

# Měření hluku ze železniční dopravy v rámci projektu TAČR

David Vašica

České vysoké učení technické v Praze Fakulta dopravní

Konviktská 20, 110 00 Praha 1

e-mail: xvasica@fd.cvut.cz

## Abstrakt

V ČR se během projektových příprav modernizací a optimalizací železničních tratí provádí výpočty hluku od jedoucích vlaků podle české výpočtové metodiky hluku ze železniční dopravy. Tato metodika však vznikla již v minulém století, a tak při jejím používání dochází u neupravených emisních dat k výraznému nadhodnocování hlukového zatížení okolí především u modernizovaných a optimalizovaných tratí s moderní konstrukcí železničního svršku (pružné upevnění, bezстыková kolej) a moderními vlakovými soupravami, především osobní dopravy (kotoučové brzdy, ucelené jednotky).

Cílem projektu je, s ohledem na používané konstrukce železničního svršku a provozovaný vozový park, zjistit emisní data hluku, případně korekce na snížení hluku mezi původní a modernizovanou tratí tak, aby bylo možné definovat podmínky, za jakých hodnoty emisí hluku platí. Tím bude možné používat českou, popřípadě i zahraniční výpočtové metodiky tak, aby se výsledky výpočtu co nejvíce blížily reálným podmínkám a byla tak navrhována optimalizovaná protihluková opatření.

Hlavní náplní projektu je tedy zjištění reálných hodnot emisí hluku. K tomuto účelu je prováděn systémově celý soubor měření na tratích v ČR. Jsou vytipovány vhodné lokality s provedenou rekonstrukcí a bez provedené rekonstrukce a odpovídající místa v těchto lokalitách. Zde jsou realizována opakovaná a synchronní měření hladin akustického tlaku od téhož projíždějícího vlaku na různých stanovištích, která se liší právě konstrukcí železničního svršku.

Při známých parametrech jedoucího vlaku, koleje a na základě výsledků měření hladiny akustického tlaku, případně i frekvenčního spektra, bude zjištěn vliv konstrukce železničního svršku na emisi hluku od projíždějících vlaků.

## 1. Základní údaje o projektu

Projekt „Vliv opatření na infrastrukturu železniční dopravy na snížení vzniku a šíření hluku od jedoucích vlaků“ (mezi řešiteli označován jako „HLUVLA“) je realizován na základě veřejné soutěže ve výzkumu, vývoji a inovacích vyhlášené v roce 2010 v rámci programu ALFA, poskytovatelem je Technologická agentura České republiky (TAČR). Hlavním cílem je snížení negativních vlivů infrastrukturních staveb na životní prostředí.

Řešení projektu probíhá od ledna 2011 za předpokládaného dokončení v prosinci 2013. Hlavním řešitelem je České vysoké učení technické v Praze Fakulta dopravní, dalším účastníkem pak EKOLA group, spol. s r.o.

## 2. Podstata hluku, jeho vznik a šíření

Podstatou zvuku i vibrací je mechanické kmitání pružného prostředí, které se šíří určitou rychlostí. V rozsahu slyšitelných frekvencí označujeme podélné vlnění

v tekutém prostředí jako zvuk, příčné vlnění ve všech frekvencích v pevných látkách pak jako vibrace. Hlukem se označuje každý nežádoucí zvuk. Pro popis hluku je důležité znát hlasitost (vyjádřenou hladinami intenzity akustického tlaku), frekvenční složení a dobu jeho trvání.

K vyjádření účinku hluku na člověka se používá hladina akustického tlaku v decibelech [dB], korigovaná frekvenčně pomocí pásmového váhového filtru, který je použit z důvodu nestejně citlivosti lidského ucha na hluk různého kmitočtu. Dopravní hluk má charakter proměnného nepravidelného hluku, proto se k vyhodnocení účinků používá průměrná úroveň sumy akustické energie, která působila v daném čase. Tato energetická průměrná hladina je označována jako ekvivalentní hladina akustického tlaku  $L_{Aeq}$ .

## 2.1. Zdroje hluku z kolejové dopravy

Zdroje vnějšího hluku kolejové dopravy lze dělit buď na primární (hluk vlaku), nebo sekundární (zvukové signály, drážní rozhlas, odezva stavebních zařízení na průjezd vlaku); dále buď na statické (hluk hnacích agregátů), nebo dynamické (valení kola po kolejnici) podle toho, zda vlak stojí nebo se pohybuje.

Velikost nepříznivých vlivů závisí především na způsobu vedení trasy, druhu trakce, konstrukci a technickém stavu svršku, technickém stavu vozidel a na intenzitě a rychlosti provozu. Šíření hluku prostředím je závislé na klimatických podmínkách, konfiguraci a druhu povrchu okolního terénu.

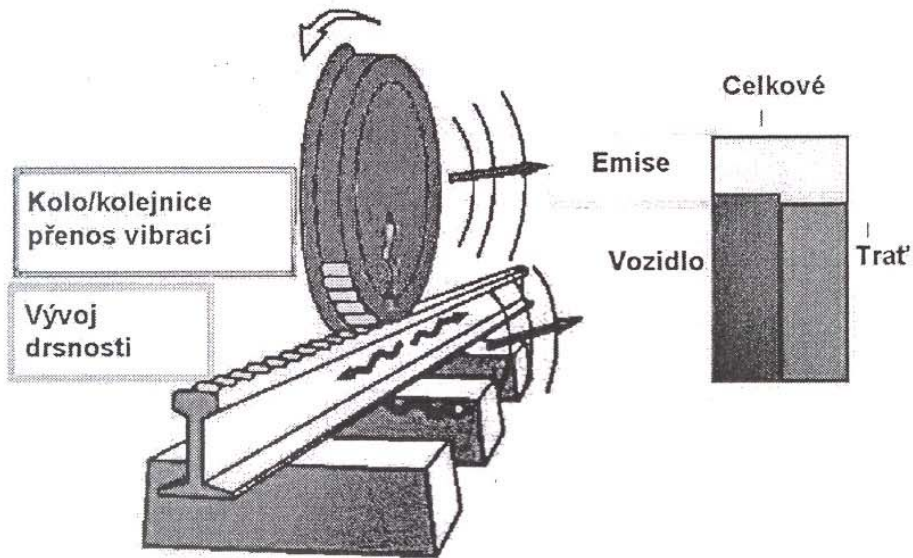
Vlak pohybující se po trati působí na okolí souborem hluků vyzařovaných z několika zdrojů – z pohonných jednotek, z valení a hluk plynoucí z podstaty aerodynamiky.

*Aerodynamický hluk* – vzniká v důsledku turbulence a proudění vzduchu kolem vozů, jejich podvozků a okolo sběračů. Mezi jeho významné zdroje patří nekapotované podvozky, turbulence způsobené nedostatečně aerodynamickým tvarem vozidla a dále pantografy či přechody mezi vozy klasické stavby. Hodnota aerodynamického hluku se zvyšuje s rychlostí jízdy (u vlaků vysokorychlostních převažuje tento typ hluku nad ostatními). Lze jej částečně eliminovat použitím drážních vozidel s lépe navrženým tvarem, zakrytím podvozků a mezivozových přechodů (u vlakových jednotek). Tento typ hluku je dominantní od rychlostí 250 až 300 km/h.

*Hluk z pohonů hnacích vozidel (hluk trakce)* – je složen z hluku hnacích motorů, převodů, chladicích ventilátorů, statických měničů atd. Obecně lze konstatovat, že motorová trakce vyvolává větší hluk než trakce elektrická. U vozidel poháněných dieslovým motorem jsou emise hluku závislé především na okamžitých otáčkách motoru a mnohem méně pak na rychlosti průjezdu. Snížení hluku lze tedy dosáhnout použitím elektrické trakce nebo nových či modernějších vozidel, případně modernizací vozidel stávajících. Hluk trakce je jen málo závislý na rychlosti, nicméně může být určující právě při rychlostech nižších, cca do 50 km/h, kdy je požadován plný výkon pohonné jednotky a valivý hluk je relativně nízký.

*Valivý hluk* – je vyvolán především stykem kola s kolejnicí a jeho velikost závisí na drsnosti povrchu kol i kolejnic. Dále pak vzniká ve všech místech v podvozku, kde se vlivem otáčení dvojkolí vyskytuje tření. Schematické znázornění vzniku a šíření hluku z valení je na obr. 1.

Obr. 1. Vznik, přenos a emise hluku z valení

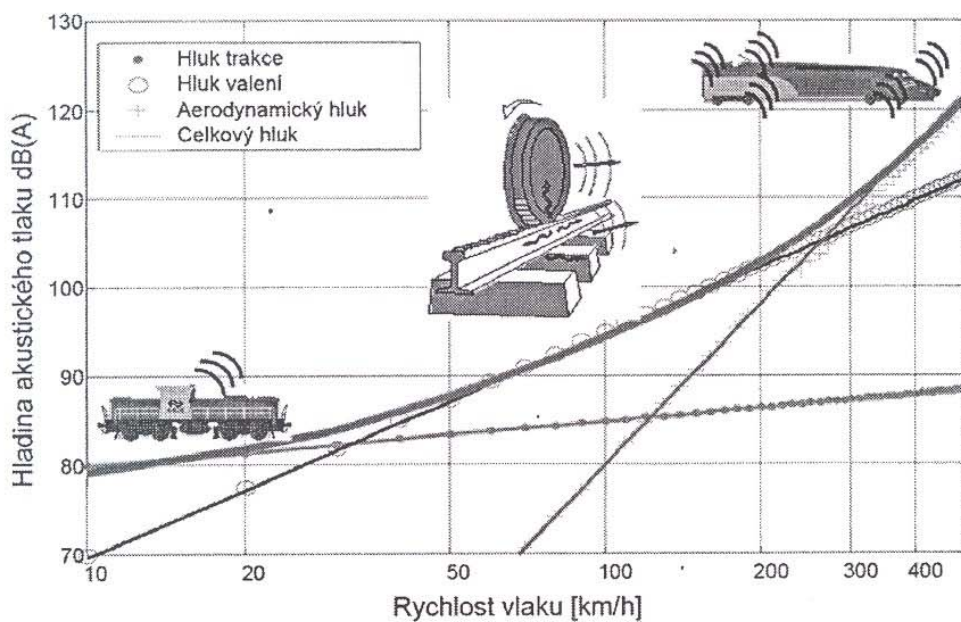


Zdroj: [1]

## 2.2. Faktory působící na vznik a šíření hluku ze železniční dopravy

*Rychlost jízdy* – při rychlostech nižších než 60 km/h dominuje hluk hnacího vozidla. Hladina akustického tlaku se s rychlostí nemění vůbec nebo jen málo a závislost je v rozsahu  $(0 - 20) \cdot \log V$ , v rychlostním rozmezí 60 – 200 km/h dominuje hluk valivý, přičemž závislost je v rozsahu  $(25 - 35) \cdot \log V$ . Při rychlostech nad 200 km/h začíná být dominantní hluk aerodynamický, závislost se pohybuje v rozsahu  $(50 - 70) \cdot \log V$  [1].

Obr. 2. Závislost jednotlivých složek hluku na rychlosti vlaku



Zdroj: [2]

*Vliv okolního terénu* – vlastnosti terénu mají podstatný vliv na šíření hluku do okolí. Setkáváme se zde s pohlčováním zvukových vln terénem nebo okolní zástavbou, případně odrazy zvukových vln od překážek nebo od okolní zástavby. Nejvýznamněji se na šíření hluku projevují překážky v nejbližším okolí trati.

*Vliv konstrukce a kvality železničního svršku* – hluk železničního vozidla se šíří nejen vzduchem, ale také vibracemi přes kolo a kolejnici do konstrukce železničního svršku. Tento hluk lze kompenzovat vhodnou úpravou konstrukce tratě a její údržbou. Další vliv na tvorbu hluku mají nerovnosti kolejnice, kolejnicové styky a vlnkovitost.

*Vliv zvukových signálů* – tento druh hluku není pro stanovení ekvivalentní hladiny hluku rozhodující. Jedná se zpravidla o hluk s vysokou intenzitou, ale krátkým trváním, který lze díky náhodnému výskytu a velmi rozdílné frekvenci jen těžko postihnout.

*Vliv klimatických podmínek* – počasí se na úrovni hluku výrazně projevuje až ve vzdálenostech od cca 100 m. Při vzdálenostech kratších se může projevit například absorpce sněhem, odrazy zvukových vln od různých vrstev vzduchu atd. Díky vlhkosti vzduchu se zvuk může nést dále než ve vzduchu suchém.

*Vliv vzdálenosti od zdroje* – hladina hluku se vzdáleností od zdroje postupně klesá, ve volném prostředí úměrně zhruba o 4 - 5 dB při každém zdvojnásobení vzdálenosti.

*Vliv směrového vedení tratě* – projevuje se zejména v oblouku, kde dochází ke zvyšování hladiny akustického tlaku vlivem většího tření okolku o hlavu kolejnice. Snížení této hladiny hluku lze dosáhnout například konstrukční úpravou podvozku nebo parametrů tratě, a to změnou převýšení v oblouku.

*Vliv počtu projíždějících vlakových souprav* – projeví se především při stanovení ekvivalentní hladiny akustického tlaku, tedy při zahrnutí delšího časového období.

### 3. Měření hluku ze železniční dopravy

Před každým měřením je třeba analyzovat účel a cíl hodnocení akustické situace. Na základě toho pak v souladu s platnou legislativou zvolit vhodná měřicí místa, vhodnou metodiku měření, konfiguraci měřicí aparatury a také vhodnou délku měřicího intervalu. Délka měření je důležitá pro jeho objektivitu. Vzhledem ke statistickému zpracování akustických veličin by měla být měření co nejdelší. Aby však bylo možno vyloučit nahodilé parazitní zvuky (přelety letadel, štěkání psa atd.), je někdy účelné provést co největší počet opakovaných krátkodobých měření. Obecně je nutné, aby se během každého měření vyskytly všechny zdroje hluku běžně se ve zkoumané situaci vyskytující.

Pro účely projektu je použita metoda měření hladin akustického tlaku integrálním zvukoměrem (hlukoměrem) při průjezdu vozidel kolem pevného měřicího stanoviště. Měření probíhají vždy současně na dvou místech vybrané trati s rozdílným stavem svršku (konstrukce či opotřebení atd.) tak, aby bylo možné díky stejným projíždějícím vlakovým soupravám vzájemně porovnat hlukové emise z obou stanovišť a lépe tak určit vliv konstrukce železničního svršku na hladinu akustického tlaku. Na každém stanovišti jsou umístěny celkem 3 zvukoměry a to ve vzdálenosti 7,5 m od osy koleje a výšce 1,2 m a 3,5 m nad temenem kolejnice a dále ve vzdálenosti 25 m od osy koleje a výšce 3,5 m nad temenem kolejnice.

### 3.1. Měřicí kampaně

Měřicí kampaň tvoří soubor činností, jejichž cílem je získání co nejhodnotnějších akustických dat přímo z terénu a následné zpracování. Kampaň je prováděna v následujících krocích:

1. Teoretické vytipování traťových úseků – na základě znalostí expertů z ČVUT v Praze Fakulty dopravní a konzultací s pracovníky SŽDC a ČD Cargo jsou nejprve vybrány traťové úseky s různou konstrukcí nebo stavem kolejí a požadovaným provozem vlaků.

2. Praktické vytipování traťových úseků a předběžný výběr lokalit – následně jsou vytipované traťové úseky prověřeny přímo v terénu, kde dochází k upřesnění hranic úseků rozdílných konstrukcí/stavů koleje, zaznamenání orientačních rychlostí vlaků a provedení předvýběru potenciálních lokalit pro měření hluku.

3. Praktický výběr konkrétních lokalit pro měření – pracovníci firmy EKOLA prověří jednotlivé lokality pro měření hluku tak, aby **splňovaly** požadavky nejen z hlediska měření hluku ale i přístupu k měřicímu místu.

4. Naplánování termínu měření – na poradě zástupců obou účastníků projektu pak dojde k zařazení do harmonogramu měřicích kampaní a oba účastníci projektu vyčlení potřebné kapacity pro měření.

5. Vlastní měření – s ohledem na počasí a provozní mimořádnosti ve sledovaných traťových úsecích je následně realizován **vlastní sběr dat**. Při měření jsou kontinuálně zaznamenávány hladiny akustického tlaku s **příp.** rozdělením podle frekvenčního spektra, meteorologické veličiny o **aktuálním stavu** počasí a provozní charakteristiky projíždějících vlakových souprav (rychlost, **složení** atd.). Současně je prováděna fotodokumentace, a to jak místa měření a **koleje**, tak projíždějících vlaků.

6. Sběr a sumarizace dat – údaje z hlukoměrů, meteorologické stanice a další provozní data jsou digitalizována a je rovněž provedena **kompletace** a popis fotodokumentace.

7. Příprava dat k vyhodnocení – každá měřicí kampaň má vytvořenou databázi, v níž jeden záznam odpovídá jednomu vlaku, jehož **průjezd** dvěma lokalitami byl zaznamenán. K provozním údajům o vlaku zjištěným při vlastním měření se dodatečně doplní další dopravní charakteristiky a **přidají data** o emisi hluku.

8. Vyhodnocení měření – připravená data se **statisticky zpracují** a expertně vyhodnotí.

Uvedené postupy byly v roce 2011 odzkoušeny, **upraveny** a přizpůsobeny reálnému provozu v rámci pilotních měření a na základě **pozitivních výsledků** byly doporučeny pro aplikaci v další etapě řešení úkolu v roce 2012.

### 3.2. Pilotní měřicí kampaně v roce 2011

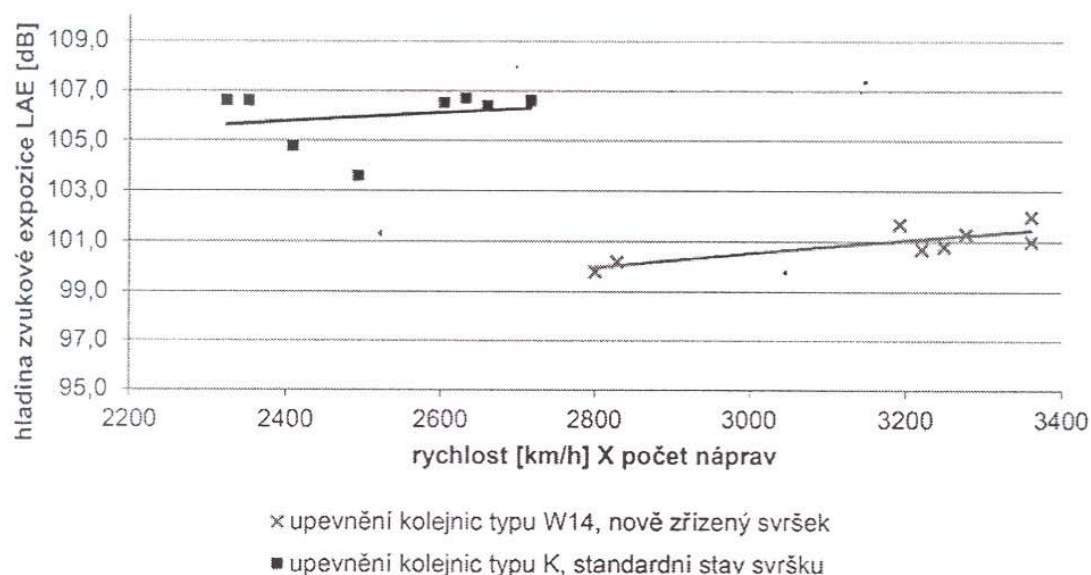
Měření proběhla v rozpětí měsíců červenec až září 2011 v osmi kampaních. Pro vyhodnocení sebraných dat byla zvolena metoda porovnání hladin zvukové expozice  $L_{AE}$  při jednotlivých průjezdech vlaku. Hladina zvukové expozice je fiktivní hladina ustáleného zvuku trvajících 1 s, který má stejnou akustickou energii jako zvuková událost s jinou dobou trvání. Zvuková expozice se v některých případech používá pro hodnocení diskrétních zvukových událostí (průjezdy vozidel apod.).

Vzhledem k rozdílným rychlostem průjezdů jednotlivých vlaků v obou stanovištích byla pro zdejší prezentaci výsledků zvolena závislost hladiny zvukové expozice na součinu rychlostí a počtu vozů (reprezentovaném počtem náprav) vlaku.

Body v grafu znázorňující jednotlivé průjezdy jsou pak proloženy logaritmickou regresní křivkou.

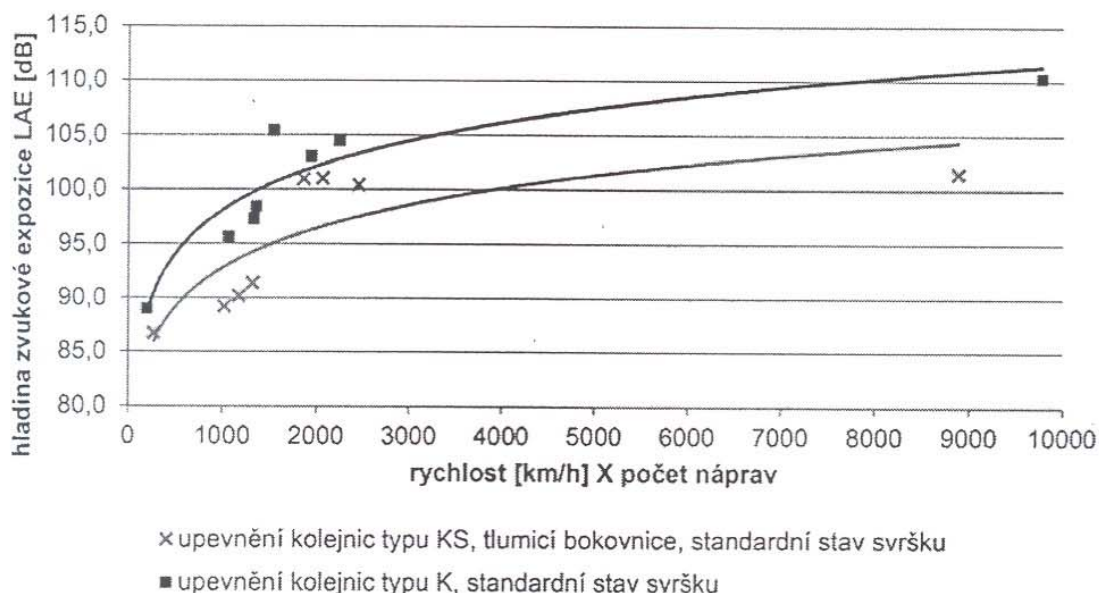
Nutno ovšem podotknout, že výsledky jsou pouze předběžné a velmi orientační, získané z nevelkého souboru naměřených dat. Oba zde uvedené grafy pochází z měření na elektrické trati.

Graf 1. Hlukové emise u starého a nově zřízeného svršku



[autor]

Graf 2. Hlukové emise u běžného svršku a svršku opatřeného tlumicími bokovnicemi kolejnic



[autor]

Graf 1 porovnává akustickou situaci při průjezdu vlaku po starším typu svršku opatřeném tuhým podkladnicovým upevněním kolejnic typu K a po nově zřízeném svršku s pružným upevněním kolejnic typu W14. Na novém svršku jsou rychlosti vlaků významně vyšší (o cca 20 km/h), ovšem hluk při průjezdech je naopak nižší.

Graf 2 pak porovnává svršek opatřený tuhým upevněním typu K se svrškem s pružným podkladnicovým upevněním typu KS, kde kolejnice jsou navíc opatřeny

tlumicími bokovnicemi. Rychlosti vlaků u obou stanovišť jsou v průměru téměř stejné, svršek s upevněním typu KS a s tlumicími bokovnicemi vykazuje nižší hlučnost.

#### 4. Závěr, další práce na projektu

V kalendářním roce 2011 došlo v rámci řešení projektu k získání celkového přehledu o dané problematice a stanovení lokalit a metodiky pro následná měření hluku. Výše uvedených cílů bylo dosaženo provedením rešerší domácích i zahraničních informačních zdrojů. Jedná se zejména o obecné poznatky o hluku s důrazem na hluk z železniční dopravy (jeho vznik a podstata, veličiny posuzující hlukovou zátěž), legislativní situaci v oblasti ochrany životního prostředí před hlukem, protihlukových opatřeních a existujících metodikách pro stanovení hladin akustického tlaku v okolí železničních tratí.

Dále byly v souladu s metodikou řešení projektu vybrány základní vhodné lokality k měření hlukových emisí od jedoucích vlaků k následnému synchronnímu měření, a to s ohledem na stávající konstrukci koleje, její možnou budoucí úpravu, charakter železničního provozu a okolí trati. Ve vytipovaných místech byla provedena pilotní měření, na základě nichž byla vytvořena metodika pro hromadná měření v další etapě projektu – v roce 2012. Výčet lokalit pro měření není neměnný, protože průběžně dochází k rekonstrukcím a modernizacím úseků železničních tratí. To s sebou přináší změnu konstrukce svršku, resp. jeho kvality, a tím zánik nebo naopak vznik skupin míst vhodných pro měření.

Samotná měření probíhají v reálných podmínkách železničního provozu na území České republiky – na stávajícím vozovém parku, na různých konstrukčních typech železničního svršku a také v různém technickém stavu s ohledem na údržbu a namáhání běžným provozem. Data jsou sbírána synchronně tak, aby došlo k zachycení hladiny akustického tlaku při průjezdu každého jednotlivého vlaku vždy na dvou různých typech svršku. Předběžné výsledky z pilotních měření potvrdily teoretické předpoklady, byť množství dat zatím není dostatečně reprezentativní.

V roce 2012 probíhají na základě získaných zkušeností hromadná (mnohdy i opakovaná) měření ve vybraných lokalitách s cílem získání co nejrozsáhlejšího vzorku dat. Regresní analýzou i některými nekonvenčními heuristickými metodami budou následně výsledky měření hluku vyhodnoceny s cílem zjištění, jak se zejména různá konstrukce železničního svršku projevuje na vzniku a šíření hluku od projíždějících vlaků.

Výsledkem má být jednotná metodika, která v současné době v ČR chybí a jež umožní nadefinovat vhodné korekce výpočtu u různých typů tratí pro nejčastěji používané metodiky výpočtu hluku ze železniční dopravy.

#### Literatura

- [1] HLAVÁČEK, Jan. Technické specifikace pro interoperabilitu subsystému „Hluk“. Vědeckotechnický sborník Českých drah [online]. 2004, č. 18, [cit. 2012-07-15]. Dostupné z WWW: <<http://www.cd rail.cz/VFS/CLANKY/vts18/18cl09.pdf>>. ISSN 1214-9047.
- [2] Working Group Railway Noise of the European Commission: Position Paper on the European strategies and priorities for railway noise abatement. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2003. 92 s. Dostupné z WWW: <[http://circa.europa.eu/Public/irc/env/noisedir/library?l=/position\\_papers/railway\\_noise\\_enpdf/\\_EN\\_1.0\\_&a=d](http://circa.europa.eu/Public/irc/env/noisedir/library?l=/position_papers/railway_noise_enpdf/_EN_1.0_&a=d)>. ISBN 92-894-6055-5.

## **Poděkování**

*Tato práce vznikla jako součást řešení projektu TA01030087 "Vliv opatření na infrastrukturu železniční dopravy na snížení vzniku a šíření hluku od jedoucích vlaků" financovaného Technologickou agenturou České republiky.*

# **Measurements of railway noise in the project TACR**

**David Vašica**

*Czech Technical University in Prague Faculty of Transportation Sciences*

*Konviktska 20, 110 00 Prague 1*

*e-mail: xvasica@fd.cvut.cz*

## **Abstract**

In the Czech Republic, railway noise is calculated according to Czech national methodology during the project preparation of the modernisation and optimisation of the railway lines. This methodology, however, arose in the last century, and its use leads to significant overvaluation of the noise load in surrounding areas, in particular for upgraded and optimized railway tracks with modern construction and when using modern trains, mainly passenger traffic (disc brakes, multiple units).

The aim of the project is to determine the noise emission data, alternatively to find out correction for noise reduction between the original and modernized lines, so that it was possible to define the conditions under which the noise emission values are valid. This will allow to use the Czech methodology, or foreign one, so that the results of a calculation will be as close as possible to actual conditions which will lead to design the optimized noise reduction solutions.

The main focus of the project is therefore to determine the real noise emission values. To this end, the systematic measurement is done on Czech railway network. Suitable sites with or without reconstruction are selected. There are realised repeated and synchronous measurement of the noise from the same train which passed through different places with various track construction types.

From the known parameters of a moving train, tracks and on the basis of sound pressure level values, or possibly frequency spectrum, will be defined impact of the railway track type on the railway noise.