

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Posouzení kvality tramvajové a trolejbusové dopravy

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Miroslav Růžička, CSc.

Autor práce: Josef Wander

PRAHA 2018

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Josef Wander

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

Posouzení kvality tramvajové a trolejbusové dopravy

Název anglicky

The quality assessment of tram and trolleybus transport.

Cíle práce

Cílem práce je shromáždit informace k tramvajové a trolejbusové dopravě. Na základě studia stanovit kritéria vhodná pro posouzení výhod a nevýhod uvedených módů dopravy. Vypracovat subjektivní porovnání těchto dvou módů dopravy.

Metodika

1. Rešeršní část pojednávající o vozidlech a dopravní infrastruktuře využívané pro tramvajovou a trolejbusovou dopravu.
2. Stanovení rozhodujících kritérií pro posouzení kvality daných módů dopravy, diskuse.
3. Souhrn a závěr

Doporučený rozsah práce

do 30 stran textu včetně obrázků a tabulek

Klíčová slova

tramvaj, trolejbus, dopravní infrastruktura

Doporučené zdroje informací

Arvidsson N.: New perspectives on sustainable urban freight distribution: a potential zero emission concept using electric vehicles on trams.

<http://www.wctrs-society.com/wp/wp-content/uploads/abstracts/lisbon/selected/02565.pdf>
(17.1.2017)

Dunbar, Charles S. (1967). Buses, Trolleys & Trams. Paul Hamlyn Ltd. (UK) [republished 2004 with ISBN 0-7537-0970-8 or 9780753709702]

HINČICA, Libor. Projekt sítě pražských trolejbusů v letech 1989–1993. Československý dopravák. 2008, čís. 2, s. 25-27

Trolleybus Magazine (ISSN 0266-7452). National Trolleybus Association (UK), bi-monthly

Předběžný termín obhajoby

2017/18 LS – TF

Vedoucí práce

doc. Ing. Miroslav Růžička, CSc.

Garantující pracoviště

Katedra vozidel a pozemní dopravy

Elektronicky schváleno dne 17. 1. 2017

doc. Ing. Miroslav Růžička, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 23. 1. 2017

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 15. 06. 2017

Prohlášení

„Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: **Posouzení kvality tramvajové a trolejbusové dopravy** vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů. Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Jsem si vědom, že moje bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí. Jsem si vědom, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.“

V Praze dne 18. 3. 2018

Josef Wander

Poděkování

Děkuji všem, kteří mi při psaní bakalářské práce ať už přímo či nepřímo pomohli, zejména Bc. Ondřeji Benákovi z Ministerstva dopravy ČR a hlavně vedoucímu mé bakalářské práce doc. Ing. Miroslavu Růžičkovi, CSc. za odborné vedení, čas a rady, jež mi poskytl při zpracování této práce.

Posouzení kvality tramvajové a trolejbusové dopravy

Abstrakt: Předkládaná bakalářská práce se zabývá tramvajovou a trolejbusovou dopravou a posouzením jejich kvalit v rámci měst a městské hromadné dopravy. Rešeršní část práce se věnuje souhrnnému popisu tramvajové a trolejbusové dopravy, jejich historii a užívaným vozidlům. V další části práce jsou podrobněji rozepsány zvolené oblasti – obecná kritéria, ekonomie, ekologie, urbanismus, budoucí vývoj –, jež byly posuzovány. V závěru práce se pak nachází celkové výsledné zhodnocení dané problematiky.

Klíčová slova: tramvaj, trolejbus, dopravní infrastruktura

The quality assessment of tram and trolleybus transport

Summary: The present bachelor thesis deals with tram and trolleybus transport and assessment of their quality within cities and in public transport. The research part deals with a comprehensive description of tram and trolleybus transport, their history and used vehicles. In the next part of the thesis there are described in more detail the selected areas – general criteria, economics, ecology, urbanism, future development – which have been assessed. At the end of the thesis there is the overall final evaluation of the given issue.

Key words: tram, trolleybus, transport infrastructure

Obsah

Úvod	1
1 Rešeršní část	2
1.1 Definice základních pojmů	2
1.2 Tramvajová doprava	3
1.2.1 Vývoj tramvajové dopravy	3
1.2.2 Tramvajová doprava v rámci MHD	4
1.2.3 Užívaná vozidla tramvajové dopravy	5
1.3 Trolejbusová doprava	6
1.3.1 Vývoj trolejbusové dopravy	6
1.3.2 Trolejbusová doprava v rámci MHD	8
1.3.3 Užívaná vozidla trolejbusové dopravy	8
1.4 Napájení tramvajů a trolejbusů	10
2 Posuzovaná kritéria	11
2.1 Obecné porovnání tramvajové a trolejbusové dopravy	11
2.2 Ekonomické hledisko	13
2.2.1 Investiční náklady	13
2.2.2 Provozní náklady	14
2.3 Ekologické hledisko	15
2.3.1 Emise	16
2.3.2 Hluk a vibrace	18
2.4 Urbanistické hledisko	19
2.4.1 Napájení tramvajů bez trolejí	20
2.4.2 Napájení trolejbusů bez trolejí	23
2.5 Možnosti budoucího vývoje	25
2.5.1 Princip vodíku jako paliva	25
2.5.2 Možnosti využití vodíku u tramvajové a trolejbusové dopravy	26
3 Diskuse a závěr	28
4 Seznam použitých zdrojů	30
5 Seznam obrázků	35
6 Seznam tabulek	36
7 Přílohy	37

Úvod

Potřeba člověka dopravovat se v prostoru je tu odnepaměti. Vývoj dopravy, do podoby v jaké ji můžeme znát dnes, započal zhruba před třemi a půl tisíci lety, kdy bylo objeveno kolo. Od té doby urazila doprava značný kus cesty a dnes je neoddělitelnou součástí našich každodenních životů.

Města a zejména velké městské aglomerace vyvolávají silné dopravní potřeby jak ve vlastním městě, tak i ve své příměstské oblasti. Dopravní situace ovlivňuje podstatně vývoj sídelních útvarů a každý dopravní systém má svou určitou městotvornou funkci. Městská hromadná doprava se proto v posledních letech a desetiletích stává jedním z nejdiskutovanějších témat a to nejen v rámci určitých lokalit, ale v celospolečenském měřítku.

V rámci stále palčivější potřeby uspokojení neustále se zvyšující poptávky po kvalitní, rychlé, kapacitní, ekologické a dostupné veřejné dopravě hledají města nové způsoby, jak tyto požadavky uspokojit. Kromě nových typů dopravy se mnohdy vrací již k osvědčeným nápadům z minulosti. Těmi jsou myšleny především tramvajová a trolejbusová doprava, které se opět dostávají do popředí veřejného i politického zájmu. To platí zejména o dopravě trolejbusové, která se dnes víc než kdy dříve může plnohodnotně rovnat svým konkurentům.

První kapitola se zabývá definicí základních pojmů, na které plynule navazuje pokračování, založené na informacích zjištěných v odborné literatuře, v podobě shrnutí historie a vývoje tramvajové a trolejbusové dopravy od 19. století až po současnost, jejich umístění v rámci městské hromadné dopravy a užívaná vozidla.

Druhá kapitola je věnována vybraným oblastem – obecná kritéria, ekonomie, ekologie, urbanismus, budoucí vývoj –, které jsou rozebrány podrobněji a více do hloubky. Při psaní této kapitoly bylo opět využito odborné literatury rozšířené o aktuální články z odborných časopisů i odjinud.

Závěrečná kapitola obsahuje diskusi o problematice, již byla věnována první a předně pak druhá kapitola, spolu se závěrem, ve kterém jsou finálně shrnuty a zhodnoceny zjištěné informace.

1 Rešeršní část

První kapitola je věnována objasnění základních pojmů, představení tramvajové a trolejbusové dopravy, jejich historii a vývoji ve světě a na území České republiky. Dále obsahuje základní přehled užívaných vozidel, jejich možné rozdělení a způsoby napájení

1.1 Definice základních pojmů

Předtím, než bude samostatně hovořeno o tramvajové dopravě a trolejbusové dopravě, je nutné definovat, co se označuje a rozumí pojmy doprava, tramvaj, trolejbus a autobus:

- **Doprava**

Ottův slovník naučný ve svém sedmém dílu píše: „*Doprava jest souhrn úkonů, jimiž uskutečňuje se pohyb osob, věcí a zpráv z jednoho místa na druhé.*“ [1] V dnešní době je doprava nejčastěji definována takto: „*Doprava je cílevědomá změna místa osob anebo nákladů uskutečňovaná pomocí dopravního prostředku po dopravní cestě.*“ [2]

- **Městská hromadná doprava**

Pojmem městská hromadná doprava (zkráceně MHD) označujeme soustavu pravidelné a veřejně dostupné dopravní obsluhy města a městské aglomerace zajišťované hromadnými dopravními prostředky. Obvykle je představována sítí linek, na kterých jsou dopravní prostředky provozovány dle předem stanovených jízdních řádů. [3]

- **Tramvaj**

Pojmem tramvaj označujeme kolejové vozidlo, které slouží k hromadné přepravě osob nebo nákladů, jehož pohon je zajišťován elektrickými motory, napájenými zpravidla sběračem z jednovodičového vrchního trolejového vedení a provozovaném na samostatném kolejovém tělese. [4]

- **Trolejbus**

Pojmem trolejbus označujeme silniční vozidlo, které slouží k hromadné přepravě osob nebo nákladů, jehož pohon je zajišťován elektrickými motory, napájenými zpravidla sběrači z dvouvodičového vrchního trolejového vedení. [5] Cílem trolejbusu je spojení výhod tramvaje a autobusu. [6]

- **Autobus**

Pojmem autobus označujeme silniční vozidlo, které slouží k hromadné přepravě osob, jehož pohon je zajišťován spalovacím motorem, v dnešní době převážně motorem vznětovým (naftovým), výjimečně motorem zážehovým (benzinovým). [7]

1.2 Tramvajová doprava

V dnešní době je tramvaj prakticky neodmyslitelnou součástí systému MHD každého většího města nejen u nás, ale i ve zbytku Evropy a světa. Tramvajová doprava je systém kolejové dopravy pro přepravu osob, který je způsobilý sdílet dopravní prostor s individuální dopravou (automobilovou, cyklistickou či pěší) i s jinými druhy hromadné dopravy (autobusy, trolejbusy). [8] Velmi výjimečně je možné se setkat i s tramvají nákladní. [4]

1.2.1 Vývoj tramvajové dopravy

Prvními dopravními prostředky, které byly určeny pro přepravu většího množství osob na delší vzdálenosti, byly dostavníky a ve větších městech poněkud jednodušeji konstruované omnibusy (první se objevil už roku 1662 v Paříži, v Praze prvně roku 1829). [9][10] V obou případech samozřejmě tažené koňmi. [11]

Rozvoj měst, jenž kráčel ruku v ruce s průmyslovou revolucí, dal vzniknout poptávce po rychlé a dostupné dopravě v rámci města. Ve druhé polovině 19. století se v ulicích měst začínají prvně objevovat první skutečně hromadné dopravní prostředky – tzv. koněspřežné dráhy. Jednalo se o využití, v té době již vyráběných, železničních vozů pro provoz ve městech. Ačkoli nebyla rychlost „koňky“ z dnešního pohledu nijak vysoká, jednalo se na svou dobu o velký pokrok. Jejím pomocí bylo možné přepravit větší množství lidí rychleji než chůzí a zároveň i pohodlněji, klidným chodem ocelového kola po kolejnici. [12] První zmínka o koněspřežné dráze na území naší vlasti pochází z roku 1869 z Brna a od roku 1875 je provozována i na území Prahy. [11]

Na konci 19. století se začínají objevovat vozidla využívající jiný druh pohonu než sílu zvířat. Pokusy o nahrazení do té doby dominující animální (zvířecí) trakce na železnici osvědčeným parním strojem s sebou nesly zřejmé nevýhody. V městském prostředí proti rozšíření parní trakce hovořily, kromě jiného, zejména produkované saze. I přesto byla v některých městech parní tramvaj zavedena. Éra spalovacích motorů měla teprve přijít a jasným vítězem se tedy stal pohon elektrický. [11]

Využitím elektromotoru začíná nová kapitola ve vývoji tramvají. Princip elektrického motoru byl znám a vyzkoušen již řadu let – první elektrický automobil se objevil už roku 1835 [13] – a první tramvajové vozy s elektrickým motorem se ve městech začínají objevovat na přelomu 80. a 90. let 19. století (první v Berlíně roku 1881). [10][12] U nás se první elektrická tramvaj objevuje v polovině roku 1891 v Praze na Letné. Jejím autorem byl český průmyslník a vynálezce František Křižík. [11] Postupem času elektrická trakce získává dominantní postavení a prakticky vytlačuje poslední zbylé provozování s animální či parní trakcí.

Velký rozvoj zažívá tramvajová doprava na přelomu 19. a na začátku 20. století. Vývoj hromadné dopravy během minulého století kladl stále větší požadavky na zvyšování rychlosti,

kapacity a pohodlí cestujících. V USA proto ve 30. letech 20. století vznikají tramvaje druhé generace. Vývoj v Evropě však přerušila druhá světová válka. Opětovný rozvoj tramvajové dopravy nastává v polovině dvacátého století a pokračuje až do 70. let. V této době dochází v Evropě k velkému rozmachu dopravy automobilové a rozšiřování a zavádění dopravy autobusové na úkor dopravy tramvajové, jak tomu bylo již ve 30. letech v USA. Během následujících let některá města klasické tramvajové provozy nahradila tramvajovými rychlodráhami, případně došlo k přeložkám tratí na podzemní. [8][9]

Na konci minulého století se tramvaje opět široce dostávají do popředí veřejného zájmu. V 90. letech přichází třetí generace tramvajových vozidel. [8] V drtivé většině se již jedná o vozidla nízkopodlažní, čímž se zvyšuje atraktivita a tramvajová doprava se představuje jako významný urbanistický prvek moderního města. I proto mnohá města nově zavádějí nebo obnovují své tramvajové provozy (např. Los Angeles či Jeruzalém). [14][15]

1.2.2 Tramvajová doprava v rámci MHD

Neodmyslitelnou součástí každého většího města je systém tramvajové dopravy. Tramvaje tvoří jádro dopravní sítě MHD ve velkých městech, ke kterému tvoří autobusy nebo trolejbusy síť doplňkovou. Ve městech nad 750 000 obyvatel pak systém tramvajové dopravy tvoří, spolu s trolejbusy a autobusy, doplňkovou síť k systému městské rychlodráhy (metra). Vztah velikosti města a struktury dopravních prostředků MHD je vidět v tabulce 1. [8]

Tabulka 1 - Struktura dopravních prostředků ve městě [8]

Typ města	Počet obyvatel ve městě	Dopravní prostředek
malé	do 50 000	autobus nebo trolejbus
střední	50 000 až 150 000	autobus a trolejbus, eventuálně tramvaj
velké	150 000 až 750 000	tramvaj jako základní síť, autobus a trolejbus jako doplňková síť
velmi velké (velkoměsto)	750 000 a větší	rychlodráha (metro) a ostatní prostředky povrchové MHD (tramvaj, trolejbus, autobus)

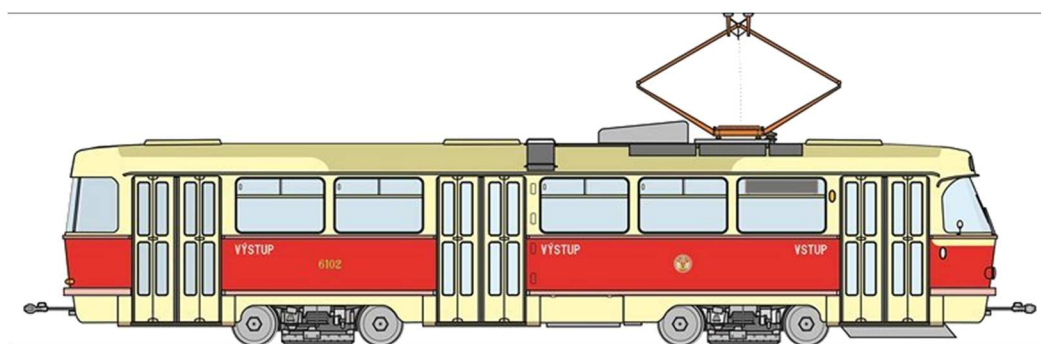
Tramvaje je možné poměrně snadno napojit na další dopravní prostředky MHD (autobusy, trolejbusy, metro) a zároveň je zavést přímo do center měst, včetně pěších zón. Nejvíce lze výhod systému tramvajové dopravy využít v úsecích, kde je možné kolejové těleso, jako je tomu u jiných systémů drážní dopravy, segregovat od ostatních pruhů dopravy. Je tak zajištěno lepší využití „drážního charakteru“ a dochází ke zvýšení rychlosti a spolehlivosti provozu. [8][12] Výhodou je též možnost kvalitního propojení blízkých měst.

1.2.3 Užívaná vozidla tramvajové dopravy

Pokud pomineme historicky první koňky, byla první generace tramvají, z přelomu 19. a první části 20. století, typická svými dvěma podvozky, kde každý podvozek měl jednu nápravu (celkově tedy čtyři kola na vůz). Při tvoření souprav pak bylo využíváno vozů tažných, tedy s motorem a vozů vlečných, tedy bez motoru. Postupem času byla konstrukce vozů vylepšována, výraznou proměnou však neprošla. [9]

Ve 30. letech minulého století pak v USA vzniká, zejména v důsledku konkurence automobilové dopravy, druhá generace tramvají – tzv. koncepce PCC (z anglického: *Presidents' Conference Committee Car*; česky: *Vůz výboru sjezdu prezidentů*). Skříň tramvaje koncepce PCC spočívá na dvou otočných podvozcích, kde má každý podvozek dvě nápravy, tedy čtyři kola (celkem osm kol na jeden vůz) a v podvozku je dvojice trakčních motorů. [16] Příchod tramvají koncepce PCC do Evropy však přerušila druhá světová válka. [8][9] Rozvoj druhé generace tramvají pak nastává až po konci války. V tehdejší Československu byla první tramvaj založenou na koncepci PCC tramvaj Tatra T1 z roku 1952. [17] Dozajista nejznámějším zástupcem své kategorie se však stala pozdější tramvaj Tatra T3 z 60. let minulého století, kterou je možné vidět na obrázku 1. Tramvaje T3 se staly nejrozšířenějším typem tramvaje na celém světě (bylo vyrobeno přes 15 000 kusů). [8] Původní koncepce však nepočítala s vlečnými vozy, ale pouze se spřahováním vozů motorových. [16]

Obrázek 1 - Náčrt tramvaje Tatra T3 (upraveno) [18]



V průběhu 60. let se však v některých evropských městech začínají objevovat již tramvaje článkové a v následujících desetiletích se ubíral vývoj nových typů tramvají právě tímto směrem. Na počátku 90. let 20. století se postupně objevila třetí generace tramvajových vozidel. Ta se vyznačuje čistě polovodičovou regulací výkonu a ve valné většině případů se jedná o vozidla nízkopodlažní. [8] Vývoj této generace tramvají probíhá až do dnešních dnů.

Tramvajová vozidla užívaná v současných systémech MHD je možné asi nejlépe rozčlenit dle výšky podlahy nad temenem kolejnice: klasické, částečně nízkopodlažní a zcela nízkopodlažní. [4] S ohledem na dostupnost a zvýšení atraktivity MHD pro co největší množství lidí jsou prakticky všechny dnes vyráběné a dodávané tramvaje nízkopodlažní,

případně částečně nízkopodlažní. Z hlediska technického lze tramvajové vozy dělit do dalších kategorií podle spráhání, konstrukce, určení atp. [4]

Dnes nejčastěji užívanými typy tramvají pro přepravu cestujících jsou tramvaje článkové, které se skládají ze dvou a více kloubově spojených částí (zpravidla dvou, tří, čtyř, pěti či šesti). Standardně se jedná o vozy stoprocentně nízkopodlažní. Tramvajová vozidla jsou konstruována pro napájení 600 V stejnosměrných (např. v ČR), respektive 750 V stejnosměrných, přičemž drtivá většina vyráběných tramvají je schopna provozu na obou sítích. [8] Příkladem může být tříčlánková tramvaj Škoda ForCity 15T, užívaná například Dopravním podnikem Hlavního města Prahy, nacházející se na obrázku 2.

Obrázek 2 - Náčrt tramvaje Škoda ForCity 15T [18]



Kromě tramvají pro přepravu cestujících je možné se výjimečně setkat také s tramvajemi nákladními. Pověštinou se jedná o servisní vozidla jednotlivých dopravních podniků [19], avšak lze nalézt i města, kde se nákladní tramvaje uplatňují při zásobování průmyslových podniků. Příkladem může být provoz nákladní tramvaje v Drážďanech, kde dvojice speciálně vyvinutých článkových tramvají, tzv. „CarGo Tram“, zásobuje továrnu Volkswagenu v centru města. [20][21] Jedná se však o raritu a to i ve světovém měřítku.

1.3 Trolejbusová doprava

Už od svých počátků tvořila trolejbusová doprava alternativu k autobusům, jež využívají spalovací motory a tramvajím, jejichž zavedení je podmíněno mnoha faktory. Stejně jako je tomu u dopravy tramvajové, je i doprava trolejbusová systémem pro přepravu osob, který však plně sdílí dopravní prostor s dopravou individuální (automobilovou) i s jinými druhy hromadné dopravy. Výjimečně je též možné se setkat s trolejbusy nákladními. [5]

Zajímavé postavení má trolejbusová doprava v ČR z pohledu zákona. Spadá totiž nejen pod Zákon o provozu na silničních komunikacích č. 361/2000 Sb., ale zároveň také pod Zákon o drahách č. 266/1994 Sb. Z této duality samozřejmě plynou určitá pozitiva i negativa, jelikož trolejbus je dle platné legislativy de facto vozidlem drážním.

1.3.1 Vývoj trolejbusové dopravy

Historie trolejbusové dopravy se začíná psát na konci 19. století. Za první trolejbus by bylo možné považovat vozík, který vyjel roku 1882 v Berlíně na zkušební trati firmy Siemens-Halske. Ačkoli se nejednalo o trolejbus v dnešním slova smyslu a zkoušky prvního

vozidla „bez kolejných dráh“ nedopadly nijak valně, byl podán důkaz o možnosti elektrického pohonu silničních vozidel. [5]

V následujících letech se v Evropě objevilo několik zkušebních tratí, avšak úplně první trolejbusy zabezpečující veřejnou dopravu se objevily v roce 1900 v Paříži. Rozvoj trolejbusové dopravy se následně přesunul na území největší elektrotechnické velmoci, Německa. V Itálii se první trolejbusový provoz objevil už roku 1903 v Miláně a v roce 1911 hned ve dvou městech ve Velké Británii (Bradford a Leeds). První trolejbus za Atlantským oceánem pak vyjel roku 1910 v Kalifornii. [5][9]

Na území tehdejšího Rakouska-Uherska, pod které tehdy spadaly i země České, se první trolejbusy objevily poměrně brzy a to roku 1904 v rámci meziměstské tratě spojující Poprad se Starým Smokovcem. Její provoz však byl ukončen už po dvou letech. Přímo na našem území bylo možné první trolejbus spatřit roku 1907, kdy byla zprovozněna trolejbusová trať z Gmünd do dnešních Českých Velenic. Prvním českým městem, které zavedlo trolejbusy, se roku 1909 staly České Budějovice. Ani jedna z tratí však neměla příliš dlouhého trvání. [5]

Od třicátých let 20. století nastává v celosvětovém měřítku skutečný boom trolejbusové dopravy a to díky zavádění, z tehdejšího pohledu, moderních trolejbusů. V Evropě se největšího rozmachu dočkaly trolejbusy ve Velké Británii, kde bylo do začátku druhé světové války v provozu kolem 1000 kilometrů trolejbusových tratí. Pozadu nezůstalo ani tehdejší Československo, kde první moderní trolejbusy vyjely v Praze roku 1936. [22] Velké podpoře se trolejbusová doprava těšila také v bývalém Sovětském svazu a samozřejmě i ve Spojených státech amerických, kde byl největší rozvoj v letech čtyřicátých. [5][9]

Od konce 50. let až do 70. let však nastává útlum trolejbusové dopravy a to zejména v západní části světa. Rozvoj individuální automobilové dopravy a tzv. „levná ropa“ zapříčinila rušení mnoha trolejbusových provozů a jejich nahrazení autobusy. Zrušení trolejbusů se nevyhnula třeba ani Praha, kde roku 1972 vyjely naposledy. [5][9][11]

V osmdesátých letech přichází postupně renesance trolejbusové dopravy, avšak v menší míře. Poslední dekáda 20. století by se dala označit jako poměrně stabilní období, kdy na jedné straně vznikají provozní nově, ale jinde jsou zase rušeny. [5] Zajímavým se může jevit projekt obnovení trolejbusů v Praze z let 1989-1993, kdy byly nejen vyprojektovány nové trolejbusové tratě (Smíchov, Severní město), ale dokonce už i zaškolování řidičů a vybrána vozidla. K realizaci však nakonec nikdy nedošlo. [23]

V současné době se trolejbusová doprava dostává opět do centra dění. Mnohá města uvažují o zavedení trolejbusů, případně o rozšíření své stávající sítě. Zejména díky nulovým přímým emisím a možnosti kombinace jízdy na baterie nebo z troleje získávají na oblibě parciální trolejbusy, ale také vozidla hybridní, která mají k dispozici i motor spalovací.

1.3.2 Trolejbusová doprava v rámci MHD

Z pohledu MHD nabízí ve městech trolejbusová doprava zpravidla síť menšího rozsahu než doprava autobusová, se kterou se nabízí přímé srovnání. Hlavním důvodem jsou nároky na trolejové vedení. Proto bývá velmi často kombinována právě s dopravou autobusovou s tím, že zajišťuje více zatížené diametrální a radiální linky (provoz je rentabilnější), vstupuje do center měst a zajišťuje též linky s vysokým převýšením, kde vykazuje lepší jízdní vlastnosti (akcelerace) oproti autobusu. [6] Kapacita trolejbusové sítě v porovnání s ostatními systémy MHD je vidět v tabulce 2.

Tabulka 2 - Kapacita dopravních prostředků MHD [8]

Dopravní prostředek	Kapacita [osob.h ⁻¹]
Autobus	5 000-9 000
Trolejbus	8 000-15 000
Tramvaj	15 000-18 000
Podzemní tramvaj	16 000-20 000
Městská rychlodráha, metro	40 000-55 000
Expres metro	více než 55 000

Trolejbusy jsou vhodné zejména pro menší města, kde mohou tvořit základ dopravní sítě. Ve městech středních a velkých pak mohou být užity jako síť doplňková (viz tabulka 1). Vhodné jsou též i jako ekologická náhrada metrobusů (rychlé linky s krátkými intervaly). Jako takové projevují trolejbusy v rámci MHD své největší klady ve městech se specifickými podmínkami. Trolejbusová doprava je vhodná například do měst lázeňského typu či prostředí rekreačních zón, kde jsou větší nároky na čistotu ovzduší a celkově tišší provoz. [6][8]

1.3.3 Užívaná vozidla trolejbusové dopravy

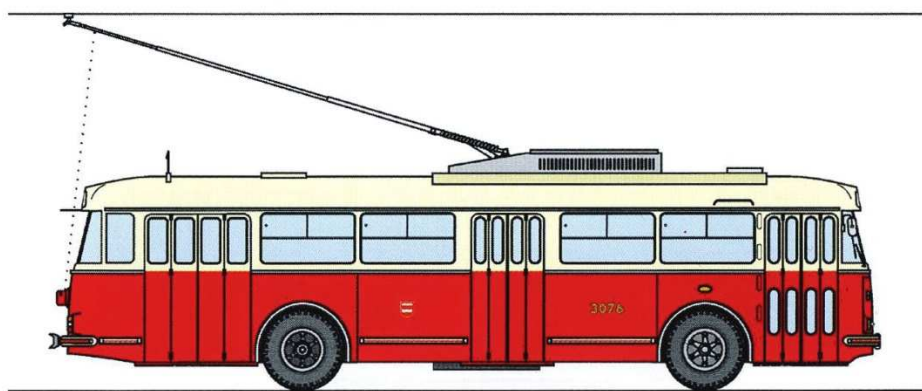
Pokud pomineme úplné počátky, kdy se jednalo spíše o experimentální vozidla, pak se první skutečné trolejbusy skládaly z dvounápravových podvozků, na jejichž rámy byly stavěny skříňové dřevěné konstrukce. Vozidla byla malá (do 25 míst) a svou elektrickou výzbroj a motory měly převzaty z již existujících tramvajových vozidel. Přívod proudu z trolejového vedení se prováděl zpravidla kontaktními vozíky (které byly příčinou řady provozních poruch). Kromě trolejbusů pro přepravu osob vznikla i řada vozidel nákladních. [5]

Velký podíl na technickém vývoji silničních vozidel, potažmo i trolejbusů, měla paradoxně první světová válka. Moderním trolejbusům též přál i poměrně rychlý vývoj a zdokonalování pneumatik, ale také nástup nových technologií pro výstavbu kvalitních povrchů vozovek. Rozšiřuje se také užívání tyčových sběračů a dvou vodičového trolejového vedení. [5][9]

Trolejbusová vozidla byla prakticky po celé 20. století konstruována samostatně a nebyla, jako je tomu většinou v současnosti, shodná s vozidly autobusovými (karoserie, podvozek). Prakticky každá země měla své výrobce trolejbusů a často se jednalo o vozidla konstruovaná přímo pro konkrétní města. Nejinak tomu bylo i v tehdejší Československu, kde byla výroba prvních trolejbusů pro Prahu zadána firmám ČKD, Škoda a Tatra. [5][22]

Na rozdíl od vozidel tramvajových, kde se ve 30. letech objevuje tzv. koncepce PCC, kterou postupem času přijala většina výrobců za vzor, nelze u vozidel trolejbusových hovořit o jednotné koncepci. První trolejbusy vyrobené u nás byly třínápravové (nečláňkové), ale již na konci 40. let se začala rozšiřovat vozidla dvounápravová (nečláňková). Příkladem může být nejdéle vyráběná trolejbusová řada typu Škoda 9 Tr (1961-1981), kterou je vidět na obrázku 3. Tato vozidla byla užívána ve většině českých měst s trolejbusovým provozem. [5]

Obrázek 3 - Nákres trolejbusu Škoda 9 Tr [5]



Dnešní trolejbusy jsou vyráběny na bázi karoserií autobusů, mění se pouze pohon, řízení a přidávají se sběrače proudu. Vzhledem k absenci spalovacího motoru (taktéž i převodovky) je možné snadněji konstruovat vozidla nízkopodlažní, která jsou dnes při výběru preferována. S klasickou konstrukcí (ne nízkopodlažní) se již dnes mezi výrobci prakticky není možné setkat. [6] Příkladem může být trolejbus Škoda 31 Tr SOR, který je pouze elektrickou modifikací již vyráběného autobusu SOR NB 18. [5]

Trolejbusová vozidla jsou konstruována pro napájení 600 V stejnosměrných (např. v ČR), respektive 750 V stejnosměrných (stejně jako tramvaje). Na rozdíl od tramvaje, kde koleje fungují jako uzemnění, je však u trolejbusu potřeba dvoupólové trolejové vedení. [5][6]

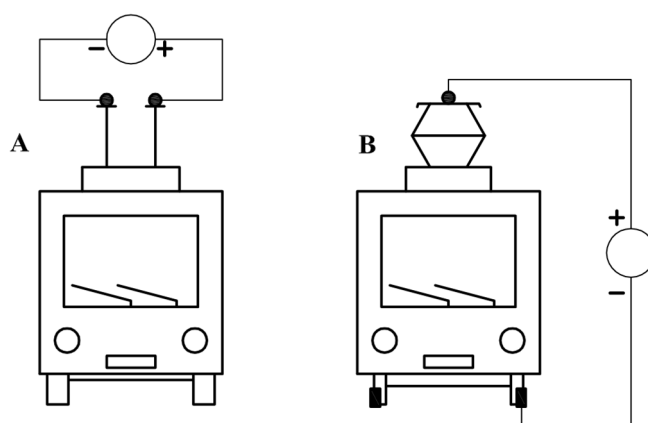
Kromě trolejbusů pro přepravu cestujících je možné se výjimečně setkat také s trolejbusy nákladními. V takovém případě se však již jedná víceméně o nákladní automobil, který ke svému pohybu využívá elektrickou energii z troleje. Nákladní trolejbusy byly často využívány v zemích bývalého Sovětského svazu, je však možné se s nimi setkat i jinde. V západních zemích jsou v posledních letech vyvíjeny nové elektrické nákladní automobily na principu trolejbusu (tedy napájené z horního trolejového vedení, ale i spodního). [24][25]

1.4 Napájení tramvají a trolejbusů

Napájení tramvajových a trolejbusových vozidel je standardně řešeno pomocí vrchního trolejového vedení. Jedná se o typ trakčního vedení, které spolu s napájecími kabely, měnícími a dalším příslušenstvím slouží k přívodu elektrické energie pro kolejová vozidla (např. tramvaje) nebo trolejbusy.

Jak již bylo zmíněno v předešlé části práce, tramvaje využívají pro napájení zpravidla sběrač z jednovodičového vrchního trolejového vedení. Trolejové vedení zajišťuje přívod stejnosměrného napětí a představuje kladný pól a koleje představují záporný pól. [4][26] Trolejbusy pro napájení využívají zpravidla sběrače z dvouvodičového vrchního trolejového vedení. I tady trolejové vedení zajišťuje přívod stejnosměrného napětí, přičemž jeden vodič představuje kladný pól a druhý vodič záporný pól (rozteč činí 600 mm). [6][26] Zjednodušený princip přívodu elektrické energie je patrný z obrázku 4.

Obrázek 4 - Princip napájení trolejbusu (A) a tramvaje (B) [26]



Výška trolejového vedení nad zemí je stanovena podle normy ČSN 34 1530 v rozmezí výšek 5,10 m až 6,0 m nad zemí. Tyto hodnoty však není v řadě míst městského prostředí možné dodržet. Z toho důvodu je možné se poměrně často setkat se sníženou výškou trolejového vedení pod 5 m (např. pod mosty či v tunelech).

Zavěšení trolejového vedení je povětšinou uskutečňováno prostřednictvím samostatných stožárů. Jejich existence přispívá k tzv. „vizuálnímu smogu“. V centrech měst či místech s hustou blokovou zástavbou pak bývá využíváno zavěšení trolejového vedení prostřednictvím úchyťů zabudovaných do okolních domů. Jedná se o starší řešení, kde sice odpadá problém s výstavbou samostatných stožárů, avšak výsledný vizuální rušivý vliv trolejového vedení přetrvává.

Nezřídkou je též možné se v městském prostředí setkat s kombinací obou výše uvedených typů zavěšení trolejového vedení, neboť prostorové uspořádání nedovoluje využít pouze jednoho či druhého způsobu zavěšení.

2 Posuzovaná kritéria

Městská hromadná doprava ovlivňuje osídlené území a je zároveň i daným územím ovlivňována. Ve vztahu k území působí jako složka spojující i rozdělující. Má význam urbanistický, společenský, ekonomický i ekologický. [27]

Na základě výše uvedených oblastí, do kterých se v rámci městské hromadné dopravy přímo promítá problematika tramvajové a trolejbusové dopravy, byla pro následující část práce zvolena pětice témat, která jsou na následujících stránkách podrobněji rozepsána.

2.1 Obecné porovnání tramvajové a trolejbusové dopravy

Předtím než bude hovořeno o konkrétních oblastech, kterých se problematika tramvajové a trolejbusové dopravy dotýká, by bylo vhodné uvést komplexnější porovnání těchto druhů veřejné dopravy. Ke vzájemnému srovnání lze připojit i dopravu autobusovou, neboť ta je ze své podstaty nejen jejich doplněním, ale též i přímým konkurentem.

Možností porovnávání výše zmíněných druhů dopravy je nespočet. Pro zjednodušené srovnání, které je možné vidět v tabulce 3, byla zvolena objektivní kritéria, jenž jsou v souvislosti se všemi třemi druhy dopravy úzce spojena a často skloňována nejen v médiích, ale také i mezi odborníky. Srovnání přepravní rychlosti a jejich přepravních kapacit bylo uvedeno již v tabulkách 1 a 2 v předešlé části práce.

Tabulka 3 - Základní porovnání autobusu, trolejbusu a tramvaje [4][5][6][7][8]

Kritérium	Autobus	Trolejbus	Tramvaj
Potřebná infrastruktura	Minimální investice, využívá již existující infrastrukturu	Investice do trolejového vedení a jeho příslušenství	Značná investice do vybudování trati a jejího příslušenství
Životnost infrastruktury	Závisí na více faktorech	40 a více let	40 a více let
Cena vozidel	Relativně nízká	V porovnání s autobusem vyšší	Vyšší v porovnání s oběma typy
Životnost vozidel	8-10 let	15 a více let	30 a více let
Dojezd	Dán spotřebou a objemem nádrže	Závislost na trolejovém vedení	Závislost na trolejovém vedení
Ochrana životního prostředí	Přímý producent všech typů škodlivin	Teoreticky nulové přímé emise	Teoreticky nulové přímé emise
Stoupání	Problematická vysoká stoupání	Zvládá dobře i vysoká stoupání	Omezení pro vysoká stoupání
Bezpečnost provozu	Standardní, vychází z jeho principu	Velmi podobná autobusu	Vysoká, dána konstrukcí vozidel
Bezpečnost cestujících	Standardní, vychází z jeho principu	Velmi podobná autobusu	Vysoká, dána konstrukcí vozidel

Všechny zmíněné druhy dopravy zároveň umožňují uspokojování poptávky obyvatel po přepravě mezi různými aktivitami (např. bydlení, práce, vzdělání, kultura atp.) a také mají jinou preferenci u cestujících. Tyto kategorie, ač jsou důležitou součástí při diskusi, nejsou obecně srovnatelné, neboť vychází z faktorů, které jsou specifické pro každou jednotlivou lokalitu.

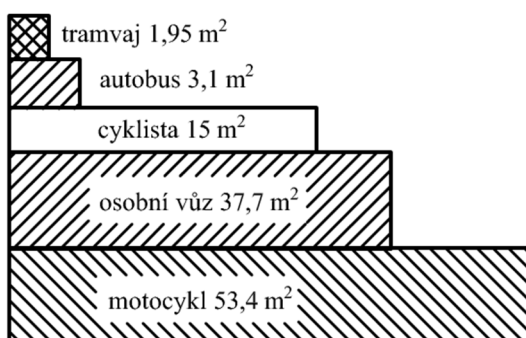
U tramvajové i trolejbusové dopravy je značně ovlivňujícím faktorem nutnost výstavby infrastruktury (trolejové vedení, měnírny, koleje atp.). Ačkoli je, jak je možné vidět v tabulce 3, životnost těchto součástí až několik desetiletí, představují nemalou váhu při rozhodování o zavádění těchto druhů dopravy do nových lokalit. Spolu s náklady na pořízení vozidel se jim je blíže věnováno v následující kapitole. V kapitole 2.4 je pak probrána otázka vstupu této potřebné infrastruktury do městského prostředí z urbanistického hlediska.

Z hlediska technické konstrukce jsou zejména tramvajová vozidla a jejich prostupnost terénem limitována, kromě nutnosti přítomnosti kolejového tělesa, adhezními podmínkami, jelikož styk kola s kolejnicí je při stoupání (nejvýše 70 ‰ [8]) schopen přenášet, v porovnání s trolejbusy a autobusy, menší síly v tečném směru. V tomto ohledu získávají přednost zejména trolejbusy. Ty jsou schopné využít výhod konstrukce silničního vozidla (autobusu) a zároveň lepších charakteristik trakčního motoru.

V otázce bezpečnosti provozu a cestujících, kde se trolejbusy pohybují na podobné úrovni jako autobusy, získávají značný náskok naopak tramvaje. Díky předvídatelné dráze pohybu vozidel, vycházející z pevné jízdní dráhy, usnadňují orientaci ostatních účastníků provozu (i chodců). Technická konstrukce vozidel pak zajišťuje velmi dobrou ochranu cestujících při případné nehodě.

Doposud nezmíněným kritériem však zůstal zábor veřejného prostoru. Ve prospěch vozidel MHD, tedy i tramvaje a trolejbusu, mluví průkazně obrázek 5, kde je znázorněna potřebná plocha podle zkušenosti z provozu ve světě v porovnání s ostatními běžně se vyskytujícími druhy individuální dopravy ve městě. [12] Ačkoli trolejbusy nejsou ve srovnání přímo zahrnuty, hodnota záboru se pohybuje zhruba na půl cesty mezi tramvají a autobusem.

Obrázek 5 - Velikost potřebné plochy ulice na jednoho cestujícího [12]



2.2 Ekonomické hledisko

Jednou z nejdůležitějších a nejdiskutovanějších stránek při přemýšlení o tramvajových či trolejbusových provozech je stránka ekonomická. Při projektování nových tratí je nutné brát v potaz nejen vhodnost jejich umístění v rámci občanské dostupnosti, ale také nutné stavební zásahy a to nejen primární (kolejiště, trolejové vedení atp.), ale i sekundární (přizpůsobení již existující infrastruktury atp.). Samozřejmě též není možné opomenout investice do nákupu nových vozidel. Další, de facto navazující kategorií, jsou náklady na provoz již existujících tratí a vozidel.

V následující kapitole je zhruba – jelikož není předmětem této práce – nastíněna finanční problematika v rámci tramvajové a trolejbusové dopravy, která je, pro přehlednost, rozdělena do dvou dílčích podkapitol na investiční náklady a provozní náklady.

2.2.1 Investiční náklady

Rozvoj tramvajové a trolejbusové dopravy je omezen především velikostí vstupních nákladů, jež jsou vynaloženy do vybudování potřebné infrastruktury. Tou je myšlen především tramvajový pás, měničny, trolejové vedení a jeho sloupy, obratiště, ale i zastávky či zázemí pro údržbu a odstávku vozidel. Na investicích se často podílí nejen města, ale i stát.

2.2.1.1 Tramvajová doprava

Průměrné náklady na vybudování jednoho kilometru nové tramvajové trati se pohybují nad hranicí 100 mil. Kč, což jen potvrzuje skutečnost, že je tento druh kapacitní dopravy vhodný především pro spojení hustě osídlených míst se silnou dopravní zátěží. Výsledná cena je však ovlivněna prostředím, kterým má daná trať procházet. V tabulce číslo 4 je možné vidět příklady investic do výstavby tratí nových či rekonstrukcí již existujících ze současné doby.

Tabulka 4 - Příklady investic do tramvajových tratí [28]

Město	Délka [km]	Výstavba [Kč]	Poznámka
Brno	0,912	1 162 500 000	Nová trať, tunel, 3 zastávky, vybavení
Olomouc	0,4	40 300 000	Modernizace trati, zastávka, vybavení
Ostrava	0,41	98 500 000	Rekonstrukce a výstavba, vybavení
Plzeň	1,39	128 200 000 23 200 000	Pouze nová tramvajová trať Pouze nové trolejové vedení

Investiční náklady do nákupu nových vozidel se pak odvíjí podle výrobce, konstrukce a požadavků na výbavu (např. klimatizace). Celkově je však možné říci, že cena nové tramvaje se pohybuje v řádech desítek milionů Kč za jeden vůz či soupravu, což je několikanásobně více, než jaká je cena trolejbusu nebo autobusu. Svou životností však své konkurenty předčí.

2.2.1.2 Trolejbusová doprava

Průměrné náklady na vybudování jednoho kilometru nové trolejbusové trati se pohybují nad 25 mil. Kč. Výrazně nižší cena je dána skutečností, že v případě výstavby trolejbusové tratě je řeč „pouze“ o vybudování trolejového vedení a příslušného zázemí. Konečná cena je však také ovlivněna prostředím a dalšími faktory. V tabulce číslo 5 je možné vidět příklady investic do výstavby nových trolejbusových tratí ze současné doby.

Tabulka 5 - Příklady investic do trolejbusových tratí [28]

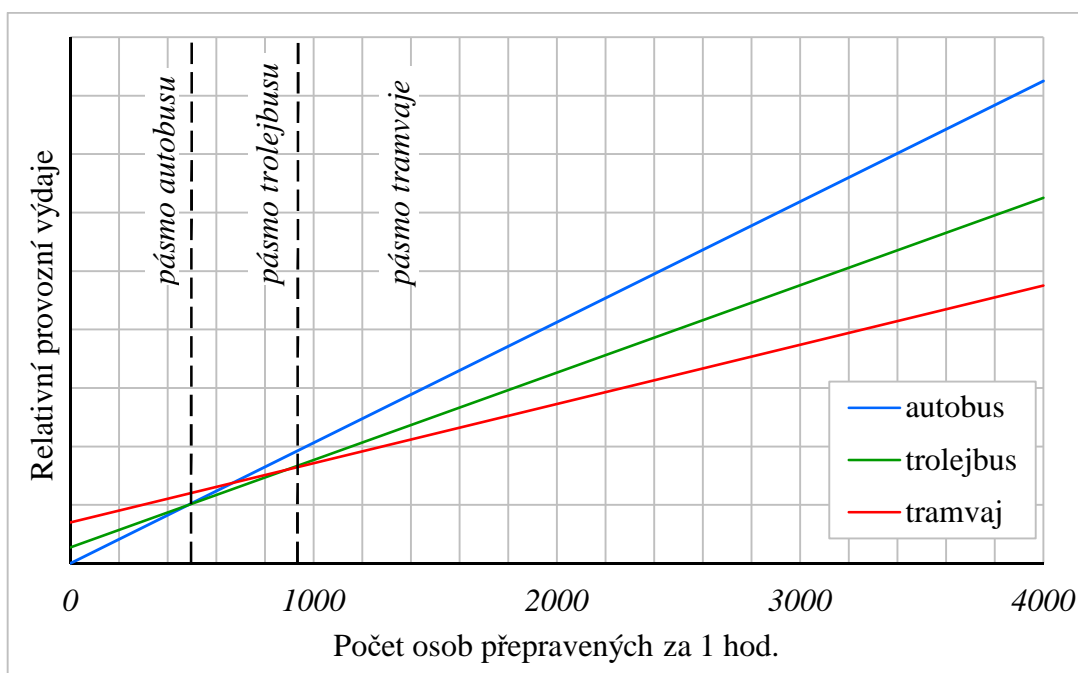
Město	Délka [km]	Výstavba [Kč]	Poznámka
Brno	1,6	46 400 000	Trolejové vedení
		25 800 000	Kabelové vedení
		20 900 000	Měničárna
Jihlava	2,1	18 500 000	Výstavba celkem

Investiční náklady do nákupu nových vozidel se, stejně jako je tomu u tramvají, odvíjí podle výrobce, konstrukce a požadavků na výbavu. Obecně je však možné říci, že cena nového trolejbusu se pohybuje kolem deseti až patnácti milionů Kč za jeden vůz. [29]

2.2.2 Provozní náklady

Užití toho či onoho typu dopravy záleží, kromě investic do vybudování dopravních cest, i na ekonomii provozu. Na obrázku 6 je vidět srovnání ekonomie provozu jednotlivých typů dopravy v závislosti na počtu přepravených osob.

Obrázek 6 - Provozní výdaje pro vozidla MHD v závislosti na přepravených osobách [12]



Z předchozího obrázku je patrné, že pásma, ve kterých jednoznačně dominuje autobus, respektive trolejbus jsou poměrně úzká. Při celkovém porovnání je však zřejmé, že trolejbusová doprava je v těsném závěsu za dopravou tramvajovou. Pokud by bylo stejné srovnání provedeno v závislosti celkových nákladů na ujetých kilometrech, byl by průběh obdobný. Ačkoli tedy mají tramvaje i trolejbusy vyšší počáteční (investiční) náklady, je možné hovořit o tzv. „investici do úspor“. [30]

Při srovnání tramvajové a trolejbusové dopravy s ostatními druhy městské pozemní dopravy vychází pro oba nižší náklady na hodinu provozu. U trolejbusů je pak možné nejvíce využít výhod elektrické trakce, která si mnohem lépe poradí s městským provozem, kde se průměrná přepravní rychlost pohybuje kolem $15 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ kvůli častým rozjezdům, brždění a zastavování. [30]

V neposlední řadě je též výhodné tzv. „sjednocení účtů“. Přestože dopravní podniky dosahují na nižší ceny pohonných hmot (nafty) než maloodběratelé, je možné v případě rozšíření působnosti elektrické trakce ušetřit díky lepším cenám za elektrickou energii.

2.3 Ekologické hledisko

V posledních desetiletích nabývá, zejména v souvislosti s dopravou, na vážnosti téma ekologie. Celkový rozvoj průmyslu a dopravy ve 20. století zapříčinil velké rozšíření městské hromadné dopravy a především rozmach individuální automobilové dopravy. V rámci měst jsou nejčastěji skloňovanými ekologickými problémy dopravy emise, hluchnost a vibrace.

Emise by bylo možné definovat jako látky, které jsou vypouštěny do ovzduší. S pojmem emise je pak velmi často spojován smog, kterým se dříve označovala směs kouře a mlhy (slovo smog vychází ze spojení anglických slov pro kouř a mlhu: *smoke* a *fog*). Dnes je však používám tento termín obecně pro znečištěné ovzduší. [31] Emise výfukových plynů mají neblahý vliv na živé organismy.

Hluk je možné definovat jako nežádoucí zvuk. Je charakterizován spojitým akustickým spektrem, kmity mnoha frekvencí i některými neperiodickými kmity. Budí nepříjemné pocity, má negativní psychologické účinky a poškozuje zdraví. [31][32] Problematika hluku je pak úzce spjata s problematikou nežádoucích vibrací.

Snahou měst je v současné době posílit význam ekologičtější hromadné dopravy a omezit individuální automobilovou dopravu, jež je významným producentem škodlivých emisí. V tomto ohledu se často hovoří o rozšiřování tramvajových a trolejbusových tratí, budování zcela nových úseků a návratu elektricky poháněných vozidel do různých měst.

Následující kapitoly se věnují popisu emisí, hluku a vibrací, jejich vzniku a následně jejich vztahu k tramvajové a trolejbusové dopravě.

2.3.1 Emise

U vozidel se spalovacím motorem dochází během spalování směsi paliva a vzduchu, v ideálním případě, ke vzniku oxidu uhličitého (CO_2) a vody (H_2O). Při nedokonalém spálení směsi je možné ve výfukových plynech objevit oxid uhelnatý (CO) a vodík (H_2). U motorů vznětových, jimiž jsou dnes prakticky výhradně poháněny autobusy, je pak ve výfukových plynech vždy obsažen kyslík (O_2), jelikož vznětové motory pracují s přebytkem kyslíku. [33]

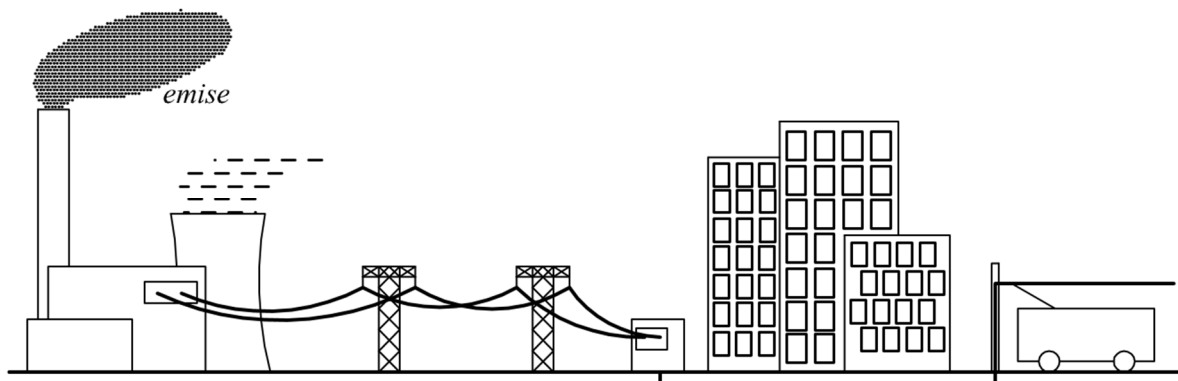
Při nevhodné teplotě spalin však u motorů vznětových dochází ke vzniku nežádoucích oxidů dusíku (NO_x), zejména oxidu dusnatého (NO), ale také oxidu dusného (N_2O) a oxidu dusičitého (NO_2). V případě nesprávné oxidace vznikají nespálené uhlovodíky (HC). Pokud není zajištěn dokonalý přístup vzduchu ke směsi, dochází též ke vzniku sazí, které tvoří podstatnou část výfukových plynů (PM , z anglického slovního spojení *Particulate Matter*). Je-li v palivu obsažena síra, dochází též i ke vzniku oxidů síry. [33] Všechny jednotlivé druhy emisí, včetně jejich účinků na lidský organismus, jsou blíže rozepsány v příloze 1.

Tyto emise působí škodlivě zejména v prostředí se silným provozem, kde neprobíhá dostatečná cirkulace vzduchu a je umožněna jejich kumulace. Typicky městské aglomerace.

Na rozdíl od vozidel vybavených spalovacími motory, které jsou významnými producenty emisí, je možné tramvaje a trolejbusy do určité míry považovat za čisté, prakticky bezemisní dopravní prostředky, neboť nejsou primárními producenty škodlivých výfukových plynů vznikajících spalováním fosilních paliv i biopaliv.

Jelikož se jedná o elektrická trakční vozidla, při provozu v městském prostředí nedochází k produkci oxidu uhličitého, oxidu uhelnatého, oxidů dusíku, oxidů síry ani nespálených uhlovodíků. Výroba elektrické energie je však z velké části závislá na využívání neobnovitelných zdrojů energie (u nás zejména hnědého uhlí [34]). U tramvajové a trolejbusové dopravy lze tedy hovořit o tzv. nepřímé produkci emisí (viz obrázek 7).

Obrázek 7 - Schéma vzniku nepřímých emisí (vlastní zpracování)



U tramvajové a trolejbusové dopravy jde vlastně o přenesení zdroje znečištění mimo silně obydlená místa (tj. městské aglomerace). Ačkoli se toto řešení může jevit jen jako odsunutí problému mimo města, je výhodné využívat možnosti energetického mixu, tedy užití vícero druhů způsobu výroby elektrické energie (např. v ČR: uhlí 47 %, jádro 35 %, obnovitelné zdroje 7 % [34]) určené pro provoz vozidel. Kromě elektráren neprodukujících prakticky žádné škodlivé emise (typicky jaderné [35] nebo využívající obnovitelné zdroje) mají velké tepelné elektrárny navíc lépe vyřešeny způsoby čištění škodlivin a umožňují též mnohdy využívat přebytečné teplo vznikající při spalování pro vytápění domácností a dovolují tím lepší využití energie uvolněné z paliva. [36] Navíc bývají umístěny v blízkosti zdrojů paliva, takže odpadají z velké části emise spojené s jeho dopravou.

Do budoucna je též záměrem Evropské unie, a jejích členských států, stále větší využívání obnovitelných (nefosilních) zdrojů pro získávání elektrické energie (např. větrná energie, solární energie, hydroelektrická energie, atd.). Aktuálním, a velmi ambiciózním, plánem Evropské unie je do roku 2030 dosáhnout alespoň 27 % podílu obnovitelných zdrojů na výrobě elektrické energie na celkové spotřebě energie. [37] V České republice se v současné době podíl obnovitelných zdrojů energie na výrobě elektrické energie pohybuje kolem 11 %. [38]

U pevných částic je možné oba typy dopravy, jak tramvaje, tak i trolejbusy, považovat za částečné přímé producenty. Ačkoli ani jeden z druhů neprodukuje přímo pevné částice v kategoriích, které jsou pro člověka nebezpečné, můžeme se u nich standardně s pevnými částicemi setkat.

Běžným provozem dochází u trolejbusu k produkci prachových částic vlivem styku pneumatik s vozovkou. Jedná se však o velmi malé množství. Tento problém u tramvají prakticky neexistuje, neboť styk s kolejnicí je možné považovat za čistý. Při zhoršených adhezních podmínkách, typicky rozjezdu či brždění, je však u tramvají užíváno pískování. Jako média pro zvýšení adhezního součinitele se užívá suchý křemičitý písek. [39] Nadměrným používáním pískování v určitých lokalitách (např. zastávky ve svahu) dochází ke vzniku polétavého prachu, který způsobuje viditelné znečištění okolí a při vdechnutí člověkem způsobuje dočasné podráždění dýchacích cest.

Kromě vlivu na člověka má však také nadužívání pískování neblahý vliv na bezpečnost provozu, jelikož může způsobovat například poškození kol či elektrovýzbroje vozidel.

2.3.2 Hluk a vibrace

Hluk neboli obtěžující zvuk a vibrace jsou v životním prostředí velmi proměnlivé. Jejich šíření je ovlivněno místem vzniku a přílehlým okolím. V současné době se hluk stává jedním z výrazných faktorů ovlivňujících naše životní prostředí a to nejen ve městech. Původem je dnes kolem 85 % hluku způsobováno dopravou. [31][40] Současná legislativa již na ochranu před hlukem a vibracemi pamatuje a je zakotvena v zákoně č. 258/2000 Sb. *o ochraně veřejného zdraví*. Maximální dovolená zátěž hlukem a vibracemi je stanovena nařízením vlády č. 272/2011 Sb. *o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací*.

Hlavním zdrojem hluku je doprava silniční, jejíž množství každým rokem stoupá. V návaznosti na to pak doprava kolejová, se kterou je možné se též plošně setkat. Letecká a lodní doprava činí zátěž spíše minoritní v porovnání s prvními dvěma druhy dopravy. [40]

2.3.2.1 Vnější a vnitřní hluk

Hlukové znečištění, jež je dopravou generováno, je možné rozdělit do dvou kategorií.

Vnitřní hluk

Jedná se o hluk působící uvnitř daného dopravního prostředku. Jsou mu vystaveni řidič vozidla a posádka (cestující). Jeho intenzita udává komfort vozidla a měla by se pohybovat pod úrovní hladiny dorozumívání. [32]

Vnější hluk

Jedná se o hluk působící na okolí daného dopravního prostředku. Jsou mu vystaveni všichni obyvatelé nacházející se podél pozemních komunikací. Dovolené limity jsou definovány v rozličných normách a též i předpisech (viz výše). [32]

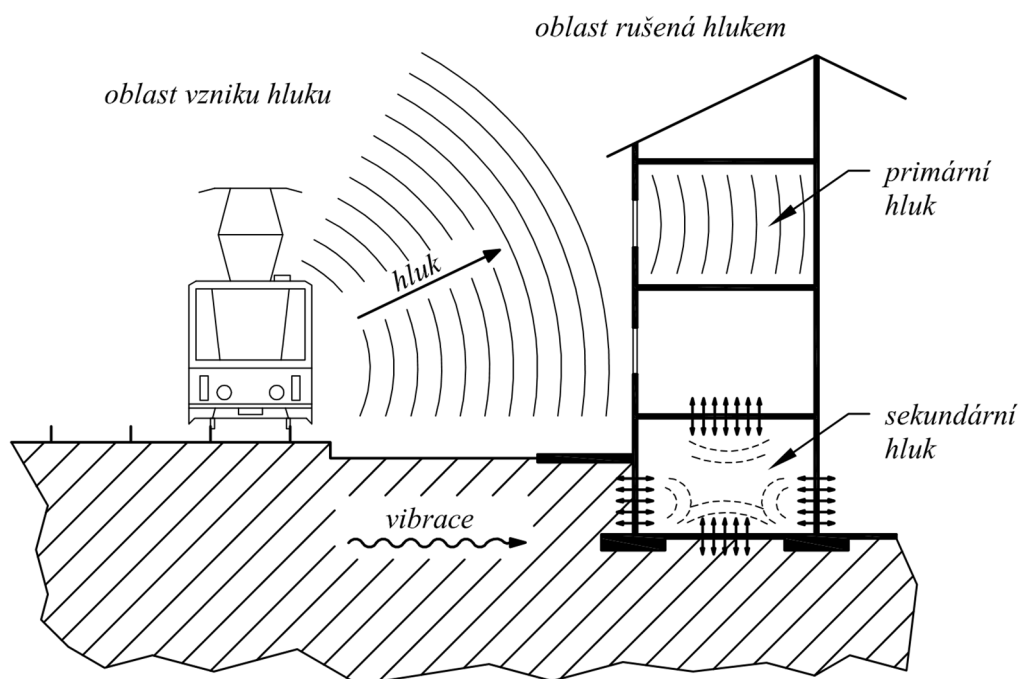
2.3.2.2 Hluk v tramvajové a trolejbusové dopravě

Oproti automobilové a autobusové dopravě má trolejbusová doprava menší vnitřní i vnější hlučnost i menší vnější vibrace a nezatěžuje tedy tolik své okolí. Zdrojem hluku je v případě trolejbusu zejména kontakt s vozovkou a přenosové a pomocné systémy (hnací ústrojí, ventilace, klimatizace). V porovnání s velmi blízkými autobusy je však produkce obtěžujícího zvuku z hnacího ústrojí výrazně nižší a díky celkové menší hmotnosti též i od vozovky. Těchto výhod je možné využít nejen například ve městech lázeňských. [6][40]

Doprava tramvajová je též značným producentem hlukového zatížení a nežádoucích vibrací. Stejně jako u trolejbusu jsou i u tramvaje zdrojem hluku přenosové a pomocné systémy a dále pak hluk z pohybu kola po kolejnici. U soupravy převažuje ve vnějším prostoru při rozjezdu a malých rychlostech hluk generovaný hnacím ústrojím a pomocnými zařízeními. Při rychlostech od cca 20 km.h⁻¹ začíná převažovat hluk vnikající kontaktem kola

a kolejnice. Jedná se o nejvýznamnější složku hluku u kolejových vozidel. Pohybem soupravy po kolejnici též dochází k významnému vzniku vibrací, jež mimo jiné působí negativně na obyvatele a poškozují též blízké stavby (viz obrázek 8). [41]

Obrázek 8 - Šíření hluku z městské kolejové dopravy [42]



Z důvodu tlumení vibrací a celkového snižování primárního i sekundárního hluku jsou přijímána stavebně konstrukční opatření. Ta spočívají v navrhování vozidel tak, aby produkovala co nejméně hlukového znečištění a budování tratí se speciálními prvky či opatřeními tlumící hluk a vibrace přímo v místě jejich vzniku. Jedná se například o pravidelné broušení kolejnic (až -10 dB), zatravnění tramvajového pásu (až -4 dB), pokládání antivibračních rohoží pod těleso tratě (až -40 %) anebo instalací bokovnic (až -5 dB). [41][43]

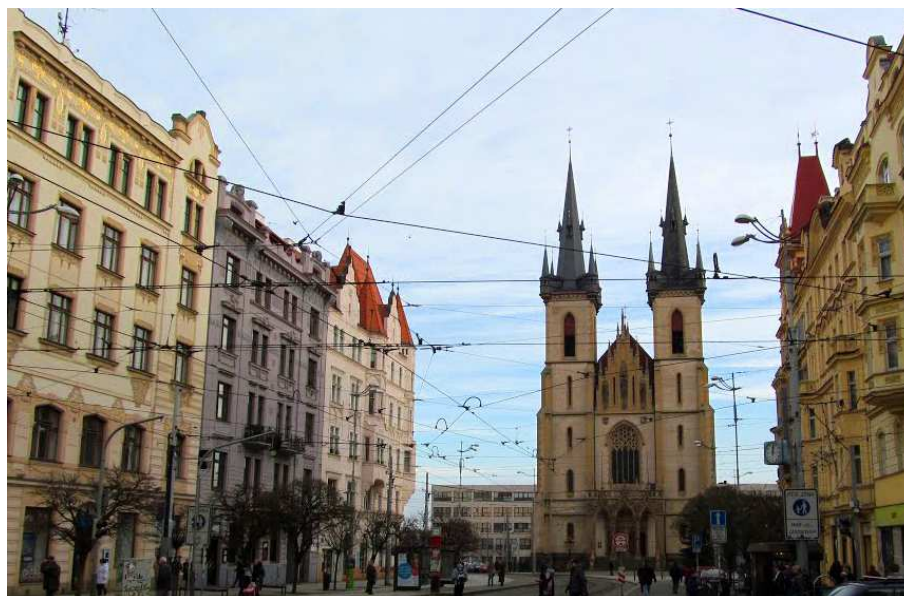
2.4 Urbanistické hledisko

V první řadě je třeba definovat pojem urbanismus. Urbanismus by bylo možné charakterizovat jako architektonickou disciplínu, jejímž úkolem je navrhování celých sídelních útvarů (měst, vesnic) jako funkčních a vyvážených celků. Zabývá se tvorbou a regulací vývoje měst a směřuje k harmonickému uspořádání území. [31][44]

Tramvajové a trolejbusové tratě představují významný zásah do architektonického charakteru města. V případě obou typů dopravy představuje onen problematický prvek především trolejové vedení. Zejména v centrech historických měst znehodnocuje architektonickou čistotu městského parteru a celého veřejného prostoru. [6] Příkladem může být třeba tramvajová křižovatka tzv. „těšnovského typu“ nacházející se v Praze na Strossmayerově náměstí, kterou je možné vidět na obrázku 9. Kromě estetického hlediska

může též trolejové vedení způsobovat problémy při jeho instalaci na složitých křižovatkách a hlavně pak v úsecích, kde se přepravují rozličné nadměrné náklady. [6]

Obrázek 9 - Příklad zavěšení trolejového vedení (Strossmayerovo náměstí, Praha) [45]



V této kapitole jsou popsána možná provedení pro historická jádra měst, kde jsou nároky na vizuální čistotu veřejného prostoru nejvyšší.

2.4.1 Napájení tramvají bez trolejí

Již v počátcích zavádění tramvajového provozu, tedy ke konci 19. století, byla položena otázka, jakým způsobem má být uskutečňován přívod elektrické energie. Díky mnoha faktorům (např. ochrana obyvatel, snazší technické provedení) zvítězil horní přívod prostřednictvím trolejového vedení umístěného nad vozovkou. Myšlenka napájení tramvají bez nutnosti budování vrchního trolejového vedení však pochází už z této doby.

Spodní přívod elektrické energie byl v 80. letech 19. století prvně instalován například v Paříži, Budapešti či několika amerických městech. Princip spočíval v uložení vedení do kanálu pod jednou z kolejnic, do kterého škvírou zasahovalo tyčové smýkadlo. Vlivem častých poruch, zejména při dešti a sněhu, od něj ale bylo brzy upuštěno. Za zmínku stojí projekt Františka Křížíka, jenž mezi léty 1903 až 1905 vytvořil speciální spodní napájení pro provoz tramvají na Karlově mostě z důvodu nemožnosti zbudování zavěšených trolejí. [46]

Vývoj techniky napájení elektrických kolejových vozidel však značně pokročil a dnes je možné se opět setkávat se systémy pro spodní přívod elektrické energie. V zásadě je možné se v dnešní době setkat se dvěma typy provedení.

2.4.1.1 Spodní přívod pomocí samostatné napájecí koleje

Prvním typem je systém APS (z francouzského: *Alimentation par le sol*; česky: *napájení ze země*), fungujícím od roku 2003 ve městě Bordeaux, od firmy Alstom. Tento systém využívá inovovaného spodního přívodu napětí z prostřední, napájecí koleje. Ta je rozdělena na 22 m dlouhé proudové úseky, jež jsou vystřídány 11 m dlouhými izolovanými pásy. Spínače zabudované v kolejišti a řízené rádiovým signálem vozidla přivedou proud do napájecí sekce jen v okamžiku, kdy je bezpečně zakryta projíždějící jednotkou. Spodního přívodu se využívá v úseku procházejícím centrem města a nedochází tak k významnému narušení čistoty veřejného prostoru. Mimo tyto úseky je vybudováno klasické vrchní trolejové vedení a tramvaj odebírá proud prostřednictvím vrchního sběrače. [46][47]

Systém APS byl později zaveden i v dalších městech. Jedním z nich se v roce 2013 stalo také například západofrancouzské Tours, kde je možné se s ním setkat na nově vybudované tramvajové lince. Z celkové délky 14,8 km je spodní přívod zřízen v úseku o délce 1,9 km procházejícím středem města. Provedení úseku bez vrchního trolejového vedení je možné vidět na obrázku 10.

Obrázek 10 - Příklad úseku se spodním přívodem napájení (Tours, Francie) [47]



I přes jisté problémy, jaké sužovaly už o více než sto let dříve inženýry v Paříži, a značnou finanční náročnost takového řešení se ve vývoji i nadále pokračuje. [46]

2.4.1.2 Bezkontaktní indukční napájení

Novinkou na poli přívodu elektrické energie pro tramvajová vozidla bez využití vrchního trolejového vedení je bezkontaktní indukční napájecí systém PRIMOVE od firmy

Bombardiér. Prvně bylo možné se s tímto systémem ve východoněmeckém městě Bautzen, kde probíhalo od konce roku 2009 testování v běžném provozu. [46][48]

Indukční napájecí systém PRIMOVE vychází z principu běžného elektrického transformátoru. Kabelová smyčka ukrytá pod betonovými deskami nacházejícími se mezi kolejnicemi nahrazuje primární cívku (viz obrázek 11). Magnet spolu se sekundárním vinutím, v němž se indukuje proud pro pohon vozidla, je zabudován, spolu s elektroinstalací, v rámu pod jeho podlahou. Na střeše vozidla jsou umístěny rekuperační akumulátory, které se při delším stání (v zastávkách) dobíjí a slouží též ke skladování elektrické energie získané rekuperací (při brždění). [46][48]

Obrázek 11 - Indukční segment zabudovaný v kolejišti [48]



Tento způsob napájení může, dle výrobce, nalézt uplatnění u lehkých příměstských jednotek či u metra. Systém však není limitován pouze užitím u kolejových vozidel, ale je možné ho úspěšně modifikovat i pro napájení jiných vozidel, například elektrobuseů. [48]

2.4.1.3 Provoz na baterii

Eliminace vrchního trolejového vedení lze dosáhnout i bez budování systémů zajišťujících napájení tramvají prostřednictvím spodního vedení či indukce. Stále oblíbenějším řešením se v posledních letech stává, v rámci vzestupu elektromobility, provoz na baterie.

Stejně jako ve výše zmíněných provedeních je i v tomto případě počítáno s vrchním trolejovým vedením v oblastech mimo centrum města, kde provoz nebude zajišťován bateriemi. Jedním z prvních výrobců dodávajících tramvaje schopné v určitém úseku provoz na baterie byl už na konci minulého desetiletí Siemens. [49] Vzdálenost, po kterou je možné

provozovat tramvajové vozidlo bez napájení ze sítě, se liší podle užitých baterií (například pro tramvaj ForCity Classic udává její výrobce Škoda dojezd až 15 km na jedno nabití [50]).

Užitím baterií dochází sice k ušetření nákladů za vybudování infrastruktury, na druhou stranu je však nutné počítat s omezenou životností dnešních baterií.

2.4.2 Napájení trolejbusů bez trolejí

U trolejbusů je problematika možného spodního napájení složitější, neboť v drtivé většině případů nemají pevnou jízdní dráhu. Spodní přívod proudu pomocí třetí, napájecí koleje není možné v případě trolejbusu realizovat a celkově po dlouhou dobu neexistovalo řešení tohoto problému.

V dnešní době existují v zásadě dva typy řešení provozu trolejbusu bez nutnosti vybudování vrchního trolejového vedení. Starším provedením jsou tzv. duobusy, novějším pak parciální trolejbusy.

2.4.2.1 Duobus

Hybridním trolejbusem neboli duobusem je možné nazvat trolejbus, který kromě elektrické výzbroje obsahuje i dieselaagregát. [6] Alternativní pohon trolejbusu umožňuje jízdu v prostředí bez trolejového vedení a stává se z něj prakticky autobus.

V případě, že se jedná pouze o pomocný pohon, jsou jízdní vlastnosti vozidla limitovány. Pokud je však trolejbus vybaven plnohodnotným alternativním pohonem, rozdíly mezi autobusem a takovýmto hybridním trolejbusem se prakticky stírají.

Výhod spalovacího motoru je možné využít pro koncové úseky linek na okrajích měst, kam nezajíždí každý spoj dané linky, anebo v případě příměstských linek, kde by bylo nákladné vybudovat dopravní cestu pro klasický trolejbus (provoz ve městě zajišťuje elektromotor a mimo město spalovací motor).

Problematická je však skutečnost, že se ve vozidle nachází paralelně dva odlišné systémy, což zapříčiňuje problémy nejen s dvojitou údržbou. Je tedy možné říci, že duobusy „trpí neduhy“ plynoucí právě z této duality. I proto je možné se s tímto typem vozidel setkávat jen výjimečně.

2.4.2.2 Parciální trolejbus

Parciálním trolejbusem se rozumí trolejbus, u něhož probíhá z větší části provoz závislý na troleji a z menší části je mu umožněn provoz na trakční baterii. Spolu s tímto pojmem je možné se v současné době setkávat s označením dynamický elektrobus. Jak ve svém periodiku definoval oba pojmy Dopravní podnik Hlavního města Prahy je vidět v tabulce 6.

Tabulka 6 - Rozdíl mezi parciálním trolejbusem a dynamickým elektrobusem [51]

Označení	Trolej	Baterie
Konvenční trolejbus	100 % jízdy	-
Parciální trolejbus	70-90 % jízdy	10-30 % jízdy
Dynamický elektrobus	10-30 % jízdy	70-90 % jízdy
Statický elektrobus	-	100 % jízdy

Prvním městem, kde byl provoz trolejbusu s trakční baterií testován, bylo německé město Eberswalde. [52] Po úspěšných testech začalo být na tento koncept pohlíženo jako na možné řešení pro úseky a lokality, kde by vybudování vrchního trolejového vedení zapříčinilo znehodnocení architektonických kvalit, anebo by jeho vybudování nebylo možné z jiných důvodů (například složité křižovatky).

Doba jízdy, po kterou je možné využívat energii nashromážděnou v bateriích, závisí na konstrukci vozidla a hlavně konstrukci baterií, respektive na jejich kapacitě. Výhod parciálního trolejbusu je možné, stejně jako u duobusu, využít u koncových úseků linek na okrajích měst, ale také pro čistý provoz v jejich centrech. Samozřejmě jde i o značnou výhodu v případě překážky na pozemní komunikaci, neboť vozidlo může využít objízdné trasy, kde se trolejové vedení nenachází.

Na první pohled je zřejmé, že je takto možné ušetřit i na výstavbě trolejového vedení. Nesmí se však opomínat, že ani baterie nejsou řešením dokonalým. Jejich životnost je omezená a je tedy třeba je pravidelně obměňovat. Ne vždy tak v dlouhodobém horizontu platí, že výstavba trolejbusové trati musí vyjít nutně draž než pořízení vozidel s bateriemi. [52]

Prvním městem v České republice, které do svých služeb zařadilo parciální trolejbusy, se v roce 2016 stal Zlín, jenž byl následován například Českými Budějovicemi a v současné době má o vozidla vybavená bateriemi pro provoz mimo trolejové vedení zájem celá řada dalších měst. [52][53]

2.4.2.3 Dynamický elektrobus

Ačkoli by se dynamický elektrobus dal zařadit jako podkategorie parciálního trolejbusu, vedou se na toto téma neustále rozsáhlé diskuse. Dopravní podnik Hlavního města Prahy však jednoznačně stojí za označením dynamický elektrobus pro vozidla, u kterých v současné době testuje jejich možnosti využití v pražské hromadné dopravě (viz tabulka 6).

Dynamický elektrobus využívá po většinu doby své jízdy baterie, avšak ve složitých úsecích – táhlá stoupání – využívá kusé troleje vystavěné jen v tomto úseku. Při cestách do kopce tedy nedochází k nadměrnému zatěžování baterií a motory odebírají proud přímo ze sítě (přičemž baterie se může po dobu připojení k síti i částečně dobíjet). Samotné dobíjení

baterií pak probíhá při obrátovém stání ze statické dobíjecí stanice (či kusé troleje). [51][54] Eliminace rušivého trolejového vedení je tedy v tomto případě možná ve značné části lokalit a to aniž by došlo k omezení vedení linek a dostupnosti veřejné dopravy.

2.5 Možnosti budoucího vývoje

O historii a současnosti tramvajové a trolejbusové dopravy bylo již hovořeno v předešlých kapitolách. Zavádění a zkoušení nových technologií se však nevyhýbá ani tomuto odvětví dopravy.

Kromě možností zavádění nových technologií z oblasti informačních technologií, jako jsou například samořídící vozidla anebo tzv. chytré komunikace, jež umožňují dorozumívání se v reálném čase mezi jednotlivými vozidly účastníckými se silničního provozu s cílem zlepšení celkové plynulosti, efektivnosti a řízení dopravy, jsou z našeho pohledu zajímavé zejména inovace v oblasti využívání nových typů pohonů.

Do kategorie budoucího vývoje je s jistotou možné zařadit vodík, tzv. palivo budoucnosti, na který je už po dlouhou dobu v oblasti dopravy nahlíženo jako na potenciálního nástupce klasického spalovacího motoru. Už dnes je totiž možné se na prvních místech s vodíkovým pohonem u tramvají i trolejbusů setkat. [55][56]

V této kapitole je probrán princip vodíku jako zdroje energie pro dopravu a možná budoucnost směřování tramvajové a trolejbusové dopravy s jeho využitím.

2.5.1 Princip vodíku jako paliva

O využití vodíku coby paliva pro pohon vozidel silniční i kolejové dopravy je slyšet už řádově po desítky let. Neustále je však doprovázeno souslovím „palivo budoucnosti“. [56]

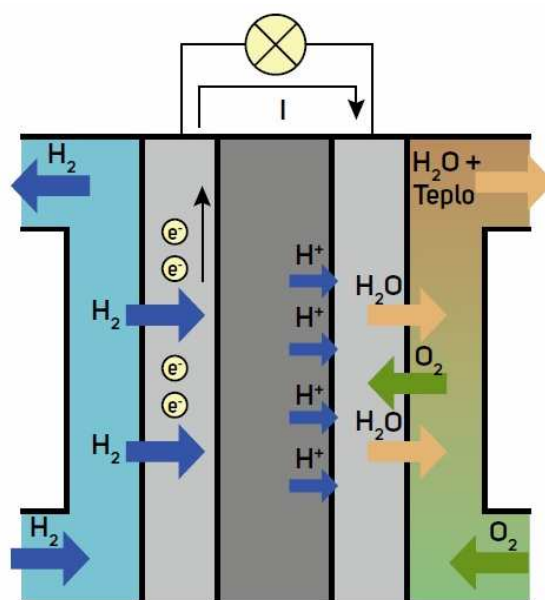
Jako paliva pro pohon vozidel je vodík možné dnes využít dvěma způsoby. Prvním způsobem je využití spalovacího motoru, jenž po úpravě umožňuje spalovat vodík namísto fosilních paliv či biopaliv. Toto řešení je však, mimo jiné, zatíženo produkcí oxidů dusíku, což vyplývá z principu spalovacího motoru.

Druhou možností využití vodíku coby paliva jsou palivové články. Palivový článek je elektrochemické zařízení, jež přeměňuje chemickou energii paliva (vodík) přímo na energii elektrickou bez jakéhokoli mezistupně. K tomu je využíváno kyslíku, který s vodíkem reaguje za vzniku vody a elektrické energie. [57]

Dle dostupných informací byl první palivový článek sestojen již roku 1839, avšak v této době nenašel praktické uplatnění. Doba pro palivové články však nastala o více než sto let později, během 60. let 20. století, v souvislosti s vesmírnými programy NASA. [56] Z pěti odlišných typů, jež byly v průběhu času vyvinuty, jsou pro mobilní použití k pohonu

dopravních prostředků nejvhodnější tzv. nízkoteplotní palivové články s polymerní membránou označované zkratkou PEM (z anglického: *Polymer electrolyte membrane*). Ty přiváděný vodík spalují při teplotách kolem 100 °C přiváděným vzdušným kyslíkem. [57][58]

Obrázek 12 - Zjednodušený princip vodíkového palivového článku PEM [58]



Na obrázku 12 je vidět zjednodušený princip nízkoteplotního palivového článku PEM. Vodík je přiváděn na anodu, kde na vrstvě katalyzátoru dochází k jeho disociaci na kladné ionty a elektrony. Protony prochází polymerní vrstvou, kdežto elektrony jsou přinuceny k cestě vnějším okruhem, ve kterém mohou konat užitečnou práci jako elektrický proud. Na katodě se cyklus uzavírá sloučením dvou protonů, dvou elektronů a atomů kyslíku ze vzduchu přiváděného na katodu. Vzhledem k teplotě odchází reakcí vzniklá voda v podobě páry. [58]

Teoretická účinnost se dle typu a čistoty paliva může pohybovat kolem 80-90 %, na rozdíl od spalovacího motoru, který nemůže z principu přesáhnout účinnost kolem 40 %. V praxi v systému však nevznikají ideální podmínky a reálná účinnost palivového článku dosahuje maximálně 60 %. [57]

Problematickou se však může jevit výroba vodíku, která je poměrně nákladnou záležitostí (jak po stránce finanční, tak i po stránce energetické). V současné době je sice vodík v průmyslu generován jako odpadní látka, jedná se však hlavně o vedlejší produkt zpracování fosilních paliv. [56]

2.5.2 Možnosti využití vodíku u tramvajové a trolejbusové dopravy

S využíváním vodíku jako přímého zdroje energie je dnes možné se relativně často setkat u autobusové dopravy. U tramvajové či trolejbusové dopravy je zatím využívání palivových článků raritní a stále ve fázi testovacích provozů.

Ačkoli jsou palivové články schopné dodávat elektrickou energii přímo do elektromotorů, je toto řešení pro běžný provoz nevhodné. Palivové články totiž dodávají elektrickou energii nepřetržitě, což v případě vozidel, jejichž jízda není kontinuální a zatížení elektromotorů se v průběhu cesty mění, není výhodné. Vhodnějším řešením je tedy vedení generované elektrické energie do baterií, které zároveň dokáží uchovat i energii získanou rekuperací. Elektromotory pak nejsou limitovány množstvím elektrické energie, jež vzniká v člancích a mohou si odebrat potřebné množství právě z baterií. [56]

2.5.2.1 Tramvaje a vodík

Kombinaci klasického napájení z troleje a palivových článků v posledních letech zkouší různí výrobci. Od roku 2011 je možné se s několika zkušebními provozy setkat v Evropě, přesněji ve Španělsku či Belgii. [58]

První plně vodíkové tramvaje je však možné v běžném provozu nalézt v Číně. Ta se vzhledem k silnému znečištění ovzduší snaží využít potenciálu vodíku a je v současné době na poli vodíkových tramvajů průkopníkem.

Ve spolupráci s českou firmou Škoda Transportation vyvinula vodíkovou tramvaj konstrukčně vycházející z tramvaje 15T ForCity. Dojezd této tramvaje na jedno natankování, které netrvá déle než tři minuty, je kolem 100 km. Od roku 2017 je pak možné se v ostrém provozu setkat s ryze čínskou vodíkovou tramvají. [55][58]

2.5.2.2 Trolejbusy a vodík

Kombinace klasického napájení z troleje a palivových článků je u trolejbusů úplnou novinkou. Jako první se touto cestou vydala společnost Solaris. Ta původně parciální trolejbusy z důvodu nedostatečného dojezdu vybavila navíc vodíkovými palivovými články. Toto řešení podstatně zvyšuje dojezd trolejbusu mimo trolejové vedení a zároveň nemá nepříznivý dopad na hmotnost vozidel, neboť delší úseky bez trolejového vedení by vyžadovaly více akumulátorů. [56]

Pořizovací cena trolejbusů vybavených touto technologií je však v současné době více než dvojnásobně vyšší než je běžná cena trolejbusu vybaveného pouze baterií, tedy parciálního trolejbusu. [56]

3 Diskuse a závěr

V předešlých kapitolách byl probrán vývoj, role a hlavní oblasti dotýkající se tramvajové a trolejbusové dopravy. Z historie je patrné, že rozsáhlá rušení tramvajových a trolejbusových provozů, k nimž docházelo v průběhu 20. století, s sebou v dlouhodobém měřítku nepřinesla pozitiva a mnohdy se, při zpětném pohledu, jednalo o chybná rozhodnutí (např. v Praze kompletní zrušení trolejbusového provozu či tramvajové trati na Kačerov). Nikdo totiž v dané době nezohledňoval ekologické aspekty provozu.

Jak tramvaje, tak i trolejbusy jsou vhodné pro úseky, kde jsou dopravní proudy s vysokou intenzitou a mohou tak pomoci odlehčit těmto úsekům. I přes značné počáteční investice, jež jsou potřeba před zahájením samotného provozu, jsou oba druhy dopravy v dlouhodobém měřítku podstatně úspornější, než doprava autobusová (její výhoda však právě spočívá v prakticky nulových investicích do dopravní infrastruktury). Nemálo měst o zavedení či rozšíření tramvajové a zejména trolejbusové dopravy dnes uvažuje i díky možnosti relativně snadného dosáhnutí na dotace od státu, který podporuje ekologičtější způsoby městské hromadné dopravy. Počáteční investice tedy již mnohdy nemusí tvořit hlavní bariéru výstavby. Navíc je díky výhodnějším smlouvám na dodávku elektrické energie možné nabídnout více spojů i v méně vytížené hodině, neboť provoz tramvají i trolejbusů se stává rentabilnějším i při menší obsazenosti vozidel a hlavně se všechny provozní výdaje rozpočítávají mezi daleko více vozidel.

Z pohledu ekologie, jež je na úrovni měst a městských aglomerací často diskutovaným tématem, jsou tramvaje a trolejbusy též velmi perspektivní. Oba druhy dopravy využívají ke svému provozu elektrickou energii a jsou tedy nulovými producenty přímých emisí, což je pro oblasti s vysokým výskytem obyvatel jednoznačné pozitivum. Navíc je jejich provoz více ekonomický neboť trakční elektromotor „spotřebovává energii jen při pohybu vozidla“. Výhodná je též možnost šetření elektrické energie ze sítě využitím elektrické energie generované při brzdění vozidel. Moderní trolejbusová vozidla jsou i celkově mnohem více šetrná k životnímu prostředí. U tramvajových vozidel, jež jsou v otázce emisí na stejné úrovni jako vozidla trolejbusová, je však třeba vzít v potaz hluk a vibrace, jež při svém provozu produkují. Ve výsledku by bylo možné říci, že se jedná o negativum, které je dnes tramvajové dopravě veřejností vyčítáno asi nejvíce.

Díky novému pojetí myšlenek z minulosti se dnes ve městech umíme zbavit i často kritizovaného trolejového vedení u tramvají a nahradit jej plnohodnotnou a bezpečnou náhradou. Rozvoj a nekončící vývoj technologie baterií zase dovoluje vzdát se trolejového vedení i u trolejbusů, které byly na „tykadlech“, až na výjimky, stoprocentně závislé.

Ačkoli se výše napsané řádky nezmiňují o některých zjevných negativech, jako jsou například přísnější technické a legislativní podmínky nebo větší choulostivost na špatnou

údržbu, je evidentní, že tramvajová a trolejbusová doprava přináší pro větší města spíše výhody než nevýhody.

Na předešlých stránkách práce byla nastíněna problematika tramvajové a trolejbusové dopravy vycházející z mnoha odborných i zájmových zdrojů, jež se jí věnují. Téma práce samotné je velmi rozsáhlé a možností, jak se ho zhostit je nepřeberně mnoho. Po pročtení zdrojové literatury, ze které bylo vycházeno, byly tedy následně stanoveny oblasti, jimž se bylo věnováno podrobněji.

Při pohledu do minulosti, ať už vzdálené i nedávné, je poměrně jasně vidět, že oba druhy dopravy zažívají jak období svého rozkvětu, tak i období úpadku. Je však s jistotou možné prohlásit, že elektrické trakční vedení se v průběhu času stalo v dopravě nositelem nejen výkonnosti a rychlosti, ale i tichosti, čistoty a hospodárnosti.

Bylo vycházeno z toho, že městská hromadná doprava a zejména pak doprava tramvajová a trolejbusová jsou přirozenou součástí rozvíjejícího se veřejného prostoru. Při pohledu na současnou situaci by bylo možné říci, že tramvaje i trolejbusy mají v 21. století poměrně slibně nakročeno k tomu dosáhnout postupně svého někdejšího věhlasu. Dříve vyčítaná negativa a nedostatky se v uplynulých desetiletích podařilo odstranit či zmenšit natolik, aby mohly převládnout jejich kladné stránky.

V úplném závěru práce by pak mohla být parafrázována slova, která zazněla ve francouzském televizním dokumentu *Drôle de tram* zaměřeném na městskou hromadnou dopravu: „Tramvaje a trolejbusy vyrazily do protiútoků a dočkaly se zářného návratu.“

4 Seznam použitých zdrojů

- [1] *Ottův slovník naučný, Díl sedmý* [online]. Praha: J. Otto, 1893. Dostupné z: <http://kramerius4.nkp.cz/search/i.jsp?pid=uuid:b9718a50-e6e6-11e4-a794-5ef3fc9bb22f>
- [2] PASTOR, Otto a Antonín TUZAR. *Teorie dopravních systémů*. Praha: ASPI, 2007. ISBN 978-80-7357-285-3.
- [3] OLBRON INVENT. *Definice* [online]. 2014 [vid. 2017-10-29]. Dostupné z: <http://www.olbron.cz/Definice.pdf>
- [4] OLBRON INVENT. *Tramvaj a tramvajová doprava* [online]. 2014 [vid. 2017-10-29]. Dostupné z: www.olbron.cz/Tramvaj.pdf
- [5] HARÁK, Martin. *České trolejbusy*. Praha: Grada Publishing, 2015. ISBN 978-80-247-5552-6.
- [6] OLBRON INVENT. *Trolejbus a trolejbusová doprava* [online]. 2014 [vid. 2017-10-29]. Dostupné z: <http://www.olbron.cz/Trolejbus.pdf>
- [7] OLBRON INVENT. *Autobus a autobusová doprava* [online]. 2014 [vid. 2017-10-29]. Dostupné z: <http://www.olbron.cz/Autobus.pdf>
- [8] KUBÁR, Bohumil, Jiří PEJŠA, Martin JACURA a Ondřej TREŠL. *Městská a příměstská kolejová doprava*. Praha: Wolters Kluwer ČR, a. s., 2010. ISBN 978-80-7357-539-7.
- [9] DUNBAR, Chas. S. *Buses, Trolleys & Trams*. London: The Hamlyn Publishing Group LTD, 1969. ISBN 9780753709702.
- [10] JÍLEK, František, Josef KUBA a Jaroslava JÍLKOVÁ. *The World Inventions in Dates: A Chronological Survey of Significant Events from the History of Creative Technological Work*. Praha: Národní Technické Muzeum, 1979. Národní Technické Muzeum Praha: Sborník Národního Technického Muzea v Praze.
- [11] DUŠEK, Pavel. *Encyklopedie městské dopravy v Čechách, na Moravě a ve Slezsku*. Praha: Libri, s. r. o., 2003. ISBN 80-7277-159-0.
- [12] ZOUGAR, Vladimír, Zdeněk DRBOHLAV, Ivan PEROUTKA, Antonín HONZÍK, Miloš ECKERT, Josef KUB, Josef DOUBRAVA a Karel JANDOUREK. *Tramvaje*. Praha: ČKD Praha, 1968.
- [13] HOUSTON, Edwin James a Arthur Edwin KENNELLY. *Electric street railways* [online]. New York: New York, The W.J. Johnston Company, 1896. Dostupné z: <https://archive.org/details/electricstreetra00housrich>
- [14] SEDLÁČEK, Karel. Tramvaje se vrací do L.A. *MM Spektrum*. 2013, (11), 106–107.
- [15] HINČICA, Libor. Tramvaj v Jeruzalémě. *Československý dopravák*. 2017, **16**(3), 74–80.

- [16] KASHIN, S a H W DEMORO. *An American Original, the PCC Car*. B.m.: Interurban Press, 1986. Interurbans special. ISBN 9780916374730.
- [17] LOSOS, Ludvík. *Atlas Tramvají*. Praha: Nakladatelství dopravy a spojů, 1981.
- [18] JANČAR, Rostislav. *Koňka, žehlička, primátorka. Jaké stroje jely v obřím konvoji Prahou* [online]. 2015 [vid. 2017-11-01]. Dostupné z: https://technet.idnes.cz/pri-oslave-140-let-mhd-projede-prahou-tramvajove-muzeum-i-soucasnost-1pz-/tec_technika.aspx?c=A150917_184322_tec_technika_rja
- [19] JANČAR, Rostislav. *Prohlédněte si tramvaje, které vás nikdy nesvezou* [online]. 2008 [vid. 2017-11-07]. Dostupné z: https://technet.idnes.cz/prohlednete-si-tramvaje-ktere-vas-nikdy-nesvezou-vozi-snih-i-mrtve-1ft-/tec_technika.aspx?c=A080210_222642_tec_technika_rja
- [20] ARVIDSSON, Niklas. New perspectives on sustainable urban freight distribution: a potential zero emissions concept using electric cars on trams. *12th World Conference on Transportation Research* [online]. 2010. Dostupné z: <http://www.wctrs-society.com/wp/wp-content/uploads/abstracts/lisbon/selected/02565.pdf>
- [21] HINČICA, Libor. Nákladní tramvaje opět v ulicích Drážďan. *Československý dopravák*. 2017, **16**(2), 16–19.
- [22] ČECH, Jan, Pavel FOJTÍK a František PROŠEK. *Trolejbusy v Praze 1936-1972*. 1994. ISBN 80-901067-6-5.
- [23] HINČICA, Libor. Projekt sítě pražských trolejbusů v letech 1989-1993. *Československý dopravák*. 2008, **7**(8), 25–29.
- [24] SCANIA. *World's first electric road opens in Sweden* [online]. 2016 [vid. 2017-11-06]. Dostupné z: <https://www.scania.com/group/en/worlds-first-electric-road-opens-in-sweden/>
- [25] HINČICA, Libor. „Nákladní trolejbus“ se spodním přívodem proudu. Nezvyklé řešení z dílny Alstomu a Volva. *Československý dopravák* [online]. 2017 [vid. 2017-11-19]. Dostupné z: <http://www.cs-dopravak.cz/zpravy/2017/11/19/nkladn-trolejbus-se-spodnm-pvodem-proudu-nezvykl-eeen-z-dlly-alstomu-a-volva>
- [26] PAVLÍČEK, Jiří. *Elektrická trakce* [online]. 2005 [vid. 2018-01-10]. Dostupné z: <https://www.educon.zcu.cz/view.php?cislomodulu=2015013101>
- [27] DRDLA, Pavel. *Technologie a řízení dopravy - městská hromadná doprava* [online]. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2005. ISBN 80-7194-804-7. Dostupné z: <http://www.drdla.wz.cz/podklady.htm>
- [28] *Interní informace z Ministerstva dopravy ČR od Bc. Ondřeje Benáka*. 2017.
- [29] BRÁZDOVÁ, Tereza. Kolik stojí trolejbus? *Český Rozhlas* [online]. 2017 [vid. 2017-02-10]. Dostupné z: <https://pardubice.rozhlas.cz/kolik-stoji-trolejbus-6029148>
- [30] AN TAR. *Trolejbusy a Praha* [online]. 2017 [vid. 2018-02-11]. Dostupné z: http://www.trolejbusyvpraze.net/trolejbusy_praha.htm

- [31] JŮZLOVÁ, Jana, Antonín KOČÍ a Josef ČERMÁK, ed. *Universum*. Praha: Euromedia Group, 2006. ISBN 80-242-1755-4.
- [32] NĚMEC, Jaroslav, Jiří RANSDORF a Milan ŠNĚDRLE. *Hluk a jeho snižování v technické praxi*. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1970. ISBN 04-222-70.
- [33] HROMÁDKO, Jan, Jiří HROMÁDKO, Vladimír HÖNIG a Petr MILER. *Spalovací motory*. Praha: Grada Publishing, 2011. ISBN 9788024774787.
- [34] *Výroba elektrické energie* [online]. [vid. 2017-12-13]. Dostupné z: http://www.vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=vyroba_elektricke_energie&site=energie
- [35] NEUŽIL, Martin. *Vliv jaderných elektráren na životní prostředí* [online]. [vid. 2017-12-18]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/D66DBC7CBF544E3AC1256FC8004A3515/\\$file/cast2.html](https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/D66DBC7CBF544E3AC1256FC8004A3515/$file/cast2.html)
- [36] ČEZ. *Uhelné elektrárny skupiny ČEZ* [online]. [vid. 2017-12-18]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/micrositesutf/odpovednost/content/pdf/cez_group_and_coal_power_plants.pdf
- [37] PAUSCH-HOMBLÉ, Katharina. *Promoting renewable energy use – Council adopts its position* [online]. 2017 [vid. 2018-02-13]. Dostupné z: <http://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2017/12/18/promoting-renewable-energy-use-council-adopts-its-position/>
- [38] MPO. *Vývoj hrubé výroby elektřiny podle paliv a technologií* [online]. 2017 [vid. 2018-02-13]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/statistika/elektrina-a-teplo/2017/10/Hruba-vyroba-elektriny-2010-2016.pdf>
- [39] KOTRBA, Alois a Jaroslav VAŠÍČEK. Současný stav pískovacího zařízení v kolejové dopravě (tramvajová doprava). *Nová železniční technika*. 2010, 26–27.
- [40] ŘIHÁČEK, Tomáš. *Zvukové prostředí města a jeho vliv na prožívání*. B.m.: Mezinárodní politologický ústa, 2009. ISBN 978-80-210-4809-6.
- [41] PLÁŠEK, Otto, Jaroslav SMUTNÝ, Richard SVOBODA a Miroslava HRUZÍKOVÁ. Konstrukce tramvajové jízdní dráhy s opatřením proti šíření hluku a vibrací. *Nová železniční technika*. 2010, 15–18.
- [42] KREJČÍŘÍKOVÁ, Hana a Helena ŠPAČKOVÁ. *Dopravní stavby - Část: Kolejová doprava*. Praha: ČVUT, 2002. ISBN 80-01-02444-X.
- [43] NĚMEČEK, Matěj. *Tramvajové tratě v ČR a jejich odhlučnění* [online]. 2012 [vid. 2017-10-21]. Dostupné z: http://cena-dekana.fd.cvut.cz/prezentace/5_rocnik/nemecek/prace.pdf
- [44] HRŮZA, Jiří. *Urbanismus světových velkoměst. 1. díl*. Praha: ČVUT, 2003. ISBN 80-01-02764-3.

- [45] BULYHA, Ihor. *Strossmayerovo náměstí* [online]. 2013 [vid. 2018-01-10]. Dostupné z: <http://www.panoramio.com/photo/86983123>
- [46] TŮMA, Jan. Tramvaje bez troleje a pantografu? *Technik*. 2010, **5**(12), 32–33.
- [47] JIŘÍK, Filip. Tours - tramvaj jako nosný prvek veřejného prostoru. *Československý dopravák*. 2016, **15**(4), 80–86.
- [48] CHLASTACZ, Michel. *Les tramways, les bus et les voitures sans fil à la patte* [online]. 2012 [vid. 2017-12-30]. Dostupné z: <http://www.mobilicites.com/011-1441-Les-tramways-les-bus-et-les-voitures-sans-fil-a-la-patte.html>
- [49] SIEMENS. *Tramvaj na baterie* [online]. 2009 [vid. 2017-10-28]. Dostupné z: <http://www.siemens.cz/press/tramvaj-na-baterie>
- [50] ŠKODA. *Katalog tramvají Škoda* [online]. [vid. 2018-01-01]. Dostupné z: <https://www.skoda.cz/data/catalog/6/6/110.pdf>
- [51] BARCHÁNEK, Jan. Dynamický elektrobus nebo parciální trolejbus? *DP kontakt* [online]. 2017, 20–21. Dostupné z: <http://www.dpp.cz/dp-kontakt/>
- [52] HINČICA, Libor. První parciální trolejbusy v České republice zaměřily do Zlína. *Československý dopravák*. 2016, **15**(5), 56–61.
- [53] HINČICA, Libor. Kloubové parciální trolejbusy v Českých Budějovicích. *Československý dopravák*. 2017, **16**(1), 27–30.
- [54] POHL, Jiří. Dlouhá cesta k čisté mobilitě - 2. *DP kontakt* [online]. 2017, 22–23. Dostupné z: <http://www.dpp.cz/dp-kontakt/>
- [55] YI, Yang a XINHUA. *World's first hydrogen tram runs in China* [online]. 2017 [vid. 2017-10-31]. Dostupné z: http://news.xinhuanet.com/english/2017-10/27/c_136709647.htm
- [56] HINČICA, Libor. (Nejen) vodíkové trolejbusy pro Rigu. *Československý dopravák*. 2017, **16**(3), 60–65.
- [57] VŠCHT. Vodíkový palivový článek - pohon budoucnosti? *MM Spektrum* [online]. 2006, (10), 70. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/vodikovy-palivovy-clanek-pohon-budoucnosti.html>
- [58] TŮMA, Jan. Čínská vodíková tramvaj s českým know-how. *Technický týdeník* [online]. 2015 [vid. 2018-01-11]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/prumysl/cinska-vodikova-tramvaj-s-ceskym-know-how_33716.html
- [59] BARDODĚJ, Zdeněk. *Chemie v hygieně a toxikologii*. Praha: Karolinum, 1996. ISBN 80-7066-911-X.

- [60] CERVELLIN, Gianfranco, Ivan COMELLI, Gianni RASTELLI, Alessandra PIZANZA a Giuseppe LIPPI. Initial blood lactate correlates with carboxyhemoglobin and clinical severity in carbon monoxide poisoned patients. *Clinical Biochemistry* [online]. 2014, **47**(18), 298–301 [vid. 2018-01-10]. ISSN 0009-9120. Dostupné z: doi:10.1016/J.CLINBIOCHEM.2014.09.016
- [61] BAUMRUK, Pavel. *Príslušenství spalovacích motorů*. Praha: ČVUT, 1999. ISBN 80-01-02062-2.
- [62] MŽP. *Oxidy dusíku (NOx/NO2)* [online]. [vid. 2017-12-12]. Dostupné z: <https://www.irz.cz/node/79>
- [63] MŽP. *Oxid dusný* [online]. [vid. 2017-12-12]. Dostupné z: <https://www.irz.cz/node/76>
- [64] VOJTISEK-LOM, Michal, Martin PECHOUT, Luboš DITTRICH, Vít BERÁNEK, Martin KOTEK, Jaroslav SCHWARZ, Petr VODIČKA, Alena MILCOVÁ, Andrea ROSSNEROVÁ, Antonín AMBROŽ a Jan TOPINKA. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) and their genotoxicity in exhaust emissions from a diesel engine during extended low-load operation on diesel and biodiesel fuels. *Atmospheric Environment* [online]. 2015, **109**, 9–18 [vid. 2018-01-10]. ISSN 1352-2310. Dostupné z: doi:10.1016/J.ATMOSENV.2015.02.077
- [65] RHEAD, M.M. a S.A. HARDY. The sources of polycyclic aromatic compounds in diesel engine emissions☆. *Fuel* [online]. 2003, **82**(4), 385–393 [vid. 2018-01-10]. ISSN 0016-2361. Dostupné z: doi:10.1016/S0016-2361(02)00314-9
- [66] MŽP. *Oxidy síry* [online]. [vid. 2017-12-12]. Dostupné z: <https://www.irz.cz/node/80>
- [67] MŽP. *Polétavý prach (PM10)* [online]. [vid. 2017-12-12]. Dostupné z: <https://www.irz.cz/node/85>
- [68] TREE, Dale R. a Kenth I. SVENSSON. Soot processes in compression ignition engines. *Progress in Energy and Combustion Science* [online]. 2007, **33**(3), 272–309 [vid. 2018-01-10]. ISSN 0360-1285. Dostupné z: doi:10.1016/J.PECS.2006.03.002

5 Seznam obrázků

Obrázek 1 - Nákres tramvaje Tatra T3 (upraveno) [18].....	5
Obrázek 2 - Nákres tramvaje Škoda ForCity 15T [18]	6
Obrázek 3 - Nákres trolejbusu Škoda 9 Tr [5].....	9
Obrázek 4 - Princip napájení trolejbusu (A) a tramvaje (B) [26].....	10
Obrázek 5 - Velikost potřebné plochy ulice na jednoho cestujícího [12]	12
Obrázek 6 - Provozní výdaje pro vozidla MHD v závislosti na přepravených osobách [12] .	14
Obrázek 7 - Schéma vzniku nepřímých emisí (vlastní zpracování)	16
Obrázek 8 - Šíření hluku z městské kolejové dopravy [50]	19
Obrázek 9 - Příklad zavěšení trolejového vedení (Strossmayerovo náměstí, Praha) [53]	20
Obrázek 10 - Příklad úseku se spodním příívodem napájení (Tours, Francie) [55].....	21
Obrázek 11 - Indukční segment zabudovaný v kolejišti [56].....	22
Obrázek 12 - Zjednodušený princip vodíkového palivového článku PEM [66]	26

6 Seznam tabulek

Tabulka 1 - Struktura dopravních prostředků ve městě [8].....	4
Tabulka 2 - Kapacita dopravních prostředků MHD [8]	8
Tabulka 3 - Základní porovnání autobusu, trolejbusu a tramvaje [4][5][6][7][8].....	11
Tabulka 4 - Příklady investic do tramvajových tratí [28].....	13
Tabulka 5 - Příklady investic do trolejbusových tratí [28].....	14
Tabulka 6 - Rozdíl mezi parciálním trolejbusem a dynamickým elektrobusem [59]	24

7 Přílohy

Příloha 1 - Druhy emisí ve výfukových plynech

Výfukové plyny jsou směsí plynů a částic. Mezi základní složky se řadí oxid uhelnatý a uhličitý, oxidy dusíku, nespálené uhlovodíky, oxidy síry a pevné částice.

Oxid uhličitý

Jedná se o produkt dokonalé oxidace. Vyskytuje se ve všech výfukových plynech a je důkazem správné funkce motoru a celého spalovacího procesu.

Oxid uhličitý není sám o sobě nebezpečným plynem. Je bezbarvý, bez zápachu a stabilní. Pro člověka je v koncentraci do 3 % neškodný, při koncentraci 5 % způsobuje závratě a problémy s dýcháním a koncentrace 8 – 10 % má za následek bezvědomí, při delším vystavení až smrt. [59] Nebezpečnost oxidu uhličitého nespočívá v něm samotném, ale spíše v tom, že je schopen vytěsnit kyslík, jež je potřebný k dýchání

Lidská činnost má na produkci CO₂ poměrně zásadní vliv. Je považován za skleníkový plyn, který se podílí na globálním oteplování. [33]

Oxid uhelnatý

Oxid uhelnatý je pro lidský organismus plynem škodlivým. Škodlivost je dána jeho schopností vytvářet s krevním barvivem pevný karboxyhemoglobin, jež zabraňuje přenosu kyslíku z plic do krve. Při nízké koncentraci se mírná otrava projevuje nespecifickými příznaky typu bolest hlavy, svalů a závratě. Závažná otrava způsobuje zmatenost, neurologické poškození, ztrátu vědomí a v poslední fázi smrt. [60]

U motorů vznětových, jež vždy pracují s přebytkem kyslíku, se dochází k oxidaci prakticky všeho CO na CO₂. Oproti zážehovému motoru můžeme ve výfukových plynech změřit přibližně desetinu CO. [61]

Oxidy dusíku

Za oxidy dusíku jsou jmenovány oxid dusnatý, vznikající při vysokých teplotách ve spalovacím prostoru a oxid dusičitý, který vzniká oxidací prvně uvedeného oxidu. [62] Oxid dusný je stabilním, není zdraví škodlivý, ale je velmi potentním skleníkovým plynem. [63]

Vdechováním oxidů dusíku dochází na sliznici ke vzniku kyseliny dusičné (HNO₃), což má za následek poleptání sliznice. Organismus reaguje snížením množství vdechovaného vzduchu, což vede k dušení a kašli. [33]

Nespálené uhlovodíky

Jedná se o sloučeniny uhlovodíků, jež do procesu spalování vstupují v podobě paliva nebo vznikají jako součást procesu spalování. Jejich výskyt je možné pozorovat jako bílý kouř z výfuku. [33][64]

Toxicita nespálených uhlovodíků je pro člověka různá, jelikož je dána účinky konkrétní sloučeniny. Za nejméně nebezpečné lze považovat původní uhlovodíky pocházející z paliva. Oproti tomu uhlovodíky vzniklé při nedokončeném procesu spalování jsou považovány za toxické a karcinogenní. [64][65]

Oxidy síry

Tyto oxidy se vyskytují zejména u motorů vznětových, kde je síra nežádoucí příměsí paliva. Jejich podíl je v celkovém měřítku zanedbatelný. Díky stále se zdokonalujícím technologiím se podíl ve výfukových plynech neustále zmenšuje. Hlavním zástupcem reprezentujícím tuto skupinu je pak oxid siřičitý (SO₂). [33][66]

Pevné částice

Polétavý prach neboli mikroskopické pevné částice, které jsou rozptýleny v zemské atmosféře, vznikají téměř výhradně jako negativní produkt lidské činnosti. [67]

Ve výfukových plynech jsou tvořeny zejména elementárním uhlíkem (tzv. černé saze), organickým uhlíkem a nespalitelnou částí paliva a mazacího oleje (tzv. popelem). Je možné je pozorovat jako tmavý kouř vycházející z výfuku. [68]

V principu platí, že čím je průměr částice menší, tím déle v ovzduší setrvává. Částice o velikosti přes 10 μm sedimentují na zemský povrch v řádu několika hodin, avšak nejjemnější částice (menší než 1 μm) mohou v atmosféře setrvat i celé týdny. [67]

Je-li člověk vystaven pevným částicím po krátkou dobu, může dojít k podráždění očí a dýchacích cest. Hlavní nebezpečí pro člověka představují částice menší než 10 μm, jež poškozují kardiovaskulární a plicní systém a usazují se v dýchacích cestách. Nejnebezpečnější jsou částice menší než 1 μm, jelikož mohou vstupovat přímo do plicních sklípků. [33][67]