

## DIMET – DIAGNOSTIKA JEDOUČÍCH KOLEJOVÝCH VOZIDEL

### *DIMET – WAYSIDE DIAGNOSTICS OF RAILWAY VEHICLES*

Jakub VÁGNER<sup>1</sup>, Martin KOHOUT<sup>2</sup>, Aleš HÁBA<sup>3</sup>, Jaromír ZELENKA<sup>4</sup>

#### **Abstrakt**

Článek popisuje vyvíjený diagnostický systém DiMet, jeho úkolem bude detekovat poruchy jedoucích vozidel pomocí dat měřených na trati. Oproti vozidlovým diagnostickým systémům je tento levnější, protože nemusí být instalován na každém vozidle. V článku je popsáno samotné zařízení, postup sběru dat a dosažené výsledky (detekované poruchy).

#### **Klíčová slova**

diagnostika, kolejové vozidlo, metro, vibrace, hluk

#### **Abstract**

*Paper describes developed wayside diagnostic system DiMet. Its task will be to detect faults of running vehicles. Wayside diagnostic system is cheaper than vehicle diagnostic system because it does not have to be installed on all vehicles. The paper describes the device itself, data collection process, and the results obtained (detected failures).*

#### **Keywords**

*wayside diagnostics, railway vehicle, metro, vibration, noise*

## 1 ÚVOD

Článek popisuje vyvíjený systém pracovně nazvaný DiMet (zkratka slov Diagnostika Metra). Tento je vyvíjen v rámci řešeného projektu TAČR č. TE01020038 „Centrum kompetence drážních vozidel“ a ve spolupráci s Dopravním podnikem hl. m. Prahy. Cílem systému je diagnostikovat vybrané části jedoucího vozidla pomocí měření jeho odezvy na trati. V tomto případě se jedná o diagnostiku vozidel metra na trati v tunelu. Umístění diagnostického systému na trať má své výhody, ale také nevýhody. Hlavní výhodou jsou menší náklady na realizaci HW diagnostického systému, protože nemusí být umístěn na každém vozidle, ale postačuje pouze jeden systém na trati. Jednou z hlavních nevýhod je, že k naměření zdrojových dat je k dispozici velmi krátký čas, tedy časový interval, během kterého projíždí vozidlo kolem systému.

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

<sup>2</sup> Ing. Martin Kohout, Ph.D., Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera. Dislokované pracoviště DFJP, Nádražní 547, 560 02 Česká Třebová. Tel.: +420 466 037 427, e-mail: martin.kohout@upce.cz

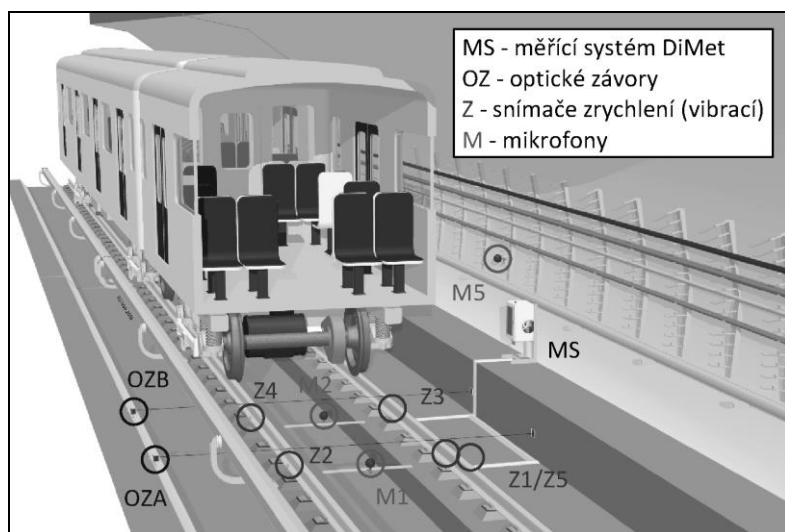
<sup>3</sup> Ing. Aleš Hába, Ph.D., Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera. Dislokované pracoviště DFJP, Nádražní 547, 560 02 Česká Třebová. Tel.: +420 466 037 428, e-mail: ales.haba@upce.cz

<sup>4</sup> doc. Ing. Jaromír Zelenka, CSc., Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera. Dislokované pracoviště DFJP, Nádražní 547, 560 02 Česká Třebová. Tel.: +420 466 037 429, e-mail: jaromir.zelenka@upce.cz

V následujícím textu je popsán HW i SW diagnostického systému z pohledu umístění na trati, principu sběru dat, identifikace souprav a jednotlivých dvojkolí. V druhé části pak možnosti vyhodnocení dat a dosažené výsledky – detekované poruchy.

## 2 DIAGNOSTICKÝ SYSTÉM DIMET

Systém se skládá ze snímačů umístěných na trati, měřicího systému v tunelu a SW pro přenos a zpracování dat. Dále SW pro vizualizaci, vyhodnocení a export dat. Na trati bylo při prvních měřeních umístěno 8 snímačů (5x zrychlení a 3x akustický tlak) viz **obr. 1**. Z první fáze měření však vyplynulo, že některé snímače nejsou k vyhodnocení použitelné, proto např. mikrofon M5 a snímač zrychlení Z5 nebyly při dalších měřeních použity. Konečná podoba obsahuje 6 snímačů umístěných identicky ve dvou řezech na trati. V obou řezech se jedná o dva snímače zrychlení umístěné vždy na patě levé i pravé kolejnice a jeden mikrofon umístěný v kanálu mezi kolejnicemi.



**Obr. 1** Umístění snímačů na trati a umístění měřicího systému v tunelu

Aby bylo možné přesně detekovat nejen průjezd vlaku, ale také polohu jednotlivých náprav, jejich rychlost v momentě průjezdu kolem snímačů a také případné zrychlení soupravy, jsou na trati umístěny také optické závory. Signály ze snímačů zrychlení jsou zaznamenávány se vzorkovací frekvencí 51 200 Hz, u optických závor postačuje vzorkovací frekvence 500 Hz.

Na postranní lávce tunelu je umístěn samotný měřicí systém, který mimo záznamu samotných signálů také identifikuje jedoucí soupravy, spouští a zastavuje měření, předzpracovává a ukládá data. V budoucnu se předpokládá přenos dat ke zpracování pomocí připojení k internetu. K tomuto účelu je již zařízení připraveno, avšak zatím funguje v režimu přechodného umístění, takže připojení zatím nebylo vybudováno.

## 3 SBĚR DAT

### 3.1 Identifikace souprav

Pro účely diagnostiky je potřeba nejen data naměřit, ale také identifikovat diagnostikovaný objekt – soupravu. Soupravy metra na trase linky A využívají WiFi připojení k přenosu informací s infrastrukturou. Každý čelní vůz má tedy WiFi zařízení, které se zejména v obrátových stanicích

připojí k stabilním zařízením a předává mu požadované provozní informace. Tento systém, který využívá dopravní podnik pro své účely, byl použit také pro identifikaci souprav. Identifikace probíhá tak, že soupravy se automaticky připojují k systému DiMet při průjezdu tunelem podobně jako k běžným vysílačům ve stanicích a systém zjistí jejich IP adresu. Pomocí převodní tabulky IP adres pak lze zjistit číslo čelního vozu, z čísla čelního vozu pak lze zjistit čísla ostatních vozů, číslo soupravy a také směr jízdy, což je důležité v případě otočení soupravy.

### 3.2 Popis měřícího zařízení

Pro měření je použita měřicí ústředna NI cDAQ-9234 a řízení celého procesu zabezpečuje průmyslový počítač Axiomtek eBOX560. Aby bylo měření načasováno vždy v čase průjezdu soupravy, umožňuje měřicí software funkci „pretrigger“. Což znamená, že zařízení měří nepřetržitě a ukládá data do pět sekund dlouhého kruhového bufferu (mezipaměti) a jakmile první náprava soupravy přeruší optickou závoru v místě snímačů, spustí se finální měření. Výsledná data jsou pak složena z pětisekundového záznamu (před příjezdem soupravy k prvnímu snímači) a z 20 sekundového bloku dat pro záznam průjezdu soupravy kolem snímačů. Po projetí soupravy se data uloží, předzpracují, přidá se identifikace soupravy a další údaje. Zároveň se provede kontrola stavu systému (teplota, velikost volného místa na disku atd.) a v budoucnu se také odešlou data skrze datové připojení. Hned poté se systém opět uvede do pohotovostního stavu, aby byl připraven změřit další soupravu. Objem dat pro jeden průjezd je cca 100 MB, data lze však redukovat pouze na nezbytné signály a nezbytnou vzorkovací frekvenci, a to na cca 1/3 původní velikosti. Objem dat lze dále snížit nastavením managementu měření, např. každá souprava se změní maximálně jednou za den a průjezdy s překročenou nastavenou maximální hodnotou se uloží všechny. Tím lze získat přiměřenou časovou řadu dat pro jednotlivé soupravy a minimalizovat objem přenesených dat. Pro tyto účely nebyl nalezen vhodný komerční SW, proto byl vytvořen vlastní.

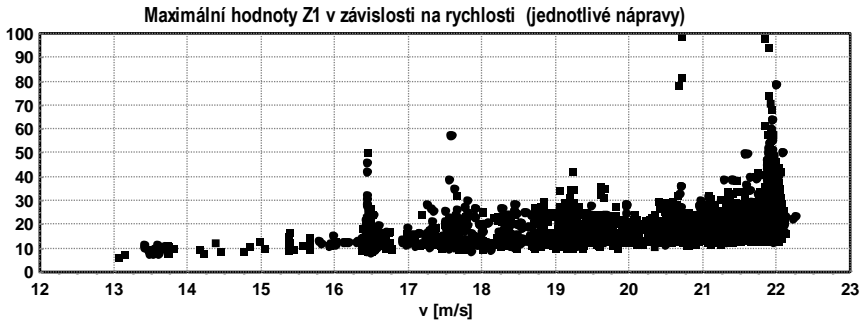
### 3.3 Vybraná lokalita

Po předešlých měřeních v lokalitách „Opatov“ a „Malostranská“ [1] byla, s ohledem na získané výsledky a zkušenosti, lokalita změněna. Nové umístění je mezi stanicemi Dejvická a Bořislavka, jedná se o nově vybudovaný úsek s železobetonovým hloubeným tunelem. Ve zvoleném místě se nachází přímá trať se stoupáním téměř 40%, tedy všechny soupravy projíždějí úsek pod výkonem. To by mělo umožnit identifikovat také stav pohonu souprav. Ve zvoleném úseku byla přesná poloha volena tak, aby se v blízkosti nenacházely žádné izolované styky (dělení zabezpečovacích úseků), protože ty způsobují dynamické rázy, které by ovlivňovaly měření. Dále byla požadována co největší vzdálenost od příčného tunelu (spojuje protisměrný tunel), aby nedocházelo k šíření hluku od protisměrných souprav k měřícímu zařízení.

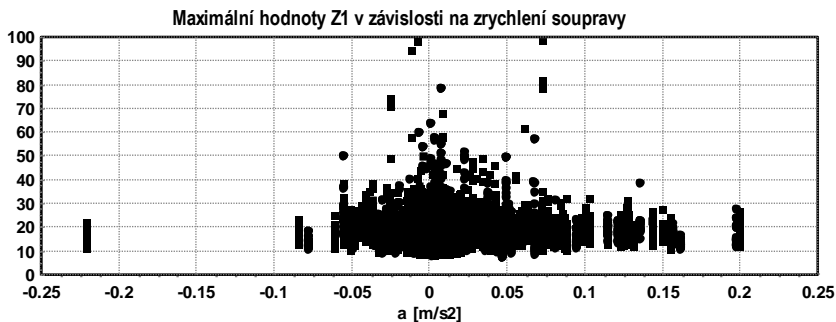
### 3.4 Provedená měření

V nové lokalitě byly provedeny dvě měřící kampaně. V průběhu dne 13. 7. 2016 a během dní 20. a 21. 10. 2016. Během těchto dní byly změřeny všechny průjezdy souprav, kdy oproti minulým měřením např. v lokalitě „Malostranská“ byla úspěšnost sběru dat 100 %.

Z grafu na obr. 2 je vidět rozložení rychlostí projíždějících souprav. Většina souprav projela kolem zařízení v rozmezí rychlostí 16 až 22 m/s (tedy cca 60 až 80 km/h). Rozdíl rychlostí je dán systémem řízení jízdy vlaku v daném úseku. Rychlost soupravy se zohledňuje při dalším vyhodnocení, protože se zvyšující se rychlostí roste také dynamická odezva některých poruch (např. ploché kolo). Z pohledu diagnostiky pohonu je vhodné zahrnout také zrychlení soupravy, tedy nepřímo aktuální tažnou sílu. Místo měření se nachází ve stoupání, tedy i udržení konstantní rychlosti znamená pro soupravu vyvíjet tažnou sílu. Obr. 3 zobrazuje rozložení odezvy snímače Z1 s ohledem na zrychlení soupravy.



Obr. 2 Rozložení rychlosti jízdy měřených souprav a maximální hodnoty zrychlení Z1



Obr. 3 Rozložení zrychlení měřených souprav a maximálních dosahovaných hodnot u snímače Z1

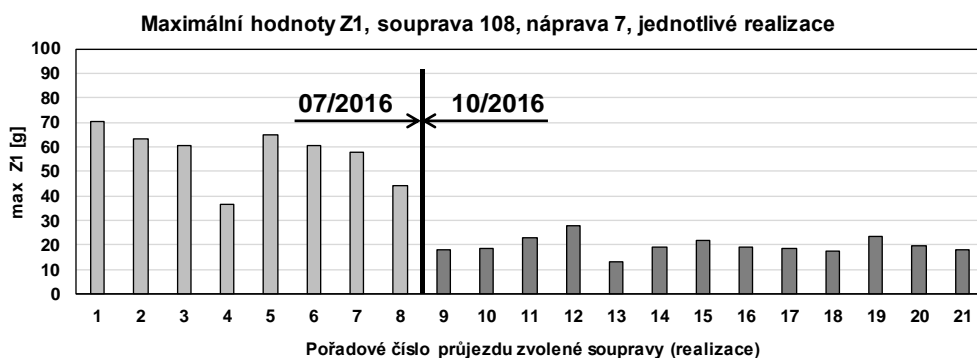
#### 4 NALEZENÉ (DETEKOVANÉ) PORUCHY

Prokázat poruchu v provozu je velmi obtížné. Teoreticky lze poruchu detekovat, ale ověřit, že se opravdu jedná o teoreticky předpokládanou poruchu, znamená soupravu odstavit a poruchu dohledat. To musí být provedeno co nejdříve po detekci, což se povedlo u první měřicí kampaně, kdy ihned po vyhodnocení bylo nalezeno podezření na ploché kolo u soupravy č. 108 a to na 7. nebo 8. nápravě. Stejný den byla zmíněná souprava odstavena v depu jako záloha a bylo možné soupravu prohlédnout.

Po bližším ohledání byla opravdu nalezena plochá místa na jízdni ploše 7. dvojkolí (**obr. 4**). Z obrázku 4 je patrné, že tato plocha zřejmě vznikla brzděním. Byla také provedena jízdni zkouška, kdy bylo zjištěno, že z pohledu hluku je projev této plochy neznatelný. V běžném provozu proto není důvod k odstavení soupravy. Souprava č. 108 byla zároveň jedna ze souprav, která byla měřena v obou měřicích kampaních. Z důvodu různého přiřazení souprav k oběhům nebylo možné změřit všechny soupravy při obou kampaních, protože některé soupravy stojí v depu jako záloha nebo z důvodu pravidelné údržby. Souprava č. 108 projela v první kampani kolem zařízení celkem 8x, při druhé kampani celkem 13x (pouze v jeden den měření). Odezva ze snímače Z1 pro jednotlivé realizace (průjezdy) soupravy č. 108, nápravy č. 7 je zobrazena na **obr. 5**. Pro první měřicí kampaň jsou vidět zvýšené hodnoty (35 až 70 g) dosažené u snímače Z1 než v druhé kampani (12 až 28 g). Z výsledků je patrné, že plocha byla na kolech již od začátku dne 13. 7. a že do další kampaně ke dni 21. 7. se zajela, protože úroveň signálů je obdobná jako u jiných souprav (průjezdů).

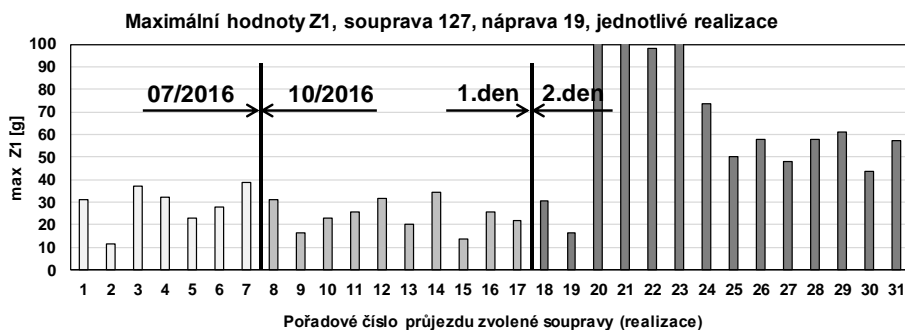


Obr. 4 Nalezená porucha jízdni plochy kola u soupravy č. 108, nápravy č. 7

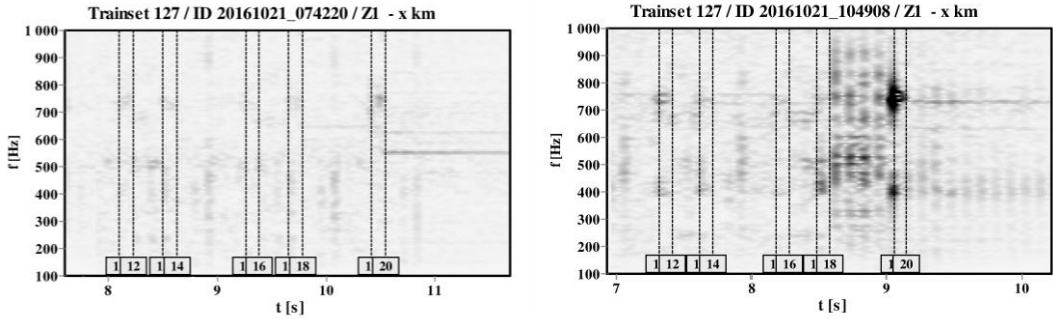


Obr. 5 Časová řada maximálních hodnot dosahovaných u snímače Z1 soupravy č. 108, nápravy č. 7

Druhý případ plochého kola se vyskytl u soupravy č. 127, která opět projížděla kolem měřícího systému při obou kampaních, avšak plocha na 19. dvojkoli vznikla v průběhu druhého dne. Na **obr. 6** je vidět opět časová řada. Realizace 1 až 7 jsou ze dne 13. 7., realizace 8 až 17 jsou ze dne 20. 10. a ostatní realizace jsou ze dne 21. 10. 2016. Plocha na kole vznikla u 20. realizace, v tomto případě mezi 7:42 (**obr. 7** vlevo) a 10:49 (**obr. 7** vpravo) dne 21. 10. 2016.



Obr. 6 Časová řada maximálních hodnot dosahovaných u snímače Z1 soupravy č. 127, nápravy č. 19



**Obr. 7** Spektrogram signálu ze snímače Z1 pro soupravu č. 127, nápravu č. 19 (vpravo – bez poruchy v 7:42, vlevo – s poruchou „ploché kolo“ v 10:49)

## 5 ZÁVĚRY

Popsaný diagnostický systém dovede odhalit některé poruchy jedoucích souprav na trati. Pro ověření je však složité detekovanou poruchu na soupravě ihned ověřit – prokázat. V případě detekce plochých kol je však porucha prokazatelná dobře a u soupravy č. 108 se tak opravdu stalo. Z časových řad je zřejmé, že porucha na jízdni ploše kola je detekovatelná již u malých vad (ploch), které ani nejsou důvodem k odstavení soupravy. Pokud vznikne tato porucha náhle – např. špatným brzděním při zhoršených adhezních podmínkách (např. při výjezdu z depa Hostivař, kdy jezdí vlaky mimo tunel), je změna náhlá a postupně se pak hodnoty zrychlení snižují, když se plocha v provozu zajíždí. V případě jiné poruchy kola (např. prasklina nebo vydrolenina na jízdni ploše kola) lze předpokládat, že odezva bude v průběhu času narůstat postupně. Takový případ však zatím odhalen nebyl, tedy nelze to prokazatelně doložit.

Nyní je zařízení, a zejména pak software pro vyhodnocení, zatím v dalším vývoji. Hledají se algoritmy, které by byly schopny spolehlivě detekovat plochá kola, ale i další poruchy. Některé přístupy byly již popsány v článcích [1, 2, 3]. Problémem je však získat dostatečně dlouhé časové řady (provést dlouhodobější měření) a zejména pak získat záznamy průjezdů souprav s poruchou a bez poruchy tak, aby mohly být stanoveny přesné limitní hodnoty pro jednotlivé poruchy.

Výzkum byl podporován projektem TAČR č. TE01020038 „Centrum kompetence drážních vozidel“.



### Literatura

- [1] HÁBA, A., ZELENKA, J., MUSIL, M., VÁGNER, J., KOHOUT, M., HAVLÍČEK, P. Diagnostics of Railway Vehicle Based on Dynamical Response Measurement. *Vibroengineering Procedia*. Kaunas: JVE International, 2014, s. 272–277. ISSN 2345-0533.
- [2] VÁGNER, J., ZELENKA, J., HÁBA, A., KOHOUT, M., HAVLÍČEK, P. Stationary device for vibrodiagnostics of passing vehicle. *Vibroengineering Procedia*. Kaunas: JVE International, 2015, s. 98–103. ISSN 2345-0533.
- [3] VÁGNER, J., ZELENKA, J., HÁBA, A., KOHOUT, M., HAVLÍČEK, P. Failures of railway vehicles measurable on track. In: *Engineering Mechanics 2016: 22<sup>nd</sup> International Conference*. Praha: Ústav termomechaniky AV ČR, v. v. i., 2016, s. 566–569. ISBN 978-80-87012-59-8. ISSN 1805-8248.