

KONŠTRUKČNÁ ÚPRAVA MERACIEHO UZLA NA ZISŤOVANIE TEPLÔT A OTÁČOK NA ZOTRVAČNÍKOVOM BRZDOVOM STAVE UIC

DESIGN MODIFICATION OF THE MEASURING UNIT FOR DETECTING TEMPERATURES AND SPEEDS ON THE UIC FLYWHEEL TEST STAND

Andrej SUCHÁNEK¹, Jozef HARUŠINEC², Pavol ŠŤASTNIAK³

Abstrakt

Článok pojednáva o konštrukčnej úprave meracieho uzla slúžiaceho na zisťovanie teplôt a otáčok, ktorý je použitý na Zotrvačníkovom brzdovom stave UIC. Meranie otáčok železničného kolesa alebo brzdového kotúča je možné vykonávať dvoma na sebe nezávislými spôsobmi merania. Jeden zo spôsobov sa ukázal ako neefektívny. Preto bolo nutné vykonať konštrukčnú úpravu pripojenia krúžkovej hlavy, ktorá slúži na meranie teplôt pomocou termočlánkov, aby bolo možné k nej sériovo pripojiť snímač na meranie otáčok.

Kľúčové slová

brzdový stav, teplota, otáčky

Abstract

The article deals with the design of the measuring unit used to determine the temperatures and speeds, which is used on the flywheel state of the UIC. The measurement of the speed of a railway wheel or a brake disc can be performed by two independent measuring methods. One of the methods proved ineffective. Therefore, it was necessary to make a structural modification to the connection of the ring head, which is used for measuring temperatures by means of thermocouples, in order to be able to connect a speed sensor to it in series.

Keywords

brake test stand, temperature, speed

1 ÚVOD

Pri vytváraní nových koľajových vozidiel sa kladie dôraz na neustále zvyšovanie prepravných rýchlostí, prepravných objemov, zvyšovanie bezpečnosti a komfortu cestujúcich. Zároveň sa dôraz kladie aj na odstránenie hluku a vibrácií, znižovanie prevádzkových nákladov a nákladov na samotnú výrobu týchto vozidiel [7, 8].

Medzi najdôležitejší a najpodstatnejší podsystem zameraný na zaistenie a zvyšovanie bezpečnosti patria brzdy. Je potrebné aby brzdy koľajových vozidiel pri zavádzaní nových materiálov

¹ Ing. Andrej Suchánek, PhD., Žilinská univerzita v Žiline, Strojnícka fakulta. Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, SR. Tel.: +421 41 513 1753, e-mail: andrej.suchanek@fstroj.uniza.sk

² Ing. Jozef Harušinec, PhD., Žilinská univerzita v Žiline, Strojnícka fakulta. Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, SR. Tel.: +421 41 513 2570, e-mail: jozef.harusinec@fstroj.uniza.sk

³ Ing. Pavol Šťastniak, PhD., Žilinská univerzita v Žiline, Strojnícka fakulta. Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, SR. Tel.: +421 41 513 2562, e-mail: pavol.stastniak@fstroj.uniza.sk

spĺňali všetky bezpečnostné predpisy a normy [1, 5]. Brzdové systémy koľajových vozidiel musia prechádzať náročnými testami v ktorých dochádza k testovaniu ich vlastností [1, 3].

Najčastejšie sa vykonávajú experimentálne skúšky trecích vlastností a opotrebenia brzdových komponentov, ich tepelnej vodivosti atď. Pretože sú jednotlivé brzdové systémy koľajových vozidiel používané v rôznych štátoch a pri zapojení musia medzi sebou spoľahlivo pracovať je vypracovaná rozsiahla štandardizácia, ktorá hovorí nie len o samotných brzdách ale dôkladne predpisuje aj ich skúšanie na brzdových stavoch. Medzi hlavné vyhlášky, ktoré sa venujú skúšaniam brzdových komponentov železničných vozidiel patria vyhlášky UIC 541-3, UIC 541-4 a UIC 548.

2 ZOTRVAČNÍKOVÝ BRZDOVÝ STAV UIC

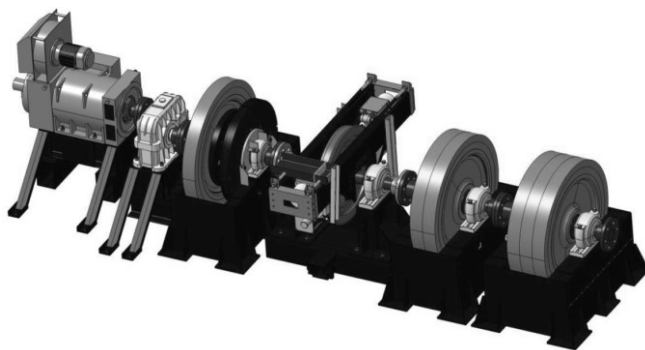
Brzdové stavy pre skúšanie brzd železničných koľajových vozidiel sú používané pre skúšky skutočných brzdových zostáv a komponentov v simulovaných podmienkach. Tieto skúšky väčšinou nahrádzajú drahé traťové brzdové skúšky celých vozňov. Zameranie týchto skúšok je testovanie trecích brzd, a to kotúčových a klátikových železničných brzd. Ciele týchto skúšok sú rôzne:

- schvaľovanie trecích skúšok brzdových obložení alebo klátikov podľa predpisov UIC 541-3 a UIC 541-4,
- overovacie predbežné skúšky vývojových typov obložení a klátikov,
- určovanie limitných hodnôt brzdnych výkonov pre obloženia, klátiky, brzdne kotúče a železničné kolesá,
- skúšky životnosti.

Obecne je väčšinou kladený dôraz na štúdium chovania súčiniteľa trenia a veľkosť opotrebenia. Je potrebné skúšať obe časti trecej dvojice, tj. obloženie aj brzdový kotúč u kotúčovej brzdy, alebo brzdové klátiky a koleso u klátikovej brzdy, a to v podmienkach, pri ktorých sú používané v železničnej prevádzke (rýchlosť, prítlak, hmotnosť vozňa prislúchajúca na brzdu atď.) [9]. Prevádzkové brzdzenie, rýchlobrzda a brzdzenie na spáde musia byť simulované tak, aby spĺňali prevádzkové podmienky. Ďalej sú to simulované podmienky pri suchom a mokrom type brzdzenia, kde zisťujeme vplyv dažďa.

Je dôležité zaistiť, aby rôzne brzdové stavy v rôznych skúšobniach dosahovali približne rovnaké výsledky uvedených skúšok obložení a klátikov rovnakého druhu a výrobcu. Za účelom dosiahnutia porovnateľných a spoľahlivých výsledkov musia byť takéto železničné brzdové stavy schválené a kontrolované skupinou expertov (pracovnou skupinou ERRI B 126.3). Musia byť vykonané kontroly mechanického a prístrojového usporiadania a vybavenia brzdového stavu, a je nutné vykonať porovnávacie skúšky rovnakej dvojice s už schváleným brzdovým stavom (UIC B 126/RP 2016).

Po mnohých rokoch vývoja a stavby zotrvačnickového brzdového stavu (obr. 1) na Katedre dopravnej a manipulačnej techniky, Strojníckej fakulty Žilinskej univerzity bolo v roku 1998 začaté schvaľovacie konanie brzdového stavu pre vykonávanie schvaľovacích skúšok brzdových obložení a klátikov podľa UIC 541-3 a UIC 541-4 [2, 4, 6].



Obr. 1 Zotrvačnickový brzdový stav UIC na KDMT

2.1 Kategórie brzdových stavov

Brzdové stavy vhodné pre schvaľovacie skúšky obložení kotúčových bŕzd a klátikov železničných klátkových bŕzd sa rozdeľujú do štyroch kategórií A, B, C a D, a to podľa dosahovanej rýchlosti. Kategória A brzdových stavov je určená do rýchlosti 175 km.h^{-1} , kategória B do 200 km.h^{-1} , kategória C má maximálnu rýchlosť 300 km.h^{-1} a kategória D je určená pre rýchlosti 320 resp. 350 km.h^{-1} .

Medzinárodné schvaľovanie nových a periodická kontrola už schválených brzdových stavov je vykonávaná podľa jednotlivých kategórií brzdových stavov, a to s príslušnými typmi obložení (organické a sintrové) a s príslušnými hmotnosťami na brzdu 2 t, 4 t alebo 7,5 t, a podľa rôznych programov brzdění.

2.2 Mechanické usporiadanie

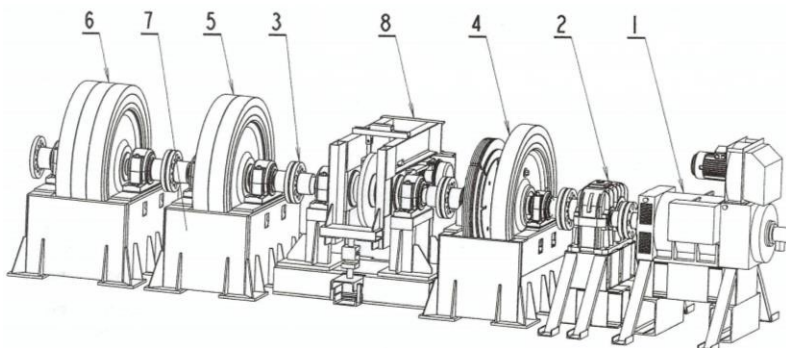
Zotrvačnickový brzdový stav UIC na KDMT kategórie D schválený subkomisiou UIC UK 5T podľa Správy ERRI B 126/RP 18 je vybavený brzdovými stanovišťami pre skúšanie:

- komponentov kotúčových bŕzd železničných vozidiel,
- komponentov klátkových bŕzd železničných vozidiel.

Brzdový stav UIC na KDMT sa skladá z týchto hlavných častí:

- pohon,
- sústava zotrvačnickov,
- brzdové stanovište,
- ventilačné zariadenie,
- kropiace zariadenie,
- meracie a radiacie systémy.

Usporiadanie zotrvačnickového brzdového stavu Katedry dopravnej a manipulačnej techniky, Strojníckej fakulty Žilinskej univerzity je uvedené na obr. 2.



Obr. 2 Usporiadanie zotrvačnickového stavu UIC na KDMT (bez vzduchotechniky)

1 – elektromotor, 2 – prevodovka, 3 – spojky, 4 – zotrvačníky s nastaviteľným momentom zotrvačnosti, 5, 6 – zotrvačníky, 7 – rámy zotrvačnickov, 8 – brzdové stanovište kotúčovej brzdy.

Pohon brzdového stavu zabezpečuje jednosmerný elektromotor s cudzím budením typ SB280LN8B (MEZ Vsetín), regulovaný tyristorovým štvorkvadrantovým reverzačným meničom typu 3 M470E8017 (MEZ Vsetín). K elektromotoru je cez spojku BKN pripojená prevodovka s jedným čelným súkolesím (ZŤS Sabinov) s prevodom do pomaly 1,5 (-), resp. rovnaká prevodovka s prevodom 1,72 (-) alebo prevodovka s prevodom 4 (-). Menovitý krútiaci moment tohto elektromotora je 1592 N.m pri menovitom výkone 265 kW, s možnosťou preťaženia až o 50 % po dobu 20 sekúnd. Maximálne otáčky elektromotora sú 3200 ot.min^{-1} , čo dovoľuje u tohto brzdového

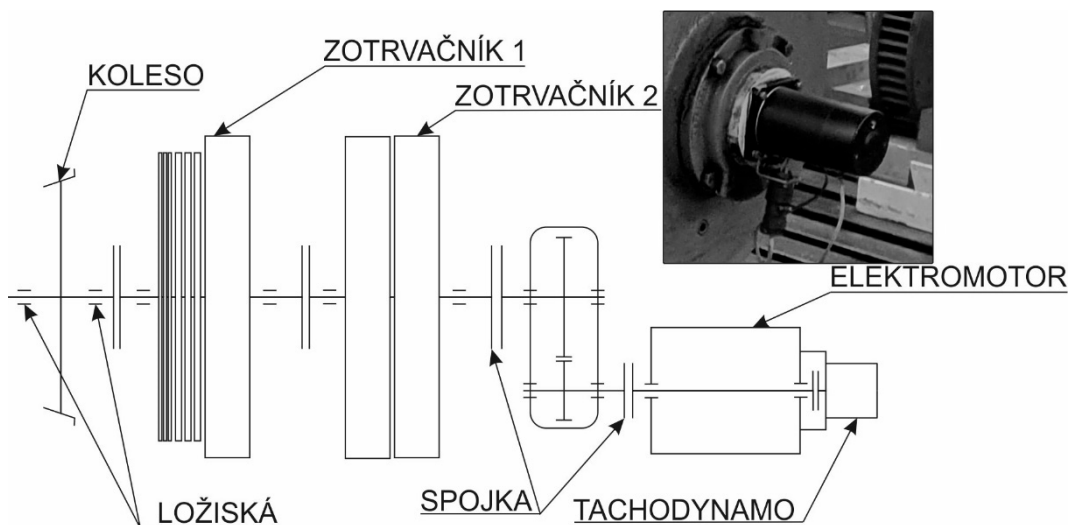
stavu a prevodovkou s prevodom 1,5 dosiahnuť maximálne otáčky hriadeľa brzdy až 2100 ot.min^{-1} a tým dosiahnuť rýchlosť 350 km.h^{-1} pre stredne opotrebené koleso o priemere 890 mm.

Sústava troch zotrvačníkov vypínateľných cez spojky BKN bola vyrobená v ŽD Bohumín a.s., závod železničných dvojkolesí. Tieto zotrvačníky boli vyvážené v ABB Brno. Celkový hmotnostný moment zotrvačnosti najmenšieho zloženého zotrvačníka je 400 kg.m^2 . Tento sa skladá z jedného vypínateľného zotrvačníka umiestneného na ložiskách s momentom zotrvačnosti 280 kg.m^2 a z ďalších 10 jednotlivito montovateľných malých zotrvačníkov (plechov) s celkovým momentom zotrvačnosti 100 kg.m^2 , skupina týchto kotúčov môže byť spojená s na hriadeľ nalisovaným kotúčom s momentom zotrvačnosti 20 kg.m^2 . Ďalší zotrvačník je o veľkosti 600 kg.m^2 a posledný má hmotnostný moment zotrvačnosti 900 kg.m^2 .

3 MERANIE TEPLÔT A OTÁČOK NA SKÚŠOBNOM STAVE

3.1 Meranie otáčok pomocou tachodynamu

Pôvodný systém merania otáčok na meracom zariadení pracoval na princípe merania napätia na internom meracom module tzv. Tachodyname (obr. 3). Problém bol v tom že výstupné napätie merané na ovládacom pulte elektromotora nevykazovalo konzistentné výsledky a po konzultácii z pracovníkmi spoločnosti MEZ Pohony a.s. nám bolo odporúčené zmeniť koncepciu merania otáčok.

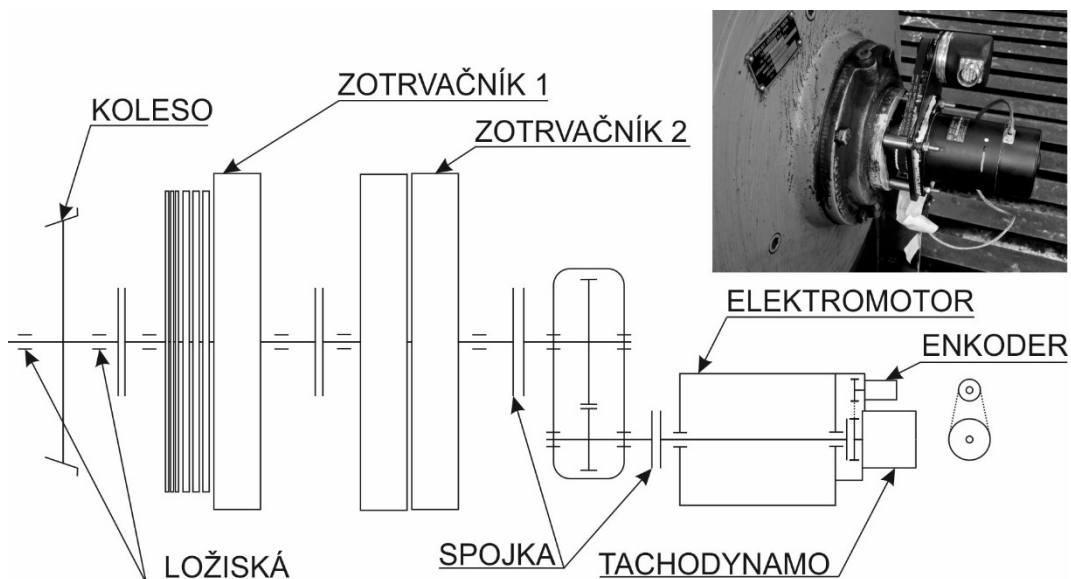


Obr. 3 Pôvodné riešenie merania otáčok na skúšobnom zariadení

3.2 Meranie otáčok pomocou snímača otáčok

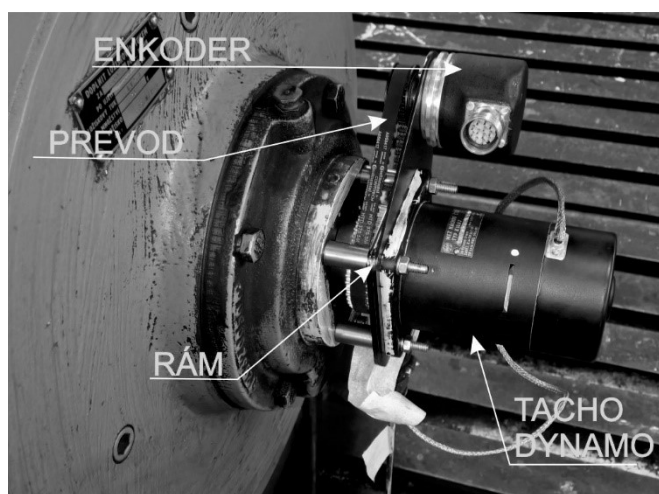
Prvotnou myšlienkou bolo použiť na meranie otáčok optický pulzný inkrementálny snímač značky LARM IRC 305/ 360 (obr. 4). Tento typ snímača sa nám osvedčil už pri predchádzajúcom zariadení RAILBCOT a pre potreby merania poskytoval dostatočné rozlíšenie a to 1 pulz na 1 uhlový stupeň a teda 360 pulzov na jednu otáčku. Pre miesto inštalácie bol zvolený uzol pripevnenia pôvodného tachodynamu. Pre bezproblémové pripojenie bola vyrobená ozubená remenica, ktorá bola spojkou medzi tachodynamom a hriadeľom motora. Zároveň prostredníctvom ozubeného remeňa poháňala enkodér ktorý slúžil na snímanie otáčok. Tento mal limit 10 000 otáčok za minútu a preto bolo rozhodnuté, že bude cez remeňový prevod pripojený s prevodom do rýchla 2:1 a teda sa jeho rozlíšenie zvýši na 720 pulzov na otáčku. Remeňový prevod zabezpečoval nehučný chod

a kompenzoval nepresnosti pri ustavení enkodéra. Na obr. 5 je znázornené vyhotovenie tohto uloženia na motore.



Obr. 4 Schematické usporiadanie stavu s aplikovaným enkodérom na telese motora

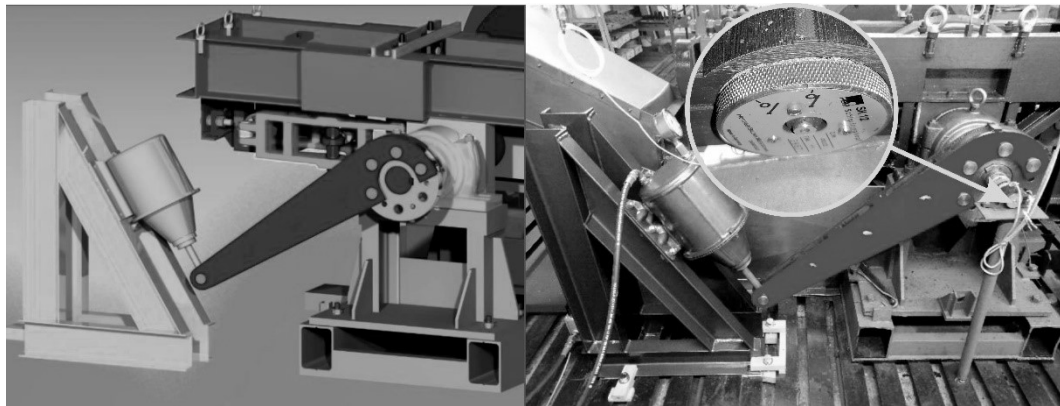
Toto riešenie bez problémov poskytovalo dostatočne presný výstup otáčok. Bolo to však provizórne riešenie a bolo v pláne vytvoriť trvalé uloženie enkodéru v ráme motora. Čiastočne nepohodlným bola potreba prepočítavať otáčky podľa zvolenej prevodovky. Tento nedostatok sa odstránil automatizáciou skúšobného procesu. Problém nastal pri zavádzaní jednotnej metodiky pri skúšaní statického súčiniteľa trenia. Toto meranie je známe aj pod označením tzv. parkovacie skúšky (obr. 6).



Obr. 5 Vyhotovenie variantu s enkodérom na telese motora

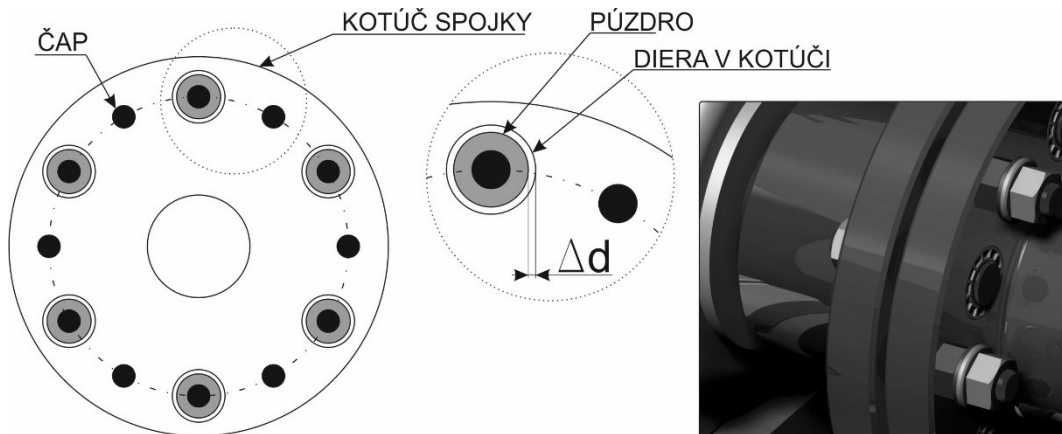
Tu nastal problém pri zaznamenávaní uhlu pootočenia prostredníctvom snímača otáčok. Skúška je vykonávaná tak, že pri stojacom zariadení dôjde ku zabrzdzeniu kotúča alebo kolesa brzdovým obložením definovanou silou F_B , ktorú stanovuje príslušný skúšobný program podľa normy UIC 541-3 alebo UIC 541-4. Po zablokovaní kolesa alebo kotúča prostredníctvom brzdového obloženia je

prostredníctvom pneumatického valca vyvodzovaná sila na páku parkovacej brzdy. Rýchlosť nábehu tejto sily je stanovená podľa skúšobného programu a zvyšuje sa až do momentu, kedy je vysunutá celá piestnica valca. Zo zaznamenaných hodnôt pootočenia a veľkosti sily je vytvorená závislosť priebehu pootočenia od sily, ktorá sa snaží pootočiť kolesom alebo brzdovým diskom. Tu nastal problém v tom, že v závislosti od použitej prevodovky bola iná citlivosť snímača otáčok.



Obr. 6 Zariadenie pre vykonávanie skúšky statického súčiniteľa trenia

Ďalším problémom bola skutočnosť, že reťazec medzi brzdenou vzorkou a motorom, na ktorom bol umiestnený snímač má niekoľko spojov ktoré majú konštrukčnú vôľu. Tá vzniká na spojkách BKN (obr. 7) a taktiež v ozubení prevodovky TSA 301. Tieto konštrukčné vôle bolo možné čiastočne eliminovať zmenou vložiek spojok za vložky s priemerom 49,8 mm namiesto pôvodných 40 mm vložiek. Tieto by boli plné, aby sa zväčšila ich tuhosť. Nepriaznivým dôsledkom by bola potreba presnejšieho nastavenia vzájomnej polohy a hlavne jej častejšia kontrola. Nakoľko by pri prehliadnutí nepresností trpeli ložiská hriadeľov. Preto bolo potrebné nájsť iné riešenie.

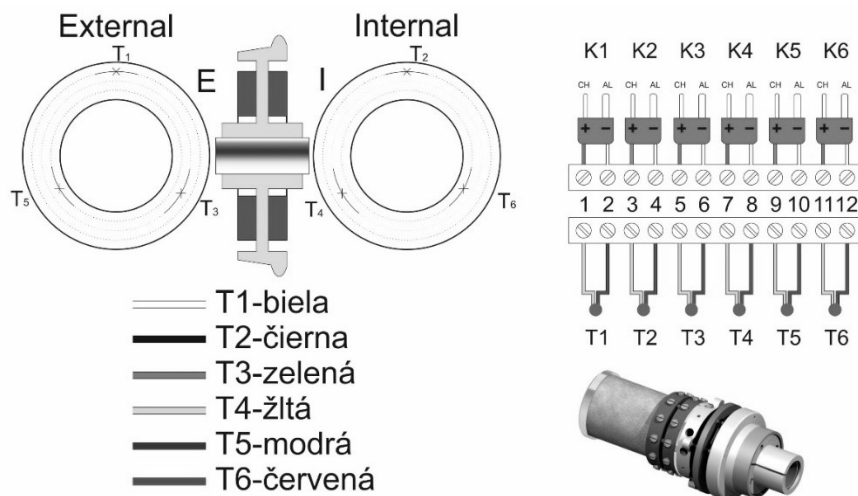


Obr. 7 Konštrukčná vôľa v telese BKN spojky

3.3 Meranie teplôt pomocou termočlánkov

Ako vhodné miesto pre umiestnenie snímača otáčok, ktorý by bol schopný bez ovplyvnenia vôľami v pohonnom reťazci zabezpečiť okrem snímania otáčok aj záznam uhlu pootočenia pri skúške statického súčiniteľa trenia, bolo miesto na krúžkovej hlave kde sa nachádza fixačná skrutka. Tá zabezpečuje stator krúžkovej hlavy SK12 od spoločnosti HBM proti vysunutiu z hriadeľa rotora. Krúžková hlava zabezpečuje primárne prenos elektrických signálov z hriadeľa na statické meracie

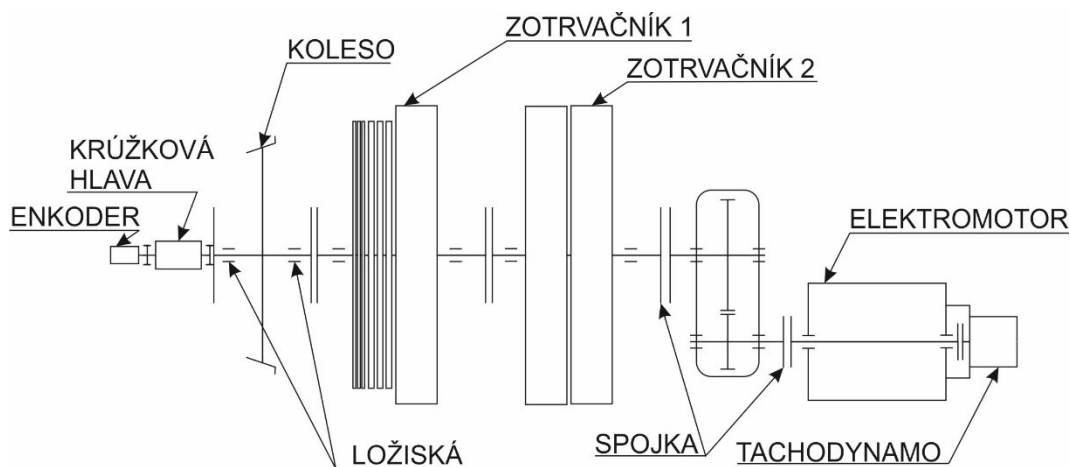
miesto. Signály, ktoré prenáša v našom prípade, sú napätia generované termočlánkami umiestnenými v telese kolesa, alebo v telese kotúča. Hlava je schopná preniesť 6 signálov 12timi krúžkami. V prípade spoločnej zeme signálov je schopná preniesť až 11 napätových signálov. Na obr. 8 je schematické zapojenie meracích miest. Na obr. 6 je vidieť koniec krúžkovej hlavy, na ktorý bude umiestnené pripojenie snímača otáčok.



Obr. 8 Schematické usporiadanie meracích miest termočlánkov a model krúžkovej hlavy

3.4 Aktuálne meranie otáčok a teplôt

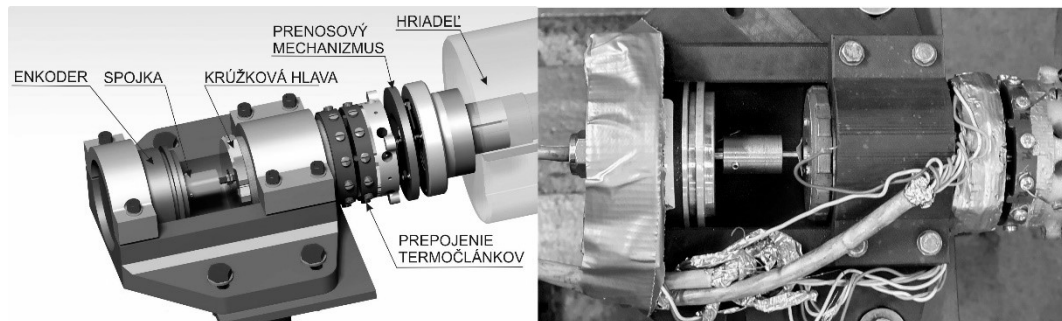
Na obr. 9 je znázornená schéma zapojenia enkodéra na výstup z krúžkovej hlavy. Nakoľko je zaistovacia skrutka pripojená pevne ku hriadeľu krúžkovej hlavy a táto je prostredníctvom mechanizmu spojená so skúšobným hriadeľom. Tento mechanizmus kompenzuje vzájomnú nesúosovosť hriadeľa vzorky a krúžkovej hlavy, potom na hriadeľi krúžkovej hlavy máme signál aktuálnych otáčok skúšobného hriadeľa. Tento mechanizmus je inšpirovaný prenosovým ojniovým mechanizmom momentu z motora na nápravu lokomotív Alsthom (obr. 10).



Obr. 9 Schematické usporiadanie stavu so zapojením enkodéra na výstup z krúžkovej hlavy

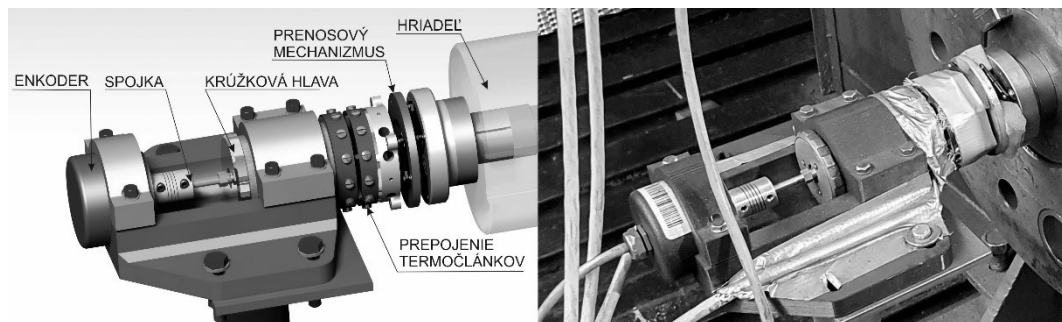
Prvý variant (obr. 10) bol vytvorený tak, že hriadeľ enkodéra bol spojený s šesťhranným otvorom skrutky s rozmerom 2,5 mm prostredníctvom jednoduchkej spojky. Výhoda tohto riešenia bola aj

v tom, že pri prevádzke nedochádzalo pôsobením enkodéra ku odskrutkovávaniu skrutky vďaka vhodnej orientácii smeru otáčania hriadeľa. Taktiež došlo ku zmene snímača otáčok a bol použitý variant snímača s pozdĺžne umiestneným výstupom kábla a 1250 pulzami na jednu otáčku. Toto riešenie zabezpečilo dostatočnú presnosť pri skúškach statického súčiniteľa trenia. Riešenie bolo jednoduché a rýchlo aplikovateľné, nakoľko držiak krúžkovej hlavy bol vytvorený metódou RAPID PROTOTYPING, a tak sa dal jeho tvar rozšíriť o nový prvok relatívne rýchlo a bez komplikácií.



Obr. 10 Prvý variant umiestnenia snímača otáčok za krúžkovú hlavu

Po absolvovaní testovacích brzdení a zisťovaní vhodnosti použitia bolo rozhodnuté, že daný variant vyhovuje a bude nasadený do skúšobného reťazca. Po niekoľko mesačnom používaní nastal prvý problém, ktorý ukázal slabinu riešenia, a to postupné opotrebovávanie šesťhranu, nakoľko fixačná skrutka bola z hliníku. Dochádzalo ku kontaktnej korózii a toto spôsobovalo poruchu, pri ktorej začal oslabený šesťhran preklzávať, a tým pádom prestal plniť požadovanú funkciu.



Obr. 11 Upravený variant umiestnenia snímača otáčok za krúžkovú hlavu

Bolo potrebné vytvoriť robustnejšie riešenie a preto bol šesťhran nahradený masívnejším adaptérom, ktorý nahrádzal doteraz používanú skrutku na konci hlavy (obr. 11).

4 ZÁVER

Článok pojednáva o úprave nevyhovujúceho riešenia snímania otáčok na skúšobnom zariadení. Je tu prezentovaný proces postupného zlepšovania skúmaného uzla z hľadiska naň kladených podmienok. V pôvodnom riešení bolo na snímanie otáčok použité tachodynamo, ktorého výstupná charakteristika nevyhovovala potrebám skúšok. Toto riešenie bolo nahradené variantom s inkrementálnym snímačom otáčok umiestneným na ráme elektromotora. Tento variant nebol dostatočne vhodný pre meranie statického súčiniteľa trenia. Preto bol nahradený variantom, kde bol snímač umiestnený za krúžkovú hlavu, ktorou sa získavajú zo skúšobného hriadeľa hodnoty teplot skúmanej vzorky. Tento po miernej modifikácii vyhovuje stanoveným požiadavkám.

Veľkým prínosom pri príprave merania je podpora metód RAPID PROTOTYPINGU kde je čas úpravy zredukovaný na zlomok oproti konvenčným postupom výroby adaptérov pre snímače. Taktiež je možnosť pružne reagovať v prípade potreby výmeny snímača otáčok za iný typ s inými rozmermi alebo počtom pulzov na otáčku.

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra 2014 - 2020 pre projekt: Inovatívne riešenia pohonných, energetických a bezpečnostných komponentov dopravných prostriedkov, s ITMS kódom projektu 313011V334, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.



EURÓPSKA ÚNIA
Európsky fond regionálneho rozvoja
OP Integrovaná infraštruktúra 2014 – 2020



MINISTERSTVO
DOPRAVY A VÝSTAVBY
SLOVENSKEJ REPUBLIKY



Literatúra

- [1] GERLICI, J., SAKHNO, V., YEFYMENKO, A., VERBITSKII, V., KRAVCHENKO, A., KRAVCHENKO, K. *The stability analysis of two-wheeled vehicle model*. Sklene Teplice, Slovakia: 22nd Slovak-Polish Scientific Conference on Machine Modelling and Simulations (MMS), 05.–08. 09. 2017.
- [2] LACK, T., GERLICI, J. Integration methods for rail vehicle ride dynamics solution assessment. In: *Současné problémy v kolejových vozidlech: XXIII. konference s mezinárodní účastí, sborník příspěvků*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2017, 217–234. ISBN 978-80-7560-085-1.
- [3] GERLICI, J., NOZHENKO, O., CHERNIAK, G., GORBUNOV, M., DOMIN, R., LACK, T. The development of diagnostics methodological principles of the railway rolling stock on the basis of the analysis of dynamic vibration processes of the rail. *MATEC Web of Conferences*. 2018, **157**, 03007. DOI: 10.1051/mateconf/201815703007
- [4] GERLICI, J., KRAVCHENKO, K., HAUSER, V., GORBUNOV, M., LACK, T., MOGILA, V. *Innovative Technical Solutions to Improve the Cooling Efficiency of Friction Brake Elements*. Vilnius, Lithuania: 11th Transbaltica International Scientific Conference (TRANSBALTICA) – Transportation Science and Technology, 02.–03. 05. 2019.
- [5] GERLICI, J., LACK, T. *Wheelset/rail geometric characteristics and contact forces assessment with regard to wheelset rolling*. Rydzyna, Poland: 23rd Polish-Slovak Scientific Conference on Machine Modelling and Simulations (MMS), 04.–07. 09. 2018.
- [6] GERLICI, J., LACK, T. *The assessment of the integration methods for the rail vehicle ride dynamics solution*. Sklene Teplice, Slovakia: 22nd Slovak-Polish Scientific Conference on Machine Modelling and Simulations (MMS), 05.–08. 09. 2017.
- [7] SOUKUP, J., SKOČILAS, J., SKOČILASOVÁ, B., DIŽO, J. *Vertical vibration of two axle railway vehicle*. Hucisko, Poland: 21st Polish-Slovak Scientific Conference on Machine Modelling and Simulations (MMS), 06.–08. 09. 2016.
- [8] SÁGA, M., BLATNICKÝ, M., VAŠKO, M., DIŽO, J., KOPAS, P., GERLICI, J. Experimental Determination of the Manson-Coffin Curves for an Original Unconventional Vehicle Frame. *Materials*. Basel, Switzerland, MDPI, 2020, **13**(20), 4675. ISSN: 1996-1944. DOI: 10.3390/ma13204675
- [9] DIŽO, J., BLATNICKÝ, M., STEISUNAS, S., FALENDYSH, A. *Investigation of Ride Properties of a Rail Vehicle with Wheel Defects*. Trakai, Lithuania: 22nd International Scientific Conference on Transport Means, 03.–05. 10. 2018.