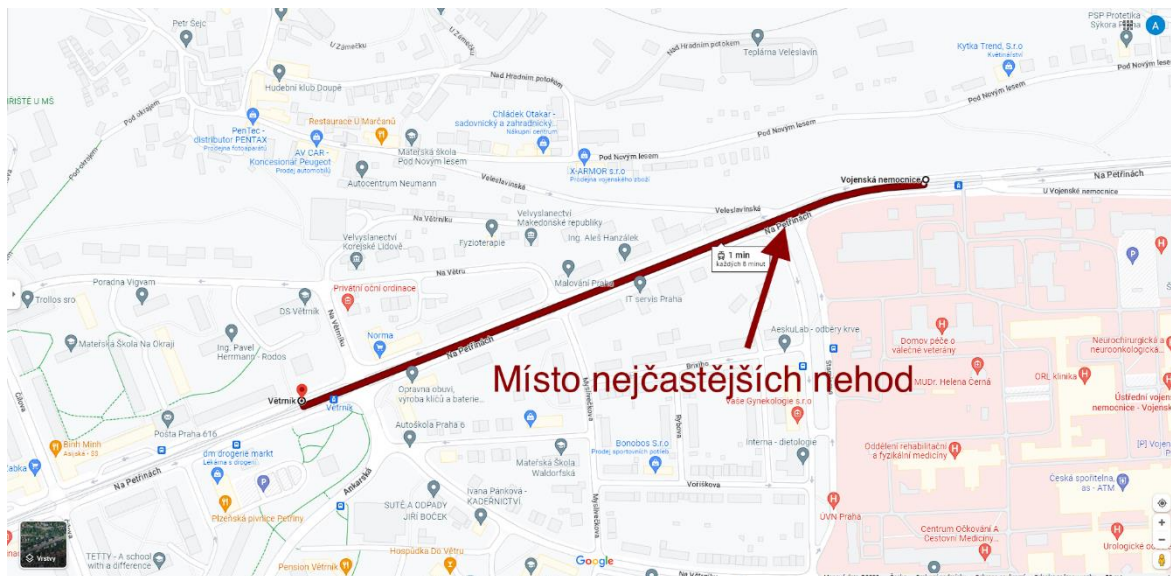


Obr. 20 – Ukázka způsobu měření rychlosti pomocí aplikace Waze



## 7.1 Úsek č. 1

Jedná se o úsek Vojenská nemocnice – Větrník, konkrétně odbočení z ulice Na Petřinách do ulice Stamicova (Obr. 21). Naměřené rychlosti lze vidět v tabulce (Tab. 7).



Obr. 21 – Mapa místa nejčastějších nehod na úseku Vojenská nemocnice – Větrník, [35]



Obr. 22 – Křižovatka ulic Na Petřinách a Stamicova



Na obrázcích je vidět křižovatka ulic Na Petřinách a Stamicova (Obr. 22), kde se 23.6.2017 stala vážná nehoda tramvaje s osobním autem (Obr. 23, Obr. 24).



Obr. 23 – Nehoda tramvaje s OA v křižovatce ulic Na Petřinách a Stamicova z 23.6.2017, [36]



Obr. 24 – Nehoda tramvaje s OA v křižovatce ulic Na Petřinách a Stamicova z 23.6.2017, [36]

Tab. 7 – Naměřené rychlosti v úseku Vojenská nemocnice – Větrník na místě nejčastějších nehod

Číslo měření	Datum a čas	Počasí	Směr	Linka	Rychlost v místě nehod	Neplatné měření
1.	21.11.2022 12:59	Mokro a slabý déšť	Vojenská nemocnice	1	48 km/h	OK
2.	21.11.2022 13:01	Mokro a slabý déšť	Větrník	2	46 km/h	OK
3.	21.11.2022 13:07	Mokro a slabý déšť	Vojenská nemocnice	2	42 km/h	OK
4.	21.11.2022 13:11	Mokro a slabý déšť	Větrník	2	43 km/h	OK
5.	13.12.2022 12:20	Sníh a náledí	Vojenská nemocnice	1	31 km/h	X
6.	13.12.2022 12:25	Sníh a náledí	Větrník	2	40 km/h	OK
7.	13.12.2022 12:30	Sníh a náledí	Vojenská nemocnice	1	47 km/h	OK
8.	13.12.2022 12:33	Sníh a náledí	Větrník	2	25 km/h	X
9.	13.12.2022 12:37	Sníh a náledí	Vojenská nemocnice	2	41 km/h	OK
10.	13.12.2022 12:39	Sníh a náledí	Větrník	1	45 km/h	OK
11.	22.05.2023 9:07	Jasno	Vojenská nemocnice	2	46 km/h	OK
12.	22.05.2023 9:09	Jasno	Větrník	1	40 km/h	OK
13.	22.05.2023 9:17	Jasno	Vojenská nemocnice	2	41 km/h	OK
14.	22.05.2023 9:31	Jasno	Větrník	2	26 km/h	X
15.	22.05.2023 9:37	Jasno	Vojenská nemocnice	2	48 km/h	OK
16.	22.05.2023 9:42	Jasno	Větrník	1	48 km/h	OK

Měření jsou neplatná z důvodu:

- měření č. 5 – Tramvaj zastavila, na kolejič stál autobus,
- měření č. 8 a 14 – Tramvaj zpomalila, přes koleje přejezdělo auto.



Následujícím vztahem byla z platných měření v tabulce (Tab. 7) vypočítána průměrná rychlost:

$$v_{prům} = \frac{\sum_1^n v_n}{n} \quad (15)$$

Po dosazení do vztahu (15):

$$v_{prům} = \frac{48 + 46 + 42 + 43 + 40 + 47 + 41 + 45 + 46 + 40 + 41 + 48 + 48}{13}$$
$$v_{prům} = 44,2 \text{ km/h}$$

Maximální zábrzdňá dráha při provozním brzdění z rychlosti 44 km/h udávaná normou ČSN 28 1300 je 66,69 metrů. [20]

Reakční doba řidiče spolu s dobou náběhu brzd  $t = 0,55 \text{ s}$ . Následujícím vztahem byla určena vzdálenost, kterou tramvaj ujede za daný čas při vypočítané průměrné rychlosti:

$$s_1 = v \cdot t \quad (16)$$

Po dosazení do vztahu (16):

$$s_1 = \frac{44,2}{3,6} \cdot 0,55 = 6,75 \text{ m}$$

Pro výpočet zábrzdňé dráhy je potřeba vypočítat kinetickou energii při průměrné rychlosti ze vztahu:

$$E_K = \frac{1}{2} \cdot (m_V \cdot (1 + \xi_V) + m_{už}) \cdot v^2 \quad (17)$$

Po dosazení do vztahu (17) pro prázdnou tramvaj:

$$E_K = \frac{1}{2} \cdot (42\,000 \cdot (1 + 0,05) + 0) \cdot \left(\frac{44,2}{3,6}\right)^2 = 3\,324\,194 \text{ J}$$

Postup se opakuje pro rychlosti 42,5 km/h, 40 km/h, 37,5 km/h atd. do dosažení rychlosti působení adhezní síly.

Následujícím vztahem byla získána zábrzdňá dráha před dosažením rychlosti brzdění adhezní silou:

$$s_n = \frac{1}{2} \cdot \frac{m_{red}}{F_{BV}} \cdot (v_n^2 - v_{n+1}^2) = \frac{1}{2} \cdot \frac{m_V \cdot (1 + \xi_V) + m_{už}}{F_{BV}} \cdot (v_n^2 - v_{n+1}^2) \quad (18)$$



Po dosazení do vztahu (18) při obsazenosti 4 os./m<sup>2</sup> (pro příklad výpočtu byla použita obsazenost 4 os./m<sup>2</sup>, jelikož prázdná tramvaj brzdí celou dobu adhezní silou):

$$s_2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{42\,000 \cdot (1 + 0,05) + 12\,600}{75\,584} \cdot \left( \left( \frac{44,2}{3,6} \right)^2 - \left( \frac{42,5}{3,6} \right)^2 \right) = 4,27 \text{ m}$$

Při dosažení rychlosti, kdy tramvaj brzdí adhezní silou byl pro výpočet zábrzdné dráhy použit vztah:

$$s_n = \frac{E_{Kn}}{F_{ad}} \quad (19)$$

Po dosazení do vztahu (19) pro prázdnou tramvaj:

$$s_2 = \frac{3\,324\,194}{61\,803} = 53,79 \text{ m}$$

Pro výpočet celkové zábrzdné dráhy byl použit vztah:

$$s_c = \sum_1^n s_n \quad (20)$$

Po dosazení do vztahu (20) pro prázdnou tramvaj:

$$s_c = s_1 + s_2 = 6,75 + 53,79 = 60,54 \text{ m}$$

Použitím vztahů (17), (18), (19) a (20) byly získány zábrzdné dráhy uvedené v následující tabulce (Tab. 8).

Tab. 8 – Zábrzdná dráha tramvaje při různé obsazenosti na úseku Vojenská nemocnice – Větrník

Obsazenost	Zábrzdná dráha	Vyhovuje normě ČSN 28 1300
Prázdná	60,54 m	ANO
4 os./m <sup>2</sup>	60,25 m	ANO
8 os./m <sup>2</sup>	62,29 m	ANO

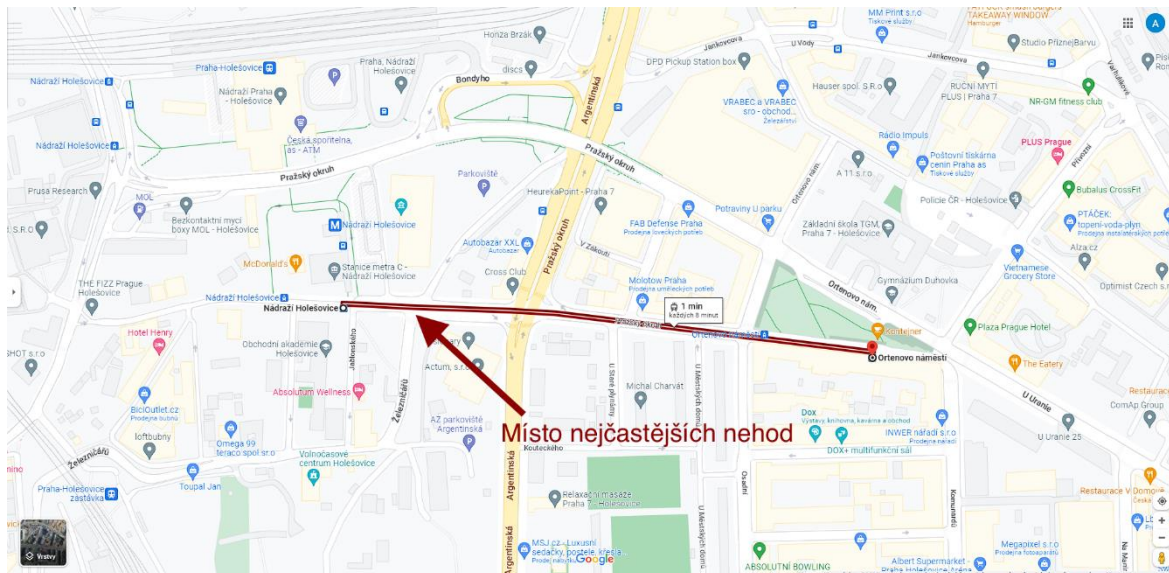
Zábrzdná dráha tramvaje při obsazenosti 4 os./m<sup>2</sup> vychází menší než zábrzdná dráha prázdné tramvaje, jelikož tramvaj brzdí větší adhezní silou.

Viditelná vzdálenost tramvaje je směrem Větrník 180 metrů, směrem Vojenská nemocnice pak 500 metrů.



## 7.2 Úsek č. 2

Jedná se o úsek Nádraží Holešovice – Ortenovo náměstí, konkrétně odbočení z ulice Plynární do ulice Železničářů (Obr. 25). Naměřené rychlosti lze vidět v tabulce (Tab. 9).



Obr. 25 – Mapa místa nejčastějších nehod na úseku Nádraží Holešovice – Ortenovo náměstí, [35]

Na obrázku je vidět křižovatka ulic Plynární a Železničářů (Obr. 26), kde právě projíždí tramvaj.



Obr. 26 – Křižovatka ulic Plynární a Železničářů





Tab. 9 – Naměřené rychlosti v úseku Nádraží Holešovice – Ortenovo náměstí na místě nejčastějších nehod

Číslo měření	Datum a čas	Počasí	Směr	Linka	Rychlost v místě nehod	Neplatné měření
1.	10.01.2023 15:11	Polojasno	Ortenovo náměstí	6	33 km/h	X
2.	10.01.2023 15:16	Polojasno	Nádraží Holešovice	6	50 km/h	OK
3.	10.01.2023 15:27	Polojasno	Ortenovo náměstí	12	39 km/h	OK
4.	10.01.2023 15:33	Polojasno	Nádraží Holešovice	12	46 km/h	OK
5.	10.01.2023 15:37	Polojasno	Ortenovo náměstí	12	39 km/h	OK
6.	10.01.2023 15:42	Polojasno	Nádraží Holešovice	12	34 km/h	X
7.	22.05.2023 11:39	Jasno	Ortenovo náměstí	6	46 km/h	OK
8.	22.05.2023 11:45	Jasno	Nádraží Holešovice	12	45 km/h	OK
9.	22.05.2023 11:53	Jasno	Ortenovo náměstí	12	?	X
10.	22.05.2023 11:58	Jasno	Nádraží Holešovice	6	30 km/h	X
11.	22.05.2023 12:02	Jasno	Ortenovo náměstí	12	36 km/h	X
12.	22.05.2023 12:08	Jasno	Nádraží Holešovice	6	34 km/h	X
13.	22.05.2023 12:12	Jasno	Ortenovo náměstí	12	48 km/h	OK
14.	22.05.2023 12:16	Jasno	Nádraží Holešovice	12	44 km/h	OK

Měření jsou neplatná z důvodu:

- měření č. 1 a 11 – Tramvaj zpomalila, na kolejích stálo auto,
- měření č. 6, 10 a 12 – Tramvaj se zastavila na semaforu,
- měření č. 9 – Aplikace na měření přestala v průběhu měření fungovat.

Použitím vztahu (15) byla z platných měření v tabulce (Tab. 9) vypočítána průměrná rychlost:

$$v_{prům} = 44,63 \text{ km/h}$$

Maximální zábrzdňá dráha při provozním brzdění z rychlosti 44,5 km/h udávaná normou ČSN 28 1300 je 68,21 metrů. [20]

Vztahem (16) byla určena vzdálenost, kterou tramvaj ujede za čas 0,55 s při vypočítané průměrné rychlosti:

$$s_1 = 6,82 \text{ m}$$

Použitím vztahů (17), (18), (19) a (20) byly získány zábrzdňé dráhy uvedené v následující tabulce (Tab. 10).



Tab. 10 – Zábrazdná dráha tramvaje při různé obsazenosti na úseku Nádraží Holešovice – Ortenovo náměstí

Obsazenost	Zábrazdná dráha	Vyhovuje normě ČSN 28 1300
Prázdná	61,66 m	ANO
4 os./m <sup>2</sup>	61,47 m	ANO
8 os./m <sup>2</sup>	63,68 m	ANO

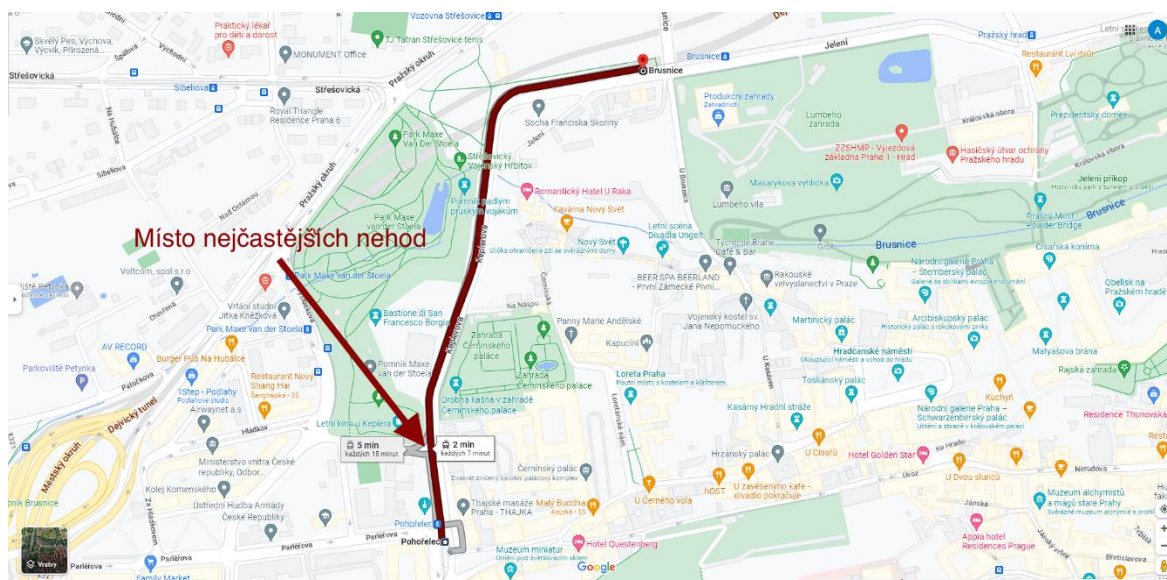
Zábrazdná dráha tramvaje při obsazenosti 4 os./m<sup>2</sup> vychází menší než zábrazdná dráha prázdné tramvaje, jelikož tramvaj brzdí větší adhezní silou.

Viditelná vzdálenost tramvaje je směrem Ortenovo náměstí 80 metrů, směrem Nádraží Holešovice pak 350 metrů.



### 7.3 Úsek č. 3

Jedná se o úsek Pohořelec – Brusnice, konkrétně odbočení z ulice Keplerova do ulice Hládkov (Obr. 27). Naměřené rychlosti lze vidět v tabulce (Tab. 11).



Obr. 27 – Mapa místa nejčastějších nehod na úseku Pohořelec – Brusnice, [35]

Na obrázku je vidět křižovatka ulic Keplerova a Hládkov (Obr. 28), kde právě projíždí tramvaj.



Obr. 28 – Křižovatka ulic Keplerova a Hládkov



Tab. 11 – Naměřené rychlosti v úseku Pohořelec – Brusnice na místě nejčastějších nehod

Číslo měření	Datum a čas	Počasí	Směr	Linka	Rychlost v místě nehod	Neplatné měření
1.	10.01.2023 13:14	Zataženo	Pohořelec	22	24 km/h	OK
2.	10.01.2023 13:17	Zataženo	Brusnice	22	30 km/h	OK
3.	10.01.2023 13:19	Zataženo	Pohořelec	22	17 km/h	OK
4.	10.01.2023 13:22	Zataženo	Brusnice	22	34 km/h	OK
5.	10.01.2023 13:24	Zataženo	Pohořelec	22	19 km/h	OK
6.	10.01.2023 13:27	Zataženo	Brusnice	22	30 km/h	OK
7.	22.05.2023 8:03	Jasno	Pohořelec	22	2 km/h	X
8.	22.05.2023 8:05	Jasno	Brusnice	22	31 km/h	OK
9.	22.05.2023 8:11	Jasno	Pohořelec	22	13 km/h	OK
10.	22.05.2023 8:13	Jasno	Brusnice	22	27 km/h	OK
11.	22.05.2023 8:19	Jasno	Pohořelec	22	14 km/h	OK
12.	22.05.2023 8:21	Jasno	Brusnice	22	30 km/h	OK
13.	22.05.2023 8:28	Jasno	Pohořelec	22	12 km/h	OK
14.	22.05.2023 8:37	Jasno	Brusnice	22	27 km/h	OK

Měření jsou neplatná z důvodu:

- měření č. 2 – Aplikace na měření rychlosti nefungovala správně.

Ve směru Pohořelec je těsně před místem měření výhybka, tramvaj na tomto místě vždy zpomalí.

Ve směru Brusnice se tramvaj rozjíždí ze zastávky, proto je rychlost v místě měření nižší než u ostatních míst měření.

Použitím vztahu (15) byla z platných měření v tabulce (Tab. 11) vypočítána průměrná rychlost ve směru Pohořelec:

$$v_{prům} = 16,5 \text{ km/h}$$

Norma ČSN 28 1300 maximální zábrzdou dráhu při provozním brzdění z rychlosti 16,5 km/h neudává.

Vztahem (16) byla určena vzdálenost, kterou tramvaj ujede za čas 0,55 s při vypočítané průměrné rychlosti:

$$s_1 = 2,52 \text{ m}$$



Použitím vztahu (15) byla z platných měření v tabulce (Tab. 11) vypočítána průměrná rychlost:

$$v_{prům} = 30,04 \text{ km/h}$$

Maximální zábrzdňá dráha při provozním brzdění z rychlosti 30 km/h udávaná normou ČSN 28 1300 je 31 metrů. [20]

Vztahem (16) byla určena vzdálenost, kterou tramvaj ujede za čas 0,55 s při vypočítané průměrné rychlosti:

$$s_1 = 4,59 \text{ m}$$

Použitím vztahů (17), (18), (19) a (20) byly získány zábrzdňé dráhy uvedené v následující tabulce (Tab. 12).

Tab. 12 – Zábrzdňá dráha tramvaje při různé obsazenosti na úseku Pohořelec – Brusnice

Směr	Obsazenost	Zábrzdňá dráha	Vyhovuje normě ČSN 28 1300
Pohořelec	Prázdná	10,02 m	Nelze určit
Pohořelec	4 os./m <sup>2</sup>	9,93 m	Nelze určit
Pohořelec	8 os./m <sup>2</sup>	9,90 m	Nelze určit
Brusnice	Prázdná	29,43 m	<b>ANO</b>
Brusnice	4 os./m <sup>2</sup>	29,16 m	<b>ANO</b>
Brusnice	8 os./m <sup>2</sup>	29,04 m	<b>ANO</b>

Pro získání relevantnějších výsledků vzhledem k velkým rychlostním rozdílům v obou směrech byly počítány oba směry zvlášť.

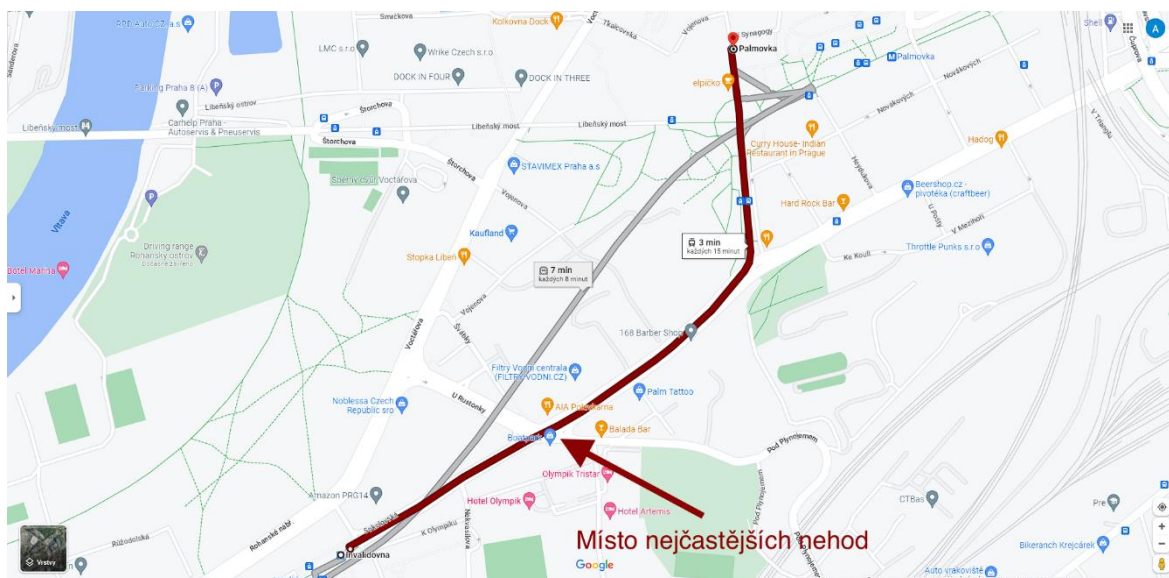
Zábrzdňá dráha tramvaje při obsazenosti 8 os. /m<sup>2</sup> a 4 os./m<sup>2</sup> vychází menší než zábrzdňá dráha prázdné tramvaje, jelikož tramvaj brzdí větší adhezní silou a rychlosti z kterých brzdí jsou relativně malé.

Viditelná vzdálenost tramvaje je směrem Brusnice 110 metrů, směrem Pohořelec pak 65 metrů.



## 7.4 Úsek č. 4

Jedná se o úsek Invalidovna – Palmovka, konkrétně o odbočení z ulice Sokolovská do ulice Pod Plynojemem (Obr. 29). Naměřené rychlosti lze vidět v tabulce (Tab. 13).



Obr. 29 – Mapa nejčastějších nehod na úseku Invalidovna – Palmovka, [35]

Na obrázku je vidět křižovatka ulic Sokolovská a Pod Plynojemem (Obr. 30), kde právě projíždí tramvaj.



Obr. 30 – Křižovatka ulic Sokolovská a Pod Plynojemem



Tab. 13 – Naměřené rychlosti v úseku Invalidovna – Palmovka na místě nejčastějších nehod

Číslo měření	Datum a čas	Počasí	Směr	Linka	Rychlost v místě nehod	Neplatné měření
1.	10.01.2023 14:04	Zataženo	Palmovka	24	37 km/h	OK
2.	10.01.2023 14:13	Zataženo	Invalidovna	24	37 km/h	OK
3.	10.01.2023 14:26	Polojasno	Palmovka	8	46 km/h	OK
4.	10.01.2023 14:33	Polojasno	Invalidovna	24	49 km/h	OK
5.	10.01.2023 14:37	Polojasno	Palmovka	3	48 km/h	OK
6.	10.01.2023 14:47	Polojasno	Invalidovna	3	48 km/h	OK
7.	22.05.2023 10:19	Jasno	Palmovka	3	49 km/h	OK
8.	22.05.2023 10:26	Jasno	Invalidovna	24	48 km/h	OK
9.	22.05.2023 10:29	Jasno	Palmovka	3	40 km/h	X
10.	22.05.2023 10:36	Jasno	Invalidovna	24	44 km/h	OK
11.	22.05.2023 10:39	Jasno	Palmovka	8	39 km/h	X
12.	22.05.2023 10:45	Jasno	Invalidovna	24	20 km/h	X
13.	22.05.2023 10:47	Jasno	Palmovka	8	47 km/h	OK
14.	22.05.2023 10:53	Jasno	Invalidovna	24	44 km/h	OK

Měření jsou neplatná z důvodu:

- měření č. 9, 11 a 12 – Tramvaj zastavila na semaforu.

Použitím vztahu (15) byla z platných měření v tabulce (Tab. 13) vypočítána průměrná rychlost:

$$v_{prům} = 45,28 \text{ km/h}$$

Maximální zábrzdňá dráha při provozním brzdění z rychlosti 45 km/h udávaná normou ČSN 28 1300 je 69,75 metrů. [20]

Vztahem (16) byla určena vzdálenost, kterou tramvaj ujede za čas 0,55 s při vypočítané průměrné rychlosti:

$$s_1 = 6,92 \text{ m}$$

Použitím vztahů (17), (18), (19) a (20) byly získány zábrzdňé dráhy uvedené v následující tabulce (Tab. 14).



Tab. 14 – Zábřdná dráha tramvaje při různé obsazenosti na úseku Invalidovna – Palmovka

Obsazenost	Zábřdná dráha	Vyhovuje normě ČSN 28 1300
Prázdná	63,37 m	ANO
4 os./m <sup>2</sup>	63,34 m	ANO
8 os./m <sup>2</sup>	65,82 m	ANO

Zábřdná dráha tramvaje při obsazenosti 4 os./m<sup>2</sup> vychází menší než zábřdná dráha prázdné tramvaje, jelikož tramvaj brzdí větší adhezní silou.

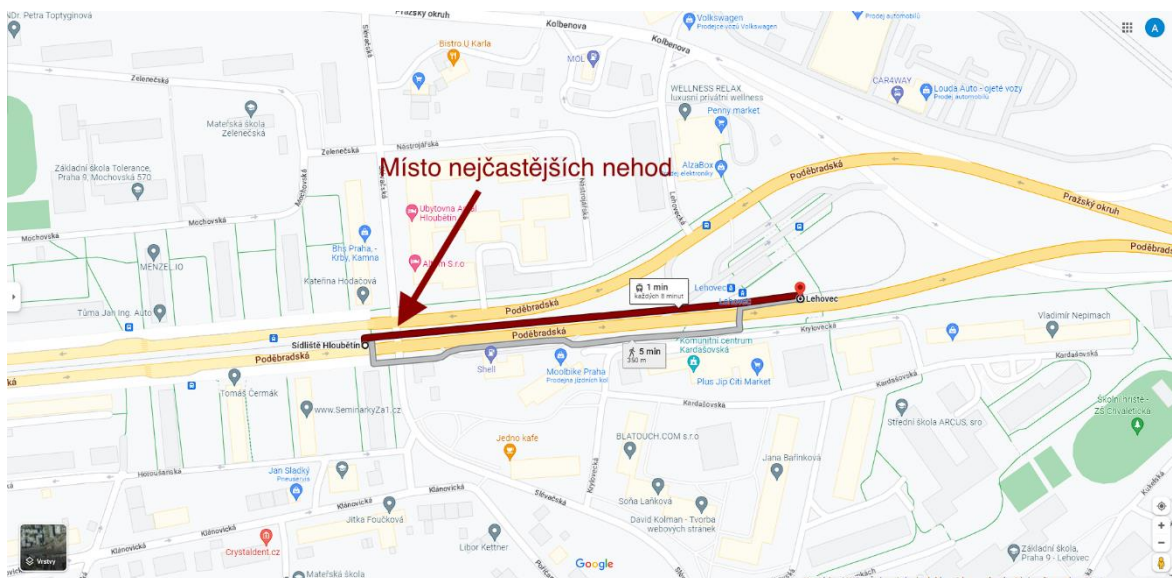
Viditelná vzdálenost tramvaje je směrem Palmovka 320 metrů, směrem Invalidovna pak 150 metrů.





## 7.5 Úsek č. 5

Jedná se o úsek Sídliště Hloubětín – Lehovec, konkrétně o odbočení na světlech vlevo ulice Poděbradská x ulice Slévačská (Obr. 31). Naměřené rychlosti jsou vidět v tabulce (Tab. 15).



Obr. 31 – Mapa nejčastějších nehod na úseku Sídliště Hloubětín – Lehovec, [35]

Na obrázku je vidět světelná křižovatka ulic Poděbradská a Slévačská (Obr. 32), kde právě projíždí tramvaj.



Obr. 32 – Křižovatka ulic Poděbradská a Slévačská



Tab. 15 – Naměřené rychlosti v úseku Sídliště Hloubětín – Lehovec na místě nejčastějších nehod

Číslo měření	Datum a čas	Počasí	Směr	Linka	Rychlost v místě nehod	Neplatné měření
1.	10.01.2023 16:43	Šero	Lehovec	25	26 km/h	OK
2.	10.01.2023 16:48	Šero	Sídliště Hloubětín	14	36 km/h	OK
3.	10.01.2023 16:50	Tma	Lehovec	25	30 km/h	OK
4.	10.01.2023 16:58	Tma	Sídliště Hloubětín	14	22 km/h	X
5.	10.01.2023 17:00	Tma	Lehovec	25	34 km/h	OK
6.	10.01.2023 17:08	Tma	Sídliště Hloubětín	14	39 km/h	OK
7.	10.01.2023 17:10	Tma	Lehovec	25	29 km/h	OK
8.	10.01.2023 17:19	Tma	Sídliště Hloubětín	25	27 km/h	X
9.	22.05.2023 14:01	Jasno	Lehovec	25	28 km/h	OK
10.	22.05.2023 14:08	Jasno	Sídliště Hloubětín	14	30 km/h	X
11.	22.05.2023 14:11	Jasno	Lehovec	25	34 km/h	OK
12.	22.05.2023 14:18	Jasno	Sídliště Hloubětín	14	39 km/h	OK
13.	22.05.2023 14:19	Jasno	Lehovec	14	35 km/h	OK
14.	22.05.2023 14:28	Jasno	Sídliště Hloubětín	14	29 km/h	X
15.	22.05.2023 14:37	Jasno	Lehovec	14	28 km/h	OK
16.	22.05.2023 14:45	Jasno	Sídliště Hloubětín	14	39 km/h	OK

Měření jsou neplatná z důvodu:

- měření č. 4, 8, 10 a 14 – Tramvaj zastavila na semaforu.

Ve směru Lehovec se tramvaj rozjíždí ze zastávky, proto je rychlost v místě měření nižší než u ostatních míst měření.

Použitím vztahu (15) byla z platných měření v tabulce (Tab. 15) vypočítána průměrná rychlost:

$$v_{prům} = 33,08 \text{ km/h}$$

Maximální zábrzdňá dráha při provozním brzdění z rychlosti 33 km/h udávaná normou ČSN 28 1300 je 37,51 metrů. [20]

Vztahem (16) byla určena vzdálenost, kterou tramvaj ujede za čas 0,55 s při vypočítané průměrné rychlosti:

$$s_1 = 5,05 \text{ m}$$



Použitím vztahů (17), (18), (19) a (20) byly získány zábrzdné dráhy uvedené v následující tabulce (Tab. 16).

Tab. 16 – Zábrzdná dráha tramvaje při různé obsazenosti na úseku Sídliště Hloubětín – Lehovec

Obsazenost	Zábrzdná dráha	Vyhovuje normě ČSN 28 1300
Prázdná	35,18 m	ANO
4 os./m <sup>2</sup>	34,85 m	ANO
8 os./m <sup>2</sup>	34,70 m	ANO

Zábrzdná dráha tramvaje při obsazenosti 8 os. /m<sup>2</sup> a 4 os./m<sup>2</sup> vychází menší než zábrzdná dráha prázdné tramvaje, jelikož tramvaj brzdí větší adhezní silou a rychlosti z kterých brzdí jsou relativně malé.

Viditelná vzdálenost tramvaje je směrem Lehovec 25 metrů, ale tramvaj se zde rozjíždí ze zastávky, která je těsně před světelnou křižovatkou, směrem Sídliště Hloubětín pak 230 metrů.



## 8 Závěr

Na všech vybraných uvedených místech v kapitole 7 vzdálenosti zábrzdné dráhy vyhovují jak viditelnosti na daném úseku, tak i normě ČSN 28 1300 pro maximální vzdálenost provozního brzdění, čímž se dá říci, že osazení pražských tramvají antikolizními systémy je možné a dost pravděpodobně by bylo i účinné.

Tato vzdálenost by se dala zkrátit uvažováním nouzového nebo záchranného brzdění, ovšem nepřipadá mi vhodné tyto dva způsoby brzdění zavádět jako běžné. Zřejmě by se dalo předejít některým kolizím, ale stojící cestující v tramvaji takové zábrzdné zpomalení nemusí ustát.

To nás přivádí k otázce, zda je lepší použít provozní brzdění a snížit rychlost při vzniku kolize, kde by došlo ke hmotným škodám a pravděpodobně k nějakým lehkým zraněním, nebo zda použít brzdění nouzové nebo záchranné, zabránit kolizi a pravděpodobně způsobit nějaká zranění cestujícím tramvaje. Na tuto otázku nelze jednoznačně odpovědět. Toto rozhodnutí záleží na dané situaci, a hlavně na rozhodnutí řidiče.

Dala by se tedy snížit nehodovost tramvají s automobily v Praze pomocí zavedení antikolizních systémů do tramvají? Ano, jak je uvedeno v řešeršní části (v kapitole 2.2 a 2.5), v jednom Německém městě se povedlo tímto způsobem snížit nehodovost o 40 % při zvýšení provozu.

Nicméně je potřeba se na tento problém podívat i z jiné perspektivy. Osazení pražských tramvají by určitě bylo dobrým nápadem a prospěšným krokem ke snížení nehodovosti, ale více už se ze strany tramvajové dopravy udělat nedá. Systémy by mohly například zabránit vzniku nehod tramvají se stojícími vozidly. Největší problém a nejčastější důvod kolizí, alespoň na uváděných místech, je nedání přednosti tramvaji řidičem osobního automobilu, který si nejspíše myslí, že stihne odbočit a vjede před právě projíždějící tramvaj. Při takové situaci vybavení tramvají antikolizními systémy nemá význam, jelikož tramvaj na tak krátkou vzdálenost není schopna zastavit a nehodě zabránit.

Nápadem řešení tohoto problému je propojení antikolizních systémů tramvají s antikolizními systémy automobilů. Tramvaj by vysílala signál do automobilu, který by upozornil řidiče na projíždějící tramvaj. Podobně jako dnes fungují systémy slepého úhlu.

I s tímto řešením však všechno zůstává na lidském faktoru a když si řidič automobilu bude myslet, že odbočení stihne, tak bude odbočovat i přes možné upozornění.



## 9 Použitá literatura

- [1] MEDKOVÁ, Magdaléna. Jak funguje město: Pražská tramvajová síť je dlouhá 148 kilometrů. Který typ vozu je nejoblíbenější?. In: *Centrum Architektury a Městského Plánování* [online]. Praha: CAMP, 2020 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://praha.camp/magazin/detail/prazska-tramvajova-sit-je-dlouha-148-kilometru-ktery-typ-vozu-je-nejoblibenejsi>
- [2] SEIDL, J., J. KOCOUREK a R. VÁVRA. Identifikování míst častých dopravních nehod tramvaj v Praze. *Silniční obzor*. 2021, **82**(6-7), 168-173. ISSN 0322-7154.
- [3] VDV 191. *Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) for Tramcars for Avoidance of Collision with Obstacles Situated Directly on the Track: ADAS function level 1*. 1. Německo: Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e. V. (VDV), 2019.
- [4] Deset let vývoje asistenčních systémů pro tramvaje ve společnosti Bosch Engineering. In: *Bosch* [online]. [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://www.bosch-press.de/pressportal/de/de/zehn-jahre-tram-assistenzsystementwicklung-bei-bosch-engineering-245661.html>
- [5] Systém varování před kolizí. In: *Bosch* [online]. [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://www.bosch-engineering.com/de/stories/stories-detailpages/t-storypage-5.html>
- [6] Ostravské prvenství: Vyjely první dvě tramvaje s antikolizním systémem. In: *Zdopravy.cz* [online]. [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://zdopravy.cz/ostravske-prvenstvi-vyjely-prvni-dve-tramvaje-s-antikoliznim-systemem-75572/>
- [7] *Interní podklady společnosti Continental*.
- [8] *Interní podklady společnosti Škoda Group*.
- [9] Antikolizní systém Škody Group je šitý na míru tramvajové dopravě, využívá technologii LiDAR. In: *Škoda Group* [online]. [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://www.skodagroup.com/cs/post/antikolizni-system-skody-group-je-sity-na-miru-tramvajove-doprave-vyuziva-technologie-lidar>
- [10] Škoda Group představuje vlastní antikolizní systém. In: *Dopraváček* [online]. [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://dopravacek.eu/2022/09/21/skoda-group-predstavuje-vlastni-antikolizni-system/>
- [11] HABARDA, Dušan. *Městská hromadná doprava*. 1. Bratislava: Alfa, 1984.
- [12] Škoda 15T. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%A0koda\\_15T](https://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%A0koda_15T)



- [13] Škoda 15T. In: *CzWiki* [online]. [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: [https://czwiki.cz/Lexikon/%C5%A0koda\\_15T](https://czwiki.cz/Lexikon/%C5%A0koda_15T)
- [14] ForCity Alfa Praha. In: *Škoda Group* [online]. [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <https://www.skodagroup.com/cs/reference/tramvaj-forcity-alfa-praha>
- [15] ANDRES, Josef. *Metodika identifikace a řešení míst častých dopravních nehod*. Brno : Centrum dopravního výzkumu, 2001.
- [16] ČSN EN 12663-1 +A1 (280320). *Železniční aplikace - Pevnostní požadavky na konstrukce skříní kolejových vozidel - Část 1: Lokomotivy a vozidla osobní dopravy*. 2. ACRI - Asociace podniků českého železničního průmyslu, 2015.
- [17] *Kinetika: Kinetika otáčivého pohybu* [online]. In: . [cit. 2023-07-10]. Dostupné z: <https://www.fsps.muni.cz/emuni/data/reader/book-1/31.html>
- [18] *Podklady od doc. Koláře*.
- [19] ČERNÝ, Ondřej. *Výzkum perspektivních metod mikroprocesorového řízení pro trakční synchronní motor s permanentními magnety*. Pardubice, 2009. Dizertační práce. Univerzita Pardubice Dopravní fakulta Jana Pernera.
- [20] ČSN 28 1300. *Tramvajová vozidla - Technické požadavky a zkoušky*. 1. Brno: Ústav silniční a městské dopravy, a. s., 1998.
- [21] Jakobsův podvozek. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Jakobs%C5%AFv\\_podvozek](https://cs.wikipedia.org/wiki/Jakobs%C5%AFv_podvozek)
- [22] Jakobsův podvozek. In: *CzWiki* [online]. [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: [https://czwiki.cz/Lexikon/Jakobs%C5%AFv\\_podvozek](https://czwiki.cz/Lexikon/Jakobs%C5%AFv_podvozek)
- [23] HASIČI PRAHA. Nehoda tramvaje Praha u Kříže. In: *Transport Minutes* [online]. Praha: Transport Minutes, 2022 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://i0.wp.com/www.transportminutes.eu/wp-content/uploads/2022/09/FcmlMDgWQAEKJ3S.jpg?ssl=1>
- [24] AKTRON. Praha, Břevnov, Petřiny, tramvajová trať. In: *Wikipedie* [online]. Praha: Wikimedia Commons, 2007 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7d/Praha%2C\\_B%C5%99evnov%2C\\_Pet%C5%99iny%2C\\_tramvajov%C3%A1\\_tra%C5%A5.JPG](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7d/Praha%2C_B%C5%99evnov%2C_Pet%C5%99iny%2C_tramvajov%C3%A1_tra%C5%A5.JPG)
- [25] Škoda Group antikolizní systém. In: *Dopraváček* [online]. Praha: Dopraváček, 2022 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://dopravacek.eu/wp-content/uploads/2022/09/Skoda-Group-antikolizni-system.jpg>



- [26] Forward Collision Warning. In: *Bosch: Deset let vývoje asistenčních systémů pro tramvaje ve společnosti Bosch Engineering* [online]. [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: [https://www.bosch-presse.de/pressportal/de/media/dam\\_images/pi11542/1-beg-22210\\_img\\_h900.jpg](https://www.bosch-presse.de/pressportal/de/media/dam_images/pi11542/1-beg-22210_img_h900.jpg)
- [27] Vizualizace tunelu před tramvají antikolizního systému Škoda Group. In: *Škoda Group: Antikolizní systém Škody Group je šitý na míru tramvajové dopravě, využívá technologii LiDar* [online]. [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://www.skodagroup.com/admin/wp-content/uploads/2022/12/Obrazek3.png>
- [28] Čelistová brzda. In: *Docplayer* [online]. [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/docs-images/91/105057362/images/3-2.jpg>
- [29] Kolejnicová brzda. In: *Alfa Union* [online]. [cit. 2023-07-02]. Dostupné z: [https://www.alfaunion.cz/ew/ew\\_images/image?EwImage=1e5e5415-1c35-4154-bd35-1968ec1f45cf&Filter=77c1217a-447d-4780-83bd-af3cc79a9487](https://www.alfaunion.cz/ew/ew_images/image?EwImage=1e5e5415-1c35-4154-bd35-1968ec1f45cf&Filter=77c1217a-447d-4780-83bd-af3cc79a9487)
- [30] Mezičlánkový podvozek vozu Škoda 15T ForCity ještě bez elegantních krytů. In: *Pražské tramvaje* [online]. [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://www.prazsketramvaje.cz/obrazky/vozyosobni/15t-040.jpg>
- [31] CHOUR, Martin. 15T na Čechově mostě. In: *TRAM-BUS.CZ* [online]. Praha: TRAM-BUS.CZ, 2012 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: [https://www.tram-bus.cz/wp-content/uploads/2014/03/SAM\\_4753.jpg](https://www.tram-bus.cz/wp-content/uploads/2014/03/SAM_4753.jpg)
- [32] CHOUR, Martin. 15T na Andělu. In: *TRAM-BUS.CZ* [online]. Praha: TRAM-BUS.CZ, 2012 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: [https://www.tram-bus.cz/wp-content/uploads/2014/03/1932773\\_703773912998332\\_2177799172498427565\\_o.jpg](https://www.tram-bus.cz/wp-content/uploads/2014/03/1932773_703773912998332_2177799172498427565_o.jpg)
- [33] PARTIM. Schematické porovnání Jakobsova podvozku (nahore) s konvenčním uspořádáním podvozků (dole). In: *Wikipedie* [online]. Praha: Wikimedia Commons, 2008 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/bc/Schematic\\_Jakobs\\_bogie.svg/1920px-Schematic\\_Jakobs\\_bogie.svg.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/bc/Schematic_Jakobs_bogie.svg/1920px-Schematic_Jakobs_bogie.svg.png)
- [34] ŠKODA TRANSPORTATION. 15T - výkres. In: *IDNES.cz* [online]. Praha: iDNES.cz, 2008 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: [https://www.idnes.cz/technet/foto/RJA224be3\\_14T.jpg](https://www.idnes.cz/technet/foto/RJA224be3_14T.jpg)
- [35] *Google maps* [online]. Google [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://www.google.com/maps/>
- [36] MEIXNER, Jiří. V ulici Na Petřínách v Praze 6 se srazila tramvaj s autem. In: *IDNES.cz* [online]. Praha: iDNES.cz, 2017 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: [https://www.idnes.cz/praha/zpravy/nehoda-tramvaj-na-petrinach.A170623\\_151401\\_praha-zpravy\\_rsr/foto/RSR6c29df\\_img\\_8904.jpg](https://www.idnes.cz/praha/zpravy/nehoda-tramvaj-na-petrinach.A170623_151401_praha-zpravy_rsr/foto/RSR6c29df_img_8904.jpg)



## Seznam obrázků

Obr. 1 – Nehoda tramvaje s autem Praha u Kříže (14.9.2022), [23] .....	9
Obr. 2 – Rozložení komunikace ve městech v České republice (Praha), [24] .....	10
Obr. 3 – Vizualizace antikolizního systému, [25] .....	11
Obr. 4 – Virtuální tunel vytvořený před tramvají antikolizním systémem od společnosti Bosch Engineering, [26] .....	13
Obr. 5 – Vizuální tunel vytvořený před tramvají antikolizním systémem od společnosti Škoda Group, [27] .....	14
Obr. 6 – Elektromotor s kotoučovou brzdou, [18].....	18
Obr. 7 – Elektromotor, [18].....	18
Obr. 8 – Čelistová brzda, [28].....	19
Obr. 9 – Kotoučová brzda s elektromotorem, [18].....	19
Obr. 10 – Kolejnicová brzda, [29].....	20
Obr. 11 – Vyznačené typy brzd na podvozku tramvaje Škoda 15T, [30] .....	20
Obr. 12 – Škoda 15T na Čechově mostě, [31] .....	21
Obr. 13 – Škoda 15T na Andělu, [32] .....	21
Obr. 14 – Schematické porovnání Jakobsova podvozku (nahore) s konvenčním uspořádáním podvozků (dole), [33].....	22
Obr. 15 – Škoda 15T typový výkres, [34] .....	23
Obr. 16 – Model kola tramvaje s rotorem elektromotoru .....	29
Obr. 17 – Model kola tramvaje s rotorem elektromotoru v řezu.....	29
Obr. 18 – Tabulka fyzikálních vlastností modelu kola tramvaje .....	29
Obr. 19 – Mapa vybraných míst pro měření rychlosti, [35].....	35
Obr. 20 – Ukázka způsobu měření rychlosti pomocí aplikace Waze .....	35
Obr. 21 – Mapa místa nejčastějších nehod na úseku Vojenská nemocnice – Větrník, [35] .....	36
Obr. 22 – Křižovatka ulic Na Petřinách a Stamicova .....	36
Obr. 23 – Nehoda tramvaje s OA v křižovatce ulic Na Petřinách a Stamicova z 23.6.2017, [36] .....	37
Obr. 24 – Nehoda tramvaje s OA v křižovatce ulic Na Petřinách a Stamicova z 23.6.2017, [36] .....	37
Obr. 25 – Mapa místa nejčastějších nehod na úseku Nádraží Holešovice – Ortenovo náměstí, [35] .....	40
Obr. 26 – Křižovatka ulic Plynární a Železničářů .....	40
Obr. 27 – Mapa místa nejčastějších nehod na úseku Pohořelec – Brusnice, [35].....	43
Obr. 28 – Křižovatka ulic Keplerova a Hládkov .....	43
Obr. 29 – Mapa nejčastějších nehod na úseku Invalidovna – Palmovka, [35] .....	46
Obr. 30 – Křižovatka ulic Sokolovská a Pod Plynojemem .....	46
Obr. 31 – Mapa nejčastějších nehod na úseku Sídliště Hloubětín – Lehovec, [35].....	49
Obr. 32 – Křižovatka ulic Poděbradská a Slévačská .....	49





## Seznam tabulek

Tab. 1 – Porovnání antikolizních systémů od tří vybraných společností.....	15
Tab. 2 – Úseky tramvajových tratí v Praze s největším počtem nehod.....	24
Tab. 3 – Úseky tramvajových tratí v Praze s největším číslem závažnosti nehod .....	25
Tab. 4 – Úseky tramvajových tratí v Praze s největší relativní nehodovostí .....	26
Tab. 5 – Výsledné odporové síly působící na vozidlo.....	32
Tab. 6 – Rychlosti při adhezním omezení .....	34
Tab. 7 – Naměřené rychlosti v úseku Vojenská nemocnice – Větrník na místě nejčastějších nehod .....	37
Tab. 8 – Zábřzdná dráha tramvaje při různé obsazenosti na úseku Vojenská nemocnice – Větrník.....	39
Tab. 9 – Naměřené rychlosti v úseku Nádraží Holešovice – Ortenovo náměstí na místě nejčastějších nehod .....	41
Tab. 10 – Zábřzdná dráha tramvaje při různé obsazenosti na úseku Nádraží Holešovice – Ortenovo náměstí .....	42
Tab. 11 – Naměřené rychlosti v úseku Pohořelec – Brusnice na místě nejčastějších nehod .....	44
Tab. 12 – Zábřzdná dráha tramvaje při různé obsazenosti na úseku Pohořelec – Brusnice.....	45
Tab. 13 – Naměřené rychlosti v úseku Invalidovna – Palmovka na místě nejčastějších nehod .....	47
Tab. 14 – Zábřzdná dráha tramvaje při různé obsazenosti na úseku Invalidovna – Palmovka.....	48
Tab. 15 – Naměřené rychlosti v úseku Sídliště Hloubětín – Lehovec na místě nejčastějších nehod .....	50
Tab. 16 – Zábřzdná dráha tramvaje při různé obsazenosti na úseku Sídliště Hloubětín – Lehovec .....	51