



**26. MEDZINÁRODNÁ KONFERENCIA
„SÚČASNÉ PROBLÉMY V KOLĎAJOVÝCH
VOZIDLÁCH - PRORAIL 2023“
20. – 22. septembra 2023, Žilina, Slovensko**

<https://doi.org/10.26552/spkv.Z.2023.1.33>

MODIFIKACE STENDU KOLO - ROTUJÍCÍ KOLEJNICE PRO VÝZKUM PRŮCHODU ELEKTRICKÉHO SIGNÁLU MEZI KOLEM A KOLEJNICÍ

MODIFICATION OF THE WHEEL-ROTATING RAIL STAND FOR RESEARCH ON THE PASSAGE OF ELECTRICAL SIGNALS BETWEEN THE WHEEL AND THE RAIL

Michael LATA, Petr SÝKORA^{*)}

1 ÚVOD

V rámci zabezpečovacích systému kolejové dopravy se využívá průchod elektrického signálu mezi koly a kolejnicemi, přesněji řečeno dvojkolím vodivě spojí levou a pravou kolejnici a tím sepne zabezpečovací obvod. Jedná se o systémy, které úzce souvisí s bezpečností železniční dopravy. Z praxe jsou známy případy, kdy průchod elektrického proudu mezi koly a kolejnicí byl zatížen chybovostí, která vedla až k fatálním následkům. Přesto není známo, že by tato oblast byla středem zájmu výzkumu. Tento příspěvek obsahuje pilotní myšlenky a vstup do možné oblasti výzkumu. Hlavní smysl třeba spatřovat v komplexnosti a jedinečnosti konečné realizace.

2 KOLEJOVÉ OBVODY

Kolejové obvody jsou líniovým prostředkem pro spolupůsobení vlaku a jízdní dráhy a umožňující automaticky hlídat obsazení staničního nebo traťového úseku a další funkce.

Kolejových obvodů je více druhů, které můžeme dělit podle zapojení, napájení, případně dalších kritérií, a to v kontextu historie i současnosti. Podle zapojení se dělí na sériové a paralelní.

Podle napájecího proudu kolejového obvodu rozeznáváme: stejnosměrné kolejové obvody a střídavé kolejové obvody, oba dva systémy se vepsaly se všemi výhodami a nevýhodami do využití v železničním provozu. Stejnosměrné kolejové obvody se používaly především pro napájení izolovaných úseků. Lze říci že asi nejrozšířenější jsou systémy střídavé, a to s kmitočty, které nejsou násobkem 50 Hz. Používaly se 25 Hz, 75 Hz, 275 Hz. Tato informace je zde pouze pro úplnost, v rámci experimentů je jasné, že lze v případě experimentů simulačně zavést jakýkoliv signál.

V reálu projíždějící kolejové vozidlo propojí vodivým dvojkolím oba kolejnicové pásy a tím uzavře proudový obvod.

Protože přechodový elektrický odpor mezi dvojkolím a kolejnicemi není nezanedbatelný a samotné dvojkolím představuje také určitou hodnotu elektrického odporu,

^{*)} **doc. Ing. Michael LATA, Ph.D.**, Katedra dopravních prostředků a diagnostiky, Dopravní fakulta Jana Pernera, Univerzita Pardubice, Studentská 95, 532 10 Pardubice, ++420 466 036 186, michael.lata@upce.cz_

Ing. Petr SÝKORA, Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky, Dopravní fakulta Jana Pernera, Univerzita Pardubice, Studentská 95, 532 10 Pardubice, ++420 466 036 399, petr.sykora@upce.cz_

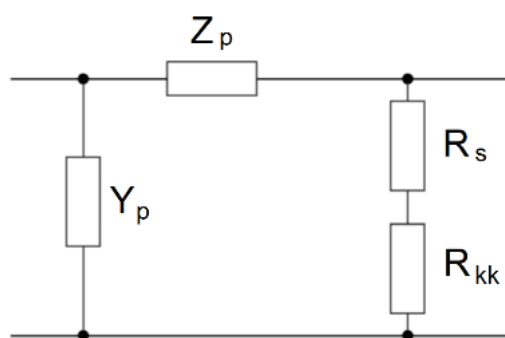
dvojkolí nepropojí obvod zcela nakrátko ale jak u nás, tak i v zahraničí se přijal výraz *šunt*, tedy dvojkolí *šuntuje* kolejový obvod a má určité *šuntovací* parametry. Součet celkového odporu všech dvojkolí vlaku pak nazýváme *vlakovým šuntem*. Pro doplnění uvedme, že např. u obručových kol je oproti kolům celistvým navíc přechodový odpor v lisovaném spoji. Přechodový odpor mezi koly a kolejnicemi má hodnotu větší nežli odpory

Kolejový obvod by měl být koncipován tak, aby došlo k jeho bezpečnému sepnutí i při vyšších hodnotách přechodových odporů. Přesto mohou nastat extrémní situace kdy ohmické hodnoty zejména vlivem vzniklé mezivrstvy mezi kolem a kolejnicí mohou vzrůst až o několik řádů a k sepnutí nedojde. Vzniká tak extrémně nebezpečný stav.

Pro korektní fungování kolejových obvodů je nutno zajistit potřebné parametry. Těmi jsou: příčná admitance Y_p , podélná impedance Z_p , šuntová citlivost dvojkolí R_s a přechodový odpor mezi koly a kolejnicí R_{kk} .

Pokud se zaměříme na problematiku přechodového odporu mezi kolem a kolejnicí. Na jeho velikosti se podílí zejména na straně vozidla: velikost svislé kolové síly (problém lehkých vozidel) a mikrovrstva na jízdni ploše kola s nedefinovanou elektrickou vodivostí. Příčina vytvoření této mezivrstvy může být např. použití nekovových brzdových špalíků, použití mazání na vozidlech, použití modifikátorů tření, pískování. Na straně kolejnice se může jednat o oxidaci pojezděné plochy hlavy kolejnice, nebo stacionární mazací zařízení.

Přesnější znalost, zmapování míry ovlivnění velikosti přechodového odporu zmíněnou mezivrstvou mezi kolem a kolejnicí v kombinaci s dalšími parametry, v současné době není.



Obr. 1 Kolejový zabezpečovací obvod

Fig. 1 The rail security circuit

2 ZKUŠEBNÍ ZAŘÍZENÍ

Zkušební stav individuálně poháněného tramvajového kola a rotující kolejnice se skládá ze dvou po sobě se odvalujících kol. Horní kolo je kolem hnacím, tramvajovým a spodní kolo je profilováno do tvaru hlavy kolejnice a představuje tedy tzv. rotující kolejnici.

Hnací motor kola SRT 225-S44 o výkonu 58 kW a jmenovitým momentem 852 Nm při 650 min⁻¹ je synchronní motor s permanentními magnety (PMSM) a je výrobkem firmy VÚES Brno typu SRT 225 – S 44. Motor má kapalinové chlazení, které je provedeno pomocí kanálů v plášti statoru. Maximální krouticí moment je 2000 Nm při 1000 min⁻¹. Rotor motoru se připojen ke kolu pomocí homokinetického kloubu. Kolo je totiž pohyblivé ve svislém směru, je upevněno na kyvném rameni, aby mohla být vyvozována přítlačná síla a simulováno svislé zatížení.

Na tomto zkušebním stavu proběhl v oblasti elektrotechniky vývoj, testování a dílčí výzkum samotného řízení synchronního motoru s permanentními magnety pro využití na kolejových vozidlech.

Jako zátěžný stroj, připojený k rotující kolejnici, slouží asynchronní 3-fázový elektromotor MEZ Brno závod Drásov typu MAF315S – 10. Motor má jmenovitý výkon 55 kW při jmenovitých otáčkách 589 min⁻¹. Rotor zátěžného stroje je připojen k rotující kolejnici

pomocí kloubového hřídele. Ten jednak umožňuje vykrývat geometrické odchylky a hlavně umožňuje simulovat jízdu s úhlem náběhu. Celé spodní kolo včetně ložiskování je uloženo na desce, kterou je možné natáčet v hlavním rámu stroje a aretovat nastavenou hodnotu úhlu náběhu.

Na stendu jsou instalovány snímače otáček na obou kolech. Jedná se o přesné snímače úhlu natočení, které jsou použity jednak pro elektrořízení obou kol ale také pro přesnou indikaci skluzové rychlosti mezi oběma koly v čase při simulaci adhezních jevů. Dále je u rotující kolejnici instalován snímač krouticího momentu, z kterého lze získávat průběh tečné síly mezi kolem a kolejnici v čase.

Zkušební zařízení (**obr. 2**) je původem vyvinuto a vyrobeno původně ve VUKV, a.s. Zhruba od roku 2001 pak na DFJP UPa probíhala postupně jeho zdokonalování a doplňování o další funkce a možnosti a získalo svým způsobem jedinečnost ve smyslu funkčnosti a uplatnění široké škály možností co do vstupních parametrů simulací.



Obr. 2 Zkušební stav tramvajového kola a rotující kolejnici

Fig. 2 Experimental stand of tramway wheel and rolling rail

Zkušební stav je v oblasti výzkumu adhezních poměrů kolo-kolejnici primárně určen k těmto základním okruhům experimentů:

- ověřování adhezní charakteristiky v celém jejím rozsahu, a to při alternativně měněných parametrech, zejména svislého přítlaku, rychlosti jízdy, úhlu náběhu a součinitele adheze (stavu styčných povrchů),
- ověření adhezních charakteristik při přechodu z oblasti tahu do brzdění motorem a naopak,
- simulace dynamické změny parametrů a přechodové jevy (řízení umožňuje nastavit strmost „rampy“ pro zvyšování velikosti tečné síly až do okamžiku prokluzu i zpět, je možné simulovat hysterzní jevy adhezních křivek),
- výzkum algoritmů protiskluzové ochrany.

Je zde instalována sada přípravků, které distribuují mezi kolo a kolejnici cizí materiál, ovlivňující velikost součinitele adheze. Prakticky je možné zkoumat jevy v široké

kombinaci vstupních hodnot pro suchou kolej, mastnotu, vodu, mýdlový roztok, směsný materiál na bázi listů, cizí materiál při extrémní teplotě, jednoduché řešení se nabízí i v případě distribuce písku do kontaktu kolo kolejnice.

Na tomto zařízení byly v minulosti v uvedených oblastech prováděny konkrétní výzkumné práce v rámci Výzkumného centra kolejových vozidel (2005-2011), Centra kompetence drážních vozidel (2012-2020), nebo větších projektů se zahraničními spoluřešiteli (R&D programme, Sheffield, 2017-2018), nebo v rámci doktorských prací zahraničních doktorandů včetně vazby na prestižní publikační výstupy v databázi WOS.

3 MODIFIKACE MĚŘICÍHO ZAŘÍZENÍ

Aby bylo možné na standu tramvajového kola a rotující kolejnice provádět experimenty v předemné problematice, musí být řešeny tyto okruhy problematiky:

- přívod elektrického signálu do jednoho z kol,
- sběr elektrického signálu z kola druhého,
- vhodný zdroj elektrické energie,
- galvanické oddělení jednotlivých částí,
- možnost měřit napětí a proud pokud možno co nejpřesněji a senzory, které mohou být napojeny na řídicí systém a změny naměřených hodnot zaznamenávat v čase,
- zvolit takovou metodu měření, aby byl kompenzován vliv přechodových odporů sběrných ústrojí na jednotlivých kolech, nebo zvážit možnost využití bezdrátových technologií.

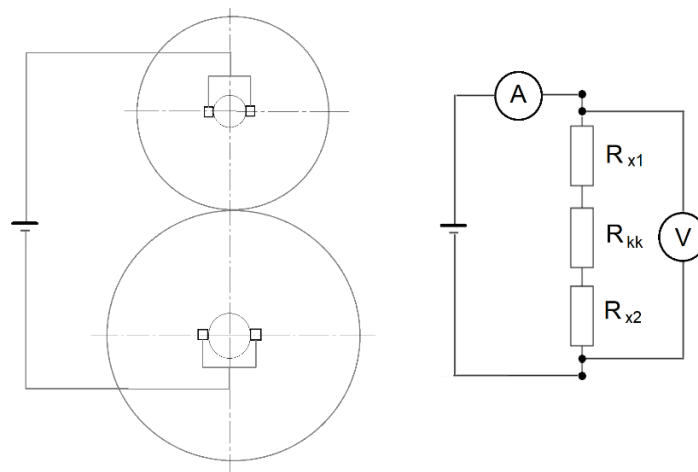
3.3 Měřicí schéma

Na **Obr. 3** je znázorněn základní měřicí schéma pro měření přechodového odporu mezi kolem a rotující kolejnicí. Schéma zahrnuje zdroj, sběrná ústrojí na obě kola a měřicí senzory. Princip je velmi jednoduchý a hodnota odporu je dána Ohmovým zákonem, čili vztahem mezi napětím a proudem. Zde máme měření proudu a napětí v tzv. čtyřsvorkovém zapojení.

Problémy v tomto případě však nastávají v něčem jiném. První problém spočívá v samotném faktu, že musíme ve dvou místech přenášet signál na pohybující se (rotující) součást. K tomu využíváme mechanická sběrná ústrojí. Je tedy jasné, že v těchto dvou uzlech vznikají další dva přechody, pro které bude platit, že i zde budou přechodové odpory nenulových hodnot a dokonce řádově srovnatelných se samotným zjišťovaným odporem mezi kolem a kolejnicí R_{kk} . Druhý problém spočívá právě v předpokládaných v malých ohmických hodnotách měřených odporů. Zásadním úkolem bude nalézt vhodnou metodiku měření tak, aby byl vliv přídavných přechodových odporů R_{x1} , R_{x2} co nejvíce eliminován.

3.4 Již realizované konstrukční úpravy

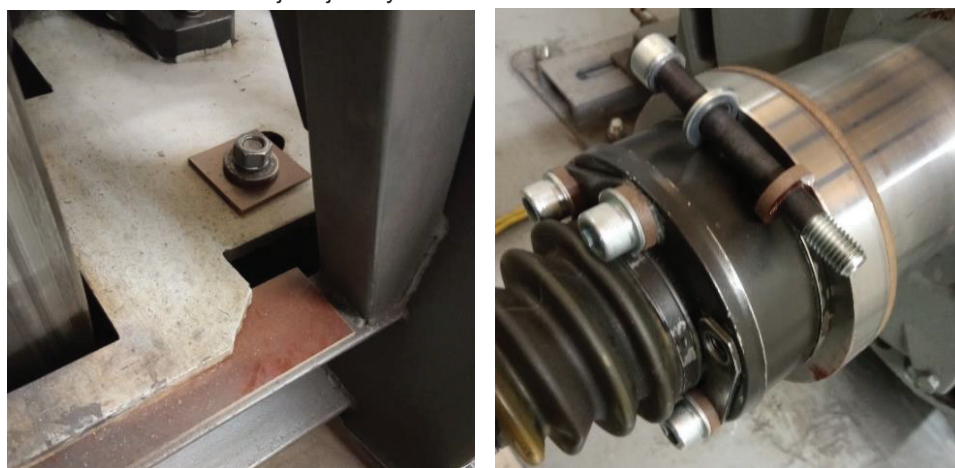
Na standovém zařízení byly v průběhu poslední doby provedeny modifikace vzhledem k izolačním vlastnostem jednotlivých částí a co se týče sběrných ústrojí obou kol. Spodní část standu, která je tvořena deskou, která umožňuje natáčení do úhlu náběhu, na níž je uloženo ložiskování a v něm spodní kolo (rotující kolejnice) byla galvanicky odizolována od zbytku konstrukce. To zahrnovalo podložení desky a vyvložkování šroubových spojů, spojujících desku s hlavním rámem. Detail vidíme na **obr. 4**. Dále bylo zapotřebí odizolovat kloubový hřídel brzdového AS motoru, neboť motor je zeměn. Řešení bylo nalezeno v izolaci spojky kloubového hřídele, kde byla dosazena izolační vložka příruby a upraveny šrouby které byly rozměrově upraveny a v oblasti svého dotyku s přírubami opatřeny izolací na dřívku i nevodivými podložkami, což je patrné z **obr. 4**.



Obr. 3 Základní schéma měření elektrického přechodového odporu kolo-kolejnice

Fig. 3 Basic scheme of measuring the wheel-rail electrical transient resistance

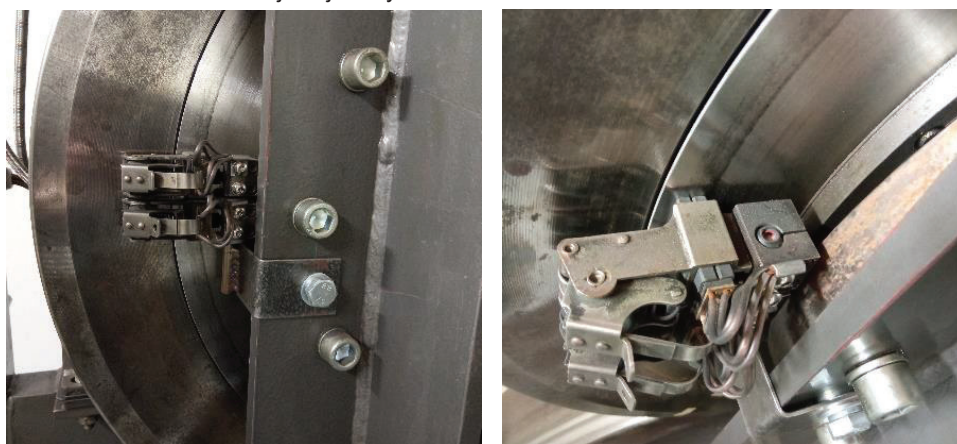
Při konstrukci sběrných ústrojí obou kol byly využity díly z lokomotiv. Jedná se o odpružené uhlíky, přitlačované odpruženým závěrem. Pro zvětšení kontaktní plochy jsou instalovány zdvojené. K uchycení na konstrukci stendu byly vyrobeny přesné konzoly. Na **obr. 5** vidíme pohled na horní kolo a dvojici přitlačovaných uhlíků. Jako kontaktní plocha byla využita čelní plocha tramvajového skládaného kola. Tato čelní plocha byla dodatečně broušena k zjemnění povrchové drsnosti. Pro úplnost dodejme, že mezi obruči kola a touto plochou se nachází ložiskování kola a homokinetický kloub (hnací motor je z hlediska **obr. 5** umístěn z druhé strany). Elektrický signál musí tedy projít mezi několika tělesy. Tento celkový přechodový odpor který reprezentuje cestu mezi sběrným ústrojím a kontaktní plochou mezi koly a kolejnicí je tedy v našem schématu na **obr. 3** označen R_{x1} .



Obr. 4 Galvanické odizolování spodního kola. Vlevo: základní deska spodního kola, vpravo: izolace příruby kloubového hřídele dosazením vložky a izolace šroubů

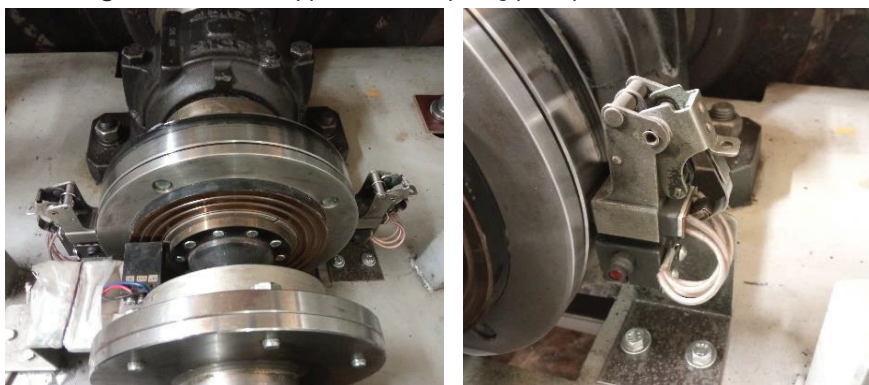
Fig. 4 Galvanic stripping of the lower wheel. On the left: the base plate of the lower wheel, on the right: the insulation of the cardan shaft flange and insulation the screws

Při konstrukci sběrných ústrojí obou kol byly využity díly z lokomotiv. Jedná se o odpružené uhlíky, přitlačované odpruženým závěrem. Pro zvětšení kontaktní plochy jsou instalovány zdvojené. K uchycení na konstrukci stendu byly vyrobeny přesné konzoly. Na **obr. 5** vidíme pohled na horní kolo a dvojici přitlačovaných uhlíků. Jako kontaktní plocha byla využita čelní plocha tramvajového skládaného kola. Tato čelní plocha byla dodatečně broušena k zjemnění povrchové drsnosti. Pro úplnost dodejme, že mezi obruči kola a touto plochou se nachází ložiskování kola a homokinetický kloub (hnací motor je z hlediska **obr. 5** umístěn z druhé strany). Elektrický signál musí tedy projít mezi několika tělesy. Tento celkový přechodový odpor který reprezentuje cestu mezi sběrným ústrojím a kontaktní plochou mezi kolem a kolejnici je tedy v našem schématu na **obr. 3** označen R_{x1} .



Obr. 5 Detail na odpružené sběrného ústrojí horního kola a kontaktní plochu

Fig. 5 Detail of the upper wheel's sprung pickup and contact surface



Obr. 6 Detail na sběrného ústrojí dolního kola a kontaktní plochu

Fig. 6 Detail of the lower wheel's pickup and contact surface

Pokud jde o spodní kolo stendu (rotující kolejnici), k instalaci sběrného ústrojí byla využita jedna z přírub snímače krouticího momentu, jejíž vnější obvod byl po zaleštění využit jako kontaktní plocha. Sběrné ústrojí je opět řešeno jako zdvojené umístěné na obou stranách. Detaily vidíme na **obr. 6**. Na obrázku je vidět také příruba jednoho z kloubů kardanova hřídele brzdného motoru a snímač krouticího momentu, který je umístěn mezi oběma přírubami. Vzadu vidíme ložiskování spodního kola. V tomto případě signál prochází se sběrného ústrojí do hřídele (nápravy) a lisovaným spojem do rotující kolejnici (která je

vyrobena p uvodne z železničního celistvého kola). Tím je dán celkový přechodový odpor na této straně a ve schématu na **Obr. 3** je označen jako R_{x2} .

Identifikace přechodového odporu medzi kolem a kolejnicí R_{kk} vzhledem k odporům R_{x1} a R_{x2} s dostatečnou p resnos t i je podmínkou úspěšného zavedení zvolené metodiky měření. Pokud se ukáže st avaj ící směr jako nevhodný, zváží se další moţnosti, jako např. rekonstruovat koncové partie obou kol, kde by mohly být st avaj ící snímače úhlového natočení nahrazeny typem p rub eţn m, na jejichž konce by se instalovalo laboratorní sb ern e ústrojí s velmi nízkým připadně známým přechodovým odporem.

4 ZÁVĚR

Hlavní myšlenkou, kterou prezentujeme v tomto příspěvku, je rozšířit mo nosti st avaj ící konfigurace stendov eho zařizení o možnost měřit zmenu přechodového odporu medzi kolem a kolejnicí p rav e v závislosti na variaci výše popsáných vstupů a zjišťovat vz ajemn e závislosti. Tato myšlenka je v současnosti ve fázi úvah o možné realizaci, použitých metodách, možnostech identifikace reálných hodnot a nutných modifikacích konstrukčních na jedné straně a v oblasti elektrotechnickej na straně druhé. Byly provedeny d il i i p race na odizolování horní a dolní  asti stendu mezi sebou a zároveň odizolování vůči rámu stroje a vůči zemi. Byla nainstalována mechanická sběrná ústrojí na obou kolech s využitím sběrných ústrojí lokomotiv na bázi p řitla n ych kartáč (uhlíků). Bude následovat vytvoření vhodn e metodiky měření. Problémem může být neznámá hodnota přechodových odporů samotných sběrných zařizení. Realizaci stend získá další mo nosti využití, bude možno zkoumat velikost přechodového odporu na vstupních parametrech, např. p řitlaku, stavu povrchů, p řítomnost cizí látky v kontaktu (mazivo, modifikátor součinitele t ření, voda, písek, listí, apod.), závislost na rychlosti jízdy, skluzu, p řitla n e svislé síle, apod. ať už v hodnotách absolutních, nebo poměrných. Vznikne tak unikátní možnost, měřit elektric k y odpor medzi kolem a rotuj ící kolejnicí při variaci velkého počtu parametrů a vzhledem k tomu, že v současn e době pou ivan e metody měření jsou většinou na stoj ícím dvojkolí, v tomto případě se bude jednat o pohybuj ící se kolo vůči kolejnicí, navíc s možností ověřit, jaký je vliv pokud se bude pohyb bl iţit medzi adheze, nebo jaký bude vliv natočení kola o úhel náběhu, nebo podrobný výzkum vlivu měněné p řitla n e síly (nejsme si vědomi, že by v této oblasti byl prováděn podrobný výzkum). Již bylo naznačeno,  e předmětný stend umo Ņňuje distribuci jakéhokoliv média medzi kolo a kolejnicí. V jedné výzkumné úloze pro zahraničního partnera (Velká Británie) se měřily adhezní poměry směsí listí, neboť se ví, že tento materiál je v kolejové dopravě významný. Zahraniční doktorandi na tomto zařizení realizovali témata svých prací výzkumem mo nosti protiskluzových algoritmů a zpět z historie aktivit na předmětném simulačním zařizení bylo také realizováno mnoho výstupů vedených v databázi WOS [3], [4]. výčet realizací by mohl být delší. Máme tedy za to, že pokud se podaří kombinovat tyto skute n e široké mo nosti našeho stendu s výzkumem přechodného odporu medzi oběma koly a toto bude realizováno, vznikne unikátní zařizení a metodika.

Literatura

- [1] Tr ogel, M.: Vnější podmínky činnosti kolejových obvodů. 7.12.2011, Praha. PDF Free Download. ADOC.PUB [online]. [cit. 25.05.2023]. Dostupné z: <https://adoc.pub>.
[2] Moravec, Z.: Měření malých odporů. Web o chemii, elektronice a programování. [online]. [cit. 07.06.2023]. Dostupné z: <http://z-moravec.net>.
[3] Zirek A., Voltr P., Lata M., Novak, J.: An adaptive sliding mode control to stabilize wheel slip and improve traction performance. PROCEEDINGS OF THE INSTITUTION OF MECHANICAL ENGINEERS PART F-JOURNAL OF RAIL AND RAPID TRANSIT. Volume: 232, Issue: 10, Pages: 2392-2405. London, England (2018). ISSN: 0954-4097, eISSN: 2041-3017. Web of Science. DOI: 10.1177/0954409718774139.
[4] Zirek A., Voltr P., Lata M.: Validation of antislip control method based on wheel angular acceleration on a roller rig. PROCEEDINGS OF THE

INSTITUTION OF MECHANICAL ENGINEERS PART F-JOURNAL OF RAIL AND RAPID TRANSIT. Volume: 234, Issue: 9, Pages: 1029-1040. London, England (2020). ISSN: 0954-4097, eISSN: 2041-3017. Web of Science. DOI: 10.1177/0954409719881085



Resumé

Mezi povrchy kol a kolejnic prochází elektrický proud a přechodové prostředí představuje z hlediska elektrotechniky přechodový odpor. Nabízí se idea, pro poznání závislosti tohoto odporu na všech vstupujících parametrech použít vhodné zkušební zařízení. Předpokládá se využití stendu tramvajové kolo-rotující kolejnice který pro tuto možnost však musí být modifikován. Musí být vyřešeny otázky vodivosti jednotlivých částí stendu, otázky uzemnění a zejména otázka přívodu signálu k jednomu z kol a snímání signálu z kola druhého což není úplně bez problému. V článku se uvádí, které úpravy stendu již byly provedeny a které jsou ve fázi návrhu.

Summary

The electric current passes between the surfaces of the wheels and the rails, and the transition medium represents a transition resistance from the point of view of electrical engineering. An idea is offered, to find out the dependence of this resistance on all incoming parameters, to use a suitable test device. It is assumed that the stand of the tram wheel-rotating rail will be used, but it must be modified for this option. The issues of conductivity of individual parts of the stand, issues of grounding and especially the issue of signal supply to one of the wheels and signal reception from the other wheel must be solved, which is not entirely without problems. The article states which modifications to the stand have already been made and which are in the design phase.

