



# **Výhybka 4.0**

## **CK01000091**

**Funkční vzorek**  
**Chytrá piezokompozitní sensorická vrstva výhybky**  
**CK01000091-V4**

**Autoři:**

Zdeněk Hadaš

Filip Kšica

Zdeněk Majer

Ivan Vukušič

Karel Bubník

V Brně dne 23.12. 2022

# Úvod

Na základě řešení projektu TAČR v rámci výzvy Doprava 2020 číslo CK01000091 s názvem Výhybka 4.0 byl vyvinut funkční vzorek číslo CK01000091 – V4 " Chytrá piezokompozitní senzorická vrstva výhybky".

## 1. Návrh funkčního vzorku

Návrh funkčního vzorku byl založen na dlouholetých zkušenostech pracovníků VUT v Brně s implementací piezoelektrických materiálů do konstrukčních prvků. Na základě deformačně-napěťové analýzy konečnoprvkových modelů konstrukcí výhybek byly vytipovány vhodná místa pro sledování stavu a zatížení výhybky. Na tyto místa byly implementovány vázané matematické modely elektro-mechanického chování piezoelektrických materiálů a byla predikována odezva celého systému na projíždějící vlak. Na základě experimentů jak v laboratoři, tak ve výrobní hale v DT či na trati byl vybrán jako vhodný piezoelektrický materiál založený na kompozitních PZT vláknech, který jako obchodní označení MFC (macro-fibre composit) dodává firma SMART MATERIALS. Tato MFC vrstva byla integrována v průběhu projektu na zvolené výhybky a na základě experimentálních dat byla vyvinuta elektronika s optimalizovanou odporovou zátěží a operačním zesilovačem, kterou lze zapojit do vyvíjeného DAQ systému a zařízení DISC-S. Následnou implementací elektromechanických modelů lze využít jak fyzikální interpretaci signálu jako přetvoření v místě umístění vrstvy, tak lze využít i dynamiku signálu k analýze ve frekvenční oblasti. Obě tyto informace jsou užitečné pro monitorování a diagnostiku stavu výhybky.

## 2. Výsledná konstrukce funkčního vzorku

Z konstrukčního hlediska je konstrukce funkčního vzorku založená na několika mechanicky, elektro-mechanicky a elektricky funkčních vrstvách, včetně stínění a s celkovým zapouzdřením, které pro potřeby funkčního vzorku bylo vyrobeno 3D tiskem. Celkově všechny vrstvy a součásti jsou viditelné na obr. 1.

Pro potřeby flexibilní instalace byly zvolena konstrukce založená na instalaci s ocelovou flexibilní planžetou. Přes tuto část se senzorická vrstva instaluje na výhybku vybranými epoxidovými lepidly, které umožní bezproblémový přenos mechanických vibrací výhybky na senzorický systém.

Senzorický systém je také lepen na planžetu a jeho aktivní piezoelektrická vrstva je založena na MFC (macro-fibre composite). Tato vrstva poskytuje aktivní elektrický signál, který díky přímému piezoelektrickému ději převádí dynamiku mechanického přetvoření výhybky na elektrický signál. Tento signál je úměrný mechanickému i elektrickému zatížení. Díky matematickým modelům této elektro-mechanické části byly optimalizovány parametry jak geometrické, tak i parametry elektrické. Elektrické zapojení založené na generování elektrického signálu s odporovou zátěží a operačním zesilovačem je umístěno na další vrstvě desky plošných spojů, ke které je připájena kabeláž. Celkově je celá elektronická část díky své mechanické konstrukci velmi citlivá na šum, proto je zde integrována i vrstva pro elektromagnetické stínění. Kompletně je celá konstrukce integrována do obalu a zalita

epoxidem.



Obr. 1 Konstrukce senzoru založeného na piezokompozitní vrstvě; jeho mechanická, MFC piezoelektrická vrstva, elektronika s operačním zesilovačem, ochranný kryt, kabeláž. Zobrazení sestavení včetně legendy v řezu.

### 3. Implementace funkčního vzorku

Takto sestavená konstrukce funkčního vzorku byla instalována a testována na trati a v projektu zvolené výhybce, obr. 2. Instalace pomocí profesionálních dvousložkových lepidel je velmi rychlá a spolehlivá. Do půlhodiny od začátku instalace je možné měřit. Instalace je možná i bez výluky na trati. Původní myšlenka projektu byla integrace několika sensorických míst na jednu měřicí vrstvu, která by se instalovala na výhybku. Tento záměr byl díky požadavkům na zabezpečovací systémy přehodnocen a výsledný sensorický systém se skládá např. ze 3 sensorických vrstev, viz obr. 2.

Zapojení funkčního vzorku je možné s komerčními DAQ jednotkami, ale pro potřeby projektu Výhybka 4.0 je uzpůsobeno vyvíjenému zařízení pro monitorování výhybek DISC-S



Obr. 2 Detail instalace jednoho funkčního vzorku snímací vrstvy a příklad instalace sady 3 sensorických vrstev jednotlivých funkčních vzorků.

## 4. Závěr

Na základě dosažených výsledků lze konstatovat, že ověření vlastností funkčního vzorku „Chytrá piezokompozitní sensorická vrstva výhybky“ bylo úspěšné a výsledkem je unikátní sensorický systém svým charakterem snímaného signálu, který jde vyhodnocovat z hlediska přetvoření i z hlediska frekvenční analýzy. Výsledný funkční vzorek s požadovanými užitnými vlastnostmi poskytuje užitečnou komponentu v oblasti monitorování a diagnostiky výhybek.