

## PŘÍSPĚVEK K MĚŘENÍ PARAMETRŮ TRAMVAJOVÝCH TRATÍ

**doc. Mgr. Ing. Jan Rybář, Ph.D.**

**Bc. Peter Onderčo**

Slovenská technická univerzita v Bratislavě, Strojnická fakulta  
Dopravní podnik Bratislava, a.s.

### Abstrakt

Příspěvek popisuje zabezpečení tramvajové infrastruktury pomocí měření, manuálního i automatického, nebo prostřednictvím měřící tramvaje, která dokáže měřit parametry tratí pro následné vyhodnocování a zlepšování kvality poskytovaných služeb pro cestující ve městech. Právě pravidelná kontrola a měření tratí si následně vyžaduje neuštálou údržbu, spojenou s kontrolami, které jsou založené na měření, sběru dat a jejich vyhodnocování. Metody kontroly a měření se v minulosti vykonávaly zejména vizuálně, dnes k témtou účelům využíváme techniku. Dopravní podniky disponují různými zařízeními pro diagnostiku tratí. Cílem je tedy přiblížit veličiny, které jsou důležité pro udržení kvality a zlepšování poskytovaných služeb cestující veřejnosti.

**Klíčová slova:** měření, parametry tramvajových tratí, metrologie, městská hromadná doprava, kvalita

### Úvod

Měření parametrů tramvajových tratí v sítích městské hromadné dopravy tvoří důležitý prvek zabezpečování dopravy ve městech. Tramvajové tratě totiž nejsou jen kolej, ale tvoří je i další zařízení, resp. celá infrastruktura, která vyžaduje diagnostiku, údržbu a opravy. [1] Pro bezpečný provoz tramvajových vozidel musí být splněno mnoho podmínek. K tomuto účelu se používají měřící zařízení/vozidla. Prvotní měření tramvajové tratí bývá zpravidla v rozsahu technicko-bezpečnostní zkoušky, tedy při zahájení zkušebního provozu u nových tratí. Posuzuje se technická způsobilost určených technických zařízení, prostorová průchodnost, únosnost a měření geometrické polohy kolejí, také probíhají zkušební jízdy, zkouší se traťová rychlosť vozidel postupným zvyšováním rychlosti. Součástí zkoušek bývají také testy pro funkční součinnost jízdy tramvajového vozidla, následně začíná zkušební provoz nové tratí, resp. začíná pravidelná kontrola a měření parametrů tramvajových tratí v určeném cyklu. Je zde důležitý styk obou částí, tedy kolejí a vedení, při dodržení vzájemné shodnosti parametrů tramvajových drah. [2]

### Prvky tramvajových tratí

Tramvajová dráha se skládá z více prvků. Je to spodek tramvajové tratě (podklad tratě). Mezi nejviditelnější části tratě je svršek tramvajové tratě, který tvoří kolej, výhybky, konstrukce a konstrukční prvky. Dále tu jsou další stavby a pevná zařízení, zastávky, sdělovací a zabezpečovací zařízení. Důležitou součástí jsou elektrická zařízení, které představují měnírny, napájecí vedení, elektrické rozvody, trolejové vedení, které je uchyceno na nosném systému podpěr, přívodní a zpětné vedení. Součástí tratě je i systém zařízení

pro regulaci a měření. Také osvětlení tratě, a s tím spojené bezpečnostní prvky, jsou důležité pro bezpečný provoz. Podstatnou částí je depo pro organizování a řízení dopravy, odstavování vozidel a provádění technických prohlídek, údržbu a oprav. Požadavky vyplývají také na pevná zařízení pro měření, údržbu a opravu tratí, stavby a zařízení pro zastávky. S ohledem na požární ochranu pak máme požadavky na hydranty, potrubí a vodovodní systémy. [2]

Významný prvek pro měření u tramvajových tratí tvoří riziko překročení hladiny hluku a vibrací, protože tyto veličiny jsou důležité pro sledování v hlediska kvality života ve městech s tramvajovou dopravou. [2]

Základem pravidelného vyhodnocování je stanovený rozchod kolejí a geometrická poloha kolejí, kontrola trolejového vedení, kontrola zkratových proudů, kontrola ukolejnění stožárů a kontrola kolejových styků. Právě tyto dokumenty jsou součástí technické dokumentace k tramvajové trati, zejména potom záznamy z provedených kontrolních prohlídek, měření a jejich výsledky jsou důležité pro další zpracování pro užívání tramvajové trati z hlediska spolehlivosti a bezpečnosti provozu. [2; 3; 4]

### Kontrola a měření na tramvajových tratích

Uvedené kontroly a měření jsou pro správnou péči o tramvajové tratě klíčové z hlediska zabezpečení kvality poskytovaných služeb pro přepravu cestujících na tramvajových linkách. Samozřejmě důležitá je i pravidelná a kvalitně zabezpečená péče o samotná tramvajová vozidla, která po tramvajových tratích jezdí.

Měřící tramvaj je vždy využívána jako první vozidlo na nové nebo zrekonstruované trati. Měřením začíná provoz. Následně se tato činnost opakuje v rámci pravidelných kontrol. Z hlediska časových intervalů jsou tyto dány vyhláškou, patří sem tyto kontrolní a měřicí prohlídky:

- obchůzka tramvajové trati s doporučeným intervalem 1x za 2 týdny,
- prohlídka výhybek a mechanizmu výhybek s doporučeným intervalem každý den,
- měření geometrické polohy kolejí, kolejí a výhybek s doporučeným intervalem 1x za 12 měsíců,
- prohlídka trolejového vedení při tramvajových tratích s doporučeným intervalem 1x za 12 měsíců,
- prohlídka mostů a přidružených objektů k tramvajovým tratím, zpravidla 1x za 36 měsíců,
- prohlídka sdělovacích a zabezpečovacích zařízení (jedná se o zařízení určená k organizaci a řízení dopravy, řízení technologických procesů a informovanosti cestujících), interval těchto prohlídek určuje provozovatel po svém uvážení, zpravidla (1 až 2)x ročně. [2]

Další údaje z provozu, jakož i případné nedostatky, jsou také zjišťovány prostřednictvím řidičů tramvají, dopravního dispečinku, běžnou denní kontrolou a pohybem pracovníků okolo tratí. Nejčastěji se vyskytují poruchy výhybek, poškození kolejnice či trolejového vedení, neprůjezdnost tratě vlivem dopravních nehod a s tím vzniklých poškození tratí, atd.

Tyto se potom prověřují a v krajním případě je rozhodnuto o prověření i pomocí měřicí techniky, resp. měřicí tramvaje.

### Způsoby kontroly a měření tramvajových tratí

Pokud se podíváme na způsoby kontroly a měření tramvajových tratí, můžeme využívat měřidla určená pro konkrétní veličinu, většinou ruční a přenosná, nebo využívat sofistikovanější zařízení, resp. měřicí vozidla nebo měřicí tramvajové vlečné podvozky. [3]

Většina dopravních podniků, zejména těch s větší tramvajovou sítí, disponuje měřicím tramvajovým vozidlem. Toto vozidlo zpravidla bývá speciálně upraveno pro dané měřicí účely. Takovéto tramvaje bývají vybaveny pozorovacím stanoištěm, v němž buďto sedí pracovník nebo je tam umístěn kamerový systém, který během jízdy monitoruje spolupráci mezi sběračem a trolejovým vedením. Po této kontrole se následně na vytípovaných problémových místech vykonává oprava. Samozřejmě vizuální kontrola pomocí kamerového systému má vícero výhod, protože kamera zachytí velké množství informací, které je možné vyhodnocovat i zpětně. Pro tyto účely také dopravní podniky využívají speciálně upravenou uhlíkovou vložku do sběrače, která dokáže vyhodnotit klikatost trolejového vedení; klikatost se posuzuje zpravidla vůči kolejnicím, resp. sběrači, a hodnoty jsou udávány v centimetrech. Sběrače proudu u tramvají slouží k napájení vozidel elektrickým proudem z trolejového vedení. Kontakt s trolejovým vedením zabezpečuje uhlíková lišta na sběrači. Aby se tato lišta rovnoměrně opotřebovala, je důležitá klikatost (křivolakost) trolejového vedení. Právě tato klikatost se posuzuje při měření tratí, aby byl zabezpečen stabilní a spolehlivý kontakt sběrače s vedením a docházelo k rovnoměrnému opotřebení lišty. [3; 4]

Pro klikatost platí že, čím větší je klikatost, resp. rozptyl klikatosti, tím je zabezpečené rovnoměrnější opotřebování uhlíkové lišty, samozřejmě při dodržení kvality kontaktu mezi sběračem a trolejovým vedením. V praxi je potom hodnota klikatosti určena maximální povolenou hodnotou, kterou si navolí obsluha, jako sledovaný parametr měření, co je ještě v toleranci a co už je mimo toleranci, a tedy následně musí být v terénu napraveno, aby byl zajištěný bezproblémový



Obr. 1: Lišta pro měření klikatosti trolejového vedení. Zdroj: Vlastní.

provoz tramvají. Klikatost trolejového vedení je definována jako hodnota vpravo od středu měřicí ližiny (kladná hodnota) a hodnota vlevo od středu měřicí ližiny (záporná hodnota), tyto hodnoty jsou součástí sesbíraných dat.

Měření klikatosti je spojené s náročnější přípravou měřicího vozidla, jedná se o instalaci měřicí lišty s kodérem klikatosti (obr. 1), spojenou propojovacím kabelem do konektoru na spodní části měřicí lišty. Komunikace je zabezpečená až s napájením celého zařízení, tedy zapne se až se signálem při zapnutí jednotky komunikace s PC/notebookem v měřicí tramvaji.

Uvnitř vozu propojíme jednotlivé komponenty. Napájení modulu propojení s PC/notebookem v měřicí tramvaji se zapne dálkově, dojde k napájení měřicího mikropočítače umístěného na sběrači, toto napájení zapneme až před zahájením měření. Potom již probíhá měření klikatosti za pomoci umístěných snímačů v uhlíkové liště.

Dalším parametrem, který se vyhodnocuje, je výška trolejového vedení nad kolejnicemi a také měření rázů – tedy jakou silou se sběrač odrazí od trolejového vedení. Tato hodnota je důležitá při vyhodnocování přejezdu sběrače tramvaje přes křížovatky trolejových vedení, výměnná pole nebo armatury. Tyto hodnoty se získávají společně s kamerovým záznamem, takže se potom lehce odhalí kritická místa na trati. [3; 4]

Software k měření pomocí měřicího vozidla ukládá soubor s naměřenými parametry trolejového vedení. Před samotným vyjetím a začátkem měření je nutné ověřit funkci měřicího zařízení přepnutím do režimu simulace, kde jsou zkušebně generovány impulzy, avšak bez nutnosti jízdy měřicího vozidla. Všechny měřicí funkce je tedy možné vyzkoušet ještě v podmírkách depa a před vyjetím na trať. Takto ověříme, zda se data správně ukládají, vyzkoušíme záznam videí a případně vyzkoušíme funkčnost GPS. Po vyzkoušení funkčnosti už potom měřicí vozidlo vyráží sbírat data do městské tramvajové sítě. [3; 7; 8]

### Měření a měřicí tramvaj

Naměřené hodnoty jsou udávány jako náraz na sběrač, rychlosť jízdy, výška trolejového vedení a klikatost. Důležité je také zohlednění teploty, vlhkosti a tlaku. Všechny tyto údaje jsou propojeny s projížděnou trasou a navázány

na GPS souřadnice. Z dat potom můžeme určit absolutní hodnotu klikatosti, horní a dolní mez hodnoty výšky trolejového vedení, amplitudu rázu, včetně omezení pro vybraný měřený úsek trati. Všechny hodnoty jsou udávány v centimetrech (kromě ujeté vzdálenosti, která se udává v kilometrech). [3]

Měřicí vozidlo – měřicí tramvaj Tatra T3 (obr. 2) se používá na měření trolejového, resp. trakčního vedení; jedná se o výšku

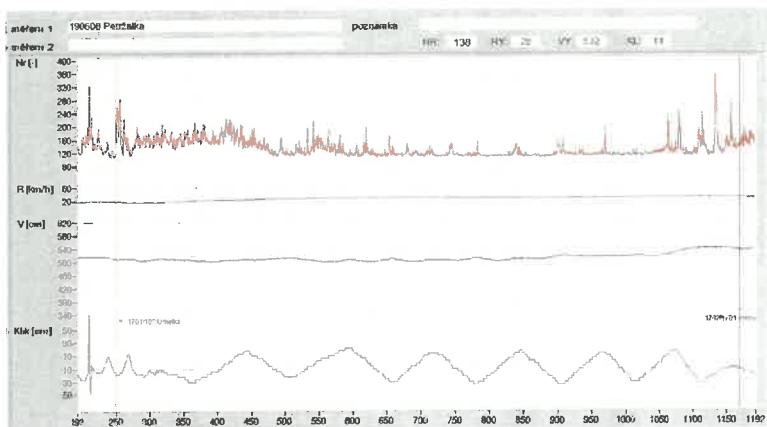
nad kolejnicemi, klikatost, sklon. Vedení je možné sledovat pouhým okem nebo prostřednictvím kamery na sledování spolupráce mezi sběračem a trolejovým vodičem (obr. 3).



Obr. 2: Měřicí vozidlo Tatra T3 (ev. č. 8437), sběr dat a obhlídka tratí, Dopravní podnik Bratislava, a. s. Zdroj: Vlastní.



Obr. 3: Sedadla a střešní nástavba s výhledem v měřicím vozidle Tatra T3 na kontrolu trolejového vedení, výhled na trolejové vedení. Dopravní podnik Bratislava, a. s. Zdroj: Vlastní.



Obr. 4: Sběr dat z měření vybraného úseku trolejového vedení. Zdroj: [9].

Rekonstrukce na technologické vozidlo byla provedena postupným předěláním vozidla, které v minulosti sloužilo pro přepravu cestujících. [5; 6]

Sběr dat (obr. 4) pomocí měřicího vozidla je vyhodnocován již během jízdy, sleduje se náraz na sběrač (Nr), rychlosť měření, resp. rychlosť jízdy vozidla (R), výška trolejového vedení (V) a klikatost (Klik). Tyto hodnoty jsou udávány v následujících jednotkách: náraz na sběrač (-), rychlosť jízdy vozidla (km/hod.), výška trolejového vedení (cm) a klikatost (cm). Při vyhodnocování, resp. opakováném sběru dat, je důležité mít určený směr jízdy – sledovaný úsek musí být tedy v těchto bodech totožný s předchozím měřením. [7; 8]

Tab. 1: Ukázkový záznam z měření parametrů trolejového (trakčního) vedení. Zdroj: [9], upraveno.

Poloha (km)	Výška (cm)	Klikatost (cm)	Rychlosť (km/hod.)	Rázy (-)
0,2565	511	-14	20	276
0,2571	512	-14	19	174
0,2576	511	-14	19	154
0,2581	512	-14	19	140
0,2586	512	-10	19	132
0,2592	512	-10	19	126
0,2597	512	-10	18	122
0,2602	512	-10	19	116
0,2608	512	-6	19	162
0,2613	512	-6	19	176
0,2618	512	-6	19	224
0,2624	512	-2	19	188
0,2629	512	-2	18	176
0,2634	512	2	18	144
0,2639	512	2	19	180
0,2645	512	2	19	166
0,2650	512	6	18	160
0,2655	511	6	18	170
0,2661	511	10	18	132
0,2666	511	14	18	128

Data z měření (tab. 1) jsou archivována a slouží i v případě mimořádných událostí pro další zpracování a vývoj situace na tramvajových tratích. Měření tedy hraje významnou úlohu při posuzování způsobilosti tramvajových tratí pro provoz. [4]

Je důležité věnovat dostatečnou pozornost projekční přípravě každého úseku tratě, rádě se připravit na každou zkušební jízdu, aby nemusely být prováděny žádné opravy a změny. Kvalitní zpracování projektové dokumentace při budování tratí je důležitým předpokladem pro úspěšnou zkušební jízdu a využití tratě pro přepravu cestujících, tedy pro úspěšné zvládnutí zkušebního provozu. [11]

Měření jako soubor činností s cílem určení měřené veličiny vytváří předpoklad pro další zdokonalování v této oblasti. Parametrů tramvajových tratí je celá řada a je nutné se zamýšlet nad novými způsoby měření těchto parametrů. Standard v podobě měření geometrických parametrů už dnes nestačí, sledují se už mnohem sofistikovanější dynamické parametry trolejového vedení. Výsledkem pro kvalitnější měření bude zvýšení přesnosti a celkové interakce jízdy tramvajového vozidla po tramvajové trati. Včetně zabezpečení pravidelných kalibrací využívaných přístrojů. Kalibracím podléhají v tomto případě všechna délková měřidla a rychloměr vozidla, pro měření přítlaku dále váhy a teploměr, kde teplotu ( $^{\circ}\text{C}$ ) bereme jako důležitý doplňkový parametr pro zpracování výsledků měření. [10; 11; 12]

## Závěr

Při poskytování dopravních služeb je důležitá i péče o celkovou infrastrukturu. Abychom dokázali o něco pečovat, musíme vědět, v jakém stavu se to nachází. Zjištění tohoto stavu nám umožňuje sběr dat a jejich vyhodnocení. Právě měření parametrů tramvajových tratí je podstatné pro přesnou, rychlou, bezpečnou a komfortní dopravu 21. století v sítích městské hromadné dopravy, s ohledem na roční období. Pravidelná údržba a kontrola všech zařízení má přímý vliv na kvalitní přepravu cestujících. Infrastruktura je tvořena kolejovým a trolejovým systémem, rozchod kolejí musí být v symbióze s trolejovým vedením, které zabezpečuje kontakt mezi vozidlem, resp. sběračem.

Potom provozuschopnost tramvajových tratí udává jejich technický stav, který zaručuje bezpečný a plynulý provoz tramvajových vozidel. Konstrukční uspořádání kolejí, geometrické upořádání kolejí (osa kolejí, rozchod kolejí, převýšení kolejí, sklon, minimální a maximální poloměr oblouku, přechodnice, aj.), její prostorová poloha (zajištěna geodetickým kontinuálním měřením, se zajišťovacími značkami) a k tomu stav trolejového vedení (v závislosti na ujeté dráze a rychlosti jízdy, kde sledujeme klikaťost, výšku, napětí, aj.), stav v síti u elektrické energie, včetně spotřeby a rekuperace, podmínky napájení na trati, to vše tvoří klíčové parametry sledované u tramvajových tratí. [4]

Při měření, resp. při jízdě s měřicí tramvají je pro posuzování trolejového vedení potřebné brát ohled také na teplo- tu okolí [13], dále na rychlosť jízdy vozidla, přítlak sběrače, stav kolejnic a tratí, jiná vozidla v blízkosti měřicího vozidla (ideální je provádět měření v noci, kdy je měřicí tramvaj na trati sama), vliv na měření mají i konstrukční prvky na vedení, tedy například způsob a vzdálenost závěsů. [4; 7] Kvalita tramvajových tratí je tedy závislá na komplexním posouzení více sledovaných veličin, k jejichž měření a vyhodnocování je důležité přistupovat inovativně – postupně vylepšovat způsoby sběru dat.

## Poděkování

Poděkování patří Strojnické fakultě Slovenské technické univerzity v Bratislavě, Dopravnímu podniku Bratislava, a. s. (DPB, a. s.), zejména potom měřicímu technikovi

panu Rastislavu Vajgelovi z DPB, a. s. za jeho ochotu a čas, včetně umožnění sesbírat data z tramvajových tratí. Děkujeme také uvedeným projektům: ITMS 313011V334, ITMS2014+ 313011BUH7, VEGA 1/0675/22, APVV-21-0216, VEGA 1/0687/21, 21NRM05, APVV-21-0195 a KEGA 024STU-4/2023.

## Literární zdroje

- [1] KRAB pro měření tramvajových tratí. [online]. Pražsketramvaje.cz © Pražské tramvaje 2001-2023 [cit. 2023-06-10]. ISSN 1801-9994. Dostupné z: <https://www.pražsketramvaje.cz/view.php?cisloclanku=2011121401>
- [2] Vyhláška číslo 177/1995 Sb. Vyhláška Ministerstva dopravy, kterou se vydává stavební a technický rád drah. [online]. © AION CS, s. r. o. 2010-2023 [cit. 2023-06-08]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1995-177>
- [3] KOLLÁR, Karol. Diagnostika kvality trolejových vedení. In *Dopravák*. Časopis zamestnancov Dopravného podniku Bratislava, akciová spoločnosť. Evidenčné číslo periodickej tlače EV 5904/20. Rok 2022, číslo 2, dátum vydania 10/2022. s. 42-44.
- [4] PLÁŠEK, Otto. Úvod do železničních staveb. [přednáška]. Brno: Fakulta stavební. Vysoké učení technické v Brně. Ústav železničních konstrukcí a staveb. 2023. 79 stran. Dostupné z: [https://www.fce.vutbr.cz/zel/plasek.o/studium/5\\_zeleznice\\_uvod.pdf](https://www.fce.vutbr.cz/zel/plasek.o/studium/5_zeleznice_uvod.pdf)
- [5] ČKD Tatra T3. [online]. Imhd.sk Copyright © imhd.sk, 2000-2023. Dostupné z: <https://imhd.sk/ba/vozidlo/267/ČKD-Tatra-T3-8437?p=1>
- [6] Měřicí tramvaj 5521. Wikipedie. Wikimedia. [online]. Wikipedia.org © 2023 [cit. 2023-06-02]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Měřicí\\_tramvaj\\_5521](https://cs.wikipedia.org/wiki/Měřicí_tramvaj_5521)
- [7] Měření parametrů trakčního vedení. [dokument]. Software pro měření parametrů trakčního vedení měřicí tramvají. Uživatelská příručka. 12 stran.
- [8] Grafický prohlížeč V11.1-VidZGPS. [dokument]. Software pro tisk a prohlížení datových souborů pořízených měřicí tramvají. Instalační a uživatelská příručka. 21 stran.
- [9] Měření parametrů trakčního vedení V6.1VidGPS. [software]. Software pro měření parametrů trakčního vedení měřicí tramvají.
- [10] KELEMENOVÁ, Tatiana, DOVICA, Miroslav. *Kalibrácia meradiel*. 1. vyd. Košice: TU v Košiciach. Edícia vedeckej a odbornej literatúry, 2016. 232 s. ISBN 978-80-553-3069-3.
- [11] KONVIČNÝ, Josef. Spolupráce sběrače s trakčním vedením. [seminář]. Czech-raildays.cz © 2003 [cit. 2023-05-28]. Dostupné z: [https://www.czech-raildays.cz/2003/seminare/zi\\_06.pdf](https://www.czech-raildays.cz/2003/seminare/zi_06.pdf)
- [12] CHUDÝ, V., PALENČÁR, R., KUREKOVÁ, E., HALAJ, M. (1999). *Meranie technických veličín*. Vydatelstvo Bratislava: STU, 1999. 688 s. ISBN 80-227-1275-2.
- [13] ĎURIŠ, S.; PALENČÁR, R.; KNOROVÁ, R. *Metrológia teploty*. Bratislava: Nakladateľstvo STU, 2013. 165 s. ISBN 978-80-227-4019-7.