

# CERTIFIKOVANÁ METODIKA

## Bezdemontážní diagnostika pojezdu vozidel metra

**Autoři:**

doc. Ing. Jaromír Zelenka, CSc., Univerzita Pardubice

Ing. Jakub Vágner, Ph.D., Univerzita Pardubice

Ing. Aleš Hába, Ph.D., Univerzita Pardubice

Ing. Martin Kohout, Ph.D., Univerzita Pardubice

**Certifikovaná metodika je výstupem z řešení projektu TE01020038  
„Centrum kompetence drážních vozidel“.**

Pardubice, 11/2018

## OBSAH:

1. Úvod .....	3
2. Cíl metodiky .....	4
3. Pojmy a zkratky .....	4
4. Popis metodiky.....	6
5. Novost postupů a zdůvodnění metodiky .....	14
6. Popis uplatnění certifikované metodiky .....	15
7. Ekonomické aspekty .....	16
8. Seznam použité literatury .....	17
9. Seznam publikací, které předcházely metodice (řazeno chronologicky).....	17
10. Dedikace .....	18
11. Jména oponentů, jejich pracoviště a kontakty do zaměstnání.....	19

## 1. Úvod

Tato metodika má za cíl stanovit postup a návod k měření relevantních veličin na infrastruktuře koleje metra, kritéria hodnocení těchto měřených veličin a popis laboratorních zařízení k bezdemontážní diagnostice pojezdu vozidel metra.

V běžném provozu se diagnostika kolejových vozidel metra provádí obvykle staticky v depu. Po větších opravách se sice provádí jízdní zkouška, avšak stav některých částí pojezdu se může zhoršit během provozu (typicky stav jízdní plochy kola) a závada tak nemusí být odhalena včas při denních statických prohlídkách. Metodika se zaměřuje pouze na části pojezdu (zejména rotační), které mohou vybudit dostatečné dynamické účinky na koleji či v základu tunelu. Jedná se o dvojkolí, převodovku a trakční motor.

## 2. Cíl metodiky

Hlavním cílem metodiky je způsob získání (měření), sledování a vyhodnocení časové řady sledované diagnostické veličiny tak, aby mohlo být neprodleně provedeno opatření v provozu a bylo by tak možné minimalizovat škody v případě závažných náhlých poruch. V případě méně závažných poruch lze na základě sledované diagnostické veličiny minimalizovat hluk a vibrace šířící se do okolí tunelu metra.

Metodika se omezuje pouze na provoz metra, který je na rozdíl od konvenční železnice specifický. Jedná se o provoz jednoho konstrukčního typu vozidel, provozuje se omezený jednoznačně definovaný vozový park, soupravy mají jednotnou délku a počet vozů, rychlost vozidel v měřeném místě má malý rozptyl (zejména vlivem systému automatického řízení rychlosti). Aplikace metodiky na konvenční železnici by obnášelo úpravu přístupů popsané metodiky.

## 3. Pojmy a zkratky

### Pojmy:

$S_{OZ}$	- Vzdálenost optických závor
$t_{Ai}$	- Čas průjezdu $i$ -tého dvojkolí skrz optickou závoru OZA
$t_{Bi}$	- Čas průjezdu $i$ -tého dvojkolí skrz optickou závoru OZA
$V_i$	- <b>Detekovaná rychlost <math>i</math>-tého dvojkolí</b> ; okamžitá rychlost dvojkolí stanovená z časů průjezdu dvojkolí skrz optické závory
$V_{ri}$	- <b>Přepočtená rychlost <math>i</math>-tého dvojkolí</b> ; rychlost dvojkolí přepočtená na základě lineární regrese z detekovaných rychlostí dvojkolí celé soupravy
$Z_{krit}$	- Prahová hodnota diagnostického čísla

### Zkratky:

ASDEK	zařízení sloužící k diagnostice nepravidelností na povrchu železničních kol za jízdy (tzv. plochá kola) včetně horkoběžných ložisek a brzd nebo obručí
ČSN	česká státní norma
EN	evropská norma
DP	dopravní podnik
IP	označení odolnosti elektrického zařízení proti vniknutí cizího tělesa či kapaliny (ingress protection)
KP	klouzavý průměr
OZA	Optická závora umístěná ve směru jízdy jako první (v úrovni snímačů $z_1$ a $z_2$ )
OZB	Optická závora umístěná ve směru jízdy jako druhá (v úrovni snímačů $z_3$ a $z_4$ )

PP	pásmová propust
RFID	způsob bezkontaktní komunikace na krátkou vzdálenost za účelem identifikace (radio frequency identification)
RMS	efektivní hodnota periodického průběhu
SŽDC	Správa železniční dopravní cesty, s.o.
TK	temeno kolejnice
WiFi	označení pro několik standardů IEEE 802.11 popisujících bezdrátovou komunikaci v počítačových sítích (wireless fidelity)
$z_1$	Snímač zrychlení umístěný na patě levé kolejnice v úrovni první optické závory OZA ve směru jízdy
$z_2$	Snímač zrychlení umístěný na patě pravé kolejnice v úrovni první optické závory OZA ve směru jízdy
$z_3$	Snímač zrychlení umístěný na patě levé kolejnice v úrovni druhé optické závory OZB ve směru jízdy
$z_4$	Snímač zrychlení umístěný na patě pravé kolejnice v úrovni druhé optické závory OZB ve směru jízdy

## 4. Popis metodiky

### 4.1 Technické požadavky na zařízení a jeho instalaci

Níže jsou popsány minimální požadavky na zařízení tak, aby splňovalo funkčnost a odolnost pro provedení měření v podmínkách metra. Následující přístroje jsou dimenzovány na přechodné umístění, pro trvalé umístění je nutné realizovat průmyslové provedení se zachováním minimálních požadavků na funkčnost.

Základní požadavky na odolnost:

- celokovová uzamykatelná skříň,
- stupeň ochrany dle ČSN EN 60 529 nejméně IP 52 nejlépe IP 66,
- napájení 230 V / 50 Hz, odolnost proti výpadkům napájení a přepětí,
- zajištění pasivního odvodu tepla i při dlouhodobém maximálním zatížení.

Základní požadavky na funkčnost:

- záznam sledovaných veličin se vzorkovací frekvencí min. 20 kHz (ideálně 50 kHz),
- rozsah měření zrychlení alespoň +/- 1000 m/s<sup>2</sup>,
- min. 2 měřené kanály pro sledované veličiny (doporučují se 4),
- měření signálu 2 optických závor (vzorkovací frekvence dle metodiky),
- dostatečná kapacita uložení pro uložení měření s ohledem na přenos dat,
- přenos dat k vyhodnocení na server,
- funkce automatické identifikace evidenčního čísla soupravy,
- funkce automatické kontroly činnosti měřicího programu,
- automatické spuštění po výpadku napájení.

Doplňující požadavky:

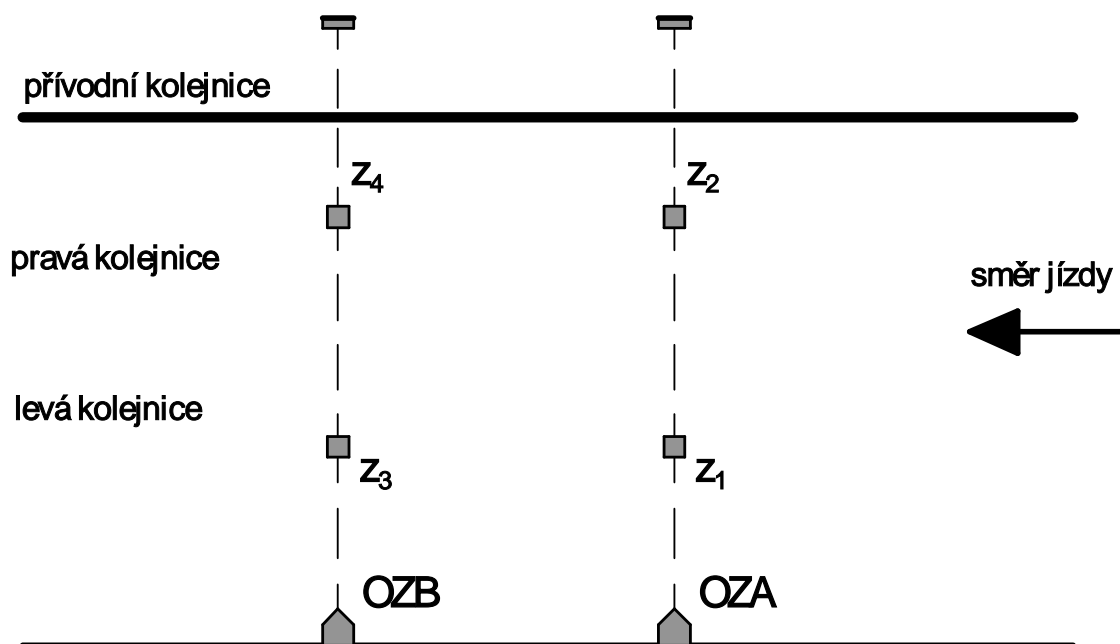
- nízká spotřeba,
- minimální velikost z důvodu umístění v tunelu.

### 4.2 Definice místa měření

Měřicí místo musí být zvoleno s ohledem na následující požadavky:

- přímá kolej,
- kolej bez výrazných nerovností min. 50 m od místa měření (montovaný styk koleje, izolovaný styk koleje, extrémní nerovnost, výhybka), které mohou být zdrojem dynamických účinků,
- pokud je cílem diagnostikovat také části pohonu, musí se jednat o úsek, kde vozidla projíždějí pod výkonem (rozjezd, stoupání).

Minimální konfigurace měřicího řetězce obsahuje 2 snímače zrychlení (levá a pravá kolejnice), 2 optické závory (z důvodu měření rychlosti) a zařízení pro identifikaci souprav (z důvodu nezáměnného přiřazení výsledku diagnostiky dané soupravě/vozu/podvozku/dvojkolí). V případě snímačů, které měří sledovanou diagnostickou veličinu, se doporučuje měřící řetězec duplikovat a zajistit tím určitou redundanci pro případ poruchy snímače či kabelu.



*Obr. 1 Rozmístění snímačů a optických závor v koleji.*

Snímače zrychlení  $z_1$  až  $z_4$  se umístí na patu kolejnice do poloviční vzdálenosti mezi místy upevnění kolejnic (rozteč pražců), a to na vnější stranu od osy koleje.



*Obr. 2 Umístění snímače zrychlení na patě kolejnice.*

Optické závory OZA a OZB pro detekci dvojkolí (polohy a rychlosti vlaku) se umístí vždy v místě snímačů zrychlení (poloha podél osy koleje) a to tak, aby paprsek mezi optickou závorou a odrazkou ležel ve vodorovné rovině s takovou výškou nad TK, aby tuto rovinu protínaly při průjezdu soupravy pouze kola vozidla. Do této výšky nesmí zasahovat např. mazače okolků či sběrače trakčního proudu. Typicky se jedná o výšku mezi 30 a 40 mm nad TK. Pro rychlosti vozidel do 22 m/s a průměry kol mezi 700 ÷ 1000 mm je potřeba použít vzorkovací frekvenci optických závor alespoň 500 Hz. Signál musí být zaznamenán synchronně se signály sledovaných signálů. Vzájemná vzdálenost optických závor musí být nejméně 1 m, s ohledem na vztah k poloze snímačů zrychlení je vzdálenost vždy násobkem vzdálenosti upevnění kolejnic (rozteč pražců).

#### **4.3 Minimální požadavky na funkčnost**

Systém musí být schopný automatického spuštění měření, záznamu signálů během průjezdu soupravy, provedení identifikace nezáměnného evidenčního čísla soupravy, uložení zaznamenaných signálů a doplňkových dat. Vše musí systém provést tak, aby byl v pohotovostním režimu před příjezdem další soupravy.

Automatické spuštění měření musí být provedeno pomocí tzv. pretriggeru. kdy v pohotovostním stavu již probíhá kontinuálně měření do kruhového bufferu a až v případě, že došlo k detekci prvního dvojkolí (u OZA) se naměřená data kruhového bufferu a také data naměřená při průjezdu uloží. Doba předstihu startu měření před detekcí první nápravy (tedy délka kruhového bufferu) se doporučuje minimálně taková, za kterou ujede souprava 100 m maximální předpokládanou rychlostí (např. pro maximální předpokládanou rychlost 20 m/s se jedná o předstih 5 sekund). Délka záznamu po detekci první nápravy pomocí OZA se



doporučuje jako čas, za který projede celá souprava kolem měřicího stanoviště minimální požadovanou rychlostí zvětšený o stejný čas jako je čas předstihu startu měření (např. při rychlosti 10 m/s, délce soupravy 100 m se jedná o délku celkového záznamu  $5 + 10 + 5 = 20$  s včetně předstihu měření a konce měření).

Automatickou identifikaci souprav lze provést přímo při průjezdu, případně lze identifikovat soupravy až při vyhodnocování. Přímá identifikace je závislá na existujících informačních systémech provozovatele na vozidle (lze využít principy WiFi, RFID a jiné), naopak identifikace při vyhodnocení je méně bezpečná z pohledu nejistoty správného přiřazení čísla soupravy a vyžaduje nastavení přesného času v měřicím zařízení s ohledem na záznam průjezdů souprav z provozu (obvykle lze získat pouze čas odjezdu soupravy z předchozí stanice).

Při identifikaci se v obou případech přiřazují soupravě také čísla vozů, podvozků a dvojkolí, následně pak jejich příslušných agregátů v databázi provozovatele. Systém identifikace musí zohlednit případné změny v řazení vozů v soupravách či jejich otočení. Tato situace však nastává ojediněle.

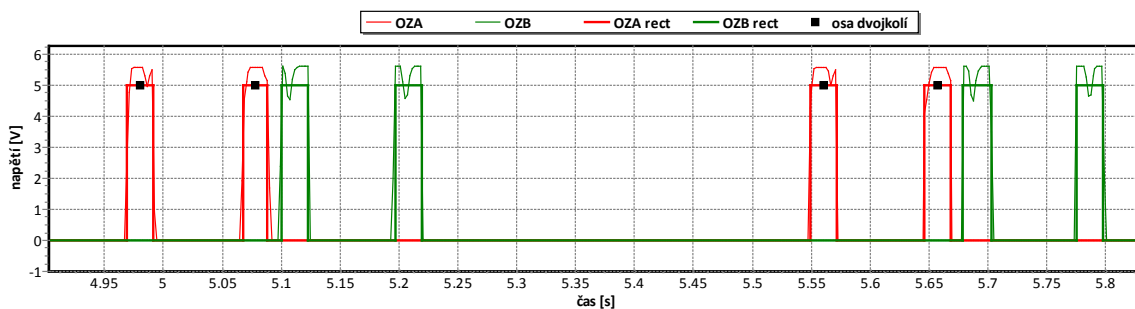
#### **4.4 Požadavky na sběr, strukturu a vyhodnocení měřených dat**

Vstupním vektorem pro vyhodnocení je výřez signálů v okolí času průjezdu příslušné nápravy, výsledky vyhodnocení jsou pak tomuto dvojkolí přiřazeny. Každý vstupní vektor obsahuje následující soubor diagnostických a doplňkových dat:

- identifikaci soupravy, vozidla, podvozku, dvojkolí,
- záznamy signálů snímačů zrychlení pro zvolený výřez signálu v okolí dvojkolí,
- rychlost dvojkolí  $V_{ri}$ ,
- aktuální poslední známá hodnota průměru kola.

Aby mohl být tento vstupní vektor sestaven, je nutné provést vyhodnocení signálu optických závor a stanovit čas průjezdu dvojkolí a jeho rychlost. Dále je nezbytné ze získaných časů provést výřez signálů.

Výstupem z optických závor ve chvíli průjezdu kola okolo snímače by měl být teoreticky obdélníkový impulz, signál je však zatížen šumem a deformován z důvodu případných odlesků kola. Čas průjezdu dvojkolí leží přesně mezi časem, kdy signál překročil prahovou hodnotu a časem, kdy signál klesl pod prahovou hodnotu. Prahová hodnota se stanoví jako střední hodnota z maximální a minimální hodnoty v příslušného záznamu. Pro daný průjezd se uloží přesné časy detekce dvojkolí, a to pro obě optické závory OZA i OZB.

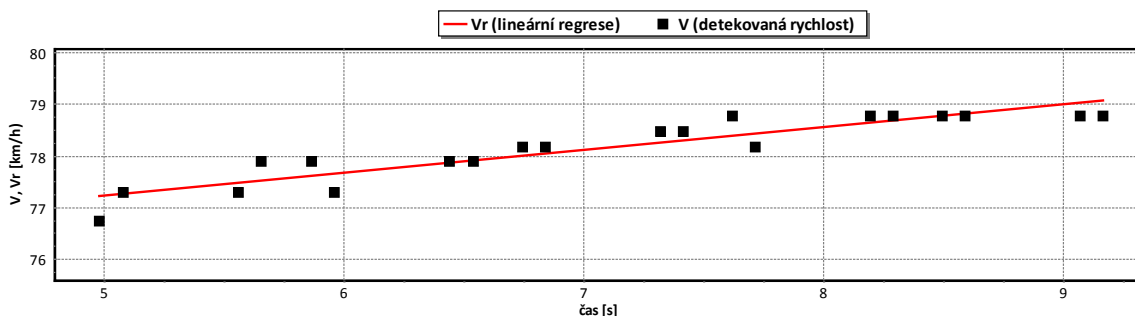


Obr. 3 Signály optických závor pro první vůz soupravy včetně vyhodnocení.

Rychlost dvojkolí se vypočte z časového zpoždění mezi optickou závorou OZA a OZB a ze vzdáleností mezi závorami jako:

$$V_i = \frac{S_{OZ}}{t_{Bi} - t_{Ai}} \quad (1)$$

Vlivem určité nejistoty stanovení polohy kola (z měření diskrétních hodnot zvolenou vzorkovací frekvencí nelze nikdy stanovit přesnou polohu; pro 20 m/s a frekvenci 500 Hz je nejistota určení polohy kola 40 mm) je zapotřebí hodnoty rychlosti dále zpracovat. Z provozu bylo zjištěno, že průběh signálu rychlosti je téměř lineární, proto lze použít lineární regresi. Takto vypočtená rychlost je dále označována jako  $V_{ri}$  (přepočtená rychlost dvojkolí). Minimální přesnost stanovení rychlosti se, s ohledem na další výpočty, předpokládá +/- 1 km/h.



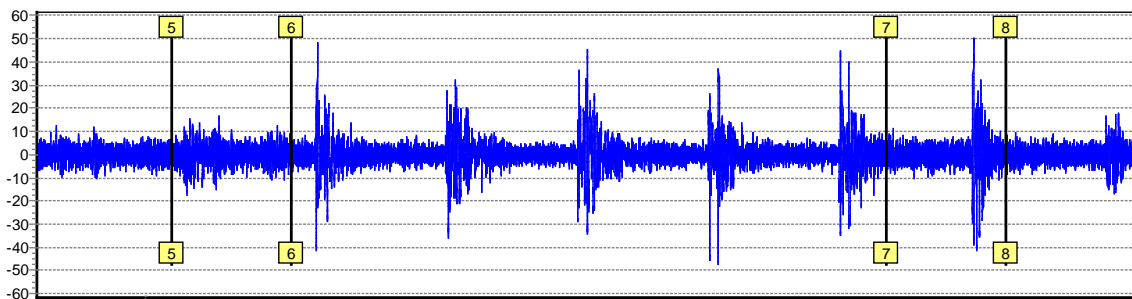
Obr. 4 Příklad výpočtu rychlosti dvojkolí  $V_{ri}$  pro celou soupravu.

Délka výřezu signálů v okolí dvojkolí musí být minimálně taková, aby pokrývala minimálně jednu otáčku kola. Délka je tedy závislá od rychlosti a průměru dvojkolí. Časová délka okna však nesmí klesnout pod hodnotu dvojnásobku času, který odpovídá nejnižší frekvenci, jež je zapotřebí detekovat při vyhodnocení ve frekvenční oblasti. Pokud potřebná délka okna zasahuje k dalšímu dvojkolí (délka okna je dvojnásobkem rozvoru podvozku), pak se doporučuje formulovat výsledky diagnostiky tak, že jsou vztaheny k danému podvozku, nikoliv dvojkolí.

## 4.5 Hodnocená veličina

Pro hledanou poruchu se vhodným teoretickým modelem stanoví charakter detekovaného (hledaného) signálu. Např. pro detekci vady na jízdni ploše kola je hledaným signálem odezva s nosnou frekvencí rovnající se frekvenci otáčení kola (vypočteno z rychlosti a průměru kola). Výpočet detekovaného signálu z teoretického modelu je tedy zapotřebí provést pro každou realizaci, jelikož pomocné veličiny rychlost a průměr kola jsou pro daný průjezd jedinečné.

Zvolený teoretický model je nezbytné verifikovat na minimálně jedné realizaci průjezdu soupravy s detekovanou poruchou. Očekávaná frekvence se však obvykle neprojeví v podobě harmonického signálu, ale v podobě vybuzení vlastních frekvencí celého mechanického systému vozidlo – kolej, a to s periodou odpovídající očekávané frekvenci – viz příklad odezvy u poruchy dvojkolí na jízdni ploše.



Obr. 5 Příklad hodnoceného signálu – případ závady na jízdni ploše kola (dvojkolí č. 5, 6, 7, 8).

Pro detekci těchto signálů lze použít mnoho přístupů, a to od konvenčních statistických charakteristik, až po frekvenční či vlnkovou analýzu. Lze také využít principy neuronových sítí, kdy v počáteční fázi je potřeba provést trénování systému. Volba této metody není předmětem této metodiky, protože je závislá od typu vozidla, železničního svršku a charakteru hledané poruchy.

Výsledkem je diagnostické číslo popisující přítomnost hledaného příznaku poruchy. Nejedná se nutně o dvoustavovou veličinu (přítomnost / nepřítomnost), obvykle to je veličina spojitá. Tuto lze normalizovat na rozměr  $0 \div 1$ , kdy při hodnotě 1 a vyšší byla dosažena, resp. překročena prahová hodnota.

## 4.6 Stanovení prahové hodnoty

Stanovení prahové hodnoty se neobejde bez počátečního sběru dat. Lze realizovat dva přístupy:

- 1) Provést měření všech souprav a u souprav se zvýšenou odezvou provést kontrolu o jakou poruchu a v jakém stádiu rozvoje se jedná.

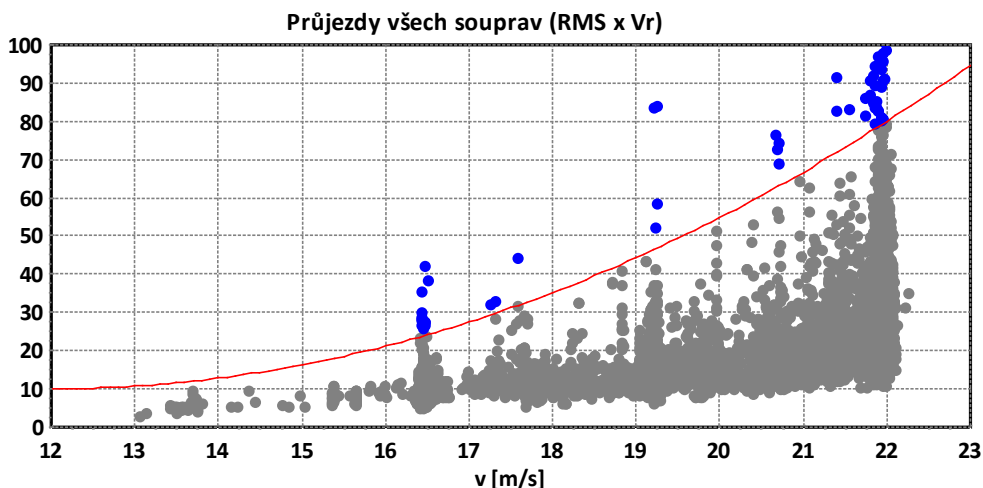
- 2) Provést průjezd souprav se známou poruchou známého stádia rozvoje a průjezd souprav bez poruchy – následně stanovit z naměřených signálů prahovou hodnotu.

Systém provozu metra umožňuje realizovat průjezd všech (nebo alespoň většiny) souprav provozovaných na vybrané trase (což je mimochodem u konvenční železnice nerealizovatelné).

Dynamické účinky jsou však obecně závislé na rychlosti vozidla, a to dokonce nelineárně. Proto je potřeba prahovou hodnotu stanovit s ohledem na rychlost jako:

$$Z_{krit} = f(V_r) \quad . \quad (2)$$

Příklad stanovení prahové hodnoty je na obr. 6 – modré body jsou RMS hodnoty hodnoceného signálu u dvojkolí s vadou na jízdni ploše. Ostatní šedé body jsou RMS hodnoty naměřené pro ostatní dvojkolí bez poruchy. Červená křivka je průběh prahové hodnoty s ohledem na rychlost dvojkolí.



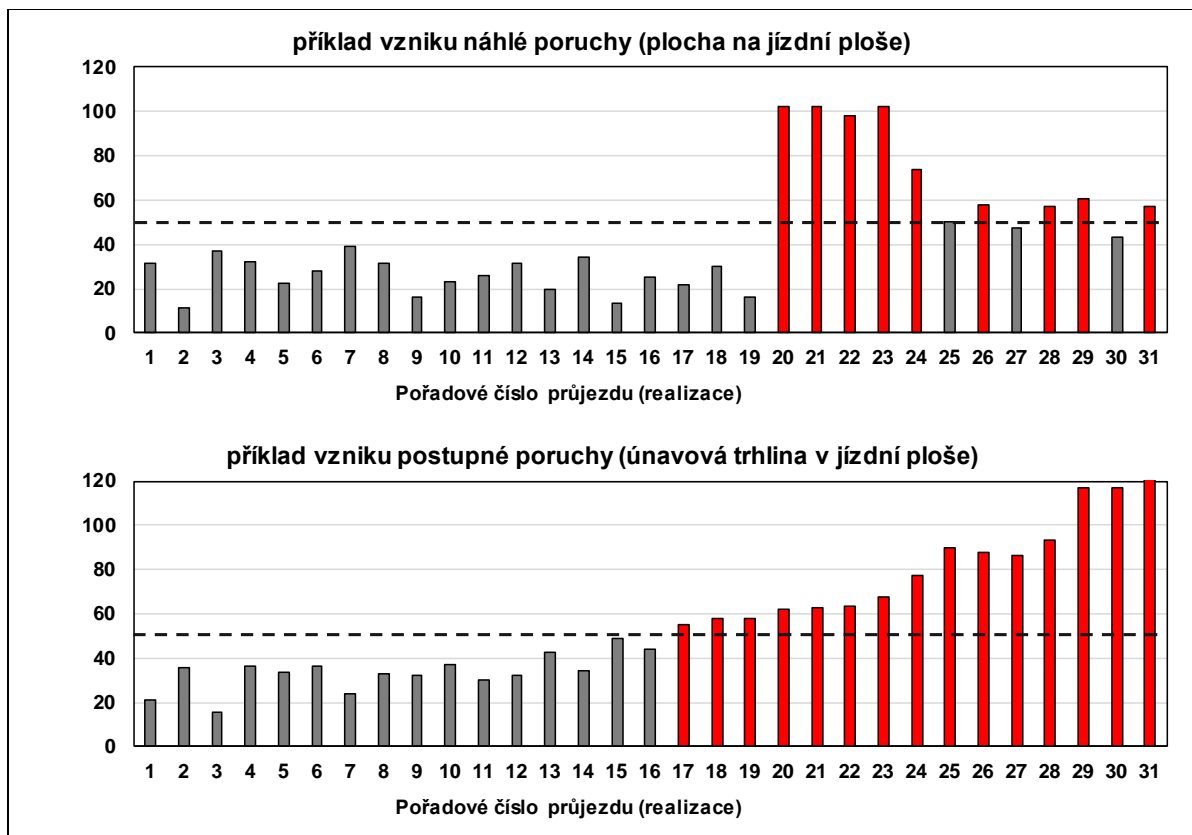
Obr. 6 Příklad závislosti prahové hodnoty na rychlosti (7680 průjezdů dvojkolí).

#### 4.7 Vyhodnocení časových řad

Pro odhalení typu poruchy, zda se jedná o poruchu náhlou nebo postupnou, je nutné sledovanou diagnostickou veličinu hodnotit v časové řadě.

Hodnocení v časové řadě také umožňuje odfiltrovat nejistoty při měření diagnostické veličiny. Kritériem označení diagnostikovaného objektu (např. dvojkolí) jako objektu s poruchou může být odchylka od průměrné hodnoty  $N$  posledních hodnot od aktuální hodnoty. Jako příklad lze uvést situaci, kdy dojde pouze k vytvoření plošky na jízdni ploše při

brždění oproti postupnému rozvoji únavové trhliny pod povrchem jízdni plochy. Kritérium hlášení a stanovení stupně poplachu je nutné určit dle závažnosti konkrétní poruchy.



Obr. 7 Příklad rozvoje poruchy – hodnocená veličina v závislosti na čase (na pořadovém č. realizace).

## 5. Novost postupů a zdůvodnění metodiky

Jedná se o zcela nový postup měření bezdemontážní diagnostiky vozidel metra, který doposud nebyl nikde uplatněn.

Diagnostika závad jedoucích vozidel je zatím rozšířena pouze u konvenční železnice (systémy ASDEK a další), v podmínkách metra zatím tyto systémy rozšířeny nejsou. V DP Praha se zatím komerčně nevyužívá žádný systém, v jiných městech Evropy jsou to pouze jednotky zařízení, avšak založené na jiném principu.

Novost postupů spočívá v principu měření, který umožňuje použití malého kompaktního zařízení, jež lze umístit v tunelu metra. Systémy pro diagnostiku, v případě konvenční železnice, využívají pro detekci vad dvojkolí elektrický obvod, který se odskokem kola přerušuje. Obvykle je zařízení ještě doplněno o detekci horkoběžnosti. Popsaná metodika však využívá k měření signály zrychlení (vibrace) kolejnice.

Tato metodika se nemusí využít jen u trvale umístěných zařízení, lze ji využít také pro přechodné měření – umístění zařízení nevyžaduje žádný zásah do koleje ani do ostění tunelu metra.

Metodika popisuje postupy pro sběr, archivaci, identifikaci a vyhodnocení dat – rozsah měření (počet měřených kanálů) je však libovolný. Lze tak měření doplnit např. o snímače na ostění tunelu či přidat také měření akustického tlaku.

## 6. Popis uplatnění certifikované metodiky

Předkládaná metodika po svém plném uvedení do praxe přinese zásadní změnu v přístupu v oblasti preventivní i korektivní údržby vozidel metra. Při stálém - pravidelném provozním sledování stavu pojezdu, jeho jednotlivých uzlů a komponent, dojde nejen k zásadnímu navýšení bezpečnosti provozu a provozní spolehlivosti vozů, ale také bude možné přeplánovat jednotlivé procesy v rámci udržovacího řádu preventivní údržby s podstatným navýšením kilometrického proběhu pro jednotlivé stupně realizovaných periodických oprav (zejména kontrola stavu mechanických dílů pojezdu je totiž v současné době limitujícím prvkem v rozsahu kilometrického proběhu mezi jednotlivými stupni plánované údržby). Diagnostika mechanických dílů je v dnešní době postavena především na kontrole vizuální. Kontrolu je navíc možno realizovat pouze v klidovém stavu vozidla a její výsledek tudíž nemusí podchytit všechny aspekty aktuálního technického stavu. Současně je tato kontrola spjata s rizikem vlivu lidského činitele a často i s nutnou demontáží posuzovaných dílů.

Předkládaným nezávislým automatickým sledováním a kontinuálním vyhodnocením stavu pojezdu a jiných mechanických prvků vozidel metra bude rovněž možné sledovat vývoj stavu jednotlivých uzlů a dílů v čase. Tím bude dále možné predikovat dobu životnosti, sledování průběhu záběhu po vyvazovacích opravách, porovnání různých dodávek totožných mechanických dílů od rozdílných dodavatelů a podobně.

Tím krom navýšení bezpečnosti provozu dojde rovněž k obecnému zlepšení úrovně technického stavu jak na straně vozidel, tak na straně infrastruktury (kolejový svršek – v interakci kolo-kolejnice). Zároveň bude eliminována i hluková zátěž z provozu souprav metra, která je v dnešní době významným tématem.

## **7. Ekonomické aspekty**

### **7.1 Náklady na zavedení metodiky**

Náklady plynoucí ze zavedení předkládané metodiky spočívají zejména v nákladech na pořízení měřicího systému (průmyslový počítač, měřicí ústředna, snímače hluku a zrychlení, kabeláž atd.), které se pohybují v odhadované částce 400 tis. Kč.

Mimo to je v podmínkách uzavřených (nepřístupných) prostor tunelů metra nutné v nákladech na zavedení zohlednit rovněž napojení na datovou síť pro kontinuální přenos naměřených dat a síť napájení zařízení 230V (při vývoji zařízení náklady formou spolufinancování pokryl Dopravní podnik hl. m. Prahy, a.s.).

### **7.2 Ekonomický přínos zavedení metodiky**

Hlavní predikovatelný přínos této metodiky by v současné době představoval eliminaci údržbového stupně periodické prohlídky R0, která se provádí v kilometrickém proběhu intervalu 3 000 ÷ 4 000 km u každé soupravy. Její časová náročnost představuje 5 nh na vlak – vyjádřeno v nákladech se jedná o částku cca 12 000 Kč/vlak. V počtu provedení provozní periodické prohlídky 1 356/rok tedy pro celý vozový park se předpokládá roční úspora pouze v tomto směru cca 16 mil. Kč.

Cílové navýšení kilometrického proběhu pro jednotlivé stupně preventivních periodických oprav, či případná budoucí orientace na korektivní údržbu, by však představovaly úsporu mnohem vyšší (i kdyby bylo dosaženo pouze racionalizace a optimalizace preventivní údržby při navýšení kilometrického proběhu pro jednotlivé stupně údržby preventivní). Konkrétní úspory však nelze v tuto chvíli přesně odhadnout.

Dále lze díky této metodice kontrolovat stav dodávaných dílů s včasným uplatněním reklamace nebo změny dodavatele.

Krom úspory v oblasti nákladů na samotnou údržbu vozidel je nutné také zmínit úsporu nákladů na údržbu kolejového svršku, eliminaci sankcí za hlukovou zátěž a podobně.



## 8. Seznam použité literatury

1. S. Ergin, A. Uzuntas, and M. B. Gulmezoglu, *Detection of stator, bearing and rotor faults in induction motors*. Procedia Engineering, vol. 30, pp. 1103–1109, 2012.
2. R. F. Dwyer, *Detection of non-Gaussian signals by frequency domain kurtosis estimation*. in Acoustics, Speech, and Signal Processing, IEEE International Conference, 1983, vol. 8, pp. 607–610.
3. J. Antoni, *Fast computation of the kurtogram for the detection of transient faults*. Mechanical Systems and Signal Processing, vol. 21, no. 1, pp. 108–124, Jan. 2007.
4. Jérôme Antoni, R.B. Randall, *The spectral kurtosis: application to the vibratory surveillance and diagnostics of rotating machines*. Mechanical Systems and Signal Processing, Volume 20, Issue 2, 2006, Pages 308-331, ISSN 0888-3270, <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2004.09.002>.
5. L. Saidi, J. Ben Ali and F. Fnaiech, *The use of spectral kurtosis as a trend parameter for bearing faults diagnosis*. In 15th International Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering (STA), Hammamet, 2014, pp. 394-399. doi: 10.1109/STA.2014.7086734
6. R. Lippmann, "An introduction to computing with neural nets," in IEEE ASSP Magazine, vol. 4, no. 2, pp. 4-22, Apr 1987. doi: 10.1109/MASSP.1987.1165576
7. Bruni, S., Vinolas, J., Berg, M., Polach, O., Stichel, S. *Modelling of suspension components*. In Vehicle System Dynamics, 2011. vol. 49 (7), pp. 1021-1072.
8. KILINC, O. *Wayside diagnosis of running gear related faults in railway vehicles*. Pardubice, 2017. Disertační práce. Univerzita Pardubice.
9. B. Sreejith, A. K. Verma, and A. Srividya, *Fault diagnosis of rolling element bearing using time-domain features and neural networks*. In Industrial and Information Systems, 2008. ICIIS 2008. IEEE Region 10 and the Third international Conference on, 2008, pp. 1–6.

## 9. Seznam publikací, které předcházely metodice

(řazeno chronologicky)

1. MUSIL, M. *Optimalizace struktury neuronových sítí aplikovaných v reálných technických prostředích*. In Scientific papers of the University Pardubice, Series B, The Jan Perner Transport Faculty. Pardubice : The Jan Perner Transport Faculty, 2002, s. 85-94,. ISBN 80-7194-513-7.
2. MUSIL, M., BÍLA, J., VITKAJ, J., BUKOVSKÝ, I. *Některé meze využití neuronových sítí v diagnostice*. Automatizace, 2003, roč. 46, č. 11, s. 734-737
3. ZELENKA A KOL. *Studie možností diagnostiky závad jedoucích vozidel*. Technická zpráva CKDV-WP14-2012-JZ-01, Česká Třebová, 2012.
4. ZELENKA J., MUSIL M., KOHOUT M., HAVLÍČEK P. *Instalace měřící techniky v kolejisti stanice Opatov*. Technická zpráva CKDV-WP14-2013-JZ-01. Česká Třebová, 2013.

5. ZELENKA J., MUSIL M., KOHOUT M., HAVLÍČEK P. *Příprava realizace ověřovacího měření Malostranská*. Technická zpráva CKDV-WP14-2013-JZ-02. Česká Třebová, 2013.
6. ZELENKA, J., VÁGNER, J., HÁBA, A., KOHOUT, M., HAVLÍČEK, P. *Implementace zařízení indikace poruchových stavů jedoucích vozidel do provozu Metra*. Technická zpráva CKDV-WP14-2014-JZ-01. Česká Třebová, 2014.
7. HÁBA, A., ZELENKA, J., MUSIL, M., VÁGNER, J., KOHOUT, M., HAVLÍČEK, P. *Diagnostics of Railway Vehicle Based on Dynamical Response Measurement*. In *Vibroengineering Procedia*. Kaunas : JVE International, 2014, s. 272-277. ISSN 2345-0533.
8. ZELENKA, J., VÁGNER, J., MUSIL, M., HÁBA, A., KOHOUT, M., HAVLÍČEK, P. *Využití neuronových sítí k detekci poruchových stavů jedoucích vozidel metra*. Technická zpráva CKDV-WP14-2015-MM-01. Česká Třebová, 2015.
9. ZELENKA, J., VÁGNER, J., HÁBA, A., KOHOUT, M., HAVLÍČEK, P. *Analýzy poruchových stavů v provozu kolejových vozidel indikovaných na jedoucím vlaku*. Technická zpráva CKDV-WP14-2015-JV-01. Česká Třebová, 2015.
10. ZELENKA J., VÁGNER J., KOHOUT M., HÁBA A., MUSIL K., HAVLÍČEK P. *Senzorické systémy pro indikaci poruch jedoucích vozidel v podmínkách metra*. Technická zpráva CKDV-WP14-2015-JV-02, Česká Třebová, 2015.
11. ZELENKA J., VÁGNER J., KOHOUT M., HÁBA A., MUSIL K., HAVLÍČEK P. *Výzkum detekovaných signálů odezvy jedoucích vozidel za účelem analýzy poruchových stavů*. Technická zpráva CKDV-WP14-2015-JV-03, Česká Třebová, 2015.
12. VÁGNER, J., ZELENKA, J., HÁBA, A., KOHOUT, M., HAVLÍČEK, P. *Stationary device for vibrodiagnostics of passing vehicle*. In *Vibroengineering PROCEDIA Volume 6*. Kaunas: JVE International, 2015, s. 98-103. ISSN 2345-0533.
13. ZELENKA J., VÁGNER J., KOHOUT M., HÁBA A., HAVLÍČEK P. *Instalace měřicí techniky v kolejišti mezistaničního úseku Dejvická - Bořislavka*. Technická zpráva CKDV-WP14-2016-JZ-01, Česká Třebová, 2016.
14. ZELENKA J., VÁGNER J., KOHOUT M., HÁBA A., MUSIL M. *Dlouhodobé ověření systému analýzy poruchových stavů v provozu vozidel metra DP Praha*. Souhrnná výzkumná zpráva CKDV-WP14-2017-JV-01, Česká Třebová, 2017.

## 10. Dedikace

Certifikovaná metodika je výstupem z řešení projektu TE01020038 „Centrum kompetence drážních vozidel“.

## **11. Jména oponentů, jejich pracoviště a kontakty do zaměstnání**

- 1. Doc. Ing. Otto Plášek, Ph.D.**, Fakulta stavební VUT v Brně, Ústav železničních konstrukcí a staveb, Veveří 95, 602 00 Brno,  
tel. - +420 541 147 320, e-mail – [plasek.o@fce.vutbr.cz](mailto:plasek.o@fce.vutbr.cz)
- 2. Ing. Petr Hušák**, Dopravní podnik hl. m. Prahy, a.s., Sokolovská 217/42, 190 22 Praha 9,  
tel. - +420 606 614 554, e-mail - [Husak@dpp.cz](mailto:Husak@dpp.cz)