

DIAGNOSTIKA VÝHYBEK S VYUŽITÍM KOLEJOVÝCH VOZIDEL

VEHICLE SIDE DIAGNOSTICS OF S&C

Martin KOHOUT¹, Jakub VÁGNER², Aleš HÁBA³

Abstrakt

Železniční výhybky a křížení jsou z pohledu celkových nákladů na údržbu ve srovnání s běžnou kolejí problematickým prvkem infrastruktury. Článek se proto zabývá možnostmi sledování stavu výhybek jedoucimi vozidly a návrhem inteligentního diagnostického systému pro železniční výhybky, který bude schopen zachytit zhoršování technického stavu a umožnit tak správci infrastruktury postupný přechod k prediktivní údržbě. Výše uvedené by nebylo možné bez vývoje, sestavení a odzkoušení hardwarového i softwarového řešení, doplněného vývojem inteligentních algoritmů, které dokážou z měření dynamické odezvy nejen na infrastrukturu, ale i na železničním vozidle vyhodnotit stav výhybky. Hledané řešení má za cíl prodloužit životnost konstrukce výhybky a zredukovat náklady životního cyklu a zvýšit tak bezpečnost a plynulost železničního provozu.

Klíčová slova

výhybka, diagnostika, prediktivní údržba, bezpečnost

Abstract

Railway switches and crossings (S&C) are a problematic element of the infrastructure in terms of total maintenance costs compared to a normal track. The article therefore deals with the possibilities of condition monitoring of S&C by moving vehicles and with the design of an intelligent diagnostic system for S&C, which will be able to detect deterioration of technical condition and allow the infrastructure manager a gradual transition to the predictive maintenance. The facts mentioned above would not be possible without the development, assembly and testing of hardware and software solutions, supplemented by the development of intelligent algorithms that can evaluate the state of the S&C structure by measuring the dynamic response not only on the infrastructure but also on the railway vehicle. The sought solution will contribute to the S&C structure service life extending and life cycle costs reducing and therefore the safety and smoothness of railway traffic can be increased.

Keywords

switches and crossings, diagnostics, predictive maintenance, safety

1 ÚVOD

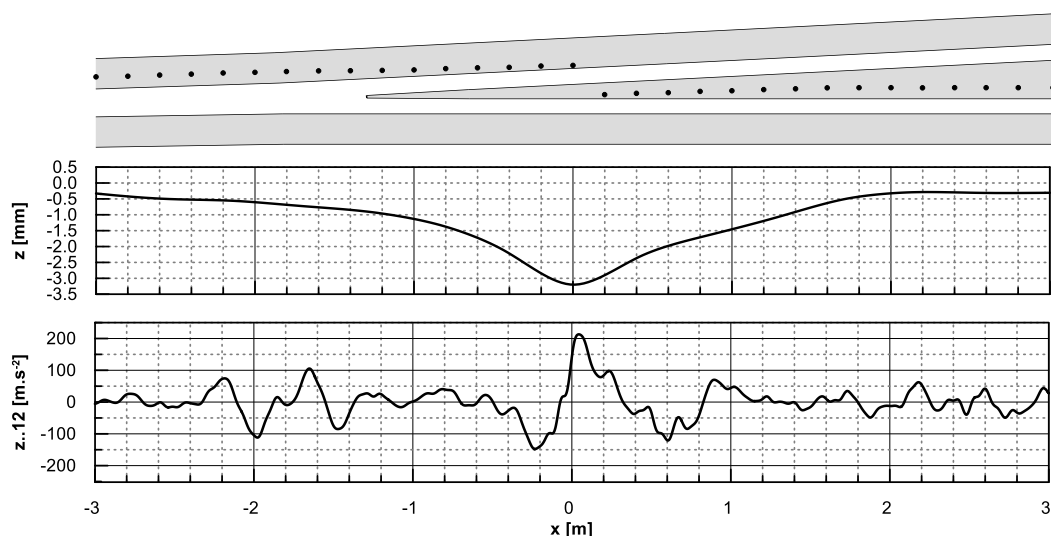
Železniční výhybky jsou z pohledu celkových nákladů na údržbu ve srovnání s běžnou kolejí problematickým prvkem infrastruktury [1, 2], což je u některých správců infrastruktury zohledněno

¹ Ing. Martin Kohout, Ph.D., University of Pardubice, Faculty of Transport Engineering. Dislokované pracoviště DFJP, Nádražní 547, 560 02 Česká Třebová. Tel.: 466 037 427, e-mail: martin.kohout@upce.cz

² Ing. Jakub Vágnér, Ph.D., University of Pardubice, Faculty of Transport Engineering. Katedra dopravních prostředků a diagnostiky, Studentská 95, 532 10 Pardubice. Tel.: 466 036 493, e-mail: jakub.vagner@upce.cz

³ Ing. Aleš Hába, Ph.D., University of Pardubice, Faculty of Transport Engineering. Dislokované pracoviště DFJP, Nádražní 547, 560 02 Česká Třebová. Tel.: 466 037 428, e-mail: ales.haba@upce.cz

v nákladech za použití dopravní cesty [3, 4]. Důvodem je především využívání srdcovek s pevným hrotem, které je možné používat až do rychlosti 250 km/h [5]. Při průjezdu vozidla oblastí srdcovky dochází k náhlé změně polohy kontaktu kola přechodem z křídlové kolejnice na hrot srdcovky. Právě tento přechod je doprovázen svislým pohybem kola, kdy dochází nejprve k poklesu kola způsobeného odbíhající křídlovou kolejnicí (pokud není nadvýšena), který je vystřídán dosednutím kola na hrot srdcovky (obr. 1). Toto dosednutí je doprovázeno dynamickým rázem ve svislém směru, jehož charakter je ovlivněn vlastností a stavem nejen konstrukce uzlu upevnění srdcovky, ale také související podkladní vrstvy železničního svršku a spodku. S rostoucí hmotností a rychlostí projíždějících vozidel a zvyšujícím se opotřebením a tvarováním hrotu srdcovky tento dynamický účinek narůstá [6]. Výsledkem je zhoršující se stav celého uzlu výhybka–podloží, který je dočasně korigován údržbovým zásahem (navarování, broušení, podbíjení) nebo končí lomem srdcovky. Následná výměna srdcovky a opravy železničního svršku jsou finančně i časově náročné.



Obr. 1 Průjezd kola přes pevnou srdcovku výhybky – svislý pohyb kola z kinematického pohledu a reálný průběh svislého zrychlení měřeného na ložiskové skříni dvojkoľi elektrické lokomotivy

Právě výše uvedená postupná degradace s následným korektivním zásahem (bez výměny či s výměnou části konstrukce) vedla k myšlence využití moderních HW a SW nástrojů, které umožní průběžnou automatickou diagnostiku konstrukčních částí výhybek, včasné zachycení progresivního nárůstu degradace v uzlu výhybky či dokonce pomohou určit optimální dobu na provedení údržbového zásahu dle známého aktuálního stavu i predikovaného vývoje (prediktivní údržba).

V zahraničí již existují komerční diagnostické systémy instrumentovaných výhybek, které jsou ale zaměřeny především na sledování stavu elektrické a mechanické části výměny výhybky (např. ROADMASTER firmy Voestalpine). Zároveň se začínají objevovat první systémy (např. Konux) sledující stav výhybky a umožňující predikci vývoje, která je založena na možnostech nástrojů umělé inteligence.

2 PROJEKT VÝHYBKA 4.0

Dosavadní sledování stavu výhybek na síti správy železnic je založeno především na statickém, většinou ručním měření základních geometrických parametrů konstrukce, doplněných o vizuální kontrolu a defektoskopii. Geometrické parametry koleje ve výhybce jsou měřeny měřícím vozem či drezínou. Dynamické chování konstrukce a stav dvojice výhybka–podloží ovšem sledováno není.

Právě tato nevýhoda a zkušenosti z předchozí spolupráce vedly k návrhu projektu Výhybka 4.0 v rámci první výzvy TAČR DOPRAVA 2020+. Tento projekt, na jehož řešení se podílí společnost DT Výhybkárna a strojírna, a.s., Fakulta Stavební Vysokého učení technického v Brně, Dopravní fakulta Jana Pernera Univerzity Pardubice a společnost RETIA, a.s. byl přijat k řešení na období 2020–2024.

Podstatou projektu je vývoj a související výzkum, který povede k vytvoření systému pro inteligentní diagnostiku a prediktivní údržbu výhybek – autonomního modulárního diagnostického systému umožňujícího sběr, přenos, analýzu a hodnocení dat o aktuálním stavu výhybek. Data budou hromadně získávána ze snímačů ve výhybce (stacionárně) a na jedoucích vozidlech (mobilně). V kombinaci s dalšími diagnostickými a ostatními relevantními daty umožní vyvíjený systém jejich automatické shromažďování a globální analýzu s využitím pokročilých nástrojů na uložištích správce infrastruktury s cílem informovat o aktuálním stavu výhybek na síti a umožnit přechod z korektivní k prediktivní údržbě.

V rámci projektu jsou vyvíjena zařízení pro měření dynamických účinků a sběr dat na výhybce pomocí připojených senzorů. Sběr dat probíhá jak stacionárně (přímo ve výhybce), tak i mobilně (na vozidle). Upravená data jsou analyzována a odeslána na server pro další zpracování. Na serveru bude k dispozici program, který bude hodnotit stav dané výhybky pomocí všech dostupných dat a bude správci infrastruktury prezentovat informaci o aktuálním stavu výhybky a o provedených či nutných zásazích.

3 DIAGNOSTIKA VÝHYBEK JEDOUcíMI VOZIDLY

Myšlenka využití vozidel pro diagnostiku infrastruktury není nová. I když základem pro hodnocení stavu výhybky jsou informace přímo z posuzované železniční konstrukce, tedy srdcovky, případně výměny, byla na základě předchozích zkušeností do projektu Výhybka 4.0 zahrnuta možnost další nezbytné informace z projíždějících vozidel.

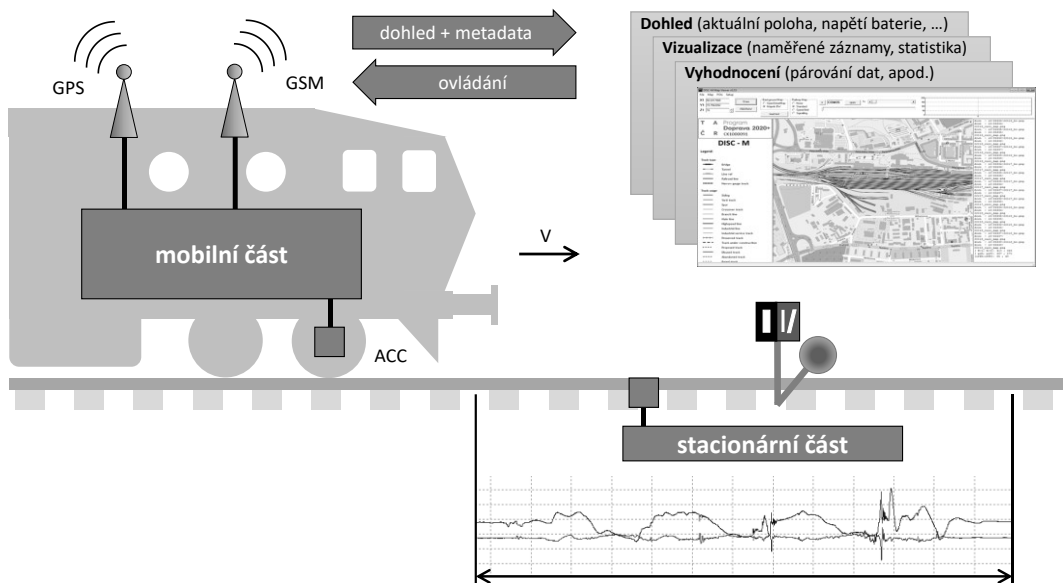
V případě využívání diagnostiky stavu výhybek jedoucím vozidlem (běžně nasazovaným v provozu) je výhodou např. rychlé zavedení pravidelného porovnávacího chování všech výhybek na provozované dopravní cestě s minimálními náklady (vozidlo či několik typů vozidel zajistí téměř online sledování většiny objektů na hlavních, velmi zatížených tratích). Výzvou při řešení projektu je eliminace ovlivnění výsledků parametry a aktuálním stavem vozidla. Nevýhodou diagnostiky jedoucimi vozidly jsou minimálně omezené možnosti sledování výhybek ve větších stanicích, kde zastavuje většina vozidel a výhybky zde tak není možné pojíždět maximální rychlostí, která je nejvhodnější pro zjišťování stavu výhybky.

V rámci dlouhodobé spolupráce Dopravní fakulty Jana Pernera Univerzity Pardubice s výrobcem výhybek DT Výhybkárnou a strojírnou, a.s., kdy byly v předchozím období sledovány výhybky různých konstrukcí, byla vytvořena elementární metodika měření a vyhodnocení [7]. Pokračování výzkumu, založeného na výsledcích sledování většího množství výhybek a hledání korelací mezi dynamickými účinky vozidel a měřeným stavem konstrukce (opotřebení částí konstrukce, nivelace, GPK, a jiná doplňující měření mimo běžný rozsah hodnocení správcem infrastruktury), umožní tuto metodiku modifikovat a rozšířit.

4 MĚŘICÍ TECHNIKA PRO SBĚR DAT

Pro sběr dat o stavu výhybky na vozidle je vyvíjen HW, který tvoří mobilní část diagnostického systému. Jedná se o zařízení, které měří svislé zrychlení na ložiskové skříni při průjezdu přes diagnostikovanou výhybku, které se pomocí metodiky přepočítá např. na ekvivalentní zatížení srdcovkové části výhybky, jednu ze vstupních veličin algoritmů SW diagnostiky pro hodnocení stavu výhybek. Zařízení bude umístitelné neinvazivním způsobem na většinu kolejových vozidel (zejména hnacích) a umožní lokalizaci, autonomní snímání, ukládání a odesílání měřených či předvyhodno-

cených dat do centrální databáze pro vyhodnocení a vizualizaci. Celková koncepce zařízení pro měření na vozidle je uvedena na obr. 2.



Obr. 2 Schéma mobilní části systému

S ohledem na velikost a mechanickou odolnost je zařízení rozděleno na část elektronickou, umístěnou na rám podvozku či skříň vozidla, a část senzorickou, umístěnou na ložiskovou skříň. Jádrem zařízení tvoří mikrokontrolér, který řídí všechny činnosti zařízení. Zabezpečuje tedy nejen sběr dat, ale také management měření a přenos dat skrze GSM. Ve fázi vývoje zařízení jsou signály ukládány do vnitřní paměti, ve finální podobě se předpokládá předzpracování a odeslání pouze výsledků. Po sestavení prototypu HW (obr. 3) byla provedena porovnávací zkouška nového zařízení s laboratorní technikou, s následným nasazením do zkušebního provozu.

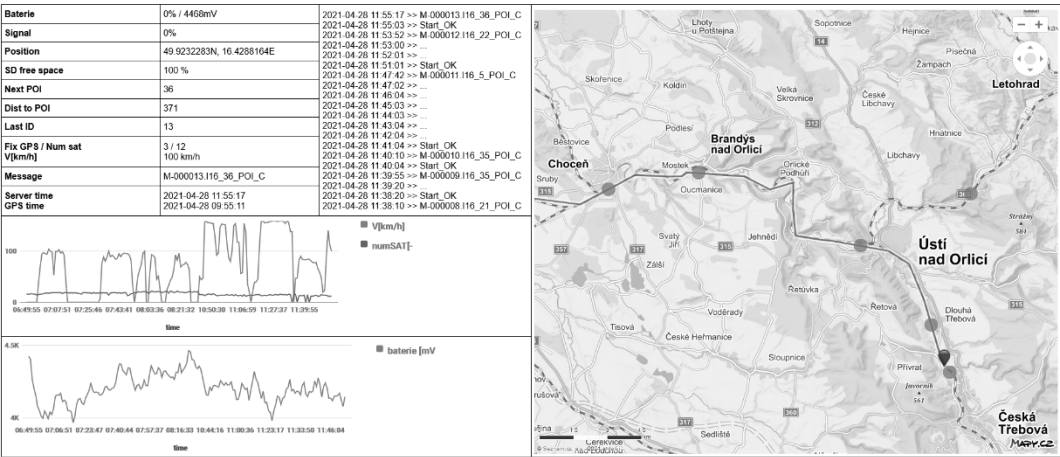


Obr. 3 Prototyp HW pro měření na vozidle

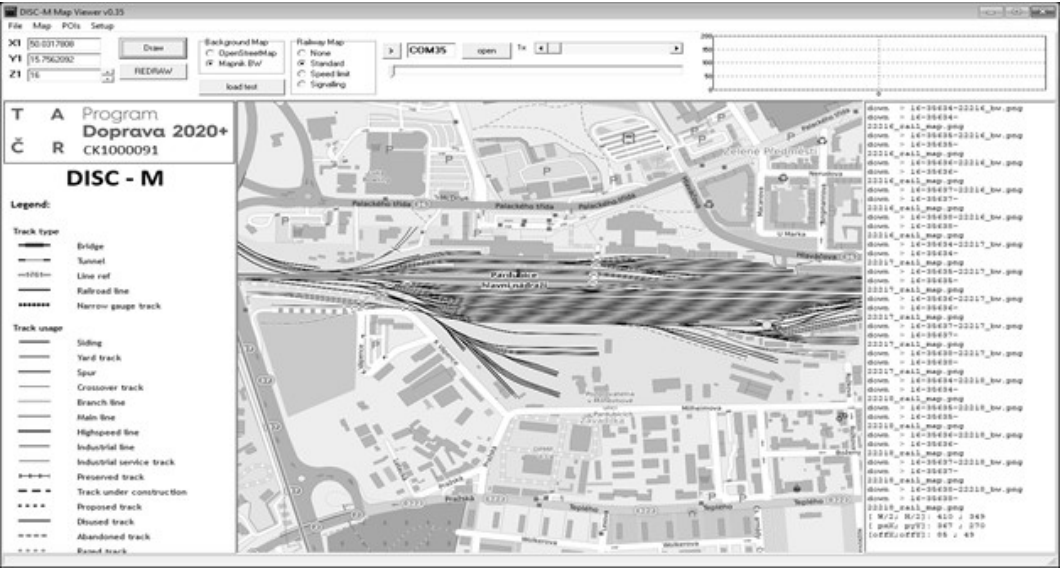
5 SOFTWARE PRO PRÁCI S DATY

V rámci vývoje systému pro sběr dat bylo vytvořeno několik podpůrných programů. Jedním z nich je web pro vzdálený dohled funkčnosti zařízení (viz obr. 4). Na obr. 5 je pak příklad prezentace dat v programu, vytvořeném především pro účely vizualizace a simulace naměřených dat v mapo-

vých podkladech. SW slouží pouze pro účely testování, neboť cílovým stavem je předávat nadřazené diagnostice pouze informaci o klíčových hodnocených parametrech dané výhybky, směru jízdy vozidla a čase průjezdu.



Obr. 4 Online vizualizace funkce zařízení



Obr. 5 Vytvořený SW pro vizualizaci a simulaci naměřených dat

6 MĚŘENÍ V PROVOZU

V roce 2020 došlo, i přes všechny obtíže spojené s pandemií, k navázání spolupráce s Centrem telematiky a diagnostiky (CTD) Správy železnic, které disponuje měřicími vozy geometrických parametrů koleje a pevných trakčních zařízení. Využití měřicích vozů je pro účely vývoje HW a SW pro měření a diagnostiku výhybek vyhovující. V roce 2021 byla realizována první měřicí kampaň, která byla uzavřena v červenci 2021. S prvními výsledky tak bude možné se seznámit v rámci posterové prezentace tohoto příspěvku na konferenci.

Myšlenka diagnostiky výhybek jedoucimi vozidly má význam jen při využití vyvinutého zařízení na více vozidlech, aby bylo zajištěno síťové pokrytí diagnostikované infrastruktury. Toto je plánováno na konci roku 2021 po dokončení funkční verze HW a SW mobilního autonomního zařízení. Pravidelná, téměř každodenní informace o chování výhybek v provozu pod zatížením, paralelní sběr informací z měření na infrastruktuře a doplňující informace z ostatních informačních systémů provozu a údržby správce infrastruktury jsou nezbytným předpokladem pro vývoj algoritmů umožňující postupný přechod k prediktivní údržbě.

7 ZÁVĚR

Internet věcí, strojové učení a cenově dostupná měřicí technika s dostačující přesností jsou dnes snadno využitelné nástroje, které mohou být efektivně využity nejen ve výrobním průmyslu, ale také v provozu na moderní železnici. A právě vyvíjený diagnostický systém výhybek by měl nahradit ve větší míře již dnes chybějící kvalifikované zaměstnance, a kromě snížení nákladů při predikované a optimalizované údržbě výhybek by se měl stát dalším prvkem zajištění bezpečnosti provozu drážní dopravy.

Příspěvek vznikl v rámci řešení projektu Výhybka 4.0 (CK01000091) programu Doprava 2020+ Technologické agentury České republiky (TA ČR). Poděkování za vstřícný přístup při realizaci měření patří pracovníkům Centra telematiky a diagnostiky, střediska diagnostiky pevných trakčních zařízení v Bohumíně.



Literatura

- [1] NISSEN, A. LCC analysis for switches and crossings: a case study from the Swedish Railway Network. *International Journal of COMADEM*. 2009, **12**(2), 10–19. ISSN 1363-7681.
- [2] VITÁSEK, S., MĚŠŤANOVÁ, D. Life Cycle Cost of a Railroad Switch. *Procedia Engineering*. 2017, **196**, 646–652. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.08.053
- [3] MICHÁLEK, T., ŠLAPÁK, J., ŠPALEK, P., HORA, M. Hodnocení poškozujících účinků jízdy kolejových vozidel na kolej. In: *Súčasný problémy v koľajových vozidlách: XXIV. medzinárodná konferencia, zborník prednášok, diel II. Žilina, VTS pri ŽU v Žiline, 2019*, 65–73. ISBN: 978-80-89276-59-2.
- [4] MARSCHNIG, S. Fahrzeugkonzeption und Gleisverschleiß – ÖBB-Triebfahrzeugfaktor. *Elektrische Bahnen*. 2012, **110**(6), 288–292. ISSN 0013-5437.
- [5] Nařízení komise (EU) č. 1299/2014 ze dne 18. listopadu 2014 o technických specifikacích pro interoperabilitu subsystému infrastruktura železničního systému v Evropské unii. In: *Úřední věstník Evropské unie*. L 356, 12. 12. 2014.
- [6] ZELENKA, J., HÁBA, A., KOHOUT, M. *Vyhodnocení měření zrychlení na podvozku elektrické lokomotivy při průjezdu vybraných výhybek v úseku Praha–Přerov*. Technická zpráva V4-20-AH-01. Česká Třebová: Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, 2020.
- [7] ZELENKA, J., HÁBA, A., KOHOUT, M. *Stanovení ekvivalentního zatížení srdcovkové části železniční výhybky při průjezdu vozidla prostřednictvím postupů uvedených v EN 14363*. Certifikovaná metodika 95/2014-710-VV/1. 2014.