

TRANSFER TECHNOLOGIÍ V OBLASTI INTELIGENTNÝCH DOPRAVNÝCH SYSTÉMOV

V tomto príspevku sú popísané fázy vývoja, overovania funkčnosti a uvedenia do praxe prototypu optického vláknového snímača na monitorovanie dynamických parametrov železničnej premávky, ktorý vyvinuli výskumníci Žilinskej univerzity v Žiline (UNIZA). V procese overovania jeho funkčnosti a pripravenosti na uplatnenie do praxe výskumníci intenzívne spolupracovali s viacerými komerčnými partnermi a tiež s Centrom pre transfer technológií UNIZA.

Spolupráca s komerčnými partnermi bola orientovaná najmä na partnera so skúsenosťami v aplikovaní inteligentných dopravných systémov v železničnej infraštruktúre. Spoločnosť Betamont, s. r. o., pôsobí na trhu 30 rokov, vyvíja a integruje vlastné inteligentné dopravné technológie v cestnej aj železničnej doprave. Táto spoločnosť tiež dlhodobo spolupracuje s UNIZA, okrem iného, spoločne úspešne implementovali tri výskumno-vývojové projekty ukončené v rokoch 2015 a 2020. Výber partnera bol teda realizovaný so zreteľom aj na potenciálnu budúcu komercializáciu daného technického riešenia, nakoľko táto spoločnosť dlhodobo úspešne implementuje podobné riešenia u koncových zákazníkov.

IDS V ŽELEZNIČNEJ DOPRAVE

Inteligentné dopravné systémy (IDS) zohrávajú významnú úlohu v efektivite, plynulosti, rýchlosti a bezpečnosti dopravy s ohľadom na potrebu uspokojenia rastúceho dopytu po preprave nákladu, ako aj cestujúcich. V železničnej doprave nachádzajú využitie aj pri získavaní informácií o technickom stave železničnej infraštruktúry. Včasná a kvalitná diagnostika technického stavu železničnej trate predlžuje jej životnosť a v minimálnej miere zhoršuje jej kvalitatívne parametre spôsobené opotrebením materiálov použitých pri jej výstavbe alebo rekonštrukcii. Trend automatizácie a digitalizácie sa aplikuje aj do diagnostiky technického stavu železničnej infraštruktúry.

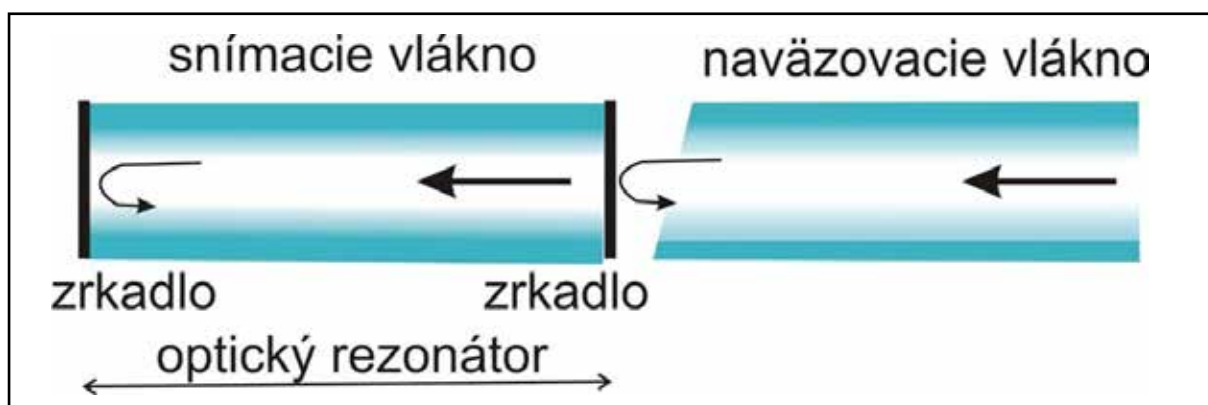
Na túto požiadavku praxe reflektovali aj výskumníci z Katedry fyziky na Fakulte elektrotechniky a informačných technológií Žilinskej univerzity a vyvinuli optický vláknový snímač na monitorovanie dynamických parametrov železničnej premávky.

VYUŽITIE SNÍMAČOV V PRAXI

V súčasnosti využívané snímače fungujú na mechanickom, elektrickom alebo optickom princípe a umožňujú určovať rôzne parametre, z ktorých sú následne získavané informácie o stave koľajovej infraštruktúry, ako aj o stave vlakových súprav využívajúcich predmetnú infraštruktúru, a to od detekcie ich pohybu až po detegovanie kazov na kolesách jednotlivých vozidiel. Aktuálne sú praxou veľmi žiadané snímače založené na optických vláknach kvôli ich vlastnostiam, ako sú malé rozmery, nízka hmotnosť, vysoká citlivosť a odolnosť voči elektromagnetickému rušeniu.



Princíp činnosti optického vláknového snímača na monitorovanie dynamických parametrov železničnej premávky vyvinutý výskumníkmi UNIZA je založený na Fabry-Perotovom interferometri. Ako optický rezonátor slúži jednomódové optické vlákno, pričom samotné čelá vlákna predstavujú čiastočne odrazné plochy, tzv. zrkadlá. Monochromatické svetlo vstupujúce do jednomódového optického vlákna z naväzovacieho vlákna sa čiastočne odráža od vstupného a koncového čela vlákna a vstupuje späť do naväzovacieho vlákna, kde spolu interferujú. Veľkosť interferenčného signálu závisí od dĺžky optického vlákna tvoriaceho optický rezonátor. Ak sa zmení dĺžka vlákna, napr. ohybom, prejaví sa to zmenou úrovne interferenčného signálu.



Obr. 1: Schematické zobrazenie optického vláknového snímača založeného na Fabry-Perotovom interferometri.

V jednoduchosti to znamená, že koľajové vozidlo pohybujúce sa po koľaji spôsobuje priehyb koľaje a nakoľko snímač je pevne spojený s koľajnicou, dochádza k zmene rozdielu optických dráh Fabry-Perotovo interferometra, na ktorom je založený optický snímač.

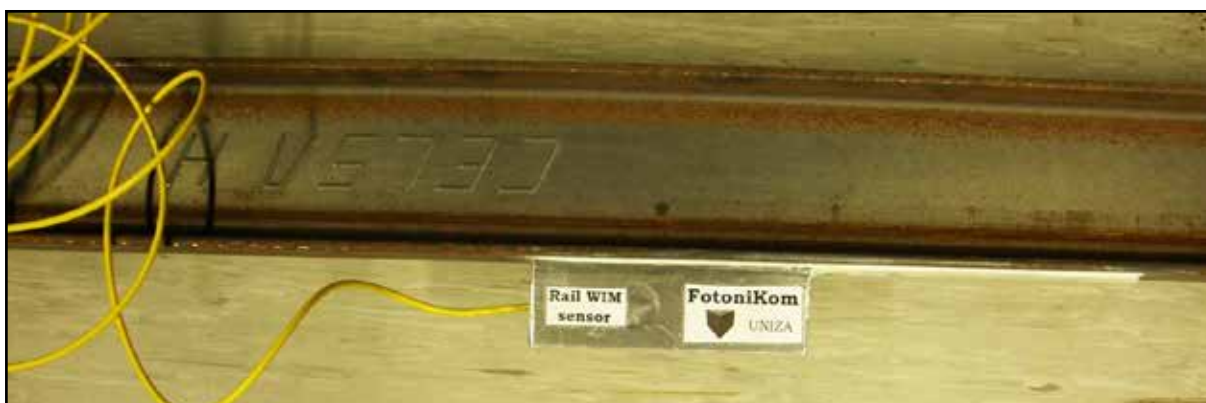
Výhody takéhoto riešenia oproti existujúcim snímačom a riešeniam sú najmä nižšie náklady na vyhodnotenie jednotku a možnosť snímání viacerých parametrov prevádzky súčasne.

DÔLEŽITÝ ÚŽITKOVÝ VZOR

Predmetné technické riešenie snímača je chránené platným úžitkovým vzorom č. 8425 (PUV 134-2018) s názvom „Zariadenie na meranie dynamickej sily pomocou optického vlákna“ zo dňa 22. 8. 2018. V rámci procesu zabezpečenia ochrany tohto technického riešenia výskumníci spolupracovali s Centrom pre transfer technológií UNIZA (CTT UNIZA). Spolu s CTT UNIZA boli konzultované aj jednotlivé fázy overovania funkčnosti snímača od vývoja prototypu až po overenie pripravenosti predmetnej technológie do stupňa TRL 8. Rovnako boli s CTT UNIZA konzultované aj obsahy pripravovaných výskumných projektov a projektov spolupráce s praxou viazané na toto technické riešenie, aby bolo zabezpečené nakladanie s týmto duševným vlastníctvom v súlade so všetkými internými predpismi UNIZA.

VÝVOJ A OVERENIE PROTOTYPU

V laboratóriu pripravený prototyp optického snímača bolo potrebné otestovať, či pri samotnom výrobnom procese nedošlo k poškodeniu optického vlákna. Testovanie prebiehalo v areáli UNIZA tak, že snímač bol umiestnený do asfaltu a výskumníci UNIZA po ňom prechádzali alebo jazdili na bicykli alebo autom. V ďalšej fáze testovania bol snímač prilepený zospodu na tyč profilového prierezu I, ktorou bola nahradená železničná koľaj. Následne bolo na tyč aplikované teleso s hmotnosťou približne 100 kg a bola zisťovaná odozva snímača na toto teleso.



Obr. 2: Optický vláknový snímač umiestnený na tyči profilového prierezu I.

Po prvotnom overení funkčnosti prototypu v laboratórnych podmienkach, nadviazali výskumníci UNIZA spoluprácu s Výchrevňou Vrútky, ktorá im umožnila nainštalovať snímač na trať v areáli opravovní. Následne pri posuvovaní vlakovej súpravy pri nízkych rýchlostiach bolo overené, že navrhnuté riešenie umožňuje určovať počet kolies, zo známej vzdialenosti kolies určiť rýchlosť vlakovej súpravy a porovnávať zaťaženia pripadajúce na jednotlivé kolesá.

SPOLUPRÁCA S KOMERČNÝM PARTNEROM

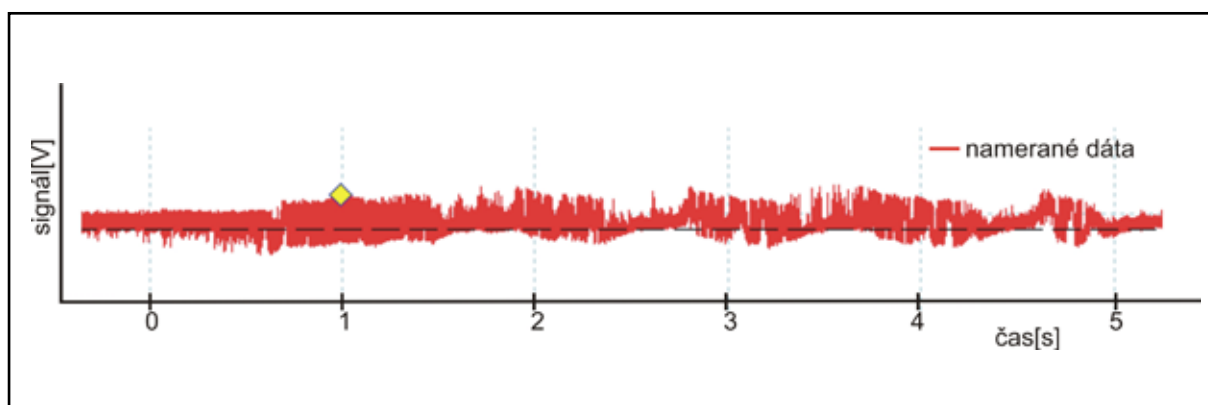
Ako kľúčová pri určovaní vlastností navrhnutého optického snímača sa ukázala spolupráca so spoločnosťou Betamont, s. r. o., ktorá disponuje testovacím železničným úsekom vybaveným vysokorýchlostnou kamerou a ďalšími snímačmi založenými na piezoelektrickom jave, umiestnenými na koľaji. V danom úseku vlaky dosahujú rýchlosť až 100 km/h. Taktiež skladba vlakových súprav je rozmanitá od lokálnych súprav cez medzinárodné až po nákladné vlaky, ktoré môžu pozostávať aj z tridsiatich vagónov.

Vyvinutý optický snímač bol prilepený polymérnym lepidlom zospodu koľaje do stredu medzi dva podvaly v tesnej blízkosti snímačov obsluhovaných spoločnosťou Betamont, s. r. o. Naväzovacím vláknom bol interferenčný signál privedený do opticko-elektrického prevodníka a zobrazený pomocou osciloskopu.



Obr. 3, 4: Výskumník „stráca“ hlavu pri umiestňovaní prototypu zo spodnej časti koľajnice za účelom overenia funkčnosti v reálnych podmienkach.

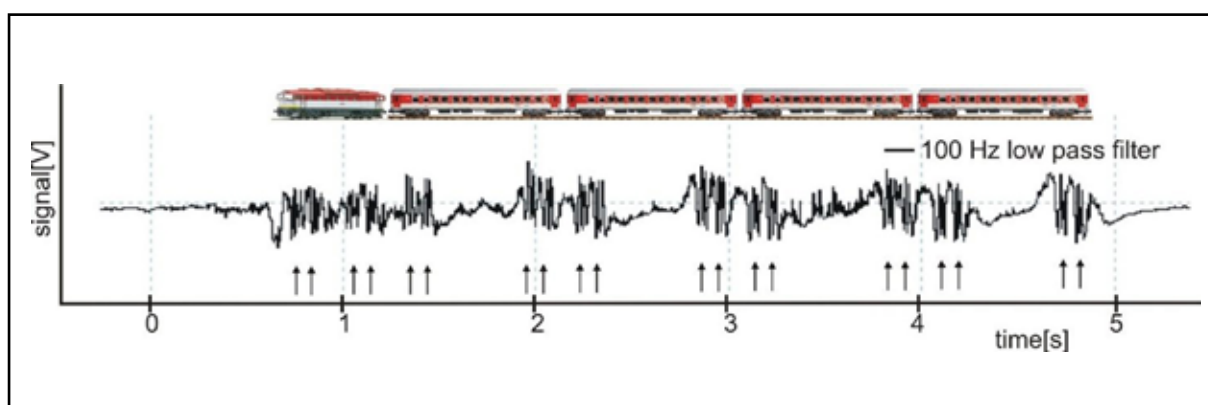
V rámci meracej etapy, keď bolo zaznamenaných niekoľko desiatok prejazdov vlakových súprav, bolo zistené, že na niektorých častiach časových záznamov sa prejavujú poruchy, čo znemožňovalo získať správnu informáciu o prejazde. Po preštudovaní fotografických záznamov, ktoré boli vyhotovené počas jednotlivých prejazdov vysokorýchlostnou kamerou, sa zistilo, že ten istý vagón (resp. koleso) po opätovnom prejazde daným miestom vykazuje obdobné znaky. Z toho bolo možné následne vyvodit' záver, že poruchy záznamu nie sú spôsobené vlastnosťami snímača, ale práve vlastnosťami vagónov.



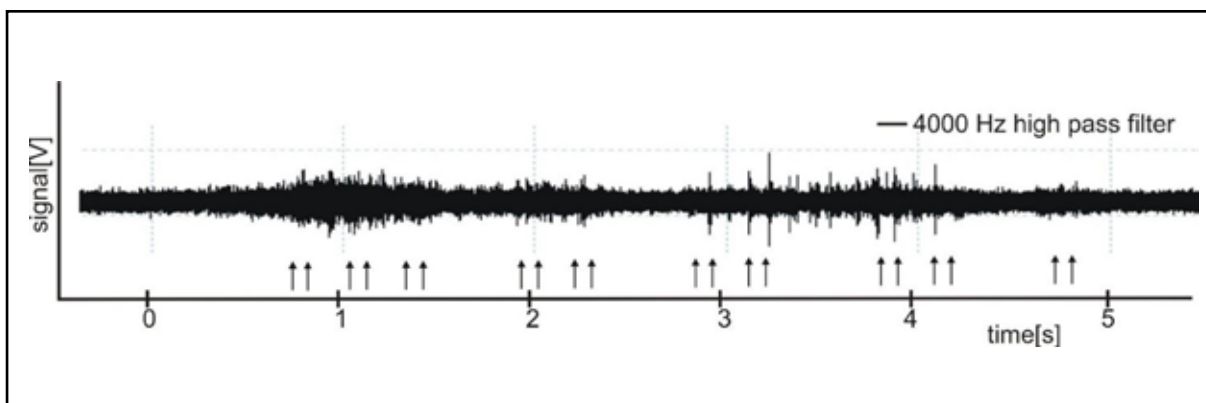
Obr. 5: Časový priebeh vlakovej súpravy pozostávajúcej z lokomotívy a štyroch vozňov pohybujúcich sa rýchlosťou 98,09 km/h nameraný pomocou optického vláknového snímača.

Taktiež bola overená funkčnosť snímača počas rôznych poveternostných podmienok, od teploty -15°C až po 40°C .

Výskumníci boli následne postavení pred ďalšiu výskumnú úlohu, a to nájsť spôsob, ako získať informáciu o stave vozidla v prípade záznamu obsahujúceho poruchu. Zo záznamov prejazdov sa vyseletovali priebehy, ktoré sa vyznačovali špecifickou poruchou, ktorá sa prejavovala časovým impulzom s veľkou amplitúdou, ktorý sa opakoval s časom odpovedajúcim obvodu kolesa vzťahnutému ku rýchlosti prejazdu. Na základe identifikačného čísla vozňa sa zistilo, že daný vozeň pri opakovanom prejazde vykazoval rovnaké poruchy. Následne pri fyzickej kontrole daného vozňa bolo zistené, že daná porucha bola spôsobená výlupkami na kolese.



Obr. 6: Časový priebeh vlakovej súpravy použitím dolnopriepustného filtra s hraničnou frekvenciou 100 Hz. Šípkami sú označené polohy kolies.



Obr. 7: Časový priebeh vlakovej súpravy použitím hornopriepustného filtra s hraničnou frekvenciou 4000 Hz. Šípkami sú označené polohy kolies.



Obr. 8: Fotografie defektov (výlupkov) kolies koľajových vozidiel spôsobujúce impulzy s veľkými amplitúdami v časovom priebehu prejazdu vlaku.

ĎALŠIE MOŽNÉ VYUŽITIE SNÍMAČA

Počas vývoja snímača a súvisiaceho výskumu, ako aj vo väzbe na jednotlivé fázy overovania úrovne pripravenosti technológie, výskumníci identifikovali ďalší potenciál využitia predmetného snímača v praxi, a to pri určovaní rýchlosti prejazdu vlaku, počtu náprav (kolies), prítomnosti vlaku v určitom úseku (napr. pred križovatkou s cestou). Taktiež môže predmetný snímač slúžiť na predselekciiu prekročenia povolenej hmotnosti vagóna, nerovnomerného zaťaženia jednotlivých kolies v rámci vagóna a taktiež na zisťovanie niektorých kazov na kolesách. Tieto možnosti využitia sú aktuálne ďalej testované v spolupráci s uvedeným partnerom z praxe spoločnosťou Betamont, s. r. o. Na základe laboratórneho zistenia ďalších možností využitia predmetného snímača v praxi, výskumníci identifikujú, aké parametre a vlastnosti snímača je potrebné overiť v reálnych podmienkach, ako napríklad izoláciu, iný spôsob uchytenia (nie prilepenie ale uchytenie pomocou magnetu), vplyv poveternostných podmienok a pod.

Spoločnosť Betamont, s. r. o., následne umožní výskumníkom prístup k danému úseku trate a zabezpečí, aby boli pri výskume dodržané všetky potrebné bezpečnostné opatrenia, ak je potrebné urobiť nejaký zásah v koľ-

jisku. Následne poskytne výskumníkom dáta z ich vlastných systémov, aby mali k dispozícii komplexnejšie informácie o prejazde vlakových súprav a vedeli ich zakomponovať do svojich meraní a overovaní parametrov snímača. Výskumníci o svojich zisteniach následne informujú spoločnosť a takto postupne spoločnými silami vylepšujú konečný produkt.

OVEROVANIE ZISŤOVANIA HMOTNOSTI

Uvedeným spôsobom sa aktuálne rieši aj overovanie využitia snímača na zisťovanie hmotnosti, ktorá pripadá na jednotlivé kolesá vagóna. Výskumníci počas testovania zistili, že vedia túto hmotnosť merať pri prejazde vagóna nízkou rýchlosťou s presnosťou aktuálne na 70 kg. Toto meranie je zaujímavé pre podniky, ktoré disponujú vlastnou železničnou traťou a dovážajú do areálu svojho podniku suroviny alebo tovary. Vagóny sa v areáloch firiem pohybujú nízkou rýchlosťou, čo znamená, že je možné ich počas prejazdu odvážiť a identifikovať tak ich naloženie, čo je dôležitou informáciou pre logistiku a manažment skladového hospodárstva podniku.

Na základe všetkých vykonaných skúšok, meraní, testov v laboratórnych aj reálnych podmienkach má optický vláknový snímač dynamickej sily preukázaný potenciál pri diagnostikovaní porúch železničnej infraštruktúry a predchádzaní vzniku poškodení a kazov. Ako vyplýva z dlhoročných znalostí a skúseností z praxe, správna a pravidelná údržba železničnej infraštruktúry má viacero benefitov, ktoré následne ovplyvňujú kvalitatívne parametre železničnej dopravnej prevádzky, ako rýchlosť, bezpečnosť, pohodlie cestujúcich, nákladovosť prevádzkovania železničnej dopravy a pod. Zároveň bolo zistené, že tento snímač má široký potenciál využitia aj na určovanie iných relevantných parametrov železničnej prepravy rovnako s vplyvom na rýchlosť, bezpečnosť a najmä nižšiu nákladovosť prevádzkovania železničnej dopravy.

Výskumníci UNIZA spolu s CTT UNIZA sa momentálne snažia o intenzívnejšie prezentovanie zistených výsledkov a propagáciu optického vláknového snímača dynamickej sily s cieľom podporiť jeho uplatnenie v praxi. UNIZA predpokladá zapojenie spoločnosti Betamont, s. r. o., do komercializácie predmetného riešenia, a to formou licencovania technického riešenia a súvisiaceho know-how alebo formou prevodu práv, nakoľko spoločnosť má dlhodobé skúsenosti a prax s implementovaním podobných riešení u koncových zákazníkov.

Použitá literatúra:

PUV 134-2018 Zariadenie na meranie dynamickej sily pomocou optického vlákna - <https://wbr.indprop.gov.sk/WebRegistry/UzitkovyVzor/Detail/134-2018?cst=9079308797901227629>

<https://innonews.blog/2017/09/22/trl-urovne-pripravenosti-technologie-ako-sa-definuju/>

<https://www.svetdopravy.sk/moznosti-automatickej-diagnostiky-kolajoveho-rostu/>

MARTINCEK, I., KACIK, D., HORAK, J. Interferometric optical fiber sensor for monitoring of dynamic railway traffic. *Optics and Laser Technology*. 140, 107069, 2021.

KACIK, D., MARTINCEK, I., MACIAK, J., GORAUS, M., Fabry-Pérot Interferometer Monitoring System for Counting Train Axle. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*. 71, 7005409, 2022.

Autori:

Andrea Čorejová, Daniel Káčik, Ivan Martinček



Ilustračné foto iStock