



METODICKÝ POSTUP

DYNAMICKÁ OPTO-AKUSTICKÁ METODA HODNOCENÍ EMISNÍ HLUČNOSTI ŽELEZNIČNÍHO SVRŠKU

Zpracovatel:

EKOLA group, spol. s r.o. (dále EKOLA)

Ing. Libor Ládyš, Ing. Martin Ládyš, Ing. Ondřej Simon, Ing. Ondřej Červenka, Ing. Tomáš Lindner, Ing. Petr Válek a kol.

a

ČVUT v Praze, Fakulta dopravní

Ing. Martin Jacura, Ph.D., Ing. Tomáš Javořík, Ph.D., Ing. Bc. Jan Kruntorád, Ing. Tomáš Třasák, Ph.D., doc. Ing. Lukáš Týfa, Ph.D.

Prosinec 2024

Obsah

1.	VŠEOBECNÁ A ÚVODNÍ USTANOVENÍ.....	3
1.1.	Cíl metodického postupu.....	3
1.2.	Zkratky a značky.....	3
1.3.	Uplatnění metodického postupu.....	4
1.4.	Novost postupů.....	4
1.5.	Ekonomické aspekty.....	5
2.	Metodika opto-akustické diagnostiky emisní hlučnosti železničního svršku.....	5
2.1.	Aktuálně používané konvenční metody diagnostiky železničního svršku.....	5
2.1.1.	Diagnostika koleje.....	6
2.1.2.	Zrychlení přenášená na nápravy vozidel.....	8
2.1.3.	Kontrola průjezdného průřezu.....	8
2.1.4.	Materiálová integrita.....	9
2.2.	Nově implementovaná metoda akustické diagnostiky emisní hlučnosti železničního svršku.....	9
2.3.	Principy párování a synchronizace dat stávajících metod s daty akustické diagnostiky.....	14
3.	Posuzování emisní hlučnosti železničního svršku.....	16
3.1.	Základní okrajové podmínky pro analýzu emisní hlučnosti železničního svršku.....	16
3.1.1.	Podmínky pro měření.....	16
3.2.	Požadavky na subjekty provádějící sběr a analýzu dat.....	17
3.3.	Zkoumané a vyhodnocované parametry.....	18
3.3.1.	Dlouhodobé sledování akustického vývoje.....	18
3.3.2.	Detekce anomálie.....	19
3.4.	Technické vybavení potřebné k provedení analýzy.....	19
3.4.1.	Senzorická část.....	19
3.4.2.	Vyhodnocovací část.....	20
3.4.3.	Principy datových přenosů a komunikace.....	22
3.5.	Postup diagnostiky emisní hlučnosti železničního svršku.....	22
3.5.1.	Instalace systému.....	22
3.5.2.	Připojení k synchronizační jednotce vozidla.....	23
3.5.3.	Integrace do počítačových sítí vozidla.....	23
3.5.4.	Inicializace a kalibrace.....	24
3.5.5.	Průběh měření.....	24
3.5.6.	Analýza dat.....	24
3.6.	Hodnoticí kritéria.....	25
3.6.1.	Sledování dlouhodobých trendů emisní hlučnosti železničního svršku.....	25
3.6.2.	Princip identifikace prvků traťové technologie a případných lokálních anomálií.....	25
4.	Možnosti budoucího rozvoje akustické diagnostiky emisní hlučnosti železničního svršku.....	26
5.	Závěrečná sdělení.....	27
6.	Literatura.....	27
7.	Seznam publikací, které předcházely vydání metodického postupu.....	27

1. VŠEOBECNÁ A ÚVODNÍ USTANOVENÍ

1.1. Cíl metodického postupu

Metodický postup popisuje novou metodu hodnocení emisní hlučnosti železničního svršku (ŽSv), jejímž principem je kombinace optických a akustických snímačů v blízkém poli kontaktu kolejnice s náolkem a okolkem kola železničního vozidla, což umožňuje izolaci emisní hlučnosti samotného odvalování kola po kolejnici od ostatních jevů, které jsou příčinou hluku při jízdě železničního vozidla. Díky aplikaci této metody je tak možné analyzovat a hodnotit akustickou emisi pouze samotného ŽSv (bez příspěvku ostatních původců hluku při jízdě železničního vozidla) a průběžně, systematicky a neinvazivně sledovat kvalitu ŽSv v projížděném úseku, a to v podstatně kratším čase než při statických metodách měření. Včasná detekce a sledování trendu emisní hlučnosti ŽSv umožňuje optimalizovat údržbu a prodlužuje životnost kolejnic a nadbytečné hlukové emise, přičemž forma detekce významně podporuje digitalizaci procesů.

Metoda poskytuje nový typ diagnostických dat, která lze vhodnou interpretací využít pro potřeby provozovatelů železniční dopravní cesty a orgánů státní správy při krátkodobém i dlouhodobém plánování rozvoje a spravování železniční dopravní cesty (infrastruktury).

1.2. Zkratky a značky

AGP – zrychlené závady

AL – mez sledování (Alert Limit)

CTD – Centrum techniky a diagnostiky (organizační složka SŽ)

EM100 – speciální hnací vozidlo pro diagnostiku železničního svršku

GMS – měřicí systém (Generic Measurement Software)

GNSS – globální družicový polohový systém (Global Navigation Satellite System)

GPk – geometrické parametry koleje

IAL – mez bezodkladného zásahu (Immediate Action Limit)

IL – mez zásahu (Intervention Limit)

IMU – inerciální měřicí jednotka (inertial measurement unit)

IS – informační systém

KLD – vzorkování metodou Kullback-Leibler (Kullback-Leibler distance)

MD – měřicí drezína pro železniční svršek

MD ČR – Ministerstvo dopravy České republiky

MMD – malá měřicí drezína pro železniční svršek

MP – metodický postup (tento dokument)

MVŽSv – měřicí vůz pro železniční svršek

MVŽSv2 – měřicí vůz Správy železnic pro železniční svršek MVŽSv2

NTP – protokol pro synchronizaci času v počítačových systémech (Network Time Protocol)

ORIAN – optický systém pro měření příčného profilu kolejnic (Optical Rail Inspection and Analysis)

PSST – provozní stav sítě tratí

QMP – čtvrtmetrový puls (Quarter Meter Pulse)

SORUT – systém operativního řízení údržby tratí

STŘD – Stavební a technický řád drah
SŽ – Správa železnic, státní organizace
TTL – tranzistorově-tranzistorová logika
TUDU – traťový a definiční úsek
ŽSv – železniční svršek

Pokud není u obrázku uveden zdroj, pochází od autorského týmu metodického postupu.

1.3. Uplatnění metodického postupu

Tento metodický postup se použije při diagnostice technického stavu železničního svršku, zejména (nikoli však výlučně) s ohledem na jeho emisní hlučnost, detekci anomálií a sledování dlouhodobého vývoje a trendů emisní hlučnosti a akustického projevu železničních kolejí.

Metodický postup a informace v něm uvedené představují návrhové znění možné praktické podoby aplikace dynamické opto-akustické metody hodnocení emisní hlučnosti železničního svršku. Je zpracován na základě zkušeností z realizace stejnojmenného projektu VaVal v letech 2021-2024, který byl spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci Programu DOPRAVA 2020+.

Pro plnohodnotnou praktickou implementaci nové metody je nezbytné její začlenění do stávajících diagnostických postupů provozovatele dráhy a související formální ukotvení v jeho vnitřních předpisech. Součástí tohoto procesu mohou být dílčí úpravy zde představených postupů v zájmu specifických potřeb daného provozovatele (např. přizpůsobení použité technologie konkrétnímu vozovému parku diagnostických vozidel, které má k dispozici). Metodický postup zůstává platný i v těchto případech, pokud jsou zachovány základní principy a deskriptory. V případě pochybností potřebnou součinnost při praktické implementaci poskytne MD ČR jakožto schvalující orgán, ve spolupráci s autorským kolektivem.

Některé technické detaily předkládaného postupu mohou být specifické pro aplikaci metody na diagnostickém vozidle MVŽSv2, které bylo použito pro testovací jízdy v rámci předmětného výzkumného projektu. V případě aplikace metody na jiných diagnostických vozidlech je nutné dílčí přizpůsobení technologické části při dodržení principů viz předchozí odstavec.

1.4. Novost postupů

Postupy předkládané v uvedeném metodickém postupu jsou v takto komplexním rozsahu nové a zatím nebyly využívány pro hodnocení a analýzu ŽSv. Před jeho vydáním neexistoval jednotný postup k objektivnímu a systematickému hodnocení emisní hlučnosti konstrukce ŽSv s možností sledování časových trendů vývoje a vzájemného porovnání ŽSv různého typu a různých stavů. Zejména parametry hluku jsou v aplikaci vysoce inovativní. Parametr hluku železniční dopravy je v dosud konvenčně používaných metodách hodnocen pouze pro průjezd vlaku jako celku (včetně všech původců hlukové zátěže – pohony, aerodynamika apod.). Předkládaná metoda oproti tomu umožňuje hodnocení emisní hlučnosti samostatné a izolované konstrukce železničního svršku.

1.5. Ekonomické aspekty

Předkládaná metoda hodnocení emisní hlučnosti ŽSv přináší nový ekonomicky dostupný a časově nenáročný nástroj pro efektivnější způsob návrhu a provozování železniční dopravní cesty za účelem snížení hlukové zátěže emitované do okolí infrastruktury. V souvislosti s potenciálem dílčí redukce emisní hlučnosti ŽSv bude možné redukovat část nákladů souvisejících s konvenčními pasivními protihlukovými opatřeními (valy, zářezy, clony apod.), které při dodržení pravidel a průběžného monitoringu a údržby trati novou metodou nebudou muset být realizovány v tak velkém rozsahu.

Metodu bude v budoucnu možné využít i pro potřeby akustické defektoskopie železničního svršku (lokální defekty, nadměrné obroušení, drsnost kolejnic apod.). Použitá senzorická část navržená na akustickém principu je pak v pořizovacích a provozních nákladech výrazně levnější než jiné běžně používané defektoskopické metody (např. laser nebo ultrazvuk).

Sekundárním ekonomickým přínosem pak může být redukce množství stížností na hluk z provozu železniční infrastruktury od vlastníků dotčených objektů a oblastí, tedy redukce administrativních nákladů na vypořádání těchto stížností a poskytnutí nového argumentačního nástroje v podobě metodiky schválené odpovědným orgánem státní správy – Ministerstvem dopravy ČR.

2. Metodika opto-akustické diagnostiky emisní hlučnosti železničního svršku

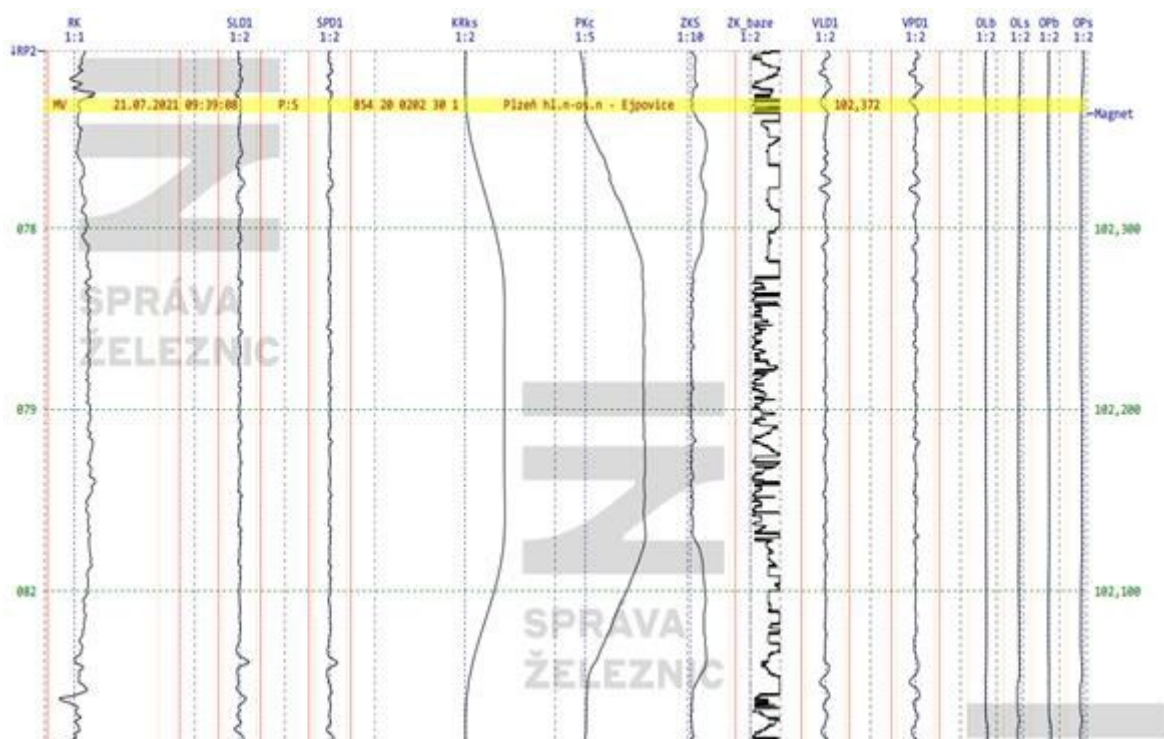
2.1. Aktuálně používané konvenční metody diagnostiky železničního svršku

V rámci měření železničního svršku se v současnosti nejvíce uplatňují čtyři základní skupiny diagnostických metod:

- Geometrie kolejnic a koleje
 - Geometrické parametry koleje (GPK)
 - Příčný profil kolejnic
 - Mikrogeometrie kolejnic
- Zrychlení přenášená na nápravy vozidel
 - Laterální a vertikální
- Kontrola průjezdného průřezu
 - Snímkování trati
 - Osové vzdálenosti sousedních kolejí
 - Laserová kontrola průjezdného průřezu koleje
 - Skenování povrchu (tvaru) kolejového (šterkového) lože
- Materiálová integrita kolejnice
 - Ultrazvuková defektoskopie

2.1.1. Diagnostika koleje

Geometrické parametry koleje (GPK) hodnotí kvalitu provedení železničního svršku koleje nebo její stav za provozu. Mezi tyto parametry patří směr a výška obou kolejnicových pásů a osy koleje, rozchod koleje a jeho změna, převýšení koleje a zborcení koleje. Všechny tyto parametry jsou hodnoceny v rámci uceleného datového balíku, který popisuje celkový stav koleje ve vztahu k tolerancím jejího opotřebení, které zajišťuje především bezpečnost jízdy železničního vozidla. K měření GPK se nejčastěji využívá kombinace moderních inerciálních jednotek (IMU), laserových snímačů a přesné geolokalizace pomocí GNSS systémů.



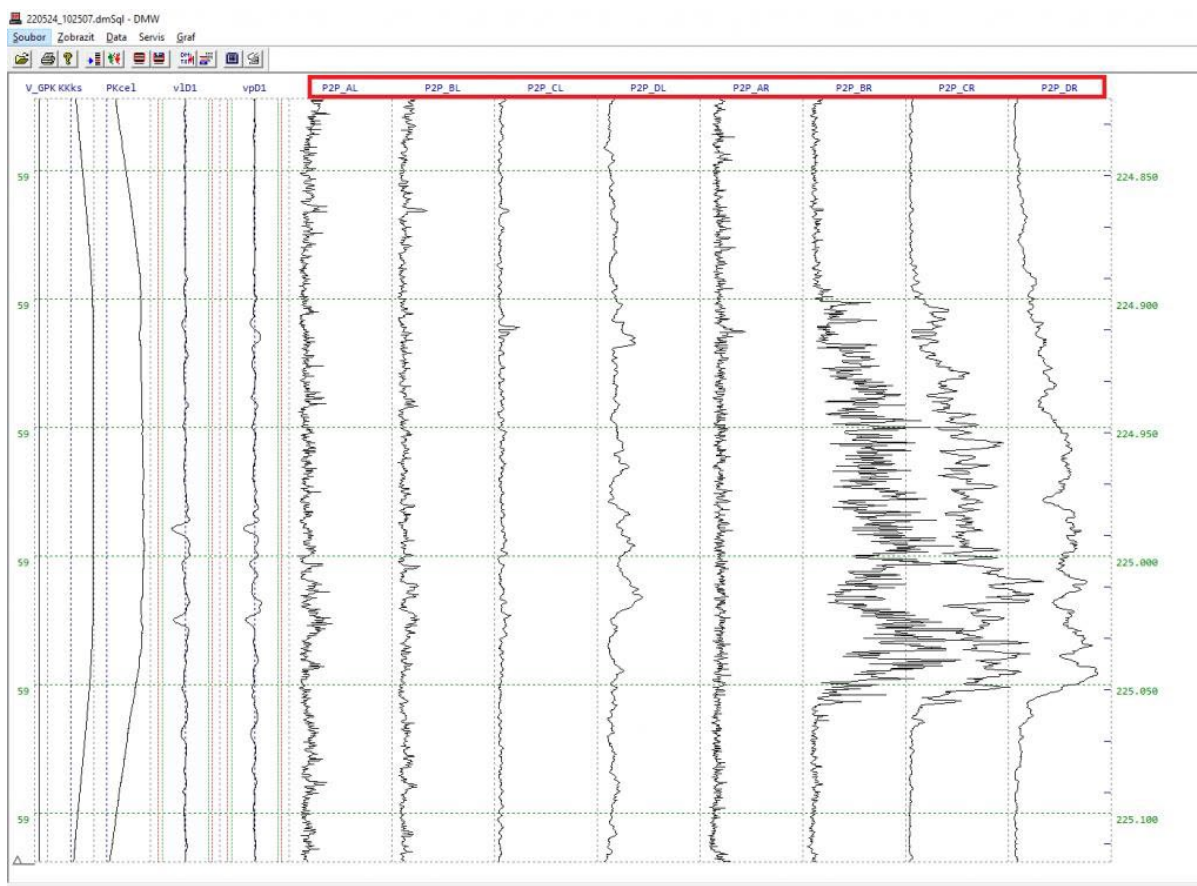
Obrázek 1: Ukázka dat GPK (zdroj: CTD SŽ)

Druhým sledovaným klíčovým parametrem je příčný profil kolejnic. K tomu se využívá nejrůznějších bezkontaktních senzorických systémů, zpravidla založených na optickém principu, buď čistě laserových, nebo v kombinaci laseru a vysokorychlostních kamer. Hlavním účelem tohoto systému je vyhodnotit tvar a úklon kolejnice a její boční a svislé ojetí. Tyto parametry jsou klíčové z hlediska bezpečnosti jízdy a vhodného nastavení plánu údržby.



Obrázek 2: Ukázka dat příčného profilu kolejnice (zdroj: CTD SŽ)

Poslední sekci měřených kvalitativních parametrů koleje je pak měření mikrogeometrie hlavy kolejnice, tedy části, která přichází do přímého kontaktu s železničními koly, a je tedy nejvíc opotřebovávanou částí ŽSv. K tomu se ve většině případů využívá optických systémů s několika laserovými měřicími zařízeními umístěnými za sebou tak, aby bylo možné vyhodnocovat vlnovitost kolejnice v několika různých vlnových pásmech dle charakteru koleje.



Obrázek 3: Ukázka dat mikrogeometrie koleje (zdroj: CTD SŽ)

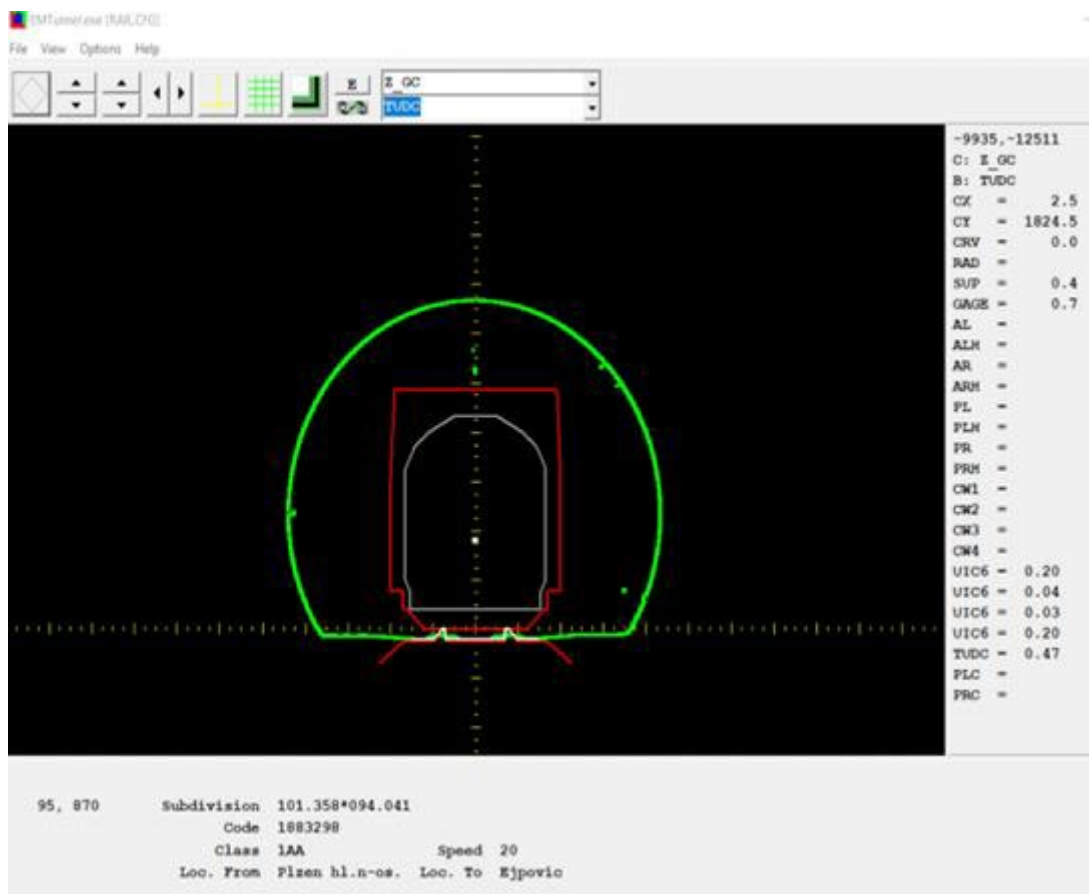
2.1.2. Zrychlení přenášená na nápravy vozidel

Laterální a vertikální zrychlení přenášená na nápravy projíždějících vozidel přímo souvisí s kvalitou ŽSv a opotřebením namáhaných komponentů podvozků železničních vozidel. Tyto veličiny jsou nejčastěji snímány pomocí vhodně umístěných akcelerometrů na podvozku měřícího vozidla. Tato data slouží primárně k hodnocení kvality provedení a stavu míst, kde může docházet k nepříznivým dynamickým vlivům na železniční vozidla, jako jsou kolejnicové styky, výhybky apod.

2.1.3. Kontrola průjezdného průřezu

Hlavním úkolem systému kontroly průjezdného průřezu koleje je zhodnotit vzdálenost pevných překážek od koleje. Cílem tohoto měření je odhalit případné překážky na trati, které by mohly přímo ohrozit průjezd železničních vozidel, popř. upozornit na negativní trendy týkající se možných sesuvů svahů zářezu nebo sesuvů zrn šterku kolejového lože, popř. posunu kolejového roštu a s tím související zmenšení osové vzdálenosti pojížděné a sousední koleje.

K hodnocení těchto parametrů se využívá kombinace snímkování trati pomocí vysokorychlostních kamer a laserových systémů, které jsou schopny reprodukovat 2D profil.



Obrázek 4: Ukázka dat průjezdného profilu (zdroj: CTD SŽ)

2.1.4. Materiálová integrita

Poslední možnou diagnostickou metodou aplikovanou na konstrukci ŽSv je kontrola materiálové integrity kolejnic. S ohledem na technologickou náročnost provedení těchto zkoušek se zpravidla tyto neaplikují plošně tak jako výše popsané metody, ale pouze cíleně v případě konkrétního podezření na vadu či narušení materiálové integrity konkrétního úseku koleje. Využívá se k tomu technologií např. ultrazvukové či radarové defektoskopie, jejímž úkolem je odhalit vnitřní materiálové vady kolejnic, které nejsou viditelné ani identifikovatelné žádnou z „povrchových“ metod.

2.2. Nově implementovaná metoda akustické diagnostiky emisní hlučnosti železničního svršku

Rozhodujícími interními předpisy dominantního českého provozovatele železničních drah Správy železnic, státní organizace, pro organizaci a provádění prohlídek a následnou diagnostiku kolejí jsou předpisy SŽ S2/3 [1] a S2/4 [2]. Ty stanoví rozsah a periodicitu jednotlivých kontrolních činností. Opto-akustická měření dle nově předkládané metody jsou koncipována tak, aby se stala možnou, případně nedílnou součástí již existujících měření parametrů železniční dopravní cesty, zejména s ohledem na její snadnou implementaci do

zavedených a fungujících systémů. Opto-akustická měření se zapracují do výše uvedených předpisů, především pak do SŽ S2/4 [\[2\]](#) – konkrétně do příloh:

- Měření geometrického a konstrukčního uspořádání koleje zařízením s kontinuálním záznamem,
- Měření vzájemné výškové polohy kolejnicových pásů a rozchodu ve výhybkách a prohlídka výhybek,
- Nedestruktivní kontrola kolejnic, srdcovek, jazyků výhybek a vizuální prohlídka jejich svarů.

Konkrétně měřicí a vyhodnocovací systém vozu MVŽSv2 je koncipován následujícím způsobem:

Bezkontaktní měřicí systém geometrických parametrů koleje (GPK) je založen na inerciální měřicí jednotce (IMU) obsahující tři snímače úhlové rychlosti a tři akcelerometry. Z měřených úhlových rychlostí a akcelerací se vyhodnocují tzv. prostorové křivky pohybu vozu. Měření rozchodu koleje, návaznost polohy IMU vůči koleji a snímání příčného profilu kolejnic zajišťují čtyři optické jednotky s lasery (dvě jednotky KLD ORIAN použité i pro měření profilu kolejnic a dvě jednotky KLD GMS).

Z prostorové křivky opticky navázané na kolej se vyhodnocují následující parametry:

- směr koleje a jednotlivých kolejnic
- výška koleje a jednotlivých kolejnic
- převýšení koleje
- křivost koleje

Díky dvěma dvojicím optických jednotek lze parametry GPK vyhodnocovat i při nejnižších měřicích rychlostech. Veličiny GPK jsou hodnoceny v kroku 0,25 m až do maximální rychlosti 200 km/h. Jednotlivé naměřené signály jsou vyhodnocovány během měření ve třech standardních vlnových pásmech (D0, D1, D2). Pro parametry rozchod koleje a převýšení koleje se hodnotí i jejich celkový signál.

IMU je doplněno přesným přijímačem GNSS pro přiřazení polohových souřadnic k měřeným datům. V případě výpadku příjmu GNSS (zejména v tunelech) jsou po přechodnou dobu souřadnice dopočítávány z měření jednotkou IMU.

Měřicí systém příčného profilu kolejnic umožňuje měření příčného profilu obou kolejnicových pásů. Tato měření se provádějí optickými jednotkami KLD ORIAN. Kamery těchto jednotek snímají obraz příčného profilu kolejnice vytvořený laserovým paprskem. Snímaný profil je porovnáván se vzorovými profily kolejnic. Z vyhodnocených odchylek měřeného profilu oproti vzorovému profilu se určuje míra opotřebení kolejnic.

Měřicí vůz MVŽSv2 je vybaven měřicím systémem pro měření mikrogeometrie povrchu hlavy kolejnice. Dvě měřicí jednotky jsou umístěny v blízkosti temene každého kolejnicového pasu. Měřicí systém je bezkontaktní optický.

Měřicí vůz MVŽSv2 je rovněž vybaven dvojicí kamer, které jsou umístěny v přední a zadní části vozidla. Kamery jsou orientované ve směru jízdy tak, aby zabíraly prostor měřené koleje. Snímkovací krok kamer činí 20 m. K jednotlivým snímkům je přiřazována kompletní trasová informace. Kvalita fotografií je ovlivněna povětrnostními a světelnými podmínkami během měření. Tento systém může být využit pro ověření vlivů dalších faktorů měření, např. souběžné zárubní zdi a dalších prvků infrastruktury.

Konstrukce systému pro opto-akustické měření umožňuje montáž a zapojení systému v rámci běžných přípravných prací před vlastní jízdou vozu, stejně tak demontáž nevyžaduje nadstandardních časových nároků oproti stávajícím postupům.

Pro dlouhodobé sledování vývoje kvality tratě je žádoucí měřit daný traťový úsek vždy stejným diagnostickým prostředkem. Ve vztahu k požadavkům STŘD [3] a předpisu SŽ S2/3 [1] jsou všechny dotčené měřicí prostředky vzájemně nahraditelné, při nedostupnosti jednoho měřicího prostředku lze pro měření využít jiný (MVŽSv, MVŽSv2, EM100, MD a MMD), přičemž montáž měřicího systému může být upravena pro univerzální použití na těchto měřicích prostředcích. Jednoduchost konstrukce umožňuje manipulaci a instalaci/demontáž jedním, výjimečně dvěma proškolenými pracovníky. Sběr dat je automatizovaný a během jízdy vozu bezobslužný, tj. po zapojení a zahájení měření nevyvolává žádné personální nároky. Měřicí systém je propojený a synchronizovaný se systémy na MVŽSv2 již instalovanými, což umožňuje využití kupř. polohových dat pro lokalizaci hlukových emisí a jejich přiřazení ke konkrétnímu měřenému úseku. Toho lze využít pro zkoumání závislostí mezi naměřenými hodnotami hluku a skutečným stavem ŽSv v měřeném úseku.

Záznamy o provedených kontrolách a jejich výsledky se evidují výhradně elektronicky v příslušných informačních systémech (IS PSST, SORUT). Část SORUT je tvořena souborem modulů, z nichž některé jsou určeny zejména pro evidenci kontrolní činnosti, závad, stavu tratí a provedených prací. Součástí jsou také analytické nástroje pro vytváření přehledů o vývoji stavu tratí podle jejich součástí a parametrů a pro plánování a hodnocení účinnosti, kvality a stability údržbových a opravných prací na železniční dopravní cestě.

Předpokládá se budoucí plné začlenění dat emisí hluku z navržené metody do stávajícího systému diagnostických měření železničního svršku CTD SŽ při respektování jejich harmonogramu (neuvažuje se zařazení dalšího stupně kontrolních jízd nad rámec předpisu SŽ S2/3 [1]). Záznamy o provedených měřeních a jejich výsledky se evidují výhradně elektronicky v příslušných informačních systémech v odpovídající struktuře dat tak, aby mohly být pokud možno evidovány, resp. identifikovány:

- závady, které jsou závadami ve smyslu příslušných dokumentů a předpisů a souvisejících technických norem,
- zjištění, která nejsou závadami, ale jejich evidence je využívána pro plánování opravných prací,

- informace, že nebyla identifikována žádná závada nebo zjištění ve smyslu předchozích dvou bodů.

Hodnocení výsledků měření emisí hluku takto naváže na metodiku hodnocení geometrických parametrů koleje (GPK) dle předpisu SŽ S2/4 [2]. Metodika hodnocení GPK dle tohoto přepisu vychází z hodnocení lokálních závad a úsekového hodnocení měřícími prostředky s kontinuálním záznamem (např. vůz MVŽSv2) a vychází ze statistické analýzy hodnot směrodatných odchylek jednotlivých základních veličin pro úseky trati stanovené délky. Úsekové hodnocení je založeno na výpočtu směrodatných odchylek (SDO), které jsou přepočteny na známky kvality.

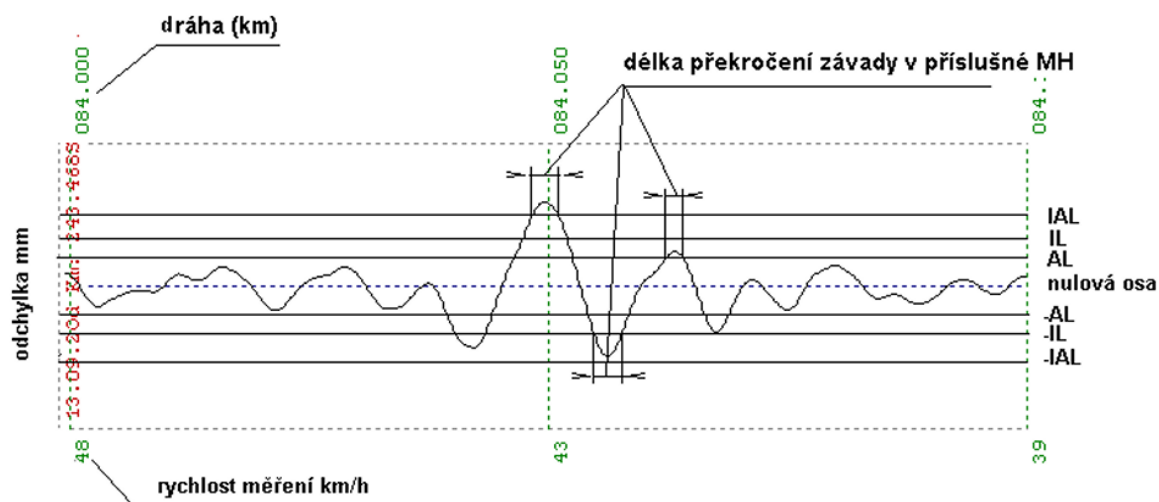
Známky kvality jsou bezrozměrné parametry úsekového hodnocení, rozdělené dle stávajícího znění předpisu do tří skupin:

- známky kvality definovaných parametrů (ZKV),
- celková známka kvality (CZK),
- známka podbíjení (ZP).

Známky kvality jsou navrženy tak, aby pro dané rychlostní pásmo měly statistické rozdělení pravděpodobností s průměrem (střední hodnotou) 3. Mezní hladinou pro hodnocení vyhovujících tratí za provozu pro jednotlivé známky je hodnota 4 včetně. Tato hodnota sama o sobě není bezpečnostním kritériem, ale vyjadřuje žádoucí standard údržby.

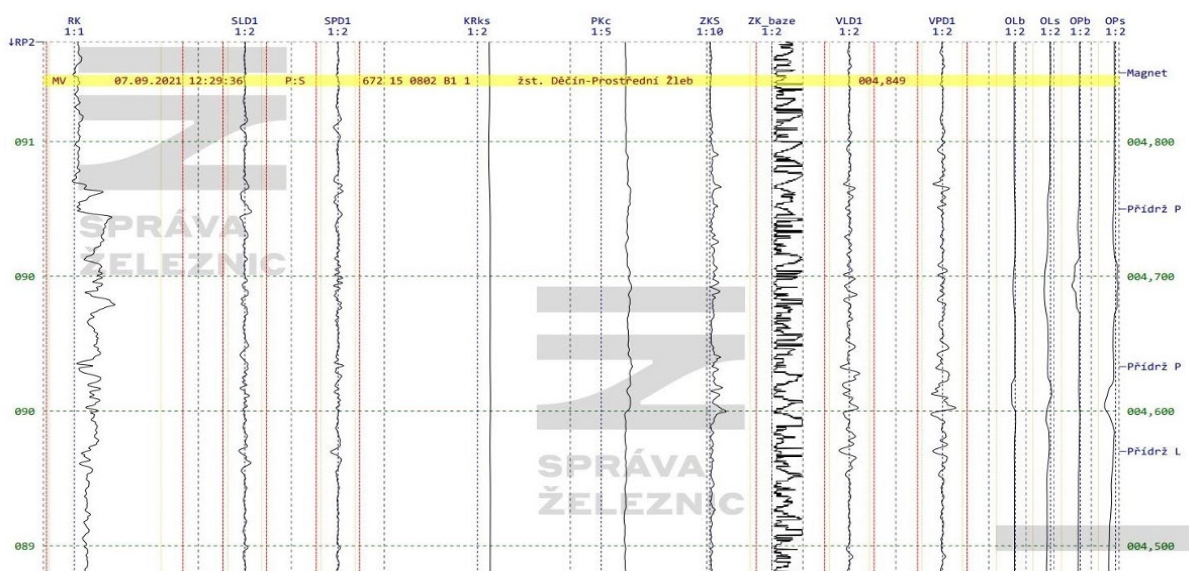
Hodnocení lokálních závad je vždy vztaženo k příslušnému rychlostnímu pásmu a dále k jednotlivým účelům hodnocení. Buď se jedná o hodnocení GPK v rámci přejímacích prací, anebo posuzování stavu GPK za provozu.

Délka překročení mezní hladiny pro příslušné rychlostní pásmo je zřejmá z Obrázku 5. Mezní hladiny AL a IL jsou ve vztahu k normě ČSN 73 6360-2 [4] definovány jako provozní odchylky GPK a mezní hladina IAL jako mezní provozní odchylka GPK, která v případě překročení vyžaduje bezodkladné opatření pro zajištění bezpečného provozu. Příslušné rychlostní pásmo je vždy uvedeno v záhlaví výpisu lokálních vad a úsekového hodnocení a mezní hodnoty jednotlivých hladin jsou pro toto rychlostní pásmo automaticky nastavovány. Ve výpisu lokálních závad a úsekového hodnocení je uvedeno vždy překročení nebezpečnější hladiny s odpovídající délkou závady v této hladině. Závady jsou lokalizovány svým koncem, jako doplňující informace se zaznamenává lokalizace maxima závady.



Obrázek 5: Definice délky překročení mezní hladiny MH (zdroj: [3])

Výsledky měření se zpracují do výstupních sestav. Předpokládá se sestava grafická, která zobrazuje průběh geometrických parametrů koleje v předepsaném formátu (příklad Obrázek 6), a textový přehled lokálních závad a úsekového hodnocení (příklad Obrázek 7).



Obrázek 6: Příklad grafické výstupní sestavy (zdroj: [3])

E.1 Výstupní sestava okamžitého a úsekového hodnocení měřených veličin GPK MVŽSv pro RP0 až RP2

		AGP-L2	
MV	Postavení: S	Datum měření: 07.09.2021 12:29	Strana: 8
<672 15 0802 B1 1>		Zaváděcí soubor: DC1362.txt	
žst. Děčín-Prostřední Žleb		Startovací km : 004.850	
004,850 003,182			
RP 0-5, v09.46=====MH2010=====			
Km: 4	Příčný směr [mm]	Svislý směr [mm]	RP2 MH1
SL	SP	ZR	RK
		ZKS	VL
			VP
			Objekt
nHŽ	0	0	0
SDO 20m	1000	900	800
	700	600	500
	400	300	200
	100	0	0
			Km÷ 849m
Směr			
Rozchod	:	!	.
Převýšení		!	:
Výška	.	:	!
			!
Mez.hl. RK100			
Známky kvality	SK	RK	PK
			VK
			CZK
			ZP
004.800	2.14	0.71	0.57
004.600	2.07	3.52	2.69
004.400	1.92	1.14	2.12
004.200	1.18	1.42	2.51
004.000	2.15	1.44	1.30
Km	1.88	2.03	2.17
			2.50
			2.03
			2.03
Ojetí 20m	1000	900	800
	700	600	500
	400	300	200
	100	0	0
levé boční			
levé svislé			
pravé boční			
pravé svislé			

Obrázek E.1.1 - Výstupní sestava okamžitého a úsekového hodnocení měřených veličin GPK MVŽSv pro RP0 až RP2

Obrázek 7: Příklad textového přehledu lokálních závad a úsekového hodnocení (zdroj: [3])

Naměřená data jsou po ukončení měření odeslána do oddělení diagnostiky železničního svršku CTD, kde proběhne jejich uložení do IS PSST a vytvoření digitálního výpisu a grafického výstupu závad AGP a elektronicky rozeslány příslušným zaměstnancům. Tito zaměstnanci provedou dle pravidel vnitřního předpisu příslušná opatření. Základním dokladem ve vztahu k požadavkům vyhlášky STRD [3] je finální výstup měření v digitální podobě, který je prostřednictvím IS PSST k dispozici všem uživatelům tohoto informačního systému.

2.3. Principy párování a synchronizace dat stávajících metod s daty akustické diagnostiky

Aby data o emisní hlučnosti (akustickém tlaku) z jednoho či více mikrofónů (osazených na jednom či obou kolech dvojkolí železničního vozidla) byla dále využitelná ve vztahu k hodnocení železniční koleje, je nutné hodnoty naměřené veličiny vztáhnout k místu, kde byly získány. U liniových dopravních staveb je jakákoli lokalita primárně určena tzv. staničením, tj. vzdáleností od stanoveného referenčního bodu, a číslem koleje u víceokolejné tratě nebo v dopravně s kolejovým rozvětvením. Jestliže se v průběhu užívání tratě změní např. vlivem zřízení přeložek délka úseků mezi referenčním bodem (začátkem staničení) a některými body staničení, kilometrická poloha se obvykle nepřepočítává, a staničení tak zůstává neměnné.

Na vymezené železniční síti se obvykle totožných hodnot staničení nachází více (sít' je složena z jednotlivých žel. tratí), proto musí být pro jednoznačnou identifikaci ještě přesně specifikován železniční úsek s daným staničením – v případě Správy železnic, státní organizace, je to číslem tratě a číslem definičního úseku (TUDU) [5].

Ovšem v zásadě všechny senzory (včetně mikrofónů) předávají svá naměřená data v předem stanoveném časovém intervalu. Disponují také obvykle současně svými vnitřními hodinami skutečného času, případně je možné je napojit na určitý centrální zdroj času pro synchronizaci času více senzorů, tudíž je pak možné stanovit přesný čas (reálný nebo od zvoleného počátku měření), ve kterém byla konkrétní hodnota zaznamenávané veličiny změřena.

Pro určení přesné polohy hodnot měřené veličiny je možné využít více možností:

- 1) V případě, že je k dispozici přesný údaj o rychlosti jízdy železničního vozidla osazeného mikrofony, je možné ujetou vzdálenost mezi po sobě následujícími hodnotami měřené veličiny spočítat vynásobením časového intervalu mezi nimi aktuální rychlostí. Přesnost tohoto způsobu určení polohy se odvíjí od přesnosti stanovení rychlosti a od délky časového intervalu, protože během něho se rychlost může měnit.
- 2) K měřeným hodnotám lze přiřazovat polohu systémem zeměpisných souřadnic (zeměpisná šířka a délka) některého z globálních satelitních navigačních systémů (GNSS) – v Evropě nejčastěji GPS a GALILEO. U těchto systémů navíc v současnosti je možné využít více frekvenčních pásem, a umožnit tak přesnější určování polohy. Další možnost zpřesnění polohy umožňuje síť pozemních stanic, které přes internet přijímači signálu z GNSS poskytují korekční data i v reálném čase – pro území ČR je to státní síť permanentních stanic CZEPOS provozovaná Zeměměřičským úřadem. Následně je však nutné polohu v zeměpisných souřadnicích přiřadit ke staničení trati a k příslušné koleji. Je možné využít ujetou vzdálenost změřenou právě ze systémů GNSS.
- 3) Ujetou vzdálenost je možné měřit tzv. odometrií, která je využívána např. i pro zabezpečovací systém ETCS. Odometrie železničního vozidla spočívá ve snímání počtu otáček kola na vozidle a jeho násobením obvodem kola. Průměr, a tedy i obvod kola, při odvalování po kolejnici však nejsou konstantní – kromě opotřebení kola je tvar nákolku kola záměrně profilovaný tak, aby kolo mohlo zaujímat při průjezdu směrovým obloukem takovou polohu, aby nedocházelo k prokluzu ani jednoho z obou kol pevně nalisovaných na nápravě.

Ve všech případech je nutné číslo koleje, tratě a TUDU zadat ručně před zahájením měření, případně dodatečně při post-processingu naměřených dat, což nepředstavuje výraznou námahu. Přesnost určení polohy podle výše uvedených variant se také může velmi lišit podle rychlosti jízdy vozidla osazeného senzory.

Nicméně při použití kterékoli výše uvedené metody určení polohy naměřených dat je nutná její korekce podle fixních bodů v koleji či v její blízkosti, které mají přesné staničení (kilometrickou polohu) předem známé. Jako nejjednodušší se jeví využití nepřepínatelných balíz zabezpečovacího systému ETCS, který se postupně (v různých úrovních) rozšiřuje na celou veřejnou železniční síť (dráhy celostátní a regionální). Zařízení na čtení informací z balíz (vysílá signál, který aktivuje balízu k vyslání signálu s jejím jedinečným kódem) přečte její identifikační kód a z databáze balíz pak získá její přesnou polohu v železniční síti. Snímač

informací je však na pořízení a provoz poměrně nákladným zařízením, proto je možné si případně na vymezené části sítě po svolení jejího provozovatele, resp. správce, osazovat pro tyto účely vlastní levnější zařízení s předem definovanou přesnou polohou – např. na principu RFID čipů.

3. Posuzování emisní hlučnosti železničního svršku

Valivý hluk kola po kolejnici je specifický zdroj hluku, kdy dochází ke styku dvou kovových těles. V České republice je takový způsob měření valivého hluku kola po kolejnici unikátní. Daným měřením se dají sledovat dva rozdílné faktory emisní hlučnosti železničního svršku:

- 1) Dlouhodobý monitoring, kdy při opakovaném průjezdu zájmovou oblastí dochází k záznamu akustického tlaku, a je tak možné sledovat dlouhodobý vývoj a trendy emisní hlučnosti ŽSv v daném úseku v průběhu času (např. ve vztahu k průběžnému opotřebení kolejnic).
- 2) Sledování anomálií na ŽSv, kdy při pojíždění kola po kolejnici dochází na malé ploše ke styku kola a kolejnice. Při jakékoliv geometrické anomálii dojde k vygenerování většího množství akustického tlaku na styku kola a kolejnice, který je zaznamenán měřicím mikrofonom.

3.1. Základní okrajové podmínky pro analýzu emisní hlučnosti železničního svršku

3.1.1. Podmínky pro měření

Jako okrajové podmínky jsou definovány ty, které výraznějším způsobem ovlivňují samotné měření a jeho výsledky. Konkrétně se jedná o:

3.1.1.1. Měřicí rychlost

Ve všech případech se s ohledem na systematičnost a hodnocení reálného stavu hlukové emise železniční dopravy **důrazně doporučuje dodržovat traťové rychlosti daných úseků**, pokud to podmínky a konfigurace měřicího vozidla umožňuje.

Pokud z nějakých důvodů není možné traťovou rychlost udržet, měla by být respektována alespoň následující obecná pravidla:

- pro dlouhodobé sledování je ideální projíždět daný dlouhodobě sledovaný úsek vždy stejnou rychlostí +/- 5 %, aby bylo zajištěno maximální množství validních dat;

- pro detekci anomálií na kolejnicích se pro maximální úspěšnost identifikace doporučuje v celém zájmovém úseku měření držet konstantní rychlost

3.1.1.2. Teplota vzduchu

Měření mohou být prováděna pouze tehdy, pokud je teplota okolního vzduchu v rámci pracovního rozsahu použitých měřicích mikrofونů a dalších komponentů senzorické části, nesmí se však nikdy nacházet mimo interval 0–40 °C)

3.1.1.3. Vlhkost, dešťové a sněhové srážky

Samotná přítomnost vysoké relativní vlhkosti a příp. srážek není omezujícím faktorem z hlediska provádění samotného měření, pokud jsou použity komponenty s odpovídajícím stupněm krytí (viz níže).

Z hlediska validity měřených dat a jejich analýzy v rámci sledování dlouhodobých trendů je však nutné mít na paměti zejména následující stavy:

- přítomnost velkého množství vody na železničním svršku a jeho okolí může výrazně zvýšit měřenou emisní hlučnost trati (rozstřiky vody pod podvozkem apod.) - může tedy dojít k falešné indikaci zvýšené hlukové emise z důvodu nestandardní situace během měření
- přítomnost větší vrstvy souvislé sněhové pokrývky na železničním svršku a jeho okolí může výrazně snížit měřenou emisní hlučnost trati (sníh funguje jako akustický absorbent) - může tedy dojít k falešné indikaci menší hlukové zátěže z důvodu nestandardní situace během měření
- souběh vysoké relativní vlhkosti nebo vody v kapalně formě současně s nízkými teplotami pod cca 5 °C může vést k vytváření námrazy na exponovaných částech senzorického systému a tedy k jeho disfunkci a indikaci nekorektních dat (např. vlivem tuhnutí mikrofonní membrány). Toto riziko lze efektivně eliminovat např. použitím systému aktivního vyhřívání mikrofonních sond.

3.2. Požadavky na subjekty provádějící sběr a analýzu dat

V rámci realizace nově předkládané metody se předpokládá úzká spolupráce relevantní organizační složky provozovatele dráhy zajišťující samotné jízdy měřicích vozidel (např. Centra techniky a diagnostiky v případě Správy železnic) a provozovatele senzorického systému.

Provozovatel senzorického systému by měl mít k dispozici dostatek odpovídající techniky, lidských zdrojů, zkušeností a infrastruktury k zajištění dlouhodobého provozu, správy a údržby senzorického systému s ohledem na potřeby provozovatele dráhy a plány jízd měřicích vozidel, na kterých bude senzorický systém instalován.

Pro potřeby validního vyhodnocení klíčových parametrů a vzhledem k úzké návaznosti na hodnocení komunálního hluku ze železniční dopravy by měl provozovatel senzorického systému disponovat Osvědčením o akreditaci, kterou vydává Český institut pro akreditaci, o.p.s. (akreditační požadavky dle ČSN EN ISO/IEC/ 147025:2018), a to v následujícím minimálním rozsahu:

- ČSN ISO 1996-1 Akustika – Popis, měření a hodnocení hluku prostředí – Část 1: Základní veličiny a postupy pro hodnocení
- ČSN ISO 1996-2 Akustika – Popis, měření a hodnocení hluku prostředí – Část 2: Určování hladin akustického tlaku
- Metodický návod pro měření a hodnocení hluku v mimopracovním prostředí, Věstník MZ ČR, částka 14/2023, část 3

Senzorický systém, související datová infrastruktura a rozsah souvisejících služeb poskytovaných provozovatelem senzorického systému (pravidelný servis, kalibrace apod.) musí být dodány v takové kvalitě a rozsahu, aby byly po celou dobu provozu systému naplněny veškeré technické požadavky na systém, jeho dílčí části a funkce, jak specifikují další části kapitoly 3 níže.

3.3. Zkoumané a vyhodnocované parametry

Základním zkoumaným parametrem v akustických měřeních je akustický tlak. Jedná se o veličinu, která vyjadřuje hladinu zvuku registrovaného v určité vzdálenosti od zdroje zvuku. Akustický tlak představuje změnu atmosférického tlaku ve vzduchu generovanou zdrojem hluku. V tomto případě je zdrojem hluku styk kola železničního vozidla a kolejnice. Naměřená hladina akustického tlaku se uvádí v decibelech (dB).

Měření probíhá na jednom či více mikrofonech umístěných v blízkém poli kola nehnaté nápravy na podvozku železničního vozidla, ideálně vždy po jednom mikrofону na každé straně kolmo na osu kola směřující na styk kola a kolejnice ve vzdálenosti 10 cm od kola železničního vozidla.

3.3.1. Dlouhodobé sledování akustického vývoje

Pro sledování dlouhodobého vývoje a trendů akustické emise železničního svršku se využívají následující deskriptory:

- ekvivalentní hladina akustického tlaku $A L_{A,eq,T}$ (v dB) je energeticky průměrnou ustálenou hladinou akustického tlaku za čas T , která má stejné účinky na člověka během sledovaného časového úseku T jako proměnlivá hladina akustického tlaku za stejný čas;
- maximální hladina akustického tlaku $L_{A,F,max}$ (v dB) je nejvyšší hladina akustického tlaku v daném časovém intervalu;

- akustické spektrum obou parametrů - frekvenční závislost ekvivalentní a maximální hladiny akustického tlaku, a to:
 - v minimální doporučeném rozsahu 20 Hz – 10 kHz, rozsah se může lišit na základě zkoumané problematiky
 - v minimálním rozlišení v třetino-oktávových pásmech.

3.3.2. Detekce anomálie

Při zkoumání hlučnosti anomálií železničního svršku se využívají následující deskriptory:

- hladina špičkového akustického tlaku $L_{C,peak}$ (v dB) je nejvyšší okamžitá hladina akustického tlaku váhovaná filtrem C v daném časovém intervalu.
- maximální hladina akustického tlaku L_{CFmax} (v dB) je nejvyšší hladina akustického tlaku v daném časovém intervalu;

3.4. Technické vybavení potřebné k provedení analýzy

3.4.1. Senzorická část

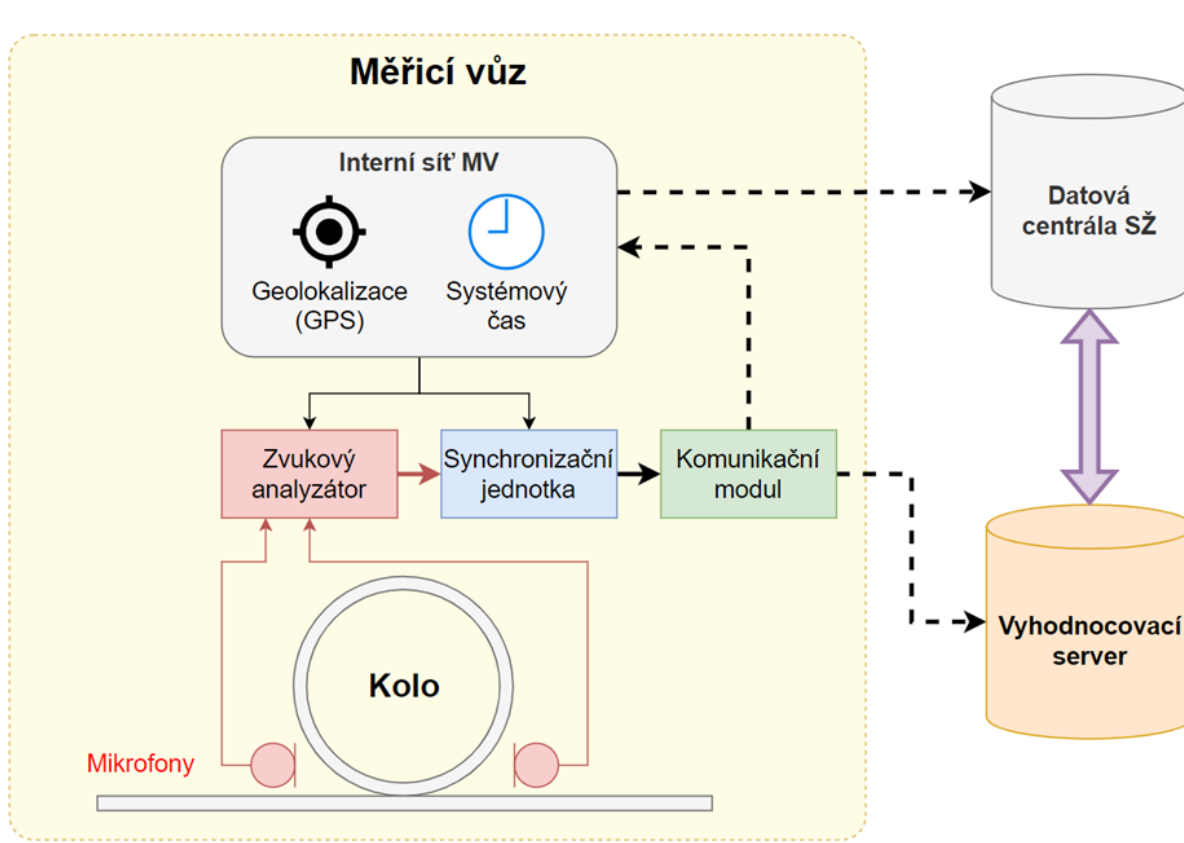
- Přesný měřicí mikrofón s kompatibilním předzesilovačem
 - provedení s vysokou mechanickou odolností
 - vysoký stupeň krytí – minimálně IP67 nebo vyšší
 - třída přesnosti I. dle ČSN EN 61672-1
 - pracovní rozsah teplot min. -20 °C až +40 °C
 - pracovní rozsah relativní vlhkosti min. 20-80 %
- Optické snímače
 - Rozsah používané optické technologie se předpokládá variabilní v závislosti na potřebách a používaných postupech konkrétního provozovatele dráhy a rovněž na dostupnosti ostatní technologie na měřicím vozidle či informacích o geometrii železničního svršku dostupných z externích datových zdrojů.
 - Předpokládá se např. využití jedno- či vícebodových měřicích laserových systémů, které při vhodné konfiguraci a následnému post-procesingu dat jsou schopny za použití poměrně malého množství senzorů měřit jak parametry mikrogeometrie (textura povrchu hlavy kolejnice), tak makrotextury (vlnovitost v několika vlnových pásmech).

- Zajištění synchronizace

- mezi polohovými, akustickými, geometrickými daty a jejich přepočtu na hodnoty délky (v závislosti na rychlosti jízdy)
- včetně případného časové úpravy (zpoždění) dat v závislosti na různém umístění akustických a optických snímačů v měřicí soupravě.

3.4.2. Vyhodnocovací část

Vyhodnocovací část se zabývá zpracováním signálu naměřeném připojenými senzory (mikrofony). Jde především o váhování signálu pomocí vhodných váhových filtrů a následný výpočet potřebných parametrů a deskriptorů.



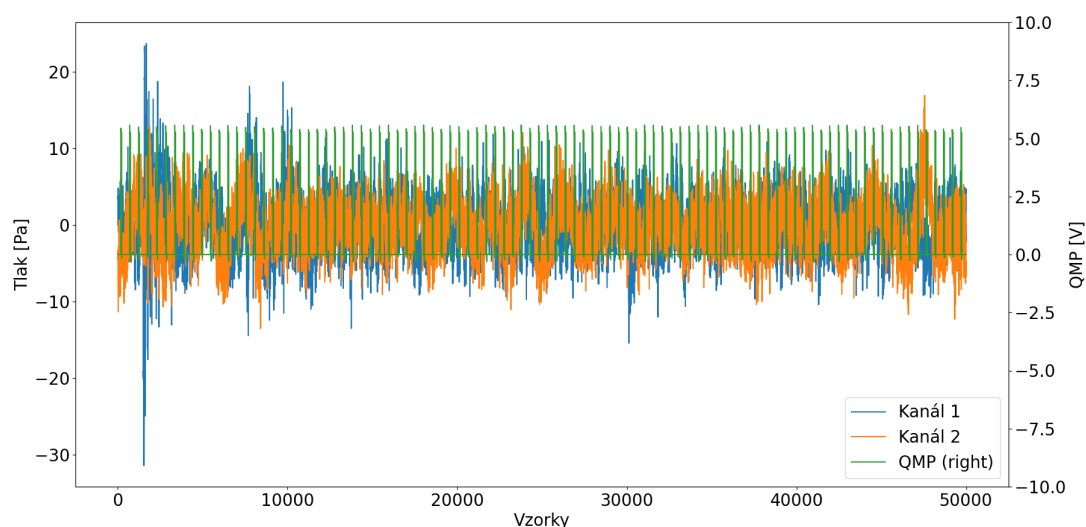
Obrázek 8: Návrhové blokové schéma (varianta pro vůz MVŽSv2)

Při vyhodnocování je nutné zajistit správnou časovou synchronizaci mezi daty akustické analýzy a daty naměřenými ostatními senzory. Při měření na konkrétním testovaném vozidle MVŽSv2 je nejvhodnější využít QMP signál, který vysílá synchronizační jednotka vozidla. Signál má podobu 5 V pulsů o délce 2 ms, vysílaných v intervalu 1/4 metru. Všechny měřené veličiny, stejně jako data z GNSS přijímače vozidla, jsou v MVŽSv2 párovány na tento signál.

QMP je vhodné vzorkovat synchronně s akustickým signálem (například se vzorkovací frekvencí 48 kHz) a následně použít jednotlivé pulsy pro rozdělení akustického signálu do

čtvrtmetrových úseků. Akustické parametry úseku poté mohou být samostatně vyhodnoceny a přiřazeny k ostatním datům.

Způsob segmentace akustického signálu pomocí QMP je znázorněn na následujícím obrázku (zobrazený časový úsek je jedna sekunda, navzorkovaná s frekvencí 50 kHz).



Obrázek 9: Princip segmentace akustických dat signálem QMP

V případě, že není synchronizační jednotka a QMP signál k dispozici (například při měření na jiném vozidle než MVŽSv2), je nutné data synchronizovat jinou metodou, v souladu s platnými interními předpisy provozovatele dráhy a diagnostického vozidla. V případě nutnosti časové synchronizace více zařízení ve stejné síti je možné opět využít společný NTP server.

Pro synchronizaci lze také použít přijímače GNSS, které poskytují přesný čas. Kromě toho může GNSS poskytnout informace o poloze, rychlosti a směru pohybu vozidla.

3.4.2.1. Část „on-board“ – instalovaná v diagnostickém vozidle

Základní zpracování akustického signálu (například výpočet ekvivalentní hladiny akustického tlaku) lze provést a následně indikovat přímo na palubě vozidla. Tyto hodnoty slouží převážně pro ověření správné funkce zařízení a připojených senzorů (kontrola rozsahu měřených hodnot v reálném čase atd.).

3.4.2.2. Část „off-board“ – vzdálený vyhodnocovací server

Off-board vyhodnocování může být vhodné pro náročné výpočty, jako je komplexnější spektrální analýza, výpočet spektrogramů nebo detekce anomálií pomocí strojového učení.

3.4.3. Principy datových přenosů a komunikace

3.4.3.1. Část „on-board“ – datová implementace v rámci vnitřní sítě diagnostického vozidla

Při vyhodnocování dat v rámci vnitřní sítě diagnostického vozidla je třeba dbát na objem komunikace, který zařízení do sítě přinese. Z důvodů minimalizace latence uvnitř měřicí sítě by komunikace mezi jednotlivými síťovými prvky měla být co nejnižší.

Pokud je zařízení tvořeno více síťovými prvky, které si potřebují vyměňovat významné množství dat (například oddělená měřicí a vyhodnocovací jednotka), je vhodné tyto prvky umístit do oddělené sítě a připojení do vnitřní sítě vozidla zajistit pomocí routeru.

Zařízení s přístupem do vnitřní sítě mohou k synchronizaci času využít NTP server, který je společný pro všechna měřicí zařízení ve vozidle.

3.4.3.2. Část „off-board“ – datová implementace s datovou centrálou provozovatele dráhy

Výpočetně náročnější zpracování lze provést mimo zařízení, například na vyhodnocovacím serveru, se kterým zařízení komunikuje přes internet.

V případě, že by tato možnost nebyla možná (například kvůli objemu přenášených), je možné data ukládat lokálně a přenášet na fyzických nosičích (například USB disky).

Při přenosu pomocí internetu je potřeba zajistit šifrování přenášených dat. Také je potřeba vhodně zabezpečit přístup k vyhodnocovacímu serveru. Obojí standardními metodami digitálního zabezpečení aktuálními k danému místu a času.

3.5. Postup diagnostiky emisní hlučnosti železničního svršku

3.5.1. Instalace systému

Systém je rozdělený na dvě hardwarové části. První část je umístěna uvnitř diagnostického vozidla. Jedná se o vyhodnocovací část, která je připojena do vnitřní sítě a synchronizačního systému vozidla. Druhá, snímací část s odolnými mikrofony je umístěná v blízkém poli styku kola a kolejnice, ideálně po jednom mikrofonu na každé straně nehnané nápravy v referenční vzdálenosti 10 cm od místa styku tak, aby docházelo k snímání valivého hluku z jednotlivých kolejí.



Obrázek 10: Ukázka umístění mikrofonu v blízkosti styku kola a kolejnice

3.5.2. Připojení k synchronizační jednotce vozidla

V případě měření na konkrétním vozidle MVŽSv2 je vhodné zařízení připojit k synchronizační jednotce vozidla. Tato jednotka poskytuje informaci o začátku a konci měření a také QMP signál, umožňující segmentaci měřených dat na čtvrtmetrové úseky. Synchronizační jednotka plní funkci primární synchronizace jednotlivých měřicích zařízení v MVŽSv2.

Připojení k jednotce lze v tomto případě realizovat pomocí konektoru D-SUB 25. Přenášené informace mají formu elektrických pulsů v úrovni TTL (5 V), délka pulsu je 2 ms. Například v případě QMP signálu tedy synchronizační jednotka vydá jeden puls při každém ujetém čtvrtmetru.

3.5.3. Integrace do počítačových sítí vozidla

V případě měření na konkrétním vozidle MVŽSv2 je vhodné zařízení integrovat do obou dostupných počítačových sítí vozidla:

- Měřicí síť – vyhrazená měřicím zařízením. V této síti se nachází NTP server pro časovou synchronizaci. Provoz v této síti by měl být omezen na nutné minimum, především z důvodů minimalizace latence. Tato síť nemá přístup k internetu.
- Servisní síť – síť určená pro vzdálený přístup a monitorování měřicích zařízení. Tato síť má přístup k internetu.

Přístup do měřicí sítě zařízení umožní synchronizaci s NTP serverem vozidla a také přijímání informací o stavu měření (start/stop měření, informace o poloze atd.). Primární vnitřní síť vozidla je určena pouze pro měřicí zařízení a provoz v ní je kvůli latenci poměrně omezen.

Pokud zařízení vyžaduje přístup k internetu (například kvůli vzdálenému přístupu a servisu), je možné využít připojení v servisní síti. Toto připojení však není vhodné pro odesílání většího množství dat.

3.5.4. Inicializace a kalibrace

Inicializace zařízení probíhá automaticky po připojení napájení. Při inicializaci zařízení provede kroky potřebné pro spuštění měření, například synchronizaci s NTP serverem měřicího vozidla nebo připojení k příslušným sítím.

Zařízení umožňuje provést kalibraci pomocí akustického kalibrátoru. Tato kalibrace slouží k přesnému nastavení citlivosti měřicího řetězce a měla by být prováděna v pravidelných intervalech minimálně jednou ročně. Kalibraci je potřeba provést také v případě, že se změní nebo rozpojí některá část měřicího řetězce (například při výměně mikrofону).

3.5.5. Průběh měření

V průběhu měření zařízení pracuje autonomně. Pro potřeby kontroly stavu a funkce zařízení je možné zobrazit aktuálně měřené hodnoty (například formou webového rozhraní přístupného přes síť měřicího vozu).

3.5.6. Analýza dat

Při analýze dat jsou vyhodnocovány akustické parametry zmíněné v kapitole [3.3](#).

V případě, že to technologie měřicího zařízení dovolí, mohou být některé parametry vyhodnoceny přímo v diagnostickém vozidle. Tato možnost se týká především parametrů méně náročných na výpočet a vyhodnocení.

Přímo ve vozidle by také měly být vyhodnoceny parametry, podle kterých lze zkontrolovat správnou funkci a stav měřicího zařízení. Tyto parametry je nutné vyhodnocovat v reálném čase přímo během měření, aby bylo možné okamžitě detekovat závadu (například poškození mikrofónu).

Výpočetně náročné zpracování lze provádět na vzdáleném serveru. Tato možnost se týká především pokročilých vyhodnocovacích metod, jako je například spektrální analýza naměřeného signálu (třetino-oktávová analýza, výpočet spektrogramů), statistické metody pro detekci anomálií nebo strojové učení.

Zpracování mimo měřicí vůz může být také vhodné pro vyhodnocení závislostí na datech, která během měření ještě nejsou k dispozici. V případě MVŽSv2 jsou to například detailní data

z ostatních senzorů, která jsou zpracovávána a do databáze dodávána až zpětně po skončení každého měření.

3.6. Hodnoticí kritéria

3.6.1. Sledování dlouhodobých trendů emisní hlučnosti železničního svršku

Z hlediska vyhodnocování dlouhodobých trendů emisní hlučnosti je podstatný především parametr $L_{A,eq,T}$, tedy ekvivalentní hladina akustického tlaku A. Tento parametr nejlépe vystihuje vliv emisní hlučnosti na člověka.

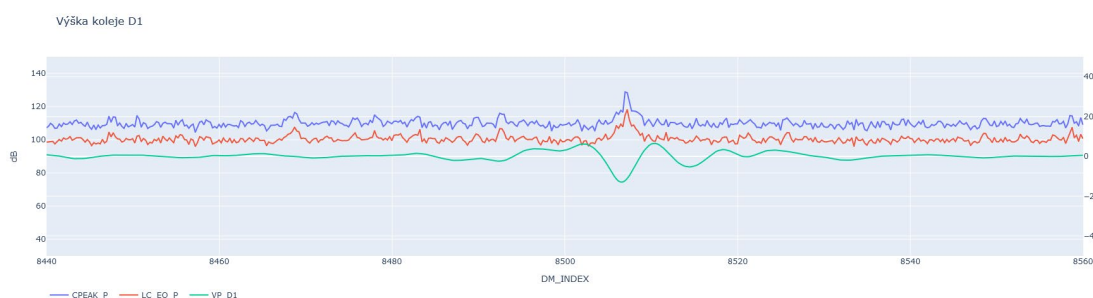
Vzhledem k tomu, že je tento parametr definován pro čas T , je potřeba vhodně namapovat jednotlivé segmenty měřeného úseku na odpovídající časové intervaly. Tedy například vyhodnocovat parametr v časových intervalech, které odpovídají 20 m segmentům podle aktuální rychlosti jízdy.

Při sledování emisní hlučnosti je v první řadě potřeba brát v potaz rychlost, jakou byl úsek při daném měření projížděn. Vzhledem k tomu, že právě rychlost má podstatný vliv na emisní hlučnost, je potřeba mezi sebou porovnávat pouze ta měření, při kterých byla rychlost průjezdu přibližně stejná. V případě měření na vozidle MVŽSv2 jsou údaje o rychlosti součástí datového balíku. Optimální pro sledování emisní hlučnosti je projíždění traťových úseků rychlostí odpovídající rychlosti traťové, není-li toto možné, pak rychlostí stanovenou pro každý traťový úsek jako rychlost pro diagnostiku parametrů koleje konkrétního traťového úseku.

3.6.2. Princip identifikace prvků traťové technologie a případných lokálních anomálií

Základní princip detekce prvků traťové technologie a případných lokálních anomálií spočívá ve sledování výkyvů v akustických parametrech popsanych v sekci 3.3. a jejich korelací s ostatními měřeními parametry (například GPK).

Na následujícím obrázku je možné vidět ukázkou korelace akustického parametru $L_{c,peak}$ a GPK parametru výška koleje:



Obrázek 11: Příklad vztahu mezi parametrem akustickým a geometrickým

Tento způsob funguje nejlépe na úsecích s bezstykovou kolejí. V případě, že měřený úsek obsahuje kolejnicové styky, je potřeba počítat s tím, že akustické jevy z těchto styků budou tvořit výraznou část výkyvů v akustických datech.

Detailnější rozbor detekovaných akustických jevů lze provádět spektrální analýzou naměřeného signálu (například výpočtem 1/3oktávového spektra). Využít lze také algoritmy pro strojové učení.

Pro pokročilou akustickou defektoskopii pomocí nově předkládané metody se nabízí využití principů umělé inteligence a strojového učení, které dokáží efektivně a přesně identifikovat případné anomálie v akustickém signálu, které mohou indikovat lokální defekty na trati. Přesnost použití těchto principů je však významně závislá na množství a kvalitě vstupních diagnostických dat konkrétního provozovatele dráhy.

4. Možnosti budoucího rozvoje akustické diagnostiky emisní hlučnosti železničního svršku

Senzorická část byla konstruována tak, aby byla z hlediska osazení na železniční vozidlo jednoduchá a její montáž i demontáž byla možná v zásadě při každém stání vozidla a prostoru pro přístup k zařízení u koleje. Pro montáž/demontáž senzorické části není nutný přístup personálu pod úroveň temene kolejnic (prohlídkový kanál apod.). Jelikož konstrukce vlastní senzorické části nezasahuje do ostatních částí železničních kolejových vozidel, předpokládá se možnost jejího umístění v podstatě na jakémkoliv vozidle bez problematického schvalování vozidla osazeného senzorickým systémem jako vozidlo nového typu.

Výhledově je proto možné využít sestavu pro pravidelná měření jakýchkoli úseků železniční sítě - pravidelným systémovým porovnáváním záznamů hladin akustického tlaku bude správce infrastruktury upozorněn, objeví-li se výkyv v akustických datech, na náhlou změnu kvalitativních parametrů koleje.

Optimálním řešením pro další praktické využití na straně provozovatele dráhy (manažera infrastruktury) by bylo propojení, resp. začlenění akustické diagnostiky s IS PSST (Provozní stav sítě tratí) a jeho modulem SORUT (Systém operativního řízení údržby tratí), který Správa železnic úspěšně provozuje od r. 2017.

Výstupem IS PSST - SORUT je přehled závad napojený na pasport železničního svršku. Systém dále umožňuje i predikci vývoje konkrétního parametru GPK a ojetí kolejnic s uvedením termínu, kdy se předpokládá překročení hodnocení do kritických hodnot 3 a 4.

Provázanost se záznamem hladiny akustického tlaku, tj. odezvy na změnu kvalitativních parametrů koleje, by umožnilo potvrzení, nebo vyvrácení predikce, a vedlo tak ke zefektivnění plánů údržby železničních tratí.

5. Závěrečná sdělení

Metodický postup a informace v něm uvedené představují návrhové znění možné praktické podoby aplikace dynamické opto-akustické metody hodnocení emisní hlučnosti železničního svršku. Je zpracován na základě zkušeností z realizace stejnojmenného projektu VaVal v letech 2021-2024, který byl spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci Programu DOPRAVA 2020+.

Pro plnohodnotnou praktickou implementaci nové metody je nezbytné její začlenění do stávajících diagnostických postupů provozovatele dráhy a související formální ukotvení v jeho vnitřních předpisech. Součástí tohoto procesu mohou být dílčí úpravy zde představených postupů v zájmu specifických potřeb daného provozovatele (např. přizpůsobení použité technologie konkrétnímu vozovému parku diagnostických vozidel, které má k dispozici). Metodický postup zůstává platný i v těchto případech, pokud jsou zachovány základní principy a deskriptory. V případě pochybností potřebnou součinnost při praktické implementaci poskytne MD ČR jakožto schvalující orgán, ve spolupráci s autorským kolektivem.

6. Literatura

- [1] Správa železnic, státní organizace. Předpis SŽ S2/3 – Organizace a provádění prohlídek a měření na dráze celostátní a dráhách regionálních. Účinnost od 1. ledna 2022.
- [2] Správa železnic, státní organizace. Předpis SŽ S2/4 – Zajišťování diagnostiky železničního svršku a spodku měřicími prostředky s kontinuálním záznamem. Účinnost od 14. března 2022.
- [3] Vyhláška Ministerstva dopravy č. 177/1995 Sb., kterou se vydává stavební a technický řád drah, ve znění k 1. 7. 2020
- [4] ČSN 73 6360-2 Konstrukční a geometrické uspořádání koleje železničních drah a její prostorová poloha: Stavba a přejímka, provoz a údržba. Část 2. Praha: Český normalizační institut.
- [5] Správa železnic, státní organizace. SŽ M12 – Popis umístění objektů železniční infrastruktury v informačních systémech Správy železnic, státní organizace, schváleno pod čj. 1697/2022-SŽ-SŽT-ÚNR, účinnost od 1. ledna 2024.

7. Seznam publikací, které předcházely vydání metodického postupu

Kruntorád, Jan; Týfa, Lukáš a Simon, Ondřej. Analysis of Noise Emissions at Wheel-Rail Contact. [Bude publikováno v: *TRANSBALTICA XV: Transportation Science and Technology. Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure*. Cham: Springer International Publishing. ISSN 2523-3440.]

Kruntorád, Jan; Reznichenko, Tetiana a Červenka, Petr. Abrupt change detection in railway noise data. [Bude publikováno v: *Acta Polytechnica CTU Proceedings*. Praha: Czech Technical University in Prague. ISSN 2336-5382.]

Ládyš, Libor; Ládyš, Martin; Simon, Ondřej; Javořík, Tomáš et al. Dynamická opto-akustická metoda hodnocení emisní hlučnosti železničního svršku. In: *Konference Železniční dopravní cesta 2024*. Praha: Správa železnic, státní organizace, 2024, s. 80-89. ISBN 978-80-907189-5-1.