

## IDENTIFIKACE ZDROJŮ HLUKU JEDOUcíHO KOLEJOVÉHO VOZIDLA NOISE RESOURCES IDENTIFICATION OF PASSING RAILWAY VEHICLE

Aleš HÁBA<sup>1</sup>, Jakub VÁGNER<sup>2</sup>, Ondřej ŠTĚCH<sup>3</sup>

### Abstrakt

Článek se zabývá rozbohem hluku vyzařovaného kolejovým vozidlem do okolí za účelem identifikace jednotlivých zdrojů hluku. Do hodnocení jsou zahrnuta vybraná měření se specifickým režimem jízdy jednotky (výběh, brzdění, rozjezd). Vyhodnocení měřeného akustického tlaku vně vozidla je provedeno pomocí specializovaného programu pro tvorbu spektrogramů a frekvenčních spekter.

### Klíčová slova

akustický tlak, frekvenční spektrum, hladina akustického tlaku, kolejové vozidlo, spektrogram

### Abstract

*The article deals with the analysis of the noise emission of a railway vehicle regarding to the identification of the noise sources. Selected measurements with specific operational conditions (constant speed, acceleration, braking) are included to the evaluation. The assessment of the measured acoustic pressure outside the vehicle is carried out with the specialized software for creation of spectrograms and frequency spectra.*

### Keywords

*acoustic pressure, frequency spectrum, noise level, railway vehicle, spectrogram*

## 1 ÚVOD

Identifikaci zdrojů hluku z měřeného signálu akustického tlaku lze provést, je-li známa dominantní frekvence příslušného zdroje hluku, která je navíc mezi ostatními zdroji hluku unikátní. U kolejového vozidla lze dominantní frekvence jednotlivých hlukově relevantních komponentů snadno zjistit na základě výsledků laboratorních zkoušek hluku vyzařovaného samotnými komponenty [1]. Frekvence dominantního zdroje hluku kolejového vozidla, hluku valení, je závislá na drsnosti kol a kolejnic ale i na tvaru kola samotného, upevnění kolejnic apod. Frekvenci aerodynamického hluku lze odhadnout na základě výpočetního modelu a simulace proudění vzduchu kolem něj. Mají-li však dva zdroje hluku sobě blízké frekvence, je možné eliminovat jeden z nich takovým režimem jízdy vozidla, kdy je jeho vliv zanedbatelný (hluk valení lze např. eliminovat

<sup>1</sup> Ing. Aleš Hába, Ph.D., University of Pardubice, Faculty of Transport Engineering / Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera. Dislokované pracoviště DFJP, Nádražní 547, 560 02 Česká Třebová. Tel.: +420 466 037 428, e-mail: ales.haba@upce.cz

<sup>2</sup> Ing. Jakub Vágnér, Ph.D., University of Pardubice, Faculty of Transport Engineering / Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera. Katedra dopravních prostředků a diagnostiky, Studentská 95, 532 10 Pardubice. Tel.: +420 466 036 493, e-mail: jakub.vagner@upce.cz

<sup>3</sup> PhDr. Bc. Ondřej Štěch, Ph.D., University of Pardubice, Faculty of Transport Engineering / Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, Studentská 95, 560 02 Pardubice. E-mail: ondrej.stech@student.upce.cz

režimem nízké rychlosti jízdy). Problematickou se však může stát situace, kdy není možné takový režim zajistit. Jsou-li oba zdroje hluku od sebe dostatečně vzdáleny, je možné využít pokročilých nástrojů pro měření hluku, mezi které patří např. akustická kamera. Tento způsob identifikace zdrojů hluku je však vhodný spíše pro stacionární měření a nikoliv pro jedoucí vozidlo rychlostí 80 km/h a vyšší.

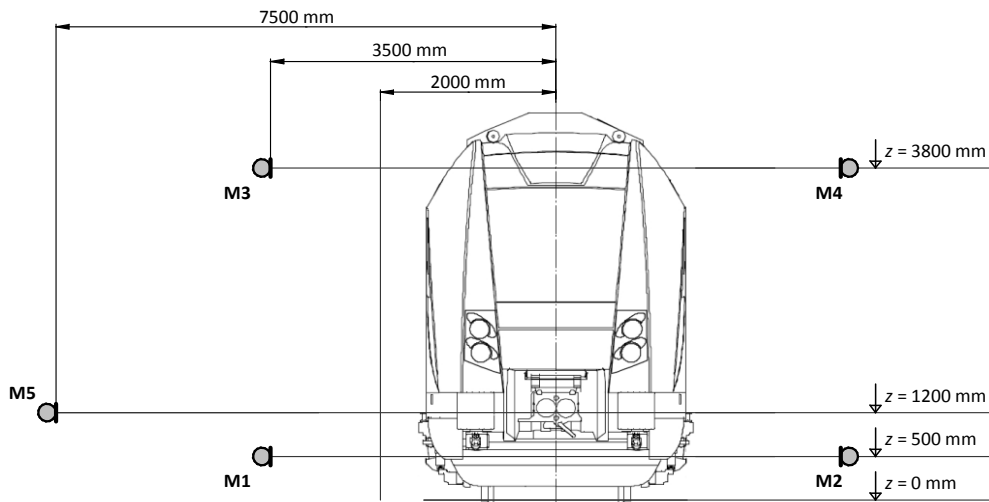
Tento článek navazuje na příspěvek prezentovaný v [2], kde byla popsána metodika měření vnějšího hluku kolejového vozidla za účelem identifikace zdrojů hluku, včetně možných způsobů hodnocení. Tento příspěvek obsahuje rozbor vybraných měření vnějšího hluku při průjezdu třívozové jednopodlažní jednotky (viz obr. 1) kolem měřicího stanoviště při různých jízdních režimech se zaměřením na identifikaci jednotlivých zdrojů hluku z naměřených dat.



Obr. 1 Třívozová jednopodlažní jednotka

## 2 ROZMÍSTĚNÍ MIKROFONŮ

Rozmístění mikrofونů s ohledem na identifikaci hluku jednotlivých agregátů bylo již uvedeno v [2], avšak pro přehlednost tohoto příspěvku je zde znovu prezentováno na obr. 2. Mikrofony M1 a M2 mají za cíl identifikovat zejména hluk valení, převodovek a trakčních motorů, mikrofony M3 a M4 pak slouží k identifikaci hluku všech agregátů umístěných na střeše jednotky a též aerodynamického hluku od sběrače. Mikrofون M5 byl pro porovnání umístěn ve vzdálenosti a výšce odpovídající normalizovanému měření vnějšího hluku kolejového vozidla. Zaznamenáván byl akustický tlak  $p$  [MPa] se vzorkovací frekvencí 65 536 Hz po dobu průjezdu celé jednotky.



Obr. 1 Rozmístění jednotlivých mikrofونů při měření

## 3 PŘEHLED HODNOCENÝCH REŽIMŮ MĚŘENÍ

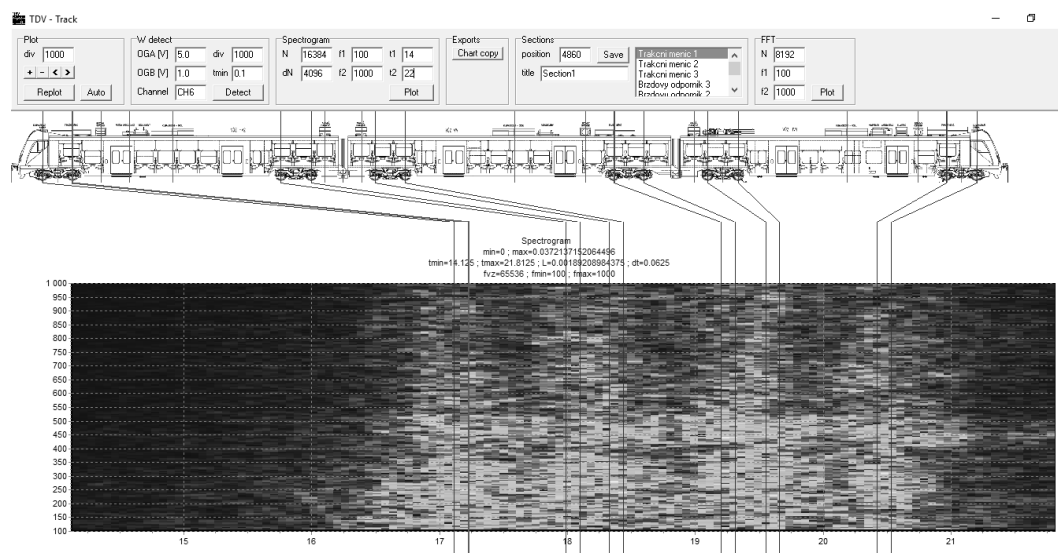
Ze všech provedených režimů měření průjezdů jednotky bylo pro tento příspěvek vybráno pro ilustraci několik měření, jejichž specifické podmínky jsou uvedeny v tab. 1.

Tab. 1 Přehled vybraných režimů měření

Rychlost	Režim jízdy	Poznámky
80 km/h	výběh	stažené sběrače, vypnuté agregáty
	brzdění	pouze elektrodynamická brzda
	brzdění	pouze pneumatická brzda
160 km/h	výběh	stažené sběrače, vypnuté agregáty
30 km/h	rozjezd	100 % trakce

#### 4 ZPŮSOB A PODMÍNKY ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH DAT

Naměřená data akustického tlaku jsou v první fázi zobrazena ve formě spektrogramů průjezdu celé jednotky kolem měřicího stanoviště. K takovému způsobu zpracování dat byl vytvořen program (viz obr. 3).



Obr. 3 Ukázka programu pro tvorbu spektrogramů z naměřených dat

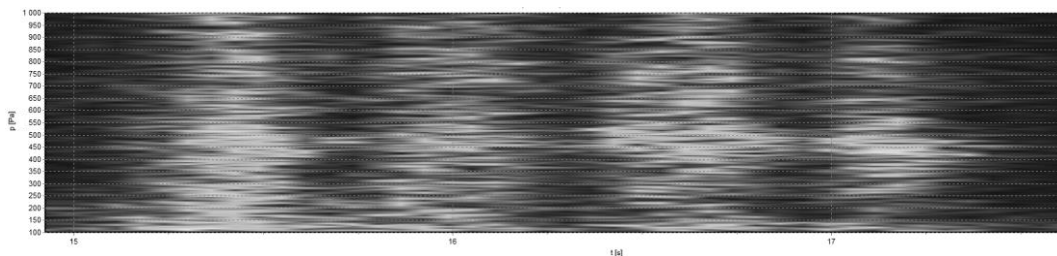
Pro vytvoření spektrogramu se v programu nastavuje vždy požadovaný časový interval a počet vzorků využitých pro výpočet jednotlivých frekvenčních spekter. Čím vyšší je počet vzorků, tím přesněji lze identifikovat jednotlivé dominantní frekvence. Volba počtu vzorků však ovlivňuje délku časového intervalu použitého pro výpočet frekvenčního spektra. Je-li totiž v tomto případě vzorkovací frekvence 65 536 Hz a pro výpočet frekvenčního spektra se použije 16 384 vzorků, pak při rychlosti jízdy vozidla 160 km/h vygenerované spektrum obsahuje data za časový interval 0,25 s, což odpovídá vozidlem ujeté dráze 11 m. Pokud bude tento časový interval zkrácen, pak frekvenční spektra nemusejí být dostatečně podrobně popsána. Při tvorbě spektrogramu je tedy nezbytné vždy vhodně nastavovat počet vzorků pro výpočet spekter s ohledem na rychlost a na blízkost dominantních frekvencí různých zdrojů. V případě, že jsou dva zdroje hluku se vzájemně velmi blízkými vlastními frekvencemi umístěny blízko sebe, je nemožné tímto způsobem odlišit jejich hlukový příspěvek při jízdě vozidla vyšší rychlostí.

Pro příslušné časové intervaly, odpovídající potenciálním zdrojům hluku (jednotlivé hlukově relevantní komponenty), je pak možné prostřednictvím tohoto programu vykreslit přímo frekvenční spektrum.

## 5 VYHODNOCENÍ VYBRANÝCH MĚŘENÍ

Obecně lze konstatovat, že u všech spektrogramů, které odpovídají průjezdům rychlostí přibližně 80 a 160 km/h, se bez ohledu na polohu mikrofonů M1÷M4 nachází vždy čtyři hlavní časové intervaly se zvýšenou hladinou akustického tlaku (viz obr. 4). Tyto intervaly odpovídají průjezdům jednotlivých podvozků, resp. dvojic podvozků, sousedních vozů jednotky. K celkové hladině akustického tlaku tedy nepochybně nejvíce přispívá hluk valení.

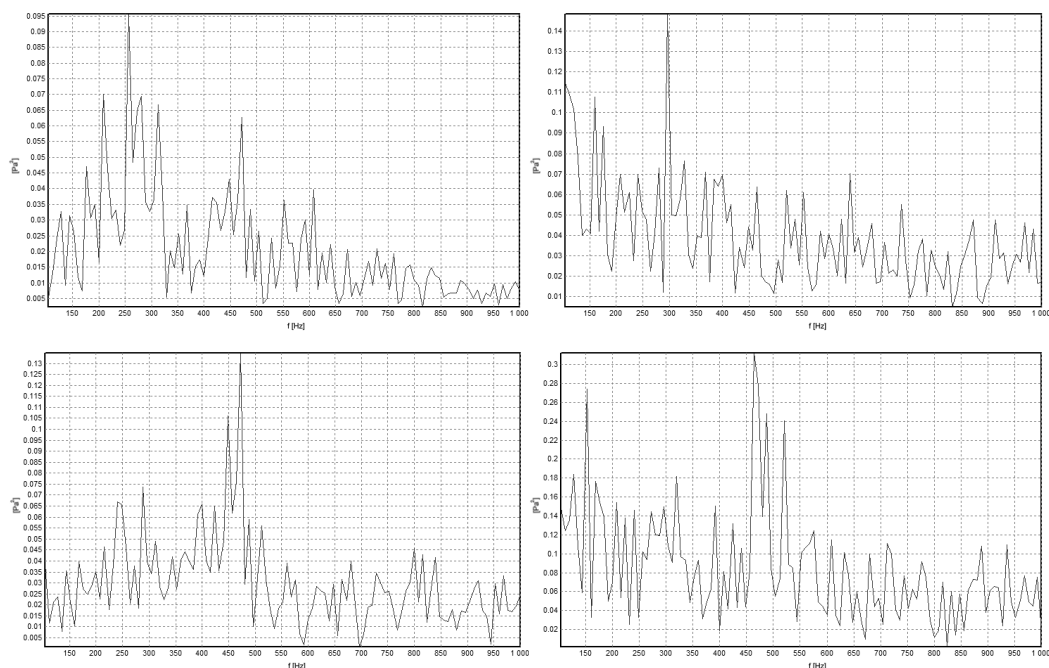
Ze spektrogramů odpovídajících průjezdům rychlostí přibližně 80 a 160 km/h je dále patrný vyšší a širokospektrální hluk v oblasti prvního podvozku vozidla (viz obr. 4). To je nepochybně způsobeno rázovou vlnou na čele vlaku, jelikož se více projevuje při vyšší rychlosti jízdy.



**Obr. 4** Spektrogram hladiny akustického tlaku při průjezdu jednotky kolem měřicího stanoviště výběhem rychlostí přibližně 160 km/h (záznam z mikrofonu M3)

Z důvodu nepříliš dobré vypovídající hodnoty samotných spektrogramů v jejich černobílé podobě, se budou dále prezentované poznatky opírat zejména o frekvenční spektra vypočtená z příslušných časových intervalů.

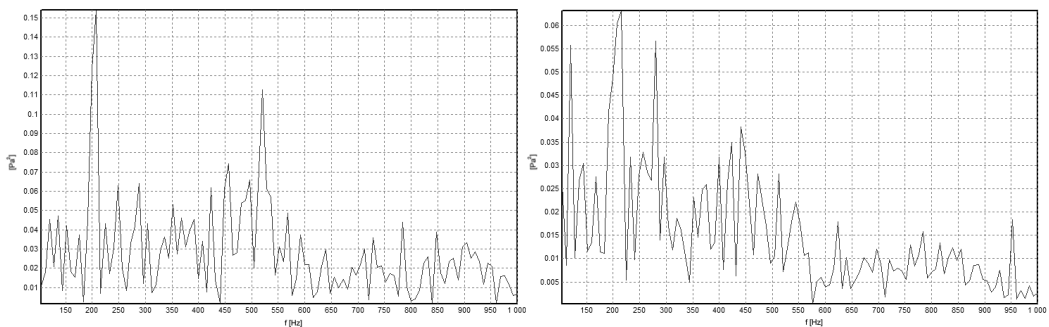
### 5.1 Jízda výběhem



**Obr. 5** Frekvenční spektra ve vybraném řezu při průjezdu vozidla rychlostí 80 a 160 km/h výběhem

U průjezdů výběhem rychlostmi jízdy přibližně 80 a 160 km/h lze pozorovat ve frekvenčním spektru mikrofonu M2 umístěného v úrovni podvozků dominantní frekvenci v pásmu od 450 do 500 Hz (viz obr. 5 dole), což odpovídá hluku valení a jeho hladina je při rychlosti jízdy přibližně 160 km/h výrazně vyšší (obr. 5 vpravo dole) než při rychlosti jízdy přibližně 80 km/h (obr. 5 vlevo dole). Tato frekvence je patrná při rychlosti jízdy přibližně 80 km/h též ve frekvenčním spektru mikrofonu M4 umístěného v úrovni střechy (viz obr. 5 vlevo nahoře). Zde lze však identifikovat jednu významnější frekvenci přibližně 250 Hz. Při průjezdu výběhem rychlostí 160 km/h lze dále pozorovat ve frekvenčním spektru mikrofonu M4, umístěného v úrovni střechy, významnou dominantní frekvenci přibližně 300 Hz, zatímco frekvenci hluku valení zde již nelze zřetelně rozpoznat.

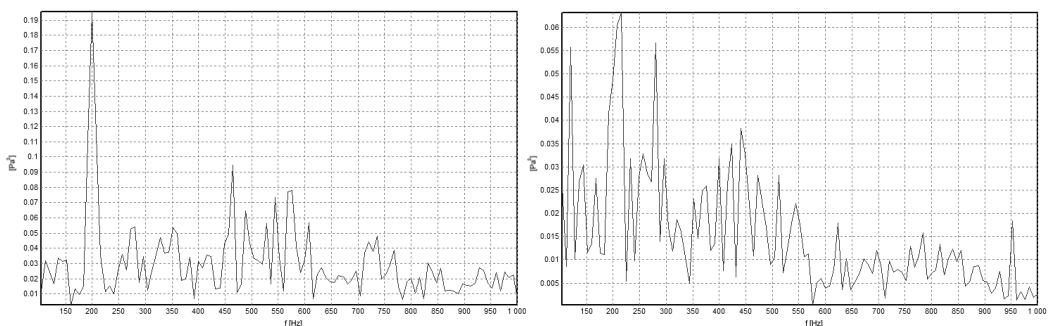
## 5.2 Brzdění elektrodynamickou brzdou



**Obr. 6** Frekvenční spektra ve stejném řezu při průjezdu vozidla rychlostí přibližně 80 km/h při brzdění elektrodynamickou brzdou

U průjezdů rychlostí jízdy přibližně 80 km/h při současném brzdění elektrodynamickou brzdou je hluk valení (frekvence v pásmu 450÷550 Hz) ve frekvenčním spektru mikrofonu M2, umístěného v úrovni podvozků, sice identifikovatelný (viz obr. 6 vlevo), avšak dominantní frekvence se v tomto případě nachází v oblasti 200÷250 Hz a nejvíce je patrná u právě u mikrofonů umístěných v úrovni podvozků jednotky. Frekvenční spektrum mikrofonu M4, nacházejícího se v úrovni střechy jednotky v místě trakčního měniče, se sice vyznačuje stejnou dominantní frekvencí, avšak s nižší hladinou akustického tlaku a dále jsou zde zřetelně vidět další významné frekvence v oblastech 100÷150 Hz a 250÷300 Hz (viz obr. 6 vpravo); frekvence hluku valení je zde již méně zřetelná. Zdroj dominantní frekvence v pásmu 200÷250 Hz je tedy ve spodní části jednotky.

## 5.3 Brzdění pneumatickou brzdou

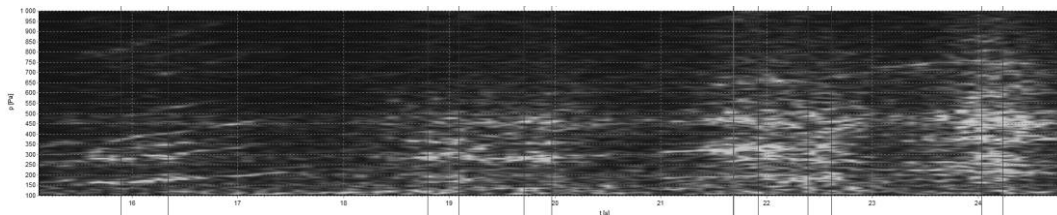


**Obr. 7** Frekvenční spektra ve stejném řezu při průjezdu vozidla rychlostí přibližně 80 km/h při brzdění pneumatickou brzdou

V režimu brzdění pneumatickou brzdou při rychlosti jízdy přibližně 80 km/h se ve frekvenčních spektrech mikrofonů M2 i M4 (viz obr. 7) opět objevuje dominantní frekvence v pásmu 200=250 Hz s vyšší hladinou akustického tlaku ve spodní části vozidla. Hluk valení se ve frekvenčním spektru mikrofonu M4 již téměř neprojevuje, avšak zřetelné jsou frekvence v pásmu 250=300 Hz a dominantní frekvence tohoto spektra v pásmu 550=600 Hz.

#### 5.4 Rozjezd při nízké rychlosti

Při rozjezdu vozidla z nízké rychlosti je při ideálním stavu kol a kolejnic hluk valení zanedbatelný a je možné tak identifikovat jiné zdroje hluku, jakým je např. nápravová převodovka. Hluk, který se šíří od nápravové převodovky, lze zcela jednoznačně rozpoznat podle jeho charakteristické, tzv. zubové frekvence, kterou lze velmi jednoduše vypočítat na základě okamžité hodnoty rychlosti jízdy vozidla, průměru kola a počtu zubů na velkém ozubeném kole. Na základě těchto informací lze očekávat u průjezdu prvního podvozku jednotky zubovou frekvenci v okolí hodnoty 164 Hz. Při zvyšování rychlosti jízdy pak zubová frekvence logicky úměrně narůstá, což lze sledovat na spektrogramu uvedeném na obr. 8. Při průjezdu posledního vozu jednotky se již začíná projevovat hluk valení, který může být při jisté rychlosti jízdy ve stejném frekvenčním pásmu jako zubová frekvence.



Obr. 8 Spektrogram rozjezdu jednotky (svislé čáry identifikují průjezdy jednotlivých dvojkolí)

## 6 ZÁVĚR

V příspěvku bylo naznačeno, jakým způsobem lze provést lokalizaci zdrojů hluku, které jsou identifikovatelné podle své frekvence. Hluk valení je u kolejového vozidla dominantní, projevuje se sice i v úrovni střechy vozidla, avšak se srovnatelnou hladinou akustického tlaku se zde projevují i další zdroje, které v příspěvku záměrně nebyly přesně identifikovány, jelikož informace o jejich akustických vlastnostech [1] jsou ve vlastnictví výrobce měřeného vozidla a není možné je zveřejňovat.

Výzkum byl podporován projektem TAČR č. TE01020038 „Centrum kompetence drážních vozidel“.



### Literatura

- [1] HÁBA, A. *Rozbor akustických vlastností hlukově relevantních komponent kolejového vozidla*. Technická zpráva CKDV WP14. Česká Třebová: Univerzita Pardubice, 2015.
- [2] HÁBA, A., VÁGNER, J., MUSIL, M., PHAMOVÁ, L., RICHTER, M., ŠVĚD, S., KŘEPELA, J. Měření vnějšího hluku kolejového vozidla za účelem identifikace zdrojů hluku. In: *Súčasný problémy v koľajových vozidlách – PRORAIL 2015: XXII. medzinárodná konferencia, zborník prednášok*. Diel I. Žilina: EDIS – vydavateľstvo Žilinské univerzity v Žiline, 2015, 191–198. ISBN 978-80-89276-48-6.
- [3] ŠTĚCH, O. *Hluk vyzařovaný kolejovým vozidlem do okolí*. Pardubice, 2017. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice.