



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



ÚSTAV SOUDNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
INSTITUTE OF FORENSIC ENGINEERING

# PROBLEMATIKA JÍZDY A BRZDĚNÍ TRAMVAJOVÝCH VOZIDEL

DRIVING AND BRAKING TRAM VEHICLES

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

BC. ONDŘEJ KOCOUREK

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

ING. VLADIMÍR PANÁČEK

BRNO 2015

. Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství

Ústav soudního inženýrství  
Akademický rok: 2014/2015

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

student(ka): Bc. Ondrej Kocourek

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Expertní inženýrství v dopravě (3917T002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem c.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

### **Problematika jízdy a brzdění tramvajových vozidel**

v anglickém jazyce:

### **Driving and braking tram vehicles**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Diplomová práce se bude zabývat specifickým pohybem tramvají v provozu se zaměřením na zjišťování brzdných vlastností tramvají a faktory, které tyto brzdné vlastnosti nejvíce ovlivňují.

Cíle diplomové práce:

1. Legislativní předpisy pro provoz tramvají ve vztahu k vnitropodnikovým předpisům DPMB (T1). Technickobezpečnostní zkoušky tramvají.
2. Specifika pohybu tramvají v silničním provozu v porovnání s nekolejovými vozidly.
3. Metodiky zkoušení jízdních vlastností tramvají se zaměřením na brzdění.
4. Faktory ovlivňující brzdné vlastnosti tramvají (průměry kol, adheze, nastavení brzd, atd.)
5. Experimentální měření zábrzdných drah a zpomalení pro jednotlivé typy tramvajových vozidel.
6. Vyhodnocení provedených experimentálních měření, shrnutí výsledku.
7. Návrh opatření ke zvýšení bezpečnosti provozu.

Seznam odborné literatury:

- [1] HABARDA, Dušan. *Městská hromadná doprava*. Praha: ALFA, 1984.
- [2] CSN 28 1300. Tramvajová vozidla - Požadavky a zkoušky. Praha: Český normalizační institut, Praha, 1998.
- [3] CSN EN 13452-1. Železniční aplikace - Brzdění - Brzdové systémy pro hromadnou dopravu -  
Část 1: Požadavky na provedení. Praha: Český normalizační institut, Praha, 2004.
- [4] CSN EN 13452-2. Železniční aplikace - Brzdění - Brzdové systémy pro hromadnou dopravu -  
Část 2: Zkušební metody. Praha: Český normalizační institut, Praha, 2004.

### ***Abstrakt***

Cílem práce bylo shrnutí problematiky jízdy a brzdění tramvajových vozidel a porovnání metod měření zpomalení. Byly zvoleny metody měření decelerometrem a vlečeným kolem. Obě metody byly srovnány prostřednictvím srovnání metodiky měření a naměřených výsledků. Provedeným srovnáním byly zjištěny konkrétní rozdíly v naměřených hodnotách. Na základě provedeného shrnutí a srovnání bylo formulováno několik doporučení, které mohou přispět k vyšší bezpečnosti vozidel.

### ***Abstract***

Purpose of this diploma thesis was summarized of issue driving and braking streetcars and measurement method deceleration. It was choosed decelerometer and towed wheel measurement. Both method was summarized through measurement methodology and measurement results. It was found differences in measured values, and than it was formulated a few recommendation for safer traffic.

### ***Klíčová slova***

Tramvaj, zpomalení, decelerometr, vlečené kolo, brzdění, brzdy, jízda.

### ***Keywords***

Streetcar, deceleration, decelerometer, towed wheel, braking, brakes, driving.

***Bibliografická citace (vzor, generuje se v IS)***

KOCOUREK, O. *Problematika jízdy a brzdění tramvajových vozidel*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, 2015. 85 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Vladimír Panáček.

***Prohlášení***

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval/a samostatně a že jsem uvedl/a všechny použité informační zdroje.

V Brně dne .....

.....

podpis diplomanta

### ***Poděkování***

Na tomto místě bych chtěl poděkovat Ing. Tomáši Chaloupeckému a Ing. Janu Petrásovi za odbornou pomoc při psaní práce a při organizaci praktických měření dále vedoucímu práce Ing. Vladimíru Panáčkovi za vedení práce.

# OBSAH

ÚVOD .....	10
1 PŘEDPISY UPRAVUJÍCÍ PROBLEMATIKU BRZDĚNÍ TRAMVAJOVÝCH VOZIDEL .....	11
1.1 zákony a vyhlášky .....	11
1.1.1 <i>Zákon č. 266/1994 Sb. o drahách</i> .....	11
1.1.2 <i>Vyhláška Ministerstva dopravy č. 173/1995 Sb., kterou se vydává dopravní řád drah.</i> .....	12
1.2 technické normy .....	14
1.2.1 <i>ČSN 28 1300 Tramvajová vozidla – Technické požadavky a zkoušky</i> .....	14
1.2.2 <i>ČSN EN 13452-1 Železniční aplikace – Brzdění – Brzdové systémy pro hromadnou dopravu – Část 1: Požadavky na provedení</i> .....	15
1.3 interní předpisy týkající se brzdění tramvajových vozidel některých provozovatelů tramvajové dopravy v ČR. ....	20
1.3.1 <i>Interní předpis T01 DPMB a. s.</i> .....	20
1.3.2 <i>Předpisové ošetření problematiky brzdění tramvajových vozidel u některých dalších provozovatelů tramvajové dopravy v České republice</i> .....	22
1.3.3 <i>Celkové porovnání zábrzdých drah dle všech výše uvedených zdrojů</i> .....	23
2 KONSTRUKCE BRZDOVÝCH SYSTÉMŮ TRAMVAJOVÝCH VOZIDEL .....	25
2.1 rozdělení brzdových systémů tramvajových vozidel .....	25
2.1.1 <i>Rozdělení brzdových systémů tramvajových vozidel dle druhu brzdění</i> .....	25
2.1.2 <i>Rozdělení brzdových systémů tramvajových vozidel dle způsobu brzdění</i> .....	26
2.2 Konstrukce brzdových systémů tramvajových vozidel .....	27
2.2.1 <i>Elektrodynamická brzda</i> .....	27
2.2.2 <i>Čelist'ová brzda</i> .....	27
2.2.3 <i>Kotoučová brzda</i> .....	29



2.2.4	<i>Kolejnicová brzda</i> .....	32
2.3	Ovládání brzd.....	33
3	TEORIE BRZDĚNÍ TRAMVAJOVÝCH VOZIDEL .....	36
3.1	faktory ovlivňující brzdění tramvajových vozidel.....	36
3.1.1	<i>Vlastnosti tramvajového vozidla</i> .....	36
3.1.2	<i>Vlastnosti kolejnic</i> .....	37
3.2	Fyzikální princip brzdění tramvajových vozidel .....	38
3.2.1	<i>Adheze</i> .....	38
3.2.2	<i>Problematika styku kola s kolejnicí</i> .....	39
4	ZPŮSOBY EXPERIMENTÁLNÍHO OVĚŘOVÁNÍ HODNOT ZPOMALENÍ TRAMVAJOVÝCH VOZIDEL.....	40
4.1	Principy zjišťování zpomalení .....	40
4.2	Metody zjišťování zpomalení .....	40
4.2.1	<i>Metoda zjišťování zpomalení pomocí decelerometru XL Meter<sup>TM</sup></i> .....	40
4.2.2	<i>Souprava pro měření zábrzdných drah trakčních vozidel PK 2000</i> .....	43
4.2.3	<i>Srovnání metod ověřování zpomalení pomocí decelerometru XL Meter<sup>TM</sup> a soupravy PK 2000</i> .....	45
4.3	jízdní technickobezpečnostní zkouška .....	45
4.3.1	<i>Požadavky na jízdní TBZ dle vyhlášky 173/1995 Sb.</i> .....	45
4.3.2	<i>Požadavky na jízdní TBZ dle normy ČSN 28 1300</i> .....	46
5	SROVNÁNÍ JÍZDY A BRZDĚNÍ TRAMVAJOVÉHO A SILNIČNÍHO OSOBNÍHO VOZIDLA.....	48
5.1	Osobní automobil .....	48
5.1.1	<i>Legislativní úprava brzdění osobních automobilů</i> .....	48
5.1.2	<i>Požadavky na brzdové systémy osobních automobilů a druhy brzdění</i> .....	49
5.1.3	<i>Konstrukce brzdových soustav osobních vozidel</i> .....	51
5.1.4	<i>Konstrukce brzd osobních vozidel</i> .....	52
5.1.5	<i>Průběh brzdění osobního vozidla</i> .....	53

5.1.6	<i>Silové poměry ve stopě</i> .....	54
5.2	srovnání tramvajového a silničního osobního vozidla .....	56
5.2.1	<i>Srovnávaná vozidla</i> .....	56
5.2.2	<i>Srovnání jízdy a brzdění tramvajového a silničního osobního vozidla</i> .....	58
6	JÍZDA A BRZDĚNÍ TRAMVAJOVÝCH VOZIDEL.....	64
6.1	Vozový park tramvajových vozidel DPMB a. s. ....	64
6.1.1	<i>Tramvaje kategorie 15 metrů</i> .....	64
6.1.2	<i>Tramvaje kategorie 20 metrů</i> .....	65
6.1.3	<i>Tramvaje kategorie 30 metrů</i> .....	66
6.2	praktické zjišťování jízdy a brzdění tramvajových vozidel .....	67
6.2.1	<i>Počet zkoušených vozidel</i> .....	68
6.2.2	<i>Použité vybavení</i> .....	70
6.2.3	<i>Místo měření</i> .....	71
6.2.4	<i>Postup při měření zpomalení</i> .....	71
6.2.5	<i>Zjišťování zrychlení</i> .....	72
6.2.6	<i>Zjištěné hodnoty</i> .....	72
6.3	Vyhodnocení zjištěných hodnot .....	74
6.3.1	<i>Průměrné hodnoty zpomalení v závislosti na typu vozidla</i> .....	75
6.3.2	<i>Srovnání zjištěných hodnot zpomalení pomocí vlečeného kola a decelerometru</i> .....	76
6.4	návrh opatření Pro zvýšení bezpečnosti .....	80
	ZÁVĚR .....	81
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	82
	SEZNAM OBRÁZKŮ .....	84
	SEZNAM TABULEK .....	84

## ÚVOD

Problematika dopravy je velmi široká a zahrnuje velké množství různých oblastí a problémů k řešení. Jednou z těchto oblastí je i městský provoz, jehož součástí je i hromadná přeprava osob. Tento druh dopravy je stále velmi důležitý. Vzhledem k velkým počtům přepravených osob je zde velký důraz na jeho bezpečnost. Nedílnou součástí bezpečnosti jsou i brzdy a brzdění.

Námět na téma problematiky jízdy a brzdění tramvajových vozidel byl iniciován DPMB a. s. v jehož spolupráci tato práce vznikala.

# **1 PŘEDPISY UPRAVUJÍCÍ PROBLEMATIKU BRZDĚNÍ TRAMVAJOVÝCH VOZIDEL**

Předpisy vztahující se k problematice tramvajových vozidel můžeme rozdělit na několik skupin. První skupinou jsou obecně závazné právní předpisy přijaté parlamentem ČR včetně příslušných prováděcích vyhlášek. Do této skupiny patří zejména Zákon o drahách č. 266/1994 Sb. a prováděcí vyhláška 173/1995 Sb.

Druhou skupinu předpisů tvoří technické normy. Tramvajové vozidlo je tvořeno mnoha odlišnými součástmi, proto i technických norem vztahujících se k tramvajovým vozidlům existuje velké množství. Pro potřeby této práce zabývající se především brzděním těchto vozidel byly uvažovány zejména normy ČSN 28 1300, ČSN EN 13451-1 a ČSN EN 13452-2.

Poslední skupinu předpisů pak tvoří interní normy jednotlivých dopravců, které jsou platné pouze pro vozidla jednoho konkrétního dopravce.

## **1.1 ZÁKONY A VYHLÁŠKY**

Mezi zákony a vyhlášky upravující problematiku brzdění tramvajových vozidel řadíme zákon č. 266/1994 Sb. o drahách a prováděcí vyhlášku Ministerstva dopravy č. 173/1995 Sb., kterou se vydává dopravní řád drah.

### **1.1.1 Zákon č. 266/1994 Sb. o drahách**

Zákon o drahách č. 266/1994 Sb. je platný pro dráhy železniční, tramvajové, trolejbusové a lanové. Naopak není platný pro dráhy důlní, průmyslové a přenosné. Tento zákon upravuje podmínky pro stavbu drah, stavby na drahách, provozování dráhy, provozování drážní dopravy včetně souvisejících práv a povinností fyzických a právnických osob a dále podmínky pro výkon státní správy a státního dozoru [1].

Problematice drážních vozidel je věnována část pátá, hlava první.

Podle tohoto předpisu je možné provozovat pouze vozidlo, které svou konstrukcí a technickým stavem vyhovuje všem bezpečnostním požadavkům kladeným na drážní vozidla. Každé vozidlo musí mít prokázanou shodu se schváleným typem, tuto shodu prokazuje výrobce vozidla prostřednictvím typového osvědčení pro každé vozidlo. Tramvajová vozidla musí mít

navíc technickou způsobilost ověřenou drážním správním úřadem. Na základě tohoto ověření je vozidlu vydán průkaz způsobilosti vozidla. Do působnosti drážního správního úřadu dále patří schvalování změn na vozidle zasahujících do konstrukce vozidla, které znamenají odchylku od již schváleného typu a stanovování podmínek zkušebního provozu za kterých je možné provozovat vozidlo neschváleného typu za účelem zkoušek pro schválení typu, nebo změny typu. Tyto podmínky jsou stanovovány individuálně pro každý případ. Mezi pravomoci drážního správního úřadu patří také rozhodnutí o nezpůsobilosti drážního vozidla k provozu. Toto rozhodnutí může být vydáno, zjistí-li drážní správní úřad, že provozované vozidlo splňuje některou z následujících podmínek:

- technický stav vozidla nezaručuje bezpečnost drážní dopravy
- vozidlo nemá vlastnosti schváleného typu
- vozidlo nemá platný průkaz způsobilosti
- na vozidle nejsou vykonávány pravidelné technické prohlídky dle prováděcího předpisu [1]

### **1.1.2 Vyhláška Ministerstva dopravy č. 173/1995 Sb., kterou se vydává dopravní řád drah.**

Vyhláška Ministerstva dopravy č. 173/1995 Sb. je jedním z prováděcích předpisů k zákonu č. 266/1994 Sb. Drážním vozidlům je věnována hlava třetí v části třetí a celá část pátá tohoto předpisu. Příloha třetí uvádí požadavky na drážní vozidla, příloha čtvrtá obsah technických podmínek pro drážní vozidla a příloha sedmá mezní hodnoty rozměrů dvojkolí drážních vozidel na dráze tramvajové.

Z hlediska brzdových systémů tramvajových vozidel je podstatná příloha číslo 3, část 4. V tomto oddíle je specifikován počet požadovaných brzdových systémů, jejich jednotlivé typy a požadavky na ně.

Požadované brzdové systémy tramvajových vozidel:

1. Minimálně 2 na sobě nezávislé brzdové systémy, jejichž účinek působí na kola vozidla. Jedna z těchto brzd je brzdou provozní.
2. Mechanická zajišťovací brzda, která může být jednou z brzd uvedených v předchozím bodě.
3. Jedna brzda nezávislá na styku kola s kolejnicí

Výše uvedené požadavky platí zejména pro tramvajová vozidla hnací. U tramvajových vozidel vlečných nemusí být splněný bod 3 [2].

Tyto brzdové systémy musí samostatně, nebo v kombinaci zajistit následující režimy brzdění:

1. Provozní
2. Zajišťovací
3. Nouzové
4. záchranné

Požadavky na jednotlivé brzdové systémy:

- provozní brzda musí zastavit vozidlo zatížené zátěží nejvýše 0,5 t s minimálním středním zpomalením  $1,12 \text{ m/s}^2$
- při výpadku provozní brzdy musí dojít k aktivaci druhé brzdy působící na kola vozidla. Tato brzda nesmí být závislá na trakčním napětí, a účinek této brzdy musí stejný jako u provozní brzdy.
- Brzda zajišťovací musí udržet plně zatížené vozidlo na maximálním sklonu trati, pro který je konstruováno.
- nouzová brzda musí zastavit vozidlo zatížené zátěží nejvýše 0,5 t s minimálním středním zpomalením  $2,3 \text{ m/s}^2$ . Tato brzda musí být zároveň uváděna do činnosti stejným ovládacím prvkem řidiče jako brzda provozní
- záchranná brzda musí zastavit vozidlo zatížené zátěží nejvýše 0,5 t s minimálním středním zpomalením  $2,3 \text{ m/s}^2$ . Tato brzda musí být ovladatelná z místa stanoviště řidiče a minimálně z jednoho místa v prostoru pro cestující. Ovladače v prostoru pro cestující musí být zároveň chráněny proti náhodnému dotyku, a uvedení záchranné brzdy do činnosti musí být doprovázeno spuštěním výstražného zvonce
- V soupravě tramvajových vozidel musí být veškeré brzdové systémy soupravy ovladatelné ze stanoviště řidiče a záchranná brzda musí být ovladatelná z kteréhokoliv vozidla soupravy.
- Při použití jakékoliv brzdy musí dojít k přerušení jízdnic obvodů [2].

## 1.2 TECHNICKÉ NORMY

Mezi normy zabývající se brzdami tramvajových vozidel patří zejména ČSN 28 1300, ČSN EN 13452-1 a ČSN EN 13452-2. Normy ČSN 28 1300 a ČSN EN 13452-1 se zabývají požadavky na jednotlivé brzdové systémy. Norma ČSN EN 13452-2 se zabývá zkoušením brzd. Tato norma bude rozebrána v příslušném oddíle.

### 1.2.1 ČSN 28 1300 Tramvajová vozidla – Technické požadavky a zkoušky

Norma ČSN 28 1300 se obecně zabývá technickými požadavky a zkouškami tramvajových vozidel. Co se týče požadavků na brzdové systémy, norma uvádí pouze požadavek na mechanickou brzdu, která musí být schopná bezpečně zastavit soupravu v případě jejího roztržení. Dále se norma pouze odkazuje na požadavky uvedené v právních předpisech 266/1994 Sb. a 173/1995 Sb.

V rámci zkoušek brzdových systémů definuje tato norma požadavky na provádění technickobezpečnostních zkoušek, a hodnoty maximálních zábrzdých drah pro jednotlivé druhy brzd a výchozí rychlosti. Při provádění technickobezpečnostní zkoušky je předepsána rychlost  $40 \text{ km/h} \pm 10 \%$ . Tabulka [3] uvádí maximální zábrzdné vzdálenosti dle ČSN 28 1300 pro jednotlivé druhy brzd v rozsahu rychlostí  $40 \text{ km/h} \pm 10 \%$ .

Rychlost $v_0$ [km/h]	Brzdění			
	provozní $l_{\max}$ [m]	zajišťovací $l_{\max}$ [m]	nouzové $l_{\max}$ [m]	záchranné $l_{\max}$ [m]
36	44,64	44,64	21,74	21,74
37	47,16	47,16	22,96	22,96
38	49,74	49,74	24,22	24,22
39	52,39	52,39	25,51	25,51
40	55,11	55,11	26,84	26,84
41	57,9	57,9	28,2	28,2
42	60,73	60,73	29,59	29,59
43	63,69	63,69	31,01	31,01
44	66,69	66,69	32,47	32,47

Tabulka 1: Maximální zábrzdné dráhy v rozsahu rychlostí  $40 \text{ km/h} \pm 10 \%$  [3].

Problematika požadavků na technickobezpečnostní zkoušky je rozebrána v kapitole 4.3.

## **1.2.2 ČSN EN 13452-1 Železniční aplikace – Brzdění – Brzdové systémy pro hromadnou dopravu – Část 1: Požadavky na provedení**

Norma ČSN 13452-1 se zabývá požadavky na provedení brzdových systémů pro hromadnou dopravu. Problematiku brzdění drážních vozidel rozebírá z různých hledisek nejprve v obecné rovině, a následně klade konkrétní požadavky pro jednotlivé druhy vozidel.

### ***Základní koncepce brzd***

Brzdový systém musí být navržen tak, aby byl schopen zpomalení, či zastavení pohybujícího se vlaku, zabezpečení vlaku proti pohybu a regulaci rychlosti jízdy při jízdě na spádu. Brzdění se musí odehrávat v přijatelných úrovních trhavosti pohybu, a zároveň nesmí představovat riziko pro cestující a třetí osoby. Při návrhu takového systému je třeba také respektovat reálné úrovně adheze a předpokládané provozní podmínky.

Pro potřeby tohoto předpisu je rozlišeno několik druhů a způsobů brzdění. Mezi druhy brzdění patří provozní brzdění, úplné provozní zabrzdění, záchranné brzdění, nouzové brzdění, trvalé brzdění, jednorázové zabrzdění a zabrzdění proti samovolnému pohybu. Tyto druhy brzdění jsou zajištěny několika způsoby brzdění: dynamické brzdění, třecí brzdění, magnetická kolejnicová brzda, protismykové zařízení a kombinovaná brzda.

Provozní brzdění je brzdění běžně používané k regulaci rychlosti jízdy vlaku. Ovládá jej strojvedoucí, a/nebo automatické řídicí zařízení. Provozní brzdění musí být schopné splňovat požadované úrovně výkonnosti a musí být použitelné opakovaně. Vzhledem k tomu, že jeho použití je velmi časté, je třeba dbát na minimalizaci jeho nepříznivých vlivů vůči okolí, jako je prašnost, hlučnost a podobně.

Záchranné brzdění je způsob brzdění, jehož prioritou je dosažení maximální bezpečnosti cestujících a třetích osob. K tomuto musí být splněny požadované úrovně výkonnosti, a dále i vysoký stupeň bezpečnosti. Záchranné brzdění lze vyvolat několika způsoby, od nichž se následně odvíjí i způsob brzdění. U nás bývá nejčastěji vyvoláno řidičem prostřednictvím určené polohy ovladače brzdy, nebo tlačítka záchranné brzdy. Způsob brzdění je v obou případech stejný.

Nouzové brzdění má za cíl zabezpečit vyšší úroveň spolehlivosti systému, než dosahuje provozní, či záchranné brzdění. Brzdící výkonnost může být nižší, než u brzdění provozního, nebo záchranného.



Zajišťovací provozní brzda zajišťuje krátkodobé zajištění stojícího vlaku proti samovolnému pohybu. Může být provedena jako nezávisle činná, požaduje-li to dopravní správa, ta také definuje zatížení, sklon a dobu, po kterou musí brzda působit.

Parkovací brzda slouží k zajištění stojícího vlaku proti pohybu. Je požadována předepsaná výkonost a vysoký stupeň spolehlivosti. Brzda musí být schopná udržet vlak s definovaným zatížením po neomezenou dobu na definovaném sklonu. Tato podmínka musí být splněna i při výpadku provozní a záchranné brzdy.

Dynamické brzdění zahrnuje veškeré prostředky použitelné pro brzdění působící pouze za jízdy vlaku. Dynamické brzdění tvoří většinu provozního brzdění. V tramvajových vozidlech se z prostředků dynamického brzdění nejčastěji používá elektrodynamická brzda používající trakční motory jako generátory. Tento způsob brzdění se využívá ve 2 režimech. Jako brzdění odporové, pokud je trakční proud odveden do odporníku, nebo jako brzdění rekuperační, pokud je trakční proud odváděn zpět do napájecí sítě.

Třecí brzdění je realizováno pomocí působení brzdového obložení na oběžnou plochu kola, bubnu, či kotouče. Způsob vyvození přitlačné síly a ovládání brzdy může být různý. U tramvajových vozidel se často používá například elektromechanického, či elektrohydraulického provedení. Třecím brzděním lze realizovat například část brzdění provozního a brzdění parkovací.

Magnetická kolejnicová brzda využívá elektromagnetické působení mezi magnetickými segmenty brzd a kolejnicemi. Tato brzda je neadhezní a se využívá jako požadovaná brzda nezávislá na styku kola s kolejnicí.

Protismykové zařízení je zařízení, které optimalizuje brzdící výkonnost a chrání kola proti poškození při brzdění za zhoršených adhezních podmínek na styku kola s kolejnicí. Tato zařízení musí být konstruována tak, aby při této ochraně došlo k co nejmenšímu poklesu brzdné síly, a zábrzdna dráha byla opravdu minimální. Stejně tak má protismyková ochrana při své činnosti minimalizovat úbytek brzdné energetické rezervy.

Kombinovaná brzda vzniká kombinací více brzdových systémů působících současně za účelem dosažení požadovaného stupně zpomalení. Typickým příkladem je například provozní, nouzová, nebo záchranná brzda [4].

## **Zatížení**

Zatížení vozidla je důležitý parametr pro stanovení výkonnosti brzdového systému. Norma definuje různé druhy zatížení. Pro tramvajová vozidla se používají zatížení EL E a EL 6. Zatížení EL E představuje plně vyzbrojený vlak bez cestujících a zatížení EL 6 představuje 6 stojících cestujících na m<sup>2</sup>. Jeden cestující je uvažován hmotností 75 kg [4].

## **Zábrzdná dráha**

Zábrzdná dráha vztažená k rychlosti je jedním z možných vyjádření provozní výkonnosti. Tato vzdálenost zahrnuje i celkové aktivační doby brzdění. Předpoklady pro stanovení zábrzdné dráhy jsou následující:

- Mezi doporučené podmínky patří přímá a vodorovná trať a součinitel adheze na suché čisté koleji
- Během ekvivalentní aktivační doby  $t_e$  jede vlak bez zpomalení
- Po době  $t_e$  vlak brzdí až do zastavení s konstantním zpomalením  $a_e$  [4].

Pro počáteční rychlost  $v_o$  se pro teoretické brzdění stanoví zábrzdná dráha výpočtem dle vztahu:

$$s = v_o \times t_e + \frac{v_o^2}{2 \times a_e}$$

Kde:

- $s$  – dráha v m
- $v_o$  – počáteční rychlost m/s
- $t_e$  – ekvivalentní celková aktivační doba v s
- $a_e$  – ekvivalentní zpomalení v m/s<sup>2</sup>

Požadovaná provozní výkonnost je pak vyjádřena zábrzdnou dráhou, která musí být kratší, nebo rovna zábrzdné dráze vypočtené z hodnot  $t_e$  a  $a_e$ . Hodnoty  $t_e$  a  $a_e$  jsou udány tabulkově pro jednotlivé druhy brzdění [4].

## **Požadavky na tramvaje a vozidla lehké stavby**

Vozidla jsou charakterizována vzorovými parametry:

- Vzdálenost mezi zastávkami 0,3 až 1,5 km

- Maximální užitečné zatížení 60 až 70 % EL E
- Brzdění se uskutečňuje každých 0,5 až 2 minuty
- Maximální sklon 1:12 až 1:10
- Existuje-li podpovrchová část tratě, má délku nejvýše 8 až 10 % její celkové délky
- Jízda vlaků je řízena rozhledovými poměry

Požadavky na brzdové systémy jsou následující:

- Díly musí mít minimálně dva na sobě nezávislé brzdové systémy tak, aby porucha, či výpadek jednoho ze systémů nemohly za provozu zasáhnout do provozu ostatních. Jeden z těchto systémů musí být funkční i při poruše trakčního napájení.
- Jeden z těchto systémů musí zastávat funkci zajišťovací brzdy, tedy musí zabránit rozjezdu stojícího plně zatíženého dílu na definovaném sklonu.
- Jeden z těchto systémů musí zastávat funkci parkovací brzdy, tedy musí zabránit rozjezdu stojícího nezatíženého dílu na definovaném sklonu. Ovládání musí být prostřednictvím pružiny, nebo obdobného prostředku. Síla a přenos sil musí být výhradně mechanický.
- Alespoň jeden systém brzdy musí být nezávislý na trakčním napájení a na adhezi mezi kolem a kolejnicí.
- Dosahované hodnoty zpomalení musí být v souladu s hodnotami uvedenými v této normě.
- Dosažení požadované výkonnosti záchranného brzdění 3 se adheze zajišťuje pískováním, nebo obdobnými prostředky. V tomto režimu musí pískování fungovat automaticky. Konstrukce těchto prostředků musí být navržena tak, aby jejich funkčnost byla zajištěna i za mimořádně nepříznivých meteorologických podmínek. Množství písku pro pískování musí být stanoveno tak, aby bylo zajištěno využití adheze.

Požadavky na výkonnost jednotlivých způsobů brzdění:

- Pro provozní brzdění je stanoveno minimální  $a_e$  proměnlivě v rozmezí 0 až 1,2  $m/s^2$
- Pro záchranné brzdění stanovuje norma několik režimů podle toho, jaké prostředky jsou při brzdění využity. Našim podmínkám nejlépe odpovídají režimy záchranné 3 a 4, kdy je v činnosti brzda dynamická, třecí, kolejnicová a pískovací zařízení. Pro tento režim je stanoveno minimální zpomalení  $a_e=2,8 m/s^2$ .
- Zajišťovací brzda musí udržet vlak stojící vlak za podmínek:
  - Zatížení EL 6
  - Sklon 8 %
  - 1 hodina
- Parkovací brzda musí udržet stojící vlak za podmínek:
  - Zatížení EL E
  - Sklon 4 %
  - Po neomezenou dobu [4]

Následující tabulka [2] uvádí teoretické provozní výkonnosti pro jednotlivé druhy brzdění dle normy ČSN EN 13452-1

Brzdění	provozní	záchranné 3	nouzové
minimální zpomalení a [ $m/s^2$ ]	0 až 1,2	2,8	1
maximální t [s]	1,5	0,85	2

Tabulka 2: Teoretické provozní výkonnosti dle ČSN 13452-1 [4].

V současné době upravují požadavky na brzdové systémy tramvajových vozidel 2 souběžně platící normy, ČSN 28 1300 a ČSN EN 13452-1. Z výše popsaných požadavků jednotlivých norem lze vyčíst, že se obě normy v principu základních konstrukčních požadavků prakticky neliší. V obou případech jsou požadovány 3 na sobě vzájemně nezávislé brzdové systémy, z nichž jeden musí být nezávislý na trakčním napájení a adhezních podmínkách

v kontaktu kola s kolejnicí. Jediným větším rozdílem je v tomto směru rozlišení zajišťovacího a parkovacího brzdění v normě ČSN EN 13452-1.

Větší rozdíl mezi oběma předpisy spočívá ve stanovení požadované výkonnosti jednotlivých systémů. Obě normy stanovují výkonnost brzdových systémů pomocí maximální zábrzdě vzdálenosti, ovšem liší se v přístupu k stanovení těchto hodnot. ČSN 28 1300 tabulkově stanovuje přímo maximální hodnoty zábrzděných drah ve vztahu k výchozí rychlosti jízdy a druhu brzdění. Oproti tomu ČSN EN 13452-1 stanovuje vztah pro výpočet maximální hodnoty zábrzdě dráhy pro konkrétní výchozí rychlost. Druh brzdění je zde zohledněn pomocí ekvivalentních veličin  $t_e$  a  $a_e$  stanovených pro jednotlivé druhy brzdění.

### **1.3 INTERNÍ PŘEDPISY TÝKAJÍCÍ SE BRZDĚNÍ TRAMVAJOVÝCH VOZIDEL NĚKTERÝCH PROVOZOVATELŮ TRAMVAJOVÉ DOPRAVY V ČR.**

Interní předpisy nemají obecnou platnost, platí pouze pro konkrétní organizaci, která jejich platnost přijala. V rámci této práce budou shrnuty příslušné předpisy DPMB a. s. Pro srovnání budou uvedeny i předpisy některých dalších provozovatelů tramvajové dopravy z České republiky.

#### **1.3.1 Interní předpis T01 DPMB a. s.**

V rámci organizace provozu tramvajové dopravy zavedl DPMB a. s. směrnici T01 „Údržba a opravy tramvají“. Tato směrnice zahrnuje veškerou problematiku týkající se údržby a oprav tramvajových vozidel, včetně jejich zkoušek, a vztahů mezi jednotlivými subjekty v rámci podniku.

Z hlediska této práce je důležitá příloha číslo 5, která se věnuje jízdám a brzdovým zkouškám. Definicí technickobezpečnostní zkoušky (dále jen TBZ) a podmínky jejího provedení přebírá směrnice z vyhlášky 173/1995 Sb. a normy ČSN 28 1300. Jedinou výjimku tvoří poznámka o provádění TBZ soupravy hnacího a vlečného vozidla. Kdy se provede TBZ celé soupravy a samotného hnacího vozidla. Při porovnání výsledků obou zkoušek se naměřené střední brzdě zpomalení nesmí lišit více jak o 15 % [5].

### **Požadované parametry**

Směrnice T01 vyjadřuje požadovanou výkonnost jednotlivých brzdových systémů prostřednictvím minimálních a doporučených hodnot středního brzdného zpomalení. Tyto hodnoty uvádí následující tabulka [3].

Druh brzdy	minimální hodnota středního brzdného zpomalení [m/s <sup>2</sup> ]	doporučená hodnota středního brzdného zpomalení [m/s <sup>2</sup> ]
čelistová	1,12	1,3
kotoučová	1,2	1,3
provozní	1,12	1,4
provozní u vozidel s protiskluzovou ochrannou	1,12	1,4
Nouzová/záchranná	2,3	2,5

*Tabulka 3: Hodnoty středního brzdného zpomalení [5].*

Na zajišťovací brzdění je kladen požadavek udržet plně zatížené vozidlo v klidu na spádu 90 %. Splnění tohoto parametru je zjednodušeně ověřováno pomocí rozjezdu vozidla při vyjmuté pojistce čelistových, respektive kotoučových brzd. U vozidel typu T, K a KT8D5R.N2 je při tomto rozjezdu sledována hodnota rozjezdového proudu, při kterém jsou třecí brzdy schopné udržet vozidlo v klidu. U vozidel ŠKODA 13T, VARIO LF a LF2 se sleduje velikost zadaného poměrného tahu, při kterém jsou třecí brzdy schopné udržet vozidlo v klidu. Pro oba způsoby ověřování zajišťovací brzdy směrnice uvádí minimální hodnoty, které musí být dodrženy [5].

### **Srovnání předpisu T01 s vyhláškou 173/1995 Sb. a normami ČSN 28 1300 a ČSN EN 13452-1**

Každý předpis klade požadavky na výkony jednotlivých brzdových systémů odlišnou formou, srovnání proto nemusí být na první pohled úplně vypovídající. Norma ČSN 28 1300 uvádí maximální hodnoty zábrzdných drah. Vyhláška č. 173/1995 Sb., norma ČSN EN 13452-1 a směrnice T01 uvádí požadované hodnoty brzdného zpomalení. Tabulka [4] uvádí srovnání maximálních zábrzdných vzdáleností dle ČSN 28 1300 s vypočítanými zábrzdnými vzdálenostmi pro výchozí rychlost 40 km/h dle požadovaných hodnot zpomalení normou ČSN EN 13452-1, vyhlášky č. 173/1995 Sb. a směrnice T01.

Předpis	Jednotlivé režimy brzdění			
	provozní	zajišťovací	nouzové	záchranné
Požadované zábrzdné vzdálenosti dle vyhlášky 173/1995 Sb. [m]	55	-	26,78	26,78
Požadované zábrzdné vzdálenosti dle normy ČSN 28 1300 [m]	55,11	55,11	26,84	26,84
Požadované zábrzdné vzdálenosti dle normy ČSN EN 13452-1 [m]	67,99	-	83,81	31,44
Požadované zábrzdné vzdálenosti dle vnitropodnikového předpisu T01 [m]	44,09	47,39	24,64	24,64

*Tabulka 4: Srovnání vypočítaných hodnot zábrzdých vzdáleností dle ČSN EN 13452-1, vyhlášky č. 173/1995 Sb. a směrnice T01 s hodnotami udávanými ČSN 28 1300[6].*

Z tabulky [4] vyplývá, že nejpřísnějším předpisem je předpis T01. Velmi patrné je to zejména u provozního brzdění.

### **1.3.2 Předpisové ošetření problematiky brzdění tramvajových vozidel u některých dalších provozovatelů tramvajové dopravy v České republice**

Pro potřeby této práce se podařilo zajistit podklady z Dopravního podniku hlavního města Prahy a. s., Dopravního podniku Ostrava a. s., Dopravního podniku města Olomouce a. s. a Dopravního podniku měst Mostu a Litvínova a. s.

Zbylí oslovení provozovatelé, tedy Dopravní podnik měst Liberce a Jablonce n. N., a. s. a Plzeňské městské dopravní podniky, a. s. na žádost o spolupráci nereagovali.

Z výše uvedených provozovatelů Dopravní podnik města Olomouce a. s. a Dopravní podnik Ostrava a. s. využívají pouze obecně platnou legislativu, popsanou v kapitolách 1.1 a 1.2 Ostatní mají zavedené vlastní směrnice odlišné od legislativy obecně platné.

#### ***Předpisové ošetření problematiky brzdění tramvajových vozidel Dopravního podniku hlavního města Prahy***

Dopravní podnik hlavního města Prahy a. s. má stanoveny vlastní hodnoty maximálních zábrzdých drah. V porovnání s ČSN 28 1300 jsou tyto hodnoty mírně přísnější. Tabulka [5] uvádí srovnání předepsaných zábrzdých vzdáleností interním předpisem DPP a. s. s maximálními hodnotami zábrzdých vzdáleností předepsaných normou ČSN 28 1300 pro rychlost 40 km/h. Uvedené informace byly poskytnuty prostřednictvím emailové komunikace s panem ing. Janem Kadlecem.

Brzdění	provozní l <sub>max</sub> [m]	zajišťovací l <sub>max</sub> [m]	nouzové l <sub>max</sub> [m]	záchranné l <sub>max</sub> [m]
DPP	54,6	54,6	26,8	26,8
ČSN 281300	55,11	55,11	26,84	26,84

Tabulka 5: Srovnání Hodnot zábrzdých vzdáleností pro rychlost 40 km/h dle předpisu DPP a. s. a ČSN 28 1300 [6].

### ***Předpisové ošetření problematiky brzdění tramvajových vozidel Dopravního podniku měst Mostu a Litvínova a. s.***

Dopravní podnik měst Mostu a Litvínova a. s. má svým vnitropodnikovým předpisem stanoveny požadované hodnoty zpomalení uvedené v tabulce [6]. Uvedené informace byly poskytnuty prostřednictvím emailové komunikace s panem Pavlem Kučerou.

Druh brzdy	střední hodnota zpoždění [m/s]	maximální hodnota zpoždění [m/s]
čelistová	1,2	1,4 až 1,8
provozní	1,2	1,4 až 1,8
záchranná	2,3	až 4,0
nouzová	2,3	až 4,0

Tabulka 6: Požadované hodnoty zpomalení dle směrnice DP měst Mostu a Litvínova a. s. [7].

### ***Dopravní podnik Ostrava a. s.***

Dle vyjádření pana Ing. Martina Kašného, prostřednictvím emailové komunikace, využívá Dopravní podnik Ostrava a. s. pouze požadavků uvedených v normě ČSN 28 1300, v zákoně č. 266/1994 Sb. a vyhlášce Ministerstva dopravy č. 173/1995 Sb.

### ***Dopravní podnik města Olomouce a. s.***

Dle vyjádření pana Miloslava Nedvěda, prostřednictvím emailové komunikace, využívá Dopravní podnik města Olomouce a. s. pouze požadavků uvedených v normě ČSN 28 1300, v zákoně č. 266/1994 Sb. a vyhlášce Ministerstva dopravy č. 173/1995 Sb.

### **1.3.3 Celkové porovnání zábrzdých drah dle všech výše uvedených zdrojů**

Každý předpis klade požadavky na výkony jednotlivých brzdových systémů odlišnou formou, srovnání proto nemusí být na první pohled úplně vypovídající. Norma ČSN 28 1300 a interní směrnice DPP a. s. uvádí maximální hodnoty zábrzdých drah. Vyhláška č. 173/1995 Sb., norma ČSN EN 13452-1, interní směrnice T01 a interní směrnice Dopravního podniku měst Mostu a Litvínova a. s. uvádí požadované hodnoty brzdného zpomalení. Tabulka [7] uvádí



srovnání maximálních zábrzdých vzdáleností dle ČSN 28 1300 a interní směrnice DPP a. s. s vypočítanými zábrzdými vzdálenostmi pro výchozí rychlost 40 km/h dle požadovaných hodnot zpomalení normou ČSN EN 13452-1, vyhlášky č. 173/1995 Sb., interní směrnice T01 a interní směrnice Dopravního podniku měst Mostu a Litvínova a. s.

Předpis	Jednotlivé režimy brzdění			
	provozní	zajišťovací	nouzové	záchranné
Požadované zábrzdé vzdálenosti dle vyhlášky č. 173/1995 Sb. [m]	55	-	26,78	26,78
Požadované zábrzdé vzdálenosti dle normy ČSN 28 1300 [m]	55,11	55,11	26,84	26,84
Požadované zábrzdé vzdálenosti dle normy ČSN EN 13452-1 [m]	67,99	-	83,81	31,44
Požadované zábrzdé vzdálenosti dle vnitropodnikového předpisu T01 [m]	44,09	47,39	24,64	24,64
Požadované zábrzdé vzdálenosti dle vnitropodnikového předpisu DPP a. s. [m]	54,6	54,6	26,8	26,8
Požadované zábrzdé vzdálenosti dle vnitropodnikového předpisu DP měst Mostu a Litvínova a. s. [m]	51,44	51,44	26,83	26,83

*Tabulka 7: Srovnání vypočítaných hodnot zábrzdých vzdáleností dle ČSN EN 13452-1, vyhlášky č. 173/1995 Sb., směrnice T01 a interní směrnice Dopravního podniku měst Mostu a Litvínova a. s. s hodnotami udávanými ČSN 28 1300 a interním předpisem DPP a. s. [6].*

Z tabulky [7] vyplývá, že nejpřísnější požadavky na brzdění tramvajových vozidel klade vnitropodnikový předpis T01 provozovatele DPMB a. s.

## **2 KONSTRUKCE BRZDOVÝCH SYSTÉMŮ TRAMVAJOVÝCH VOZIDEL**

Brzdový systém tramvajových vozidel se v souladu s legislativními požadavky skládá z několika samostatných brzdových systémů, které jsou v činnosti buď samostatně, nebo v různých kombinacích. Použití jednotlivých brzdových systémů zpravidla závisí na druhu požadovaného brzdění.

### **2.1 ROZDĚLENÍ BRZDOVÝCH SYSTÉMŮ TRAMVAJOVÝCH VOZIDEL**

Jednotlivé brzdové systémy je možné rozdělovat podle různých kritérií, například podle druhu, nebo způsobu brzdění.

#### **2.1.1 Rozdělení brzdových systémů tramvajových vozidel dle druhu brzdění**

Předpisy pro tramvajová vozidla rozlišují různé druhy brzdění, které jsou používány v různých provozních situacích. Jedná se zejména o brzdění provozní, zajišťovací, parkovací, nouzové a záchranné [8].

##### ***Provozní brzdění***

Provozní brzdění zajišťuje regulaci rychlosti vozidla v běžných provozních situacích například při zastavování v zastávkách, či křižovatkách, nebo při udržování konstantní rychlosti vozidla při jízdě ze spádu.

Funkci provozní brzdy plní v součinnosti brzda elektrodynamická s brzdou mechanickou. Prostřednictvím elektrodynamické brzdy je realizována většina provozního brzdění. Brzda mechanická slouží k dobrzdění v nízkých rychlostech přibližně 5 km/h a méně, kdy elektrodynamická brzda není účinná. Mechanická brzda dále slouží jako záložní v případě výpadku brzdy elektrodynamické [8].

##### ***Zajišťovací brzdění***

Zajišťovací brzdění zajišťuje krátkodobě stojící vozidlo proti samovolnému pohybu. Funkci zajišťovací brzdy plní mechanická brzda [8].

### ***Parkovací brzdění***

Prostřednictvím parkovacího brzdění je vozidlo zajišťováno proti samovolnému pohybu. Také funkci parkovací brzdy plní brzda mechanická [8].

### ***Nouzové brzdění***

Cílem nouzového brzdění je poskytnutí větší spolehlivosti systému, než u provozního, či záchranného brzdění. Tento druh brzdění je zpravidla aktivován prostřednictvím nouzových tlačítek umístěných v prostoru pro cestující, nebo prostřednictvím zařízení mrtvého muže.

Nouzové brzdění je zajišťováno prostřednictvím součinnosti mechanické brzdy s brzdou kolejnicovou [8].

### ***Záchranné brzdění***

Záchranné brzdění má za cíl zajištění maximální bezpečnosti cestujících a řidiče vozidla. Tento způsob brzdění dosahuje největších hodnot zpomalení, a tím i nejkratší zábrzdě vzdálenosti. Záchranné brzdění bývá aktivováno prostřednictvím určené polohy řadiče, nebo prostřednictvím tlačítka záchranné brzdy umístěného na řídicím pultu na stanovišti řidiče.

Při záchranném brzdění jsou v součinnosti všechny brzdové systémy, tedy brzda elektrodynamická, mechanická i kolejnicová [8].

## **2.1.2 Rozdělení brzdových systémů tramvajových vozidel dle způsobu brzdění**

Způsoby brzdění se rozdělují podle způsobu vzniku, přenosu a místa působení brzdě síly. Brzdy v tomto případě dělíme na dynamické, třecí a magnetickou kolejnicovou brzdou.

### ***Dynamické brzdění***

Dynamické brzdění je účinné pouze při jízdě vozidla. U tramvajových vozidel se nejčastěji používá brzdění elektrodynamické, kdy trakční motory pracují v režimu generátoru s pohonem od dvojkolí. Elektrodynamické brzdění tvoří za normálních podmínek většinu provozního brzdění [8].

### ***Třecí brzdění***

Třecí brzdění je způsob brzdění, při kterém se brzdná síla přenáší prostřednictvím tření jednotlivých částí brzd. Typicky se jedná o brzdy kotoučové, nebo čelistové, kdy při brzdění dochází ke tření brzdového obložení o kotouč, respektive brzdových čelistí o brzdový buben.

Tento způsob brzdění se používá za normálních okolností jako součást provozního brzdění, a jako brzdění parkovací a zajišťovací. Při výpadku elektrodynamické brzdy pak slouží jako její náhrada [8].

### ***Magnetická kolejnicová brzda***

Magnetická kolejnicová brzda funguje na principu elektromagnetu. Tento způsob brzdění je nezávislý na hmotnosti vozidla a adhezi mezi kolem a kolejnicí. Na tramvajových vozidlech magnetická kolejnicová brzda slouží jako součást záchranného brzdění [8].

## **2.2 KONSTRUKCE BRZDOVÝCH SYSTÉMŮ TRAMVAJOVÝCH VOZIDEL**

Postupem vývoje a provozu tramvajových vozidel došlo u jednotlivých brzdových systémů k určitému ustálení jejich konstrukčního řešení. Následující podkapitola nastíní konstrukční řešení a princip funkčnosti nejpoužívanějších brzdových systémů, mezi které patří brzda elektrodynamická, čelist'ová, kotoučová a kolejnicová.

### **2.2.1 Elektrodynamická brzda**

Elektrodynamické brzdění tvoří hlavní součást provozní brzdy. Výhodou elektrodynamické brzdy je snadná regulovatelnost brzdné síly a minimální opotřebení.

Elektrodynamická brzda účinkuje tehdy, pracuje-li trakční motor v režimu generátoru. Trakční motor je poháněn dvojkolím a vyrobený elektrický proud je odveden buď do odporníků, nebo zpět do napájecí sítě. V prvním případě se jedná o brzdu odporovou, v druhém pak brzdu rekuperační. Při elektrodynamickém brzdění tedy dochází k přeměně kinetické energie na elektrickou, a v případě brzdění do odporníků dále na tepelnou energii. Vzhledem ke své povaze je elektrodynamická brzda účinná přibližně do rychlosti přibližně 5 km/h. Její konkrétní provedení pak závisí na typu použitého motoru [8].

### **2.2.2 Čelist'ová brzda**

Čelist'ové brzdy se řadí mezi brzdy třecí, a v tramvajových vozidlech zastávají funkci zejména zajišťovací, parkovací brzdy, a zálohy elektrodynamické brzdy.

Princip čelist'ové brzdy spočívá v přitlačování brzdových čelistí opatřených brzdovým obložením na brzdový buben, čímž vzniká brzdná síla působící proti směru pohybu vozidla. Tento typ brzd je v současnosti provozován zejména na tramvajích typu T3 a K2 z produkce

ČKD Praha, a jejich různých modernizacích. U těchto typů tramvají je čelist'ová brzda umístěná přímo na štítu trakčního motoru, čímž dochází k jeho přímému brzdění. Na dvojkolí je pak tato síla přenášena prostřednictvím převodovky spojující trakční motor s dvojkolím. Samotná brzda je ovládána prostřednictvím elektromagnetického brzdiče, se kterým je spojena táhlem [8].

### ***Čelist'ová brzda MB 225 (T3, K2)***

Čelist'ová brzda se skládá z brzdového bubnu, který je prostřednictvím příruby umístěn na hřídeli trakčního motoru, a dvou čelistí opatřených brzdovým obložením. Čelisti přiléhají k bubnu z vnější strany, a ve stavu klidu jsou odtlačovány pružinou. Jejich ovládání je realizováno prostřednictvím rozevíracího klíče, táhla a pákového mechanismu se zámkou [9]

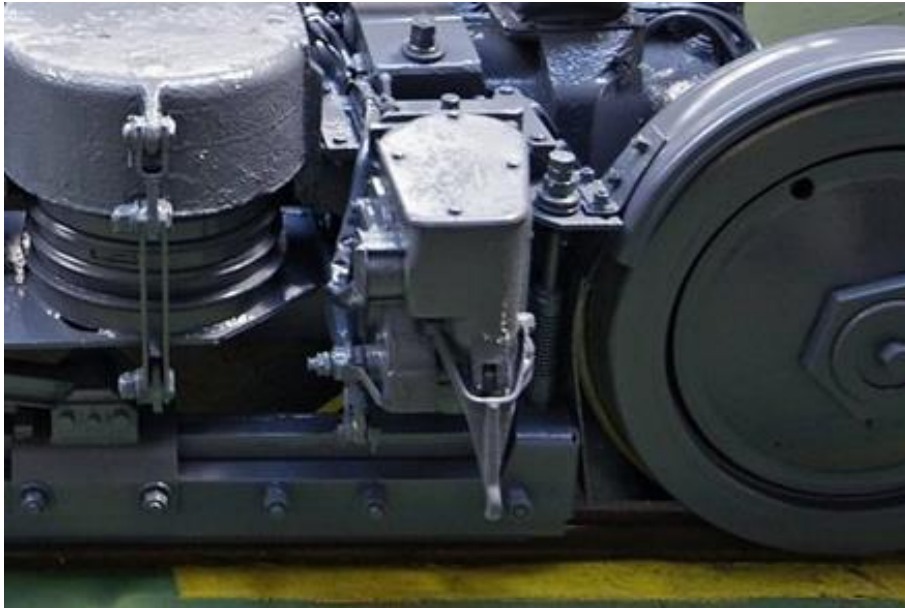


*Obrázek 1: Čelist'ová brzda MB 225 na podvozku tramvaje T3 ev. č. 1525 [6].*

### ***Brzdič BR 232 (T3, K2)***

Prostřednictvím brzdiče je ovládána čelist'ová brzda, se kterou je spojen táhlem. Vlastní brzdič se skládá z elektromagnetu, jehož jádro je vytlačováno tříramennou pákou prostřednictvím stlačené pružiny. Tlak pružiny je možné eliminovat odbrzd'ovací páčkou. Tříramenná páka je současně spřažena s vyrovnávacím pákovým mechanismem, ovládací pákou, indikátorem opotřebení a táhlem ovládajícím brzdou.

Prochází-li cívkou elektrický proud, jádro překoná tlak pružiny, a brzda je odbrzděna. Je-li brzdič bez proudu, dojde k zabrzdění brzdou prostřednictvím pružiny. Ve stavu bez proudu lze brzdič odbrzdit prostřednictvím páčky [9].



*Obrázek 2: Brzdíč BR 232 na podvozku tramvaje T3 [10].*

### **2.2.3 Kotoučová brzda**

Kotoučová brzda je také brzdou třecí. Smysl jejího využití na tramvajových vozidlech je totožný s brzdou čelist'ovou.

Principem kotoučové brzdě je přitlačování brzdových destiček na kotouč, čímž vzniká tření a dochází k brzdění vozidla [8].

Tento typ brzd je v současnosti provozován jak na vozidlech nových, tak i některých starších. Jednotlivá použitá řešení se odlišují zejména umístěním brzdě a způsobu jejího ovládání.

Nejstarším provozovaným typem tramvaje s kotoučovou brzdou jsou tramvaje typu K2 včetně všech pozdějších modernizací. U těchto tramvajů slouží kotoučová brzda pouze k brzdění středního netrakového podvozku. Brzda je umístěná na dvojkoli a ovládaná elektromechanicky.



*Obrázek 3: Kotoučová brzda střední podvozek tramvaje K2P [11].*

Další způsob řešení kotoučové brzdy představují tramvaje KT8D5, respektive dnes již pouze rekonstruované provedení KT8D5R.N2 a dále tramvaje KT8D5N. Zde je kotoučová brzda již použita na všech podvozcích. Brzda je umístěna přímo na štítu trakčního motoru a je ovládána elektromechanicky. Toto řešení v principu přebírají i tramvaje VarioLFR.E a LF2R.E vyráběné aliancí TW Team.



*Obrázek 4: Kotoučová brzda na podvozku tramvaje KT8D5N ev. č. 1735 [6].*

Pomyslnou třetí skupinu tvoří tramvaje Anitra a 13T z produkce výrobce Škoda Transportation a. s. U tramvaji tohoto typu je kotoučová brzda osazena na jednotlivých dvojkolích, a je ovládána elektrohydraulicky.

### ***Brzdová jednotka K. P. T. 001 (Anitra, 13T)***

Brzdová jednotka je tvořena plovoucím třmenem se dvěma střadači, které zároveň obsahují mechanismus ručního odbrzdění a samočinný stavěč odlehlosti. Třmen i střadače jsou integrovány v jednom celku, který tvoří nosná část pro upevnění brzdy na vozidlo, a brzdové destičky. Brzdové obložení je ve třmenu vedené čepy. Pravé obložení je opřeno o vnitřní opěrnou plochu třmene a levé obložení leží před písty. Při brzdění dochází k rovnoměrnému přitlačování obou obložení na třecí plochy brzdového kotouče [12].

Funkce jednotky umožňují několik stavů.

- Úplné brzdění – na písty střadače nepůsobí tlak kapaliny. Síla pružin střadačů se přenáší přes písty na brzdové destičky
- Brzdění sníženou silou – na písty střadače působí tlak kapaliny ekvivalentní zadanému požadavku na brzdění. Na brzdové destičky se přenáší rozdíl síly pružin při úplném brzdění a síly působící od tlaku kapaliny.
- Odbrzdnění – tlak působící kapaliny je větší, než maximální pracovní síla pružin střadačů.
- Nouzové odbrzdění – střadač je osazen ventilem pro připojení agregátu nouzového odbrzdění
- Ruční odbrzdění – vyšroubováním vřetena střadačů [12].



Obrázek 5: Brzdová jednotka K. P. T 001 s brzdovým kotoučem na podvozku tramvaje 13T ev. č. 1925 [6]



### ***Agregát K. P. T. 001 (Anitra, 13T)***

Agregát slouží k ovládní výkonové členy brzdy, tedy brzdové jednotky K. P. T. 001. Mezi hlavní části agregátu patří výkonová jednotka, nádrž a víko. Výkonová jednotka se poté skládá z elektromotoru, zubového čerpadla, spojky a rozváděcí kostky.

Agregát dodává přes filtr, jednocestný ventil a řídicí prvky tlakovou kapalinu do brzdových třmenů. Minimální a maximální tlak kapaliny je ve zdrojové části obvodu regulován elektronickým řídicím blokem, který zapíná a vypíná elektromotor. Řízení tlaku kapaliny na výstupu zajišťuje elektronický řídicí blok, pomocí elektromagneticky ovládaného rozvaděče [12].



*Obrázek 6: Brzdový agregát K. P. T 001 na podvozku tramvaje 13T ev. č. 1925 [6]*

### **2.2.4 Kolejnicová brzda**

Kolejnicová brzda je brzdou neadhezní a nezávislou na styku kola s kolejnicí. Na tramvajových vozidlech slouží jako důležitá součást nouzového a záchranného brzdění. Princip kolejnicové brzdy spočívá v magnetickém působení mezi součástmi brzdy a hlavou kolejnice. Účinek kolejnicové brzdy je nezávislý na hmotnosti vozidla a roste s klesající rychlostí [8].

#### ***Kolejnicová brzda FC 33 (T3)***

Kolejnicová brzda typu FC 33 je tvořena podlouhlým elektromagnetem s jednou cívkou napájenou napětím 24V z akumulátorové baterie. Cívka je uzavřena v kovovém ochranném obalu, a je vložena mezi pólové nástavce, se kterými tvoří magnetický obvod.

Kolejnicová brzda je umístěna mezi koly podvozku nad temenem kolejnice pomocí dvou pružných závěsů. Vedení brzdy je ve vodorovném směru zajištěno dvěma bočními závěsy. Brzdný účinek je na podvozek přenášen pomocí táhla, a cívka je napájena elektrickým proudem prostřednictvím kabelů.

Zapnutím elektrického proudu do cívky dojde k vzniku magnetického pole procházejícího přes pólové nástavce, vzduchovou mezeru a kolejnice. Tím dojde k přitažení kolejnicové brzdy ke kolejnici. Brzdný účinek se pak přenáší na podvozek pomocí táhla [9].



*Obrázek 7: Kolejnicová brzda na podvozku tramvaje T3 ev. č. 1525 [13]*

## **2.3 OVLÁDÁNÍ BRZD**

Brzdové systémy vozidla jsou ovládány prostřednictvím řadiče sloužícího k ovládání vozidla. U starších vozidel je ovládání řešeno prostřednictvím jízdního a brzdového pedálu. Novější a současná vozidla jsou zpravidla již ovládána ruční pákou, která v sobě sdružuje jak ovládání jízdy, tak brzdy.

Použití jednotlivých brzdových systémů, nebo jejich kombinací závisí na poloze řadiče. První „stupně“ aktivují provozní brzdění, za nimi následuje poloha parkovací brzdy, a v posledních „stupních“ dochází k aktivaci nouzové brzdy.

Jedinou výjimku v ovládání tvoří nouzová a záchranná brzda. Nouzovou brzdou lze aktivovat i příslušnými tlačítky v prostoru cestujících. Záchranná brzda je aktivována pouze bezpečnostním spínačem, nebo případně zařízením kontrolujícím bdělost řidiče.

### ***Ovládání brzd Škoda Anitra***

K ovládání jízdy a brzdy slouží bezstupňový ručně ovládaný řadič. Vychýlením páky vzad je zadáván brzdový moment. Vychýlení páky vzad přibližně o 80 % odpovídá zadání maximální provozní brzdy. Tato poloha je hmatově zvýrazněna, a neblokuje otevření dveří. Za touto polohou páky následují 2 polohy pro zadání nouzové brzdy. V prvním „stupni“ nouzové brzdy jsou aktivovány kolejnicové brzdy pouze zadního podvozku. Druhý „stupeň“ nouzové brzdy odpovídá maximálnímu vychýlení páky, a dochází k aktivaci všech kolejnicových brzd vozidla. Záchrannou brzdu lze aktivovat bezpečnostním tlačítkem umístěným na ovládacím pultu, nebo pomocném zadním pultu, případně tlačítky v prostoru pro cestující. Záchranná brzda může být aktivována také prostřednictvím tzv. zařízení mrtvého muže.

Elektrodynamická brzda je účinná do rychlosti přibližně 3 km/h. Při rychlosti 7 km/h dojde k aktivaci kotoučové brzdy, která postupně nahrazuje elektrodynamickou brzdu, až při rychlosti přibližně 3 km/h dojde k dobrzdění pouze kotoučovou brzdou [14].



*Obrázek 8: Ruční řadič tramvaje Anitra ev. č. 1805 [15]*

### ***Ovládání brzd KT8D5***

Tramvaj KT8D5 je vybavena řadičem ovládaným jízdním a brzdovým pedálem. Sešlápnutím brzdového pedálu je v sedmi stupních zadávána do regulátoru velikost brzdového proudu. Úhel sešlápnutí brzdového pedálu tedy umožňuje zvolit 7 stupňů provozního brzdění. Pulsní regulace udržuje při všech stupních konstantní zvolený proud v rotorech motorů až do

rychlosti 4 km/h, kdy je již obvod motorů ve zkratu. V tomto okamžiku jsou na stupních 3 až 7 automaticky aktivovány mechanické brzdy, které účinkují dvoustupňově. 1. stupeň je odvozen od stavu regulátoru, a druhý stupeň od zmenšení brzdového proudu. 2. stupeň mechanických brzd je účinný pouze na brzdovém stupni 6 a 7. Pro zadání plného účinku provozní brzdy je tedy třeba zadat 7. stupeň brzdy, který je zároveň aretován a odpovídá poloze „stanicování“. Při výpadku elektrodynamické brzdy účinkuje 1. stupeň mechanické brzdy na stupních 3 až 5 a 2. na stupních 6 a 7.

Pro zadání nouzové brzdy má brzdový pedál za polohou „stanicování“ další 2 stupně. V 1. stupni účinkují kolejnicové brzdy pouze 2. a 3. podvozku. Při 2. stupni pak účinkují všechny kolejnicové brzdy vozidla. Při obou stupních nouzové brzdy je brzda provozní aktivní plným účinkem, tedy svým 7. stupněm.

Záchrannou brzdou lze aktivovat stiskem bezpečnostního tlačítka umístěného na řídicím pultu, nebo příslušnými tlačítky v prostoru pro cestující. Při zadání záchranné brzdy dojde k vypnutí zadaného jízdního režimu (například dynamické brzdy, byla-li zadána) dále jsou aktivovány všechny kolejnicové brzdy a přerušen proud cívek brzdíčů, čímž dojde k plné aktivaci mechanických brzd [16].



Obrázek 9: Ovládací pedály tramvaje KT8D5 ev. č. 1702 [17]

## **3 TEORIE BRZDĚNÍ TRAMVAJOVÝCH VOZIDEL**

Brzdění je poměrně složitým dějem, který popisuje teorie vozidel, a je ovlivněn řadou více, či méně zřejmých vlivů.

### **3.1 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ BRZDĚNÍ TRAMVAJOVÝCH VOZIDEL**

Vliv na brzdové vlastnosti vozidla má více faktorů. Mezi ty hlavní patří lidský faktor, dimenzování pohonu vozidla a přírodní podmínky. Vzhledem k povaze této práce nebude s lidský faktor uvažován. Zbylé faktory pak tedy lze rozdělit do dvou skupin, na vlastnosti tramvajových vozidla a vlivy vyplývající z vlastností kolejnic [18].

#### **3.1.1 Vlastnosti tramvajového vozidla**

První skupina faktorů je tvořena faktory, které jsou přímo vázány k vozidlu. Patří sem hmotnost vozidla a jeho obsazení, průměr hnacích kol, plynulost přechodu mezi elektrodynamickou a mechanickou brzdou a stav palubní sítě [18].

##### ***Hmotnost vozidla a jeho obsazení***

Obsazenost vozidla má velký vliv na jeho okamžitou hmotnost. Například u tramvaje Anitra udává výrobce hmotnost prázdného vozu  $25\,000\text{ kg} \pm 5\%$ , a plně obsazeného pak  $39\,650\text{ kg}$ . Rozdíl hmotností tedy činí  $14\,650\text{ kg}$ , což je oproti prázdnému vozu nárůst téměř o  $60\%$ .

Hmotnost vozidla ovlivňuje brzdové vlastnosti vozu, s rostoucí hmotností vozidla dochází k prodlužování zábrzdné dráhy. Soudobá tramvajová vozidla jsou z tohoto důvodu vybavena systémem, který dokáže regulovat brzdění podle aktuálního zatížení [18].

##### ***Průměr hnacích kol***

Brzdové systémy vyjma kolejnicové brzdy přenáší brzdný moment na kola vozidla. Brzdná síla poté působí na obvodu kola ve styku kola s kolejnicí. Obecně se moment síly stanovuje jako součin velikosti působící síly a kolmého ramene, na kterém síla působí. V případě brzdné síly je tímto ramenem poloměr kola vozidla. Velikost kola vozidla tedy ovlivňuje brzdnou sílu. Čím menší průměr kola bude, tím větší bude působit síla [18].

Na různých typech tramvajových vozidel je používáno různých průměrů kol, a vlivem opotřebovávání jízdnicích ploch kol během provozu vozidla dochází ke změně jejich průměru v čase.

Obecně lze říci, že průměr kol je odlišný zejména mezi tramvajemi vyrobenými v bývalém ČKD Praha, nebo jejich rekonstrukcemi a soudobými nízkopodlažními vozidly. U současných nízkopodlažních tramvají je tlak zejména na účelné využití prostoru pro cestující a maximální podíl nízkopodlažnosti vozidla. Z tohoto důvodu jsou používána zpravidla kola o menším průměru.

Tramvaje pocházející z ČKD Praha a nově vyráběné tramvaje VarioLF a VarioLF2 používají nová kola o průměru 700 mm. Průměr maximálně opotřebovaných kol je pak stanoven na hodnotě 620 mm. Nízkopodlažní tramvaje Anitra a 13T z produkce výrobce Škoda Transportation a. s. používají nová kola o průměru 610 mm a maximálně opotřebovaná o průměru 550 mm.

### ***Přechod mezi elektrodynamickou a mechanickou brzdou***

Pro správnou funkčnost brzdných vlastností vozidla při provozním a nouzovém brzdění je třeba zajistit plynulý přechod mezi elektrodynamickou a mechanickou brzdou. V nízkých rychlostech, přibližně kolem 5 km/h, přestává elektrodynamická brzda účinkovat a při provozním brzdění je dobrzdění z této rychlosti je realizováno pouze pomocí brzdy mechanické [18].

Například tramvaj u tramvaje Anitra dochází při provozním brzdění k postupnému plynulému náběhu mechanické brzdy již při rychlosti 7 km/h, a od rychlosti 3 km/h již tato brzda zajišťuje veškerý brzdný účinek [14].

Druhým příkladem může být například tramvaj KT8D5, u které je náběh mechanické brzdy probíhá ve 2 stupních [16].

### ***Stav palubní sítě***

Pro správnou funkčnost zejména kolejnicových brzd je potřeba zajistit jejich adekvátní napájení [18].

## **3.1.2 Vlastnosti kolejnic**

### ***Stav kolejnice***

Stav kolejnice je velmi důležitým parametrem. Vlhkost, či nečistoty na pojížděných plochách kolejnic negativně ovlivňují adhezi, a tím přispívají k prodloužení brzdné dráhy. Typickým příkladem nečistot může být například spadané listí v podzimním období [18].

### ***Pozice kolejnice***

Trasování tramvajových tratí zahrnují mimo přímých úseků i směrové oblouky a úseky s nenulovým podélným sklonem, včetně výškových oblouků.

Směrový oblouk má pozitivní vliv na brzdné síly, ale negativně ovlivňuje bezpečnost proti vykolejení.

Negativní podélný sklon, tedy klesání, ovlivňuje brzdění vozidla negativně. Pro udržení konstantní rychlosti vozidla při jízdě takovým úsekem vyžaduje spádovou brzdu, o kterou je pak zmenšena brzdná síla použitelná pro zpomalení jízdy vozidla [18].

## **3.2 FYZIKÁLNÍ PRINCIP BRZDĚNÍ TRAMVAJOVÝCH VOZIDEL**

### **3.2.1 Adheze**

V obecném pojetí pojem adheze vyjadřuje souhrn fyzikálních vlastností dotykové plochy mezi kolem a kolejnicí, pomocí kterých lze přenášet na styku kola s kolejnicí tečné síly, které představují zejména hnací a brzdné síly. Tento přenos sil tvoří základní princip jízdy většiny kolejových i silničních vozidel. V ideálním případě se kolo po jízdě valí. Velmi často ovšem dochází k jeho smýkání, nebo prokluzu.

Ke smyku kola po jízdě dochází v situaci, kdy obvodová rychlost kola je výrazně menší až nulová (plně zablokované kolo) než podélná rychlost vozidla. Tento stav nastává typicky při brzdění. Smyk kola je nežádoucí jev, protože má za následek opotřebení obručí kol a prodloužení zábrzdě vzdálenosti vlivem poklesu střední brzdě síly. K opotřebení obručí kol dochází ve formě vytvoření ploch, které při valení kola způsobují typický zvuk.

Prokluz kola na jízdě dochází v situaci, kdy obvodová rychlost kola rychle narůstá vůči podélné rychlosti vozidla. Tento stav je typický při nárůstu tažné síly, nebo při zhoršení adhezních podmínek, případně při jízdě směrovým obloukem. Vlivem prokluzu dochází k nadměrnému namáhání všech součástí přenášejících točivý moment, opotřebovávání kol a kolejnic, a při náhlých změnách tažné síly může docházet i rázům v soupravě [19].

### ***Součinitel adheze***

Jak bylo popsáno výše, mezi kolem a kolejnicí dochází k přenosu tečné síly  $T$  působící na obvodu kola. Kolo je zároveň zatíženo svislou normálovou silou  $N$ . Poměr normálové a tečné síly tvoří adhezní poměr  $\eta$ . Dojde-li, k překročení maximální hodnoty adhezního poměru nastává prokluz kola. Tato maximální hodnota adhezního poměru je označována jako součinitel

adheze. Z výše uvedeného vyplývá, že součinitel adheze je poměr normálové síly a maximální přenositelné tečné síly [8].

Hodnotu součinitele adheze ovlivňuje mnoho faktorů, což znesnadňuje jeho přesné stanovení. Mezi tyto faktory spadá například přítomnost cizích látek (voda, olej, listí...) v dotykové ploše, vlastnosti materiálů dotykové plochy (drsnost, materiálové konstanty), rychlost jízdy vozidla, tvar a průměr kola, svislé zatížení kola. Z těchto faktorů je nejlépe stanovitelná rychlost jízdy, tudíž je velmi často součinitel adheze stanovován v závislosti na rychlosti jízdy. V městské hromadné dopravě je pro kolejové dráhy uvažován součinitel adheze v rozmezí 0,11 až 0,2 [8].

### **3.2.2 Problematika styku kola s kolejnicí**

Problematika styku kola s kolejnicí je velmi složitá a pro potřeby této práce byla velmi zjednodušena. Neméně náročný je i výzkum této problematiky, který probíhá již velmi dlouho. Styk kola s kolejnicí je možné idealizovat do podoby styku dvou válcových ploch v nejjednodušším případě se vzájemně kolmými osami. Styk ploch je zatížen normálovou silou. Podle Hertze [20] má dotyková plocha tvar elipsy. Velikost poloos této elipsy závisí na poloměru obou válcových těles. Velikost plochy pak určuje přítláčná síla a materiálové konstanty obou těles. Rozdělení normálního měrného napětí pak odpovídá svým tvarem polovině elipsy [19].



## **4 ZPŮSOBY EXPERIMENTÁLNÍHO OVĚŘOVÁNÍ HODNOT ZPOMALENÍ TRAMVAJOVÝCH VOZIDEL**

Postupným vývojem došlo k ustálení několika různých způsobů praktického zjišťování a ověřování hodnot zpomalení jednotlivých typů vozidel.

### **4.1 PRINCIPY ZJIŠŤOVÁNÍ ZPOMALENÍ**

Deceleraci zkoušeného tramvajového vozidla lze ověřovat několika principy. Mezi měřené veličiny patří samotné brzdné zpomalení, nebo rychlost jízdy a vzdálenost ujetá při brzdění. Podle druhu měřených veličin se zjišťuje brzdná, nebo zábrzdná vzdálenost. Rozdíl mezi vzdáleností brzdnou a zábrzdnou spočívá v okamžiku počátku měření. Zábrzdná vzdálenost je uvažována od prodlevy brzd, a zábrzdná vzdálenost až od počátku náběhu brzd.

### **4.2 METODY ZJIŠŤOVÁNÍ ZPOMALENÍ**

Pro potřeby této práce byly vybrány 2 metody zjišťování decelerace. První metodou je měření pomocí vlečeného kola, které je součástí soupravy pro měření zábrzdných drah PK 2000. Tuto metodu v současné době používá pro ověřování brzdných vlastností tramvajových vozidel DPMB a. s. Jako metoda pro porovnání byl zvolen decelerometr XL Meter™.

#### **4.2.1 Metoda zjišťování zpomalení pomocí decelerometru XL Meter™**

XL Meter™ je výrobek maďarské firmy Inventure. Jedná se o přenosné bateriově napájené měřicí zařízení pro měření zrychlení, nebo zpomalení s možností okamžitého vyhodnocení velikosti zpomalení provozní brzdy, či velikosti akcelerace. Pro pozdější práci s naměřenými daty je zařízení kompatibilní s PC [21].

#### ***Konstrukce decelerometru XL Meter™***

Po technické stránce tvoří zařízení tři hlavní části: hlavní jednotka s elektronickou částí, vakuová přísavka pro upevnění přístroje a nastavitelné rameno pro nastavení polohy jednotky. Elektronická část přístroje je integrována do hliníkového obalu, který zároveň obsahuje upevnění baterií a konektory potřebné k připojení PC, snímače brzdového pedálu, výstupního signálu spouštěče, či externího napájení. Hlavní část přístroje je s upevňovací vakuovou přísavkou spojena prostřednictvím kloubového

ramene, které umožňuje nastavení polohy jednotky v příčné a podélné ose tak, aby byla umožněna kalibrace přístroje [21].



Obrázek 10: XL Meter™ umístěný na čelním skle vozidla [6]

### ***Princip měření decelerometru XL Meter™***

Kompletní měřicí systém je proveden na jednom akcelerometrickém čipu, který obsahuje polysilikonový miniaturní senzor a signálové obvody zajišťující vyvážení silové smyčky. Senzor zrychlení je řešen jako rozdílový kapacitní. Skládá se z nezávisle upevněných destiček a destiček umístěných na centrální základně, které reagují na působící zrychlení pohybem. Dva sériově zapojené kondenzátory tvoří kapacitní dělič s pohyblivou společnou centrální deskou. V klidu je výstupní napětí v jejich elektrickém středu nulové. Působením zrychlení dochází k pohybu středové desky, která se tím od jedné pevné desky vzdaluje a přibližuje ke druhé. Výsledkem je nerovnováha, která se projeví nenulovým výstupním elektrickým signálem na středové desce. Výstupní amplituda tohoto signálu se mění přímo úměrně velikosti působícího zrychlení [21].

## ***Vlastnosti měření měření decelerometru XL Meter™***

Zařízení je schopné měřit zrychlení až do hranice  $\pm 2$  g.

Měření zrychlení probíhá v příčném směru (osa Y) a v podélném směru (osa X). Podle potřeby a nastavení přístroje je možné osy vzájemně zaměnit, nebo jednu, či obě osy převrátit. Toho se využívá zejména při potřebě nestandardního umístění zařízení.

Frekvence měření je nastavitelná v rozsahu 25 až 200 Hz ve stupních 25, 50, 100 a 200 Hz. Vyšší frekvence příznivě ovlivňuje přesnost měření, ale zkracuje jeho možnou délku.

Rozsah měření je možné nastavit pro každou osu odděleně, a to v hodnotách  $\pm 5$  m/s<sup>2</sup> (úzký rozsah),  $\pm 14$  m/s<sup>2</sup> (základní rozsah) a  $\pm 20$  m/s<sup>2</sup> (široký rozsah).

Naměřená data jsou ukládána do paměti nezávisle na napájení. Paměť má kapacitu na 8 nezávislých měření, přičemž délka měření je 40, nebo 80 vteřin. Vyhodnocení dat je možné v několika režimech přímo bezprostředně po ukončení měření. Pro potřeby této práce byl využíván režim vyhodnocení provozní brzdy. Nezávisle na tomto vyhodnocení je možno data dále zpracovávat na PC [21].

### ***Režim vyhodnocení provozní brzdy***

Vyhodnocení se spouští automaticky po ukončení měření. Nejdříve je vyhodnocena úroveň v klidovém stavu, která následně poslouží jako základní úroveň pro další vyhodnocování, jehož výsledkem jsou následující hodnoty:

- $S_o$  [m] – ujetá vzdálenost za dobu brzdění  $T_{br}$ . vypočtená dvojnou integrací dat zrychlení v intervalu brzdění.
- $T_{br}$  [s] – celková doba brzdění vypočtená odečtením počátečního času brzdění od konečného času v klidové poloze.
- $V_o$  [km/h] – rychlost vozidla na počátku brzdění vypočtená jednoduchou integrací dat zrychlení v intervalu brzdění.
- MFDD [m/s<sup>2</sup>] – střední plné brzděné zpomalení vypočtené jako střední zpomalení s ohledem na ujeté vzdálenosti v intervalu  $V_b$  až  $V_e$ , podle vzorce:

$$MFDD = \frac{V_b^2 - V_e^2}{25,92 \times (S_e - S_b)}$$

Kde:

- $V_b$  [km/h] – rychlost vozidla při  $0,8 V_o$
- $V_e$  [km/h] – rychlost vozidla při  $0,1 V_o$
- $S_e$  [m] – vzdálenost ujetá mezi  $V_o$  a  $V_e$
- $S_b$  [m] – vzdálenost ujetá mezi  $V_o$  a  $V_b$

#### ***Postup měření měření decelerometrem XL Meter™***

XL Meter™ se pomocí přísavky připevní na vhodné místo ve vozidle. Výrobce doporučuje umístění na čelní okno, nicméně možné je umístění i například na zadní okno. V takových případech je nutné dbát na správné nastavení os.

Po zapnutí přístroje následuje kalibrace zařízení. Kalibrace v obou osách je umožněna pohyblivým ramenem mezi přísavkou a hlavní jednotkou přístroje. Cílem je nastavení přístroje do polohy, ve které má v obou osách přibližně nulové zrychlení.

Po kalibraci je možné přistoupit k měření. Měření je spuštěno tlačítkem, a stejným způsobem je i následně ukončeno. Pokud je nastaveno automatické vyhodnocení dat, dojde bezprostředně po ukončení měření k jeho spuštění [21].

#### **4.2.2 Souprava pro měření zábrzdných drah trakčních vozidel PK 2000**

Tuto soupravu od společnosti C. T. M. Praha s. r. o. v současné době používá pro měření zábrzdných drah tramvajových vozidel DPMB a. s.

#### ***Konstrukce soupravy PK 2000***

Souprava se skládá z vlečeného kola sloužícího pro snímání informací o dráze a rychlosti a dále z elektronického měřícího přístroje. Ovládání celého zařízení je realizováno prostřednictvím displeje a klávesnice [22].



Obrázek 11: Elektronická část měřicího přístroje soupravy PK 2000 [6]

Vlečné kolo se skládá z lehkého jízdního kola o rozměru 28“, kardanového závěsu, kterým je kolo připevněno na vozidlo, většinou přímo k zadnímu nárazníku vozidla, nebo k pomocné konstrukci. Jednou z vlastností použitého typu kola je pouze minimální změna jeho dynamického poloměru v závislosti na rychlosti jízdy. Mezi další součásti patří snímač impulsů, který se může nacházet přímo v ose otáčení kola, nebo na kardanovém závěsu. V takovém případě je pak rotační část snímače poháněna ohebným hřídelem [22].



Obrázek 12: Vlečné kolo soupravy PK 2000 instalované na vozidle v manipulační poloze [6]

### ***Princip měření soupravy PK 2000***

Při jízdě vozidla dochází k odvalování kola po hlavě kolejnice, přičemž prostřednictvím tohoto kola je snímána rychlost jízdy vozidla a ujetá vzdálenost. Měření je aktivováno manuálně obsluhou, přičemž počátek měření je registrován prostřednictvím propojení přístroje s elektronikou vozidla. Ukončení měření je samočinné po zastavení vozidla. Naměřená data jsou poté vyhodnocena prostřednictvím elektronické části soustavy [22].

#### **4.2.3 Srovnání metod ověřování zpomalení pomocí decelerometru XL Meter™ a soupravy PK 2000**

Obě výše popsané metody lze využít pro ověření brzdných vlastností vozidel. Z hlediska konstrukce zařízení a povahy měření je třeba počítat s určitými vzájemnými odchylkami v naměřených hodnotách. Pomocí decelerometru jsou snímány přímo hodnoty zpomalení, vlečené kolo slouží pouze pro snímání rychlosti a ujeté vzdálenosti. Další rozdíl vyplývá z rozdílného počátku měření. Vlečené kolo je aktivováno v okamžiku kdy zkušební řidič dostane pokyn k brzdění, tím pádem je zaznamenána i technická prodleva brzd. Oproti tomu decelerometr vyhodnocuje hodnoty až od počátku snižování rychlosti jízdy, tedy až od náběhu brzd. Mezi negativní vlastnosti vlečeného kola, které také ovlivňují rozdíly, ve zjištěných hodnotách patří například různé odskoky a další negativní jevy při jeho jízdě.

Z hlediska konstrukce také vyplývají i rozdíly v manipulaci a uživatelském komfortu jednotlivých zařízení.

### **4.3 JÍZDNÍ TECHNICKOBEZPEČNOSTNÍ ZKOUŠKA**

Zpomalení tramvajových vozidel se nejčastěji ověřuje technickobezpečnostní zkouškou (dále jen TBZ.). Metodika a obsah TBZ je upravena ve vyhlášce 173/1995Sb. s odvoláním na technickou normu ČSN 28 1300. TBZ se standardně provádí po zásazích do brzdových systémů, které by mohly ovlivnit funkčnost brzd a po pravidelných technických prohlídkách a opravách vyššího stupně.

#### **4.3.1 Požadavky na jízdní TBZ dle vyhlášky 173/1995 Sb.**

Vyhláška Ministerstva dopravy 173/1995Sb. upravuje pouze obecná pravidla pro provádění TBZ, a to v části páté §60 – Technickobezpečnostní zkouška, kde je mimo jiné uvedeno následující:

- TBZ smí provádět pouze osoba k tomu pověřená Ministerstvem dopravy
- Zkušební traťový úsek musí mít takové sklonové a směrové poměry, aby traťová rychlost umožňovala alespoň rychlost zkušební
- Ucelené soupravy se zkouší v celé soupravě
- Tažená vozidla se zkouší spojená s vhodným tažným vozidlem
- Při TBZ se ověřují údaje rychloměru, brzdné vlastnosti vozidla, zábrzdné vzdálenosti a součinnost všech brzdových systémů na vozidle [2]

### 4.3.2 Požadavky na jízdní TBZ dle normy ČSN 28 1300

Norma ČSN 28 1300 stanovuje, oproti vyhlášce 173/1995Sb., již konkrétní požadavky, které jsou uvedeny v kapitole 5.5 Technikobezpečnostní zkouška. V příloze A jsou pak uvedeny maximální hodnoty zábrzdných drah pro jednotlivé rychlosti a způsoby brzdění. Norma uvádí požadavky na měření, provedení zkoušky a zkušební trať, které jsou následující: [3].

#### *Požadavky na měření*

- Při zjišťování zábrzdných drah a středního zpomalení se vychází z okamžité rychlosti vozidla  $v_0 = 40 \text{ km/h} \pm 10 \%$
- Rychlost vozidla se měří přístrojem připojeným k vozidlu s přesností měření alespoň  $\pm 3 \%$
- Střední hodnota brzdného zpomalení  $a_{str}$  se, pro všechny druhy brzdění stanoví podle vztahu:  $a_{str} = \frac{v_0}{2 \times L}$ , kde L je skutečně naměřená zábrzdná dráha
- Současně se orientačně měří hodnoty vrcholového zpomalení decelerometrem a porovnávají se s údaji, uvedenými pro jednotlivé druhy brzd v technických podmínkách.
- Hodnoty mimo rozsah  $40 \text{ km/h} \pm 10 \%$  jsou pouze informačního charakteru.
- V případě provozního a zajišťovacího brzdění ve svahu v jednom směru je nutno provést korekci. Při stoupání (klesání) 2 až 3 promile se přičte (odečte) 1 m. Při stoupání (klesání) 4 až 5 promile se přičte (odečte) 2 m. Vliv sklonu lze vyloučit oboustranným měřením na stejné dráze [3].

### ***Požadavky na zkušební trať***

- trať musí být přímá a zajištěná
- podélný sklon nejvýše 5 promile [3] Pro srovnání, stejný limit uvádí i norma ČSN EN 13452-2 platná pro zkoušení nových vozidel [34]

### ***Požadavky na provedení zkoušky***

- Měření zábrzdných drah se provádí jedenkrát pro zajišťovací, nouzové a záchranné brzdění a dvakrát pro provozní brzdění
- Při stání vozidla se informativně ověřuje funkce tlačítek záchranného brzdění umístěných ve dveřních prostorech uvnitř vozidla
- Pořadí zkoušek jednotlivých brzdových systémů se určí s ohledem na jejich namáhání
- U obousměrných vozidel se veškeré druhy brzdění ověřují z obou stanovišť v příslušném směru jízdy [3]



## **5 SROVNÁNÍ JÍZDY A BRZDĚNÍ TRAMVAJOVÉHO A SILNIČNÍHO OSOBNÍHO VOZIDLA**

Konstrukce obou druhů vozidel je velmi rozdílná a z toho plynou i značné rozdíly v jejich jízdních i brzdných vlastnostech.

Rozdíly v jízdních vlastnostech obou druhů vozidel vyplývají zejména z odlišné povahy vozidel a jejich jízdní dráhy. Velikost zrychlení tramvajového vozidla ve srovnání s vozidlem silničním je zásadně limitována hmotností vozidla a fyzikálními účinky zrychlení zejména na stojící cestující ve vozidle. Tramvajové vozidlo má stavebně striktně danou pevnou jízdní dráhu. Jízdní dráha silničního vozidla je v principu také stavebně omezena, ale v určité míře umožňuje řidiči jízdní dráhu měnit.

Rozdíly v brzdových vlastnostech jsou dány zejména odlišnou povahou silového působení ve styku kol vozidla s podložkou a dále také odlišnou hmotností vozidel.

Tramvajová vozidla tvoří velmi často nedílnou součást městské dopravy a v mnoha případech jsou jejich tratě vedeny ve společném prostoru se silniční dopravou bez jakéhokoliv stavebního oddělení. V těchto případech dochází k přirozeným interakcím mezi těmito velmi rozdílnými vozidly. Srovnání jízdních a brzdných vlastností obou druhů vozidel má tedy své opodstatnění a může posloužit jednak při prevenci nežádoucích jevů v provozu, jako jsou například různé střety a dále při následné analýze těchto jevů například při řešení silničních nehod.

Brzdění tramvajových vozidel je věnována velká většina této práce, proto v této kapitole nebude tato problematika dále rozebírána. Legislativní úpravě brzdění tramvajových vozidel je věnována kapitola 1, konstrukce brzdových systémů je rozebrána v kapitole 2 a teorie brzdění v kapitole 3.

### **5.1 OSOBNÍ AUTOMOBIL**

Problematiku brzdění osobních automobilů lze pro potřeby této práce zjednodušeně rozdělit do následujících podkapitol.

#### **5.1.1 Legislativní úprava brzdění osobních automobilů**

Problematika brzd je velmi důležitá, protože brzdy a brzdění mají přímý a velký vliv na bezpečnost vozidel a provozu. Díky tomu je této problematice věnována adekvátní pozornost ze strany legislativních předpisů.

Základním předpisem pro brzdy silničních vozidel je homologační předpis EHK č. 13 vydaný Evropskou hospodářskou komisí Organizace spojených národů. Tento předpis uvádí jednak obecné požadavky na brzdová zařízení, jejich funkce a vlastnosti, dále požadavky na periodické technické prohlídky brzd a dále i konkrétní požadované hodnoty brzdného účinku.

Do právního řádu České republiky jsou požadavky uvedené v EHK č. 13 implementovány prostřednictvím zákona č. 56/2001 O podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích a jeho prováděcí vyhlášky 341/2014 O schvalování technické způsobilosti a o technických podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích.

### **5.1.2 Požadavky na brzdové systémy osobních automobilů a druhy brzdění**

Podle účelu rozeznáváme u silničních vozidel brzdění provozní, parkovací, nouzové a odlehčovací [23].

Mezi nejdůležitější podmínky patří požadavek na vybavení vozidla dvěma na sobě nezávislými brzdovými zařízeními. Jedno zařízení musí sloužit pro brzdění provozní, zde je požadavek na dostatečně jemně odstupňované ovládání. Druhé zařízení musí sloužit pro parkovací brzdění. Brzdová zařízení pak musí umožňovat zastavení vozidla nouzovým brzděním při poruše brzdového zařízení pro provozní brzdění [23].

#### ***Provozní brzdění***

Soustava sloužící pro provozní brzdění musí umožnit rychle, spolehlivě a účinně zastavit vozidlo. Tato podmínka musí být splněna při jakékoliv rychlosti, okamžité hmotnosti a svahu, které provoz vozidla umožňuje. Dále platí podmínka odstupňovatelnosti brzdného účinku a ovladatelnosti brzd beze změny polohy řidičova trupu z jeho sedadla a bez nutnosti snímat ruce z řízení vozidla [23].

#### ***Nouzové brzdění***

Soustava sloužící pro nouzové brzdění musí umožnit zastavení vozidla při poruše provozního brzdění. Pomocí této soustavy musí být brzděno minimálně jedno kolo z každé strany vozidla podél jeho podélné střední roviny. Podmínka odstupňovatelnosti a ovládání je stejná jako v předchozím případě. Jediná odlišnost spočívá v ovladatelnosti brzdy minimálně jednou řidičovou rukou [23].

### **Parkovací brzdění**

Soustava sloužící pro parkovací brzdění musí udržet stojící vozidlo, soupravu, nebo odpojené přípojně vozidlo na svahu i bez přítomného řidiče. Brzdný účinek přitom musí být vyvozován mechanicky. Také zde platí, že brzdný účinek musí být vyvozován minimálně na jedno kolo na jedné straně vozidla podél jeho střední podélné roviny. Pro ovládání pak musí platit podmínka o ovladatelnosti soustavy ze sedadla řidiče bez změny polohy jeho trupu. Parkovací brzda přípojných vozidel musí být ovladatelná na zemi stojící osobou z pravé strany, nebo zadní části vozidla. U přípojných vozidel určených k přepravě osob musí být tato brzda ovladatelná z interiéru vozidla [23].

### **Odlehčovací brzdění**

Soustava sloužící pro odlehčovací brzdění musí schopna umožnit omezení rychlosti vozidla, nebo udržení konstantní rychlosti vozidla při jízdě ze svahu bez použití soustavy pro provozní, parkovací, nebo nouzové brzdění. Podmínka pro ovladatelnost brzdy je totožná s nouzovým brzděním [23].

### **Požadavky na brzdný účinek brzdových systémů osobních vozidel dle EHK 13**

Požadované hodnoty počáteční rychlosti, maximální brzdné dráhy, maximální ovládací síly na pedál brzdy, nebo páku ruční brzdy, maximální prodlevy brzd a minimální hodnoty zpomalení pro provozní a nouzové brzdění udává tabulka [8].

Provozní brzdění	Počáteční rychlost $v_0$	80 km/h
	Max. brzdná dráha $s$	$0,1 \times v_0 + \frac{v_0^2}{150}$
		$s = 50,7 \text{ m}$
	Max. nožní síla $F_a$	500 N
	Max. prodleva $t_1$	0,36 s
Zpomalení $a$	5,8 m/s <sup>2</sup>	
Nouzové brzdění	Max. brzdná dráha $s$	$0,1 \times v_0 + 2 \frac{v_0^2}{150}$
		$s = 93,4 \text{ m}$
	Max. ruční síla $F_v$	400 N

Tabulka 8: Požadavky na brzdný účinek osobních vozidel dle EHK 13 [23].

- Minimální brzdný účinek je vyjádřen pomocí vztahu  $z \geq 0,1 + 0,85 * (\mu_v - 0,2)$

Kde:

- $z$  – brzdný účinek
- $\mu_v$  – součinitel adheze
- Brzdy vozidla musí být schopné zajistit zastavení vozidla na minimální vzdálenosti s uvedenou v tabulce 7. Tento požadavek musí být splněn v celém rozsahu hmotnosti vozidla od hmotnosti pohotovostní do celkové.
- Požadovaných hodnot brzdného zpomalení musí být brzdové soustavy schopné dosáhnout bez blokování kol a bez vybočení vozidla ze směru jízdy.
- Soustava provozních brzd musí působit na obě kola téže nápravy souměrně ke střední podélné rovině vozidla.
- Dále jsou stanoveny meze pro rozdělení účinku provozních brzd mezi jednotlivé nápravy vozidla. Tyto meze jsou stanoveny především s ohledem na bezpečnost a musí být splněny při jakékoliv okamžité hmotnosti vozidla a jakýchkoliv adhezních podmínkách [23].

### 5.1.3 Konstrukce brzdových soustav osobních vozidel

Brzdové zařízení vozidla je tvořeno společně všemi brzdovými soustavami na vozidle určenými ke snížení rychlosti vozidla, jeho zastavení, nebo zajištění v klidu při stání.

Mezi hlavní části brzdových soustav osobních vozidel patří ústrojí pro dodávku energie, zdroj energie, ovládací ústrojí, převod brzdy, vlastní brzdy a zpomalovač [23].

#### *Ústrojí pro dodávku energie*

Ústrojí pro dodávku energie je část brzdového zařízení, která je určena pro výrobu, regulaci a případně úpravu energie potřebné pro vyvození brzdného účinku. Současná osobní vozidla využívají brzdové soustavy přímočinné s posilovačem. Zdrojem energie je zde svalová síla vyvozovaná řidičem kombinovaná s ústrojím pro dodávku energie (posilovač) [23].

#### *Zdroj energie*

Zdroj energie je část ústrojí pro dodávku energie tvořená zdrojem energie. Nejčastějším zdrojem energie brzdových zařízení osobních vozidel je svalová síla řidiče a podtlak, který

může být vyvozován sacím potrubím (vozidla se zážehovým motorem), nebo podtlakovým čerpadlem (vozidla s vznětovým motorem) [23].

### ***Ovládací ústrojí***

Ovládací ústrojí je část brzdové soustavy, která má za cíl uvádět brzdovou soustavu do činnosti a ovládat její účinek. Ovládací ústrojí má počátek tam, kde působí přímo řidič, nebo kde je do brzdové soustavy přiveden signál, který slouží k jejímu ovládnutí v případě, že řidič působí na ovládnutí soustavy nepřímo, nebo vůbec. Konec ovládacího ústrojí je tvořen bodem kdy dochází k rozvodu energie sloužící k vyvození brzdné síly, nebo k předání části této energie sloužící k řízení brzdné síly.

Ovládací ústrojí může být aktivováno řidičem přímo, nebo nepřímo, případně zcela bez jeho zásahu.

Jednotlivé brzdové soustavy se mohou lišit způsobem přenosu energie z ovládacího orgánu, či cizího zdroje na ovládací zařízení brzdových členů. U osobních vozidel je nejčastěji využíván přenos mechanický a hydraulický [23].

### ***Převod brzdy***

Převod brzdy je část brzdové soustavy, která zajišťuje přenos energie mezi ovládacím ústrojím a samotnými brzdami [23].

### ***Brzdy***

Brzdy jsou části brzdové soustavy, které vyvozují brzdné síly působící proti pohybu vozidla. Brzdy mohou být různé konstrukce a provedení. U osobních vozidel se nejčastěji používají brzdy kotoučové a čelist'ové [23].

### ***Zpomalovač***

Zpomalovač je část brzdového zařízení, která má za cíl omezení rychlosti vozidla, nebo její ustálení například při jízdě ze spádu. Zpomalovač může být různé konstrukce, například jako motorová brzda, kdy je zpomalovačem spalovací motor, nebo jako brzda elektrodynamická kdy funkci zpomalovače zastává elektromotor pracující v generátorickém režimu [23].

## **5.1.4 Konstrukce brzd osobních vozidel**

U osobních vozidel se nejčastěji uplatňují brzdy kotoučové a čelist'ové.

## ***Čelist'ové brzdy***

Čelist'ové brzdy patří mezi brzdy mechanické. Brzdná síla je vyvozována přitlačováním čelistí na vnitřní plochu otáčejícího se brzdového bubnu. Ovládací síla působící na brzdové čelisti pak vzniká hydraulicky v tzv. kolovém válci, který tvoří ovládací zařízení brzdy.

Mezi hlavní části čelist'ové brzdy patří brzdový buben, brzdové čelisti opatřené brzdovým obložením a kolový válec.

Podle uložení a ovládání čelistí rozlišujeme bubnové brzdy na jednoduchou, která je tvořena jednou čelistí náběžnou a jednou úběžnou, dvojnáběžnou, která má při jízdě vpřed obě čelisti náběžné a brzdu se spřaženými čelistmi, kdy se reakce primární náběžné čelisti přenáší na sekundární čelist, která působí také jako náběžná. Dále se někdy používají i brzdy dvounáběžné obousměrné a obousměrné se spřaženými čelistmi [23].

Výhodou čelist'ových brzd je jednodušší konstrukce a větší odolnost proti znečištění v porovnání s brzdami kotoučovými. Naopak mezi nevýhody patří nižší účinnost a horší odvádění tepla vznikajícího při brzdění.

## ***Kotoučové brzdy***

Koučové brzdy také patří mezi brzdy mechanické. Brzdná síla vzniká přitlačováním brzdových desek opatřených brzdovým obložením na boční plochy otáčejícího se brzdového kotouče. Brzdové desky jsou přitlačovány pomocí hydraulických válců, které tvoří ovládací zařízení brzdy.

Podle uspořádání ovládacího zařízení brzdy rozlišujeme brzdu s pevným třmenem, které mají hydraulické válce uspořádané proti sobě, a těleso třmene je nepohyblivé, brzdu s plovoucím třmenem, která má hydraulické válce umístěné pouze na jedné straně, a celý brzdový třmen je pohyblivý ve směru jeho osy [23].

Výhodou kotoučových brzd ve srovnání s brzdami čelist'ovými je vyšší účinnost a lepší odvod tepla vznikajícího při brzdění.

### **5.1.5 Průběh brzdění osobního vozidla**

Průběh brzdění se skládá z několika fází. Nejdříve následuje reakce řidiče, která zahrnuje zpozorování překážky a přesunutí nohy z plynového na brzdový pedál. Tato doba je označována jako reakční doba řidiče. Po započetí silového působení na brzdový pedál následuje technická prodleva brzd, kdy dochází k překonání vůlí v brzdovém systému. Na konci této doby

dojde k dosednutí brzdového obložení na brzdový kotouč, nebo buben. V tomto okamžiku již začíná působit brzdná síla a doba nárůstu této síly na maximální hodnotu je označována jako doba náběhu brzd. V další fázi již následuje brzdění plným brzdným účinkem do zastavení vozidla, nebo požadované rychlosti. V případě brzdění do nenulové rychlosti bude po uvolnění brzdového pedálu následovat fáze poklesu brzdné síly do nulové hodnoty [23].

### 5.1.6 Silové poměry ve stopě

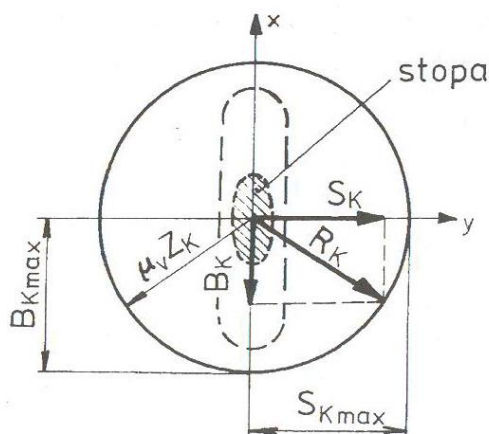
Stopou je označována dotyková plocha pneumatiky s vozovkou. Vlivem deformací pneumatiky dochází ve stopě k vzniku sil působících v různých směrech. Nepřenáší-li vozidlové kolo tangenciální, či boční sílu jsou tyto síly v rovnováze. V opačném případě dojde vlivem deformace k přerozdělení sil, a výslednice působení těchto sil je rovna tangenciální, či boční reakci. Tuto sílu lze souhrnně označit za sílu adhezní. Při jejím překročení dojde ke smyku kola.

$$F_{ad} = G_k \times \mu$$

Kde:

- $F_{ad}$  – adhezní síla
- $G_k$  – svislé zatížení kola
- $\mu$  – součinitel adheze

Adhezní síla představuje maximální přenositelnou sílu ve stopě. Její velikost závisí na svislém zatížení kola a součiniteli adheze. Mez adheze a působení adhezní síly graficky vystihuje Kammova kružnice přilnavosti [23].



Obrázek 13: Kammova kružnice přilnavosti [24]

$$B_k = m \times a$$

Kde:

- $B_k$  – brzdná síla
- $m$  – hmotnost
- $a$  – zpomalení

$$S_k = m \times \frac{v^2}{R}$$

Kde:

- $S_k$  – boční síla
- $m$  – hmotnost
- $v$  – rychlost
- $R$  – poloměr projížděného oblouku

$$F_{ad} = R_k = \sqrt{B_k^2 + S_k^2}$$

Kde:

- $F_{ad}$  – adhezní síla
- $S_k$  – boční síla
- $B_k$  – brzdná síla

### ***Adheze***

Adheze mezi pneumatikou a vozovkou je složitější jev, než pouze tření, protože kromě mikronerovností je ovlivněna také makronerovnostmi vozovky, figurami dezénu pneumatiky a přísáváním k vozovce při odvalování. Velikost adheze je vyjádřena součinitelem adheze  $\mu$ .



Součinitel adheze závisí na jakosti dotykových ploch pneumatiky a vozovky, poměrech ve stopě (přítomnost vody apod.) a na velikosti skluzu. Hodnoty součinitele adheze pro různé povrchy byly stanoveny experimentálně. Například suchý asfalt  $\mu = 0,7$  až  $0,9$  a led  $\mu = 0,1$  [23].

## 5.2 SROVNÁNÍ TRAMVAJOVÉHO A SILNIČNÍHO OSOBNÍHO VOZIDLA

Oba porovnávané druhy vozidel lze srovnat jak teoreticky na základě jejich povahy a parametrů, tak prakticky provedením a následným vyhodnocením jízdních zkoušek.

### 5.2.1 Srovnávaná vozidla

Pro srovnání byla vybrána tramvaj s obchodním názvem Anitra (typ 03T7) z produkce výrobce Škoda Transportation a. s. a silniční osobní vozidlo Audi A6 Avant generace 4F. Obě vozidla mají srovnatelný rok výroby, takže lze předpokládat, že reprezentují přibližně stejné vývojové období.

#### *Škoda Anitra*

Škoda Anitra je tříčlánková jednosměrná částečně nízkopodlažní tramvaj délkové kategorie 20 metrů. Jedná se o modifikaci původního typu Škoda – Inekon LTM 10.08 vyráběného od roku 1998. Vybrané parametry tramvaje uvádí tabulka [9].

Vybrané technické parametry			
Trolejové napětí	600 V <sub>ss</sub> , nebo 750 V <sub>ss</sub> + 30 % - 33 %	Hmotnost prázdného vozu	24,2 t ± 5 %
Uspořádání pojezdu	Bo' Bo'	Výkon motorů	4*90 kW
Délka	20 090 mm	Výška podlahy nad TK.	350/780 mm
Šířka	2460 mm	Průměr nových kol	610 mm
Výška nad TK.	3460 mm	Konstrukční rychlost	75 km/h

Tabulka 9: Vybraná technická data Škoda Anitra [25]

Konkrétní zkušební vůz nese evidenční číslo 1821 (výrobní číslo 9352) dopravce DPMB. a. s. Vůz byl vyroben v roce 2005 a do provozu zařazen v únoru roku 2006 [26].



Obrázek 14: Škoda Anitra ev. č. 1821 [6]

### **Audi A6 Avant**

Vozidlo Audi A6 Avant v provedení s pohonem obou náprav, vybavené automatickou převodovkou. Provedením vozidlo spadá do výrobní generace Audi A6 4F bez provedené modernizace. Tato verze byla vyráběna mezi léty 2004 a 2008. Vybrané technické parametry uvádí tabulka [10].

Vybrané technické parametry	
Délka	4933 mm
Šířka	1855 mm
Výška	1453 mm
Rozvor náprav	2857 mm
Pohotovostní hmotnost	1900 kg
Maximální výkon	171 kW

Tabulka 10: Vybraná technická data Audi A6 Avant [27]



Obrázek 15:Audi A6 Avant [6]

### 5.2.2 Srovnání jízdy a brzdění tramvajového a silničního osobního vozidla

Při vzájemném porovnání jízdních a brzdových vlastností tramvajového vozidla a silničního osobního vozidla narazíme na velké množství různých odlišností. Část z nich jde na vrub rozdílnému určení vozidel, kdy tramvajové vozidlo slouží k hromadné přepravě osob, čímž jsou dány rozměry vozidla a zejména jeho hmotnost, která tvoří první velký rozdíl mezi oběma druhy vozidel. Pohotovostní hmotnost tramvaje Škoda Anitra činí  $24,5 \text{ t} \pm 5 \%$ . Pro srovnání pohotovostní hmotnost vozidla Audi A6 Avant činí 1,9 t. Mezi oběma vozidly je tedy rozdíl 22,6 t. Pokud by došlo k porovnání maximálních hmotností vozidel, byl by vlivem velkého rozdílu v užitečném zatížení rozdíl ještě mnohem větší. Tento rozdíl se projeví jak při jízdě nižším dosažitelným zrychlením tramvaje, tak zejména delší dráhou a časem potřebným pro zastavení tramvaje.

Další velký rozdíl vyplývá z odlišností daných srovnáváním kolejového vozidla se silničním. Kolejová vozidla mají stavebně danou pevnou jízdní dráhu, což znemožňuje zejména objíždění překážek v provozu. Jízdní dráha silničních vozidel je teoreticky závislá pouze na úvaze řidiče. V praxi je však v určitém rozmezí také stavebně omezena.

Každý druh vozidla má odlišné silové působení v ploše kontaktu kol s podložkou. Nejviditelnější rozdíl způsobuje zejména odlišný součinitel adheze, který má na přenos hnacích a brzdících sil mezi koly a podložkou zásadní vliv. Součinitel adheze je pro tramvajové vozidlo uvažován v rozmezí 0,11 až 0,2. Součinitel adheze mezi pneumatikou a vozovkou lze pro suchý

asfalt uvažovat v rozmezí hodnot 0,7 až 0,9. Ze srovnání tedy vyplývá, že součinitel adheze může být, v závislosti na podmínkách, 5 až 6krát vyšší ve prospěch silničních vozidel.

### ***Srovnání brzdění tramvajového a silničního osobního vozidla pomocí brzdových zkoušek***

Pro praktické porovnání brzdných vlastností obou vozidel byla na vozidle Audi A6 provedena brzdová zkouška a tramvaj Anitra byla podrobena běžné technickobezpečnostní zkoušce. V rámci brzdových zkoušek bylo také zkoumáno i maximální zrychlení vozidel z klidu na přibližně 50 km/h. V obou případech byl k měření brzdného zpomalení použit decelerometr XL Meter<sup>TM</sup> z produkce společnosti Inventure. Přístroj i postup měření je popsán v kapitole 4.2.1.

### ***Technickobezpečnostní zkouška tramvaje Anitra***

Technickobezpečnostní zkouška byla provedena v běžném provedení, vyjma výchozí rychlosti, která byla zvýšena na 50 km/h, ve spolupráci s DPMB a. s. dne 8. 12. 2014 mezi 12:00 a 12:30 na traťovém úseku v ulici Kníničská. Kolejnice suché a čisté, teplota vzduchu 5 °C.

Metodika provádění technickobezpečnostních zkoušek a popis zkušebního úseku je rozebrán v kapitole 6.

Výsledkem zkoušky je graf (1), zobrazující průběh zrychlení, rychlosti a ujeté vzdálenosti. Pro porovnatelnost srovnání brzdění tramvajového a silničního osobního vozidla bylo zvoleno nouzové brzdění, při kterém vozidlo brzdí všemi dostupnými prostředky.

### ***Brzdová zkouška vozidla Audi***

Brzdová zkouška s vozidlem Audi byla provedena dne 3. 11. 2014 v odpoledních hodinách. Vozovka suchá s teplotou povrchu 7,8 °C. Z důvodu dostupnosti a vhodných parametrů byl ke zkoušce vybrán úsek ulice Všetickova ohraničený ulicemi Jiříkovského a Tvrdého. Daný úsek je přímý bez směrových i výškových oblouků. Podélný sklon úseku je rovnoměrný o hodnotě 1 %. Celkovou situaci úseku ilustruje následující mapa.



Obrázek 16: Mapa zkušebního úseku brzdové zkoušky Audi A6 Avant[28]

Výstupem ze zkoušky je graf (2), znázorňující průběh zrychlení, rychlosti a ujeté vzdálenosti.

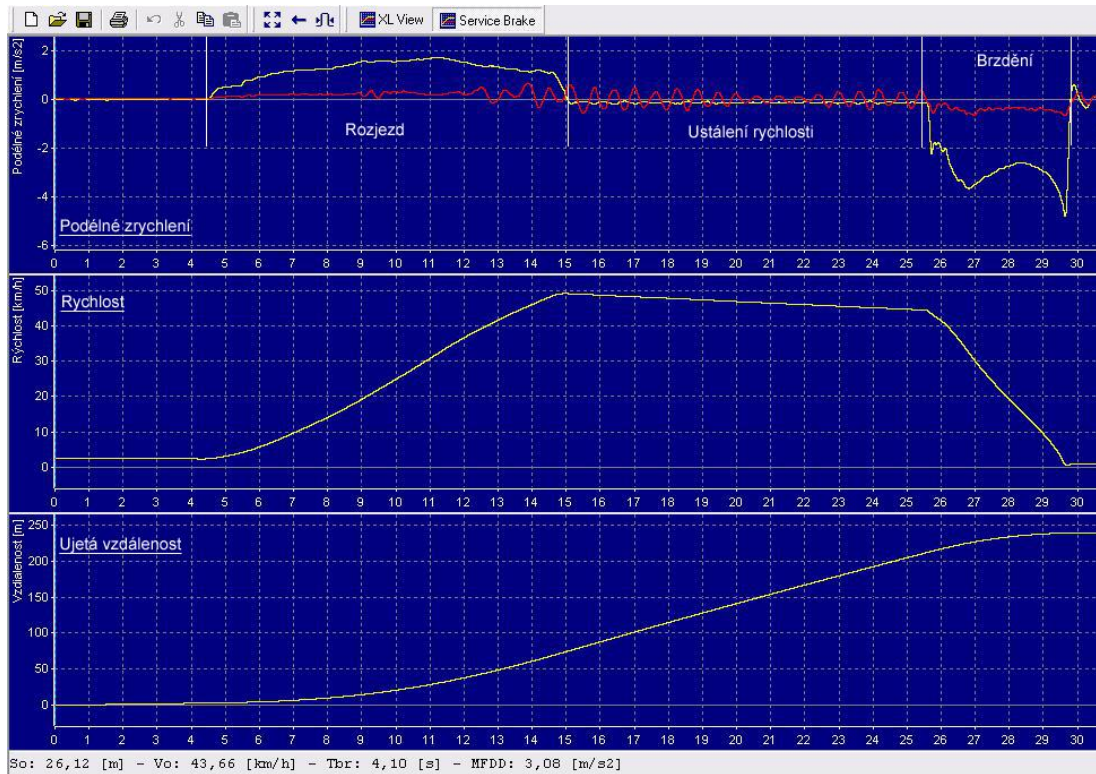
### ***Srovnání výsledků brzdových zkoušek tramvajového a silničního osobního vozidla***

Hodnoty zjištěné při TBZ tramvaje Anitra a brzdové zkoušce vozidla Audi uvádí tabulka [11].

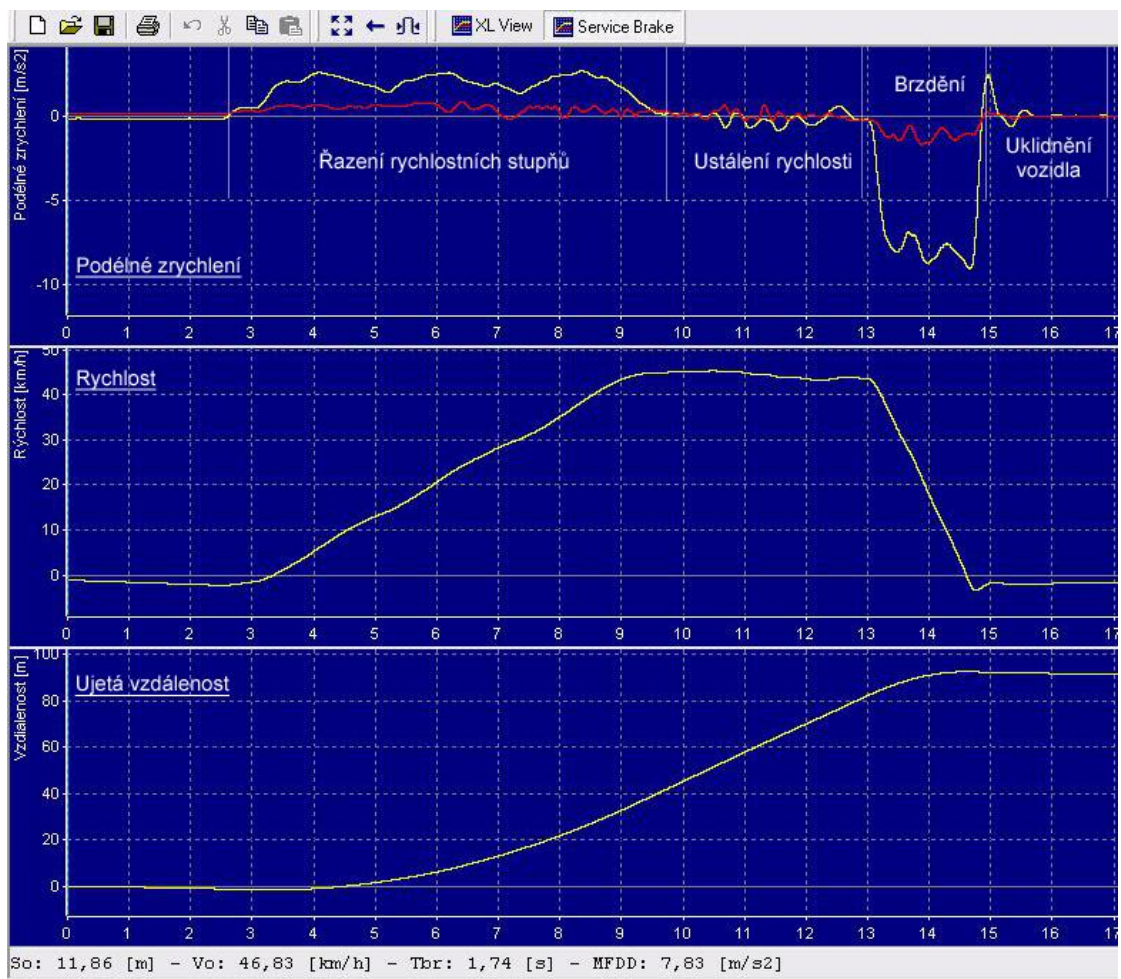
	Anitra	Audi A6
Výchozí rychlost [km/h]	52,96	46,83
Brzdná dráha [m]	38,49	11,86
Doba brzdění [s]	5,18	1,74
MFDD [m/s <sup>2</sup> ]	2,76	7,83

Tabulka 11: Srovnání výsledků brzdových zkoušek A6 a Anitra [6]

Další srovnání je ilustrováno srovnáním grafů (1) a (2), které představují grafické výstupy z provedené TBZ tramvaje Anitra (1) a brzdové zkoušky vozidla Audi (2)



Graf 1. Průběh rychlosti, zrychlení a ujeté vzdálenosti Škoda Anitra [6].



. Graf 2. Průběh rychlosti, zrychlení a ujeté vzdálenosti Audi A6 [6].

### ***Zhodnocení výsledků brzdových zkoušek tramvajového a silničního osobního vozidla***

Z porovnání výsledků obou zkoušek vyplývá, že dosažené brzdné zpomalení osobního vozidla je přibližně 3krát vyšší, než u tramvaje. Brzdná dráha i čas potřebný k zastavení osobního vozidla je v porovnání s tramvají přibližně třetinový.

Srovnání tramvaje a osobního vozidla bylo provedeno zejména z důvodu častých interakcí těchto druhů vozidel v městském provozu. Zejména hmotnostně jsou však tyto vozidla nesrovnatelná. Z tohoto důvodu byly výsledky zkoušek doplněny o porovnání s výsledky diplomové práce Ing. Motla, který měřil a analyzoval brzdné zpomalení nákladních vozidel v závislosti na jejich hmotnosti. Měření bylo uskutečněno s vozidlem Scania P380 ve stavu bez zatížení nákladem, při částečném zatížení nákladem, a při plně zatíženém vozidle. Hmotnost plně zatíženého vozidla činila 24 060 kg, což téměř přesně odpovídá výše uvedené hmotnosti prázdné tramvaje Anitra. Srovnání hodnot zjištěných při TBZ tramvaje Anitra a brzdové zkoušce vozidla Audi s hodnotami zjištěnými při brzdové zkoušce nákladního vozidla Scania provedené Ing. Motlem uvádí tabulka [12].

	Anitra	Audi A6	Scania
Hmotnost [kg]	24500 ± 5 %	1900	24060
Výchozí rychlost [km/h]	52,96	46,83	56,78
Brzdná dráha [m]	38,49	11,86	21,59
Doba brzdění [s]	5,18	1,74	2,81
MFDD [m/s <sup>2</sup> ]	2,76	7,83	6,35

*Tabulka 12: Celkové srovnání výsledků brzdových zkoušek [6]*

Z tabulky [12] je patrné, že největší vliv má rozdílný mechanismus styku kola s podložkou a z toho plynoucí součinitel adheze. Při srovnatelné hmotnosti má tramvaj ve srovnání se silničním vozidlem přibližně poloviční zpomalení a téměř dvojnásobnou brzdnou dráhu. Při srovnání obou silničních vozidel má dvanásobně těžší vozidlo Scania pouze přibližně dvojnásobnou brzdnou dráhu.

### ***Praktické srovnání jízdy tramvajového a silničního osobního vozidla***

V rámci výše popsaných brzdových zkoušek jednotlivých vozidel byla zkoumána také jízda tramvajového a silničního osobního vozidla prostřednictvím zjišťování jejich zrychlení z nulové rychlosti do rychlosti přibližně 50 km/h. Stejně jako brzdné vlastnosti, mají i vlastnosti zrychlení vliv na bezpečnost provozu. Rychlost 50 km/h je ve většině případů v městském

provozu maximální dovolenou a nejčastěji užívanou, proto byla pro porovnání zvolena jako výchozí. Naměřené hodnoty rychlostí, ujeté vzdálenosti, doby jízdy a výsledné vypočítané zrychlení uvádí tabulka [13].

	Anitra	Audi A6
Hmotnost [kg]	24500 ± 5 %	1900
Výchozí rychlost [km/h]	52,25	44,6
Ujetá vzdálenost [m]	79,02	38,8
Doba jízdy [s]	10,47	7
Vypočítané zrychlení [m/s <sup>2</sup> ]	1,39	1,77

*Tabulka 13: Celkové srovnání parametrů jízdy [6]*

Přibližné srovnání ilustrované předchozí tabulkou [13] ukazuje, že i při velmi rozdílné hmotnosti obou srovnávaných vozidel, a při zcela odlišných parametrech a mechanismu styku kol vozidel s podložkou je zrychlení z klidu na přibližně 50 km/h u obou vozidel podobné, respektive nenastává mezi vozidly tak velký rozdíl jako v případě zpomalení.

Při obecném srovnání zrychlení tramvaje a osobního vozidla je třeba vzít v úvahu zejména výkonové rozdíly mezi jednotlivými osobními vozidly. Zde srovnávané vozidlo Audi A6 patří spíše do kategorie vozidel s větším výkonem motoru. Při výběru vozidla výkonnějšího, či méně výkonného by srovnání tramvajovým vozidlem mohlo poskytnout jiné výsledky. Výše ilustrované srovnání je tedy třeba vnímat pouze jako ilustrativní.



## 6 JÍZDA A BRZDĚNÍ TRAMVAJOVÝCH VOZIDEL

Jízdní a brzdové vlastnosti tramvajových vozidel mají velký vliv na bezpečnost řidiče vozidla, přepravovaných cestujících i ostatních účastníků okolního provozu. Díky tomu je potřeba věnovat této problematice náležitou pozornost.

Úroveň těchto vlastností je v určité míře odlišná pro jednotlivé typy vozidel. V reálných podmínkách jednotlivých tramvajových provozů v České republice dochází k souběhu provozu soudobých tramvajových vozidel plnících současné požadavky na kvalitu vlastností s vozidly starší produkce, jejichž vlastnosti odpovídají jejich konstrukci a době vzniku.

### 6.1 VOZOVÝ PARK TRAMVAJOVÝCH VOZIDEL DPMB A. S.

Vozový park tramvajových vozidel DPMB a. s. se v principu skládá z 3 kategorií vozidel. Nejméně kapacitní vozidla délkové kategorie 15 metrů, někdy označované jako „sólo“ tramvaje, druhou skupinu tvoří středně kapacitní vozidla délkové kategorie 20 metrů a nejmladší, třetí skupinu tvoří vozidla nejkapacitnější délkové kategorie 30 metrů. Všechny kategorie vozidel jsou tvořeny vozidly různého stáří a provedení. [29]

Počty tramvají v jednotlivých kategoriích, a celkový počet tramvají uvádí tabulka [14]:

délková kategorie tramvaje	15 m	20 m	30 m
počet tramvají v kategorii	127	98	72
počet tramvají celkem	300		

Tabulka 14: Početní stav tramvají dle kategorie [29]

#### 6.1.1 Tramvaje kategorie 15 metrů

Vozový park této kategorie je složen převážně z modernizovaných tramvají typu T3 z produkce bývalého ČKD Praha různého provedení a data modernizace. Tyto modernizace tramvají T3 lze v principu rozdělit na 2 skupiny. Modernizované tramvaje T3M, T3G, T3T a T3P vznikly instalací elektrické výzbroje s modernějším způsobem regulace do opravené vozové skříně. Druhou skupinu modernizací tvoří tramvaje, u kterých byla dosazena, mimo výše zmíněné výměny elektrické výzbroje, i nová vozová skřín. Tímto způsobem vznikly modernizované tramvaje T3R.EV, T3R.PV a VarioLFR.E. U tramvají VarioLFR.E byla použita částečně nízkopodlažní vozová skřín.

Modernizované tramvaje pak doplňují tramvaje T6A5, T3R a T3RF z produkce bývalého výrobce ČKD DS a. s. vyrobené a zakoupené v 90. letech minulého století. V letech 2003 až 2006 byly zakoupeny 4 nízkopodlažní vlečné vozy VV60LF určené do souprav s modernizovanými tramvajemi T3R.EV.

Tramvaje jsou provozovány převážně ve dvouvozových soupravách o délce 30 m. Výjimku tvoří pouze tramvaje T3R.EV provozované v soupravách s vlečnými vozy VV60LF, přičemž délka soupravy je přibližně 25 m a dále tramvaje VarioLFR.E, které jsou provozovány v soupravách s tramvajemi VarioLF2R.E (viz. dále) o délce přibližně 40 m [30].

Počty tramvajů jednotlivých typů v kategorii 15 metrů a jejich některé základní vlastnosti uvádí tabulka [15].

Typ	rok výroby původního vozu	rok modernizace	způsob ovládání	typy brzd	počet kusů v provozu 1. 5. 2015
T3M	1967 - 1972	1978 - 1981	nožní řadič	EDB, čelistová, kolejnicová	7
T3G	1985 - 1989	1992 - 1999	nožní řadič*	EDB, čelistová, kolejnicová	38
T3T	1987	1999	nožní řadič	EDB, čelistová, kolejnicová	2
T3P	1968 - 1987	2002 - 2005	ruční řadič	EDB, čelistová, kolejnicová	14
T3R.EV	1967 - 1968	2002 - 2003	ruční řadič	EDB, kotoučová, kolejnicová	4
T3R.PV	1966 - 1976	2003 - 2006	ruční řadič	EDB, čelistová, kolejnicová	10
VarioLFR.E	1963 - 1972	2005 -	ruční řadič	EDB, kotoučová, kolejnicová	19
T6A5	1996	2014 -	ruční řadič	EDB, kotoučová, kolejnicová	20
T3R	1996 - 1997	-	ruční řadič	EDB, kotoučová, kolejnicová	11
T3RF	1999	-	ruční řadič	EDB, kotoučová, kolejnicová	2
VV60LF	2004 - 2006	-	-	kotoučová, kolejnicová	3
celkový počet vozů v provozu					130

Tabulka 15: Početní stav tramvajů kategorie 15m [30]

### 6.1.2 Tramvaje kategorie 20 metrů

Vozový park této délkové kategorie je tvořen převážně modernizovanými tramvajemi typu K2 z produkce bývalého ČKD Praha různého provedení a data modernizace. Tyto modernizace zahrnovaly především výměnu původní elektrické výzbroje za modernější

výzbroje s modernějším způsobem regulace. Tímto způsobem vznikly tramvaje typu K2R, K2R03, K2T, K2R03-P a K2P. Posledním modernizovaným typem jsou tramvaje typu VarioLF2R.E, u kterých byla navíc dosazena nová, částečně nízkopodlažní vozová skříň.

Skupinu modernizovaných tramvají K2 doplňuje několik tramvají typu K2 v původním provedení a nízkopodlažní tramvaje Anitra z produkce výrobce Škoda Transportation a. s. pořizované v letech 2003 až 2006.

Většina tramvají v této kategorii je provozována samostatně, pouze tramvaje VarioLF2R.E jsou provozovány v dvouvozových soupravách s tramvajemi VarioLFR.E [31].

Počty tramvají jednotlivých typů v kategorii 20 metrů a jejich některé základní vlastnosti uvádí tabulka [16].

Typ	rok výroby původního vozu	rok modernizace	způsob ovládání	typy brzd	počet kusů v provozu 1. 5. 2015
K2	1977 - 1983	-	nožní řadič	EDB, čelistová/kotoučová, kolejnicová	15
K2R	1967 - 1974	1995 - 1998	ruční řadič	EDB, čelistová/kotoučová, kolejnicová*	6
K2R03	1973 - 1975	1998 - 1999	ruční řadič	EDB, čelistová/kotoučová, kolejnicová	7
K2T	1973 - 1974	2000	ruční řadič	EDB, čelistová/kotoučová, kolejnicová	4
K2R03-P	1973 - 1974	2000 - 2002	ruční řadič	EDB, čelistová/kotoučová, kolejnicová	3
K2P	1973 - 1983	2000 - 2002	ruční řadič	EDB, čelistová/kotoučová, kolejnicová	23
VarioLF2R.E	1975 - 1983	2008 -	ruční řadič	EDB, kotoučová, kolejnicová	23
Anitra	2003 - 2006	-	ruční řadič	EDB, kotoučová, kolejnicová	17
celkový počet vozů v provozu					98

Tabulka 16: Početní stav tramvají kategorie 20m [31]

### 6.1.3 Tramvaje kategorie 30 metrů

Vozový park této nejmladší délkové kategorie je tvořen zejména modernizovanými nízkopodlažními tramvajemi typu KT8D5R.N2, které vznikly modernizací původních tramvají

KT8D5 z produkce bývalého ČKD Praha. Modernizace v tomto případě zahrnovala zejména výměnu původního „C“ článku za nově vyrobený nízkopodlažní. Elektrická výzbroj byla zachována v původním provedení. Tyto modernizované tramvaje jsou dále doplněné modernizovanými tramvajemi K3R-N, které vznikly modernizací tramvají K2 spojenou s vložením středního nízkopodlažního článku.

Modernizované tramvaje dále doplňují nízkopodlažní tramvaje typů RT6N1 a KT8D5N z produkce bývalého ČKD DS a. s. pořízené v 90. letech minulého století. Od roku 2008 jsou pořizovány moderní nízkopodlažní tramvaje typu 13T z produkce Škoda Transportation a. s. Všechny tramvaje v této kategorii jsou provozovány samostatně [32].

Počty tramvají jednotlivých typů v kategorii 30 metrů a jejich některé základní vlastnosti uvádí tabulka [17].

Typ	rok výroby původního vozu	rok modernizace	způsob ovládání	typy brzd	počet kusů v provozu 1. 5. 2015
KT8D5R.N2	1986 - 1993	2002 - 2014	nožní řadič	EDB, kotoučová, kolejnicová	31
K3R-N	1974 - 1977	2003 - 2006	ruční řadič	EDB, kotoučová, kolejnicová	3
KT8D5N	1998 - 1999	-	ruční řadič	EDB, kotoučová, kolejnicová	7
RT6N1	1997	-	ruční řadič	EDB, kotoučová, kolejnicová	2
13T	2008 -	-	ruční řadič	EDB, kotoučová, kolejnicová	29
celkový počet vozů v provozu					72

Tabulka 17: Početní stav tramvají kategorie 30m [32]

## 6.2 PRAKTICKÉ ZJIŠŤOVÁNÍ JÍZDY A BRZDĚNÍ TRAMVAJOVÝCH VOZIDEL

Zjišťování a ověřování parametrů jízdy a brzdění vozidel lze v praxi realizovat různými metodami. Pro účely této práce bylo zvoleno zjišťování zrychlení a zpomalení při rozjezdech a brzdění vozidel pomocí decelerometru XL Meter<sup>TM</sup>. Všechna měření byla realizována ve spolupráci s DPMB a. s. při pravidelných technickobezpečnostních zkouškách jednotlivých vozidel provozovaných tímto dopravcem.

### 6.2.1 Počet zkoušených vozidel

Veškerá měření probíhala v rámci pravidelných technickobezpečnostních zkoušek jednotlivých tramvajových vozidel. Technickobezpečnostní zkoušky jsou prováděny u každého tramvajového vozidla v pravidelném intervalu 2 roky, nebo v rámci předávání vozidel zpět do provozu po provedených pravidelných prohlídkách. Harmonogram pravidelných prohlídek jednotlivých vozidel je předepsán interním plánem údržby. Výběr zkoušených vozidel byl tak v plném rozsahu striktně dán ze strany provozovatele vozidel, a autor práce neměl možnost daný vzorek ovlivnit doplněním dalších vozidel, která by případně vyrovnala počty zkoumaných vozidel jednotlivých typů.

#### *Počet zkoušených vozidel při TBZ*

V rámci ověřování brzdění bylo provedeno 30 technickobezpečnostních zkoušek s celkem 26 vozidly. Počet zkoušek není totožný s počtem zkoušených vozidel, neboť u některých vozidel byly zkoušky opakovány. Z celkového počtu 30 technickobezpečnostních zkoušek bylo 16 provedeno se současným měřením pomocí vlečeného kola soupravy PK 2000 a 14 bez něho pouze s měřením času. Pro přehlednost počty zkoušek ještě shrnuje tabulka [18].

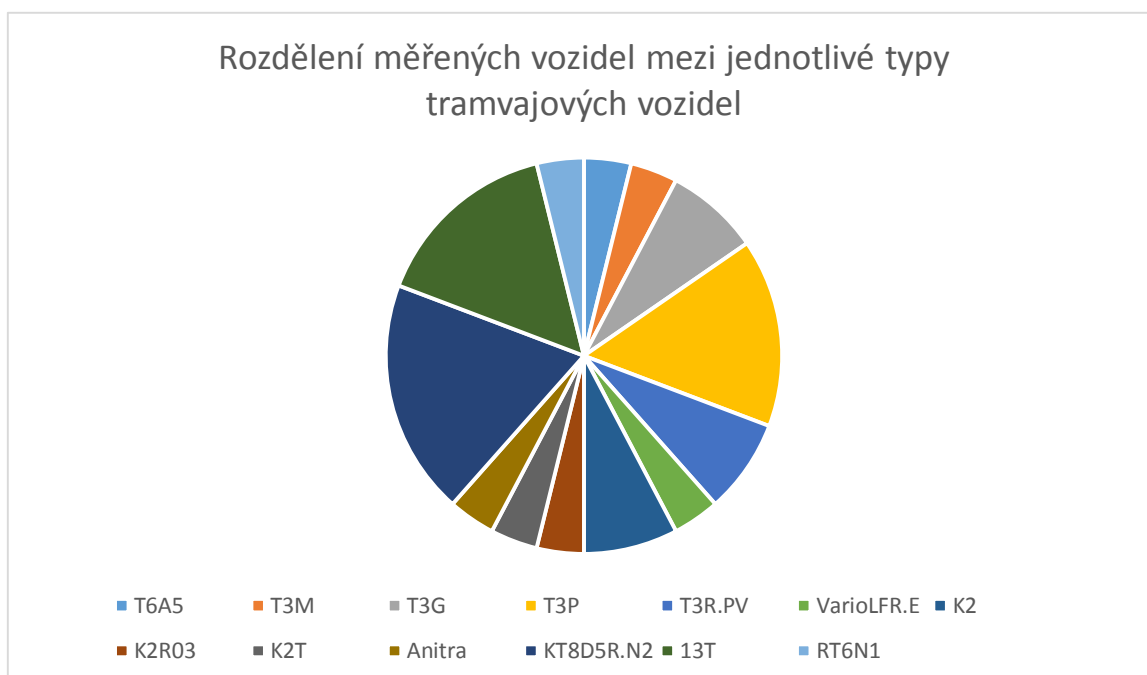
	Počet měření	Počet měřených vozidel
Měření realizovaná se souběžným měřením pomocí vlečeného kola	16	12
Měření realizovaná pouze se souběžným měřením času	14	14
Celkem	30	26

Tabulka 18: Počty měření [6]

Tabulka [19] a graf (3) uvádí přehled měřených vozidel a rozdělení jejich počtu mezi jednotlivé typy.

Typ	Evidenční čísla měřených vozidel	Počet měřených vozidel
T6A5	1201	1
T3M	1582	1
T3G	1611, 1637	2
T3P	1583, 1623, 1632, 1633	4
T3R.PV	1561, 1603	2
VarioLFR.E	1599	1
K2	1125, 1130	2
K2R03	1081	1
K2T	1033	1
Anitra	1821	1
KT8D5R.N2	1707, 1711, 1714, 1721, 1728	5
13T	1925, 1926, 1928, 1929	4
RT6N1	1802	1
Počet celkem		26

Tabulka 19: Brzdění - počty měřených vozidel dle typu [6]



Graf 3: Rozdělení měřených vozidel mezi jednotlivé typy tramvajových vozidel [6]

### **Počet vozidel, u kterých bylo zkoušeno zrychlení**

Pro zjišťování zrychlení bylo z dostupných vozidel vybráno vždy jedno vozidlo od daného typu. Celkově bylo provedeno 10 zkoušek s 10 vozidly. Rozdělení zkoušených vozidel podle typu a jejich evidenční čísla uvádí tabulka [20].

Typ	Evidenční číslo měřených vozidel	Počet měřených vozidel
K2T	1033	1
K2	1125	1
T6A5	1201	1
T3M	1582	1
VarioLFR.E	1599	1
T3G	1611	1
T3P	1632	1
KT8D5R.N2	1728B	1
Anitra	1821	1
13T	1925	1
Počet celkem		10

*Tabulka 20: Zrychlení - počty měřených vozidel dle typu [6]*

### **6.2.2 Použité vybavení**

Pro měření zrychlení a zpomalení pro potřeby této práce byl použit decelerometr XL Meter™ od firmy Inverture.

DPMB a. s. používá pro měření zpomalení při technickobezpečnostních zkouškách vozidel po generálních opravách a velkých prohlídkách vlečené kolo soupravy PK 2000. Při technickobezpečnostních zkouškách vozidel po středních prohlídkách, nebo při technickobezpečnostních zkouškách prováděných na vozidlech v pravidelném intervalu 2 roky je měřena pouze doba brzdění pomocí stopek a výsledné zpomalení je dopočítáváno.

Měřicím zařízením XL Meter™ a PK 2000, včetně vzájemného srovnání a popisu principů měření je věnována kapitola 4.

### 6.2.3 Místo měření

DPMB a. s. používá k realizaci technickobezpečnostních zkoušek traťový úsek mezi kolejovou křižovatkou Jundrov a zastávkou Stránského ležící v ulici Kníničská na trati spojující oblast Pisárek se sídlištěm v Bystrci. Ke zkouškám je výhradně používána kolej směrem do Pisárek. Situaci úseku ilustruje následující mapa [33].



Obrázek 17: Mapa zkušebního úseku pro technickobezpečnostní zkoušky [33]

#### *Popis úseku*

Zkušební úsek se nachází mezi kolejovou křižovatkou „jundrovský trojúhelník“ a směrovým obloukem vedoucím k zastávce Stránského. Daný úsek je směrově i výškově přímý s podélným sklonem splňujícím požadavek ČSN 28 1300 pro provádění technickobezpečnostních zkoušek. Trať je v celém úseku vedena po samostatném tělese a v létě roku 2014 prošla kompletní rekonstrukcí. Svršek trati je otevřený, tvořený žlábkovými kolejnicemi NT3 uloženými na příčných předpjatých železobetonových pražcích typu B03 s pružným upevněním Wossloh W14.

### 6.2.4 Postup při měření zpomalení

Postup při měření zpomalení plně odpovídá běžnému postupu při provádění technickobezpečnostních zkoušek.

- Na zkoušený vůz je nainstalováno měřicí zařízení, v tomto případě vlečené kolo, kterým je realizováno měření v režii DPMB a. s. a decelerometr XLMeter<sup>TM</sup> sloužící pro měření



pro potřeby této práce. Decelerometr je umístěn pomocí přísavky na čelním okně vozidla a následně je na decelerometru provedena kalibrace dle pokynů výrobce.

- Zkušební řidič najede s vozidlem na začátek zkušebního úseku.
- Dojde ke spuštění měření a zkušební technik dá zkušebnímu řidiči pokyn k rozjezdu.
- Zkušební řidič se s vozidlem rozjede na požadovanou rychlost
- Po krátkém ustálení rychlosti zkušební řidič zadá příslušný druh brzdění a dojde k zastavení vozidla, kdy dojde k ukončení měření.
- Tento postup je dále opakován pro příslušné druhy brzdění.

### **6.2.5 Zjišťování zrychlení**

Zrychlení vozidla z nulové rychlosti na rychlost 50 km/h je parametrem, který ilustruje dynamické vlastnosti vozidla. Tento parametr je důležitý například v analýze dopravních nehod, kdy bývá, pro úspěšnou analýzu nehodového děje, potřeba znát zrychlení, kterého je vozidlo schopno dosáhnout.

Vzhledem k tomu, že předepsaná výchozí rychlost pro provádění technickobezpečnostních zkoušek neumožňuje dosažení rychlosti 50 km/h bylo zjišťování zrychlení prováděno zvlášť vždy po skončení celé technickobezpečnostní zkoušky.

Zjišťování zrychlení bylo prováděno následujícím způsobem:

- Zkušební řidič najede s vozidlem na začátek zkušebního úseku
- Po aktivaci měření prostřednictvím decelerometru XL Meter<sup>TM</sup> zkušební řidič rozjede vozidlo zadáním plné jízdy na rychlost 50 km/h.
- Po krátkém ustálení rychlosti zkušební řidič zastaví vozidlo a dojde k ukončení měření.

### **6.2.6 Zjištěné hodnoty**

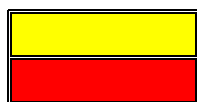
Následující přehled naměřených hodnot je uveden ve zjednodušené formě s důrazem pouze na hodnoty zrychlení a zpomalení. Úplný přehled všech naměřených hodnot je uveden v přílohách této práce.

#### ***Naměřené hodnoty zpomalení***

Tabulka [21] uvádí přehled naměřených a průměrných hodnot zpomalení vztažený k typu vozidla, jeho evidenčnímu číslu a typu použitého brzdění. Průměrné hodnoty zpomalení jsou uvedeny u vozidel, u kterých byly zkoušky opakovány, a tedy bylo naměřeno více hodnot pro daný typ brzdění. Některé zjištěné hodnoty nesplňují požadavek ČSN 28 1300 na

maximální délku zábrzděné dráhy. Takové vozidlo nesmí být, do provedení opravy, a opakovaného absolvování TBZ nasazováno do provozu.

Evidenční číslo	Typ	Provozní brzdění MFDD [m/s <sup>2</sup> ]	Záchranné brzdění MFDD [m/s <sup>2</sup> ]	Nouzové brzdění MFDD [m/s <sup>2</sup> ]	Zajišťovací brzdění MFDD [m/s <sup>2</sup> ]
1582	T3M	2,37	3,12	3,67	1,55
1611	T3G	1,57	2,94	3,26	1,15
1637	T3G	1,63	3,23	3,11	1,59
1583	T3P	1,65	3,09	3,18	1,53
1623	T3P	1,7	3,09	3,4	1,51
1632	T3P	1,7	3,22	3,34	2,03
1633	T3P	1,76	3,13	3,31	1,57
1632+1633	T3P+T3P	1,69	3,21	3,34	1,53
1561	T3R.PV	1,79	3,44	3,37	1,64
1603	T3R.PV	1,86	3,37	3,78	1,66
1599	VarioLFR.E	2,03	2,74	3,97	1,11
1201	T6A5	1,86	3,67	3,48	1,96
1125	K2	1,69	3,68	3,69	1,48
1130	K2	1,7	4,46	3,86	1,83
1081	K2R03	1,65	3,1	3,58	1,38
1033	K2T	1,77	3,87	3,92	1,64
1821	Anitra	2,15	2,37	3,08	0,87
1707	KT8D5R.N2	1,87	3,09	2,96	1,82
1711	KT8D5R.N2	1,7	3,01	3,06	1,61
1714	KT8D5R.N2	1,73	2,97	2,98	1,84
1721	KT8D5R.N2	1,65	3,06	3	1,78
1728	KT8D5R.N2	1,64	3,13	3,07	1,73
1802	RT6N1	1,72	2,84	3,18	1,35
1925	13T	1,84	3,15	4,59	1,78
1926	13T	1,83	2,77	3,86	1,7
1928	13T	1,84	3,31	4,6	2,02
1929	13T	1,82	2,86	4,48	1,74



Průměrná hodnota

Hodnota nesplňující požadavky ČSN 28 1300

Tabulka 21: Přehled naměřených hodnot zpomalení [6]

### Vypočítané hodnoty zrychlení

Hodnoty zrychlení byly vypočítány na základě ručně odečtených hodnot, v grafickém programu AutoCAD, dosažené rychlosti a doby zrychlení vozidla z grafů průběhu rychlosti a

aktuálního působícího zrychlení získaných měření pomocí XL Meteru™, dle následujícího vztahu:

Kde:

$$a = \frac{V_2 - V_1}{t}$$

- $V_2$  [m/s] – dosažená rychlost vozidla
- $V_1$  [m/s] – počáteční rychlost vozidla
- $a$  [m/s<sup>2</sup>] – výsledné dosažené zrychlení

Tabulka [22] uvádí přehled vypočítaných hodnot zrychlení vztažený k typu vozidla, jeho evidenčnímu číslu.

Evidenční číslo	Typ	Vypočítané zrychlení [m/s <sup>2</sup> ]
1033	K2T	0,88
1125	K2	0,89
1201	T6A5	1,32
1582	T3M	1,27
1599	VarioLFR.E	1,21
1611	T3G	1,21
1632	T3P	1,25
1728B	KT8D5R.N2	1,14
1821	Anitra	1,39
1925	13T	1,25

Tabulka 22: Přehled vypočítaných hodnot zrychlení [6]

### 6.3 VYHODNOCENÍ ZJIŠTĚNÝCH HODNOT

Vyhodnocení naměřených hodnot zrychlení a zpomalení bylo provedeno odlišně s ohledem na odlišné počty měřených vozidel v obou případech.

#### *Vyhodnocení vypočítaných hodnot zrychlení*

Ze srovnání vypočítaných hodnot zrychlení vyplývají poměrně malé rozdíly mezi jednotlivými typy vozidel. Podle předpokladů vychází nejmenší hodnoty zrychlení pro tramvaje nadtypu K2, který má trakční pouze krajní podvozky a střední podvozek pouze bezmotorový. Dle stejných předpokladů vychází nejvyšší hodnoty pro tramvaje Anitra z produkce výrobce Škoda Transportation a. s.

### Vyhodnocení naměřených hodnot zpomalení

Z naměřených hodnot zpomalení byly vypočteny průměrné hodnoty zpomalení pro jednotlivé typy vozidel. Vztahovat hodnoty zpomalení přímo k jednotlivým nadtypům vozidel, případně k jejich délkovým kategoriím by vzhledem, k nižšímu počtu zkoušených vozidel a k jejich nerovnoměrnému rozdělení mezi jednotlivé typy, by nemělo dostatečnou vypovídající hodnotu.

Naměřené hodnoty pomocí decelerometru byly následně srovnány s hodnotami naměřenými prostřednictvím vlečeného kola, které byly poskytnuty ze strany DPMB a. s. Přehled hodnot naměřených vlečeným kolem je uveden v příloze.

#### 6.3.1 Průměrné hodnoty zpomalení v závislosti na typu vozidla

Tabulka [23] uvádí přehled naměřených a průměrných hodnot zpomalení vztažený k typu vozidla a typu použitého brzdění. Průměrné hodnoty zpomalení jsou uvedeny u vozidel, u kterých byly zkoušky opakovány, a tedy bylo naměřeno více hodnot pro daný typ brzdění.

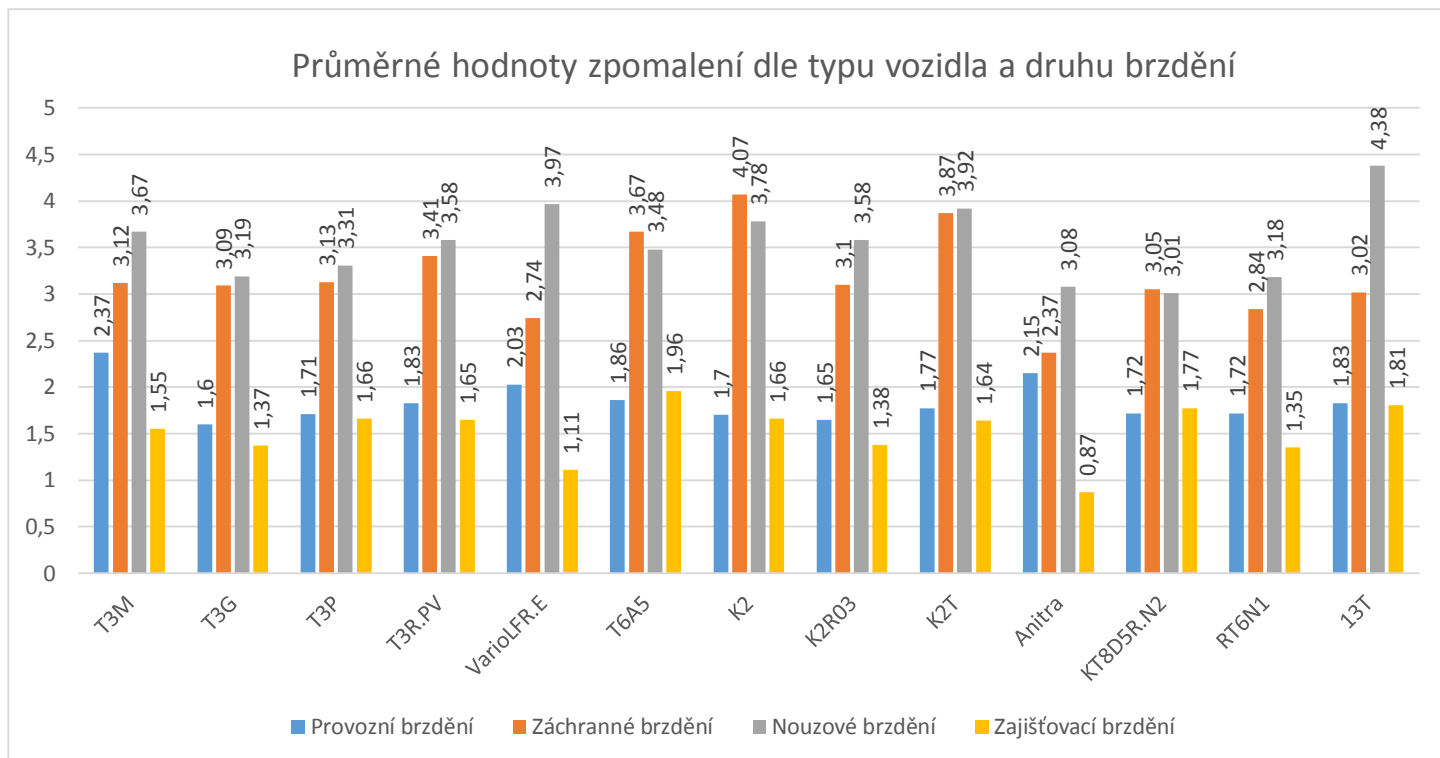
Typ	Provozní brzdění	Záchranné brzdění	Nouzové brzdění	Zajišťovací brzdění
	MFDD [m/s <sup>2</sup> ]	MFDD [m/s <sup>2</sup> ]	MFDD [m/s <sup>2</sup> ]	MFDD [m/s <sup>2</sup> ]
T3M	2,37	3,12	3,67	1,55
T3G	1,6	3,09	3,19	1,37
T3P	1,71	3,13	3,31	1,66
T3R.PV	1,83	3,41	3,58	1,65
VarioLFR.E	2,03	2,74	3,97	1,11
T6A5	1,86	3,67	3,48	1,96
K2	1,7	4,07	3,78	1,66
K2R03	1,65	3,1	3,58	1,38
K2T	1,77	3,87	3,92	1,64
Anitra	2,15	2,37	3,08	0,87
KT8D5R.N2	1,72	3,05	3,01	1,77
RT6N1	1,72	2,84	3,18	1,35
13T	1,83	3,02	4,38	1,81



Průměrná hodnota

Hodnota nespĺňující požadavky ČSN 28 1300

Tabulka 23: Průměrné hodnoty zpomalení dle typu vozidla a druhu brzdění[6]



Graf 4: Průměrné hodnoty zpomalení dle typu vozidla a druhu brzdění [6]

### 6.3.2 Srovnání zjištěných hodnot zpomalení pomocí vlečeného kola a decelerometru

Z důvodu přehlednosti byly hodnoty rozděleny i podle typu brzdy a srovnány samostatně.

Zjištěné rozdíly mezi zjištěnými hodnotami zpomalení pomocí obou metod, uvedené v následujících tabulkách, potvrzují úvodní předpoklady o rozdílnosti obou metod měření a z toho vyplývající rozdílnosti naměřených hodnot.

Výsledné rozdíly dále ilustrují různou hodnotu rozdílů pro různé typy brzd. Nejmenší rozdíl nastává u provozní a zajišťovací brzdy a naopak největší rozdíl lze pozorovat u brzdy záchrané a nouzové.

#### *Srovnání zjištěných hodnot zpomalení pomocí vlečeného kola a decelerometru pro provozní brzdění*

Tabulka [24] uvádí srovnání zjištěných hodnot zpomalení při provozním brzdění prostřednictvím decelerometru XL Meter<sup>TM</sup> a vlečeného kola soupravy PK 2000.

Evidenční číslo	Typ	Provozní brzda		
		MFDD [m/s <sup>2</sup> ]	MFDD [m/s <sup>2</sup> ]	rozdíl
		XL Meter <sup>TM</sup>	vlečené kolo	
1201	T6A5	1,86	1,49	0,37
1583	T3P	1,65	1,57	0,08
1623	T3P	1,7	1,52	0,18
1632	T3P	1,7	1,58	0,12
1633	T3P	1,76	1,58	0,18
1632+1633	T3P+T3P	1,69	1,6	0,09
1637	T3G	1,63	1,56	0,07
1707	KT8D5R.N2	1,87	1,55	0,32
1711	KT8D5R.N2	1,7	1,58	0,12
1714	KT8D5R.N2	1,73	1,58	0,15
1721	KT8D5R.N2	1,65	1,53	0,12
1728	KT8D5R.N2	1,64	1,55	0,09
1821	Anitra	2,15	1,99	0,16
průměrný rozdíl				0,16

Tabulka 24: Provozní brzdění - Srovnání hodnot zpomalení [6]

### **Srovnání zjištěných hodnot zpomalení pomocí vlečeného kola a decelerometru pro záchranné brzdění**

Tabulka [25] uvádí srovnání zjištěných hodnot zpomalení při záchranném brzdění prostřednictvím decelerometru XL Meter<sup>TM</sup> a vlečeného kola soupravy PK 2000.

Evidenční číslo	Typ	Záchranná brzda		
		MFDD [m/s <sup>2</sup> ]	MFDD [m/s <sup>2</sup> ]	rozdíl
		XL Meter <sup>TM</sup>	vlečené kolo	
1201	T6A5	3,67	3	0,67
1583	T3P	3,09	2,47	0,62
1623	T3P	3,09	2,53	0,56
1632	T3P	3,22	2,6	0,62
1633	T3P	3,13	2,5	0,63
1632+1633	T3P+T3P	3,21	2,57	0,64
1637	T3G	3,23	2,52	0,71
1707	KT8D5R.N2	3,09	2,39	0,7
1711	KT8D5R.N2	3,01	2,25	0,76
1714	KT8D5R.N2	2,97	2,41	0,56
1721	KT8D5R.N2	3,06	2,35	0,71
1728	KT8D5R.N2	3,13	2,35	0,78
1821	Anitra	2,37	2,01	0,36
průměrný rozdíl				0,64

Tabulka 25: Záchranná brzdění - Srovnání hodnot zpomalení [6]

**Srovnání zjištěných hodnot zpomalení pomocí vlečeného kola a decelerometru pro nouzové brzdění**

Tabulka [26] uvádí srovnání zjištěných hodnot zpomalení při nouzové brzdění prostřednictvím decelerometru XL Meter<sup>TM</sup> a vlečeného kola soupravy PK 2000.

Evidenční číslo	Typ	Nouzová brzda		
		MFDD [m/s <sup>2</sup> ]	MFDD [m/s <sup>2</sup> ]	rozdíl
		XL Meter <sup>TM</sup>	vlečené kolo	
1201	T6A5	3,48	2,67	0,81
1583	T3P	3,18	2,7	0,48
1623	T3P	3,4	2,78	0,62
1632	T3P	3,34	2,76	0,58
1633	T3P	3,31	2,84	0,47
1632+1633	T3P+T3P	3,34	2,9	0,44
1637	T3G	3,11	2,53	0,58
1707	KT8D5R.N2	2,96	2,56	0,4
1711	KT8D5R.N2	3,06	2,52	0,54
1714	KT8D5R.N2	2,98	2,41	0,57
1721	KT8D5R.N2	3	2,5	0,5
1728	KT8D5R.N2	3,07	2,47	0,6
1821	Anitra	3,08	2,9	0,18
průměrný rozdíl				0,52

Tabulka 26: Nouzová brzdění - Srovnání hodnot zpomalení [6]

**Srovnání zjištěných hodnot zpomalení pomocí vlečeného kola a decelerometru pro zajišťovací brzdění**

Tabulka [27] uvádí srovnání zjištěných hodnot zpomalení při provozním brzdění prostřednictvím decelerometru XL Meter<sup>TM</sup> a vlečeného kola soupravy PK 2000.

Evidenční číslo	Typ	Zajišťovací brzda		
		MFDD [m/s <sup>2</sup> ]	MFDD [m/s <sup>2</sup> ]	rozdíl
		XL MeterTM	vlečené kolo	
1201	T6A5	1,96	1,4	0,56
1583	T3P	1,53	1,36	0,17
1623	T3P	1,51	1,43	0,08
1632	T3P	2,03	1,55	0,48
1633	T3P	1,57	1,31	0,26
1632+1633	T3P+T3P	1,53	1,38	0,15
1637	T3G	1,59	1,52	0,07
1707	KT8D5R.N2	1,82	1,69	0,13
1711	KT8D5R.N2	1,61	1,49	0,12
1714	KT8D5R.N2	1,84	1,63	0,21
1721	KT8D5R.N2	1,78	1,58	0,2
1728	KT8D5R.N2	1,73	1,51	0,22
1821	Anitra	0,87	1	-0,13
průměrný rozdíl				0,19

Tabulka 27: Zajišťovací brzdění - Srovnání hodnot zpomalení [6]

### **Zhodnocení metod zpomalení pomocí vlečeného kola a decelerometru**

Z praktického hlediska měření přináší metoda zjišťování zpomalení pomocí decelerometru, ve srovnání s vlečeným kolem, výhodu v podobě nezávislosti počátku měření na technologii měřeného vozidla, která ve výsledku umožňuje eliminaci možných chyb z nesprávného počátku měření při zapojení řídicí elektroniky vlečeného kola do řídicí elektroniky měřeného vozidla. Metodika měření pomocí decelerometru je navíc shodná pro všechny typy vozidel a není tak třeba řešit korektní zapojení měřicí techniky pro jednotlivé typy vozidel, jako v případě vlečeného kola.

Zjištěné hodnoty zpomalení prostřednictvím metody měření decelerometrem a vlečeným kolem jsou rozdílné. V případě zavedení metody zjišťování zpomalení tramvajových vozidel decelerometrem, bylo vhodné rozpracovat vzájemné porovnání této metody s metodou stávající, tedy se zjišťováním zpomalení prostřednictvím vlečeného kola, do podrobnější formy včetně důrazu na vliv rozdílnosti počátku měření a korektnosti počátku měření vlečeného kola. Dále by bylo vhodné vypracovat novou metodiku měření včetně minimálních požadovaných hodnot zpomalení.



## 6.4 NÁVRH OPATŘENÍ PRO ZVÝŠENÍ BEZPEČNOSTI

Brzdění tramvajových vozidel má velký vliv na bezpečnost provozu jako celku i na bezpečnost jednotlivých účastníků provozu. Z hlediska bezpečnosti provozu by bylo optimální dosahovat co největších hodnot zpomalení, avšak při brzdění vozidel je třeba brát ohled i na zdraví přepravovaných, zejména, stojících osob, proto je nutné respektovat i tyto limity. Ing. Skupová ve své diplomové práci uvádí, že bezpečná hranice zpomalení se pro stojícího cestujícího pohybuje přibližně kolem  $3 \text{ m/s}^2$  [35].

Současné znění normy ČSN 28 1300 stanovuje maximální hodnoty zábrzdných vzdáleností, vztah pro výpočet zpomalení, výchozí rychlost a přesnost měřidla rychlosti. Způsob a požadavky na měření ujeté vzdálenosti norma nijak nespecifikuje. Tato skutečnost může vést k různým odchylkám a chybám mezi hodnotami reálně dosahovanými a hodnotami získávanými při měření. Z tohoto důvodu by bylo vhodné normu ČSN 28 1300 aktualizovat a chybějící údaje doplnit.

Současná obecná právní úprava předepisuje hodnoty, které vozidla nemají problém splnit, ve většině případů lze totéž tvrdit i o přísnějším předpisu T01. V rámci návrhu opatření by tedy bylo možné, za předpokladu vyřazení vozidel starší konstrukce, navrhnout hodnoty zpomalení přísnější. Vyřazování starších vozidel však musí respektovat i průběžnou obnovu vozového parku a životnost stávajících vozidel.

Dosažitelné hodnoty zpomalení u jednotlivých vozidel jsou z určité části závislé na jejich konstrukci. Každý typ vozidla je konstruován v určité době podle právě platných norem a aktuálního technického pokroku, konstrukce vozidla je tedy poplatná době svého vzniku, a proto není vhodné na ni klást neodpovídající požadavky například v podobě příliš vysokých požadovaných hodnot zpomalení. V takovémto případě by mohlo dojít například ke zhoršování ekonomického hlediska neustálým opakováním zkoušek z důvodu nesplňování požadovaných hodnot. Fungování provozu vozidel je třeba vnímat komplexně jako funkční celek a proto není vhodné upřednostňovat pouze hledisko bezpečnosti nad ostatní.

Dále by bylo vhodné současnou metodiku zjišťování zpomalení tramvajových vozidel pomocí vlečeného kola podrobit podrobnějšímu zkoumání z hlediska její korektnosti a vzniku možných chyb měření zejména v důsledku technických prodlev brzd vozidla. U v současnosti užívané soupravy PK 2000 se také nepodařilo věrohodně dohledat údaj o přesnosti měření. Tuto metodu měření by bylo vhodné srovnat s dalšími dostupnými metodami měření, tak, aby splnění

požadovaných hodnot zpomalení bylo možné věrohodně kontrolovat bez ohledu na obsluhu měřícího zařízení, či zkoušený vůz.

## ZÁVĚR

Tato práce je zaměřená na problematiku brzdění tramvajových vozidel. V teoretické části práce byla problematika brzdění tramvajových vozidel shrnuta z hlediska stávající legislativní úpravy, a to jak z hlediska obecné úpravy, tak z hlediska vnitropodnikové. Vzájemným srovnáním požadavků jednotlivých předpisů bylo zjištěno, že nejpřísnější požadavky na brzdění tramvajových vozidel klade interní směrnice T01 DPMB a. s.

Dále byla shrnuta problematika konstrukce jednotlivých brzdových systémů, včetně jejich rozdělení a příkladů nejběžněji používaných konstrukcí. Byly shrnuty fyzikální principy teorie brzdění a dále způsoby ověřování zpomalení tramvajových vozidel. Tato část byla zaměřena zejména na metodu ověřování zpomalení pomocí decelerometru a vlečeného kola, včetně jejich vzájemného porovnání.

Praktická část práce byla zaměřena na praktickou analýzu jízdy a brzdění tramvajových vozidel. V rámci jízdy tramvajových vozidel bylo zjišťováno zrychlení jednotlivých vozidel z nulové rychlosti do rychlosti 50 km/h. V rámci brzdění tramvajových vozidel byly prováděny u jednotlivých vozidel technickobezpečnostní zkoušky a při nich ověřováno zpomalení prostřednictvím vlečeného kola a decelerometru.

Zjištěné hodnoty byly vyhodnoceny s ohledem na různé typy provozovaných tramvajových vozidel.

Na základě porovnání obou metod měření a vyhodnocení zjištěných hodnot byla formulována opatření, která by mohla přispět k pozitivnímu ovlivnění bezpečnosti provozu a k posílení věrohodnosti a preciznosti ověřování vlastností vozidel.

Zjištěné hodnoty byly následně porovnány i s brzdovou zkouškou silničního osobního vozidla. Zjištěné poznatky mohou být použity jako vodítka pro další zkoumání odlišných vlastností a chování jednotlivých druhů vozidel, které společně vytváří celek městského provozu a přímo ovlivňují jeho bezpečnost.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Zákon č. 266/1994 Sb., o dráhách. *Sbírka zákonů*. 2014. Dostupné také z: [http://www.mdcr.cz/NR/rdonlyres/B7537319-A17A-4774-AE39-9479CC84ECA7/0/26694k\\_2982014uplzneni.pdf](http://www.mdcr.cz/NR/rdonlyres/B7537319-A17A-4774-AE39-9479CC84ECA7/0/26694k_2982014uplzneni.pdf)
- [2] Vyhláška MD č. 173/1995 Sb., kterou se vydává dopravní řád drah. *Sbírka zákonů*. 2015.
- [3] *Tramvajová vozidla - Technické požadavky a zkoušky*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 1998.
- [4] *Železniční aplikace - Brzdění - Brzdové systémy pro hromadnou dopravu - Část 1: Požadavky na provedení*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2004.
- [5] JAROLÍN, Zdeněk. *Směrnice T01 - Údržba a opravy tramvají*. Brno, 2013.
- [6] Vlastní archiv autora
- [7] KUČERA, Pavel. *Podklady k diplomové práci* [online]. 24. listopadu 2014 06:18; [cit. 2014-11-30]. Osobní komunikace.
- [8] HABARDA, Dušan. *Městská hromadná doprava*. Praha: ALFA, 1984.
- [9] *Tramvaj T3 (provedení T3SU): Popis a pokyny pro údržbu elektrické výzbroje TR 37*. Praha, 1982.
- [10] Fotogalerie: ČKD Tatra T3. DVOŘÁK, Pavel. *BMHD.cz* [online]. [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: <http://foto.bmhd.cz/foto.php?13118>
- [11] PETRÁS, Jan. *Kotoučová brzda tramvají K2P*.
- [12] HOZLÁR, Robert. *Provozní předpis: Agregát K.P.T.001 (č.v. 220 102)*. 2. Třemošnice, 2005.
- [13] Fotogalerie: ČKD Tatra T3 1525. DVOŘÁK, Pavel. *BMHD.cz* [online]. [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: <http://foto.bmhd.cz/foto.php?13102>
- [14] VOCH, . *NÁVOD K OBSLUZE TRAMVAJE LTM 10.08.1*. Plzeň, 2002.
- [15] MANIL, . Fotogalerie: Škoda 03T5 1805. *BMHD.cz* [online]. [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: <http://foto.bmhd.cz/foto.php?12652>
- [16] KRAUS, Vladimír. *Tramvaj KT8D5: Příručka řidiče tramvaje KT8D5*. Praha, 1987.
- [17] MANIL, . Fotogalerie: ČKD Tatra KT8D5 1702. *BMHD.cz* [online]. [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: <http://foto.bmhd.cz/foto.php?7908>
- [18] TICHÝ, Jiří a Petr BÁRTA. *Porovnání brzdových vlastností trakčních vozidel*.
- [19] DANZER, Jiří. *ELEKTRICKÁ TRAKCE 8.: ELEKTRICKÉ OVLÁDÁNÍ BRZD*. Žilina, 2008.

- [20] Kalker, J.: Über die Mechanik des Kontaktes zwischen Rad und Schiene, ZEV-Glas. Ann. 102 (1978) č 7/8 str. 214-218.
- [21] *XL Meter<sup>TM</sup>: Návod k použití.*
- [22] *PK 2000 Souprava pro měření zábrzdých drah trakčních vozidel: Návod k obsluze.* Praha.
- [23] VLK, František. *Podvozky motorových vozidel.* 3. přeprac., rozš., aktualiz. vyd. Brno: Prof.Ing.František Vlk, DrSc, 2006, 464 s. ISBN 80-239-6464-X.
- [24] ŽIŽKA, Jan. ABS u motocyklů, ano, nebo ne? *JeNiKovo.misto.cz* [online]. [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: [http://jenikovo.misto.cz/MAIL/Foto/Full/Kammova\\_kruznice.jpg](http://jenikovo.misto.cz/MAIL/Foto/Full/Kammova_kruznice.jpg)
- [25] *03 T - TRÍČLÁNKOVÁ JEDNOSMĚRNÁ NÍZKOPODLAŽNÍ TRAMVAJ.* Plzeň, 1998. Dostupné také z: <http://static.bmhd.cz/data/bmhd-archiv/prospekty/docs/03T-CZ.pdf>
- [26] Vůz DPMB 1821 (Anitra). *BMHD.cz* [online]. [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: <http://www.bmhd.cz/evidence-dpmb/vuz.php?id=4523>
- [27] ŠUCH, Ondřej. Test Audi A6 Avant 3,2 V6 FSI - Lodní kufr. *AUTO.CZ* [online]. [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/audi-a6-avant-3-2-v6-fsi-1108>
- [28] GEODIS BRNO s. r. o., SEZNAM.CZ A. S., NAVTEQ. [online]© 1999 [cit. 2014-12-07]. Dostupné z: <http://www.mapy.cz/zakladni?mereni-vzdalenosti&x=16.5914742&y=49.1975376&z=17&base=ophoto&rm=9mJIVxT9Q4Vy2W>
- [29] Přehled současného vozového parku. *BMHD.cz* [online]. [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: <http://www.bmhd.cz/evidence-dpmb/prehled.php>
- [30] Tramvaje (15 m). *BMHD.cz* [online]. [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: <http://www.bmhd.cz/evidence-dpmb/prehled.php?tramvaje15>
- [31] Tramvaje (20 m). *BMHD.cz* [online]. [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: <http://www.bmhd.cz/evidence-dpmb/prehled.php?tramvaje20>
- [32] Tramvaje (30 m). *BMHD.cz* [online]. [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: <http://www.bmhd.cz/evidence-dpmb/prehled.php?tramvaje30>
- [33] GEODIS BRNO s. r. o., SEZNAM.CZ A. S., NAVTEQ. [online]© 1999 [cit. 2014-12-07]. Dostupné z: <http://www.mapy.cz/zakladni?mereni-vzdalenosti&x=16.5914742&y=49.1975376&z=17&base=ophoto&rm=9mJIVxT9Q4Vy2W>
- [34] *Železniční aplikace - Brzdění - Brzdové systémy pro hromadnou dopravu - Část 2: Zkušební metody.* Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2004.

[35] SKUPOVÁ, Dagmar. *Analýza zpomalování tramvají a vyhodnocení jeho účinku na stojící cestující*. Diplomová práce. VUT v Brně, Ústav soudního inženýrství. Vedoucí práce Doc. ing. Aleš Vémola, Ph.D.

## SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obr. 1. Čelist'ová brzda MB 225 na podvozku tramvaje T3 ev. č. 1525 [6].
- Obr. 2. Brzdič BR 232 na podvozku tramvaje T3 [10].
- Obr. 3. Kotoučová brzda střední podvozek tramvaje K2P [11].
- Obr. 4. Kotoučová brzda na podvozku tramvaje KT8D5N ev. č. 1735 [6].
- Obr. 5. Brzdová jednotka K. P. T 001 s brzdovým kotoučem na podvozku tramvaje 13T ev. č. 1925 [6]
- Obr. 6. Brzdový agregát K. P. T 001 na podvozku tramvaje 13T ev. č. 1925 [6]
- Obr. 7. Kolejnicová brzda na podvozku tramvaje T3 ev. č. 1525 [13]
- Obr. 8. Ruční řadič tramvaje Anitra ev. č. 1805 [15]
- Obr. 9. Ovládací pedály tramvaje KT8D5 ev. č. 1702 [17]
- Obr. 10. XL Meter<sup>TM</sup> umístěný na čelním skle vozidla [6]
- Obr. 11. Elektronická část měřicího přístroje soupravy PK 2000 [6]
- Obr. 12. Vlečené kolo soupravy PK 2000 instalované na vozidle v manipulační poloze [6]
- Obr. 13. Kammova kružnice přilnavosti [24]
- Obr. 14. Škoda Anitra ev. č. 1821 [6]
- Obr. 15. Audi A6 Avant [6]
- Obr. 16. Mapa zkušebního úseku brzdové zkoušky Audi A6 Avant [28]
- Obr. 17. Mapa zkušebního úseku pro technickobezpečnostní zkoušky [33]

## SEZNAM TABULEK

- Tab. 1. Maximální zábrzděné dráhy v rozsahu rychlostí 40 km/h  $\pm$  10 % [3].
- Tab. 2. Teoretické provozní výkonnosti dle ČSN 13452-1 [4].
- Tab. 3. Hodnoty středního brzdného zpomalení [5].

- Tab. 4. Srovnání vypočítaných hodnot zábrzdých vzdáleností dle ČSN EN 13452-1, vyhlášky č. 173/1995 Sb. a směrnice T01 s hodnotami udávanými ČSN 28 1300[6].
- Tab. 5. Srovnání Hodnot zábrzdých vzdáleností pro rychlost 40 km/h dle předpisu DPP a. s. a ČSN 28 1300 [6].
- Tab. 6. Požadované hodnoty zpomalení dle směrnice DP měst Mostu a Litvínova a. s. [7].
- Tab. 7. Srovnání vypočítaných hodnot zábrzdých vzdáleností dle ČSN EN 13452-1, vyhlášky č. 173/1995 Sb., směrnice T01a interní směrnice Dopravního podniku měst Mostu a Litvínova a. s. s hodnotami udávanými ČSN 28 1300 a interním předpisem DPP a. s. [6].
- Tab. 8. Požadavky na brzdový účinek osobních vozidel dle EHK 13 [23].
- Tab. 9. Vybraná technická data Škoda Anitra [25].
- Tab. 10. Vybraná technická data Audi A6 Avant [27].
- Tab. 11. Srovnání výsledků brzdových zkoušek A6 a Anitra [6].
- Tab. 12. Celkové srovnání výsledků brzdových zkoušek [6].
- Tab. 13. Celkové srovnání parametrů jízdy [6].
- Tab. 14. Početní stav tramvají dle kategorie [29].
- Tab. 15. Početní stav tramvají kategorie 15m [30].
- Tab. 16. Početní stav tramvají kategorie 20m [31].
- Tab. 17. Početní stav tramvají kategorie 30m [32].
- Tab. 18. Počty měření [6].
- Tab. 19. Brzdění - počty měřených vozidel dle typu [6].
- Tab. 20. Zrychlení - počty měřených vozidel dle typu [6].
- Tab. 21. Přehled naměřených hodnot zpomalení [6].
- Tab. 22. Přehled naměřených hodnot zrychlení [6].
- Tab. 23. Průměrné hodnoty zpomalení dle typu vozidla [6].
- Tab. 24. Provozní brzda - Srovnání hodnot zpomalení [6].
- Tab. 25. Záchranná brzda - Srovnání hodnot zpomalení [6].
- Tab. 26. Nouzová brzda - Srovnání hodnot zpomalení [6].
- Tab. 27. Zajišťovací brzda - Srovnání hodnot zpomalení [6].

