



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

PROBLEMATIKA HLUKU KOLEJOVÝCH VOZIDEL

RAILROAD VEHICLES NOISE ISSUE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Andrej Rydlo

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Martin Zubík

BRNO 2016

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student:	Andrej Rydlo
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	Ing. Martin Zubík
Akademický rok:	2015/16

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Problematika hluku kolejových vozidel

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Rešeršní práce zabývající se obecně kritickými místy z hlediska hluku na kolejovém vozidle v kontextu současných legislativních požadavků. Hlavní zaměření se předpokládá na identifikaci všech legislativních omezení a porovnání hlukových norem u kolejových a silničních vozidel.

Cíle bakalářské práce:

- Identifikace kritických míst kolejového vozidla obecně
- Interpretace současných legislativních omezení z hlediska hluku
- Srovnání norem hluku u kolejových a silničních vozidel
- Vliv jednotlivých zdrojů hluku na různě definované normované zkoušky
- Závěrečné zhodnocení

Seznam literatury:

Crocker, M. J. (2007): Handbook of noise and vibration control. John Wiley & Sons, Hoboken.

Smetana, C., a kol. (1998): Hluk a vibrace: měření a hodnocení, 1. vyd. Sdělovací technika, Praha.

ČSN EN ISO 3095 (2014): Akustika, Železniční aplikace, Měření hluku vyzařovaného kolejovými vozidly. Evropský výbor pro normalizaci, Brusel.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty



ABSTRAKT

Táto rešeršná práca sa zaoberá hlukom koľajovej dopravy z hľadiska legislatívnych obmedzení a meraní. V úvode sú rozobrané zdroje hluku a ich význam pri rôznych rýchlostiach. Jadro práce tvorí spracovanie súčasných hlukových limitov a normovaných skúšok. V závere je poskytnuté nahliadnutie a porovnanie noriem hluku s cestnou dopravou.

KLÍČOVÁ SLOVA

hluk, hlukové skúšky, hlukové limity, koľajové vozidlá

ABSTRACT

This thesis includes research study of railway noise from the view of legislated restrictions and measurements. Different sources of noise are discussed in the beginning while the core of the work processes current noise limits and noise measurements. There is also provided a peek into road vehicles limits and measurements with comparison.

KEYWORDS

noise, noise measurements, noise limits, railway vehicles



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Rydlo, A. *Problematika hluku koľajových vozidiel*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 29 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Martin Zubík.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Martina Zubíka a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 27. května 2016

.....

Andrej Rydlo



PODĚKOVÁNÍ

Rád by som poďakoval Ing. Martinovi Zubíkovi za vedenie mojej bakalárskej práce, jeho venovaný čas, rady a pripomienky.



OBSAH

Úvod	9
1 Zdroje hluku koľajových vozidiel	10
1.1 Hluk valenia	10
1.2 Hluk motora	11
1.3 Aerodynamický hluk.....	11
2 Legislatívne obmedzenia hluku z dopravy	12
2.1 Limity pre Hluk pri státi	13
2.2 Limity pre hluk pri rozjazde	13
2.3 Limity pre hluk pri prejazde	14
2.4 Limity pre vnútorný hluk na stanovišti rušňovodiča	14
3 Meranie hluku koľajových vozidiel podľa normy ČSN EN ISO 3095	16
3.1 Stacionárna skúška.....	16
3.1.1 Polohy mikrofónov	16
3.1.2 Postup a spracovanie skúšky	17
3.1.3 Zdroje hluku koľajového vozidla vplývajúce na stacionárnu skúšku	17
3.2 Skúška pri konštantnej rýchlosti jazdy	18
3.2.1 Traťové podmienky	18
3.2.2 Postup skúšky	18
3.2.3 Zdroje hluku vplývajúce na skúšku pri konštantnej rýchlosti	20
3.3 Skúška rozjazdu z pokojového stavu	20
3.3.1 Merané miesta.....	20
3.3.2 Postup a spracovanie skúšky	21
3.3.3 Zdroje hluku vplývajúce na skúšku rozjazdu z pokojového stavu	21
3.4 Skúška spomaľujúcich vozidiel	21
3.4.1 Merané miesta.....	21
3.4.2 Postup a spracovanie skúšky	21
3.4.3 Zdroje hluku vplývajúce na skúšku spomaľujúcich vozidiel	22
4 Hluk v cestnej doprave	23
4.1 Meranie hluku vydávaného stojacimi vozidlami	24
4.2 Meranie hluku pohybujúcich sa cestných vozidiel	24
Záver.....	26
Zoznam použitých skratiek a symbolov	29



ÚVOD

Hluk je nežiadúci jav, ktorý dokáže spôsobovať zdravotné problémy. Je preto vo všeobecnom záujme, aby bolo hlukové znečistenie držané na čo najnižšej úrovni. Hlukové emisie z dopravy predstavujú výrazný podiel na hlukovom znečistení prostredia, aj preto boli prvé hlukové obmedzenia osobných automobilov predstavené už v roku 1929. [18]

Železničná doprava je enviromentálne šetrný spôsob prepravy vhodný do modernej spoločnosti, avšak produkovaný hluk dosahuje jednu z najvyšších dopravných akustických hladín. Preto existujú medzinárodné predpisy, ktoré limitujú expozíciu hluku v prostredí. Najmä u starších vozidiel však môže nastať problém splniť dané obmedzenia. Vtedy je potrebné vedieť vyhodnotiť zdroje hluku a aplikovať efektívne protihlukové opatrenia.

Práca je zameraná na zdroje hluku koľajových vozidiel, ich vplyv na normované skúšky a interpretáciu legislatívnych obmedzení. Porovnanie normovaných skúšok cestných a koľajových vozidiel je spracované v záverečnej kapitole.

1 ZDROJE HLUKU KOĽAJOVÝCH VOZIDIEL

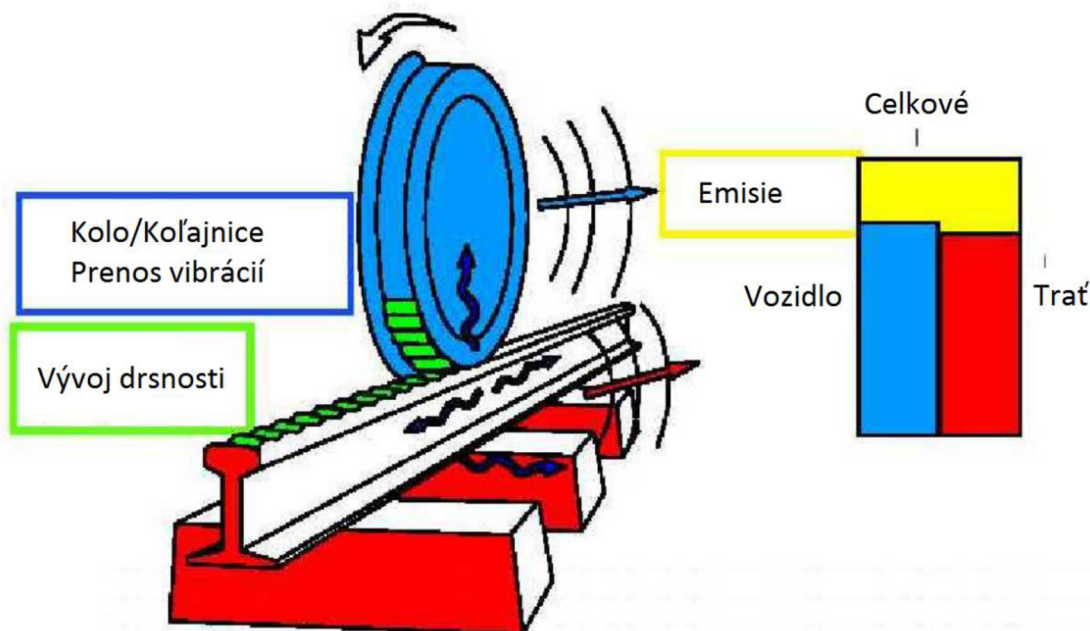
Hlukové emisie sú ovplyvňované množstvom faktorov. Predovšetkým spôsobom vedenia trasy, druhom trakcie, rýchlosťou vlaku, konštrukciou a technickým stavom vozidiel či železničného svršku. Ďalej je šírenie hluku závislé na klimatických podmienkach, konfigurácií okolitého terénu a druhu jeho povrchu. Vo všeobecnosti sú určené tri rôzne zdroje hluku zo železničnej dopravy:

- Hluk valenia
- Hluk motora
- Aerodynamický hluk

Ďalej vzniká lokálny dopravný hluk vyvolaný hlukom brzd, miestnym rozhlasom, hlukom v oblúkoch, húkačiek a pomocných zariadení. [1] [2]

1.1 HLUK VALENIA

Valením ocelového kolesa po koľajnici vznikajú sily v kontaktnej zóne. Tie spôsobujú vibrácie, a tým pádom produkujú hluk. Sila generovaná v kontakte je závislá na rýchlosti vlaku a tiež na drsnosti povrchu kolies, či plynulosti trate. Teda valivý hluk sa zvyšuje s narastajúcou rýchlosťou vlaku a vozidlá s drsnejšími kolesami budú produkovať väčšie množstvo hluku ako vozidlá s malou drsnosťou kolies. Ďalší vplyv na tvorbu hluku majú nerovnosti koľajnice, vlnkovitosť. Vplyv smerového vedenia trate sa prejavuje v oblúku, kde dochádza ku zvyšovaniu hladiny hluku trením okolku železničných vozidiel o hlavu koľajnice. [1] [3]



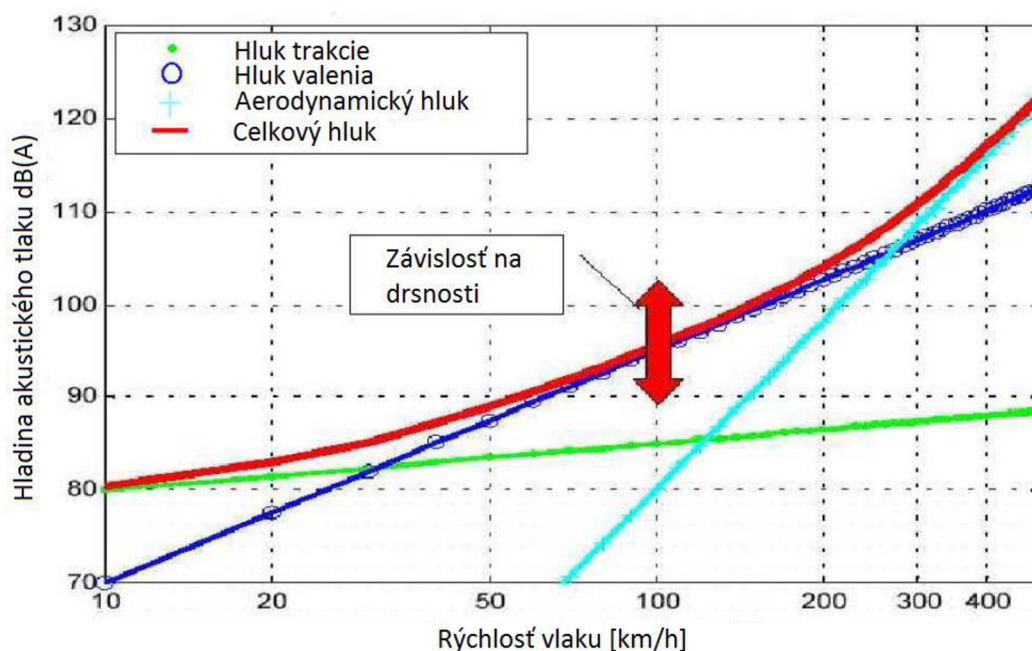
Obr. 1 Vývoj, prenos a emisie hluku valenia [3]

1.2 HLUK MOTORA

Hluk motora sa spája najmä s nízkymi rýchlosťami do 30 km/h. Je len málo závislý na rýchlosti vlaku, teda pri vyšších rýchlostiach je prehlúšený valivým hlukom. U dieselových lokomotív je pri rozjazdoch značný rozdiel hlukových emisií oproti vozidlám s elektrickým pohonom, kde sú emisie nižšie. [2] [4]

1.3 AERODYNAMICKÝ HLUK

Vzniká v dôsledku turbulencie a prúdenia vzduchu okolo vonkajších častí vozidla. Táto zložka hluku začína byť dominantnou pri rýchlostiach nad 250 km/h. Zásadný vplyv na aerodynamický hluk má tvar čela vlaku a jeho súčiniteľ odporu vzduchu. Čiastočne je možné ho eliminovať zakrytím podvozkov a medzivozových prechodov. [2] [4]



Obr. 2 Závislosť zdrojov hlukových emisií na celkovom hluku [3]

2 LEGISLATÍVNE OBMEDZENIA HLUKU Z DOPRAVY

Hluk je rušivý jav, znečisťujúci životné prostredie a nepriaznivo ovplyvňuje zdravie ľudí, pričom hluk z dopravy patrí medzi najdominantnejšie zdroje. Hlavná zásada európskej dopravnej politiky bola formulovaná v tom zmysle, že železničná doprava, ktorá je šetrnejšia k životnému prostrediu, prevezme na seba podstatnú časť nárastov dopravných kapacít. Železničná doprava, v porovnaní s dopravou automobilovou, či leteckou, je všeobecne považovaná za ekologickejšiu aj čo sa týka obťažovania hlukovými emisiami. Vyplýva to z charakteru hlukových emisií. Kým hladina hluku z diaľničnej premávky sa v priebehu daného časového úseku takmer nemení, hladina akustických emisií železničnej dopravy pozostáva z jednotlivých prejazdov vlakov. Medzi danými prejazdmi spadá hladina akustického tlaku na úroveň prostredia. [5]

Ochrane zdravia obyvateľov pred hlukom sa prikladá vysoká dôležitosť. Táto problematika je riešená na národnej úrovni v podobe zákona č. 258/2000 Sb., o ochrane verejného zdravia. Limity pre hluk sú podrobne stanovené nariadením vlády č. 148/2006 Sb., o ochrane zdravia pred nepriaznivými účinkami hluku a vibrácií.

Tab. 1 Základné limitné hodnoty vonkajšieho hluku

Vonkajší hluk	Deň (6:00 – 22:00)	Noc (22:00 – 6:00)
Základný limit – pre hluk iný, než z dopravy	50 dB	40 dB
Pre hluk z cestnej dopravy	55 dB	45dB
Pre hluk zo železničnej dopravy	55 dB	50 dB
Pre hluk z hlavných ciest	60 dB	50 dB
Pre hluk v ochranných pásmach dráh	60 dB	55 dB
Pre starú hlukovú záťaž 70 dB	70 dB	60 dB
Pre starú hlukovú záťaž pri železničných dráhach	70 dB	65 dB

[6]

Hlučnosť vlakov sa rieši aj na európskej úrovni. Európsky program interoperability má za cieľ vytvorenie jednotného železničného priestoru a umožnenie hladkého prechodu z jednej vnútroštátnej siete do druhej. Smernica 2002/49/ES z 25. 6. 2002 o hodnotení a riadení hluku v životnom prostredí poskytuje základ pre prijímanie opatrení, ktoré sú zamerané na zníženie hluku vydávaného železničnými vozidlami. [7]

Z tejto smernice vychádza nariadenie európskej komisie č. 1304/2014 z 26. novembra 2014 týkajúcej sa subsystému „železničné koľajové vozidlá – hluk“. Tá označila za kritické tieto základné parametre [8]:

- hluk pri státi
- hluk pri rozjazde
- hluk pri prejazde
- vnútorný hluk na stanovišti rušňovodiča

2.1 LIMITY PRE HLUK PRI STÁTÍ

Hodnoty uvedené v tabuľke 2 sú maximálne povolené hladiny akustického tlaku, týkajúce sa huku pri státi za normálnych podmienok.

Zavedené boli tieto termíny:

1. Vážená ekvivalentná súvislá hladina A akustického tlaku $L_{pAeq,T}$
2. Vážená ekvivalentná súvislá hladina A akustického tlaku v najbližšej polohe merania i vzhľadom k hlavnému vzduchovému kompresoru $L_{pAeq,T}^i$
3. Vážená hladina AF akustického tlaku v najbližšej polohe merania i vzhľadom k impulznému huku výfukového ventilu sušiča vzduchu $L_{pAF,max}^i$

Tieto hraničné hodnoty sú stanovené pri vzdialenosti 7,5 m od osy koľaje, 1,2 m nad temenom koľajníc. [8]

Tab. 2 Hraničné hodnoty pre hlučnosť pri státi

Kategória	$L_{pAeq,T}$ [dB]	$L_{pAeq,T}^i$ [dB]	$L_{pAF,max}^i$ [dB]
Elektrické rušne a traťové stroje s elektrickou trakciou	70	75	85
Diesellové rušne a traťové stroje s dieselovou trakciou	71	78	
Elektrické motorové jednotky	65	68	
Dieselmotorová jednotka (DMJ)	72	76	
Osobné vozne	64	68	
Nákladné vozne	65	Neuplatňuje sa	

2.2 LIMITY PRE HLUK PRI ROZJAZDE

Pre posúdenie huku vlaku pri rozjazde sa uvádzajú hodnoty pre maximálnu váženú hladinu AF akustického tlaku $L_{pAF,max}$. Hraničné hodnoty sú takisto stanovené pri vzdialenosti 7,5 m od osy koľaje a 1,2 m nad temenom koľajníc. [8]

Tab. 3 Hraničné hodnoty akustického tlaku pri rozjazde

Kategória	$L_{pAF,max}$
Elektrické rušne s celkovým trakčným výkonom $P < 4500$ kW	81
Elektrické rušne s celkovým trakčným výkonom $P \geq 4500$ kW Traťové stroje s elektrickou trakciou	84
Diesellové rušne $P < 2000$ kW na výstupnom hriadeli motora	85
Diesellové rušne $P \geq 2000$ kW na výstupnom hriadeli motora Traťové stroje s dieselovou trakciou	87

Elektrické motorové jednotky s maximálnou rýchlosťou $v_{\max} < 250$ km/h	80
Elektrické motorové jednotky s maximálnou rýchlosťou $v_{\max} \geq 250$ km/h	83
Diesellové motorové jednotky $P < 560$ kW/motor na výstupnom hriadeli motora	82
Diesellové motorové jednotky $P \geq 560$ kW/motor na výstupnom hriadeli motora	83

2.3 LIMITY PRE HLUK PRI PREJAZDE

Na posúdenie hraničných hodnôt hluku pri prejazde sa využíva vážená ekvivalentná súvislá hladina A akustického tlaku pri prejazde 80 km/h [$L_{pAeq, Tp, (80)}$]. Pre prípady, kde je to uplatniteľné, sa používajú aj hodnoty akustického tlaku pri prejazde rýchlosťou 250 km/h [$L_{pAeq, Tp, (250)}$]. [8]

Tab. 4 Limitné hodnoty hluku pri prejazde

Katégoria	$L_{pAeq, Tp, (80)}$ [dB]	$L_{pAeq, Tp, (250)}$ [dB]
Elektrické rušne a traťové stroje s elektrickou trakciou	84	99
Diesellové rušne a traťové stroje s dieselovou trakciou	85	Neuplatňuje sa
Elektrické motorové jednotky	80	95
Dieselmotorová jednotka (DMJ)	81	96
Osobné vozne	79	Neuplatňuje sa
Nákladné vozne	83	Neuplatňuje sa

2.4 LIMITY PRE VNÚTORNÝ HLUK NA STANOVIŠTI RUŠŇOVODIČA

Úroveň vnútorného hluku osobných vozidiel sa nepovažuje za základný parameter. Hluk na stanovišti rušňovodiča je však dôležitým problémom. Je potrebné udržiavať hladinu vnútorného hluku na čo najnižšej úrovni, či už jeho obmedzovaním pri zdroji tak aj pomocou vhodných doplnkových opatrení (zvuková izolácia, absorbcia zvuku). Limitné hodnoty v tabuľke 5 platia pre všetky predchádzajúce kategórie koľajových vozidiel so stanovišťom rušňovodiča. Meracie postupy pre traťové stroje sa vykonávajú bez dodatočného zaťaženia pripojených vozidiel. [8]

Tab. 5 Limity pre hluk na stanovišti rušňovodiča

Hluk na stanovišti rušňovodiča	$L_{pAeq,T}$ [dB]
Pri státi za zvuku húkačky	95
Pri najvyššej rýchlosti $v_{max} < 250$ km/h	78
Pri najvyššej rýchlosti $v_{max} > 250$ km/h	80

Základnou požiadavkou vyplývajúcou zo smernice je, aby každé interoperabilné vozidlo spĺňalo uvedené akustické limity. Aby boli mernia hlukových skúšok porovnateľné a jednotné, vznikla medzinárodná norma na meranie hluku vyžarovaného koľajovými vozidlami ČSN EN ISO 3095. [5]

3 MERANIE HLUKU KOĽAJOVÝCH VOZIDIEL PODĽA NORMY ČSN EN ISO 3095

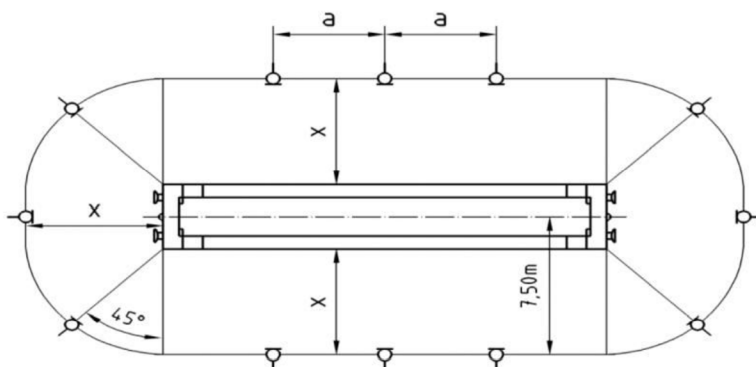
Predmetom tejto normy sú metódy merania a podmienky pre získavanie reprodukovateľných a porovnateľných výsledkov hladín emisií hluku. Je aplikovateľná na všetky druhy vozidiel používaných na koľajniciach, či iných druhoch pevných dráh. Nezahrňuje ale charakteristiky hlukových emisií zo zdrojov súvisiacich s infraštruktúrou, ako napríklad mosty, železničné prechody, výhybky, rázový hluk, hluk v oblúkoch a iné. Merania sa musia vykonávať prístrojovým vybavením, ktoré spĺňa príslušné európske normy. Pre presnosť skúšky je potrebné, aby boli dodržané jednotlivé podmienky, ktoré sú podrobne a presne popísané v texte normy. Dôležité však je zaistiť, aby prípadný hluk z iných zdrojov výrazne neovplyvňoval meranie a plocha medzi traťou a mikrofónom nesmie obsahovať žiadny zvuk pohlcujúci materiál. Pred každou radou meraní je nutné overiť kalibráciu meracieho systému. V prípade, že je medzi dvoma po sebe nasledujúcimi kalibráciami rozdiel väčší než 0,5 dB, musia byť výsledky meraní medzi týmito kalibráciami vyradené. [9] [10]

3.1 STACIONÁRNA SKÚŠKA

Hluk od nepohybujúceho sa vozidla je závislý na prevádzkových podmienkach, ktoré sa môžu líšiť. Stacionárne meranie je potrebné realizovať spolu so všetkými zdrojmi hluku, ktoré sú pri stáť v činnosti.¹ [10]

3.1.1 POLOHY MIKROFÓNOV

Každý voz musí byť rovnomerne rozdelený do oblastí rovnako dlhých, v rozmedzí 3 - 5 m. Meracie miesta sa nachádzajú v polovici dĺžky príslušnej oblasti na oboch stranách vozidla. Ďalšie mikrofóny sa umiestňujú na predný a zadný koniec meranej jednotky, 30° od osy koľaje. Každé meracie miesto je umiestnené vo vzdialenosti 7,5 m od osi koľaje a vo výške 1,2 m nad temenom koľajnice. Osy mikrofónov musia byť vodorovné a smerovať kolmo k obrysu vozidla.



Obr. 2 Polohy mikrofónov pri stacionárnej skúške [9]

¹ U nákladných vozov je stacionárna skúška relevantná iba v prípade, ak sú na voze inštalované pomocné zariadenia: napríklad motory, generátory, alebo chladiace systémy. Väčšinou sa jedná o chladiace vozy.



Ak sú niektoré merané miesta ekvivalentné a povedú k rovnakým výsledkom, je možné tieto miesta vynechať. V prípade, že sú obe strany meranej jednotky identické, rozloženie hluku bude symetrické a meracie miesta na jednej strane je povolené vynechať. Pri formáciách niekoľkých vozov rovnakého typu je prípustné merať každý typ vozidla iba raz.

Nastávajú prípady, kedy je vhodné použiť dodatočné meracie miesta. Ak sa v hornej časti vozidla nachádza významný zdroj hluku, používa sa meracia sieť vo výške 3,5 m. Ďalšie mikrofóny sa pridávajú, keď je požadované posúdenie jednotlivých zdrojov hluku. Umiestňujú sa vo výške 1,2 m alebo 3,5 m. [10]

3.1.2 POSTUP A SPRACOVANIE SKÚŠKY

Aby bola skúška akceptovaná, sú požadované tri platné merania v každej polohe. Platnosť meraní sa posudzuje voči hladine akustického tlaku pozadia. Časový interval merania T musí byť aspoň 20 s. Vo výnimočných prípadoch, kedy nie je možné udržať zdroj hluku na nominálnej záťaži po dobu 20 s, môže byť časový interval T skrátený až na minimum 5 s.

Z rady nameraných hodnôt je vypočítaný energetický priemer [1], ktorý reprezentuje hluk meraného vozidla, alebo sady vozov.

$$L_{pAeq,T} = 10 \lg \sum_{i=1}^n \frac{l_i}{l_{tot}} 10^{L_{pAeq,T}^i/10} \quad (1)$$

kde je

$L_{pAeq,T}^i$ hladina akustického tlaku v meranom mieste i

n počet meraných miest

l_i dĺžka spojená s meracím miestom i .

$$l_{tot} = \sum_{i=1}^n l_i$$

Výsledkom skúšky je aritmetický priemer $L_{pAeq,T}$ hodnôt, zaokrúhlený na najbližší celý decibel.

V prípade, že bola zavedená aj sekundárna meracia sieť vo výške 3,5 m, je potrebné jej samostatné spracovanie a emisie hluku sa vypočítajú obdobne podľa vzťahu (1). [10]

3.1.3 ZDROJE HLUKU KOLAJOVÉHO VOZIDLA VPLÝVAJÚCE NA STACIONÁRNU SKÚŠKU

Z podstaty stacionárnej skúšky vyplýva, že zložky valivého a aerodynamického hluku sú nulové. Aby sa dosiahlo nižšej hladiny akustického tlaku, je nutné optimalizovať hluk z trakcie. Toho je možné docieľiť výmenou vozidiel s dieselovým motorom za vozidlá s elektrickým pohonom. Hluk od elektrického pohonu je spôsobovaný predovšetkým valením

ložisiek trakčných motorov, hlukom ventilátoru chladenia a hlukom prevodovky. Chladením motoru chladiacou kvapalinou a spojením motora s kolesami zubovou spojku sa dokáže tento hluk výrazne obmedziť. [11]

3.2 SKÚŠKA PRI KONŠTANTNEJ RÝCHLOSTI JAZDY

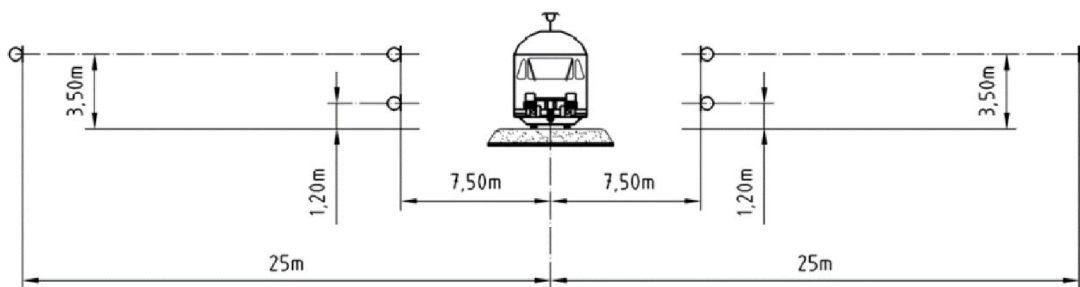
3.2.1 TRAŤOVÉ PODMIENKY

Hlukové emisie obsahujú príspevky z koľajových vozidiel a trate. Preto sú hodnoty emisií hluku porovnateľné len medzi jednotlivými miestami, kde sú parametre trate kontrolované. U konvenčných vozidiel sa merania vykonávajú na koľaji so štrkovým podložím a drevenými alebo betónovými pražcami. V prípade, že sa vozidlá využívajú aj na koľajniciach inej konštrukcie, majú byť pre túto skúšku použité. Koľaj v meranom úseku musí byť zváraná a bez viditeľných povrchových vad ako vlnkovitosť, miesta vybrúsené preklzom kolies, či vrypy spôsobené stlačením cudzích materiálov medzi koleso a koľajnicu. Na zvarových miestach a uvoľnených pražcoch nemá vznikáť počutelný hluk od nárazov. Stúpanie trate nesmie presiahnuť 5:1000 a polomer oblúku r musí byť [10]:

- $r \geq 1000$ m pre skúšky pri rýchlosti $v \leq 70$ km/h
- $r \geq 3000$ m pre skúšky pri rýchlosti $70 < v \leq 120$ km/h
- $r \geq 5000$ m pre skúšky pri rýchlosti $v > 120$ km/h

3.2.2 POSTUP SKÚŠKY

Umiestnenie meraných miest je závislé na rýchlosti vlaku. Mikrofóny sa umiestňujú vo vzdialenosti 7,5 m od osy koľaje, vo výške 1,2 m nad temenom koľajnice. Alternatívne, pri rýchlosti vyššej ako 200 km/h sa môže umiestniť vo vzdialenosti 25 m od osy koľaje, vo výške 3,5 m nad temenom koľajnice.



Obr. 3 Polohy mikrofónov pri skúške za konštantnej rýchlosti [9]

Základnou meranou veličinou je $L_{pAeq,T}$, rýchlosť vlaku a doba prejazdu T_p . [9] [10]

3.2.2.1 RÝCHLOSTI PRE MERANIE PREJAZDU

- skúšky vozidiel s $v_{max} > 80$ km/h: skúška sa vykonáva pri $v = 80$ km/h a pri v_{max}

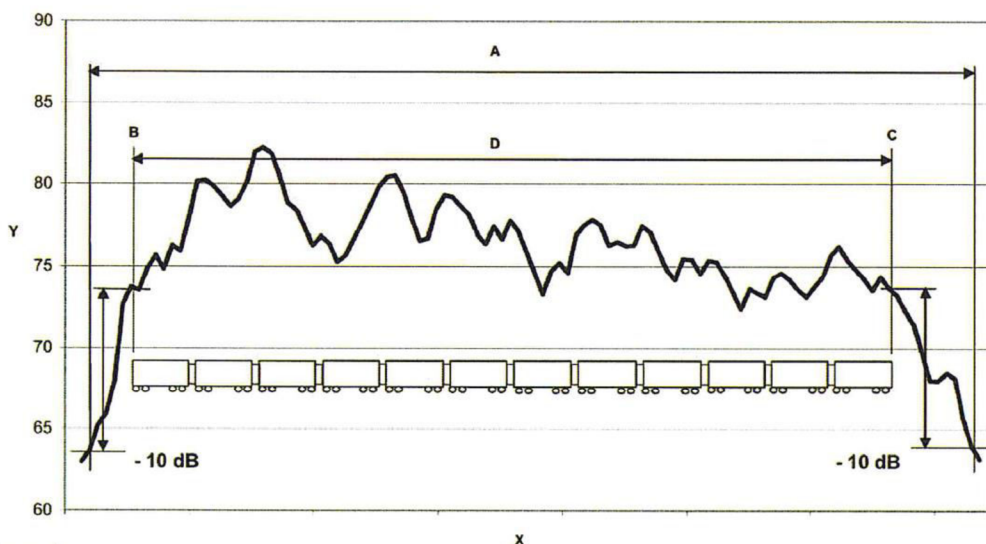
b) skúšky vozidiel s $v_{max} \leq 80$ km/h: skúška sa vykonáva pri v_{max}

V prípadoch, kedy sú požadované ďalšie skúšky, sa prednostne používajú rýchlosti: 20 km/h, 40 km/h, 60 km/h, 80 km/h, 100 km/h, 120 km/h, 140 km/h, 160 km/h, 200 km/h, 250 km/h, 300 km/h, 320 km/h a 350 km/h.

Povolená odchýlka rýchlosti vozidla meraným miestom je ± 5 %. [10]

3.2.2.2 MERANIE A ZAZNAMENÁVANIE ČASOVÝCH INTERVALOV

Meranie musí byť nastavené tak, aby bol začiatok a koniec záznamu v momente, kedy je hladina akustického tlaku nižšia aspoň o 10 dB oproti okamihu, kedy prechádza predná časť a následne zadný koniec súpravy meraným miestom. [9] [10]



Legenda

- Y A-vážená hladina akustického tlaku, dB
- X čas
- A časový interval záznamu T_{rec}
- B T_1 : počátek záznamu měření
- C T_2 : konec záznamu měření
- D Časový interval měření $T = T_p$

Obr. 4 časový záznam prejazdu meranej sústavy [10]

Pre každé merané miesto sa vypočíta hodnota $L_{pAeq,Tp}$ (2). Výsledkom skúšky je aritmetický priemer týchto hodnôt.

$$L_{pAeq,Tp} = 10 \lg \left(\frac{1}{T_p} \int_0^{T_p} \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt \right) \quad (2)$$

kde je

$L_{pAeq,Tp}$ ekvivalentná hladina akustického tlaku v meranom intervale T_p



T_p	doba prejazdu
T	časový interval merania
$p_A(t)$	okamžitý akustický tlak
p_0	referenčný akustický tlak, $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$

3.2.3 ZDROJE HLUKU VPLÝVAJÚCE NA SKÚŠKU PRI KONŠTANTNEJ RÝCHLOSTI

Na huku emitovanom pri konštantnej rýchlosti sa podieľajú všetky tri hlavné zdroje hluku. Preto je kritické vedieť tieto jednotlivé zložky odseparovať a tým určiť adekvátne protihlukové opatrenia. Pri skúškach v rýchlosti 20 km/h a 40 km/h je stále dominantný huk trakcie. V rýchlostnom spektre 60 km/h – 250 km/h je primárny zdroj hlukových emisií valivý huk. Je možné konštatovať, že zatiaľ čo huk hnacieho stroja a aerodynamický huk sú pre daný typ vlaku konštantné, huk valivý nezávisí len na vozidle, ale tiež na stave koľajníc a funkčnej ploche kolies. Aby sa mohli použiť efektívne opatrenia, je nutné vedieť určiť jednotlivé príspevky hluku od trati a od kolies. V bežných podmienkach, kde merania prebiehajú ich však nie je možné jednoznačne separovať. Preto v ostatných rokoch vznikli projekty, ktoré popisujú a kvantifikujú vznik valivého hluku, napríklad model TWINS. Zníženie hluku od koľají možno dosiahnuť technickými úpravami trate. Použitie pružného upevnenia koľajníc, brúsenie koľajníc alebo aplikovanie koľajových absorbérov hluku však má iba lokálnu pôsobnosť. Technickým opatrením realizovaným na vozidlách je okrem modernizovania vozového parku a tlmičov kolies, výmena liatinových brzdoých klátikov za kompozitové. Pri skúškach vedených rýchlosťou nad 250 km/h sa dostáva do popredia aerodynamický huk. Ako jeden z hlavných zdrojov hluku vysokorýchlostných vlakov je podvozok, ktorý obsahuje mnoho prvkov a prúdenie vzduchu okolo neho je veľmi dynamické. [12] [13]

3.3 SKÚŠKA ROZJAZDU Z POKOJOVÉHO STAVU

Na posúdenie tejto skúšky sa využívajú dve metódy:

- metóda maximálnej hladiny L_{pAFmax} charakterizuje najvyššiu hladinu akustického tlaku produkovanú vozidlom počas skúšky
- metóda zpriemerovanej hladiny L_{pAeqT} kvantifikuje celkovú akustickú energiu vyprodukovanú vozidlom

Meranie prebieha pri maximálnej ťažnej sile bez pretočenia či preklzu kolies. [10]

3.3.1 MERANÉ MIESTA

Meracie zariadenie musí byť umiestnené 10 m pred prednou časťou meraného vozu. Pri meraní maximálnej hladiny akustického tlaku L_{pAFmax} je toto miesto 7,5 m od osy koľaje, vo výške 1,2 m. Na meranie zpriemerovanej hladiny L_{pAeqT} sa umiestni meracie zariadenie 25 m od stredu koľaje, 3,5 m vysoko. [10]



3.3.2 POSTUP A SPRACOVANIE SKÚŠKY

Vlak zrýchľuje z pokojového stavu až dosiahne rýchlosť 40 km/h. Potom pokračuje touto rýchlosťou s využitím minimálnej trakčnej sily k jej udržaniu. Meranie začína v momente, kedy sa vlak začne pohybovať a končí, keď je 10 m za posledným meraným miestom. Predpísaná je séria troch meraní pre každé miesto. V každom meranom mieste sa vypočíta hladina akustického tlaku L_{pAFmax} , alebo L_{pAeqT} a aritmetický priemer týchto hodnôt. U metódy zpriemerovanej hladiny tým dostaneme výstupné údaje. Konečným výsledkom metódy maximálnej hladiny je maximum z aritmetických priemerov. [9] [10]

3.3.3 ZDROJE HLUKU VPLÝVAJÚCE NA SKÚŠKU ROZJAZDU Z POKOJOVÉHO STAVU

Hlukové emisie pri rozjazde sú emitované valením kolies a hlukom trakcie motora. Aerodynamický hluk pri meranej rýchlosti možno zanedbať. Úpravy kolies za dosiahnutím nižšieho hluku od valivého pohybu síce môžu byť vykonané, ale nakoľko je pri skúške v zábere plný výkon hnacieho motora a rýchlosť neprekročí 40 km/h, možno predpokladať, že takéto úpravy nebudú mať zásadný vplyv na výsledok skúšky. Pri daných podmienkach je kritický hluk motora, či už dieselového alebo elektrického.

3.4 SKÚŠKA SPOMALUJÚCICH VOZIDIEL

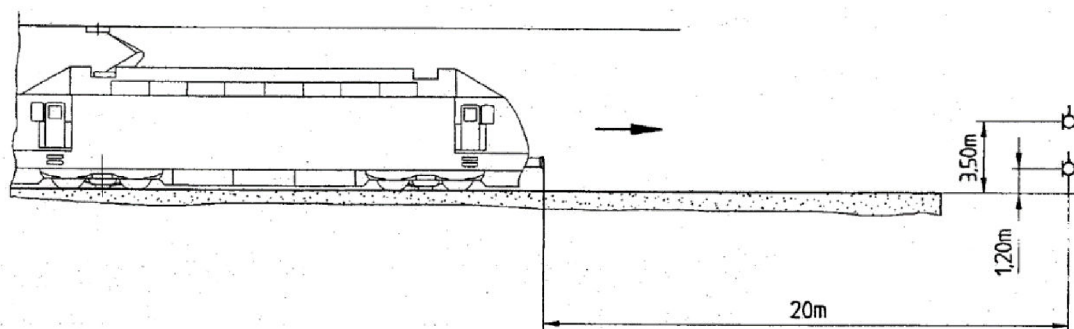
Skúška sa vykonáva pri prevádzkovom brzdení. Neuvažuje sa použitie záchranej, či rýchločinnnej brzdy. [10]

3.4.1 MERANÉ MIESTA

Meracie zariadenia sa umiestňujú štandardne 7,5 m od osy koľaje a vo výške 1,2 m. Umiestnené sú pozdĺž meraného vozidla, v strede prvého vozu v čase úplného zastavenia. Nakoľko nie je možné presne určiť brzdnu vzdialenosť, je povolená tolerancia ± 10 m. [10]

3.4.2 POSTUP A SPRACOVANIE SKÚŠKY

Vlak musí prechádzať konštantnou rýchlosťou 30 km/h. Plné brzdenie začína v čase, kedy je vozidlo 20 m pred meraným miestom a končí po úplnom zastavení. Meranou veličinou je najvyššia hodnota akustického tlaku L_{pAFmax} . Následne sa tieto hodnoty zpriemerujú a konečný výsledok je maximum týchto priemerov. Ak nastane škrípanie brzd, môže dôjsť k väčšiemu rozptylu výsledkov. Tieto výsledky môžu byť uvedené, avšak nemožno počítať ich priemer. [9] [10]



Obr. 5 Schéma merania pri brzdení [9]

3.4.3 ZDROJE HLUKU VPLÝVAJÚCE NA SKÚŠKU SPOMALUJÚCICH VOZIDIEL

Najvyššie hladiny hluku pri brzdení do zastavenia sú častokrát spôsobené škripaním bŕzd. Podobne ako pri pískaní v ostrých zákrutách je tento zdroj hluku závislý na rôznych parametroch akými sú typ bŕzd, konštrukcia či opotrebenie kolies, trenie brzdových špalíkov a kolesa a rýchlosť vlaku. Práve náhrada liatinových brzdových špalíkov, ktoré pri brzdení zdrsnujú povrch kolies a koľajníc, za kompozitové dokáže znížiť valivý hluk až o 50%. Toto je jedno z najviac využívaných opatrení na zníženie hluku z koľajovej dopravy. [14]



4 HLUK V CESTNEJ DOPRAVE

Vozidlo pohybujúce sa po pozemnej komunikácii zaťažuje okolie hlukom, ktorý je vyžarovaný z viacerých zdrojov. Emitovaná hlučnosť je ovplyvnená kategóriou a technickým stavom vozidla, technickým stavom pozemnej komunikácie, rýchlosťou jazdy a inými. Šírenie hluku je ovplyvnené usporiadaním okolitého terénu a klimatickými podmienkami.

Medzi zdroje hluku cestného vozidla patrí najmä spaľovací motor, odvažovanie pneumatiky po vozovke, prúdenie vzduchu okolo vozidla a cez chladiaci a ventilačný systém. [15]

Podľa ustanovení predpisu Európskej komisie pre homologizáciu motorových vozidiel nesmie hladina zvuku prekročiť tieto limity:

Tab. 6 Limity hluku cestných vozidiel [17]

Kategórie vozidiel	Hraničné hodnoty [dB(A)]
Vozidlá používané na prepravu cestujúcich, ktoré môžu mať najviac deväť miest na sedenie vrátane miesta vodiča	74
Vozidlá používané na prepravu cestujúcich, ktoré majú viac než deväť miest na sedenie vrátane miesta vodiča a ich maximálna prípustná hmotnosť presahuje 3,5 tony	
s výkonom motora menej než 150 kW	78
s výkonom motora 150 kW alebo viac	80
Vozidlá používané na prepravu cestujúcich, ktoré majú viac než deväť miest na sedenie vrátane miesta vodiča; vozidlá používané na prepravu tovaru	
s maximálnou prípustnou hmotnosťou do 2 ton	76
s maximálnou prípustnou hmotnosťou vyššou než 2 tony, ale menej než 3,5 tony	77
Vozidlá používané na prepravu tovaru, ktoré majú maximálnu prípustnú hmotnosť presahujúcu 3,5 tony	
s výkonom motora menej než 75 kW	77
s výkonom motora 75 kW alebo viac, ale menej než 150 kW	78
s výkonom motora 150 kW alebo viac	80

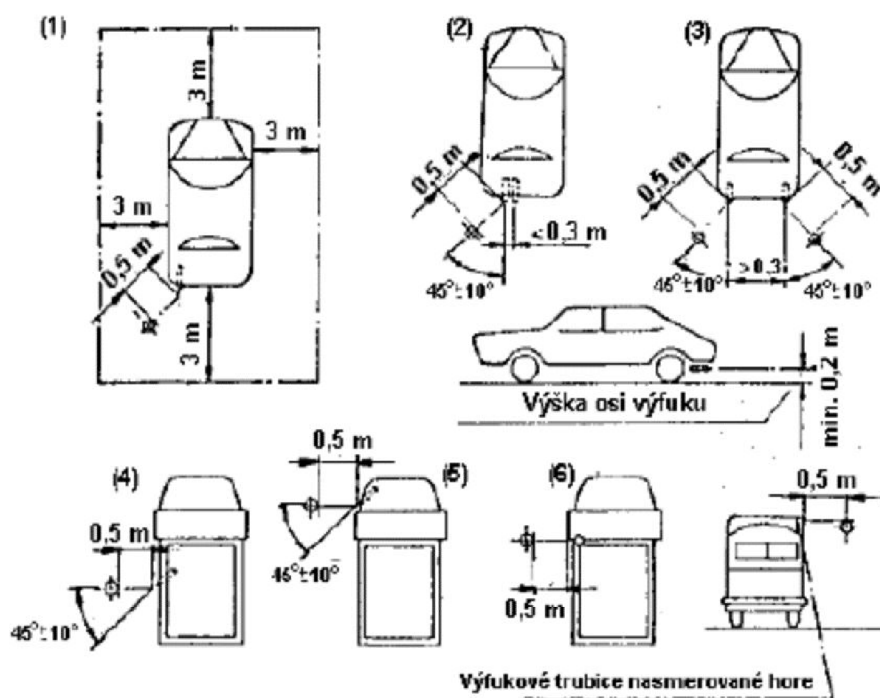
V danom ustanovení je aj popis meraní, používaných na vyhodnotenie hluku, ktorý vozidlo vytvára. Emitovaný hluk sa meria dvoma metódami, a to pre vozidlo v pohybe a pre stojace



vozidlo. U vozidiel poháňaných elektromotorom nie je vyžadovaná stacionárna skúška, vydávaný hluk sa meria iba v pohybe.

4.1 MERANIE HLUKU VYDÁVANÉHO STOJACIMI VOZIDLAMI

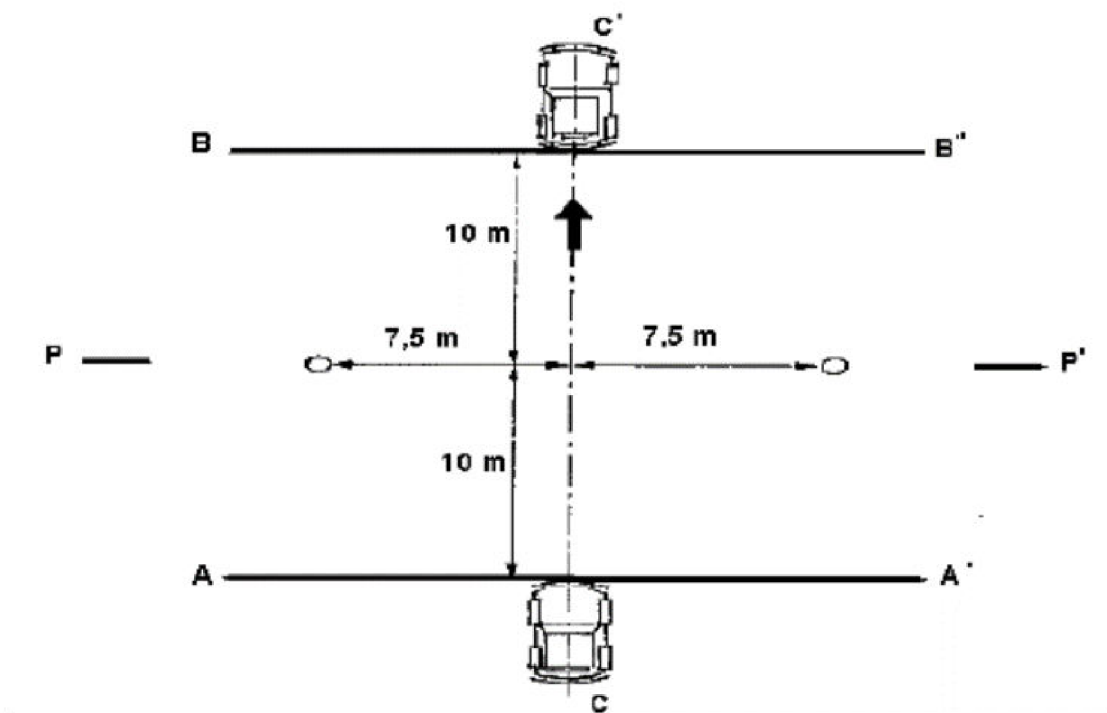
Na uľahčenie neskorších kontrol vozidiel v prevádzke sa hladina zvuku meria v blízkosti výstupu výfukového systému. Vozidlo je umiestnené v strednej časti skúšobnej plochy, s prevodovou pákou v polohe neutrál a so zapnutou spojkou. Keď sa dosiahnu konštantné otáčky motora, akcelerátor sa rýchlo vráti do polohy voľnobehu. Hladina zvuku sa bude merať počas obdobia činnosti pozostávajúceho z krátko udržovania konštantných otáčok motora a z celého obdobia klesania otáčok, pričom sa ako výsledok skúšky berie maximálna odčítaná hodnota hladiny zvuku. [17]



Obr. 6 Príklady merania hluku stojacich vozidiel [17]

4.2 MERANIE HLUKU POHYBUJÚCICH SA CESTNÝCH VOZIDIEL

Mnoho ľudí je v obývaných častiach vystavených hluku z cestnej dopravy. Súčasná norma ISO 362 simuluje tieto situácie skúškou s akceleráciou vozidla. Merania sa vykonávajú na každej strane vozidla. Mikrofón sa umiestňuje kolmo na dráhu, ktorou vozidlo prechádza, vo vzdialenosti 7,5 m a vo výške 1,2 m nad zemou. Na skúšobnej dráhe sa vyznačí meraná oblasť, ktorej dĺžka je 20 m. Vozidlo sa približuje ustálenou rýchlosťou a vedie sa v priamom smere cez akceleračný úsek. Keď predná časť vozu dosiahne počiatočnú líniu meranej oblasti, akcelerátor sa čo najrýchlejšie otvorí a drží sa v tejto polohe, kým zadná časť neopustí meraný úsek. Potom sa akcelerátor čo najrýchlejšie uzavrie. Maximálna hladina zvuku zaznamenaná počas prejazdu vozidla meranou dráhou predstavuje výsledok merania. [17]



Obr. 7 Polohy merania vozidiel v pohybe [17]

Táto skúška je koncipovaná tak, aby zahrnila maximálny hluok, ktorý vznikne pri zrýchľovaní z ustálenej rýchlosti. Rýchlosť z ktorej začne vozidlo akcelerovať je závislá na type ovládania prevodovky, preferovane to je 50 km/h. Nie je to však z pokojového stavu, ako pri meraní koľajových vozidiel. V cestnej doprave, narozdiel od železničnej, nevzniká nárast hlukových emisií pri brzdení, preto sa v norme neuvádza meranie spomaľujúcich vozidiel. Výsledky štúdií mestskej premávky uvádzajú aj prospech meraní za konštantnej rýchlosti a navrhujú pridanie takejto skúšky k už existujúcej skúške pri zrýchľovaní. [16]

ZÁVER

Problematika hluku v doprave patrí k prioritám dopravnej politiky Európskej únie. Je to patrné aj z prístupu k hlučným limitom cestnej dopravy. Na vytvorenie hluku auta, ktoré splňalo limity pred štyridsiatimi rokmi, by sme potrebovali 7 v súčasnosti vyrobených áut. Od polovice roku 2016 podporí tento progresívny prístup nový predpis európskeho zákona, ktorý sprísni hlučkové limity cestnej dopravy počas nasledujúcich 10 rokov až o 8 dB. [18]

Negatívny dopad hluku z koľajovej dopravy je nižší oproti doprave cestnej, avšak nemožno ho zanedbávať. V tejto práci sú podrobne interpretované súčasné hlučkové limity požadované ako Európskou úniou, tak aj Českou republikou. Najmä staršie nákladné vozy sa však stretávajú s problémami pri ich splnení. Je preto potreba priebežne modernizovať vozový park. Aby sa mohlo pristúpiť k aplikovaniu protihlučkových opatrení, je najskôr potreba vedieť hlučkové emisie správne zmerať a vyhodnotiť. Popisu jednotlivých meraní podľa normy ČSN EN ISO 3095 sa venujem v tretej kapitole bakalárskej práce. Popri popise daných hlučkových meraní je tiež uvádzaný hlavný zdroj hluku pri každej skúške a načrtnutie optimálnych úprav pre dosiahnutie nižších akustických hladín. Záverom sa zaoberám porovnaním noriem cestných a koľajových vozidiel. Kontinuálny hluč prermávky pôsobí inak ako hluč jednotlivých prejazdov vlakov. Postup merania je aj preto odlišný. U koľajových vozidiel sa meria hluč pri státi, rozjazde, brzdení a prejazde konštantnou rýchlosťou a meranie cestných vozidiel je pri státi a pri akcelerovanom prejazde.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] SMETANA, Ctirad. *Hluk a vibrace: měření a hodnocení*. Praha: Sdělovací technika, 1998. ISBN 80-901-9362-5
- [2] NEUBERGOVÁ, Kristýna. Problematika hluku ze železniční dopravy. *Stavebnictví*. 2011, , 33-36. [online]. [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: http://vlaky-hluk.fd.cvut.cz/data/prispevky/stavebnictvi-problematika_hluku.pdf
- [3] HEMSWORTH, Brian. *Environmental Noise Directive Development of Action Plans for Railways* [online]. 2008, , 30 [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: http://www.uic.org/IMG/pdf/action_planning_paper_final-2.pdf
- [4] VÁCHA, Jan. *Analýza hlukových emisí železničných vozidel na koridorových tratích*. Pardubice, 2010. Diplomová práce. Univerzita Pardubice. Vedoucí práce Ing. Michal Musil, PhD.
- [5] *Hluková štúdia č. 182/2007: štúdia prepojenia železničného koridoru TEN-T s letiskom a železničnou sieťou v Bratislave*. [online]. [cit. 2016-05-15]. <https://www.enviroportal.sk/eia/dokument/42192>
- [6] *Hlukové limity* [online]. [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: <http://hluk.eps.cz/hluk/limity/>
- [7] *Železničná doprava*. Európsky parlament [online]. Brusel, 2015 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: http://www.europarl.europa.eu/atyourservice/sk/displayFtu.html?ftuId=FTU_5.6.6.html
- [8] *Nariadenie komisie (EÚ) č. 1304/2014: o technickej špecifikácii interoperability týkajúcej sa subsystému "železničné koľajové vozidlá - hluk"*. In: . Brusel, 2014. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/TXT/HTML/?uri=CELEX:32014R1304&from=SK>.
- [9] HLAVÁČEK, Jan. *Technická zpráva o řešení etapy I. úkolu "Databáze hlukových zdrojů na železnici"*. [online]. Praha, 2006 [cit.2016/05/20]. Dostupné z: http://www.mdcz.cz/NR/rdonlyres/D88D905D-9816-40BE-962F-7B6A9BC020F4/0/Methodika026_2006.pdf
- [10] ČSN EN ISO 3095. *Akustika - Železniční aplikace - Měření hluku vyzařovaného kolejovými vozidly*. Brusel, 2014.
- [11] *Měření hluku emitovaného trakčními kolejovými vozidly*. Plzeň, 2012. Diplomová práce. Západočeská univerzita v plzni. Vedoucí práce Ing. Oldřich Tureček, Ph.D.
- [12] NEUBERGOVÁ, Kristýna, Lukáš TÝFA, David VAŠICA a Libor LÁDYŠ. Vliv různých konstrukcí železničního svršku na hluk železniční dopravy. *Nové železniční trendy*. 2013, (1), 4-8. [online]. [cit.2016/05/20]. Dostupné z: http://vlaky-hluk.fd.cvut.cz/data/prispevky/nzt-vliv_kci_na_hluk.pdf

- [13] MODRÁKOVÁ, Monika. *Modelovanie a vizualizácia železničného hluku pre rôzne prevádzkové režimy*. Košice, 2014. Diplomová práca. Technická univerzita v Košiciach. Vedoucí práce Prof. Ervin Lumnitzer, Phd.
- [14] DITTRICH, Michael a Erwin JANSEN. *Virtual certification of acoustic performance for freight and passenger trains*. 2013, , 72. [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: http://www.acoutrain.eu/wp-content/uploads/2013/07/D1.3_ACT-T1_2-D-TNO-001-04-D1.3-Braking-noise-and-Curving-noise-corresponding-indicators-and-measurement-procedures_interim.pdf
- [15] MORAVČÍK, Lubomír. *Smerovanie predpisov o hluku cestných motorových vozidiel* [online]. 2015, X(1), 126-133 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: http://pernerscontacts.upce.cz/38_2015/Moravcik.pdf
- [16] Noise source characteristics in the ISO 362 vehicle pass-by noise test: Literature review. *ScienceDirect* [online]. Elsevier, 2013 [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003682X13000790>
- [17] Predpis Európskej hospodárskej komisie Organizácie Spojených národov (EHK OSN) č. 51 – Jednotné ustanovenia pre homologizáciu motorových vozidiel s najmenej štyrmi kolesami z hľadiska ich emisií hluku. *Ministerstvo dopravy, výstavby a regionálneho rozvoja*[online]. Brusel, 2007 [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: <http://www.telecom.gov.sk/externe/legeu/externe/ehk-051.pdf>
- [18] Cars and noise. *VCA-vehicle type approval* [online]. [cit. 2016-05-24]. Dostupné z: <http://www.dft.gov.uk/vca/fcb/cars-and-noise.asp>

ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMBOLOV

l_i	[m]	dĺžka spojená s meracím miestom i
$L_{pAeq, T}$	[dB]	vážená ekvivalentná súvislá hladina A akustického tlaku
L_{pAeq, T_p}	[dB]	ekvivalentná hladina akustického tlaku v meranom intervale T_p
$L_{pAeq, T_p, (250)}$	[dB]	ekvivalentná hladina akustického tlaku pri rýchlosti 250 km/h
$L_{pAeq, T_p, (80)}$	[dB]	ekvivalentná hladina akustického tlaku pri rýchlosti 80 km/h
$L_{pAF, max}$	[dB]	maximálna hladina AF akustického tlaku
n	[-]	počet meraných miest
P	[W]	trakčný výkon
p_0	[Pa]	referenčný akustický tlak
$p_A(t)$	[Pa]	okamžitý akustický tlak
T	[s]	časový interval merania
T_p	[s]	doba prejazdu
v	[km/h]	okamžitá rýchlosť
v_{max}	[km/h]	maximálna rýchlosť