



**UNIVERZITA PARDUBICE**

Dopravní fakulta Jana Pernera

Katedra dopravních prostředků a diagnostiky  
Oddělení kolejových vozidel

# ZAŘÍZENÍ PRO MONITORING DYNAMICKÉ ODEZVY JEDOUČÍCH KOLEJOVÝCH VOZIDEL

Popis výsledku typu POLOPROVOZ ( $Z_{polop}$ )

Číslo zprávy: **CK02000218-V1**

Projekt: **Wayside diagnostika pojezdu kolejových vozidel**  
CK 02000218  
Technologická agentura České republiky

Řešitel za UPCE: **Ing. Jakub Vágner, Ph.D.**

Odpovědná osoba za STARMON: **Ing. Ondřej Kovář**

Zpracovali: Kovář O., Vágner J. a kol.

Za období řešení: leden 2021 až červen 2024  
Datum vydání: 25. 6. 2024  
Počet stran textu: 28  
Počet stran příloh: 0



Program **Doprava 2020+**

# Obsah

<b>Identifikace výsledku.....</b>	<b>3</b>
<b>Seznam symbolů a zkratk .....</b>	<b>4</b>
<b>1 Popis výsledku .....</b>	<b>5</b>
1.1 Popis funkce .....	5
1.2 Přístup k výsledku.....	6
<b>2 Technická dokumentace výsledku .....</b>	<b>7</b>
2.1 Technický popis výsledku .....	7
2.2 Parametry výsledku.....	10
2.3 Související legislativa .....	10
<b>3 Popis průběhu ověřování výsledku v provozu.....</b>	<b>14</b>
3.1 Průběh testů.....	15
3.2 Testování v podmínkách DPP metro .....	16
3.3 Testování v podmínkách Správy železnic .....	16
<b>4 Shrnutí výsledků poloprovozu .....</b>	<b>20</b>
4.1 Porovnání v časové oblasti.....	20
4.2 Synchronizace mezi kanály.....	20
4.3 Porovnání ve frekvenční oblasti .....	22
4.4 Porovnání snímačů MEMS vs PIEZO.....	23
4.5 Spolehlivost a odolnost .....	23
4.6 Porovnání se zařízením ASDEK.....	24
<b>5 Rekapitulace výsledků poloprovozu .....</b>	<b>27</b>
<b>6 Související dokumenty .....</b>	<b>29</b>

## Identifikace výsledku

Řešeno v projektu	TAČR CK 02000218
Název	<b>Wayside diagnostika pojezdu kolejových vozidel</b>
Veřejná soutěž	2.VS DOPRAVA 2020+ (STA02021CK020)
Období řešení	01. 01. 2021 – 31. 6. 2024
Hlavní příjemce	Univerzita Pardubice
Další příjemce	STARMON s.r.o.
Číslo výsledku	<b>CK02000218-V1</b>
Typ výsledku	<b>Z<sub>polop</sub> - poloprovoz</b>
Datum dosažení výsledku	<b>05/2024</b>
Původci výsledku	<b>80% - STARMON s.r.o.</b> <b>20% - Univerzita Pardubice</b>
Lokality poloprovozu	<b>1) Dopravní podnik hl. m. Prahy a.s.,</b> Metro trasa A – km 15,102 <b>2) Správa železnic s.o.,</b> traťový úsek Pardubice hl.n. – Přelouč v km 313,224, 1. traťová kolej (lokalita Opočíněk)

## Seznam symbolů a zkratek

### Zkratky

AC/DC	Stejnoseměrný napájecí zdroj napájený střídavým napětím
ACC	Zkratka pro anglické slovo acceleration – zrychlení – jako popis kanálu
ASDEK	Zařízení pro detekci závad jedoucích vozidel
CKDV	Centrum kompetence drážních vozidel (TAČR TE01020038)
DAQ	Digital Acquisition – digitální záznam dat
DiPo	system „Diagnostika Pojezdu“ pro obecné použití
DiMet	system „Diagnostika Metra“ – modifikace systému DiPo pro metro
DP	Dopravní podnik
DPP	Dopravní podnik hl.m. Prahy, a.s.
FW	Firmware
HW	Hardware
ID	Identifikace měření (číslo měření)
IPC	Industrial PC – průmyslový počítač
JSON	JavaScript Object Notation – typ souboru
LTE	mobilní síť 4.generace
MEMS	Typ snímače zrychlení
MSGS	Název programového modulu pro vzdálený dohled a ovládání
PIEZO	Označení pro typ snímače na principu piezo efektu
RDP	Remote Desktop - služba pro vzdálené ovládání počítače
SDAQ	Elektronika vyvíjeného měřicího zařízení
SW SENDER	Název programového modulu pro odesílání měřených dat
STARMON	STARMON s.r.o.
SW	Software
SŽ	Správa železnic, s.o.
ŠFS	ŠKODA TRANSPORTATION a.s. Full Servis Praha
TAČR	Technologická agentura České republiky
UPCE	Univerzita Pardubice
VPN	Virtuální privátní síť

# 1 Popis výsledku

## 1.1 Popis funkce

Výsledkem projektu je měřící zařízení DiPo v průmyslovém provedení, splňující provozní i legislativní požadavky pro umístění v koleji (zejména elektrická a mechanická odolnost pro železniční provoz). Měřenou veličinou je zrychlení (vibrace) měřené na železničním svršku. Měřící systém je vybaven ovládacím a komunikačním software, který zpracuje naměřená data snímačů, rychlost, zrychlení a polohu jednotlivých dvojkolí. Do nadřazeného systému se odesílají holá data nebo pravděpodobnost přítomnosti přednastavených příznaků. Pro tento účel je problematické použití běžné měřicí techniky, proto byl HW realizován nově pro tento účel.



Obr. 1 Zařízení pro měření dynamické odezvy DiPo

## 1.2 Přístup k výsledku

Podle zapojení na tvorbě výsledku je podíl na výsledku 80 % STARMON a 20 % UPCE dle následujícího rozdělení:

CK02000218-V1	podíl části na celku	podíl na části		podíl na celku	
		UPCE	STARMON	UPCE	STARMON
HW - DAQ jednotka	40%	6%	94%	2.40%	37.60%
HW - Sensory	10%	6%	94%	0.60%	9.40%
HW - napájení a přenos dat	20%	0%	100%	0.00%	20.00%
SW - SDAQ měření	20%	35%	65%	7.00%	13.00%
SW - MSGS	5%	100%	0%	5.00%	0.00%
SW - SENDER	5%	100%	0%	5.00%	0.00%
suma	100%			<b>20.00%</b>	<b>80.00%</b>

Kontaktní osoby za jednotlivé původce:

- Ing. Jakub Vágner, Ph.D., [jakub.vagner@upce.cz](mailto:jakub.vagner@upce.cz)
- Ing. Ondřej Kovář, [ondrej.kovar@starmon.cz](mailto:ondrej.kovar@starmon.cz)

## 2 Technická dokumentace výsledku

Technická dokumentace zařízení pro monitoring dynamické odezvy jedoucích kolejových vozidel dokumentací, která dokladuje způsob a výsledky dosažení výsledku typu poloprovoz, je uvedena v následujících kapitolách.

### 2.1 Technický popis výsledku

Princip systému DiPo je založen na vyhodnocování výstupů ze snímačů zrychlení a na přiřazování těchto výstupů příslušným událostem, stavům v pojezdu kolejových vozidel. Tímto systémem je možné vyhodnocovat jak stav železničních vozidel, tak i částečně stav železničního svršku a spodku.

Systém DiPo měří zrychlení na kolejnici. Zrychlení jsou jednotlivými snímači zaznamenávána nepřetržitě, přičemž záznam zjištěných dat ze snímačů zrychlení je ohraničen průjezdem kolejového vozidla, který je indikován snímačem detekce náprav.

Data ze snímačů zrychlení a detektoru náprav jsou přenášena do měřicí ústředny, kde jsou zpracována, upravena a následně jsou přenesena do vyhodnocovací jednotky, kde jsou zpracována, vyhodnocena a graficky interpretována.

Vytvořený HW lze uplatnit v železničním provozu v několika variantách:

- samostatný produkt, který by v kombinaci s vhodným SW pouze monitoroval abnormální odezvy projíždějících vozidel,
- doplněk již existujících diagnostických zařízení, což přinese rozšíření funkčnosti a zvýšení spolehlivosti detekce některých poruch,
- součást komplexního diagnostického systému pro diagnostiku pojezdu jedoucích vozidel „DiPo“ (výsledky měření zpracovává nadřazený informační systém, který není součástí tohoto výsledku).

Systém DiPo se skládá z následujících částí:

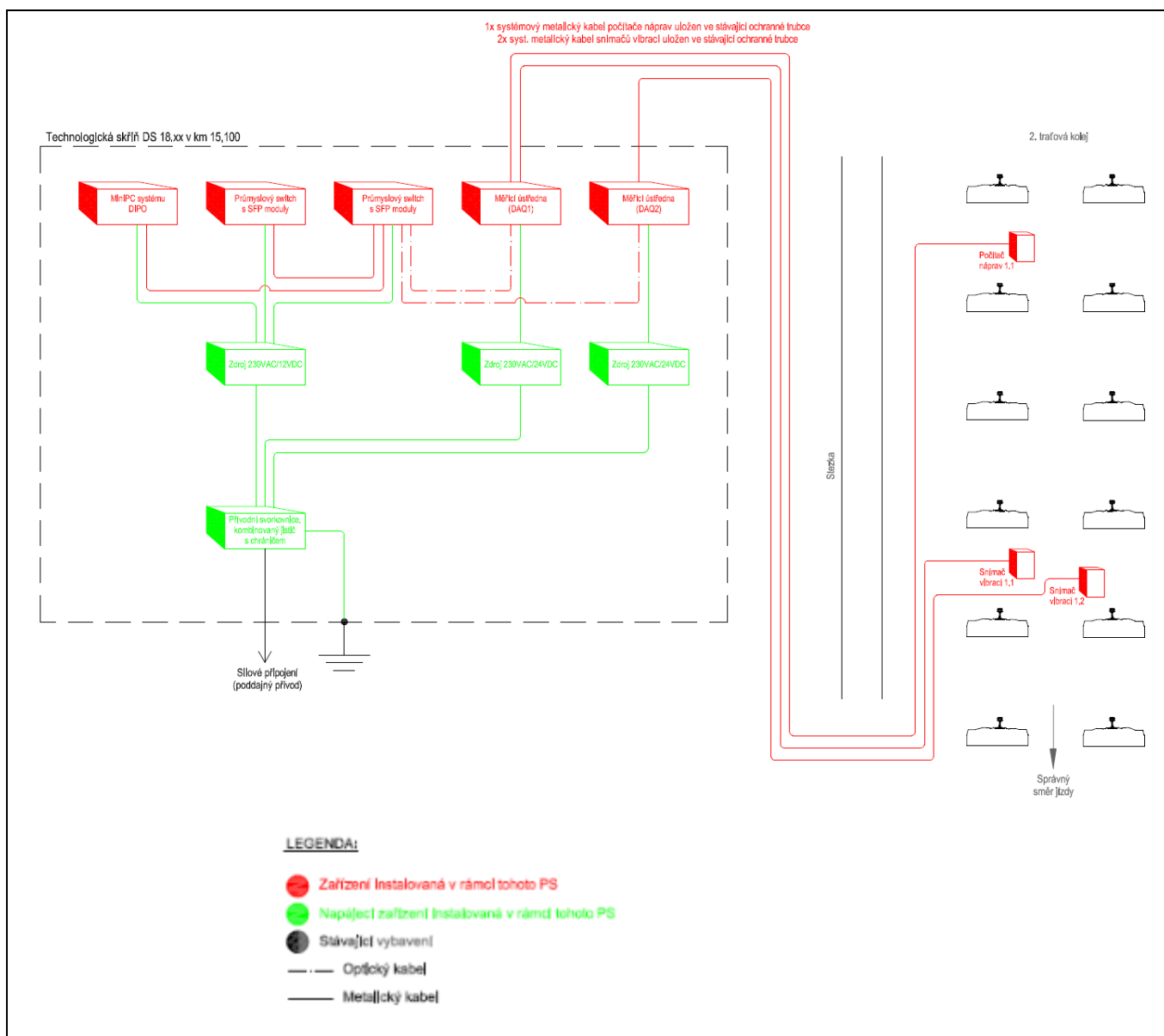
Měřicí část

- Snímače vibrací (minimálně 1 kus pro každou kolejnici);
- Snímač počítače náprav (1 kus pro jednu kolej);
- Měřicí ústředny (1 kus pro každou kolejnici, rozhraní pro připojení snímačů);
- Související technologická kabeláž a elektronika (napájecí izolovaný zdroj, datové optické vlákno, konektory).

Vyhodnocovací, datová a napájecí část

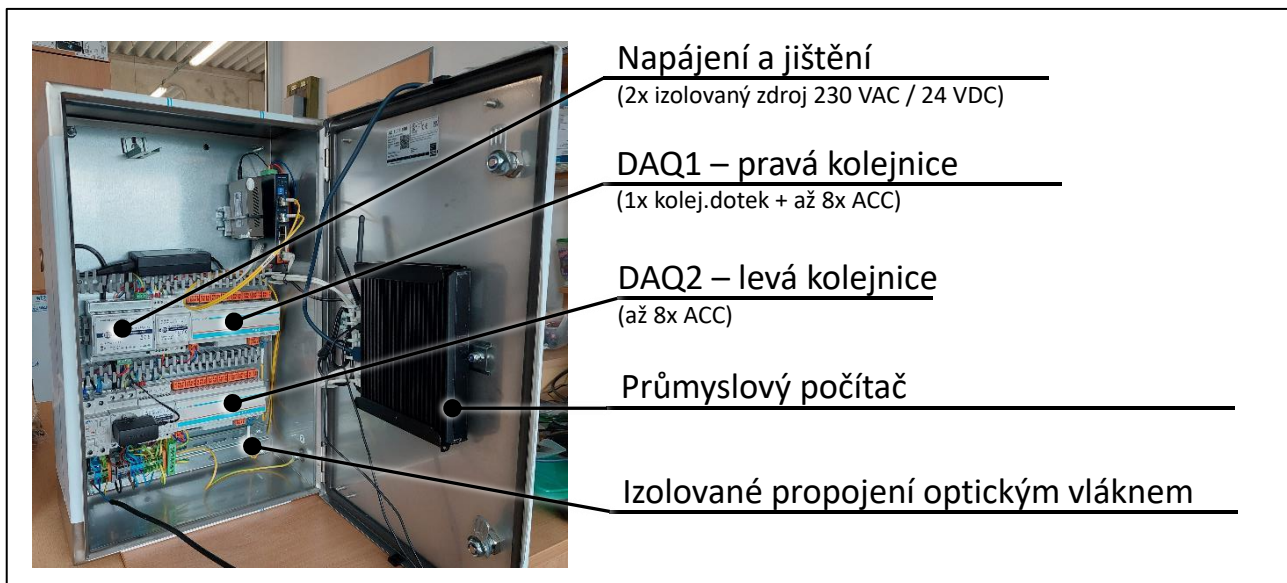
- Průmyslové PC vyhodnocovací jednotky.
- Software vyhodnocovací jednotky:

- SW SDAQ – pro měření a předzpracování dat,
- SW SENDER – pro odesílání, lokální archivace a mazání dat,
- SW MSGS – pro vzdálený dohled a ovládání zařízení.
- Aktivní datové prvky (router pro propojení DAQ a IPC, router nebo modem pro vnější komunikaci).
- Napájecí AC/DC izolované zdroje.



Obr. 2 Funkční schéma HW zařízení pro měření dynamické odezvy DiPo





Obr. 3 Instalace části HW zařízení DiPo v3 do jedné skříně (určeno pro provoz v metru).

Měření zrychlení na kolejnici je zaznamenáváno snímačem uchyceným ke stojině kolejnice. Uchycení snímače je provedeno lepeným spojem. Snímač je na stojině kolejnice instalován v neutrální ose ve středu vzdálenosti mezi pražci, viz *Obr. 6*.

Měřicí část používá samostatných DAQ pro každou kolejnici, je tedy tvořena dvěma samostatnými elektronickými systémy, které jsou mezi sebou elektricky vzájemně odděleny. Každý tento elektronický systém je napájen vlastním AC/DC zdrojem s izolační pevností 4 kV.

Propojení každého snímače a měřicí ústředny je provedeno individuálně samostatným systémovým kabelem. Zpracovaná data z každé DAQ jsou zasílána do IPC (vyhodnocovací jednotky), kde jsou dále předzpracována, po definovanou dobu archivována lokálně a odeslána na server. Případně lze jednoduché vyhodnocení provést v místě a odesílat jen výsledek. Zobrazení výsledků je realizováno až na serveru ve webovém prostředí. Pro ověření funkčnosti lze zjednodušeně měřená data zobrazit i v IPC (nutno připojit monitor nebo použít vzdálenou plochu).

Zařízení je určeno pro montáž na DIN lištu a na montážní desku.

### Prvky pro datové a napájecí připojení

Ve technologické skříně je instalován průmyslový switch se dvěma optickými a čtyřmi metalickými porty 100 Mb/s pro datové propojení měřících ústředí a IPC, a také průmyslový switch se dvěma optickými a čtyřmi metalickými porty 100 Mb/s pro potřeby případného datového připojení systému DIPO do nadřazených systémů.

### Datové připojení

Každá měřicí ústředna bude s průmyslovým switchem propojena optickým patchcordem (2 vlákna, SM). IPC vyhodnocovací jednotky je s tímto průmyslovým switchem propojeno metalickým

patchcordem. WAN port průmyslového switchu je propojen s průmyslovým switchem pro potřeby případného datového připojení systému DIPO do nadřazených systémů také metalickým patchcordem.

### **Napájení**

Napájení systému DiPo je řešeno prostřednictvím jednofázového poddajného přívodu (sít' TN-S) technologické skříně. Tento přívod je za vstupními svorkami v technologické skříně osazen kombinovaným jističem s chráničem (10 kA, 1+N, B6, 30 mA, typ A). Zkrze něj jsou napájeny AC/DC zdroje zařízení umístěných v technologické skříně.

### **Ochrana před úrazem elektrickým proudem**

Ochrana před nebezpečným dotykem živých částí je dle ČSN 33 2000-4-41 ed. 3 provedena základní izolací, přepážkami, krytem, zábranami a polohou.

Neživé části obvodů jsou chráněny dle ČSN 33 2000-4-41 ed. 3 ochranným pospojováním a automatickým odpojením od zdroje. Neživé části obvodů malého napětí jsou chráněny dle ČSN 33 2000-4-41 ed. 3 jako obvody SELV.

## **2.2 Parametry výsledku**

### **Technické parametry**

Počet kanálů: max. 8 na jednu kolejnici, max. 2 kolejnice

Vzorkování: až 128 kHz (pro měření postačuje 25 600 Hz)

Spotřeba: max. 150 W (2x DAQ, 1x IPC, 2x Switch)

### **Provozní parametry**

Maximální rychlost: testováno prozatím do 160 km/h (vyšší nebylo možné otestovat)

Rozsah teplot: během provozního nasazení byl -12°C až 32°C (okolní teplota vzduchu)

Směr jízdy: tam (zpět – lze po úpravě FW)

## **2.3 Související legislativa**

Při návrhu a realizaci byly zohledněny následující normy a předpisy tak, aby mohlo být zařízení instalováno do zkušebního provozu a také splňovalo požadavky pro certifikaci v případě komerčního nasazení.

### **Normy a předpisy**

ČSN 33 2000-1 ed. 2 – Elektrické instalace nízkého napětí – Část 1: Základní hlediska. Stanovení základních charakteristik, definice

ČSN 33 2000-4-41 ed. 3 – Elektrické instalace nízkého napětí – Část 4-41: Ochranná opatření pro zajištění bezpečnosti – Ochrana před úrazem elektrickým proudem

ČSN 33 2000-5-51 ed. 3 – Elektrické instalace nízkého napětí – Část 5-51: Výběr a stavba elektrických zařízení – Všeobecné předpisy

ČSN 33 2000-5-52 ed. 2 – Elektrické instalace nízkého napětí – Část 5-52: Výběr a stavba elektrických zařízení – Elektrická vedení

ČSN 33 2040 – Elektrotechnické předpisy. Ochrana před účinky elektromagnetického pole 50Hz v pásmu vlivu zařízení elektrizační soustavy

ČSN 33 2160 – Elektrotechnické předpisy. Předpisy pro ochranu sdělovacích vedení a zařízení před nebezpečnými vlivy třífázových vedení vn, vvn a zvn

ČSN 33 4050 – Předpisy pro podzemní sdělovací vedení ČSN 34 1500 ed. 2 – Drážní zařízení – Pevná trakční zařízení – Předpisy pro elektrická trakční zařízení

ČSN 37 5711 ed. 2 – Drážní zařízení. Křížení kabelových vedení s železničními drahami

ČSN EN 1610 – Provádění stok a kanalizačních přípojek a jejich zkoušení

ČSN EN 50 122-1 ed. 2 – Drážní zařízení – Pevná trakční zařízení – Elektrická bezpečnost, uzemňování a zpětný obvod – Část 1: Ochranná opatření proti úrazu elektrickým proudem

ČSN EN 50 125-3 Drážní zařízení – Podmínky prostředí pro zařízení – Část 3: Zabezpečovací a sdělovací zařízení

ČSN EN 50 367 ed. 2 – Drážní zařízení – systémy sběračů proudu – Technická kritéria pro interakci mezi pantografovým sběračem a trolejovým vedením

ČSN EN 60721-1 – Klasifikace podmínek prostředí – Část 1: Parametry prostředí a jejich stupně přísnosti

ČSN EN 60950-1 ed. 2 – Zařízení informační technologie – Bezpečnost – Část 1: Všeobecné požadavky

ČSN 73 6005 – Prostorové uspořádání sítí technického vybavení

ČSN 73 6006 – Označování podzemních vedení výstražnými fóliemi

ČSN 73 08xx – Požární bezpečnost staveb

TNŽ 34 2609 – Projektování kabelových rozvodů železničních zabezpečovacích zařízení

TNŽ 34 2620 – Železniční zabezpečovací zařízení

TNŽ 34 3109 – Bezpečnostní předpisy pro činnost na trakčním vedení a v jeho blízkosti na železničních drahách celostátních, regionálních a vlečkách

TNŽ 37 5715 – Silová kabelová vedení celostátních drah

## **Směrnice, pokyny, řády, rukověti a předpisy Správy železnic, s. o.**

Předpis SŽDC S3 – Železniční svršek

Předpis SŽ S4 – Železniční spodek

Předpis SŽ Zam1 – Předpis o odborné způsobilosti a znalosti osob při provozování dráhy a drážní dopravy

Předpis SŽ Bp1 – Pokyny provozovatele dráhy k zajištění bezpečnosti a k ochraně zdraví osob při činnostech a pohybu v jeho prostorách a v prostorách železniční dráhy provozované Správou železnic, státní organizací

Předpis SŽ Bp2 – Předpis o bezpečnosti a ochraně zdraví při práci zaměstnanců Správy železnic, státní organizace

Předpis SŽ Bp3 – Bezpečnost a ochrana zdraví při práci na stavbách a při stavebních činnostech v prostorách Správy železnic, státní organizace

SŽ R14 – Řád zabezpečení požární ochrany státní organizace Správa železnic

SŽDC SM96 – Směrnice pro nakládání s odpady

Služební rukověť SŽDC (ČD) SR5/7 (S) – Ochrana železničních mostních objektů proti účinkům bludných proudů

Pokyn SŽDC PO-21/2017-GR – Opatření a omezení pro dodávky technologických celků s dopadem na síťovou infrastrukturu SŽDC

Technické specifikace TS 2/2008-ZSE – Dálková diagnostika technologických systémů železniční dopravní cesty

## **TKP**

TKP 3 – Odvodnění a chráničky pro inženýrské sítě

TKP 7 – Kolejové lože

TKP 12 – Chráničky a kolektory

TKP 25 – Protikorozní ochrana úložných zařízení a konstrukcí. Část A – Ochrana proti elektrochemické korozi a korozi bludnými proudy. Část B – Ochrana ocelových konstrukcí proti atmosférické korozi.

TKP 28 – Sdělovací zařízení

## **Zákony a vyhlášky**

Zákon č. 266/1994 Sb., Zákon o dráhách

Zákon č. 23/2000 Sb., Zákon, kterým se mění zákon č. 266/1994 Sb., o dráhách

Zákon č. 185/2001 Sb., Zákon o odpadech

Vyhláška č. 173/1995 Sb., Vyhláška Ministerstva dopravy, kterou se vydává dopravní řád drah

Vyhláška č. 177/1995 Sb., Vyhláška Ministerstva dopravy, kterou se vydává stavební a technický řád drah

Vyhláška č. 246/2001 Sb., Vyhláška Ministerstva vnitra o stanovení podmínek požární bezpečnosti a výkonu státního požárního dozoru

Vyhláška č. 23/2008 Sb., Vyhláška o technických podmínkách požární ochrany staveb

### 3 Popis průběhu ověřování výsledku v provozu

Testování proběhlo ve dvou provozech, které mají odlišná provozní specifika. Jedná se o provoz na síti SŽ, kde je v provozu velké spektrum vozidel a zařízení je pod vlivem povětrnostních podmínek. Druhý provoz byl realizován v DP Praha na trase A metra, kde projíždí flotila cca 40 souprav stejného typu. V tomto místě je stabilní vliv okolí (teplota, vlhkost) – nepůsobí zde vnější povětrnostní vlivy.

Během projektu bylo vytvořeno několik variant HW, FW a SW tak, aby se postupně docílilo požadované funkčnosti, spolehlivosti a přesnosti měření v provozu. **Nasazení do provozu bylo organizačně složité, protože musely být akceptovány aktuální provozní podmínky a plány výluk.** Rozsáhlejší práce na SŽ proběhly ve výluce traťové koleje v souvislosti s rekonstrukcí železniční stanice Pardubice hl.n. Další práce probíhaly za plného provozu mezi vlaky. Instalace a práce na zařízení v DPP mohly probíhat jen v pravidelné noční výluce (délka prací omezena na cca 2 h). Všechny práce byly povoleny pouze v případě, že na tratích neprobíhaly jiné práce.

Obě lokality pro realizaci poloprovozu lze charakterizovat následovně:

#### 1) DP Praha - lokalita Bořislavka, metro trasa A km15,102 (cca 250 průjezdů vlaků za den):

- sestava pro měření na jedné kolejnici (1x HW-DAQ, 1x HW-Sensor, SW-SDAQ),
- porovnání se zařízením DiMet (funkční vzorek složený z laboratorní techniky jako výsledek projektu TAČR/CKDV TE01020038),
- paralelní měření ve stejném místě na kolejnici jako zařízení DiMet,
- umožněn výzkum dynamické odezvy koleje a optimalizace umístění snímačů,
- lze provádět aktualizaci SW SDAQ na dálku skrze VPN,
- NELZE provádět aktualizaci HW a FW bez vstupu do tunelu v noční výluce,
- délka projížděných souprav: 20 náprav,
- traťová rychlost: 80 km/h,
- trasování koleje: přímá kolej se stoupáním 40 ‰,
- identifikace souprav je možná skrze WLAN automaticky nebo IČV zpětně,
- je možné provést ohledání skutečného stavu souprav pro prokázání poruchy,
- **rozsah poloprovozu: 2 368 040 projetých náprav (měření od 15. 01. 2023).**

#### 2) SŽ – lokalita Opočíněk, traťový úsek Pardubice hl.n. – Přelouč v km 313,224:

- konfigurace v plném rozsahu pro 2 kolejnice (2x HW DAQ, 2x sensor, 1x kol. dotek, SW SDAQ + MSGS + SENDER)
- porovnání s komerčním zařízením ASDEK,
- testování více druhů snímačů typu (technologie sensoru PIEZO a MEMS),
- testování při působení povětrnostních vlivů,
- testování neinvazivní montáže do koleje,
- testování připravenosti pro podbíjení koleje,
- prokázání izolační pevnosti vůči kolejovým obvodům,
- lze provádět aktualizaci SW SDAQ na dálku skrze RDP,

- lze provádět aktualizaci HW a FW na místě bez nutnosti vstupu do koleje,
- délka projížděných souprav: od 2 do 204 náprav,
- traťová rychlost: 160 km/h,
- trasování koleje: přímá,
- automatická identifikace vozidel NENÍ možná,
- zpětná identifikace vozidel NENÍ možná - SŽ poskytuje jen anonymní data,
- ohledání skutečného technického stavu není zpravidla možné,
- **rozsah poloprovozu: 36000+ projetých náprav (měření od 04. 07. 2023)**

### 3.1 Průběh testů

Pro splnění potřebných parametrů a kvality měření proběhl poloprovoz takto:

- 1) Výroba DAQ v1 (chybí součástky), výroba sensorů PIEZO v1.
- 2) Měření laboratorní technikou a senzorem PIEZO v1 v lokalitě SŽ (29. 06. 2022).
- 3) Výroba sensorů PIEZO v2.
- 4) Dokončení výroby DAQ v1, laboratorní testy DAQ v1 + sensorů PIEZO v2.
- 5) Nasazení DAQ v1 a sensoru PIEZO v2 do provozu DPP.
- 6) Testování a vyhodnocení provozu, ladění SW na dálku (od 15. 01. 2023).
- 7) Výroba 2 kusů DAQ v2 (nová verze HW a FW).
- 8) Montáž sensorů a kabeláže (výkopové práce) na SŽ (21. 06. 2023)
- 9) Montáž DAQ na SŽ – začátek testování (04. 07. 2024).
- 10) Ladění SW na dálku.
- 11) Výroba snímače MEMS v3.
- 12) Demontáž 2x DAQ z lokality SŽ.
- 13) Aktualizace FW a laboratorní ladění (synchronizace kanálů).
- 14) Zpětná montáž 2x DAQ na SŽ (08. 09. 2023).
- 15) Ladění SW na dálku.
- 16) Montáž sensoru MEMS v3 (01. 10. 2023).
- 17) Příprava na podbíjení koleje (15. 03. 2024).
- 18) Zpětná montáž po podbíjení koleje a ověření funkce (22. 03. 2024).

Vyhodnocení dat v obou provozech probíhalo průběžně.

Během projektu byl vyroben první vzorek zařízení určený pro pilotní provoz. Před datem ukončení projektu byla DPP předána technická dokumentace a podána žádost o schválení instalace v režimu testovacího provozu.

Po instalaci zařízení v plném rozsahu v lokalitě Opočíněk se tak bude jednat o druhou implementaci zařízení v provozu ve finální podobě.

## 3.2 Testování v podmínkách DPP metro

Na počátku projektu bylo v tunelu namontováno zařízení, které vzniklo jako funkční vzorek v projektu TAČR/CKDV TE01020038 a sloužilo pro sběr dat v období, kdy se vyvíjela nová (průmyslová) DAQ jednotka STARMON. Na přelomu let 2022 a 2023 byla nová jednotka namontována do původního zařízení tak, aby byl umožněn sběr dat testovaného zařízení, ale zároveň i původního zařízení složeného z laboratorní techniky. Cílem bylo otestovat správnost funkce DAQ a sensorů.



Obr. 4 Zařízení DiPo/DiMet v provozu metra (1x DAQ, SW SDAQ, sensor v2).

## 3.3 Testování v podmínkách Správy železnic

V červnu 2023 proběhla instalace zařízení do lokality na hlavním železničním koridoru. Zařízení DiPo je umístěno v blízkosti diagnostického zařízení Správce železnic. HW SDAQ byl umístěn v blízkosti koleje do technologické kovové skříně s krytím IP67 (Obr. 7) tak, aby byl umístěn co nejbližší sensorům, ale ochráněn okolními vlivy. Jedná se o standartní instalaci v železničních podmínkách (viz Obr. 5 a Obr. 6). V technologickém domku se pak nachází IPC, zdroj, router a další potřebné technologie.



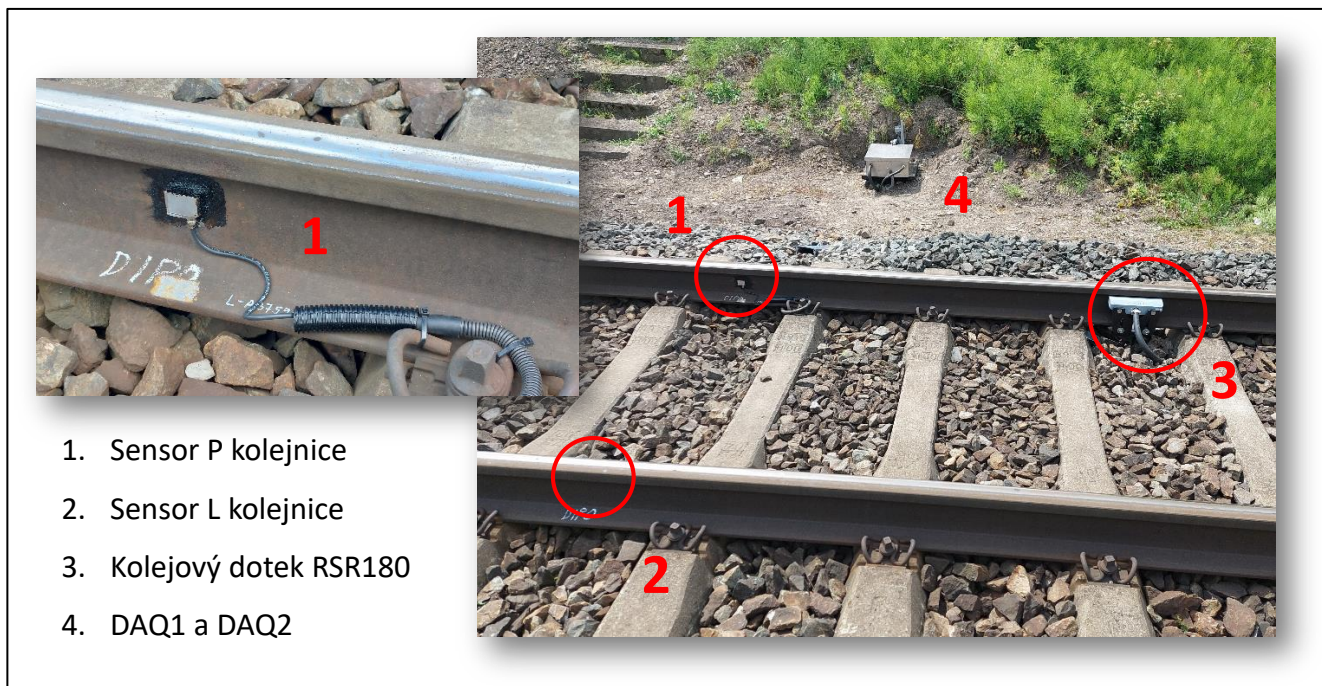


*Obr. 5 Montáž zařízení DiPo na hlavní trati.*



*Obr. 6 Pohled na umístění snímačů v koleji (na stojinách obou kolejnicových pásů snímače zrychlení, vlevo na kolejnici detektor náprav – šedý kryt).*





Obr. 7 Pohled na umístění snímačů v koleji a DAQ jednotek v blízkosti koleje (lokality Opočíněk).

Při instalaci proběhlo také lepení snímačů zrychlení na kolejnici a montáž detektoru náprav. Samotné oživení celého zařízení proběhlo až červenci 2023, neboť termíny byly vázány na výlukové práce na trati a také na stav počasí.



Obr. 8 Ověřovací provoz různých typů a konstrukcí snímačů.

V březnu 2024 proběhlo v lokalitě podbíjení koleje, což umožnilo otestovat připravenost zařízení odolat tomuto údržbovému zásahu bez nutnosti demontáže sensorů.

Před podbíjením je u testovaného zařízení nutné demontovat pouze kabeláž a kolejový dotek (časová náročnost cca 1 hodinu). Pro porovnání, u komerčního zařízení ASDEK je nutné demontovat jak kabeláž, tak technologii v koleji (časová náročnost cca 8 hodin).

Měřená data se během testovacího provozu ukládala do IPC, kde je pro tento účel připraven adresář, který je v pravidelném intervalu načítán programem SW – SENDER pro odesílání dat. Nově naměřená data jsou pak přenášena prostřednictvím mobilní sítě LTE na server. Parametry přenosu lze měnit (zabezpečuje SW - MSGS) podle nastavení, které uživatel (tedy operátor) nastaví v uživatelském webovém rozhraní a to v následujících možnostech:

- Zasílat pouze hlavičkové soubory metadat ve formátu JSON.
- Zasílat pouze výsledky vyhodnocení signálů dynamické odezvy ve formátu JSON.
- Zasílat všechna surová data z měření průjezdu vlaku.
- Zaslat konkrétní surová data z měření průjezdu vlaku.

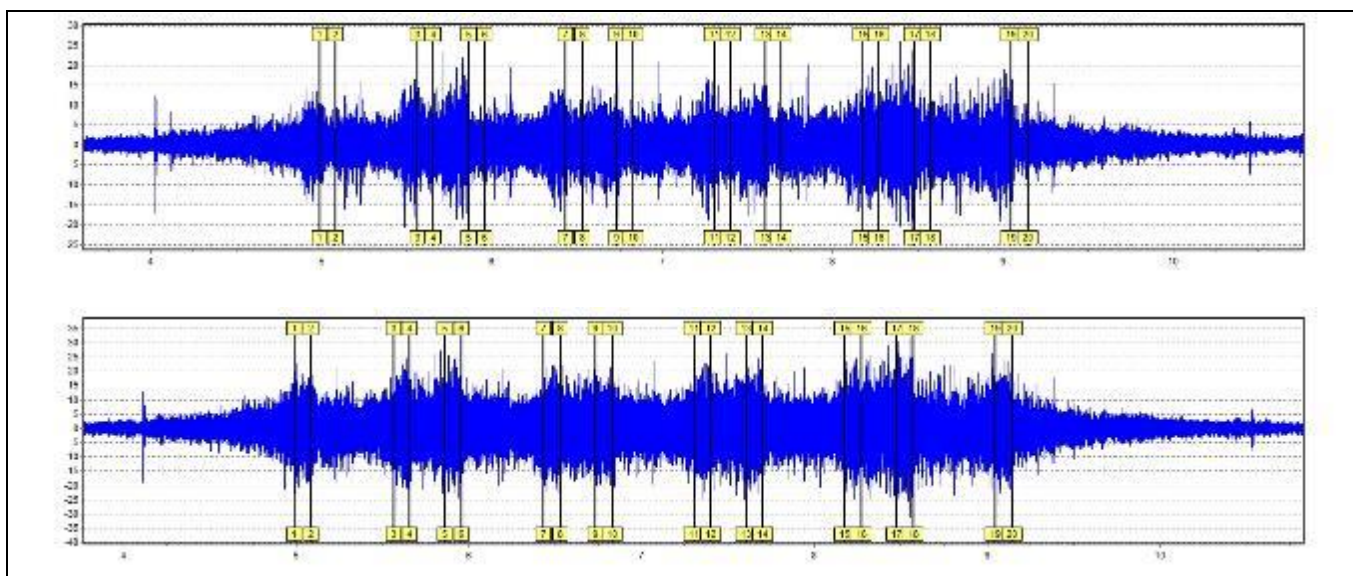
Pro účely výzkumu lze odesílat zdrojová data, tedy naměřené signály všech průjezdů, které slouží ke kontrole funkce zařízení nebo rozbor dat u průjezdů s nestandardní odezvou. Lze tedy také odeslat konkrétní data na vyžádání. Tento požadavek se nastaví na serveru a zařízení soubory pošle při další příležitosti.

Cílový stav (komerční provoz) je takový, že se budou odesílat pouze hlavičkové soubory a výsledky. Na server se tak dostane informace o jednotlivých průjezdech (čas, rychlost, polohy náprav, počet náprav, teplota atd.) a po vyhodnocení v místě měření se odešle také soubor výsledků, tedy statistika za celý průjezd, statistika jednotlivých náprav a nalezené příznaky.

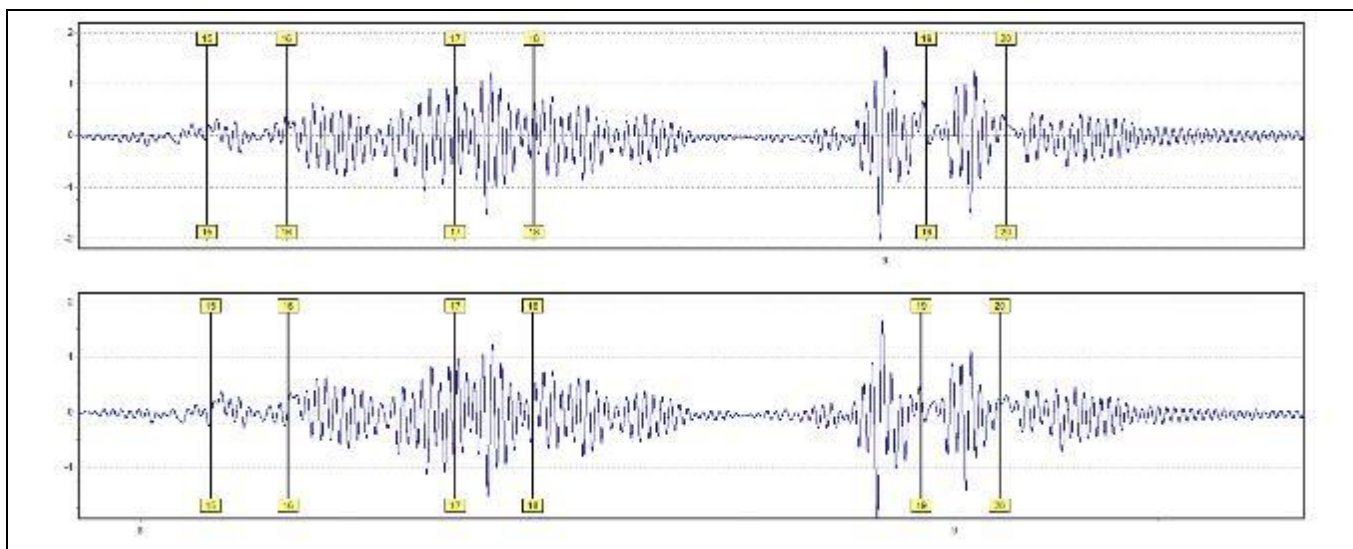
## 4 Shrnutí výsledků poloprovozu

### 4.1 Porovnání v časové oblasti

Exaktní porovnání měřeného signálu v časové oblasti je možné pouze u měření v DPP, kde se nachází testovaný sensor S1 ve stejném místě na kolejnici jako komerční (laboratorní) sensor Z1.



Obr. 9 Porovnání časových záznamů signálů 20240514\_091244 (S1 nahoře, Z1 dole).



Obr. 10 Porovnání časových záznamů signálů 20240514\_091244 filtrovaných pásmovou propustí 1 až 100 Hz (S1 nahoře, Z1 dole).

### 4.2 Synchronizace mezi kanály

Pro měření jsou použity dvě DAQ jednotky z důvodu zabezpečení izolace mezi kolejnicemi, to vyžaduje synchronizaci signálů mezi sebou tak, aby byly vyhodnoceny se stejnou časovou základnou, protože

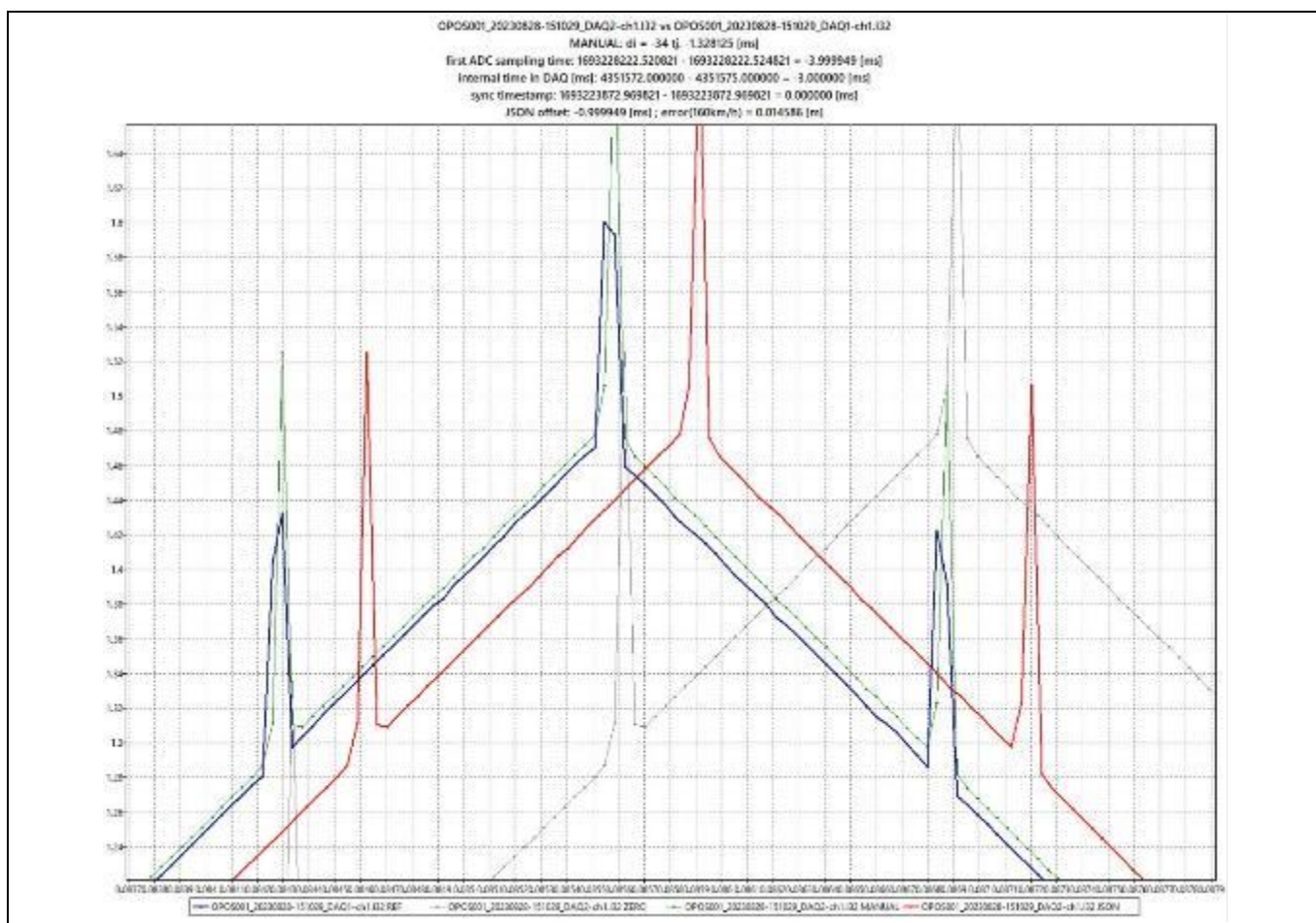


pro obě DAQ jednotky se čas přiřazuje pouze jednomu kolejovému doteku, který detekuje průjezdy jednotlivých náprav. Aby bylo měření validní, neměly by se signály vůči sobě posunout o více jak nižší desítky milimetrů (v přepočtu na stanovenou polohu dvojkolí při měření). V reálném provozu se toto nedá exaktně stanovit (nelze vybudit L i P kolejnici stejným signálem a nelze porovnat oba signály s nezávislou přesnou časovou základnou). Proto byl tento test prováděn laboratorně tak, že byl spouštěn trigger pomocí HW simulátoru kolejového doteku a měřen definovaný signál přivedený na vstupy obou DAQ. Následně se porovnal časový offset v měřených datech.

První verze HW a FW nedosahovala dostatečné přesnosti synchronizace, proto byl HW a FW upraven a znova testován.

Popis signálů na Obr. 11:

- **Modrý:** referenční signál DAQ1,
- **Šedý:** signál DAQ2 korekce startu,
- **Zelený:** očekávaný signál pro DAQ2
- **Červený:** signál DAQ2 korekce startu + korekce interního času.

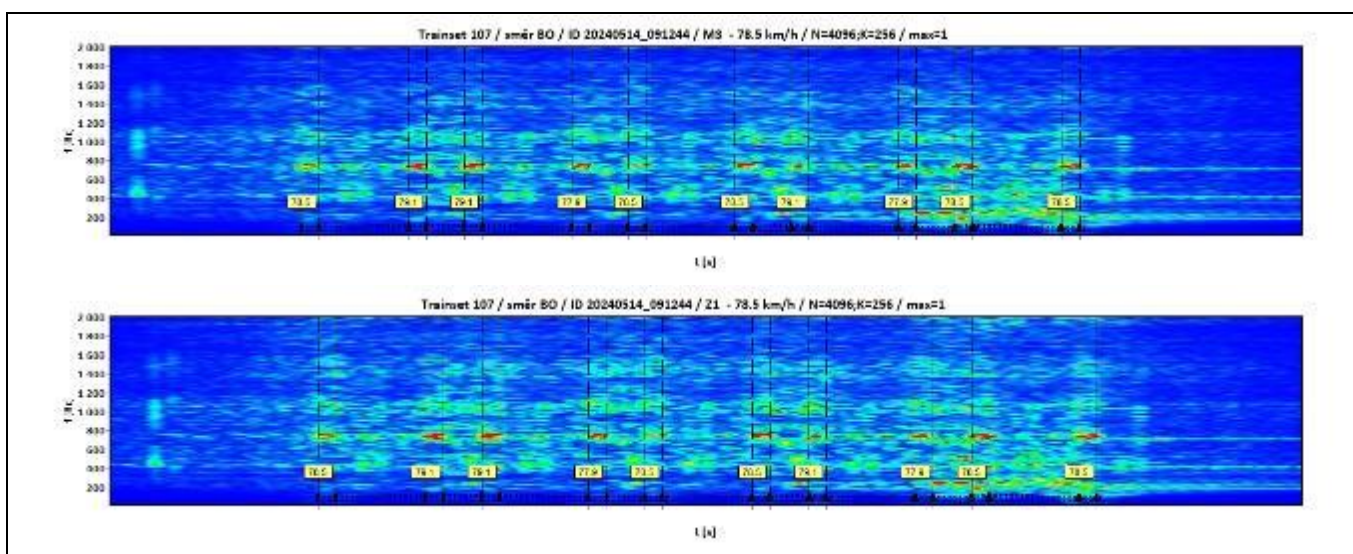


Obr. 11 Ukázka porovnání signálů; výsledné zpoždění (v přepočtu na polohu dvojkolí) je při 160 km/h cca 15 mm.

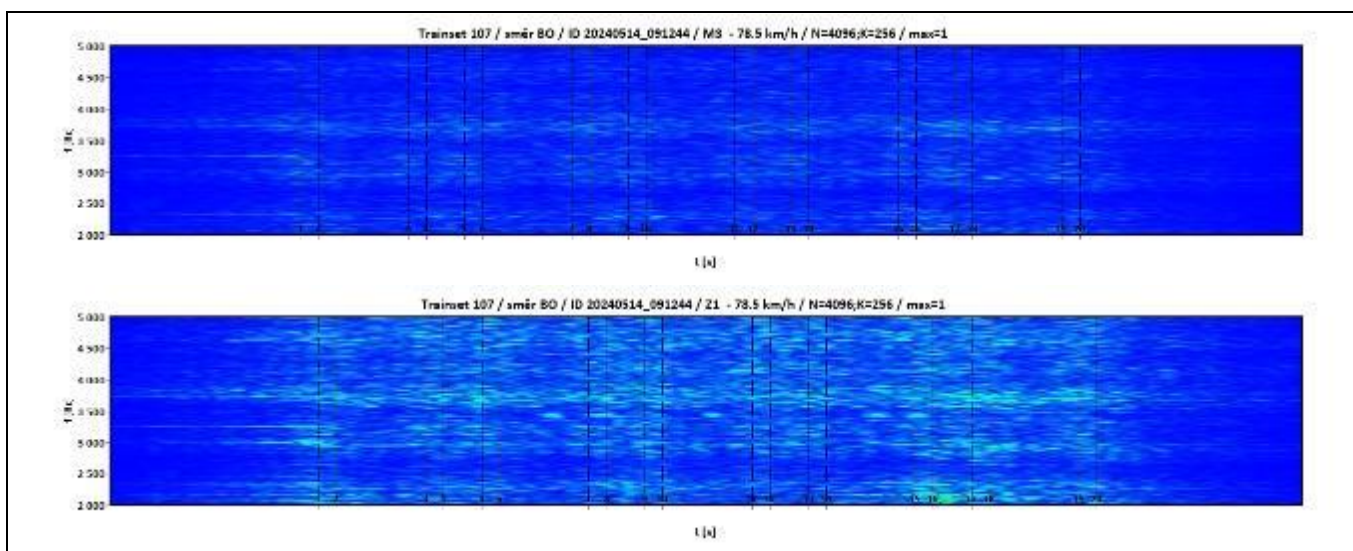
Testy byly provedeny na desítkách realizací s různým odstupem času spuštění, lze konstatovat, že je dosahováno chyby polohy dvojkolí +/- 15 mm při rychlosti 160 km/h. Tato hodnota je dostatečná pro vyhodnocovací algoritmy. Na stanovení rychlosti průjezdu tato hodnota vliv nemá.

### 4.3 Porovnání ve frekvenční oblasti

Pro realizaci sensorů byly vybrány snímače zrychlení TE 805M1s rozsahem +/-2000 m.s<sup>-2</sup> pracující na principu PIEZO krystalu. Vlastní frekvence snímače je 34 kHz a frekvenční pásmo pro s přesností do +/- 1 dB je 1 až 8000 Hz (v rozsahu 0,4 až 12 000 Hz je zkreslení +/-3 dB). Vzorkování měřeného signálu je 25 600 Hz , tedy frekvenční analýzu lze provést do cca 12 kHz.



Obr. 12 Ukázka porovnání spektrogramů v rozsahu 10 – 2000 Hz pro signály S1 (nahore označeno jako M3) a Z1 (dole).



Obr. 13 Ukázka porovnání spektrogramů v rozsahu 2000 – 5000 Hz pro signály S1 (nahore označeno jako M3) a Z1 (dole).

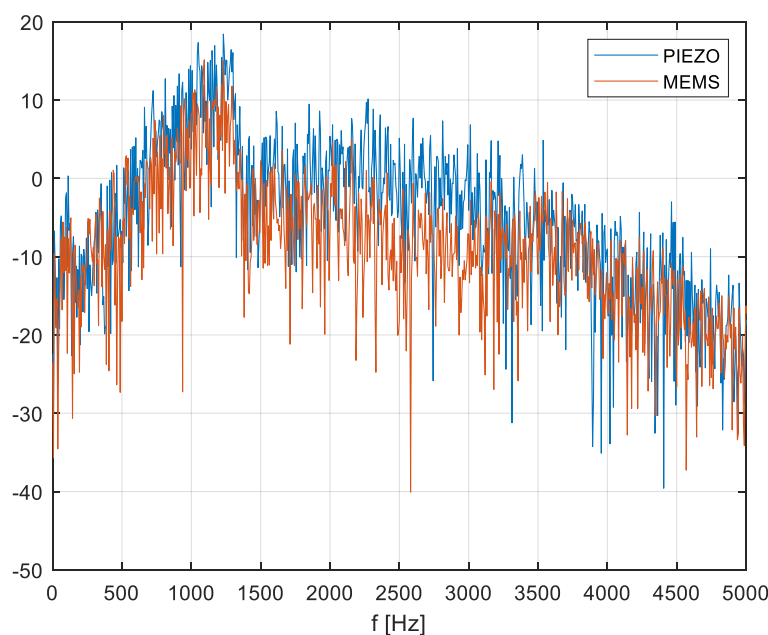
Signály, pokud se jedná o frekvenční spektrum, nejsou shodné u vyšších frekvencí. V oblasti cca 1300÷2800 Hz se objevuje několik pásem, kde je odezva Z1 zřetelně větší – zejména se jedná

o frekvence okolo 1500 Hz a 2000 Hz. Z experimentů s odezvou na rázové buzení je známo, že tyto složky odpovídají vlastním tvarům kmitů zahrnujících deformaci průřezu kolejnice (ohyb paty) či kroucení kolejnice. Tato odlišnost mezi signály Z1 a S1 je dána rozdílným umístěním snímačů (Z1 na patě, resp. S1 na stojině).

Z toho plyne, že z pohledu diagnostiky je umístění na stojinu kolejnice výhodnější a signál S1 je tak očištěn od parazitních vlivů kolejnice.

## 4.4 Porovnání snímačů MEMS vs PIEZO

V lokalitě Opočínky byl testován také snímač typu MEMS. Testy ukazují, že v provozních podmínkách jej lze použít, i když je odezva mírně odlišná od PIEZO snímačů. Přímé porovnání opět není možné (nelze instalovat dva snímače na stejné místo nebo provést zcela stejný průjezd vlaku), test proběhl tak, že snímače byly na jedné kolejnici v sousedních mezipražcových mezerách – tedy vzdálené od sebe na rozteč pražců.



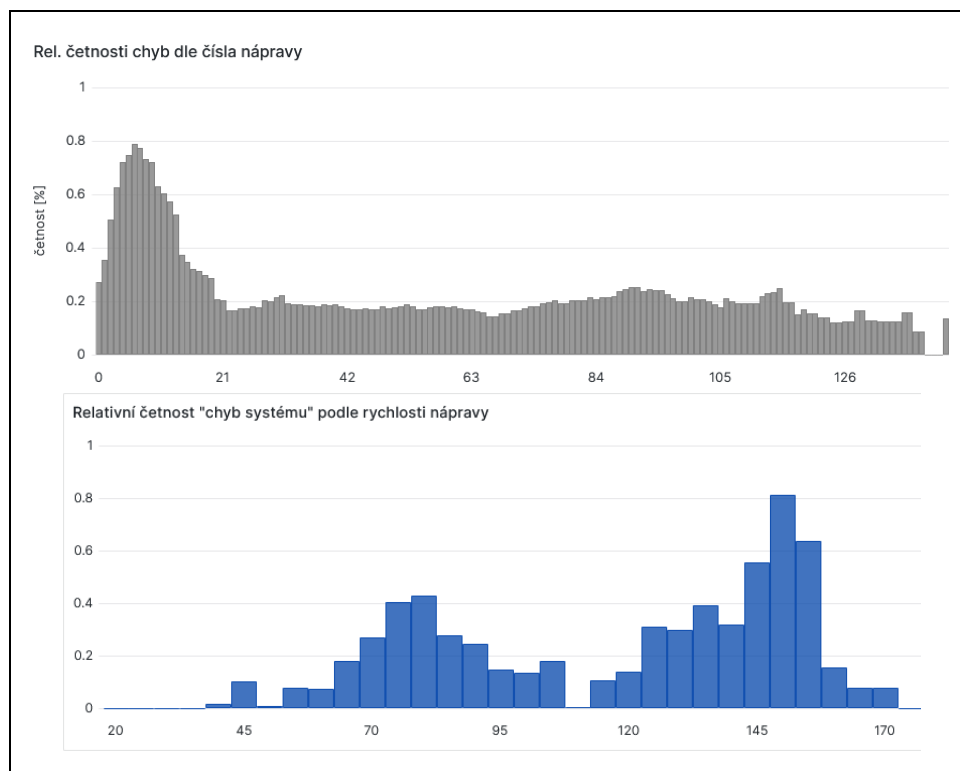
Obr. 14 Porovnání frekvenčního spektra snímačů MEMS a PIEZO (shodný průjezd soupravy).

Odezvy snímačů nejsou úplně stejné, ale nebylo zaznamenáno, že by jeden oproti druhému měl nedostatek v zachycení podstatných informací. Použitím snímače MEMS lze snížit celkovou hmotnost a velikost snímače a také cenu.

## 4.5 Spolehlivost a odolnost

Spolehlivost funkce zařízení byla hodnocena tak, že byly porovnány případy, kdy dle zařízení ASDEK úsekem projel vlak, ale zařízení DiPo tento průjezd nezměřilo. Dále jsou do statistiky přidány případy, kdy došlo k přebuzení signálu nebo měřila pouze jedna DAQ.

V případě nespuštění měření může být problém na straně vozidla, kdy kolejový dotek generuje signál, který DAQ nevyhodnotí jako přítomnost okolku nad snímačem, protože se může jednat o speciální vozidlo.



Obr. 15 Relativní četnosti chyb dle čísla nápravy (nahore) a dle rychlost průjezdu (dole).

Pokud by byla chyba detekce triggeru vyšší, lze změnit nastavení (výšku) kolejového doteku na kolejnici. Dále je možné změnit prahovou hodnotu pro vyhodnocení signálu (úprava FW).

Ze statistiky plyne, že chybovost triggeru je vyšší u kratších a rychlejších vlaků, naopak k přebuzení snímače nebo k chybám měření dochází spíše u dlouhých pomalých vlaků (nákladních).

Zařízení prokázalo svou funkci jak v letních, tak zimních teplotách. Lepený spoj však není tvarovým spojem a bude potřeba jej v časových intervalech kontrolovat (cca rok) a po určitém čase obnovit (interval bude stanoven až z víceletého sledování v provozu).

## 4.6 Porovnání se zařízením ASDEK

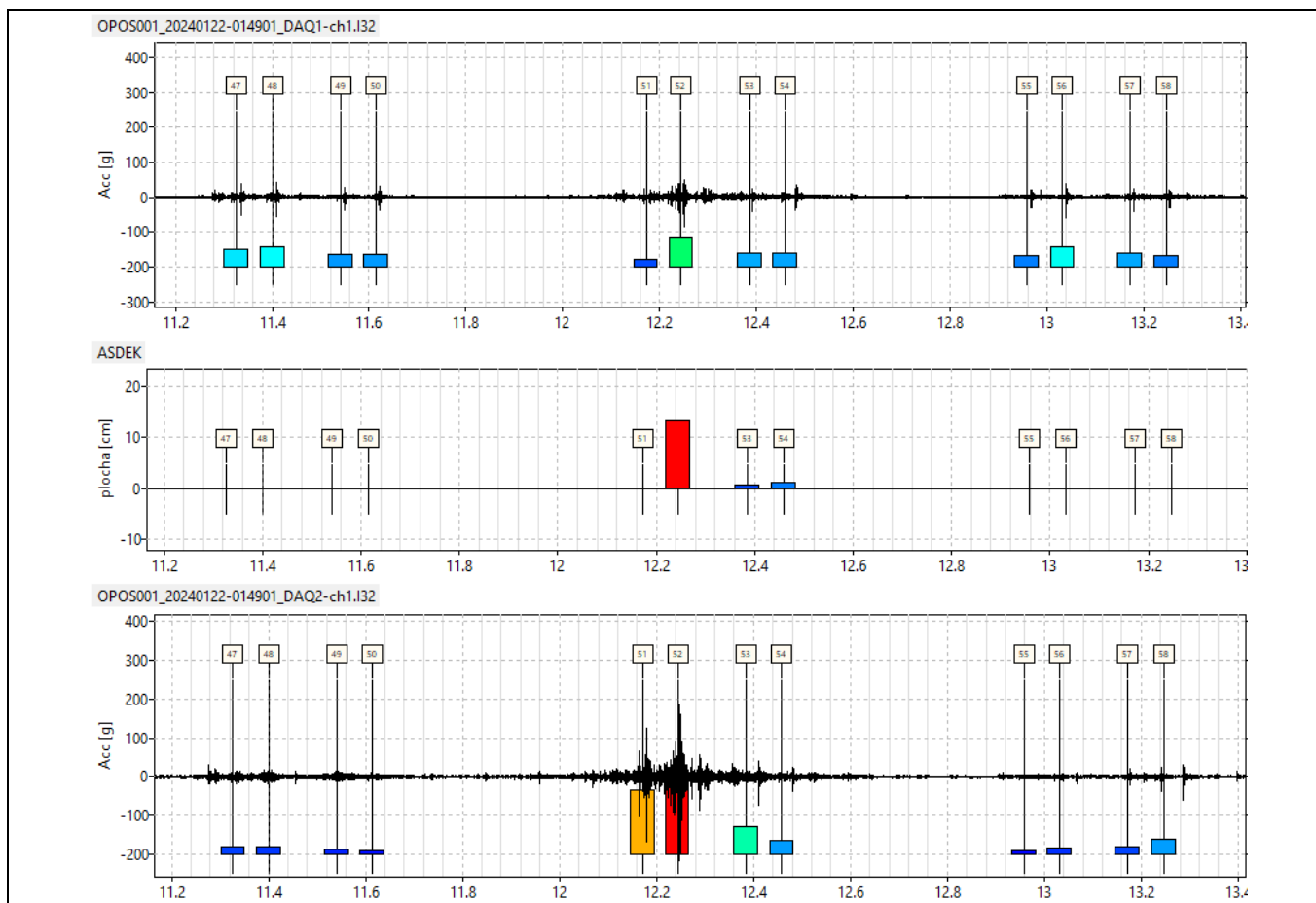
V provozních podmínkách bylo cílem porovnat výsledky měření s komerčním systémem ASDEK, který je provozován ve stejné lokalitě. Při porovnání je potřeba zohlednit několik skutečností:

- zařízení ASDEK funguje na jiném principu měření než zařízení DiPo,
- zařízení ASDEK dává výsledek pro nápravu, zařízení DiPo vrací výsledek pro levé a pravé kolo,
- zařízení ASDEK hodnotí ekvivalentní délku plochy (délka odskoku kola) a počet odskoků na délce měřeného úseku, zařízení DiPo měří přímo dynamické účinky do koleje.



Na Obr. 16 je vidět porovnání výsledků měření ASDEK a DiPo. Na příkladu lze vidět:

- Vada je na 52. nápravě a je detekována jak zařízením ASDEK, tak zařízením DiPo,
- zařízení DiPo ukazuje, že vada je větší na L kole než na P kole,
- u zařízení DiPo se hůře rozeznává poloha vady (detekována je i 51. náprava).



Obr. 16 Příklad porovnání výsledků měření zařízení DiPo - P kolo (nahore),  
ASDEK – náprava (uprostřed) a DiPo - L kolo (dole).

Z vyhodnocení vyplynulo:

- U zařízení DiPo je složité rozeznat, která náprava má poruchu v případě podvozkových vozidel, protože rozvor podvozku je obvykle velmi blízký obvodu kola.
- Výsledky zařízení ASDEK nejsou vždy validní (desítky odskoků na 3 m detekované délky koleje, nereálně dlouhé ekvivalentní délky ploch, příznak nečistot).
- Zařízení DIPO detekuje i jiné odezvy než plochy na jízdni ploše (vibrace z vozidla obvykle způsobené zvýšenou akustickou drsností kol u zdržové brzdy, nevývažkem apod.).
- Pokud ASDEK detekuje výstrahu alespoň úrovně 2, pak vždy DIPO vykazuje zvýšené hodnoty.
- Zatím se však nepodařilo stanovit hraniční hodnotu pro stanovení výstrahy ze zařízení DIPO na základě dat ASDEK, protože vztah mezi ekvivalentní délkou plochy (ASDEK) a dynamickou odezvou (DiPo) je nelineární vztah.

Dle výše uvedeného se přímá korelace mezi měřeními hledat nedá (rozdílné veličiny), ale použitím výsledků z obou zařízení lze zvýšit úspěšnost a spolehlivost detekce kol jedoucích vozidel. Tedy k veličinám ***ekvivalentní délka plochy*** a ***počet odskoků kola*** lze doplnit veličinu ***dynamický účinek***.

## 5 Rekapitulace výsledků poloprovozu

Výše uvedené informace z realizovaného poloprovozu jsou shrnuty do následující tabulky:

Sledovaný parametr	Výsledek poloprovozu	
Odolnost proti povětrnostním vlivům	V lokalitě Opočíněk proběhlo dlouhodobé měření v rozmezí teplot vzduchu -10°C až 35°C – lze předpokládat, že teplota kolejnice byla i vyšší.	<b>Vyhovuje</b>
Mechanická odolnost v provozu	Během testování nedošlo k mechanické poruše.	<b>Vyhovuje</b>
Spotřeba energie	Spotřeba v konfiguraci 2xDAQ (20 W), 1xIPC (60 W) a 2xROUTER (20 W) je menší než 150 W.	<b>Vyhovuje</b>
Odolnost lepeného spoje snímače	Sensory v2 a v3 jsou v tomto parametru vyhovující. U senzoru v1 nelze lepení použít.	<b>Vyhovuje</b>
Použitelnost měřených dat pro diagnostiku	Následné vyhodnocení dat funguje dle předpokladů.	<b>Vyhovuje</b>
Spolehlivost přenosu dat na server	Spolehlivost přenosu je dostatečná, výpadky způsoboval pouze nedostatečný signál LTE sítě. V ostrém provozu bude zařízení připojeno do sítě SŽ.	<b>Vyhovuje</b>
Vhodný rozsah snímače, odolnost proti rušení	V ojedinělých případech se signál dostane k rozsahu snímače, z dat plyne, že se tak stává v méně jak 1 % případů.	<b>Vyhovuje</b>
Izolační pevnost 1 kV mezi kolejnicemi, provoz bez vlivu na kolejové obvody	Zařízení nemělo vliv na provoz kolejových obvodů, před uvedením do provozu provedli zaměstnanci SŽ měření	<b>Vyhovuje</b>
Funkčnost až do rychlosti vlaku 160 km/h	Detekce probíhá spolehlivě i při rychlosti 160 km/h, přesnost synchronizace polohy dvojkolí do +/-15mm.	<b>Vyhovuje</b>
Připravenost na podbíjení koleje	Při odpojení kabelů, demontáži kolejového doteku a použití magnetického krytu lze provést podbití koleje bez demontáže a	<b>Vyhovuje</b>

	zpětného lepení snímačů. Časová náročnost cca 1 h.	
Neinvazivní montáž do koleje	Kolejový dotek je montován svěrným spojem na patu kolejnice, sensory se upevňují lepením. Zásah do železničního svršku je nutný pouze povrchově pro vedení kabeláže (lze vést i na povrchu).	<b>Vyhovuje</b>
Měření dlouhých pomalých vlaků a spolehlivost funkce pretrigger.	Dlouhé vlaky (až 200 náprav) byly změřeny v pořádku. Funkce startu a stopu měření funguje i pro pomalé rychlosti.	<b>Vyhovuje</b>

Z výsledku poloprovozu plyne, že v případě komerčního použití lze předepsat kontrolu zařízení min. 1x za rok, tento interval je v periodě s elektrickou revizí zařízení.

## 6 Související dokumenty

K výsledkům projektu, tedy i k poloprovozu se vztahují následující dokumenty:

- Technická zpráva STARMON: „DIPO, pilotní instalace v Opočínku“ (6/2023)
- Schválení podmínek pro testovací provoz systému „DIPO – diagnostika pojezdu“ – dopis SŽ s.o. ze dne 7.6.2023, který povoluje provedení testovacího provozu v lokalitě Opočínka.
- Stanovisko SŽ s.o. k výsledkům projektu ze dne 12.7.2024
- Technická zpráva STARMON: „DIPO, zkušební instalace v metru“ (4/2024)
- Stanovisko SŽ s.o. k výsledkům projektu ze dne 12.7.2024
- Průběžná zpráva z řešení projektu DiPo za rok 2021. Č. zprávy DIPO-2021-JV-01
- Průběžná zpráva z řešení projektu DiPo za rok 2022. Č. zprávy DIPO-2022-JV-01
- Průběžná zpráva z řešení projektu DiPo za rok 2023. Č. zprávy DIPO-2023-JV-01
- Závěrečná zpráva z řešení projektu DiPo. Č. zprávy DIPO-2024-JV-01