



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

<https://doi.org/10.26552/spkv.Z.2023.2.42>

## **WAYSIDE DIAGNOSTIKA POJEZDU KOLEJOVÝCH VOZIDEL A JEJÍ PŘÍNOS PRO ÚDRŽBU**

### ***WAYSIDE DIAGNOSTICS OF RUNNING GEAR OF RAILWAY VEHICLES AND ITS CONTRIBUTION TO MAINTENANCE***

**Jakub VÁGNER, Martin KOHOUT, Petr VOLTR, Stanislava LIBEROVÁ,  
Michal JIRKA, Ondřej KOVÁŘ<sup>1)</sup>**

#### **1 ÚVOD**

Diagnostika stavu pojezdu kolejových vozidel je důležitá jak pro provozovatele vozidla, tak pro správce infrastruktury. V prvním případě je cílem odhalit poruchy včas a provést nebo naplánovat údržbový zásah na vozidle. Některé vady také zvyšují hluk a vibrace v prostoru pro cestující. V druhém případě jde hlavně o ochranu infrastruktury proti zvýšeným dynamickým účinkům, ale také s cílem snížit hluk a vibrace v okolí tratí. Důležitým aspektem je pak detekce náhlých poruch, což zvyšuje bezpečnost dopravy. V síti železničních tratí Správy železnic s.o. je okolo 66 diagnostických míst [1], které detekují stav vozidel měřením v koleji. Jedná se zejména o zařízení ASDEK. Zatím nejsou výsledky diagnostiky poskytovány dopravcům a jedná se tak o systémy, jejichž úkolem je ochránit infrastrukturu. V případě metra je situace odlišná. V tunelech by bylo velmi složité instalovat zařízení o velikosti systému ASDEK, přitom detekce těchto poruch má zde mnohem větší význam. Jedná se o provoz v hustě obydlených oblastech a hlukové emise v tunelu mají větší dopad na cestující.

Autoři se touto problematikou zabývají již několik let a bylo vyvinuto zařízení s pracovním názvem DiMet, které má kompaktní rozměry a pomocí měření v koleji dovede detekovat mnoho poruch v pojezdu vozidla. Kromě funkce ochrany infrastruktury má

<sup>1)</sup> **Ing. Jakub VÁGNER, Ph.D.**, Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, Katedra dopravních prostředků a diagnostiky, Studentská 95, 532 10 Pardubice, Česká republika. Tel.: +420 466 036 493, e-mail: jakub.vagner@upce.cz.

**Ing. Martin KOHOUT, Ph.D.**, Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, Dislokované pracoviště DFJP, Nádražní 547, 560 02 Česká Třebová, Česká republika. Tel.: +420 466 037 427, e-mail: martin.kohout@upce.cz.

**doc. Ing. Petr VOLTR, Ph.D.**, Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, Výukové a výzkumné centrum v dopravě, Studentská 95, 532 10 Pardubice, Česká republika. Tel.: +420 466 038 505, e-mail: petr.voltr@upce.cz.

**Ing. Stanislava LIBEROVÁ, Ph.D.**, Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, Dislokované pracoviště DFJP, Nádražní 547, 560 02 Česká Třebová, Česká republika. Tel.: +420 466 037 429, e-mail: stanislava.liberova@upce.cz.

**Michal JIRKA**, Škoda Transportation, a.s., Full Servis Praha, Sazečská 1, Depo Hostivař, 108 37 Praha 10, Česká rep. Tel.: +420 378 183 513, e-mail: michal.jirka@skodagroup.com.

**Ing. Ondřej KOVÁŘ**, STARMON s.r.o., Průmyslová 1880, 565 01 Choceň, Česká republika. Tel.: +420 465 530 177, e-mail: ondrej.kovar@starmon.cz.

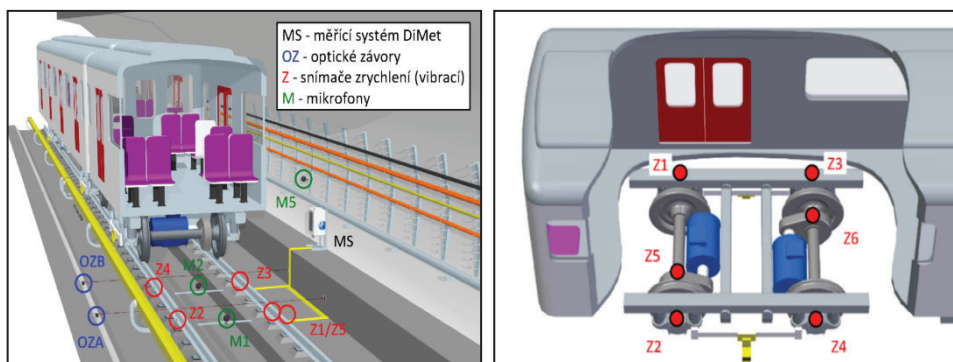
zařízení také přínos do údržby vozidel. Tento příspěvek stručně popisuje zařízení, možnosti detekce poruch a přínosy pro údržbu vozidel metra.

## 2 WAYSIDE, NEBO ONBOARD?

Diagnostika poruch je realizovatelná několika způsoby. Dle umístění sensorů lze zařízení rozdělit na „onboard“ – tedy umístěné na vozidle – nebo „wayside“ – tedy zařízení umístěné na trati. Nutno podotknout, že zařízení na trati může dále detekovat technický stav trati i vozidla, a naopak zařízení na vozidle může detekovat technický stav vozidla i trati. Vznikají tak čtyři kombinace koncepcí diagnostického systému, jejichž základní vlastnosti jsou uvedeny v **TAB. 1**.

**TAB. 1** Výhody a nevýhody v různých přístupech diagnostiky  
**TABLE 1** Advantages and disadvantages of approaches to diagnostics

Diagnostika Umístění	Vozidla	Tratě
Na vozidle	+ měření přímo na vozidle – vysoké náklady na pořízení, musí být na každém vozidle	+ jedno zařízení pro celou trať – nutnost znát polohu na trati
Na trati	+ jedno zařízení pro celou flotilu vozidel – nutnost identifikace vozidla – obvykle nelze použít na odpružené části	+ měření přímo na diagnostikovaném objektu – obvykle nutnost identifikace vozidla – vysoké náklady na pořízení, každé místo na trati by muselo mít sensor



**Obr. 1** Příklad umístění snímačů wayside diagnostiky (vlevo) a onboard diagnostiky (vpravo)

**Fig. 1** Example of position of sensors for wayside diagnostics (left) and onboard diagnostics (right)

Pro případ metra se autoři rozhodli použít přístup „wayside“ z důvodu nižší pořizovací ceny, relativně jednoduchého přenosu dat v tunelu a možnosti identifikace souprav. Na měřené trase se pohybuje konstrukčně shodná skupina vozidel, což umožňuje z diagnostiky vyčíst další přidanou hodnotu v podobě možnosti porovnávat soupravy mezi sebou.

## 2 TECHNICKY POPIS SYSTÉMU

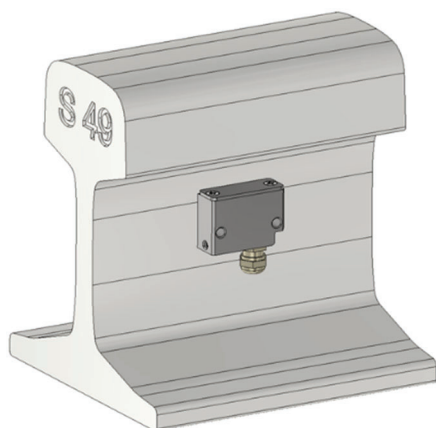
### 2.1 HW rešení DAQ  asti

Celý systém se skládá z několika podsystémů, které jsou distribuov an e do několika míst. Jedná se o DAQ jednotku v trati, která je v průmyslovém provedení a určená pro železniční provoz (viz **obr. 2**). Umístění je v blízkosti koleje – cca 5 m od osy koleje, resp. od sn ima u zrychlení umístěných v koleji (ACC-S, viz **obr. 3**).



**Obr. 2** DAQ jednotka (výrobce STARMON s.r.o.)

**Fig. 2** DAQ unit (manufactured by STARMON s.r.o.)



**Obr. 3** Snímače ACC-S umístěné na stojině kolejnice (výrobce STARMON s.r.o.)

**Fig. 3** ACC-S sensors installed at the rail web (manufactured by STARMON s.r.o.)

DAQ jednotka je propojena s měřicím průmyslovým počítačem. Propojení je provedeno optick m vláknem, připadně izolovan m metalick m spojem (izolační pevnost 4 kV). V průmyslovém počítači pak běží software DAQ-S, který data zaznamená. Pro určení rychlosti souprav a směru jízdy je v blízkosti sensorů ACC-S um st en  kolejový dotek Frauscher RSR 180, který zaznamená příjezd každé nápravy a tato informace se zaznamená do měřených dat.

Zkušební provoz zařízení jíž běží v DPP několik m esic u, nyní se rozběhl zkušební provoz také v jedné lokalitě Správy železnic s.o. v plném provozu.

## 2.2 SW řešení

Naměřená data se přenášejí na server, kde jsou vyhodnocována a následně vizualizována uživateli skrze webové rozhraní. Pro výzkumné účely jsou přenášena surová data, ale do budoucna se počítá se zpracováním dat na místě tak, aby byla přenášena pouze výsledky diagnostiky.



**Obr. 4** Ukázka webového rozhraní pro vizualizaci výsledků. Pohled na obrazovku „depot“ s přehledem stavu souprav (nahore) a pohled na detail „souprava“ (dole).

**Fig. 4** Example of the web interface for presentation of results: view of the „depot“ screen with summary of the whole fleet (top) and view of the „trainset“ detail (bottom).

Hodnocenou veličinou je svislé zrychlení, měřené na stojinách obou kolejnic, doplnkově lze měřit i hluk. Při vyhodnocení je potřeba znát parametry koleje, protože se jedná o interakci vozidlo–kolej [2, 3, 4]. Proto byla provedena dynamická analýza koleje (experimentálně i simulačně) a výsledky byly zohledněny při vyhodnocení dat. Dále je potřeba zohlednit fakt, že ocelová kolejnice dobře vede vibrace a lokalizace poruchy po jednotlivých nápravách může být obtížná. Ze zkušenosti ale víme, že lokalizace na určitý podvozek funguje vždy. Samotné vyhodnocení se provádí automaticky za použití nástrojů pro zpracování signálu jak v časové, tak frekvenční oblasti. Výsledky jsou pak uloženy v databázi, která je zdrojem informací pro webové aplikace – ukázka takové aplikace je na **obr. 4**. Testuje se také funkce, která při překročení zadaných hodnot upozorní uživatele e-mailem nebo oznámením v aplikaci na mobilním telefonu. Zatím se daří výstrahy předat do 15 minut od průjezdu vlaku s tím, že tato doba by se měla ještě zkrátit.

## 3 PŘÍKLADY DIAGNOSTIKOVANÝCH PORUCH

### 3.1 Plochy na jízdní ploše kola

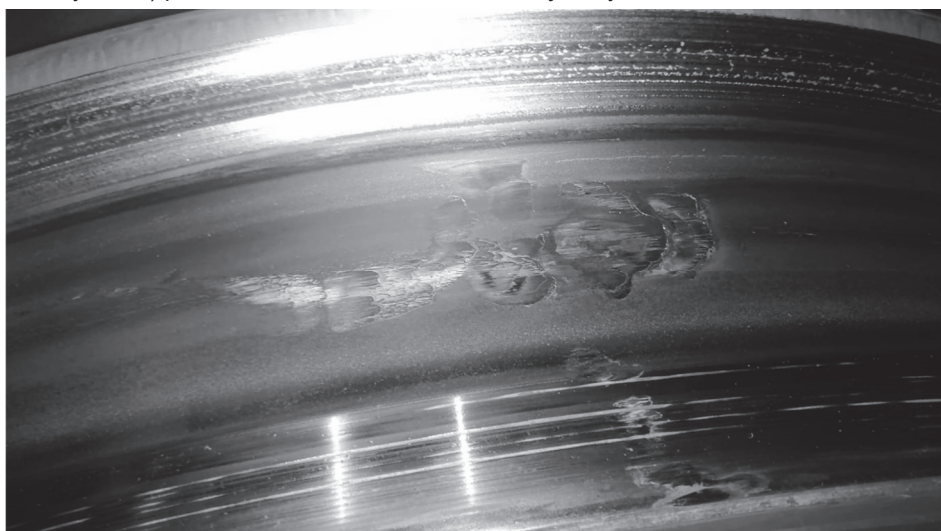
Plochá kola vznikají v každém železničním provozu. Nejčastějším důvodem je brzdění vozidla přes mez adheze a následný smyk kola. Vada se hodnotí obvykle podle velikosti plochy v milimetrech čtverečních, což nemusí být parametr korelující s dynamickou



odezvou na trati. Dále je možné hodnotit délku plochy (délka po obvodu kola), která také nemusí být určujícím parametrem.

Během zkušebního provozu zařízení bylo zachyceno desítky případů plochých kol s různou velikostí odezvy. Detekci lze sice provést pouhým statistickým hodnocením signálu, ale aby se vyloučily jiné poruchy, je potřeba použít pokročilejší techniky hodnocení (kombinace vyhodnocení v časové a frekvenční oblasti).

Na **obr. 5** je vidět příklad plochého místa na kole, které vzniklo při použití nouzového zastavení soupravy na zhlaví depa Hostivař. Je vidět členitost plochy, zřejmě z důvodu vzniku v místě výhybky. Hodnotící parametr „plocha“ (jednotky v mm<sup>2</sup>) a „délka“ (jednotky v mm) pak není zcela relevantní a nekoreluje s dynamickou odezvou na trati.



**Obr. 5** Členitá plocha po smyku kola v místě zhlaví depa

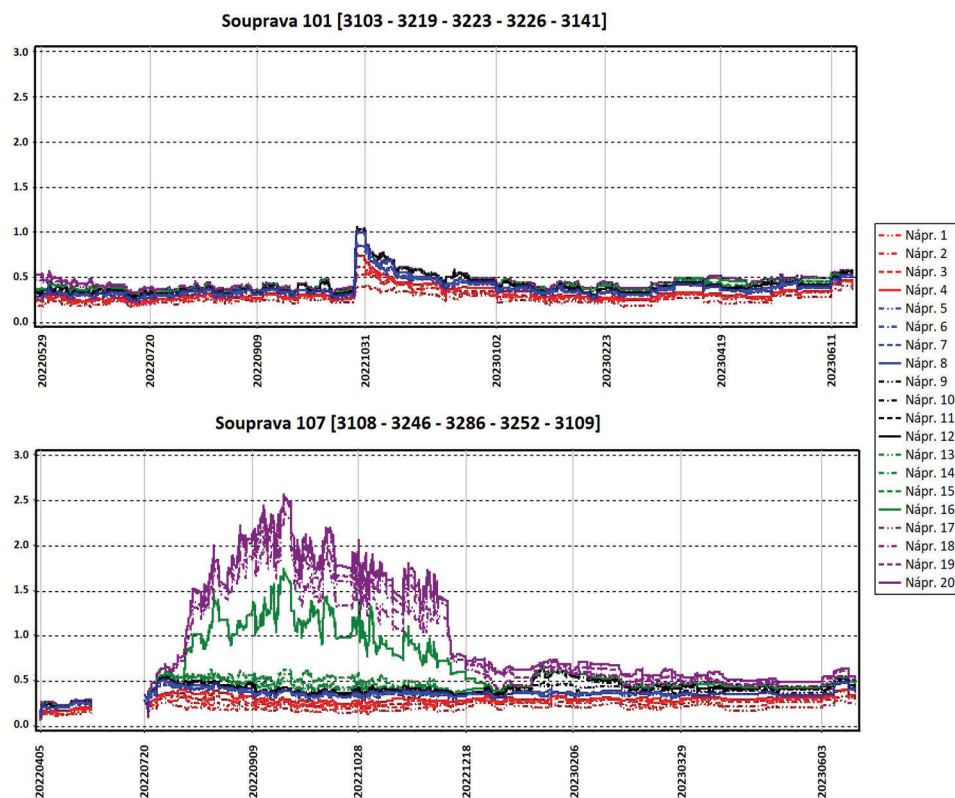
**Fig. 5** Irregularly shaped wheel flat after skidding at the depot tracks head

### 3.2 Zhoršený stav povrchu jízdní plochy kola

Povrchové vady kol se objevují z několika důvodů. Jedním z nich je reprofilace kol, kdy po reprofilaci zůstává na povrchu kola určitá drsnost od soustružení. Tyto nerovnosti nejsou zcela náhodné, mají určitou vlnovou délku a při jízdě generují charakteristické frekvence vibrací, které jsou závislé na rychlosti jízdy. Tento stav je přechodný a obvykle po 1 až 2 týdnech dochází k zajetí kola do normálního stavu.

Druhým sledovaným případem je odezva, u které zatím nebyla potvrzena příčina vzniku, kdy při zajetí nových dvojkolí dochází naopak k nárůstu této odezvy. V první fázi dochází k nárůstu „šumu“ v signálech, v druhé fázi se přidá signál podobný odezvě plochého kola. Tento signál však nemá tak silnou odezvu. Při ověřovacích jízdách však je tato odezva slyšitelná, pracovním způsobem byla označena jako „dupání kola“. Zjištění příčiny je v procesu zkoumání.

Pro tento účel byl zaveden hodnotící parametr  $R_{64-80}$ , kterým lze tento jev kvantifikovat. V grafu na **obr. 6** lze vidět jeho vývoj po výměně dvojkolí v revizi R4. Je vidět rozdíl mezi nápravami bez poruchy (1. až 16.) a nápravami s poruchou (17. až 20.). U nápravy č. 16 není detekce jednoznačná, protože vibrace od 17. nápravy prochází kolejnicí až k sousední nápravě č. 16, která je však bez poruchy.

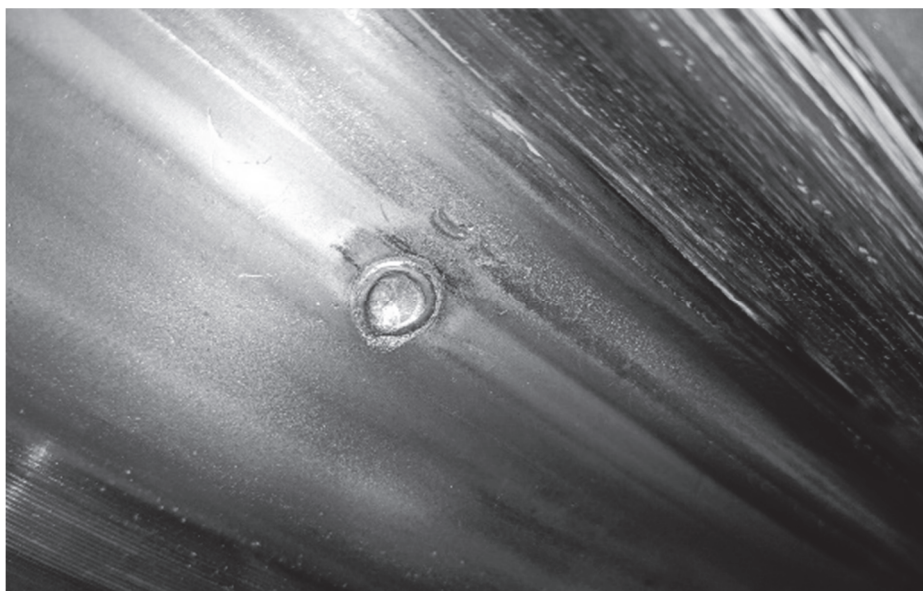


**Obr. 6** Nahoře: zjetí kol po reprofilaci dle parametru  $R_{64-80}$ ;  
dole: vývoj parametru  $R_{64-80}$  při zajíždění nových kol s vadou

**Fig. 6** Top: running in after wheelset reprofiling as seen in the  $R_{64-80}$  parameter;  
bottom: development of the  $R_{64-80}$  parameter during running in of new wheels with faults

### 3.3 Opálená místa od elektrického oblouku

Při detekci lze narazit na signály, které detekují plochu na kole, ale jedná se o jiný typ poruchy. Hlavním znakem je odezva v určitém frekvenčním pásmu, oproti ploše, která má odezvu více širokospektrální. Po ohledání soupravy bylo zjištěno, že důvodem je porucha, která vznikla průchodem zpětného trakčního proudu z kolejnice na kolo. Jedná se zřejmě o situaci, kdy kolo stojí blízko kolejnicového styku a vlivem poruchy vedení zpětného trakčního proudu má každá kolejnice jiný elektrický potenciál. Při zastavení (nebo pomalé jízdě v depu) v tomto místě se pak vytáhne elektrický oblouk, který způsobí tuto vadu (viz **obr. 7**).



**Obr. 7** Povrch jízdní plochy kola opálený elektrickým obloukem zpětného trakčního proudu  
**Fig. 7** Surface of the wheel tread damaged by an electric arc caused by return current

#### 4 PŘÍNOSY PRO ÚDRŽBU VOZIDEL

##### 4.1 Obecn e

Před používáním zařazení byla údržba vozů metra, co se týče poruch a stavu pojezdů, zavisl a na subjektivních informacích od strojvedoucích, nebo p ıřipadn e od cestujících. Detekce závady byla složitější i z důvodu absence obsluhy na vložených vozech, informace od strojvedoucích jsou limitovány pouze na čelní vozy. Navržené autonomní zařazení umožňuje ziskat objektivní informace o stavu pojezdu ve velmi krátké době, a to na všech vozech soupravy. Tím dochází k podstatnému zrychlení reakce údržby a zpřesnění informací. Před využívaním zařazení docházelo ke stavům, kdy závada nebo poškození dvojkolí bylo zjištěno až při pl anovan e prohlídce, která mohla bít a  měsíc po vzniku závady.

Zařazení je i použitelným nástrojem pí prokazovan ı špatn e manipulace ze strany strojvedoucích. Umožňuje zjistit, v jakém časovém úseku došlo k závadě a podstatn e tím snižuje  as analzy dat z tachografu soupravy. Zároveň zařazení eliminuje situace, kdy obsluha z am ern e nenahlásí vznik závady, protože si je vědomo svého pochybení.

Snížením času detekce závady dochází k omezení pohybu vadn e soupravy na trati, protože souprava je sta ena z provozu v krátkém čase. Tím pádem nedochází ke zbytečnému poškozovan ı koleje plochami a vydroleninami. Udr azuje se tím i komfort přepravy cestujících, kteří nejsou vystavení nadm ern e hluchnosti a vibracemi od poškozených dvojkolí.

##### 4.2 Modelový p ıklad z provozu

Pro porovnání p ınosu diagnostiky jsou níže uvedeny dva sc en ar e z reálného provozu, které ukazují původní p ıstup k řešení poruch a p ıstup, který lze zavést po nasazení diagnostiky.

#### Provoz bez diagnostiky:

Na soupravě došlo na zhlaví depa k poškození dvojkolí skluzem na mokřích kolejnicích. Na soupravě zareagovala protiskluzová ochrana, nicméně i tak došlo k poškození dvojkolí plochami na vozech č. 3 a č. 4. Strojvedoucí oznámil dispečerovi zásah protiskluzové ochrany a pokračoval další jízdou do stanice, kde ohlásil, že nedetekuje žádné poškození dvojkolí. Souprava byla ponechána v provozu a plochy byly objeveny až při kontrole v rámci revize R1 o tři týdny později, kdy už na dvojkolích docházelo k vypadávání materiálu z ploch a jejich změně na vydroleniny – postupně tedy došlo ke zhoršení stavu jízdni plochy. Mezitím docházelo k poškozování kolejnic a snížení komfortu pro cestující. Souprava zároveň musela čekat déle na reprofilaci (z důvodu obsazenosti soustruhu), než kdyby byla odstavena mimo provoz v den vzniku závady.

#### Provoz s diagnostikou:

Na soupravě došlo na zhlaví depa k poškození dvojkolí skluzem na mokřích kolejnicích. Na soupravě zareagovala protiskluzová ochrana, nicméně i tak došlo k poškození dvojkolí plochami na vozech č. 3 a č. 4. Strojvedoucí oznámil dispečerovi zásah protiskluzové ochrany a pokračoval další jízdou do stanice, kde ohlásil, že nedetekuje žádné poškození dvojkolí. Souprava byla ponechána v provozu. Při průjezdu zařízením bylo detekováno poškození dvojkolí. Souprava byla následně stažena z trati, v depu byla provedena kontrola soupravy včetně zjištění okolností vzniku závady. Souprava byla ještě týž den objednána na soustruh a soustružení bylo provedeno o dva dny později. Včasnou reakcí nedošlo k poškození kolejnic a snížení komfortu přepravy. Včasným soustružením nedošlo k zhoršení stavu jízdni plochy – tvoření vydrolenin s nutným úběrem materiálu z věnce kola.

## 5 ZÁVĚR

Traťová diagnostika jedoucích vozidel je na železnici běžně používána (více než 60 lokalit v ČR), ale v provozech MHD se zatím ve velké míře neuplatňuje. Přínosy jsou však nesporné, zejména s ohledem na to, že se jedná o provozy v hustě osídlených místech.

Hlavní přínosy při použití popsaného diagnostického systému v pražském metru lze shrnout následovně:

- Dochází k snížení času detekce poruchy na hodiny z původních dnů až týdnů.
- Nedochází ke zbytečnému poškození kolejnic od poruch vozidel.
- Nedochází ke snížení komfortu přepravy cestujících (hluk a vibrace).
- Nedochází k zhoršení stavu jízdni plochy v čase vlivem pozdní reprofilace.
- Přesnější a rychlejší dohledání případů špatné manipulace v tachografu.

Lze předpokládat i další přínosy do budoucna, jednoznačně se nabízí detekce poruch u autonomních souprav neobsazených obsluhou.

Autoři předpokládají dokončení vývoje zařízení na konci roku 2023 a následné komerční použití zejména v oblasti lehké kolejové dopravy.

## Poděkování

Tento příspěvek vznikl v rámci projektu TAČR TC02000218 „Wayside diagnostika pojezdu kolejových vozidel“. Tento projekt je financován se státní podporou Technologické agentury ČR a Ministerstva dopravy ČR v rámci Programu DOPRAVA 2020+.



## Literatura

[1] **ŘÍHA, Vladimír.** Vývoj v oblasti diagnostiky závad jedoucích železničních vozidel: Konference sdělovací a zabezpečovací techniky na železnici [online]. Praha: Správa železnic s.o., 2021 [cit. 2023-07-03]. ISBN 978-80-907189-3-7. Dostupné z: [https://typdok.tudc.cz/files/Konf\\_SZT\\_2021\\_Sborn%C3%ADk\\_www.pdf](https://typdok.tudc.cz/files/Konf_SZT_2021_Sborn%C3%ADk_www.pdf). [2] **IWNICKI, S. et al.** (eds.) Handbook of Railway Vehicle Dynamics. 2nd edition. Boca Raton: CRC Press, 2020. ISBN 9781138602854. [3] **KNOTHE, K., GRASSIE, S. L.** Modelling of Railway Track and Vehicle/Track Interaction at High Frequencies. In Vehicle System Dynamics, 1993, 22 (3–4), s. 209–262. ISSN 0042-3114. [4] **MORAVČÍK, M., MORAVČÍK, M.** Mechanika železničních tratí. 2. díl. Teoretická analýza a simulácia úloh mechaniky železničních tratí. 1. vydanie. Žilina: Žilinská univerzita v Žiline, 2002. ISBN 80-7100-984-9.



## Resumé

*Traťová diagnostika pojezdu koľajových vozidel se obvykle realizuje zejména za účelem ochrany železničního svršku před dynamickým zatížením od poruch pojezdu – zejména dvojkolí. Příspěvek popisuje HW a SW řešení systému wayside diagnostiky pojezdu, vyvinuté v projektu DiPo. Zařízení je již delší dobu v každodenním provozu na trati metra v Praze, kromě toho je instalováno na jednom místě na síti Správy železnic. Na základě zkušeností jsou popsány některé poruchy kol a jejich projevy v diagnostickém systému. Závěrem jsou zdůvodněny přínosy výsledků traťové diagnostiky v údržbě vozidel a dohledu nad jejich technickým stavem.*

## Summary

*Wayside diagnostics of running gear of rail vehicles is usually implemented in order to protect the track from increased dynamic loads resulting from faulty running gear – in particular wheelsets. The paper describes the HW and SW solutions of the wayside diagnostic system developed in the project „DiPo“. The equipment has been used in everyday operation in Prague metro for some time and it has also been installed at the main line of the Czech infrastructure manager. Based on experience from operation, this paper describes selected wheel defects and their effect in the diagnostic system. The paper is concluded by justification of the benefits of the wayside diagnostic system for rail vehicle condition monitoring and maintenance.*

