

B61K 9/12 (2006.01)
B61L 1/06 (2006.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2020-669**
(22) Přihlášeno: **11.12.2020**
(40) Zveřejněno: **15.06.2022**
(Věstník č. 24/2022)
(47) Uděleno: **27.04.2022**
(24) Oznámení o udělení ve věstníku: **15.06.2022**
(Věstník č. 24/2022)

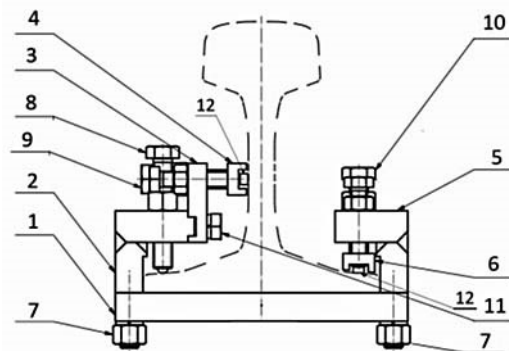
(56) Relevantní dokumenty:
CZ 2018105 A3; WO 2016115443 A1; WO 2016027072 A1.

(73) Majitel patentu:
Vysoká škola báňská-Technická univerzita Ostrava,
Ostrava, Poruba, CZ

(72) Původce:
Ing. Marcel Fajkus, Ph.D., Ostrava, Hrabůvka, CZ
Ing. Jan Nedoma, Ph.D., Kostelec na Hané, CZ
Ing. Pavol Partila, Ph.D., Ostrava, Poruba, CZ
Ing. Jaromír Továrek, Ph.D., Konice, CZ
doc. Ing. Radek Martinek, Ph.D., Nedvědice, CZ

(54) Název vynálezu:
**Systém pro rozpoznání a klasifikace
plochých kol v kolejové dopravě**

(57) Anotace:
Systém pro rozpoznání a klasifikace plochých kol v kolejové dopravě, jehož součástí je Braggovská mřížka (14) a optické vlákno (13), je tvořen dvěma částmi mechanickou a optoelektronickou. Mechanická část sestává z rozebíratelného držáku pro neinvazivní upevnění ke kolejnici a optoelektronická představuje dva mřížkové senzory (12), které jsou uchyceny v držáku. Držák mřížkových senzorů (12) je tvořen podstavcem (1) s otvory, který je rozebíratelně propojen s boční levou částí (2) s nástavcem (3) se stojnovým držákem (4) pro první senzor (12) a boční pravou částí (5) s patovým držákem (6) pro druhý senzor (12) prostřednictvím čtyř spojovacích šroubů (7) umístěných na levé i pravé straně, přičemž propojení je realizováno z dolní strany podstavce (1). Systém nenarušuje kolejnice a je tak vhodný pro užití v železniční i tramvajové dopravě.



Systém pro rozpoznání a klasifikace plochých kol v kolejové dopravě

Oblast techniky

5

Vynález spadá do oblasti dopravy, je využitelný pro monitorování vybraných parametrů provozu kolejových vozidel, a to zejména tramvají, zejména pak pro rozpoznání a klasifikaci plochých kol v kolejové dopravě.

10

Dosavadní stav techniky

Velký problém v kolejové dopravě představuje výskyt tzv. „plochých kol“ u kolejových vozidel, která vznikají zejména při zablokování kol, např. u tramvajové soupravy při prudkém brždění a současném dopředném pohybu soupravy. Tímto dochází ke „sklouznutí“ soupravy po koleji a vlivem tření ke zbroušení profilu kola na kterém tak vzniká ploška. Takto vzniklá asymetrie ve tvaru kola je pak zdrojem velké úrovně zrychlení vertikálních vibrací a samozřejmě i hluku, což má za následek celou řadu vzniku dalších negativ.

Takto vzniklé vibrace výrazně ovlivňují kolejový svršek a přímé okolí kolejové trati. Vlivem působení nadměrných vibrací z provozu vozidla s plochým kolem tak dochází k rychlejší degradaci provozního stavu kolejového svršku a tím i k nárůstu nákladů na jeho údržbu. Rovněž není možné opomenout šíření těchto vibrací a vliv na okolní zástavbu a její obyvatele. A proto je velmi důležité výskyt těchto tzv. „plochých kol“, monitorovat.

25

Monitorováním tzv. „plochých kol“ se zabývá, např. článek autorů: Buggy, S.J., James, S.W., Staines, S., Carroll, R., Kitson, P.V., Farrington, D., Drewett, L., Jaiswal, J., Tatam, R.P. "Railway track component condition monitoring using optical fibre Bragg grating sensors" (2016) Measurement Science and Technology, 27 (5), art. no. 055201, DOI: 10.1088/0957-0233/27/5/055201, kdy je pro monitorování použito pole Braggovských mřížek, které monitorují mechanické napětí v kolejnicích. Tyto mřížky jsou lepeny přímo na kolejnici. Nevýhodou tohoto řešení je nestandardizovaný způsob uchycení – není definováno množství lepidla ani jeho druh a dále to, že senzor není nijak chráněný, tedy se pravděpodobně jedná o jednorázové použití.

Další článek z této oblasti pak představuje práce Iele, Antonio & Lopez, Valerio & Laudati, Armando & Mazzino, Nadia & Bocchetti, Giovanni & Cusano, Andrea & Cutolo, Antonello. (2016). "Fiber Optic Sensing System for Weighing In Motion (WIM) and Wheel Flat Detection (WFD) in railways assets: the TWBCS system". Conference: 8th European Workshop On Structural Health Monitoring (EWSHM 2016) At: Bilbao (Spain), který se zabývá vážení kolejových vozidel a zároveň detekcí plochých kol, přičemž pro tyto údaje využívá deset mřížkových senzorů, které jsou uloženy v kovovém pouzdře. Vzhledem k tomu, že hlavní funkcí předloženého zařízení je vážení, z těchto důvodů je zde velké množství senzorů.

Stejným tématem se zabývá i článek autorů: Madejski J. "Automatic detection of flats on the rolling stock wheels" (2006), Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, vol. 16, pp. 160-163, který na kolejnici uchycuje akcelerometry a při průjezdu tramvaje zaznamenává akustickou odezvu prostřednictvím mikrofonů. Analýza pak využívá zvukových projevů plochého kola při průjezdu vozidla. Nevýhodou je nižší přesnost při pomalejším průjezdu vozidla.

50

Článek od autorů: Nowakowski, T., Komorski, P., Szymański, G.M., Tomaszewski, F. "Wheel-flat detection on trams using envelope analysis with Hilbert transform" (2019) Latin American Journal of Solids and Structures, 16 (1), art. no. e148, DOI: 10.1590/1679-78255010, pak využívá konvenčních vibračních senzorů, které jsou uchyceny na kolejnici. Tyto senzory detekují

amplitudy signálu při průjezdu tramvajového vozidla. Nevýhodou je pak nutnost zpracování získaných informací prostřednictvím specializovaného softwaru.

5 A konečně článek autorů: Filograno, M.L., Corredera, P., Rodríguez-Plaza, M., Andrés-Alguacil, A., González-Herráez, M. "*Wheel flat detection in high-speed railway systems using fiber bragg gratings*" (2013) IEEE Sensors Journal, 13 (12), art. no. 6563101, pp. 4808-4816. DOI: 10.1109/JSEN.2013.2274008, kde je popisováno lepení mřížkových senzorů na stojnu kolejnice za účelem snímání deformační odezvy průjezdu kolejového vozidla. Stejně jako u prvního článku je toto řešení nevýhodné z důvodu uchycení a jednorázového použití senzorů.

10

Z patentové literatury je pak možné zmínit dokument evidovaný jako CN 101797928 B, o názvu "*Rail transportation axle-counting device for packaging FBG based on semi-freedom*", který využívá technologie FBG senzor v podobě tenzometru a dále laser jako světelný zdroj, optický cirkulátor a fotodetektor k počítání náprav kolejových vozidel. Senzor je alespoň částečně krytován a je upevněn na kabelovém svazku u paty kolejnice. Pomocí měření intenzity odraženého světla je pak možné získat informace o nápravách (např. zatížení kol apod.).

15

Podstata vynálezu

20

Výše uvedené nevýhody odstraňuje zařízení, které představuje systém, který je určen pro rozpoznání a klasifikaci plochých kol zejména v kolejové dopravě, která využívá tzv. širokopatných kolejnic – tedy hlavně pro železnici a tramvajovou dopravu.

25

Zařízení je tvořeno dvěma částmi – mechanické a optoelektronické. Mechanická část sestává z neinvazivního prvku představujícího držák, který slouží pro uchycení elektronické části na kolejnici.

30

Tento držák je tvořen několika částmi, které jsou vzájemně propojeny šrouby. Prvním dílem je podstavec, který je prostřednictvím celkem osmi spojovacích šroubů spojen s boční levou částí a boční pravou částí tak, že každá z těchto částí je s podstavcem spojena čtyřmi spojovacími šrouby. Propojení je realizováno zespod. K boční levé části, je pak rozebíratelně připojen, prostřednictvím pěti malých spojovacích šroubů, nástavec se stojnovým držákem pro elektronickou část – tedy pro první mřížkový snímač. Levá část je rovněž vybavena třemi levými šrouby pro nastavení citlivosti a prostřednictvím stojnového držáku prvního snímače na stojně kolejnice. Dále se na této straně nachází čtyři aretační šrouby, které zajišťují fixaci držáku na kolejnici bez jejího poškození – tedy neinvazivně. Stejný počet těchto aretačních šroubů se nachází i na pravé straně. Boční pravá část je vybavena patovým držákem pro upevnění druhého mřížkového snímače tentokrát k patě kolejnice přičemž fixaci zajišťují výše zmíněné čtyři aretační šrouby. Nastavení citlivosti zajišťují tři pravé šrouby pro nastavení citlivosti.

40

Optoelektronickou část, pak představují dva mřížkové senzory, z nichž první je uchycen prostřednictvím nástavce ke stojně kolejnice a druhý, rovněž v nástavci k patě kolejnice. Každý z těchto senzorů představuje Braggovská mřížka, která je napojená na jeden konec optického vlákna a je zapouzdřena prostřednictvím 3D tisku (běžné plastové filamenty, např. typu – PLA, PET-G, FLEX, NGEN, HIPS, PP, NYLON, PC-ABS, ASA apod.), přičemž volný konec optického vlákna je chráněn sekundární ochrannou trubičkou a vnitřním vyztužením a je zakončeno standardním konektorem FC/APC, FC znamená - "*fiber-optic connector*" a APC – "*Angled Physical contact*".

50

Zařízení pak snímá vratné mikro-deformace kolejnice vlivem průjezdu nápravy kolejového vozidla v místě měření (uchycení senzoru). Tyto mikro-deformace ovlivňují geometrické a optické vlastnosti mřížkové struktury optovláknového mřížkového senzoru, které jsou dále vyhodnocovány. Vyhodnocování probíhá prostřednictvím vyhodnocovací jednotky s algoritmem, pro zpracování původního signálu (rozpoznání a klasifikace plochých kol tramvajových souprav).

55

Mezi výhody tohoto řešení patří elektrická pasivita v místě měření a rovněž elektromagnetická imunita mřížkového snímače, přičemž obě tyto vlastnosti zajišťuje zapouzdření senzoru prostřednictvím 3D tisku. Zařízení je ke kolejnici upevněno nedestruktivním způsobem a poškozený senzor lze velmi rychle nahradit. Dále je výhodou měření na dvou místech kolejnice – stojna a pata, což zaručuje dostatečnou detekci deformačních projevů způsobených průjezdem kolejového vozidla. Instalace zařízení je rovněž velmi jednoduchá a jeho provoz odpovídá bezpečnostním předpisům SIL (SŽDC). Velkou výhodou je, že je zařízení použitelné v železniční i tramvajové dopravě pro celou řadu kolejnic, které spadají pod označení širokopatní (např., UIC60, R65 apod.) nebo žlábkové (např. NT, NT1, NT3 apod.).

Objasnění výkresů

Obr. 1 představuje příslušné zařízení složené z držáku a dvou mřížkových snímačů (pohled v řezu). Obr. 2 zde se nachází schéma mřížkového snímače - pohled shora. Obr. 3 grafické znázornění průřezu kolejových vozidel - jeden vůz a dva vozy. Obr. 4 pak představuje konkrétní ukázkou grafické detekce kolejového vozidla s defektem na prvním kole na první nápravě při odstranění vyšších frekvencí (náprava) a odfiltrování nižších frekvencí pro zobrazení účinku plochého kola.

Příklady uskutečnění vynálezu

Příklad 1

Zařízení bylo testováno na širokopatní kolejnici blízké typu R65 (výška 180 mm a šířka paty 150 mm) v dopravním podniku Ostrava, přičemž Ostravská tramvajová síť má profily takřka shodné se železničními.

Prvním dílem držáku je podstavec 1, který je prostřednictvím celkem osmi spojovacích šroubů 7 spojen s boční levou částí 2 a boční pravou částí 5 tak, že každá z těchto částí 2, 5 je s podstavcem 1 spojena čtyřmi spojovacími šrouby 7. Propojení je realizováno zespod podstavce 1. K boční levé části 2, je pak rozebíratelně připojen, prostřednictvím pěti malých spojovacích šroubů 11, nástavec 3 se stojnovým držákem 4 pro elektronickou část – tedy pro první mřížkový snímač 12. Boční levá část 2 je rovněž propojena třemi levými šrouby 9 pro nastavení citlivosti se stojnovým držákem 4 prvního snímače 12 na stojně kolejnici. Stojnový držák 4 je s boční levou částí 2 propojen prostřednictvím čtyř aretačních šroubů 8, které zajišťují fixaci stojnového držáku 4 ke stojně kolejnici bez jejího poškození – tedy neinvazivně. Stejný počet těchto aretačních šroubů 8 se nachází i na boční pravé části 5. Boční pravá část 5 je vybavena patovým držákem 6 pro upevnění druhého mřížkového snímače 12 tentokrát k patě kolejnici. Spojení a fixaci patového nástavce 6 a boční pravé části 5 zajišťují čtyři výše zmíněné aretační šrouby 8, citlivost je nastavena prostřednictvím tří pravých šroubů 10 pro nastavení citlivosti. V případě tohoto typu kolejnici má délka držáku 250 mm, je široký 185 mm a jeho výška je 172 mm.

Každý mřížkový snímač 12 je tvořen jednovidovým optickým vláknem 13 (standard G.657.D), které je vybaveno primární akrylátovou ochranou s vnějším průměrem 250 μm s Braggovskou mřížkou 14 se základními parametry, kdy: Braggovská vlnová délka je v rozsahu 1510 až 1590 nm, šířka spektra odpovídá rozsahu 100 až 300 pm, odrazivost 50 až 99 %, délka struktury Braggovské mřížky 14 je 1 až 3 mm.

Optické vlákno 13 s Braggovskou mřížkou 14 je zapouzdřeno technologií 3D tisku polymerem ABS (Akrylonitrilbutadienstyren). Zapouzdření je realizováno šesti vrstvami filamentu ABS, kdy výška jedné vrstvy je 0,3 mm, optické vlákno 13 s Braggovskou mřížkou 14 je vycentrováno mezi 2 a 3 vrstvou filamentu.

Samotné rozměry mřížkového snímače 12 jsou délka 250 mm, šířka 20 mm, výška 3 mm. Volný konec optického vlákna 13, který vede z mřížkového snímače 12 je chráněn sekundární ochrannou trubičkou s vnějším průměrem 3 mm a vnitřním kevlarovým vyztužením a je napojeno, prostřednictvím optického konektoru 15 typu FC/APC na přívodní vlákno zakončené optickým konektorem 15 typu FC/APC se šikmou ferulí. V tomto případě má každé přívodní vlákno délku 10 m, jak je uvedeno i níže.

Pro měření na kolejové trati DP Ostrava jsou ke kolejnici upevněny dva držáky mřížkových snímačů 12 (na obě strany kolejnice), každý z nich obsahuje dva mřížkové snímače 12 (umístěné na patě a stojně kolejnice), tedy dohromady 4 mřížkové snímače 12. Oba držáky mřížkových snímačů 12 jsou umístěny a uchyceny k patě kolejnice prostřednictvím celkem osmi aretačních šroubů 8. Mřížkové snímače 12 jsou upevněny ke kolejnici stojnovými držáky 4 a patovými držáky 6 a z hlediska citlivosti nastaveny šesti nastavovacími šrouby 9, 10.

Ke každému držáku mřížkových snímačů 12 vedou dvě přívodní vlákna standardu G.652 s optickými konektory 15 typu FC/APC o délce 10 m. Pro optické napájení a převod světla na měřitelný elektrický proud jsou tato vlákna připojena ke konvenční optoelektronické jednotce s nastaveným výstupním výkonem 1 mW a vzorkovací frekvencí 1 kHz, která je dále připojena k výpočetní jednotce s vyvinutým detekčním algoritmem, která pracuje v real-time módu. Algoritmus neustále provádí detekci průjezdu, kolejového vozidla, tedy v tomto případě tramvaje a v případě, že je průjezd vozidla detekován dochází k okamžitému vyhodnocení dat.

Měření bylo provedeno za venkovní teploty 18 až 23 °C po dobu 117 minut, kdy byl proveden slepý test (záměrně zařazeno vozidlo s defektem na jednom kole), měřeno bylo celkem 26 tramvajových souprav (jedno-vozové a dvou-vozové) s úspěšností detekce jednotlivých náprav, respektive kol 100 %, jak je seznatelné z obrázku 3. Tramvaj s defektní nápravou byla zaznamenána a systém 100 % rozeznal defekt na první kole první nápravy této tramvaje, jak je znázorněno na obr. 4 z celkem 26 tramvajových souprav.

30 Příklad 2

Příklad 2 se od příkladu 1 odlišuje tím, že držák je umístěn na kolejnici S49 (výška 149 mm, šířka paty 125 mm). Této velikosti odpovídá i držák mřížkových snímačů 12, který má nyní rozměry délka 250 mm, výška 141 mm a šířka 160 mm. Optické vlákno 13 s Braggovskou mřížkou 14 je zapouzdřeno technologií 3D tisku v tomto případě filamentem typu PLA.

Příklad 3

Příklad 3 se od předchozích příkladů odlišuje použitým typem kolejnice, který byl UIC 60 (výška 172 mm, šířka paty 150 mm). Této velikosti odpovídá i držák mřížkových snímačů 12, který má rozměry délka 250 mm, výška 164 mm a šířka 185 mm. Ke každému držáku mřížkových snímačů 12 vedou dvě přívodní vlákna standardu G.652 s optickými konektory 15 typu FC/APC o délce 1 m. Optické vlákno 13 s Braggovskou mřížkou 14 je zapouzdřeno technologií 3D tisku v tomto případě filamentem typu FLEX.

Příklad 4

Příklad 4 se od předchozích příkladů odlišuje použitým typem kolejnice, kterým je typ T (výška 150 mm a šířka paty kolejnice 128 mm). Této velikosti je přizpůsoben i držák mřížkových snímačů 12, který má délku 250 mm, šířku 163 mm a výšku 142 mm. Optické vlákno 13 s Braggovskou mřížkou 14 je zapouzdřeno technologií 3D tisku v tomto případě filamentem typu PC-ABS.

Příklad 5

- 5 Příklad 5 se od předchozích příkladů odlišuje použitým typem kolejnice, kterým je typ 46E1 (výška 145 mm a šířka paty kolejnice 120 mm). Této velikosti je přizpůsoben i držák mřížkových snímačů 12, který má délku 250 mm, šířku 160 mm a výšku 137 mm. Optické vlákno 13 s Braggovskou mřížkou 14 je zapouzdřeno technologií 3D tisku v tomto případě filamentem typu HIPS.

Příklad 6

- 10 Příklad 6 se od příkladu 1 odlišuje tím, že je zařízení použito na tzv. žlábkové kolejnici (výška 180 mm, šířka paty kolejnice 150 mm). Této velikosti odpovídá i držák mřížkových snímačů 12, který má rozměry: délka 250 mm, výška 172 mm a šířka 185 mm. Ke každému držáku mřížkových snímačů 12 vedou dvě přívodní vlákna standardu G.652 s optickými konektory 15 typu FC/APC o délce 500 m. Optické vlákno 13 s Braggovskou mřížkou 14 je zapouzdřeno technologií 3D tisku v
15 tomto případě filamentem typu NGEN.

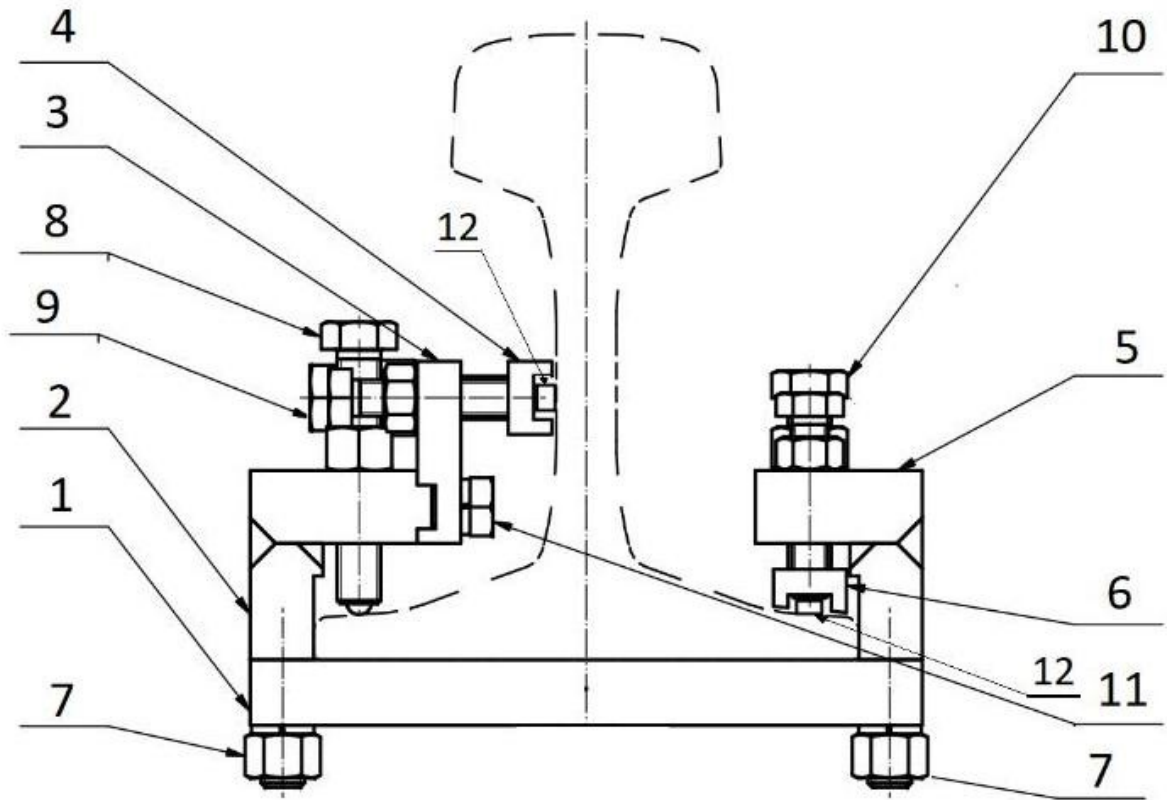
Průmyslová využitelnost

- 20 Systém pro rozpoznání a klasifikace plochých kol v kolejové dopravě lze použít pro detekování plochých kol u železniční a tramvajové dopravy pro osobní i nákladní vozy. Řešení lze také využít pro kalkulaci náprav tramvajových vozidel.

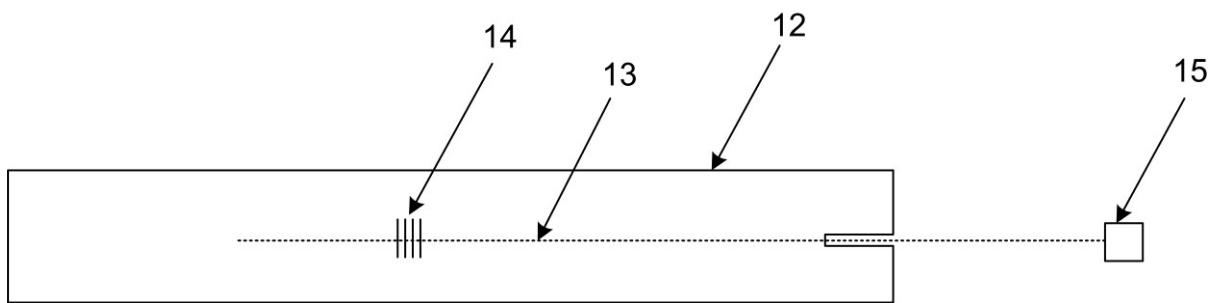
PATENTOVÉ NÁROKY

- 5 1. Systém pro rozpoznání a klasifikace plochých kol v kolejové dopravě, jehož součástí je Braggovská mřížka (14) a optické vlákno (13), **vyznačující se tím**, že je tvořen dvěma částmi, mechanickou a optoelektronickou, přičemž mechanická část sestává z rozebíratelného držáku pro neinvazivní upevnění ke kolejnici a optoelektronická představuje dva mřížkové senzory (12), které jsou uchyceny v držáku tvořeným podstavcem (1) s otvory, který je rozebíratelně propojen s boční levou částí (2) s nástavcem (3) se stojnovým držákem (4) pro první senzor (12) a boční pravou částí (5) s patovým držákem (6) pro druhý senzor (12) prostřednictvím čtyř spojovacích šroubů (7) umístěných na levé i pravé straně, přičemž propojení je realizováno z dolní strany podstavce (1).
- 10 2. Systém pro rozpoznání a klasifikace plochých kol podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že propojení boční levé části (2) a nástavce (3) je realizováno pěti malými spojovacími šrouby (11).
- 15 3. Systém pro rozpoznání a klasifikace plochých kol podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že propojení nástavce (3) a stojnového držáku (4) pro první mřížkový senzor (12) je realizováno prostřednictvím tří levých šroubů (9) pro nastavení citlivosti, přičemž fixaci stojnového držáku (4) zajišťují čtyři aretační šrouby (8).
- 20 4. Systém pro rozpoznání a klasifikace plochých kol podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že propojení boční pravé části (5) a patového držáku (6) pro druhý mřížkový senzor (12) je realizováno prostřednictvím tří pravých šroubů (10) pro nastavení citlivosti, přičemž fixaci patového držáku (6) zajišťují čtyři aretační šrouby (8).
- 25 5. Systém pro rozpoznání a klasifikace plochých kol podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že optoelektronická část je tvořena dvěma mřížkovými senzory (12), kdy v každém mřížkovém senzoru (12) je zapouzdřena Braggovská mřížka (14) napojená na optické vlákno (13), jehož nezapouzdřený konec je zakončen optickým konektorem (15) typu FC/APC pro napojení k přívodnímu vláknu.
- 30 6. Systém pro rozpoznání a klasifikace plochých kol podle nároků 1 a 5, **vyznačující se tím**, že Braggovská mřížka (14) napojená na optické vlákno (13) je zapouzdřena prostřednictvím technologie 3D tisku.
7. Systém pro rozpoznání a klasifikace plochých kol podle nároků 1 a 5, **vyznačující se tím**, že nezapouzdřený konec optického vlákna (13) prochází sekundární ochrannou trubičkou s vnitřním kevlarovým vyztužením.
- 35 8. Systém pro rozpoznání a klasifikace plochých kol podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že držák svým tvarem odpovídá kolejnicím typu širokopatní nebo žlábková.

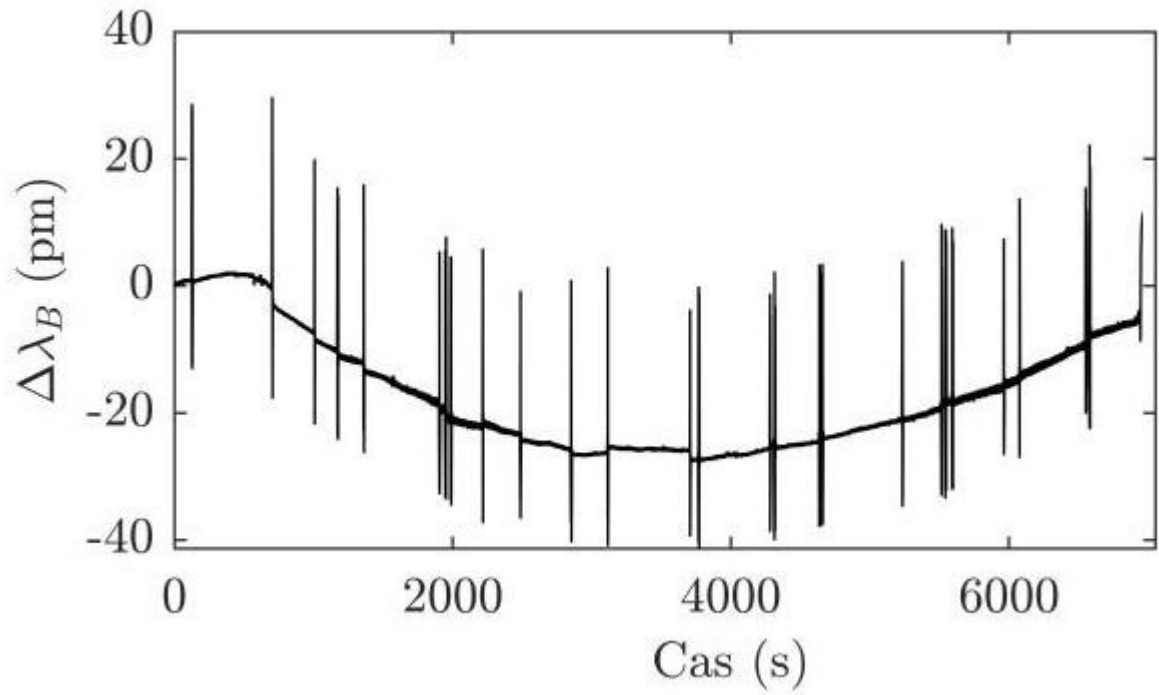
2 výkresy



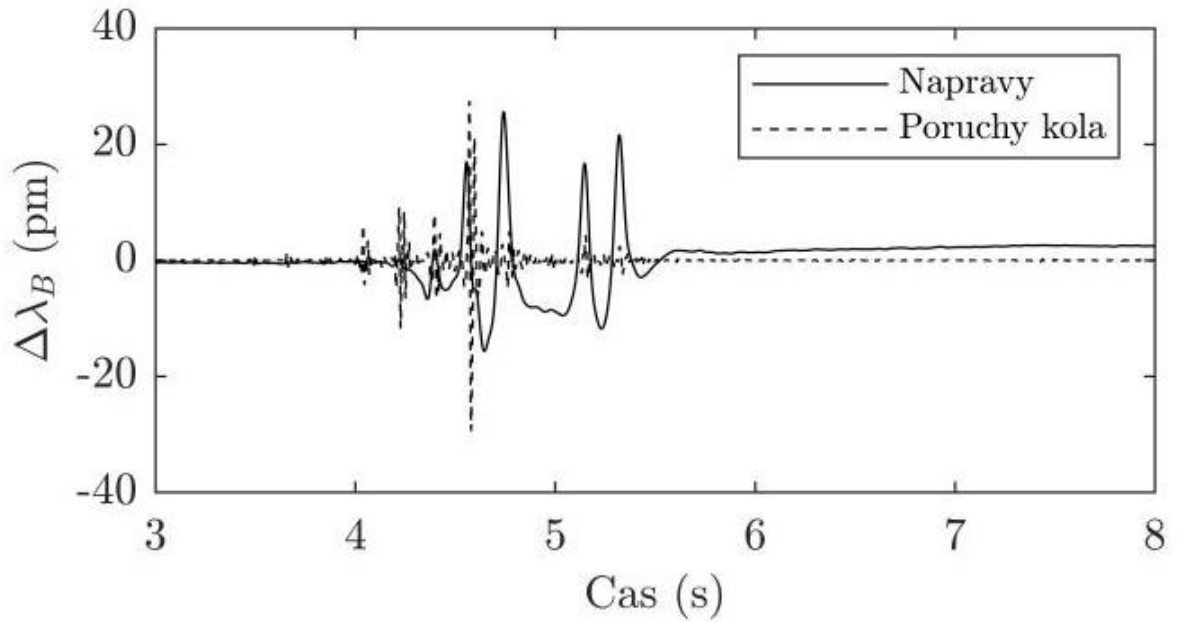
Obr. 1



Obr. 2



Obr. 3



Obr. 4