



# **Cenově dostupný chytrý snímací systém pro železnice 4.0**

**TM01000016**

## **Funkční vzorek IoT železniční snímač**

**TM01000016-V1**

Autoři:

Zdeněk Hadaš

Filip Kšica

Ondřej Rubeš

Jiří Kovář

Michal Růžička

Antonín Michl

Wei-Min Liu

Tomáš Telecký

Pavel Stachiv

# Úvod

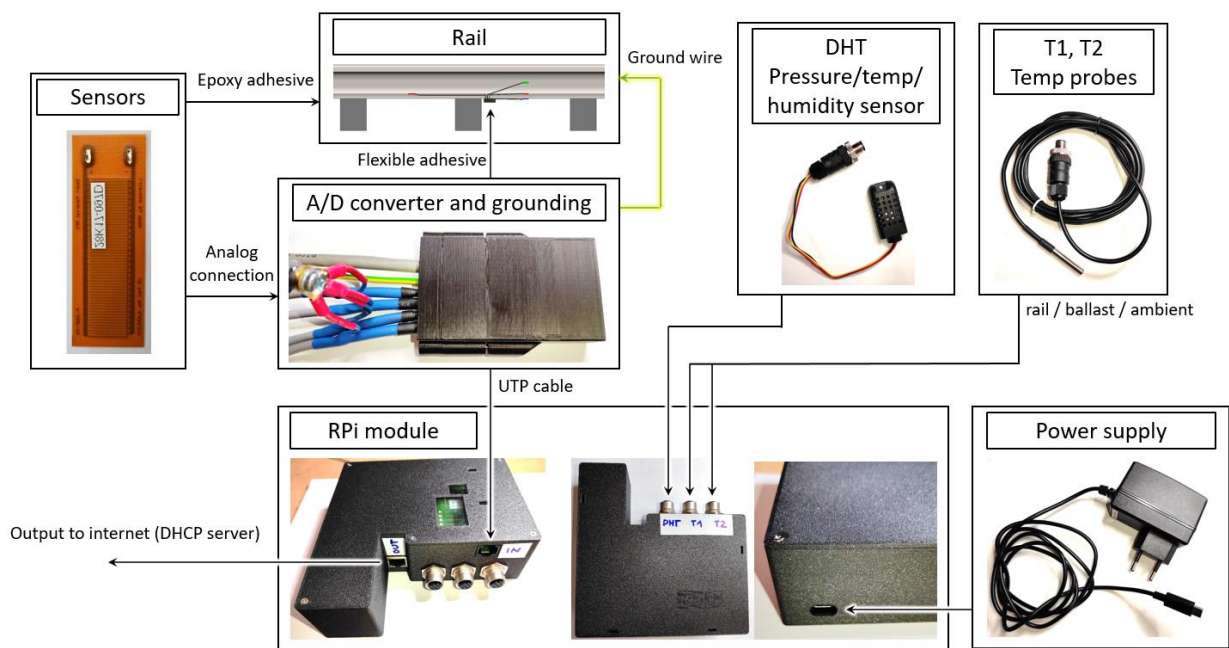
Na základě řešení projektu TAČR v rámci výzvy DELTA 2 číslo TM01000016 s názvem Cenově dostupný chytrý snímací systém pro železnice 4.0 byl vyvinut funkční vzorek číslo TM01000016-V1 „IoT železniční snímač“.

## 1. Návrh funkčního vzorku

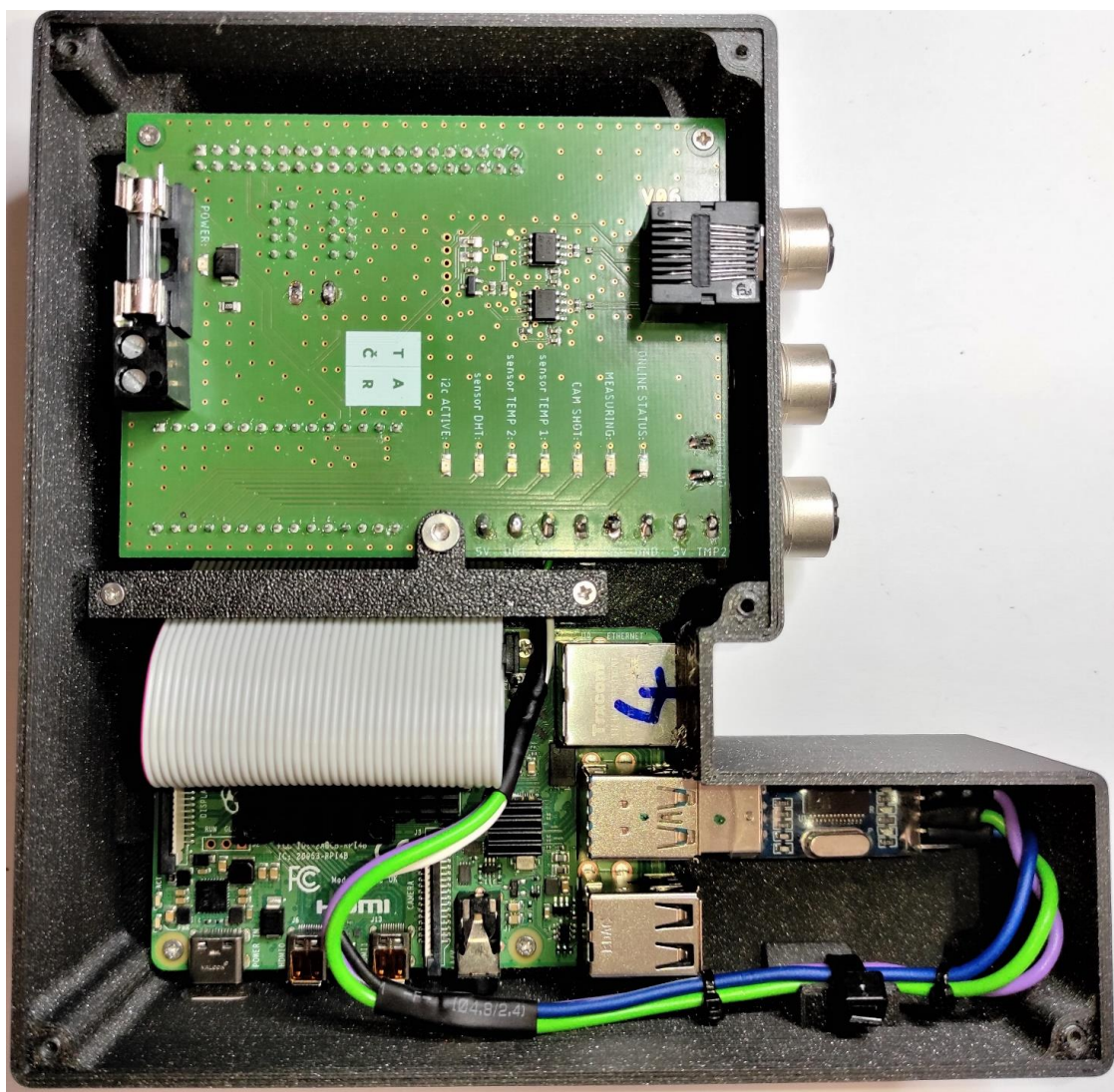
Návrh funkčního vzorku byl založen na dlouholetých zkušenostech pracovníků na VUT v Brně v oblasti monitorování železnic pomocí chytrých snímacích prvků. Návrh funkčního vzorku se sestává z několika dílčích částí: výběr vhodného snímacího prvku, návrh a výroba elektroniky pro digitalizaci signálu, návrh a výroba elektroniky pro automatický sběr dat a odesílání na vzdálený cloud a realizace vlastního cloudu a serverového řešení pro správu, vizualizaci a analýzu naměřených dat. Na základě řady předchozích experimentů byl jako vhodný senzor zvolen piezoelektrický materiál založený na kompozitních PZT vláknech, který nese obchodní označení MFC (macro-fibre composite) a je komerčně dostupný u firmy SMART MATERIALS. Princip těchto senzorů je založen na převodu mechanického přetvoření na elektrické napětí, což umožňuje provoz těchto senzorů bez nutnosti vnějšího napájení. Tyto senzory byly vhodným způsobem zapouzdřeny a odstíněny od silného elektromagnetického pole vznikajícího v okolí železniční trati při průjezdu vlaku, které by mohlo ovlivnit jejich správnou funkci. Pro tento senzor byla navržena a vyrobena elektronika pro filtraci a digitalizaci analogového napětového signálu, která využívá operačního zesilovače zapojeného jako sledovače, dále pak obsahuje odporovou zátěž, jejíž hodnota je navržena s ohledem na rozsah použitého 16 bitového A/D převodníku. Digitální signál z až čtyř senzorů je kontinuálně předáván měřicí jednotce využívající platformy Raspberry PI, ke které mohou být připojeny další periferie, jako senzory teploty, tlaku, vlhkosti, případně pak USB kamery. Digitální signály jsou zabaleny do paketů a skrze Ethernetovou linku a připojení k internetu jsou odesílány na vzdálené cloudové úložiště, ze kterého jsou následně vyčítány skrze aplikační služby na lokální server, kde probíhá jejich kategorizace, zpracování a vizualizace pro potřeby sledování provozních vlastností a prediktivní údržby. Celý systém pracuje zcela autonomně bez potřeby jakéhokoli zásahu obsluhy, k aktivaci měření dochází automaticky při průjezdu vlaku a zaznamenaná data jsou přímo odesílána na cloudové úložiště.

## 2. Výsledná konstrukce funkčního vzorku

Konstrukce hardwarové části IoT snímače se skládá ze tří hlavních částí: MFC senzorů a dalších periférií (senzory teploty, tlaku, vlhkosti, případně USB kamery), elektroniky k digitalizaci a filtraci signálů, a měřicí jednotky. Všechny dílčí části a jejich propojení jsou znázorněny na Obr. 1. Piezokompozitní senzory SMART MATERIALS jsou pomocí vybraných epoxidových adheziv připevněny přímo na povrch kolejnice, a do jejich bezprostřední blízkosti je umístěna i A/D jednotka. Měřicí jednotka je umístěna mimo kolejiště a je integrována v pouzdře vyrobeném technologií 3D tisku (viz Obr. 2) umožňující jednoduché připojení všech periférií a internetového spojení. Systém byl navržen a konstruován s ohledem na robustnost a modularitu, umožňující připojení různého množství senzorů a periférií dle potřeby.



Obr. 1: Schéma IoT železničního snímače a propojení jednotlivých částí



Obr. 2: Detail zapouzdřené měřicí jednotky

### 3. Implementace funkčního vzorku

Takto sestavená konstrukce funkčního vzorku byla instalována a testována přímo na trati, přičemž vývojové verze byly instalovány na železnici v soukromém průmyslovém areálu v České republice (viz Obr. 3), a finální verze sestávající se z komponent znázorněných na Obr. 1 na lokální železniční trati na Taiwanu (viz Obr. 4). Systém instalovaný v ČR je k prosinci 2022 v provozu bez přerušení 16 měsíců s více jak 7000 individuálními záznamy průjezdů vlaků, a systém instalovaný na Taiwanu je bez přerušení v provozu 4 měsíce s více jak 1000 individuálními záznamy průjezdů vlaků.

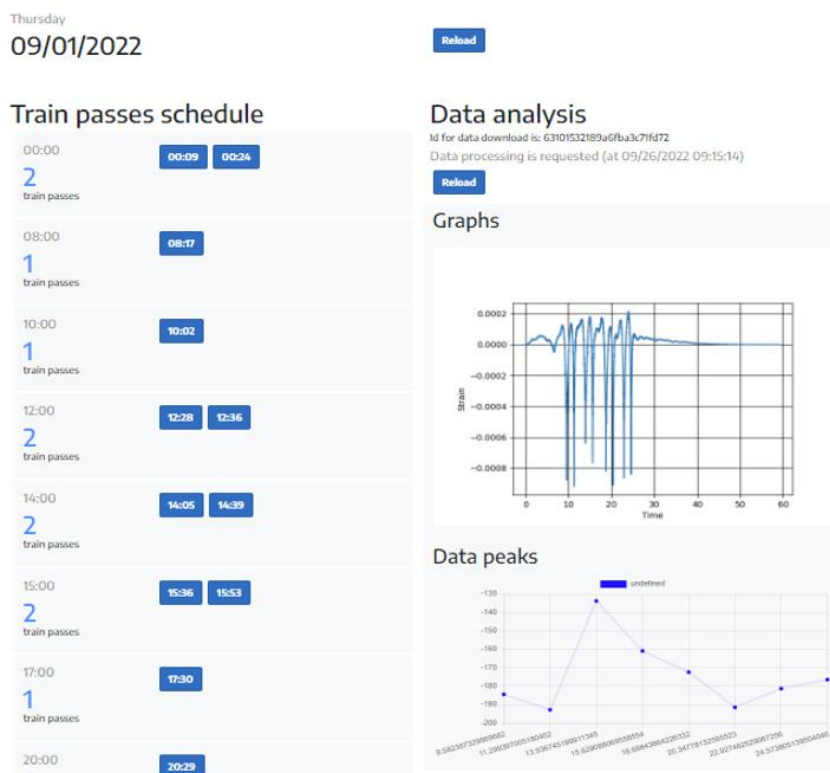


Obr. 3: Testování dílčích částí IoT senzorského zařízení na železniční trati v ČR



Obr. 4: Instalace finální verze IoT snímačích zařízení na železniční trati na Taiwanu, vpravo dole detail na umístění 4 snímačů vibrací

Cloudová a serverová část IoT systému obsahuje řadu aplikací, pomocí kterých je zajištěno automatizované vyčítání dat bezprostředně po průjezdu vlaku, a pomocí kterých mohou uživatelé ihned provádět analýzu a vizualizaci pro potřeby sledování provozních vlastností, detekci poruch nebo prediktivní údržby. Uživatelské rozhraní je znázorněno na Obr. 5, ve kterém je možno shlédnout statistiky průjezdů, nahlížet na data z jednotlivých kanálů, provádět jejich přepočítání na mechanické zatížení kolejnice, případně si pro potřeby hlubších analýz data přímo stáhnout na lokální zařízení.



Obr. 5: Grafické rozhraní serverové aplikace, náhled na konkrétní den pro vybraný senzorický systém

## 4. Závěr

Na základě dosažených výsledků lze konstatovat, že ověření vlastností funkčního vzorku „IoT železniční snímač“ bylo úspěšné a výsledkem je komplexní senzorický systém, který umožňuje automatizovaný záznam vibrací na železnici, real-time odesílání dat na cloud přes internet a pomocí serverových aplikací provádět zpracování, analýzu a vyhodnocení naměřených dat pro potřeby sledování provozních vlastností, detekci poruch a prediktivní údržby. Výsledný funkční vzorek s požadovanými vlastnostmi představuje velmi univerzální, levné a spolehlivé řešení snímacího systému vibrací umístěného v kolejišti.