



**UNIVERZITA PARDUBICE**  
**Dopravní fakulta Jana Pernera**  
**Katedra dopravních prostředků a diagnostiky**

# **Analýza hlukových emisí železničních vozidel na koridorových tratích**

**Diplomová práce**

<b>Autor:</b>	<b>Bc. Jan Vácha</b>
<b>Studijní program:</b>	<b>N3708 Dopravní inženýrství a spoje</b>
<b>Studijní obor:</b>	<b>Provozní spolehlivost dopravních prostředků a infrastruktury</b>
<b>Vedoucí práce:</b>	<b>Ing. Michal Musil, PhD.</b>

Univerzita Pardubice  
Dopravní fakulta Jana Pernera  
Akademický rok: 2009/2010

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jan VÁCHA**

Studijní program: **N3708 Dopravní inženýrství a spoje**

Studijní obor: **Provozní spolehlivost dopravních prostředků a infrastruktury**

Název tématu: **Analýza hlukových emisí železničních vozidel na koridorových tratích**

Zadávací katedra: **Katedra dopravních prostředků a diagnostiky**

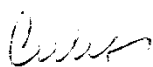
### **Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :**

- Zpracování teorie vzniku a šíření hluku při interakci železničního vozidla a dopravní cesty.
- Vypracování metodiky měření pro měření hluku emitovaného železničními vozidly.
- Vyhodnocení hlukových měření realizovaných v okolí koridorových železničních tratí při průjezdech vybraných skupin vozidel.
- Analýza dat v časové a frekvenční oblasti.
- Srovnání hlukových emisí různých skupin vozidel na konkrétním traťovém úseku.

Rozsah grafických prací:  
Rozsah pracovní zprávy:  
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**  
Seznam odborné literatury:

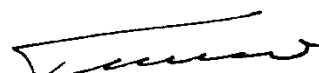
Vedoucí diplomové práce: **Ing. Michal Musil, Ph.D.**  
Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

Datum zadání diplomové práce: **26. února 2010**  
Termín odevzdání diplomové práce: **24. května 2010**



prof. Ing. Bohumil Culek, CSc.  
děkan

L.S.



doc. Ing. Miroslav Tesař, CSc.  
vedoucí katedry

dne

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích 2010

.....  
Bc. Jan Vácha

Tímto bych chtěl poděkovat Ing. Michalu Musilovi, PhD. za konzultace, během nichž mi poskytl cenné rady a připomínky k této práci. Chci rovněž poděkovat svým rodičům, kteří mi umožnili studium. Můj dík patří i všem ostatním, kteří mě po dobu studia podporovali.

## **Anotace**

VÁCHA, Jan. Analýza hlukových emisí železničních vozidel na koridorových tratích. Pardubice: Dopravní fakulta Jana Pernera, 2010, 80 s. Diplomová práce.

Diplomová práce se zabývá hlukem interakce kolejového vozidla a dopravní cesty. V práci popisují obecné poznatky o hluku v železniční dopravě a konkrétně se zabývám hlučností v okolí železničních tratí, hlučností vybraných skupin vozidel na běžném provozním úseku a vyhodnocením hlukových měření na referenční hlukové koleji.

Klíčová slova:

Vznik a šíření hluku při interakci železničního vozidla a dopravní cesty, analýza dat v časové a frekvenční oblasti, vyhodnocení hlukových měření v okolí koridorové trati, srovnání hlukových emisí různých skupin vozidel.

## **Annotation**

VÁCHA, Jan. Analysis of noise emissions from railway vehicles in the corridor lines. Pardubice: Jan Perner Transport Faculty, 2010, 80 p. Thesis.

This thesis deals with the interaction noise of rolling stock and infrastructure. The author describes a general knowledge of the noise in rail transport, and specifically deals with noise in the vicinity of railway lines, noise of selected group of vehicles running on normal field and evaluation of measurement noise on the reference noise track.

### Keywords:

The emergence and spread of noise in the interaction of rail vehicles and infrastructure, data analysis in time and frequency domains, the evaluation of measurement noise in the corridor near the track, a comparison of noise emissions from different categories of vehicles.



# Obsah

1 Úvod.....	13
2 Teoretická část .....	13
2.1 Hluk ve vztahu k životnímu prostředí .....	13
2.2 Působení hluku na lidský organismus .....	14
2.3 Všeobecné metody pro snížení hluku.....	15
2.3.1 Metoda redukce hluku ve zdroji.....	15
2.3.2 Metoda dispozice .....	16
2.3.3 Metoda izolace .....	16
2.3.4 Metoda zvukové pohltivosti materiálů.....	16
2.3.5 Metoda použití ochranných pomůcek .....	16
2.4 Hluk v dopravě .....	16
2.5 Normy pro měření hluku v dopravě .....	21
2.5.1 Pro měření hluku v železniční dopravě se uplatňují tyto normy:.....	21
2.5.2 Pro měření hluku v letecké dopravě se uplatňují následující normy: .....	21
2.5.3 Pro měření hluku v silniční dopravě se uplatňují následující normy: .....	22
2.6 Hluk v železniční dopravě .....	22
2.6.1 Hlavní zdroje hluku vyzařované kolejovým vozidlem .....	23
2.6.1.1 Hluk trakce.....	23
2.6.1.2 Hluk valení.....	24
2.6.1.3 Aerodynamický hluk.....	24
2.7 Metodika měření.....	25
2.7.1 Požadavky na přístrojové vybavení dle normy ČSN ISO EN 3095.....	29

2.7.2 Požadavky na zkušební podmínky dle normy ČSN EN ISO 3095 .....	29
2.7.3 Požadavky na akustické prostředí a meteorologické podmínky dle normy ČSN EN ISO 3095 .....	30
2.7.4 Požadavky na hladinu akustického tlaku pozadí dle normy ČSN ISO EN 3095.....	30
2.7.5 Předepsané polohy mikrofonů dle normy ISO 3095 pro vlaky pohybující se stálou rychlostí .....	31
2.7.6 Stav vozidla dle normy ČSN EN ISO 3095 .....	32
2.7.7 Traťové podmínky dle normy ČSN EN ISO 3095.....	32
2.7.8 Postup zkoušky dle normy ČSN EN ISO 3095.....	33
2.7.9 Postup zkoušky měření vozidel jedoucích konstantní rychlostí dle normy ČSN EN ISO 3095 .....	34
2.7.10 Protokol o zkoušce dle normy ČSN EN ISO 3095 .....	35
2.8 Vybrané statě z TSI subsystému „Kolejová vozidla – hluk“ .....	36
2.9 Princip měřicích mikrofonů a jejich směrová charakteristika.....	38
2.9.1 Rozdělení mikrofonů.....	39
2.9.1.1 Kondenzátorové mikrofony (Brüel @ Kjar, typ: 4188).....	39
2.9.1.2 Elektrodynamické mikrofony .....	40
2.9.1.3 Elektromagnetické mikrofony .....	41
2.9.1.4 Elektrostatické mikrofony.....	42
2.9.1.5 Elektretové mikrofony .....	42
2.9.1.6 Piezoelektrické mikrofony .....	43
2.10 Předzesilovače a zesilovače v měřicím řetězci.....	43
2.11 Zvukoměry .....	44
2.12 Váhové filtry.....	46
2.13 Hluková referenční kolej .....	47
2.14 Hluková referenční kolej zkušebního centra VÚŽ Velim.....	48

2.15 Program LabVIEW.....	50
2.16 Systém PULSE .....	51
3 Experimentální část.....	52
3.1 Cíl.....	52
3.2 Experimenty .....	52
3.2.1 Experiment (1) - Měření hlukové zátěže 30 m od vnější koleje 3 m výška mikrofonu.....	52
3.2.1.1 Čas měření .....	52
3.2.1.2 Místo měření .....	52
3.2.1.3 Použitý měřicí přístroj .....	53
3.2.1.4 Cíl.....	53
3.2.1.5 Měřicí místo .....	53
3.2.1.6 Výsledky měření .....	53
3.2.1.7 Závěr - experiment (1) .....	54
3.2.2 Experiment (2) – Analýza hluku vlaků při průjezdu kolem měřicího bodu.....	55
3.2.2.1 Místo měření .....	55
3.2.2.2 Použitý měřicí přístroj .....	55
3.2.2.3 Cíl.....	55
3.2.2.4 Měřené objekty .....	55
3.2.2.5 Podmínky měření .....	55
3.2.2.6 Výsledek měření .....	61
3.2.2.7 Závěr .....	61
3.2.3 Experiment (3) – Měření hluku na referenční hlukové koleji dle ČSN EN ISO 3095 .....	62
3.2.3.1 Část 1. - stanovení intervalu průjezdu odhadem.....	62
3.2.3.1.1 Místo měření.....	62

3.2.3.1.2 Použité měřicí přístroje.....	63
3.2.3.1.3 Cíl .....	63
3.2.3.1.4 Měřené objekty .....	63
3.2.3.1.5 Podmínky měření.....	63
3.2.3.1.6 Výsledek měření – částí 1.....	67
3.2.3.1.7 Závěr části 1. ....	67
3.2.3.2 Část 2. - stanovení intervalu vyhodnocení pomocí videokamery .....	68
3.2.3.2.1 Výsledek měření– částí 2.....	72
3.2.3.2.2 Závěr experimentu (3) - částí 2. ....	72
3.2.3.3 Část 3. - stanovení intervalu průjezdu lokomotivy vyhodnocení pomocí videokamery.....	73
3.2.3.3.1 Výsledek měření – částí 3.....	76
3.2.3.3.2 Závěr - částí 3. ....	76
4 Závěr .....	77
Literatura.....	80

## **1 Úvod**

Tato práce je věnována problematice hluku železniční dopravy. Zabývám se teorií vzniku hluku a jeho šíření při interakci železničního vozidla a dopravní cesty. Jednotlivé kapitoly obsahují obecně vznik a teorii hluku, působení hluku na lidský organismus, dále se zabývají metodami snižování hluku, hlukem v železniční dopravě a metodikou měření hluku dle normy ČSN EN ISO 3095 Železniční aplikace - Akustika - Měření hluku vyzařovaného kolejovými vozidly, vybranými statěmi z TSI subsystému „Kolejová vozidla – hluk“, nařízením vlády č. 148/2006 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací.

V realizační části řeším vyhodnocení hlukových emisí v okolí železniční trati z pohledu hygienických norem. Tyto normy a jiná nařízení určují maxima hlukových emisí v určitých prostorech. Obecně platné předpisy určují podmínky a způsob měření hluku. V této části jsem se zabýval hlukovými emisemi z železniční dopravy.

Dále se v realizační části věnuji výsledkům měření hluku na běžné trati z hlediska srovnání určitých typů vozidel. Tato měření se provádějí pro výzkumné účely a slouží k hodnocení dopravní cesty, kolejových vozidel a jejich součástí z hlediska hlukových emisí.

Třetí část se zabývá vyhodnocením hlukových emisí konkrétního železničního vozidla - rekonstruované motorové lokomotivy dle ČSN EN ISO 3095 na železničním zkušebním okruhu.

Měření i vyhodnocování dat probíhala podle metodiky ČSN EN ISO 3095.

## **2 Teoretická část**

### **2.1 Hluk ve vztahu k životnímu prostředí**

Zvuk je přirozenou součástí života na Zemi a stejně jako schopnost slyšet a rozlišovat různé zvukové podněty patří k základním smyslům, jimiž vnímáme život

okolo nás. Ve společnosti se díky schopnosti vnímat zvuk vyvinuly mnohé dovednosti, které slouží k usnadnění komunikace, upozornění, výstrahy.

Nežádoucí formou zvuku je hluk. Exaktně lze hluk jen těžko definovat, můžeme jej označit jako zvuk, který vyvolává nepříjemné nebo rušivé pocity a může být škodlivý pro zdraví, či může být jinak nebezpečný.

Vzniká převážně lidskou činností, např. dopravou, průmyslem, zábavou. Hluk může ovšem vznikat i přirozenou cestou, tedy jevy v přírodě, například prouděním vody, vzduchu apod. Dlouhá léta nebyl na omezování hluku, jako na znečišťovatele životního prostředí, kladen takový důraz jako na prevenci chemického znečišťování. Nadměrná hlučnost je však stále významnějším zdrojem znehodnocení životního prostředí. Tato skutečnost je důsledkem rostoucí životní úrovně, s níž souvisí stále větší technizace naší společnosti.

Hluk má prokazatelně negativní vliv na lidské zdraví. Následky na zdraví člověka jsou v zásadě dvojího druhu. Vznikají buď při dlouhodobém působení nižších hladin hluku, anebo naopak při krátkodobém vystavení intenzivní hladině hluku. Veškeré následky působení hluku ještě nebyly zcela prokázány. Již dnes ale víme, že jeho škodlivost je prokázána i v jiných případech než jen všeobecně známé zmenšení citlivosti sluchu nebo přímo hluchoty.

Reakce člověka na nadměrný hluk jsou rozdílné. Ze zdravotního hlediska je tato problematika, na rozdíl od dob minulých, brána v potaz a vliv hluku na člověka je stále monitorován a doplňován o nové poznatky. Oblastí měření a snižování hluku se zabývá stále více odborných pracovníků, profesí. Zabývají se nejenom snižováním hlukové zátěže, ale i převedením problematiky měření hluku do empirických dat tak, aby s přihlédnutím k závěrům zdravotních studií byla vytvořena měřítko, která by udávala míru škodlivosti, ale i subjektivně vnímané rušivosti daného jevu.

## **2.2 Působení hluku na lidský organismus**

Účinky hluku na člověka jsou, jak jsem výše uvedl, v podstatě dvojí. Jsou to účinky spojované s poškozením sluchu, těm se říká specifické sluchové účinky, a všechny ostatní nazývané nespecifické (systémové) účinky. Zdravotní důsledky jsou souhrnně označovány jako neurovegetativní dystonie.

Mezi specifické účinky hluku můžeme zařadit poruchy jako je akutní akustické trauma, které je většinou zapříčiněno intenzivním zvukem o vysoké frekvenci, způsobující trvalé poškození sluchu. Sem zařazujeme například nedoslýchavost, která má celou řadu variant a stupňů. Závažnou se stává, když je poškozený neschopen běžné interpersonální komunikace. Nespecifické účinky jsou takové, které přímo nesouvisí s poškozením sluchového orgánu, ale které ovlivňují regulační procesy a mohou se projevovat následně poruchami srdečně cévního systému, metabolismu, spánku, známy jsou také problémy zažívací a v neposlední řadě také problémy s celkovou psychickou výkonností.

Intenzita hluku značená v jednotce decibel (dB) je základní určující jednotkou, používanou při rozdělení účinku hluku. Hodnota do 20 dB je vnímána jako hluboké ticho. Tato hladina je většinou z nás nepříjemná, podobně jako nadměrný hluk. Hodnota okolo 30 dB je považována za příjemné ticho. Hladina hluku od 65 dB výše je hranicí, kde se začínají negativně projevovat účinky hluku, především při dlouhodobé expozici dochází k nespecifickým účinkům. K poškození sluchu dochází při dlouhodobém vystavení hluku přesahujícímu hladinu 85dB. Hluk 130 dB je vnímán jako hladina, při které se hluk mění na bolest (práh bolesti). Při dosažení 160 dB dochází k devastujícímu poškození sluchu, tzv. protržení ušního bubínku.

## **2.3 Všeobecné metody pro snížení hluku**

Protihluková opatření můžeme rozdělit na pět základních metod. Tato opatření se většinou uplatňují až v momentě, kdy zdroj hluku plní svou funkci a není možné snížení vyzařovaného hluku jinou než represivní metodou. Nezapomínejme ale, že nejefektivnější metody boje proti hluku jsou ty, které provádíme již v období vývoje a zavádění zdroje hluku do výroby.

### **2.3.1 Metoda redukce hluku ve zdroji**

Zavedením této metody dochází k úplnému odstranění zdroje hluku nebo k jeho snížení. Toho lze dosáhnout například kvalitním útlumem vibrací.

### **2.3.2 Metoda dispozice**

Této metody se využívá při územním plánování, kdy se zdroje hluku (průmyslové zóny, železniční koridory, komunikace, apod.) seskupují v místech, kde je zvýšená akustická ochrana, aby neměly negativní vliv.

### **2.3.3 Metoda izolace**

Jak již název napovídá, tato metoda řeší problém hluku kvalitním zvukovým odizolováním od chráněných prostorů. Izolovat můžeme šasi stroje, ale i celé budovy, komunikace, apod.

### **2.3.4 Metoda zvukové pohltivosti materiálů**

Je založena na schopnosti určitých materiálů a konstrukcí pohlcovat akustickou energii a tu měnit na tepelnou energii. Toho se využívá především při snižování hlučnosti uvnitř místností.

### **2.3.5 Metoda použití ochranných pomůcek**

Ochranné pomůcky jsou především sluchátka, zvukově tlumicí zátky. Tuto metodu uplatňujeme v kombinaci s metodami předešlými v případě, že účinek metod předešlých byl nedostatečný nebo pokud tyto metody nebylo možné uplatnit. Tato metoda se neaplikuje plošně, ale jen na malou část obyvatelstva, většinou na technické pracovníky v provozu.

## **2.4 Hluk v dopravě**

Rozvoj dopravy a doprava všeobecně přináší kromě chemického znečištění také znečištění hlukem. Zvuk, respektive hluk a jeho šíření, je jednou z vlastností technologií, které negativně ovlivňují životní prostředí. Zvuk se šíří na vzdálenosti



několika set metrů, šíří se vzduchem, ale i pevnými látkami (budovy, konstrukce, atd.). Zvuk se nešíří jen po přímce, ale může se šířit odrazem, lomem nebo ohybem. Proto hluk neznečišťuje jen přímým působením, ale říkáme, že působí na kohokoliv, kdo je v dosahu akustické energie. Traktor vezoucí byť jen jednu osobu, může hlukem zamořit plochu několika čtverečních kilometrů.

Hluk v dopravě členíme na hluk způsobený dopravou silniční, železniční a leteckou, popřípadě lodní. Jeho měřením se zabývá hygienická služba v rámci státního zdravotního dozoru. Ta dohlíží, aby nebyl porušen zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví. Limity pro hluk jsou stanoveny nařízením vlády č. 148/2006 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací.

Pro hodnocení hluku v této diplomové práci jsou využity charakteristiky hluku ve venkovním prostředí. Venkovním prostorem rozumíme:

- Venkovní prostor budov, kterým se rozumí prostor do vzdálenosti 2 metrů od stavby pro bydlení nebo stavby občanského vybavení
- Venkovní prostor, který je využíván pro rekreaci, sport, léčení, zájmové a jiné činnosti, s výjimkou komunikací a prostor vymezených jako venkovní pracoviště.

venkovní hluk	den (6:00-22:00)	noc (22:00-6:00)
základní limit – pro hluk jiný, než z dopravy	50 dB	40 dB
pro hluk ze silniční dopravy	55 dB	45 dB
<b>pro hluk z železniční dopravy</b>	<b>55 dB</b>	<b>50 dB</b>
pro hluk z hlavních silnic	60 dB	50 dB
pro hluk v ochranných pásmech drah	60 dB	55 dB
pro starou hlukovou zátěž 70 dB	70 dB	60 dB
pro starou hlukovou zátěž u železničních drah	70 dB	65 dB

Tabulka 1 - základní limity pro venkovní hluk (př. u obytných domů)

Ekvivalentní trvalá hladina A pro zdravotní účely (7) je veličinou, kterou hodnotíme limity v daném prostředí, tedy i pro hluk v železniční dopravě. V případě železniční dopravy je doba pozorování celou dobou denní, tedy od 6 do 22 hodin a celou dobou noční tedy od 22 do 6 hod. Nejvyšší přípustné ekvivalentní hladiny akustického tlaku A pro hluk z železniční dopravy se stanovují jako součet

základního limitu  $L_{pAeq,T} = 50$  dB a příslušné korekce, která se stanovuje dle charakteru chráněného prostoru a podle toho, jestli je doba noční nebo denní. V tabulce 1 je korekce pro venkovní prostory staveb a chráněné venkovní prostory. Další korekce jsou stanoveny pro chráněné vnitřní prostory staveb.

Druh chráněného prostoru	Korekce	Korekce
	a)	b)
Chráněný venkovní prostor staveb lůžkových zdravotnických zařízení včetně lázní	15dB	5dB
Chráněný venkovní prostor lůžkových zdravotnických zařízení včetně lázní	15dB	5dB
Chráněný venkovní prostor ostatních staveb a chráněný ostatní venkovský prostor	20dB	10dB

Tabulka 2 – Korekce pro stanovení hygienických limitů hluku v chráněném venkovním prostoru staveb a chráněném venkovním prostoru

V noční dobu se pro hluk z železniční dopravy v chráněných venkovních prostorech staveb odečítá 5dB. Tabulka 2 je tabulka korekcí a) pro případy, kdy se jedná o starou hlukovou zátěž. Tímto pojmem se pro naše účely rozumí stav hlučnosti působený drahami, který vznikl do 31. prosince 2000 na chráněných venkovních prostorech staveb a na chráněných venkovních prostorech. Tato korekce je platná, i po rekonstrukci kolejového svršku, nebo rozšíření směrového nebo výškového vedení dráhy. Při rekonstrukci nesmí dojít ke zhoršení stávající hlučnosti.

Korekce b) se použije pro hluk z dopravy na železnici v ochranném pásmu dráhy. Pro vysoce impulsní hluk se dále přičte korekce -12dB a pro hluk obsahující tónové složky nebo hluk s informačním charakterem přičteme korekci -5dB.

Hlavní hygienik České republiky vydal v roce 2001 metodický návod pro měření a hodnocení hluku v mimopracovním prostředí, který slouží ke sjednocení postupu orgánů a zařízení ochrany veřejného zdraví při měření a hodnocení hluku v mimopracovním prostředí. Je to metodika, která stanovuje způsoby měření a hodnocení hladin hluku.

V roce 2002 byla přijata směrnice Evropského parlamentu a Rady 2002/49/ES o hodnocení a řízení hluku ve venkovním prostředí. Tato směrnice má za cíl vytvoření systémového nástroje v oblasti hodnocení a řízení environmentálního

hluku. Má napomoci při plánování rozvoje, a to především v oblasti využití území, pomocí všeobecných systémových přístupů. Směrnice například ukládá vytvoření strategických hlukových map v problémových lokalitách (v okolí silnic, letišť, železničních koridorů, průmyslových provozů, atd.). Dále ukládá zveřejnit informace o hlukové situaci a následně vytvořit akční plán, vedoucí ke zlepšení situace v jednotlivých lokalitách. V roce 2006 byla tato směrnice zavedena v ČR, jako vyhláška Ministerstva zdravotnictví č.523/2006 Sb. I na základě této vyhlášky dochází k měření hluku, vytváření hlukových map, a to i za pomoci soukromých subjektů, většinou akreditovaných laboratoří, v souladu s Českými technickými normami.

Mezi základní principy Evropské unie patří bezesporu i princip „trvale udržitelného rozvoje“. Na základě toho se zavádějí nové přístupy v otázkách jako je volný pohyb osob, zboží, materiálu v rámci EU. Se zaváděním těchto nových přístupů lze očekávat nárůst dopravy a zhoršování životního prostředí jeho vlivem. Nárůst dopravy chce EU vyřešit pomocí revitalizace železniční dopravy a následným využitím vytvořených nových kapacit. Také proto vznikla směrnice Evropského parlamentu a Rady 2001/16/ES - Interoperabilita transevropského konvenčního železničního systému, ze dne 19. března 2001. Touto směrnicí se vytvořil nezbytný legislativní rámec pro splnění již zmiňovaných cílů. Směrnice je rozdělena do jednotlivých subsystémů a její součástí jsou i jednotlivé Technické specifikace. Mezi tyto specifikace bylo v rámci směrnice přijato rozhodnutí Evropské komise ze dne 22. prosince 2005 o technické specifikaci pro interoperabilitu (TSI) subsystému „Kolejová vozidla – hluk“ transevropského konvenčního železničního systému. Tento subsystém stanovuje limity pro hlukové emise kolejových vozidel, dále popisuje, stejně jako ČSN EN ISO 3095, metodiku měření hlukových emisí.

V září roku 2006 se v Londýně v rámci činnosti expertní skupiny UIC/CER konalo zasedání, jehož závěrem byl strategický dokument, který slouží jako přehledný výčet doporučení a případných stanovisek v problematice hluku. Jedním z přijatých závěrů je výčet již ověřených a používaných protihlukových opatření pro naplnění TSI. Předcházející dvě směrnice byly zapracovány do ČSN EN ISO 3095.

V dalších kapitolách se budu zabývat podrobněji ČSN EN ISO 3095 i TSI – hluk.

Následující protihluková opatření jsou považována za efektivní:

- Nekovové brzdové špalíky na nákladních vozech  
Toto opatření je efektivní především v místech, kde je nákladní doprava dominantním zdrojem hluku. Doporučení vyžaduje celkovou rekonstrukci nákladního vozidlového parku.
- Broušení povrchu kolejnic  
Opatření se uplatňuje pouze v případě vlnovitosti hlav kolejnic.
- Nízkohlučná kola (dvojkolí)  
U tohoto opatření je třeba provést identifikaci, hluk způsobuje vozidlo nebo trať.
- Nízkohlučná trať  
Metoda je efektivní především pro oblasti, kde převažuje hluk z nákladního provozu.
- Protihlukové bariéry (stěny)  
Tímto opatřením se snižuje hladina hluku na straně příjemce. Metoda není příliš cenově efektivní.

Následující opatření nejsou považována za příliš efektivní v železniční dopravě:

- Přesměrování provozu
- Snížení traťové rychlosti
- Přesunutí provozu z noci a večera na den

Veškeré evropské směrnice uvádějí, kdo je zodpovědný za splnění požadavků, které jsou ve směrnici uvedené. Ve všech případech je tato zodpovědnost převedena na jednotlivé členské státy unie. Státem je myšlena vláda daného státu a ta pověřuje příslušná ministerstva. Tedy za splnění požadavků směrnice 2001/16/ES je zodpovědné Ministerstvo dopravy ČR. Jak jsem již uvedl výše, za splnění požadavků směrnice 2002/49/ES je zodpovědné Ministerstvo zdravotnictví ČR.

V Evropě je léty prověřenou skutečností a tak trochu i nepsaným pravidlem, že rekonstrukce vozidlového parku, která je velmi nákladná, se nedá provést výhradně na náklady přepravce. Na této investici se do značné míry podílí stát nebo Evropská unie.

## **2.5 Normy pro měření hluku v dopravě**

### **2.5.1 Pro měření hluku v železniční dopravě se uplatňují tyto normy:**

ČSN EN ISO 15610 Železniční aplikace - Emise hluku - Měření drsnosti povrchu kolejnic ve vztahu k hluku valení

ČSN EN ISO 15461 Železniční aplikace - Emise hluku - Charakterizace dynamických vlastností úseků koleje pro měření hluku při průjezdech

ČSN EN ISO 3381 Železniční aplikace - Akustika - Měření hluku uvnitř kolejových vozidel

ČSN EN ISO 3095 Železniční aplikace - Akustika - Měření hluku vyzařovaného kolejovými vozidly

### **2.5.2 Pro měření hluku v letecké dopravě se uplatňují následující normy:**

ČSN EN ISO 1996 - 1 Popis a měření hluku prostředí; Část 1: Základní veličiny a postupy

ČSN EN ISO 1996 - 2 Popis a měření hluku prostředí; Část 2: Získávání údajů souvisejících s využitím území

ČSN EN ISO 1996 - 3 Popis a měření hluku prostředí; Část 3: Použití při stanovení nejvyšších přípustných hodnot hluku a Metodickém návodu pro měření a hodnocení hluku v mimopracovním prostředí vydaném Ministerstvem zdravotnictví ČR

### **2.5.3 Pro měření hluku v silniční dopravě se uplatňují následující normy:**

ČSN EN ISO 10844 Akustika - Specifikace zkušebních drah pro měření hluku vyzařovaného silničními vozidly

ČSN EN ISO 5128 Akustika - Měření vnitřního hluku motorových vozidel

ČSN EN ISO 1996 Akustika. Popis a měření hluku prostředí.

## **2.6 Hluk v železniční dopravě**

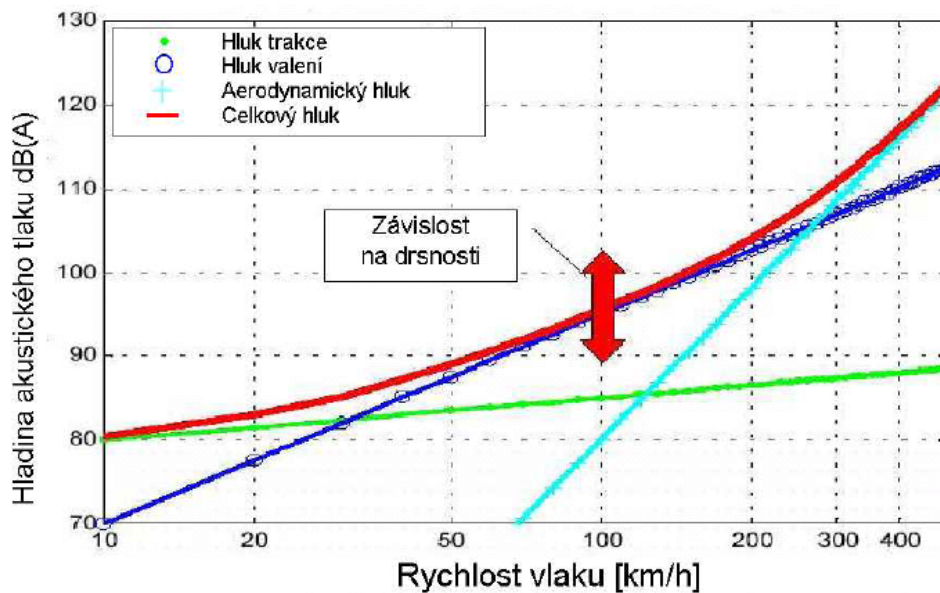
Železniční doprava je považována za velmi šetrnou k životnímu prostředí proti dopravě silniční či letecké. Tento fakt platí i v případě, kdy vliv na životní prostředí posuzujeme z hlediska hlukových emisí. V pomyslném žebříčku je na prvním místě doprava železniční, za ní silniční a poslední je doprava letecká. Každý druh dopravy má svá specifika. Pokud budeme například porovnávat diferencí vzniklých hlukových emisí během jedné hodiny provozu dálnice oproti hlukovým emisím vzniklým na železničním koridoru, laickou úvahou dojdeme k závěru, že zatímco hlukové emise dálničního provozu zůstávají téměř neměnné, tak emise na železnici jsou skládané z jednotlivých průjezdů vlaků.

Tyto vlaky mají v zásadě tři hlavní zdroje hluku:

- Hluk trakce (hluk hnacích agregátů, spalování, převody)
- Hluk valení (interakce mezi koly vozu a kolejnicí)
- Aerodynamický hluk

Další vedlejší zdroje hluku jsou například:

- Hluk při míjení dvou vlakových souprav
- Výstraha před křížením vlaku se silnicí
- Hluk přídatných zařízení, např. klimatizační jednotky, apod.



Obrázek 1 - Graf závislosti hladiny akustického tlaku na rychlosti vlaku [2]

Graf vyjadřuje podíl hlavních zdrojů hluku na celkovém hluku vyzařovaném lokomotivou. Z grafu je patrné, že do rychlostí nižších než 60 km/h je hluk tvořen převážně trakcí. V rozmezí rychlostí 60 až 200 km/h má na hluku vyzařovaném do okolí největší podíl hluk valení. V rychlostech nad 200 km/h je hluk tvořen převážně aerodynamickým hlukem.

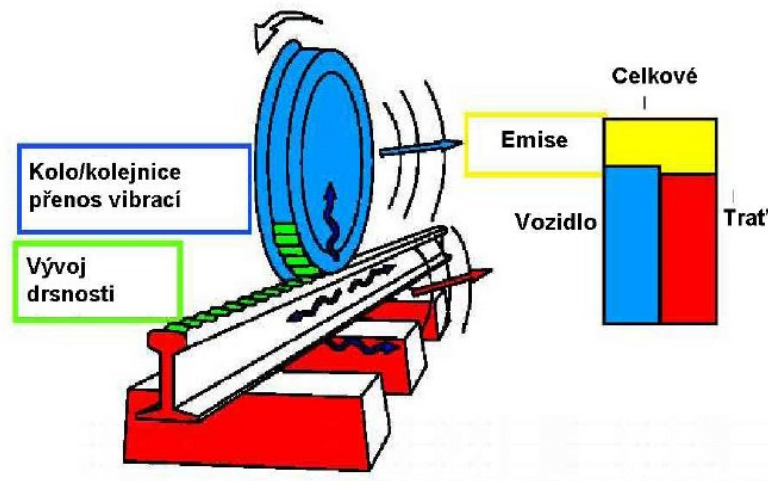
## 2.6.1 Hlavní zdroje hluku vyzařované kolejovým vozidlem

### 2.6.1.1 Hluk trakce

Hluk trakčních motorů je v souvislosti s ostatními složkami přibližně stejný pro celé rychlostní spektrum. U starších typů kolejových vozidel, kde je pohon zprostředkován výhradně dieslovým motorem, je akustická emise závislá na aktuálních otáčkách motoru. U vozidel s nezávislou trakcí, tedy i dieslových lokomotiv, je při rozjezdech značný rozdíl hlukových emisí proti vozidlům s elektrickou trakcí, kde jsou emise nižší.

### 2.6.1.2 Hluk valení

V rozsahu 60-200 km/h je dominantní hluk valení. Toto rychlostní pásmo je na území ČR nejrozšířenější. Hluk valení vzniká na stykové ploše dvou kovů, tedy kola a dopravní cesty. Ideální tvar těchto dvou dotykových ploch existuje pouze teoreticky. V reálu je tvar kolejnic i kol značně nesourodý, a tak vznikají rázy a skluzu a z nich následně vibrace, které jsou zdrojem hluku.



Obrázek 2 - Hluk valení [2]

### 2.6.1.3 Aerodynamický hluk

Tato složka hluku začíná být dominantní při rychlosti nad 200 km/h. Vzniká třením vnějších částí vozidla se vzduchem. Zásadní vliv na aerodynamický hluk má tvar čela vlaku a jeho součinitel odporu vzduchu. V našich podmínkách, a tedy i při našem měření, při rychlostech hluboko pod hranicí 200 km/h nemá tato složka velký vliv.



## 2.7 Metodika měření

Pro měření hlukových emisí na koridorových tratích byla jako hlavní zvukový deskriptor zvolena ekvivalentní hladina akustického tlaku A, značená jako  $L_{pAeq,T}$ . Ta je definována:

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

kde:

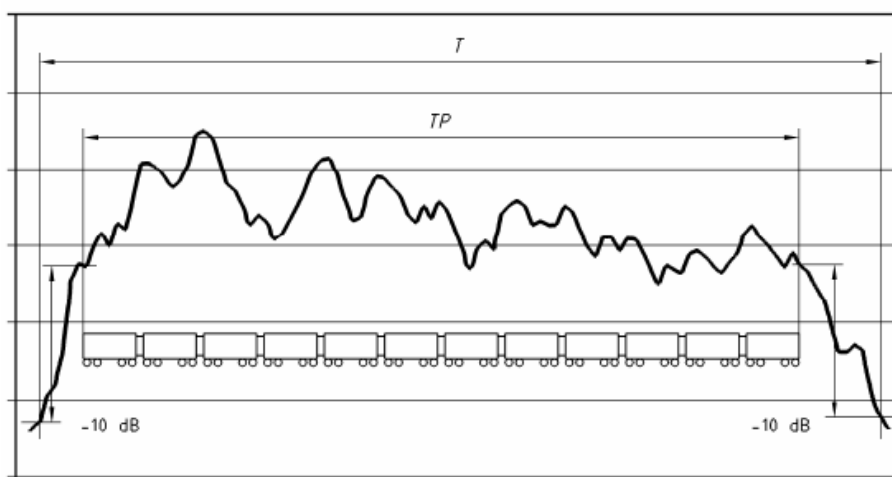
$L_{pAeq,T}$  ekvivalentní hladina akustického tlaku A (dB),

$T$  doba měření (s),

$p_A(t)$  okamžitý akustický tlak A (Pa),

$p_0$  referenční akustický tlak, kde  $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$ .

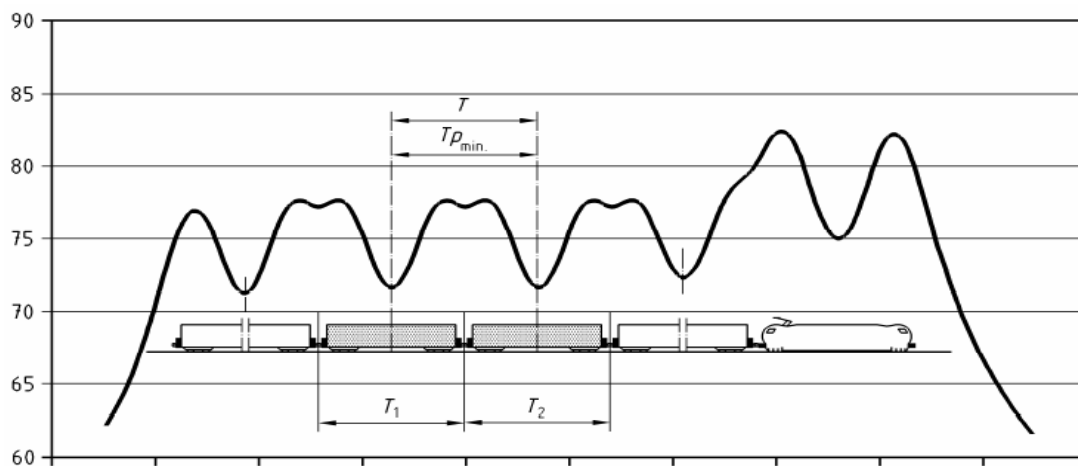
V případě, že za  $T$  dosadíme  $T_p = T_2 - T_1$  dle obrázku 3, mluvíme o ekvivalentní trvalé hladině akustického tlaku A za dobu průjezdu, kterou značíme  $L_{pAeq,Tp}$ .



Obrázek 3 - Rozdíl mezi dobou měření  $T$  a  $T_p$ , celého vlaku [3]

V případě, že měříme po dobu  $T_p$ , je z grafu patrné, že doba měření je shodná s dobou průjezdu vlaku. V druhém případě, tedy když volíme dobu měření  $T$ , je časový interval jiný. Doba měření začíná a končí v momentě, kdy je hladina akustického tlaku nižší o měrnou míru, například 10 dB, než tomu bylo v okamžiku, kdy čelo a následně konec vlaku mijely měřící zařízení.

V případě, že měříme přípojná vozidla, tak měření začíná v okamžiku průjezdu středu měřeného vozidla okolo měřícího zařízení. Konec měření je, když měřící zařízení mijí střed posledního měřeného vozidla, jak je vidět na obrázku 4.



Obrázek 4 - Měření doby  $T=T_p$ , při měření částí vlaku [3]

Ekvivalentní hladinu akustického tlaku  $A$  určíme, krom jiného, z naměřené hladiny akustického tlaku  $A$ . Tato veličina je dána vztahem:

$$L_{pA} = 10 \cdot \log \left( \frac{p_A(t)}{p_0} \right)^2 \quad (2)$$

kde:

$L_{pA}$  hladina akustického tlaku  $A$  [dB],

$p_A(t)$  střední kvadratická hodnota akustického tlaku  $A$  [Pa],

$p_0$  referenční akustický tlak, kde  $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$ .

Dalším deskriptorem, kterým posuzujeme hlukové emise, je maximální hladina akustického tlaku  $L_{pAmax}$ .

$$L_{pAmax} = 10 \log \left( \frac{p_{Amax}}{p_0} \right)^2 \quad (3)$$

kde:

$L_{pAmax}$  maximální hodnota hladiny akustického tlaku A v [dB],  
 $p_{Amax}$  maximální střední kvadratická odchylka hladiny akustického tlaku A [Pa],  
 $p_0$  referenční akustický tlak, kde  $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$ .

Akustická energie průjezdu vlaku v bodech alespoň 10 dB pod nižší hodnotou  $L_{pA}$  během doby T je nazývána hladina provozní expozice TEL a je dána vztahem:

$$TEL = 10 \lg \left[ \frac{1}{T_p} \int_0^T \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt \right] \quad (4)$$

kde:

$TEL$  hladina expozice průjezdu A [dB],  
 $T$  je časový interval měření [s],  
 $T_p$  je doba průjezdu [s],  
 $p_A(t)$  okamžitý akustický tlak A [Pa],  
 $p_0$  referenční akustický tlak, kde  $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$ .

Čas, jako doba působení hluku, je nezbytný faktor, kterým hodnotíme míru hlučnosti. Při měření hlukové zátěže jsem vycházel z veličiny  $L_{AE}$ , hladiny zvukové expozice. V normě ČSN EN ISO 3095 je popisována jako hladina jednotlivé zvukové události nebo hladina jednorázové expozice; SEL.

Tato veličina udává hladinu hluku jednotlivé události, která je měřená po dobu  $T$  a je převedena na referenční čas  $T_0 = 1$  s.  $L_{AE}$  je dána vztahem:

$$L_{AE} = 10 \log \left( \frac{1}{T_0} \int_0^T \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt \right) \text{ dB} \quad (5)$$

kde:

$L_{AE}$  vážená hladina hluku A jednotlivé události [dB],

$T_0$  je referenční časový interval [s],

$T_p$  je doba měření [s],

$p_A(t)$  okamžitý akustický tlak A [Pa],

$p_0$  referenční akustický tlak, kde  $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$ .

Dále platí:

$$L_{AE,T} = SEL = L_{AeqT} + 10 \cdot \log \left( T / T_0 \right) \quad (6)$$

Ekvivalentní trvalá hladina pro zdravotní účely, bere na zřetel i zvyšující míru škodlivosti vrůstajících hladin a počítá se pro celou dobu měření, kde působí jednotlivé hladiny zvukových expozicí,  $L_{pAeq,T_i}$ . Ekvivalentní trvalá hladina A pro zdravotní účely je dána vztahem:

$$L_{Aeq} = 10 \cdot \log \left( \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n \left( t_i \cdot 10^{L_{AeqT_i} / 10} \right) \right) \quad (7)$$

kde:

$L_{Aeq}$  je ekvivalentní trvalá hladina A pro zdravotní účely,

$T$  je časový interval měření [s],

$t_i$  je časový interval působení ekvivalentní hladiny akustického tlaku A [s],

$L_{pAeq,T}$  ekvivalentní hladiny akustického tlaku A [dB].

Pro účely této práce, tedy pro vyhodnocení hlukových měření realizovaných v okolí koridorových železničních tratí, byla použita veličina ekvivalentní hladina akustického tlaku  $A$ ,  $L_{pAeq,T}$  a maximální hladina akustického tlaku  $A$ ,  $L_{pAmax}$ . Můžeme použít i hladinu expozice průjezdu TEL. Pro vyhodnocení měření hlukové zátěže byly vyhodnoceny hladiny hluku  $A$  jednotlivých události a z těch jsem odvodil ekvivalentní trvalou hladinu pro zdravotní účely. Při měření stojícího vozidla se používá ekvivalentní hladina akustického tlaku  $A$ ,  $L_{pAeq,T}$  stejně jako pro měření hluku v kabině strojvedoucího. Veličina  $L_{pAmax}$  se používá pro zkoušku, při které se měří zvukové emise při rozjezdu nebo při brzdění.

### 2.7.1

#### **Požadavky na přístrojové vybavení dle normy ČSN ISO EN 3095**

Měřicí přístroje, tedy mikrofony, kabely a záznamové zařízení musí splňovat požadavky na přístroje typu 1 stanovené v EN 61672-1. Mikrofony musí mít zásadně rovinnou kmitočtovou charakteristiku ve volném zvukovém poli. U mikrofonu se předpokládá, že bude vždy vybaven ochranou proti větru. Před zahájením a po ukončení každé řady měření budou měřicí mikrofony kalibrovány zařízením, které splňuje požadavek třídy 1, a to v souladu s EN 60942 pro ověření kalibrace celé měřicí soustavy při jednom nebo více kmitočtech v celém zájmovém kmitočtovém rozsahu. Dle této normy se musí provádět alespoň jednou za rok ověření shody zařízení se zmiňovanou normou. Každé dva roky se provádí ověření shody dle norem EN 616772-1 a EN 616772-2. O ověření se vede zápis. Pokud je rozdíl mezi dvěma kalibracemi větší než 0,5 dB, musíme všechny výsledky měření zamítnout.

#### **2.7.2 Požadavky na zkušební podmínky dle normy ČSN EN ISO 3095**

Norma ČSN ISO EN 3095 připouští drobné odchylky od stanovených zkušebních podmínek. Tyto musí být zapsány v protokolu o zkoušce a je třeba brát

zřetel na obtížnost reprodukovatelnosti dané zkoušky. Dále je třeba dodržovat všechny podmínky co nejpřesněji, aby i výsledek byl co možná nejpřesnější.

### **2.7.3 Požadavky na akustické prostředí a meteorologické podmínky dle normy ČSN EN ISO 3095**

Zkušební stanoviště má být uzpůsobeno tak, aby se hluk mohl volně šířit. Proto musí být terén v zásadě rovný a sklon vůči hornímu povrchu kolejnice 0 - 1m. Kolem mikrofону musí být volný prostor, který má minimální poloměr roven trojnásobku měřené vzdálenosti. Nesmějí tam být žádné větší odrazové plochy jako mosty, budovy, kopce. V případě našeho měření je tato vzdálenost například v prvním experimentu 30 m. V bezprostřední blízkosti, a tedy i mezi zdrojem a měřicím nesmějí být žádné překážky, které ovlivňují zvukové pole. Obsluha měřicího zařízení by měla být na takovém místě, aby neovlivňovala měřenou hladinu akustického tlaku.

Prostor mezi vozidlem a mikrofóny nesmí být zamokřen a musí být bez látek pohlcujících hluk. Mezi tyto látky řadíme především sníh, vysokou vegetaci nebo látky odrážející hluk, a to například vodu nebo led. Vhodnost stanoviště lze ověřit pomocí zdroje hluku, který vytváří širokopásmový zvuk. V případě, že se nacházíme ve volném poli vhodném pro naše měření má hladina hluku poklesnout přibližně o 6 dB při zvětšení vzdálenosti o dvojnásobek. Povrch terénu je třeba popsat v protokolu, stejně jako meteorologické podmínky. Zapisujeme: teplotu, vlhkost, barometrický tlak, rychlost a směr větru. Zkoušku neprovádíme, pokud je rychlost větru větší než 5 m/s (měřeno ve výšce mikrofónu) a pokud prší nebo sněží.

### **2.7.4 Požadavky na hladinu akustického tlaku pozadí dle normy ČSN ISO EN 3095**

Je třeba zajistit, aby hluk z jiných zdrojů neovlivňoval měření. Protože tomuto hluku se nelze vždy úplně vyhnout, norma ČSN ISO EN 3095 udává pravidla pro zohlednění tohoto jevu. Při typových zkouškách musí být hladina akustického

tlaku pozadí A alespoň o 10 dB menší než naměřená celková hladina akustického tlaku A, myšleno zdroje znečištění společně s hlukem pozadí.

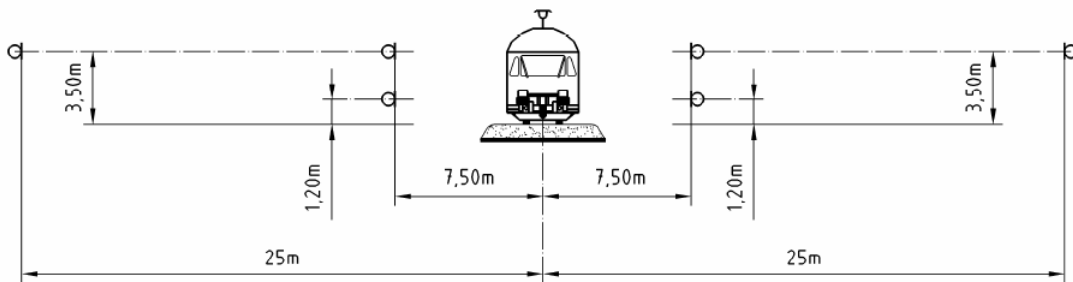
V případě kmitočtové analýzy musí být rozdíl v každém zájmovém kmitočtovém pásmu alespoň 10 dB. V případě kontrolních zkoušek musí být hladina  $L_{pAeq,T}$  minimálně o 5 dB menší než naměřená celková hladina akustického tlaku A, tedy zdroje znečištění společně s hlukem pozadí. Je-li tento rozdíl menší než 10 dB, musí být naměřená hodnota posuzována podle tabulky 3.

Rozdíl mezi hladinou akustického tlaku A zjištěnou při měření hluku vyzařovaného vozidlem při hluku pozadí a vlastní hladinou akustického tlaku A pozadí dB	Korekce, která se má přičíst k hladině akustického tlaku A zjištěné při měření hluku vyzařovaného vozidlem při hluku pozadí dB
>10	0
6 až 9	-1
5	-2

Tabulka 3 - Tabulka korekce hluku pozadí při kontrolních zkouškách [3]

### 2.7.5 Předepsané polohy mikrofonů dle normy ISO 3095 pro vlaky pohybující se stálou rychlostí

Mikrofony musí být kolmo k měřené koleji a ve vodorovné poloze. Použitelné polohy měřících mikrofonů jsou znázorněny na obrázku 5. Není nutné, aby měření proběhlo ve všech znázorněných polohách, ale měření musí odpovídat alespoň jedné z definovaných poloh. Jak již obrázek napovídá, měřící mikrofony je možné umístit ve dvou vzdálenostech a to 7,5 a 25 m od osy koleje. Ve výšce  $1,2 \pm 0,2$  m pro vzdálenost 7,5 m a ve výšce  $3,5 \pm 0,2$  m pro vzdálenost 25 m, měřeno od horní hrany kolejnice. V případě, že je významný zdroj hluku v horní části vozidla, je přípustná výška  $3,5 \pm 0,2$  m ve vzdálenosti 7,5 m od osy koleje.



Obrázek 5 - Příčné polohy mikrofonů pro měření vozidel jedoucích konstantní rychlostí [3]

### 2.7.6 Stav vozidla dle normy ČSN EN ISO 3095

Mezi všeobecné podmínky, které norma ukládá pro stav vozidla způsobitelného k měření, se počítá stav kol vozidla. Ta musí mít najeto min. 3 000 km na koleji v běžném provozu, dále pojezdové plochy kol musí být standardní, tedy např. bez zploštělých míst. Vozidla vybavena špalíkovými brzdami musí být v zaběhnutém stavu, tedy špalík musí být dostatečně přizpůsoben pojezdové ploše a naopak.

Pokud se zkouška provádí na vlečných vozidlech, musí se zamezit hluku vznikajícímu v jiných částech vlaku. Nejvýznamnější zdroj hluku je hnací vozidlo. Těmito podmínkami je stanoven všeobecný stav vozidla. Co se týče stavu zatížení, vozidlo musí být nezatíženo nebo bez cestujících. Výjimku tvoří vlaková četa. U hnacích vozidel se pro měření předpokládá běžné zatížení.

Okna a dveře musí být v době měření uzavřeny. V případě, že jsou na vozidle pomocná zařízení a jejich doba provozu přesahuje 2 % z celkové doby provozu a vliv na hladinu akustického tlaku ovlivňují přírůstkem větším než 5 dB, musí být tato zařízení v provozu během zkoušky. Stav těchto zařízení musí být zapsán v protokolu zkoušky.

### 2.7.7 Traťové podmínky dle normy ČSN EN ISO 3095

Měření se musí provádět na koleji, která má zašterkované lože a pražce jsou dřevěné nebo železobetonové, popřípadě mohou zkoušky probíhat na běžně užívané



trati. Kolej musí být suchá a bez námrazy. V případě, že je vozidlo provozováno na koleji jiné konstrukce, má se měření provést zde. Zkouška by se měla vždy provádět na trati konstrukčně shodné s tou, kterou vozidlo běžně používá. Kolej musí být dobře udržována a splňovat tato kritéria na stoupání tratě, které musí být nejvýše 3:1 000; poloměr oblouku  $r$  musí být:

- $r \geq 1000$  m pro zkoušky při rychlosti vlaku  $\leq 70$  km/h
- $r \geq 3000$  m pro zkoušky při rychlosti vlaku  $70 < v \leq 120$  km/h
- $r \geq 5000$  m pro zkoušky při rychlosti vlaku  $v > 120$  km/h

Kolej musí být bez kolejnicových spojů, neboli jednotlivé díly musí být svařované a nesmí být zjevně poškozené. Nesmí mít spálená místa, prohloubeniny způsobené vtlačení vnějších materiálů mezi koly a kolejnicí. V místech, kde se jednotlivé části kolejnice dotýkají, tedy v místech svárů a na místech, kde je uvolněný pražec, nemá vznikat žádný slyšitelný hluk od nárazů. V případě, že měření provádíme na nekonvenční trati, je třeba toto zaznamenat do protokolu.

### **2.7.8 Postup zkoušky dle normy ČSN EN ISO 3095**

Měřené veličiny a příslušný časový interval  $T$  musí být měřeny v každé poloze mikrofону. Interval měření, jak jsem již uvedl, začíná v okamžiku, kdy se čelo vlaku nachází na úrovni měřícího mikrofону. Měření končí v okamžiku, kdy se konec vlaku nachází na téže místě. Toto platí pro dobu  $T_p$ . Pro splnění této podmínky je nutné zajistit synchronizační zařízení, které zajistí časový souled s projíždějícím vlakem. Výsledek měření je střední aritmetická řada zaokrouhlená na nejbližší celý decibel. Při zkouškách typu musíme provést alespoň tři měření, pro každou polohu i podmínku měření. V případě, že je rozptyl měření 3 dB a více, je třeba měření opakovat, toto platí jen pro zkoušky typu, pro ověřovací zkoušky stačí jedno měření. V případě, že měříme na obou stranách, je výsledkem vždy vyšší hodnota akustického tlaku. V případě, že se rozhodneme měřit hladinu hluku jednotlivého přípojného vozidla, je třeba za hnací vozidlo umístit jedno akusticky

podobné vozidlo, až za ním můžeme připojit minimálně dvě měřená vozidla a následuje zase jedno akusticky podobné vozidlo. Pomocná zařízení musí být v provozu při normálním zatížení.

### **2.7.9 Postup zkoušky měření vozidel jedoucích konstantní rychlostí dle normy ČSN EN ISO 3095**

Pro tyto zkoušky se přednostně uplatňují tyto rychlosti: 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, 350 km/h. Jsou možné tři případy:

- Při zkouškách, kde se předpokládá rychlost vozidla větší než 200 km/h, se nejprve provádí zkoušky při rychlosti 160 km/h a následně při maximální rychlosti. V případě, že maximální rychlost odpovídá jedné z přednostních rychlostí, je tato varianta upřednostňována před prvně zmíněnou. Pokud je to možné, mají se provádět zkoušky i při rychlosti 80 km/h.
- Při zkouškách, kde se předpokládá rychlost vozidla větší než 80 km/h a nižší než 200 km/h, neprovádějí se zkoušky při rychlosti 80 km/h a při maximální rychlosti. V případě, že maximální rychlost odpovídá jedné z přednostních rychlostí, je tato varianta upřednostňována před prvně zmíněnou.
- Při zkouškách, kde se předpokládá rychlost vozidla nižší než 80 km/h se provádí měření při rychlosti 40 km/h a následně při maximální rychlosti.

Doplňkové zkoušky se provádějí při jedné nebo více přednostních rychlostech.

Periodické rychlostní zkoušky se mohou provádět i při jiných než přednostních rychlostech, ale toto musí být dohodnuto mezi vlastníkem kolejového vozidla a příslušným úředním orgánem.

Měřené vozidlo se v době zkoušky musí pohybovat ustálenou rychlostí s přesností  $\pm 5\%$  a tato rychlost musí být sledována zařízením s minimální přesností  $\pm 3\%$ . Je možné použít i rychloměr vlaku, pokud splňuje zmiňovaný požadavek.

### **2.7.10 Protokol o zkoušce dle normy ČSN EN ISO 3095**

Protokol o zkoušce musí obsahovat odkaz na tuto evropskou normu a všechny podrobné údaje, které jsou následující:

- a) druh zkoušky, datum, místo, jméno a adresa organizace, která provedla měření. Více také v EN ISO/IEC 17025;
- b) místo, kde se zkouška konala, profil trati a poloha, takzvaná geometrie trati, vegetace, provedení koleje včetně popisu pražců, kolejnicových podložek, upevňovadel a geometrie kolejnic, provedení a uspořádání kolejnic, okolní teplota, vlhkost, barometrický tlak, rychlost a směr větru; u měření při zkouškách typu nerovnost kolejnic (je-li požadováno, viz příloha A),
- c) měřicí zařízení a typy mikrofonů s datem poslední kalibrace,
- d) hladina akustického tlaku pozadí,
- e) číselné označení vozidla (vozidel) a jejich výrobní číslo (čísla), trakční systém a jeho otáčky během zkoušky, prohlášení, že vozidla představují konkrétní výrobní dávku vozidel,
- f) provozní podmínky během zkoušky,
- g) pomocné zařízení a jeho provozní podmínky,
- h) polohy mikrofonů,
- i) měřené veličiny a doby  $T$  a  $T_p$ ,
- j) výskyt impulzního nebo tónového hluku,
- k) zatížení vozidla,
- l) jakékoliv další užitečné informace.

## 2.8 Vybrané statě z TSI subsystému „Kolejová vozidla – hluk“

Technická specifikace pro interoperabilitu subsystému „Kolejová vozidla – hluk“ transevropského železničního systému vstoupila v platnost rozhodnutím komise ze dne 23. prosince 2005. Nabyla účinnosti šest měsíců po tomto datu, tedy 23. června 2006.

Kolejová vozidla, jako jsou například lokomotivy, nákladní i osobní vlaky nebo ucelené celky, to jest všechny, u kterých se předpokládá, že budou jezdit po transevropské železniční síti anebo alespoň po jejích částech, jsou předmětem této TSI. Přičemž TSI „hluk“ pro kolejová vozidla určuje mezní hodnoty hluku pro:

- vozidla při stání vozidla
- vozidla při rozjezdu
- vozidla při průjezdu
- kabinu strojvedoucího
- vnitřní hluk ucelených jednotek a hnacích vozidel

Dále se budu zabývat částmi směrnice TSI „hluk“, které souvisejí s měřením hluku a které lze uplatnit při měření hlukových emisí na koridorových tratích. Měřením hluku dle ČSN EN ISO 3095 se budu zabývat v praktické části diplomové práce.

Pro hluk vyzařovaný nákladními vozy je dominantní hluk valení. Pro charakterizaci hluku projíždějících vozidel jsou podstatné následující parametry:

- drsnost povrchu kolejnice
- dynamické a emisní vlastnosti trati
- rychlost měřeného vozidla
- poloha a umístění mikrofonu
- hladina akustického tlaku naměřená podle určené metodiky

Hlukové emise jsou popisovány ekvivalentní hladinou akustického tlaku  $A$  za dobu průjezdu, kterou značíme  $L_{pAeq,Tp}$ . Měření se provádí 7,5m od osy koleje a 1,2 nad temenem kolejnice. Hlukové emise se měří při rychlosti 80 km/h a při maximální rychlosti, nejvýše však při rychlosti 190 km/h, měření se provádí na referenční trati,

kteřá splňuje podmínky dané normou. Mezní hodnoty  $L_{pAeq, Tp}$  hluku projíždějících nákladních vozů jsou v následující tabulce 4:

Vozy	$L_{pAeq, Tp}$
Nové vozy s průměrným počtem náprav na jednotku délky (apl) do $0.15 \text{ m}^{-1}$ při 80 km/h	$\leq 82 \text{ dB(A)}$
Rekonstruované nebo modernizované vozy podle čl. 14 ods. 3 směrnice 2001/16/ES s průměrným počtem náprav na jednotku délky (apl) do $0.15 \text{ m}^{-1}$ při 80 km/h	$\leq 84 \text{ dB(A)}$
Nové vozy s průměrným počtem náprav na jednotku délky (apl) $0.15 - 0.275 \text{ m}^{-1}$ při 80 km/h	$\leq 83 \text{ dB(A)}$
Rekonstruované nebo modernizované vozy podle čl. 14 ods. 3 směrnice 2001/16/ES s průměrným počtem náprav na jednotku délky (apl) $0.15 - 0.275 \text{ m}^{-1}$ při 80 km/h	$\leq 85 \text{ dB(A)}$
Nové vozy s průměrným počtem náprav na jednotku délky (apl) větším než $0.275 \text{ m}^{-1}$ při 80 km/h	$\leq 85 \text{ dB(A)}$
Rekonstruované nebo modernizované vozy podle čl. 14 ods. 3 směrnice 2001/16/ES s průměrným počtem náprav na jednotku délky (apl) větším než $0.275 \text{ m}^{-1}$ při 80 km/h	$\leq 87 \text{ dB(A)}$

Tabulka 4 - Mezní hodnoty  $L_{pAeq, Tp}$  hluku projíždějících nákladních vozů. Počet náprav vydělený délkou přes nárazníky v metrech je označován jako apl. [2]

TSI kolejová vozidla- hluk krom jiného udává metodiku měření a mezní hluk vyzařovaný lokomotivami, ucelenými jednotkami a osobními vozy projíždějícími konstantní rychlostí podél pevného stanoviště. Měření se provádí 7,5 m od osy koleje a 1,2 m nad temenem kolejnice. Podmínky měření definuje metodika vytvořená na základě normy ČSN EN ISO 3095 s příslušnými odchylkami. Hlukové emise se měří při rychlosti 80 km/h a při maximální rychlosti, nejvýše však při rychlosti 190 km/h. Hodnoty naměřené při maximální rychlosti se přepočítávají na rychlost 80 km/h dle následující rovnice:

$$L_{pAeq, Tp} \left( \frac{80 \text{ km}}{\text{h}} \right) = L_{pAeq, Tp} (v) - 30 \cdot \log \frac{v}{80 \text{ km/h}} \quad (8)$$

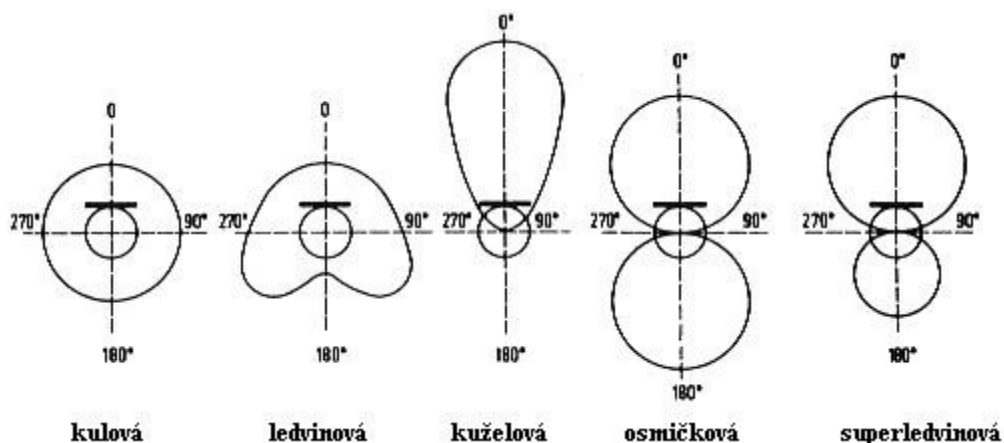
Poté se porovnávají s mezními hodnotami uvedenými v následující tabulce:

Vozidla	$L_{pAeq, Tp} @ 7.5\text{m}$
Elektrické lokomotivy	85 dB(A)
Diesellové lokomotivy	85 dB(A)
EMU	81 dB(A)
DMU	82 dB(A)
Osobní vozy	80 dB(A)

Tabulka 5 - Mezní hodnoty  $L_{pAeq, Tp}$  hluku průjezdu pro elektrické a diesellové lokomotivy, EMU, DMU a osobní vozy [3]

## 2.9 Princip měřících mikrofonů a jejich směrová charakteristika

Nedílnou součástí při měření hluku jsou mikrofony. Akustický signál se projevuje změnami akustického tlaku. Tento rozechvívá mechanický člen a je převáděn elektromechanickým měničem na elektrický signál. V případě, že akustický tlak působí na jednu stranu membrány, jedná se o tlakové mikrofony. V případě, že přivedeme akustický signál i na zadní stranu mechanického členu mikrofonu potom výchylka membrány nezávisí pouze na velikosti akustického tlaku, jako tomu bylo v prvním případě, ale na rozdílu akustického tlaku před i za mechanickým členem mikrofonu. Těmto mikrofonům se říká gradientní. Směrová charakteristika je závislost citlivosti mikrofonu na úhlu, který je svírán osou akustického zdroje s akustickou osou mikrofonu. Tlakové mikrofony jsou závislé pouze na velikosti akustické tlaku, říkáme, že jsou všesměrové a většinou mají kulovou směrovou charakteristiku, nejsou závislé na rozdílu akustického tlaku. Oproti tomu jsou gradientní mikrofony směrové. Mohou mít kulovou, ledvinovou, kuželovou, osmičkovou a super ledvinovou charakteristiku. Směrové charakteristiky mohou být závislé na frekvenci.



Obrázek 6 - Směrové charakteristiky měřících mikrofonů [4]

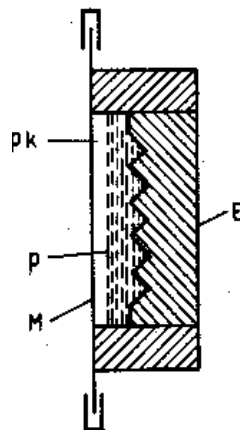
## 2.9.1 Rozdělení mikrofonů

Mikrofony můžeme rozdělit několika způsoby. Podle druhu akustického přijímače na tlakové, gradientní, vlnové. Nebo podle směrové charakteristiky, případně podle druhu mechanického členu na membránové a bezmembránové a další. Pro naše účely si rozdělíme mikrofony dle druhu elektromechanického měniče:

- Uhlíkové
- Elektrodynamické
- Elektrostatické
- Elektromagnetické
- Elektretové
- Piezoelektrické

### 2.9.1.1 Kondenzátorové mikrofony (Brüel @ Kjeur, typ: 4188)

Kondenzátorovým mikrofonům se také jinak říká uhlíkové mikrofony. Pracují na principu změny přechodového odporu uhlíkových zrněk, jimiž prochází stejnosměrný napájecí proud.



Obrázek 7 – Kondenzátorový mikrofon [5]

kde:

M – mechanický člen

E – pevná uhlíková elektroda

p – uhlíková zrnka

PK – plstěný kroužek

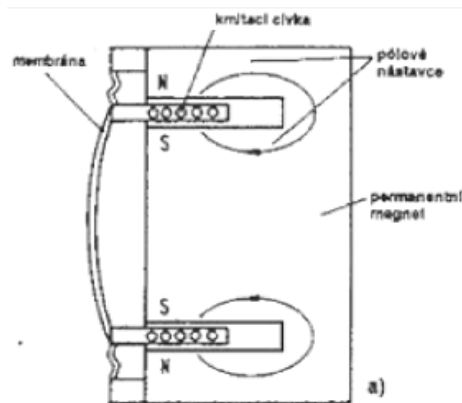
Stejnoseměrný proud je přiveden jedním pólem k pevné elektrodě a druhým pólem k membráně. Akustický tlak deformuje mechanický člen, který přenáší deformaci na vrstvu uhlíkových zrněk. Tím se mění kapacita tohoto specifického kondenzátoru. Měnicí se napětí vznikající na kondenzátoru je snímáno předzesilovačem s velkou vstupní impedancí. Tento princip je použit i u našeho měřicího mikrofону Brüel @ Kjar, typ: 4188.

### **2.9.1.2 Elektrodynamické mikrofony**

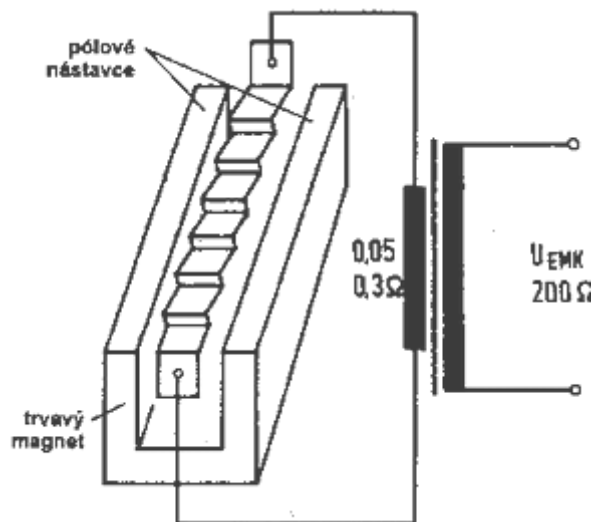
Často používaným druhem elektromechanického měniče signálu u mikrofónů je měnič elektrodynamický. Elektrodynamický mikrofon může být membránový, ale i bezmembránový - páskový. V případě membránové varianty je cívka spojena s membránou. Membrána pohybuje cívkou v magnetickém poli, vytvořeném permanentním magnetem. Tímto pohybem se indukuje napětí, které je úměrné rychlosti změny akustického tlaku.

U páskových mikrofónů je membrána s cívkou nahrazena zvlněnou folií, která je citlivá vůči akustickému tlaku a funguje jako mechanický člen, ve kterém se přímo indukuje nízkofrekvenční elektrický signál. Elektrodynamické mikrofony mohou být tlakové i gradientní.





Obrázek 8 - Elektrodynamický mikrofon s konstrukcí s cívkou [5]



Obrázek 9 - Elektrodynamický mikrofon páskový [5]

### 2.9.1.3 Elektromagnetické mikrofony

Pracují na stejném principu jako elektrodynamické mikrofony. Snímací cívka není připojena k mechanickému členu, má pevné uložení. Pohyb membrány mění magnetický tok cívkou a tím v ní indukuje nízkofrekvenční signál.

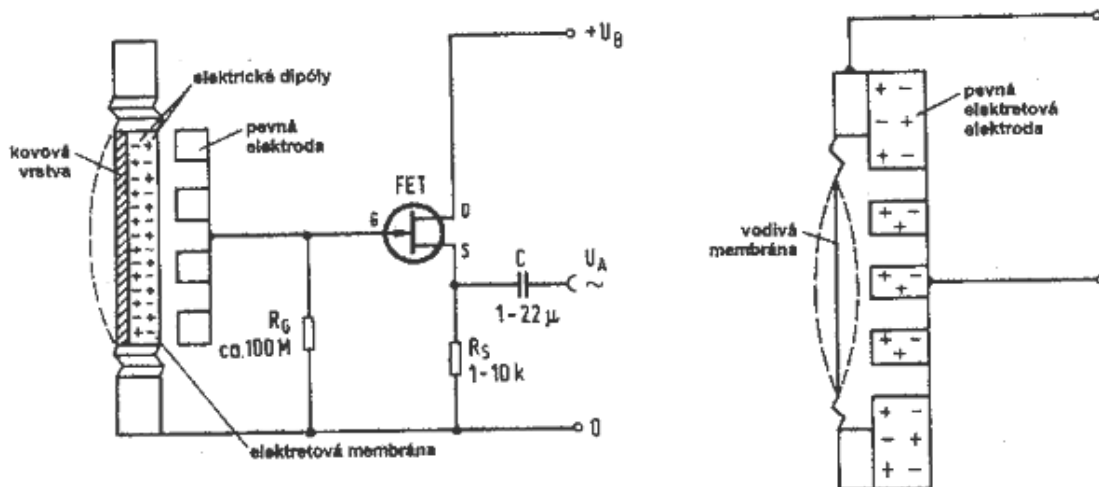
### 2.9.1.4 Elektrostatické mikrofony

Elektrostatické mikrofony mají mechanický člen tvořen jednou deskou deskového kondenzátoru. V tomto kondenzátoru se kumuluje elektrický náboj. Kondenzátor je připojen ke zdroji stejnosměrného napětí. Změna akustického tlaku mění vzdálenost mezi deskami kondenzátoru a tím jeho celkovou kapacitu. Rezistor připojený ke kondenzátoru způsobuje pomalé vyrovnávání vnitřního náboje při změně kapacity kondenzátoru. Při takovéto změně se mění celkové napětí, které po vhodném převodu značí hladinu akustického tlaku. Často se používají pro účely měření.

### 2.9.1.5 Elektretové mikrofony

Speciálním typem elektrostatických mikrofonů jsou elektrostatické mikrofony elektretové.

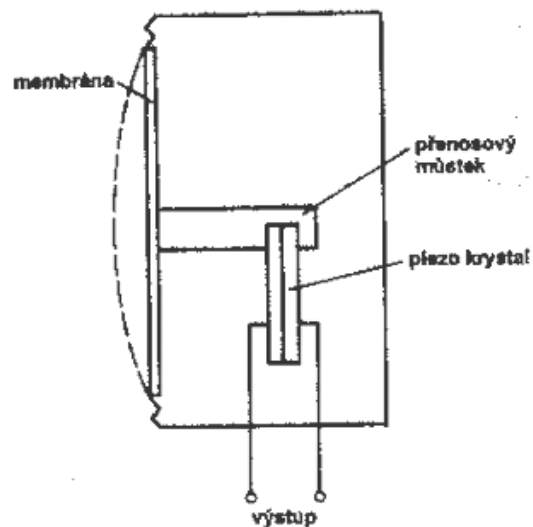
U těchto mikrofonů je jedna elektroda opatřena vrstvou elektretu, který jako dielektrikum nese permanentní elektrický náboj. V tomto případě tedy není potřebný zdroj polarizačního napětí.



Obrázek 10 - Elektretový mikrofon [5]

### 2.9.1.6 Piezoelektrické mikrofony

Tyto mikrofony využívají piezoelektrického jevu, kterým jsou označovány látky, které zatížením tlakem indukují elektrický náboj. Tento je snímán elektrodami. Tyto elektrody mají velkou impedanci.



Obrázek 11 - Piezoelektrický snímač [5]

## 2.10 Předzesilovače a zesilovače v měřicím řetězci

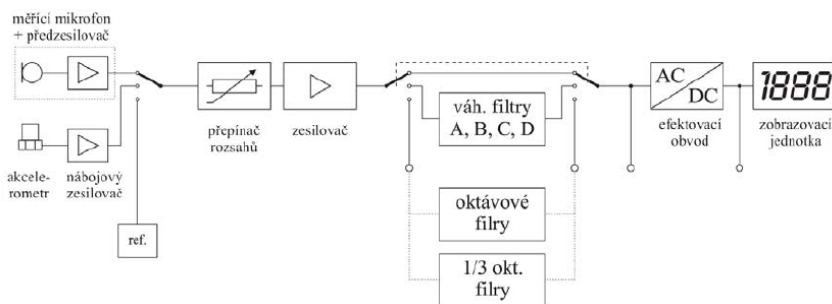
Dodnes neexistuje přesná relace mezi subjektivním vjemem jednotlivce a hodnotami zjištěnými běžnými zvukoměrnými přístroji. Proto existují mnohé metodiky, které slouží k vyhodnocení získaných hodnot a snaží se subjektivním vjemům přiblížit. Bohužel mnohokrát zvukových signálů, ale i psychických jevů nedává možnost jednoznačného postupu. Úprava signálu ze snímače se řídí normalizovanými pravidly, ať jde o kmitočtovou analýzu, váhové křivky, pásmové filtry či důraz na kvalitu analyzátorů, dále způsob vyhodnocení signálu nebo statistické vyhodnocení řady hodnot.

Proto existuje celá řada zapojení měřicích zařízení a částí, které slouží k zpracování zvukových signálů. Těmto zapojením se souhrnně říká měřicí řetězce. Snímače a jejich základní rozdělení jsme si uvedli výše. Další částí, která nechybí v žádném měřicím řetězci, jsou mikrofonní předzesilovače a zesilovače. Hned za snímačem je vždy zesilovač nebo předzesilovač a zesilovač. Předzesilovače upravují vstupní signál tak, že získáváme optimalizované fázové charakteristiky při měřeních zvuku. Dále předzesilovače nabízí velmi plochou amplitudovou odezvu na nízkých frekvencích a to zabraňuje přírůstkovým špičkám při nízkofrekvenčních měřeních. Obvykle následuje samotný zesilovač, může mít zabudované pásmové propustě a filtry. Mikrofon s tímto zesilovačem lze spojit již se záznamovým zařízením. Tato varianta se používá pro nejrůznější měření v terénních podmínkách.

## 2.11 Zvukoměry

V praktické části mé diplomové práce, například v kapitole 3.2.1, se k měření hladiny hluku používá zvukoměr BK 2236. Z čeho se skládá a proč nestačí jednoduchý měřicí řetězec složený z mikrofonu, zesilovače a měřidla? Při hodnocení akustických měření se používá ekvivalentní (trvalá) hladina akustického tlaku, značená jako  $L_{aeq,T}$ . Tuto veličinu jsem již představil v kapitole 2.7, kde je odvozen i příslušný vztah. Z tohoto vzorce je patrné, že se jedná o stálou zvukovou hladinu. Obvykle je touto hladinou tlak, či intenzita a ta má stejný účinek jako hodnocená proměnná hladina téže veličiny za stejný časový interval. Doba T ve vztahu značí dobu trvání proměnné veličiny a její výskyt ve vztahu má za důsledek, že nemůžeme použít primitivní zvukoměrný řetězec, který jsem zmiňoval v úvodu.

Moderní zvukoměry mají různá zapojení a tedy různé uspořádání jednotlivých prvků. Na následujícím obrázku je základní blokové schéma, na kterém si ukážeme, jak tyto zvukoměry ve své podstatě fungují.



Obrázek 12 - Blokové schéma zvukoměru [7]

Elektromechanickým měničem je obvykle mikrofon v zapojení s předzesilovačem. Nejčastěji se používá kondenzátorový mikrofon, o kterém jsem psal v kapitole 2.9.1.1. Mezi nesporné výhody těchto mikrofonů můžeme řadit časovou stabilitu a lineární frekvenční charakteristiku ve slyšitelném pásmu. Tlakové změny způsobené zvukem působí na membránu mikrofonu. Tím se mění kapacita kondenzátoru. Připojením polarizačního napětí dosahujeme konstantního náboje na kondenzátoru, a tak se změna kapacity převádí na změnu napětí. Dále je umístěn zesilovač a přepínání rozsahů. Část, kde se nacházejí prvky obsahující filtry, souvisí se zpracováním signálů. První bývá modul, který obsahuje váhové filtry. Tyto filtry bývají typu A, B, C, výjimečně D. O těchto filtrech více v kapitole 2.12. Další moduly dávají možnost třetinooktávové filtrace či oktávové filtrace.

Zvukoměr má udávat efektivní hodnotu právě měřeného signálu. Efektovací obvod má tuto funkci zajišťovat. Tyto efektovací obvody mají v zásadě dvě třídy přesnosti, které se určují dvojtónovou metodou a mají hodnoty  $\pm 0,1$  dB a přesnějších  $\pm 0,25$  dB. Rychlost zobrazování změn na zvukoměru při změně signálu závisí na mechanických a elektrických vlastnostech měřidla. Tyto vlastnosti charakterizují časovou konstantu. Hodnota na displeji přibližně odpovídá za čas daný konstantou. Ve zvukoměrech jsou normativně určené tyto rychlosti, kterým také říkáme dynamické vlastnosti. V případě, že zvukoměr vyhodnotí průměrnou hodnotu měřené hladiny signálu za uplynulou 1 s, říkáme, že časová konstanta je typu S (slow). V případě, že zvukoměr vyhodnotí průměrnou hodnotu měřené hladiny signálu za uplynulých 200 ms, říkáme, že časová konstanta je typu F (fast). V normě IEC 651 jsou stanoveny všechny elektroakustické parametry pro zvukoměry.

Je možné se setkat i s pojmem akustický analyzátor. Tento pojem se dříve používal výhradně k frekvenční analýze. Dnešní moderní zvukoměry často umožňují nahradit zastaralé analyzátory, a to vestavěnými funkcemi jako třetinooktávová analýza v reálném čase, časový záznam signálu nebo záznam více kanálů zároveň. Dále mají možnost exportu dat do počítače.

## 2.12 Váhové filtry

Rozpory mezi subjektivně vnímanou hladinou hluku a naměřenými hodnotami je třeba brát na zřetel. Pro přiblížení měřených veličin vlastnostem lidského ucha byly do měřících řetězců vkomponovány tzv. váhové filtry.

Filtry A, B, C jsou inverzní k vybraným křivkám hladin stejné hlasitosti při hladinách 40, 80 a 120 dB. Váhové filtry zajistí přibližný pokles hodnoty měřené veličiny tam, kde váhové křivky vykazují zvýšení citlivosti sluchového orgánu. Váhové filtry ale pouze přibližně vytvářejí shodu mezi měřenými a vnímanými hodnotami. Dříve byly hodnoty těchto filtrů dány tabulkou, která znázorňovala jednotlivé korekce pro váhovou křivku typu. V tabulce 6 je znázorněna tabulka pro filtr A.

Frekv. [Hz]	korekce [dB]	Frekv. [Hz]	korekce [dB]	Frekv. [Hz]	korekce [dB]
20	-50,5	200	-10,9	2 k	+1,2
25	-44,7	250	-8,6	2,5 k	+1,3
31,5	-39,4	315	-6,6	3,15 k	+1,2
40	-34,6	400	-4,8	4 k	+1,0
50	-30,2	500	-3,2	5 k	+0,5
63	-26,2	630	-1,9	6,3 k	-0,1
80	-22,5	800	-0,8	8 k	-1,1
100	-19,1	1 k	-0,0	10 k	-2,5
125	-16,1	1,25 k	+0,6	12,5 k	-4,3
160	-13,4	1,6 k	+1,0	16 k	-6,6
				20 k	-9,3

Tabulka 6 - Korekce pro váhovou křivku A [7]

Váhové filtry jsou také udávány těmito vztahy:

$$A(f) = 20 \log \frac{R_A(f)}{R_A(1000)} \quad (9)$$

$$R_A(f) = 20 \log \frac{12200^2 f^4}{(f^2 + 20,6^2)(f^2 + 12200^2) \sqrt{(f^2 + 107,7^2)(f^2 + 737,9^2)}} \quad (10)$$

$$B(f) = 20 \log \frac{R_B(f)}{R_B(1000)} \quad (11)$$

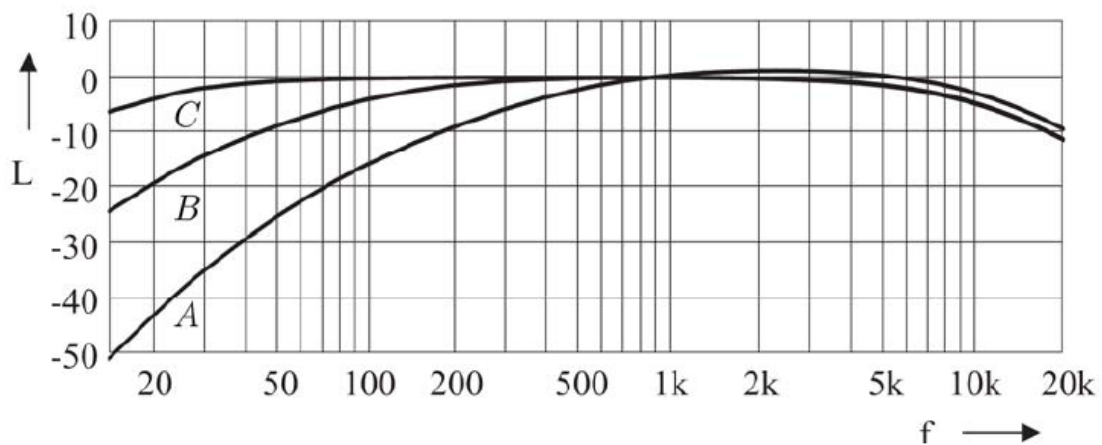
$$R_B(f) = 20 \log \frac{12200^2 f^3}{(f^2 + 20,6^2)(f^2 + 12200^2) \sqrt{(f^2 + 158,5^2)}} \quad (12)$$

$$C(f) = 20 \log \frac{R_C(f)}{R_C(1000)} \quad (13)$$

$$R_C(f) = \frac{12200^2 f^2}{(f^2 + 20,6^2)(f^2 + 12200^2)} \quad (14)$$

kde:

$R_{A,B,C}$  přenosová funkce daného filtru.



Obrázek 13 - Průběhy váhových křivek [7]

## 2.13 Hluková referenční kolej

Při měření hluku emitovaného železničními vozidly je nezbytné znát jednotlivé podíly složek, které tento hluk vytváří. Hluk vozidla a hluk tratě jsou dvě základní složky, které se na celkovém hluku podílí. Hluk vozidla je složen z hluku

trakce a aerodynamického hluku. Hluku trati se také jinak říká hluk valení. Pokud chceme hodnotit hlukové emise vozidla, je nezbytné znát příspěvek hluku valení. Díky tomu pak dokážeme vzájemně porovnávat měření z různých míst. Proto se hlukové měření vozidel dle Technické specifikace pro interoperabilitu subsystému „Kolejová vozidla – hluk“, zkráceně TSI – hluk, realizují na referenční části trati, která odpovídá definovaným parametrům. Mezi základní vlastnosti referenčního úseku patří splnění podmínek pro volné pole a drsnost povrchu kolejnic. Stejně tak další sledovaná vlastnost, a to stupeň dynamického útlumu, musí být také nižší, než je limity přikázáno.

Základní parametr referenční hlukové koleje je její drsnost, respektive drsnost povrchu kolejnice. Závislý je na způsobu a frekvenci používání. S časem se tento parametr mění a je potřeba ho sledovat. Když tento parametr překročí stanovené limity, je potřeba provést nápravná opatření. Mezi ně řadíme například přebroušení svršku koleje. Po této proceduře je třeba referenční úsek zajet a znovu přeměřit.

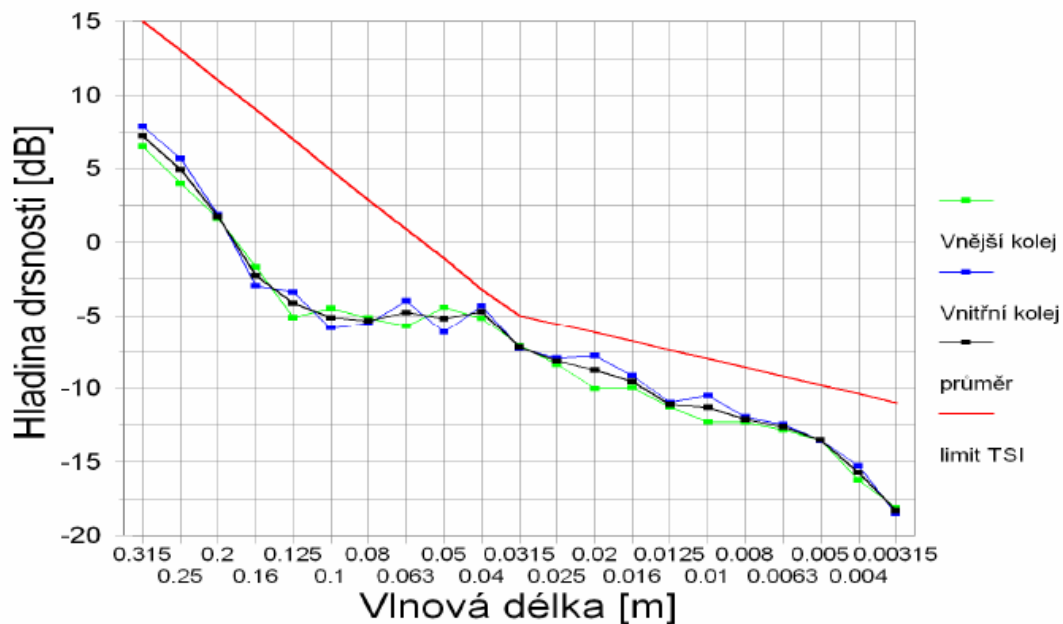
## **2.14 Hluková referenční kolej zkušebního centra VÚŽ Velim**

V roce 2005 byl Výzkumným ústavem železničním, a.s. zrekonstruován 1,5 km dlouhý úsek kolejového svršku koridorového typu tak, aby splňoval limity i pro měření v rámci TSI – hluk. V roce 2007 se tento úsek prodloužil na 6,9 km. V následujícím roce došlo k přebroušení celého úseku. Podmínky volného pole splňuje trať v úseku dlouhém 2 km, který se nachází ve Zkušebním centru ve Velimi a používá se především pro měření vnitřního hluku v kabině strojvedoucího. Pro měření vnějšího hluku byla zbudována dvě stanoviště, z toho jedno je uzpůsobeno pro měření hluku vysokorychlostních vozidel. Na obrázku 14 je ukázka grafu drsnosti koleje, jenž je výsledkem měření z velimské trati.

O tom, že drsnost povrchu kolejnic je závislá na způsobu a frekvenci používání, jsem již psal. Drsnost povrchu kolejnice je třeba měřit, a to každé tři měsíce. Dynamický útlum se s časem nemění a je dán konstrukčními parametry trati. Pro měření drsnosti se využívá celá řada drsnoměrů, které se musí pravidelně

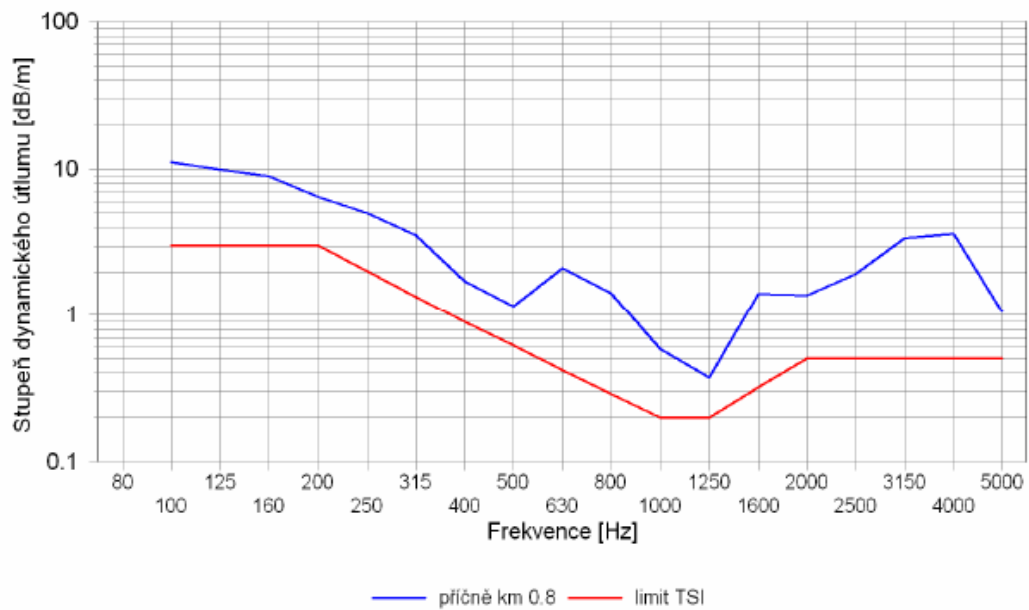


kalibrovat. Pro kalibraci se nejčastěji využívá takzvaný kalibrační kámen s vysokou hladkostí povrchu třídy 0,0  $\mu\text{m}$ .

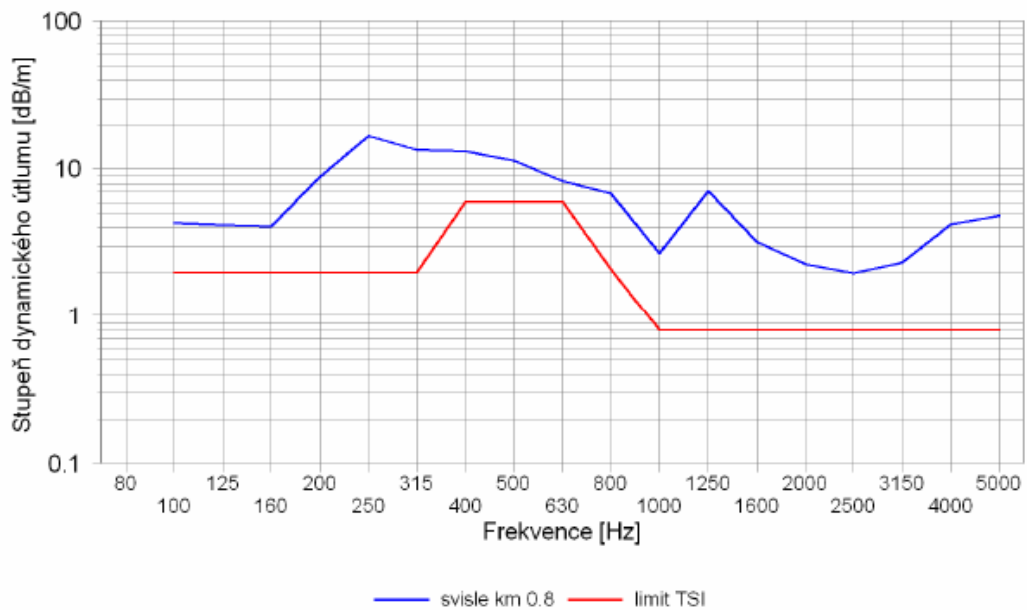


Obrázek 14 - Graf drsnosti povrchu kolejnice [2]

Dalším parametrem důležitým pro hluková měření je dynamický útlum v příčném a svislém směru. Obrázek 15, 16 ukazuje, že trať je způsobilá k měření, dle TSI.



Obrázek 15 - Stupeň dynamického útlumu v příčném směru [2]



Obrázek 16 - Stupeň dynamického útlumu ve svislém směru [2]

## 2.15 Program LabVIEW

Americká společnost National Instruments je přední světovou společností v oblasti zabývající se virtuální instrumentací. Tato technická disciplína zažívá velký

rozvoj v oblastech jako je školství, průmysl a především vývoj a výzkum. Program LabVIEW byl představen již v roce 1986. Původně sloužil jako nástroj pro programování měřicích přístrojů. LabVIEW dnes nabízí mnohem víc. Kromě již zmiňovaného programování měřicích přístrojů je vhodný i pro vytváření měřicích řetězců, sloužících k analýze signálů, řízení a celkové vizualizaci technologických procesů od těch jednodušších až po velmi složité. LabVIEW je zkratka z anglického Laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench, což znamená „laboratorní pracoviště virtuálních přístrojů“.

Základním principem tohoto programu je virtuální instrumentace. Ta nahrazuje neefektivní hardwarové prostředky nástroji virtuálními, prostředky softwarovými. Tyto virtuální prostředky jsou graficky, vizuálně prezentovány tak, aby pracovní prostředí bylo maximálně názorné. Díky tomu můžeme navrhovat a měnit různé aplikace, což je při realizaci se skutečnými technickými prostředky velmi zdoluhavé a nákladné, a proto hůře proveditelné.

Pro naše měření jsem použil aplikaci v prostředí LabVIEW, která z naměřených dat vykreslí požadovaný graf a po zadání určitého intervalu, stanoví ekvivalentní hladinu akustického tlaku  $A$ ,  $L_{pAEqT}$ .

## **2.16 Systém PULSE**

Dánská společnost Brüel & Kjaer je přední světovou společností zabývající se měřicí technikou v oblasti měření hluku a vibrací. I systém Pulse od stejné společnosti slouží v oblasti měření hluku a vibrací. Je to univerzální platforma pro řešení obtížnějších měření. Tento systém poskytuje informace v reálném čase a tedy s možností sledovat výsledky měření i analýzy ihned po ukončení měření. Díky tomu lze provádět kontrolu naměřených dat a řešit případné problémy. Základem tohoto systému, který jsme použili při našem měření, je vícekanálový multianalyzátor v reálném čase na bázi PC. Ten je přirozenou aplikací operačního systému Microsoft Windows. Komunikuje tedy i s aplikacemi Microsoft Office. Kromě zabudovaného procesoru se softwarem Pulse je multianalyzátor vybaven inteligentní vstupní jednotkou, která slouží pro připojení jednotlivých snímačů. Vstupní jednotka je schopna rozpoznat snímače vybavené systémem TEDS. Tento systém umožňuje

automaticky nastavit jednotlivé parametry snímače, jako jsou citlivost, kalibrační údaje a také jejich platnost v systému Pulse. Jednou z hlavních předností tohoto systému je multianalýza. Systém Pulse vykonává několik analýz současně. Umí vyhodnotit například FFT, CPB a 1/n oktávovou analýzu a jejich různé modifikace. Toho jsem využil i v praktické části diplomové práce.

## **3 Experimentální část**

### **3.1 Cíl**

Cílem experimentální části práce je měření, vyhodnocení a srovnání hlukových emisí. Dalším cílem je analýza v časové a frekvenční oblasti dat, získaných při měřeních realizovaných v okolí koridorových železničních tratí a dále na konkrétním traťovém úseku. Měření byla realizována tak, aby se mohla použít při zkouškách dle normy ČSN ISO 3095.

### **3.2 Experimenty**

#### **3.2.1 Experiment (1) - Měření hlukové zátěže 30 m od vnější koleje, 3 m výška mikrofonu**

##### **3.2.1.1 Čas měření**

15.30 h – 17.30 h

##### **3.2.1.2 Místo měření**

Okolí železniční tratě Kolín - Praha, lokalita Velim

### 3.2.1.3 Použitý měřicí přístroj

Měření bylo realizováno integračním zvukoměrem BK 2236. Tento zvukoměr je vybaven elektromechanickým měničem BK 4188.

### 3.2.1.4 Cíl

Měření hlukové zátěže v okolí železniční tratě, dále z naměřených hodnot jednotlivých vážených hladin hluku A jednotlivé události provést přepočet na ekvivalentní hladinu akustického tlaku A a z této veličiny určit ekvivalentní trvalou hladinu A pro zdravotní účely.

### 3.2.1.5 Měřicí místo

30 m od vnější koleje, 3 m výška mikrofonu

### 3.2.1.6 Výsledky měření

Číslo měření	Interval měření		Čas měření (h)	Čas měření (s)	$L_{AE}$ (dB)	$L_{AEqT}$ (dB)	$L_{AE}$ (dB)	$L_{AEqT}$ (dB)	počet	směr
	čas začátku	čas konce								
1	15:37:33	15:38:03	0:00:30	30	82.1	67.3			3	Kolín
2	15:39:42	15:40:30	0:00:48	48	72.1	55.3			0	Praha
3	15:42:42	15:43:32	0:00:50	50	81.4	64.4			7	Kolín
4	15:53:30	15:54:08	0:00:38	38	79.0	63.2			9	Kolín
5	15:55:51	15:56:14	0:00:23	23	81.4	67.8			7	Praha
6	16:01:24	16:02:09	0:00:45	45	79.4	62.9			7	Kolín
7	16:12:00	16:12:34	0:00:34	34	74.6	59.3			6	Kolín
8	16:13:37	16:14:15	0:00:38	38	84.2	68.4			10	Praha
9	16:23:06	16:24:08	0:01:02	62	85.4	67.5			5	Praha
10	16:24:10	16:24:53	0:00:43	43	66.4	50.1			3	Praha
11	16:27:08	16:27:35	0:00:27	27	75.2	60.9			7	Kolín
12	16:28:51	16:29:19	0:00:28	28	69.8	55.3			0	Praha
13	16:36:37	16:37:12	0:00:35	35	75.0	59.6			6	Kolín
14	16:39:58	16:41:41	0:01:43	103			82.6	62.5	35	Kolín
15	16:44:32	16:45:00	0:00:28	28	81.8	67.3			7	Praha
16	16:49:10	16:49:53	0:00:43	43	81.7	65.4			7	Kolín
17	16:56:54	16:57:25	0:00:31	31	89.1	74.2			8	Praha
18	16:57:43	16:58:23	0:00:40	40	88.6	72.6			13	Kolín
19	17:04:06	17:04:48	0:00:42	42	83.6	67.4			7	Kolín
20	17:12:22	17:12:53	0:00:31	31	81.4	66.5			8	Kolín
21	17:19:34	17:20:40	0:01:06	66			83.4	65.2	14	Kolín
22	17:22:54	17:23:19	0:00:25	25	80.3	66.3			6	Praha
23	17:25:18	17:26:01	0:00:43	43	90.2	73.9			13	Praha

Tabulka 7 – Naměřené hodnoty  $L_{AE}$  a převedené hodnoty  $L_{AEqT}$

Výsledná ekvivalentní hladina pro zdrav. účely $L_{Aeq,2hod.}$ - osobní dopravu	58 dB
Výsledná ekvivalentní hladina pro zdrav. účely $L_{Aeq,2hod.}$ - nákladní dopravu	47 dB
Výsledná ekvivalentní hladina $L_{Aeq,2hod.}$	58 dB

Tabulka 8 – Výsledné ekvivalentní hodnoty pro zdravotní účely

### 3.2.1.7 Závěr - experiment (1)

V průběhu dvou hodin jsem měřil hlukovou zátěž při průjezdu 23 různých skupin vozidel. Doba průjezdu, rychlost pohybu i složení skupin byly různé. V tabulce jsou označeny soupravy osobní dopravy a nákladní dopravy. Z naměřených hodnot mi integrační zvukoměr BK 2236 určil váženou hladinu hluku A jednotlivé události  $L_{AE}$  a z této hodnoty jsem vypočítal ekvivalentní hladinu akustického tlaku A  $L_{pAeqT}$  podle vzorce (6). Z těchto hodnot jsem určil výslednou ekvivalentní hladinu pro zdravotní účely  $L_{Aeq,2hod.}$  podle vzorce (7). Získané hodnoty byly zaokrouhleny na jedno desetinné místo. Hlukové zatížení bylo vyhodnoceno zvlášť pro osobní a nákladní dopravu a zatížení celkové. Tato data znázorňují hlukovou zátěž po celou dobu měření. Vypočet je ukázkou zpracování dat, které se běžně provádí v rámci hodnocení měření hluku, prováděné hygienickou službou v rámci státního zdravotního dozoru. Ten dohlíží na dodržení hlukových limitů dle nařízení vlády č. 148/2006 Sb.

## **3.2.2 Experiment (2) – Analýza hluku vlaků při průjezdu kolem měřicího bodu**

### **3.2.2.1 Místo měření**

Okolí železniční tratě Kolín - Praha, lokalita Velim.

### **3.2.2.2 Použitý měřicí přístroj**

Měření bylo realizováno měřicí aparaturou BK Pulse. Jako elektromechanický měnič byly použity měřicí mikrofony BK 4188 s předzesilovači BK 2671.

### **3.2.2.3 Cíl**

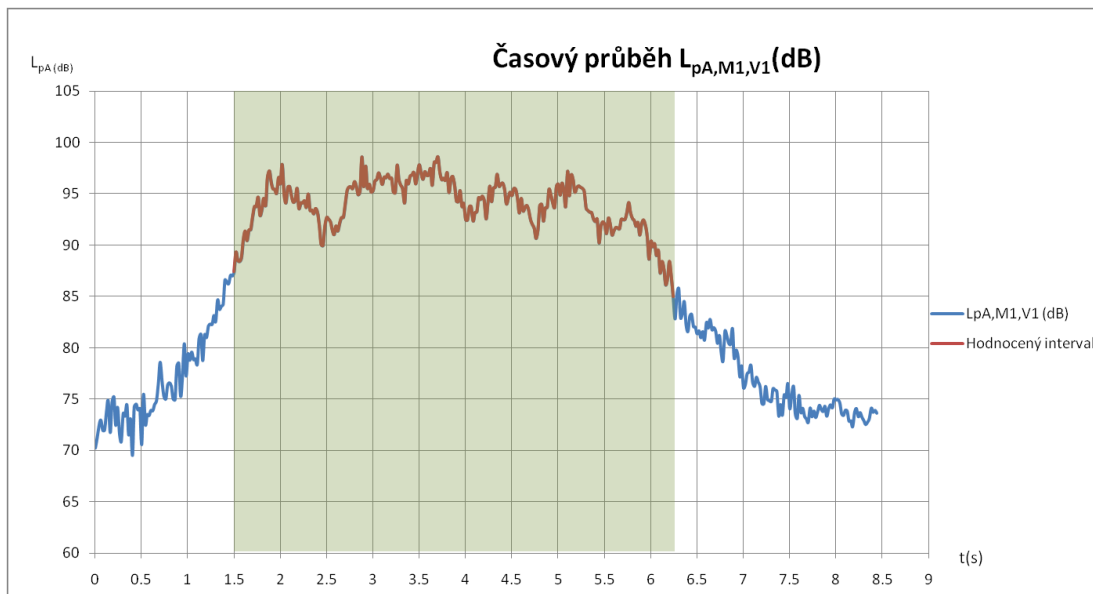
Srovnání hlukových emisí různých skupin vozidel na konkrétním traťovém úseku.

### **3.2.2.4 Měřené objekty**

Měření hluku za běžného provozu.

### **3.2.2.5 Podmínky měření**

K měření byly použity dva mikrofony. Osy mikrofونů byly vodorovné a směřovaly kolmo ke koleji. Byly umístěny 7.5 m od osy koleje ve výšce 1.2 m nad horním povrchem kolejnice. Protože se jedná o dvoukolejnou trať, byl vždy jeden z mikrofونů určen pro snímání hluku z jedné koleje. Popsané podmínky vyhovují normě ČSN EN ISO 3095.

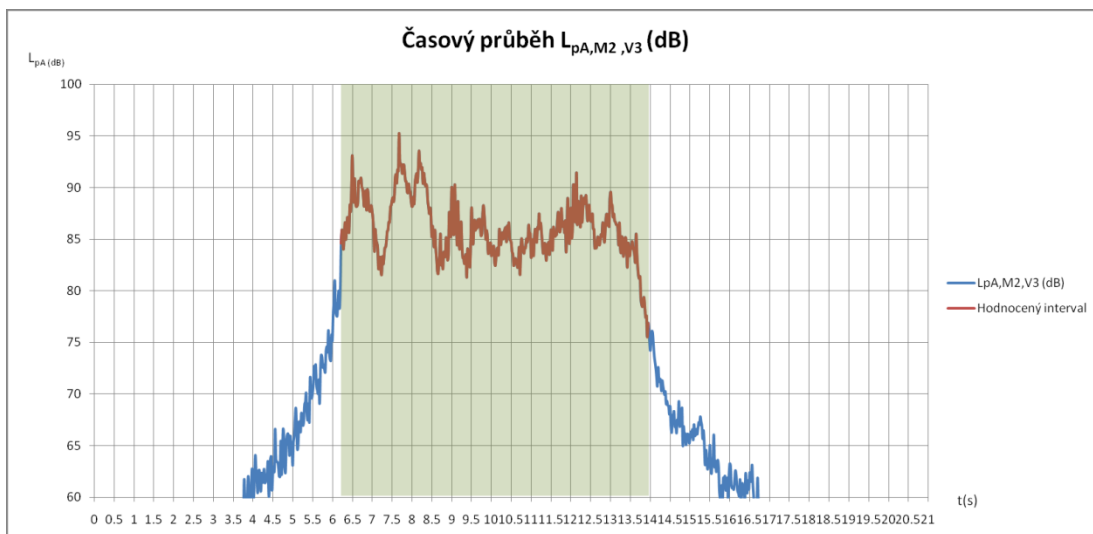


Obrázek 17 - Stanovení intervalu měření v záznamu hladiny hluku, měřeno mikrofonem  $M_1$ , emitovaného projíždějícím vozidlem  $V_1$

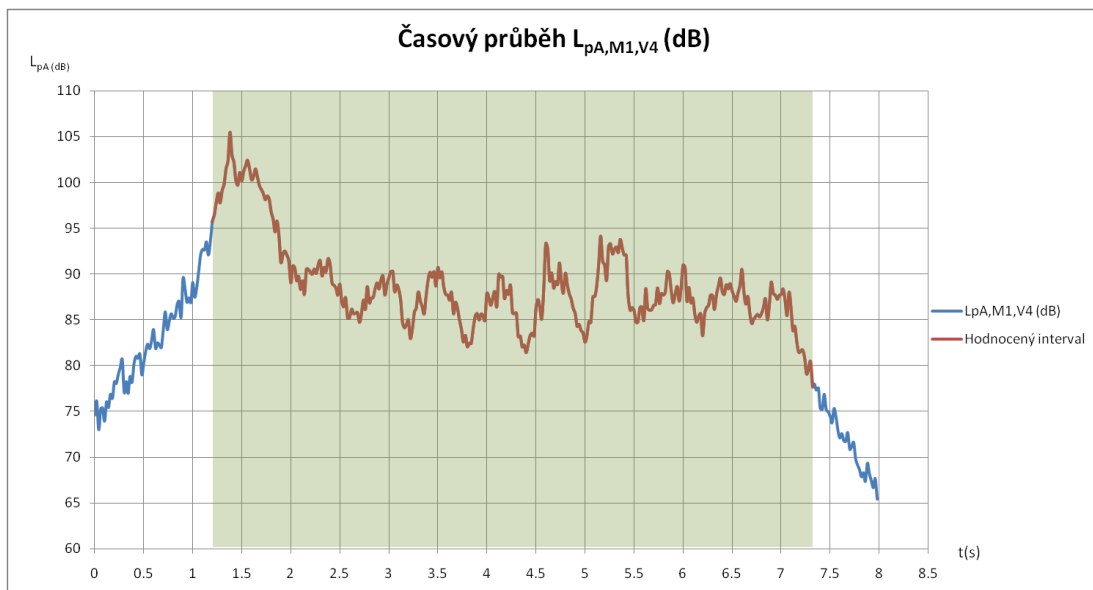


Obrázek 18 - Stanovení intervalu měření v záznamu hladiny hluku, měřeno mikrofonem  $M_2$ , emitovaného projíždějícím vozidlem  $V_2$

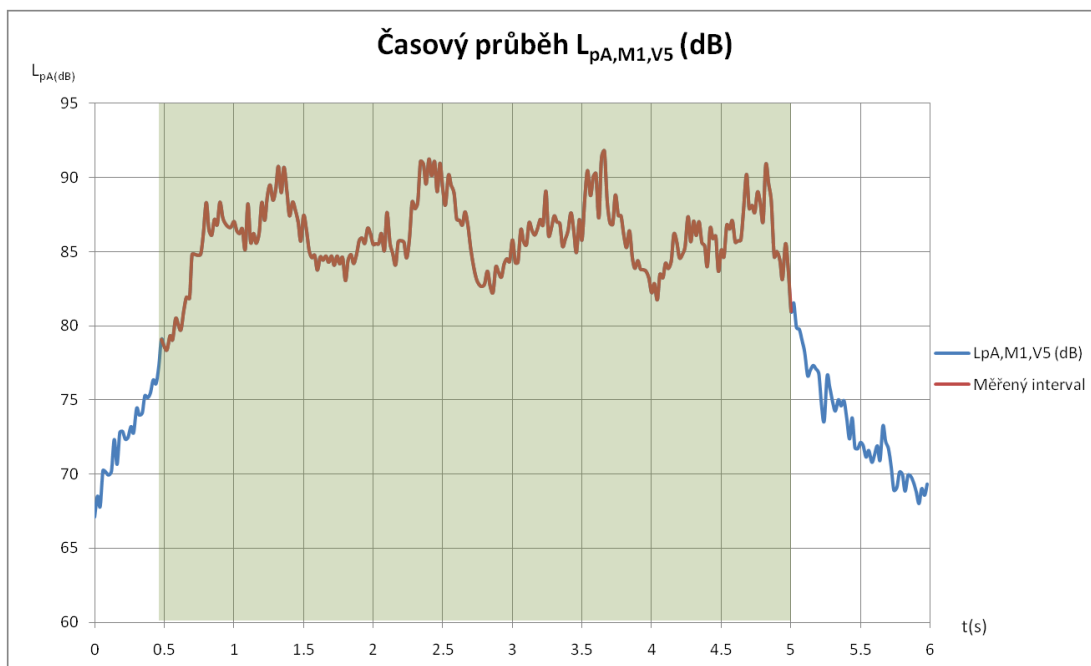




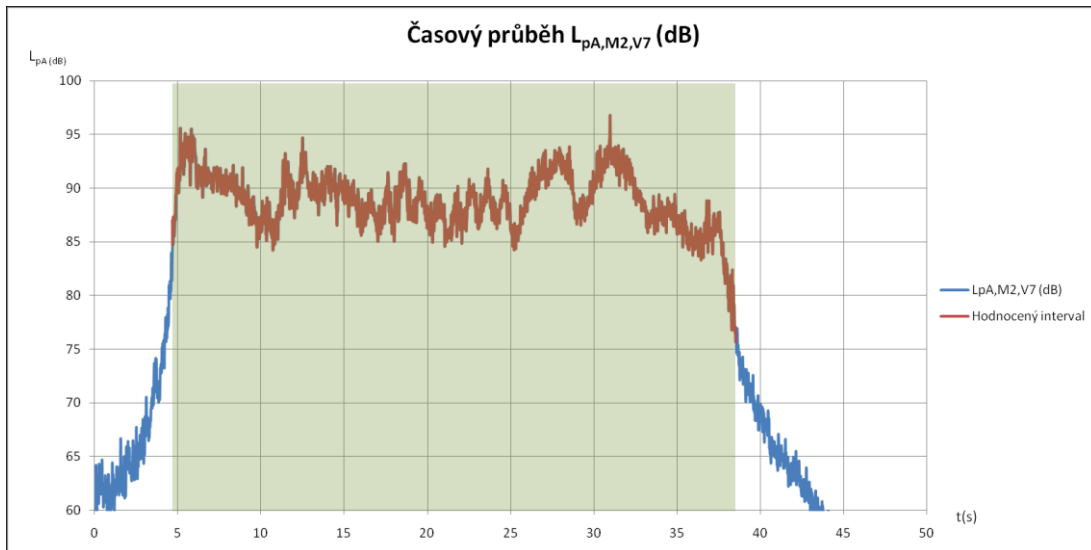
Obrázek 19 - Stanovení intervalu měření v záznamu hladiny hluku, měřeno mikrofonem  $M_2$ , emitovaného projíždějícím vozidlem  $V_3$



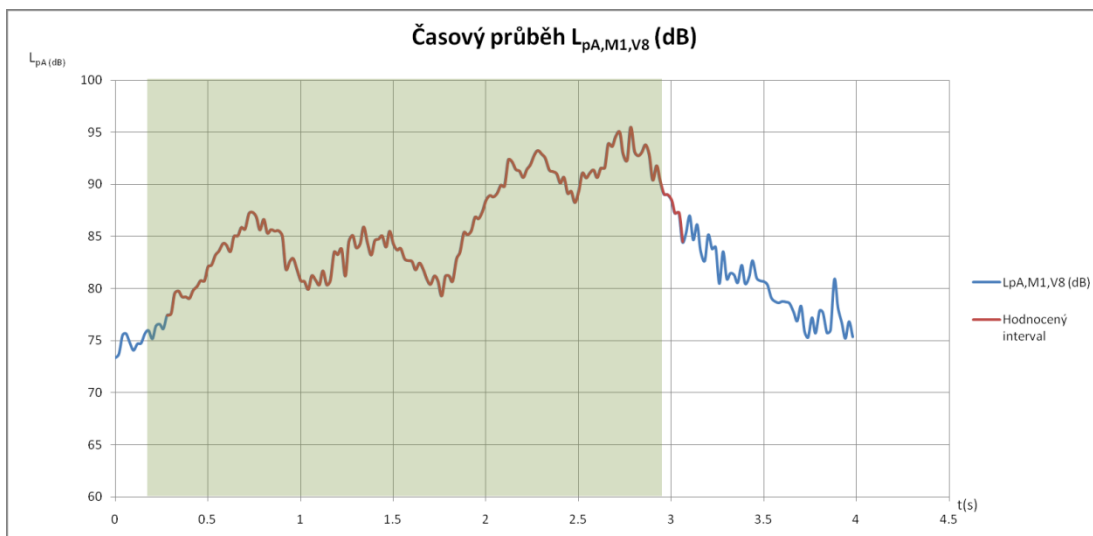
Obrázek 20 - Stanovení intervalu měření v záznamu hladiny hluku, měřeno mikrofonem  $M_1$ , emitovaného projíždějícím vozidlem  $V_4$



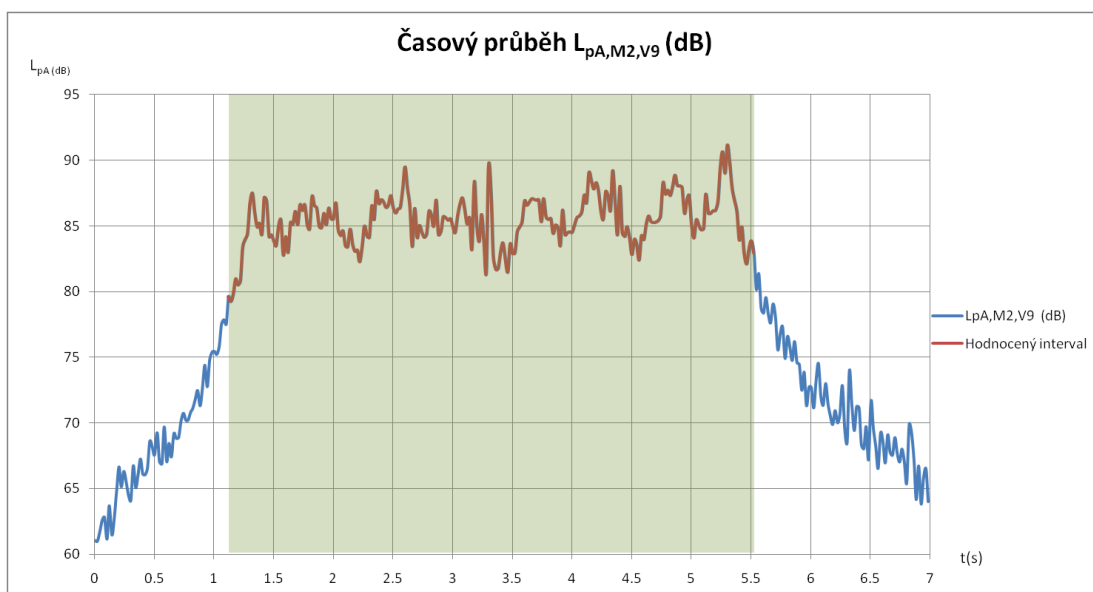
Obrázek 21 - Stanovení intervalu měření v záznamu hladiny hluku, měřenou mikrofonem  $M_1$ , emitovaného projíždějícím vozidlem  $V_5$



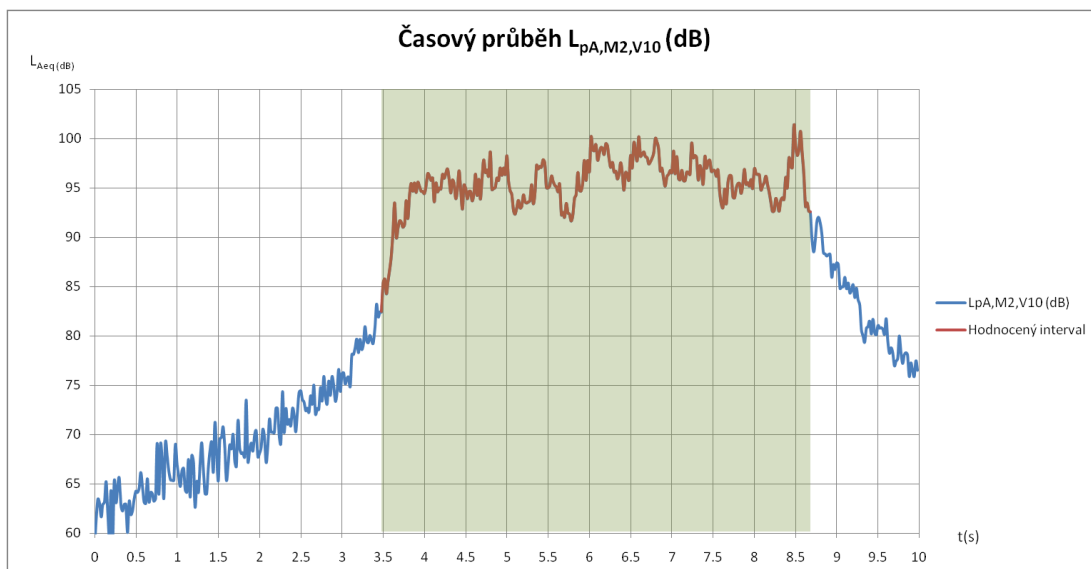
Obrázek 22 - Stanovení intervalu měření v záznamu hladiny hluku, měřenou mikrofonem  $M_2$ , emitovaného projíždějícím vozidlem  $V_7$



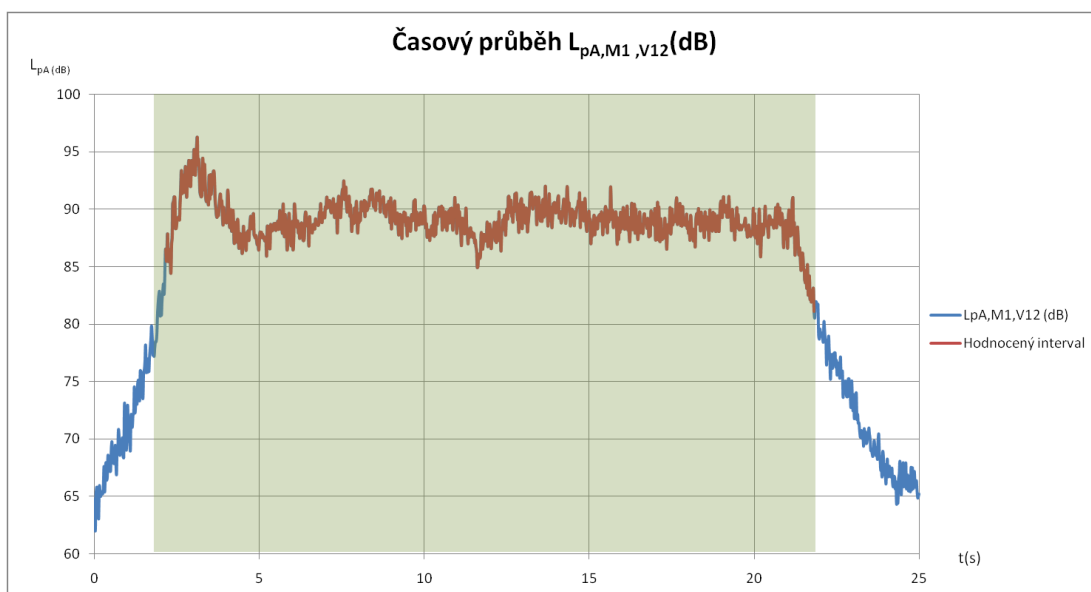
Obrázek 23 - Stanovení intervalu měření v záznamu hladiny hluku, měřeno mikrofonem  $M_1$ , emitovaného projíždějícím vozidlem  $V_8$



Obrázek 24 - Stanovení intervalu měření v záznamu hladiny hluku, měřeno mikrofonem  $M_2$ , emitovaného projíždějícím vozidlem  $V_9$



Obrázek 25 - Stanovení intervalu měření v záznamu hladiny hluku, měřeno mikrofonem  $M_2$ , emitovaného projíždějícím vozidlem  $V_{10}$



Obrázek 26 - Stanovení intervalu měření v záznamu hladiny hluku, měřeno mikrofonem  $M_1$ , emitovaného projíždějícím vozidlem  $V_{12}$

### 3.2.2.6 Výsledek měření

Měřené vozidlo	$L_{pAeq,T} - M1$ (dB)	$L_{pAeq,T} - M2$ (dB)
V1 - R	94.6	
V2 - 471		89.1
V3 - EC		87.1
V4 - EC	92.5	
V5 - Pendolino	86.6	
V6		
V7 - N		89.5968
V8 - 471	88.3	
V9 - Pendolino		85.8
V10 - R		95.6
V11		
V12 - N	89.5	

Tabulka 9 - Tabulka zjištěných hodnot  $L_{pAeq,T}$  pro jednotlivá měření

### 3.2.2.7 Závěr

Hodnoty získané z měření byly převedeny do programu LabView, z něhož byly získány hodnoty hladiny akustického tlaku A pro jednotlivé skupiny vozidel ve formě tabulky. V Excelu jsem tabulku převedl na graf, v něm vyhodnotil maxima na začátku a na konci soupravy. K určení ekvivalentní hladiny akustického tlaku A  $L_{pAeqT}$  jsem použil interval, kde hladina je o 10 dB nižší, než jsou stanovená maxima. Tento interval je v grafech vyznačen. Obdobná měření se provádějí k zjištění reálného hlukového zatížení na běžných tratích běžnými vozidly. Měření nám napovídají, kde realizovat protihluková opatření na trati nebo na vozidlech.

### 3.2.3 Experiment (3) – Měření hluku na referenční hlukové koleji dle ČSN EN ISO 3095

#### 3.2.3.1 Část 1. - stanovení intervalu průjezdu odhadem

##### 3.2.3.1.1 Místo měření

Pro měření hluku na referenční hlukové koleji byl použit úsek zkušební tratě VŽZO. O této trati jsem se již psal v kapitole 2.14. Trať splňuje požadavky nových vyhlášek ČSN EN ISO 3095 resp. TSI 2006/66/ES na drsnost povrchu kolejnice a stupně dynamického útlumu. Měřicí stanoviště se nachází na přímém úseku zkušební tratě VŽZO mezi traťovými kilometry 0.1 - 1.5 s umístěním měřicích mikrofonů v km 0.8.

Geometrické parametry trati, na nichž je umístěn referenční úsek, jsou uvedeny v tabulce 10. Stavební parametry trati jsou uvedeny v tabulce 11.

Trať	Kolej	Převýšení [mm]	Rozchod [mm]	Úklon kolejnic	Měřicí stanoviště [km]
VŽZO	přímá	0	1435	1:40	0.80

Tabulka 10 - Geometrické parametry trati

Žel. spodek	Výška šterkového lože	Typ pražce	Typ kolejnice	Kolejnicové podložky	Upevnění
Zemina	0.8 – 1 m	Beton B 91	UIC 60	Guma	SKL 14 W14

Tabulka 11 - Stavební parametry trati

### **3.2.3.1.2 Použité měřicí přístroje**

Měření bylo realizováno měřicí aparaturou BK Pulse. Jako elektromechanický měnič byly použity měřicí mikrofony BK 4188 s předzesilovači BK 2671.

### **3.2.3.1.3 Cíl**

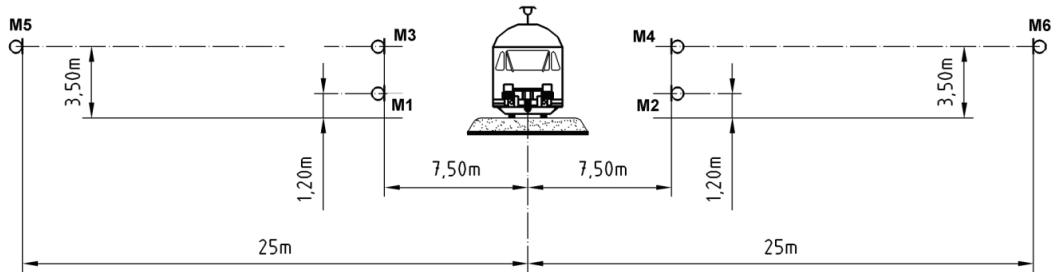
Srovnání hlukových emisí na normou stanovených šesti měřicích bodech dle normy ČSN EN ISO 3095 při průjezdu kolejového vozidla na referenční trati. Sledovanou hodnotou byla ekvivalentní hladina akustického tlaku A,  $L_{pAeq,T}$ . Toto měření se provádí při schvalování nového nebo rekonstruovaného vozidla do provozu.

### **3.2.3.1.4 Měřené objekty**

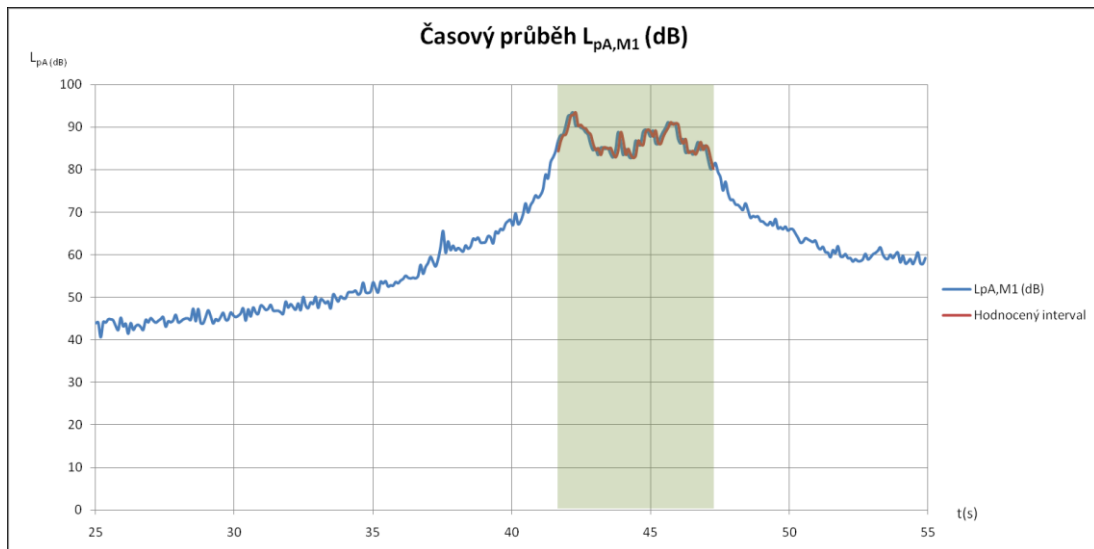
Pro účely hlukových měření byla použita zkušební vlaková souprava ve složení: Lokomotiva řady 741 + 4 osobní čtyřnápravové vozy.

### **3.2.3.1.5 Podmínky měření**

K měření bylo použito šesti mikrofونů. Osy mikrofونů byly vodorovné a směřovaly kolmo ke koleji. Byly umístěny ve vzdálenosti dle normy ČSN EN ISO 3095. Polohy měřicích mikrofونů a pravidla pro jejich umístění jsou podrobně popsány v kapitole 2.7, kde na obrázku 6 respektive 27 jsou znázorněny všechny přípustné polohy pro naše měření.

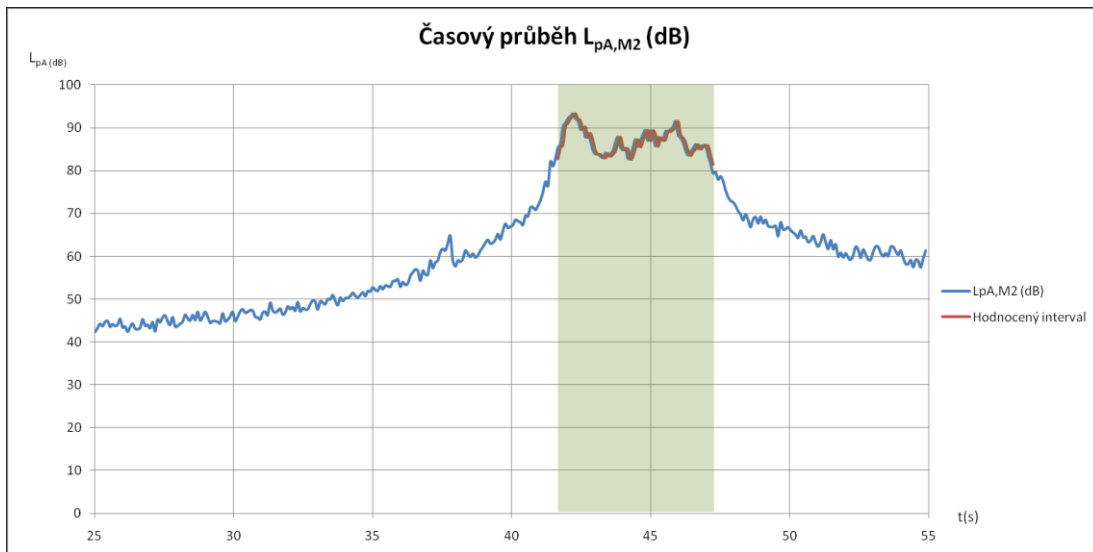


Obrázek 27(6) - Příčné polohy mikrofonů pro měření vozidel jedoucích konstantní rychlostí [2]

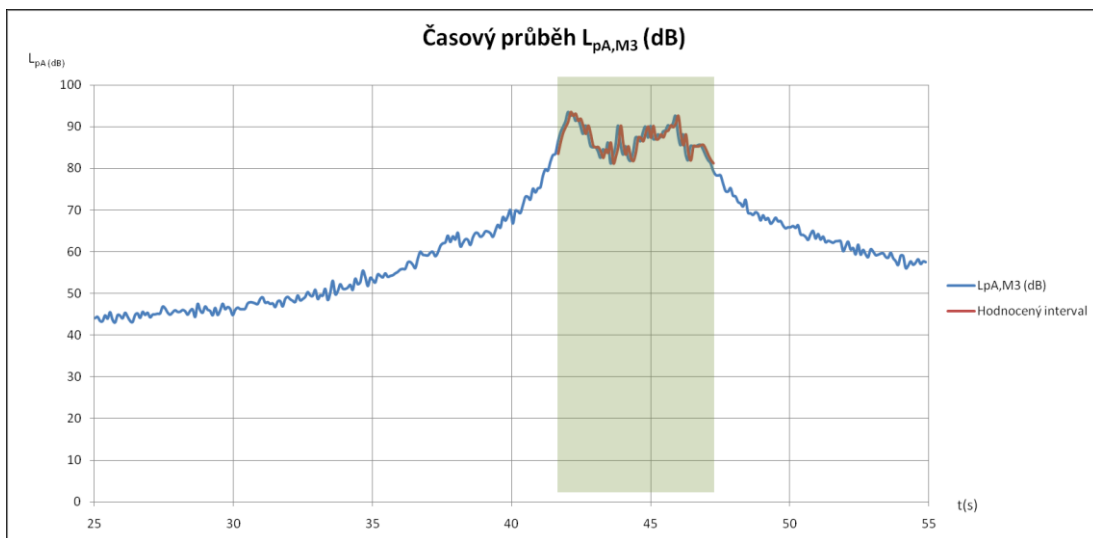


Obrázek 28 - Stanovení intervalu měření v záznamu hladiny hluku emitovaného projíždějícím vozidlem, stanoviště měření M<sub>1</sub>

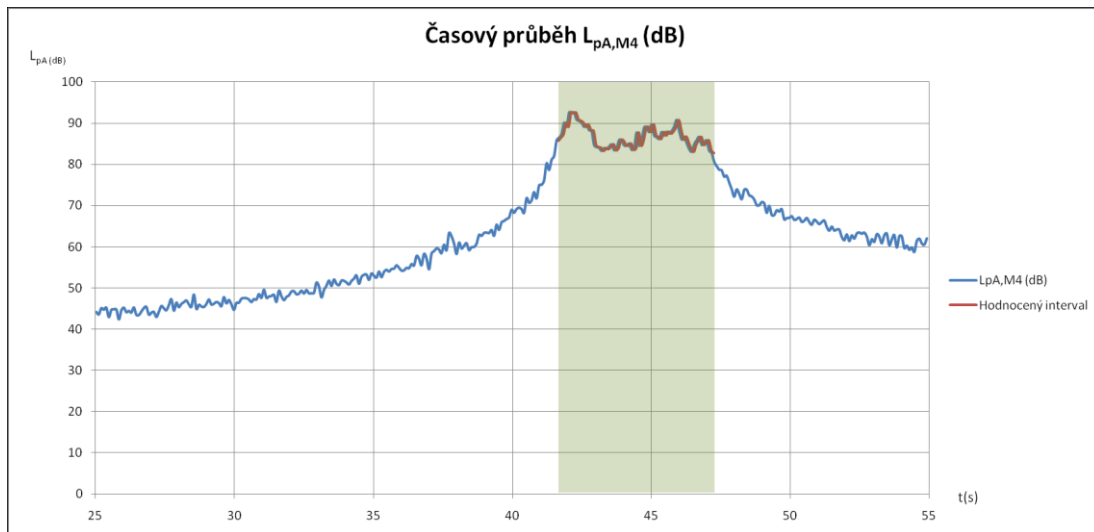




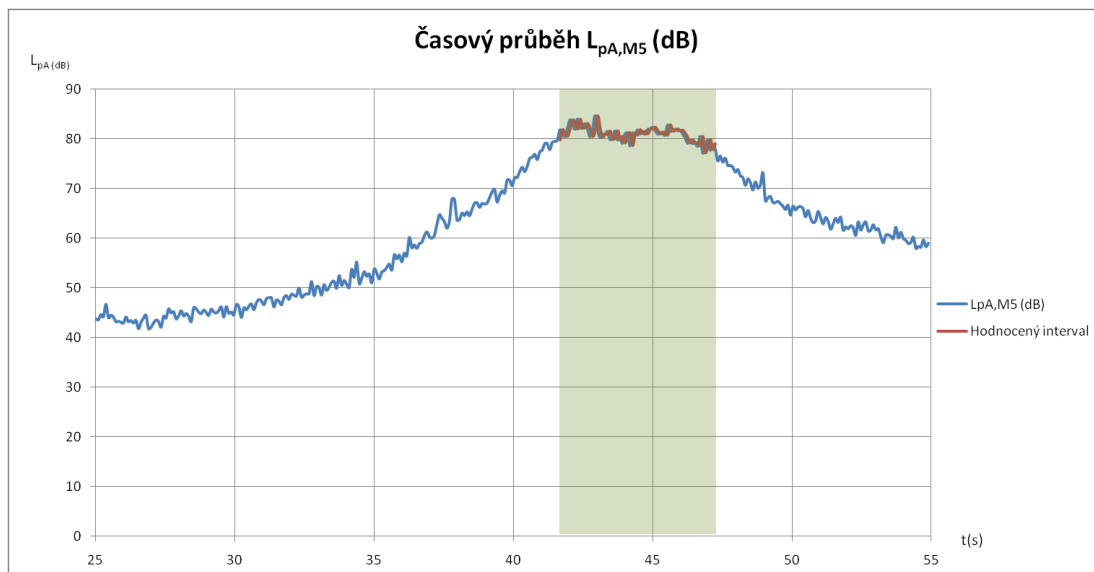
Obrázek 29 - Stanovení intervalu měření v záznamu hladiny hluku emitovaného projíždějícím vozidlem, stanoviště měření  $M_2$



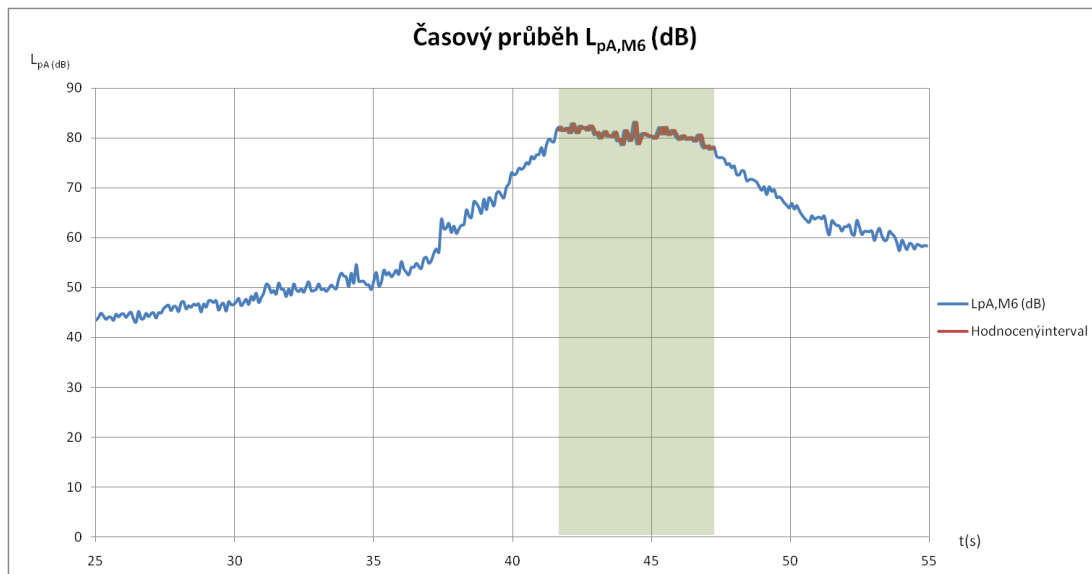
Obrázek 30 - Stanovení intervalu měření v záznamu hladiny hluku emitovaného projíždějícím vozidlem, stanoviště měření  $M_3$



Obrázek 31 - Stanovení intervalu měření v záznamu hladiny hluku emitovaného projíždějícím vozidlem, stanoviště měření  $M_4$



Obrázek 32 - Stanovení intervalu měření v záznamu hladiny hluku emitovaného projíždějícím vozidlem, stanoviště měření  $M_5$



Obrázek 33 - Stanovení intervalu měření v záznamu hladiny hluku emitovaného projíždějícím vozidlem, stanoviště měření M<sub>6</sub>

### 3.2.3.1.6 Výsledek měření – části 1.

Měřicí stanoviště	$L_{pAeq,T}$ (dB)
M1	88
M2	88
M3	88
M4	88
M5	81
M6	81

Tabulka 12 - zjištěných hodnot  $L_{pAeq,T}$  pro jednotlivá měřicí stanoviště:

### 3.2.3.1.7 Závěr části 1.

Měření probíhalo na referenční hlukové koleji podle normy ČSN EN ISO 3095, k měření bylo použito šest mikrofónů. Hodnoty získané z měření byly převedeny do programu LabView, z něhož byly získány hodnoty hladiny akustického tlaku A pro jednotlivé skupiny vozidel ve formě tabulky. V Excelu jsem tabulku převedl na graf, v něm vyhodnotil maxima na začátku a na konci soupravy. K určení

hladiny akustického tlaku A  $L_{pAEqT}$  jsem použil interval, kde hladina je o 10 dB nižší, než jsou stanovená maxima. Tento interval je v grafech vyznačen.

### 3.2.3.2 Část 2. - stanovení intervalu vyhodnocení pomocí videokamery

V druhé části jsem určoval intervaly vyhodnocení přesnějším způsobem. Pomocí videokamery jsem určil čas, kdy čelo hnací lokomotivy míjí stanoviště měření, stejným způsobem jsem určil čas průjezdu konce lokomotivy a celé soupravy. Získané časy průjezdu pro měření:

$$T_{\text{čelo lokomotivy}} = 41.75 \text{ s}$$

$$T_{\text{konec lokomotivy}} = 42.4 \text{ s}$$

$$T_{\text{konec soupravy}} = 47.15 \text{ s}$$

$$T_{\text{pe-lokomotivy}} = 42.4 - 41.75 = 0.65 \text{ s}$$

$$T_{\text{pe-soupravy}} = 47.15 - 41.75 = 5.40 \text{ s}$$

kde:

$T_{pe}$  je časový interval pro vyhodnocení hladiny hluku při průjezdu zjištěný měřením [ms]

Interval měření  $T_{pe}$  byl stanoven na základě odečtu času z kamerového záznamu, který je časově synchronizován s měřeným záznamem A-vážené ekvivalentní hladiny hluku.

Časový interval měření  $T_{pi}$  je při průjezdu vlakové soupravy kolem stanoviště měření stanovenou rychlostí (80 km/h) vztažen k délce zkoušeného vozidla a jeho rychlosti podle vztahu:

$$T_{pi} = \frac{l * 3.6}{v} \quad (15)$$

kde:

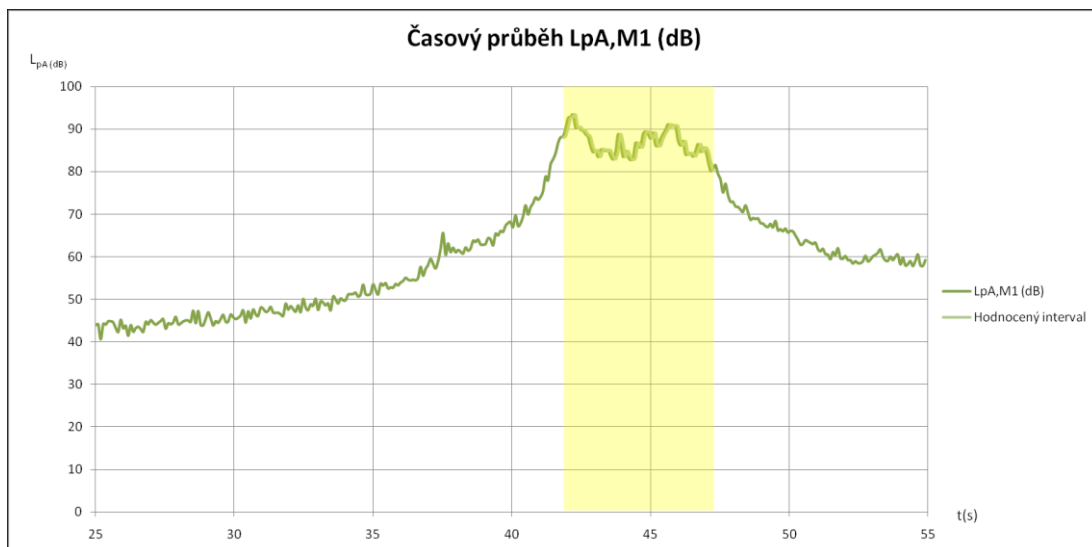
$T_{pi}$  je časový interval pro vyhodnocení hladiny hluku při průjezdu zjištěný výpočtem [ms]

$l$  je délka vozidla přes nárazníky [m],

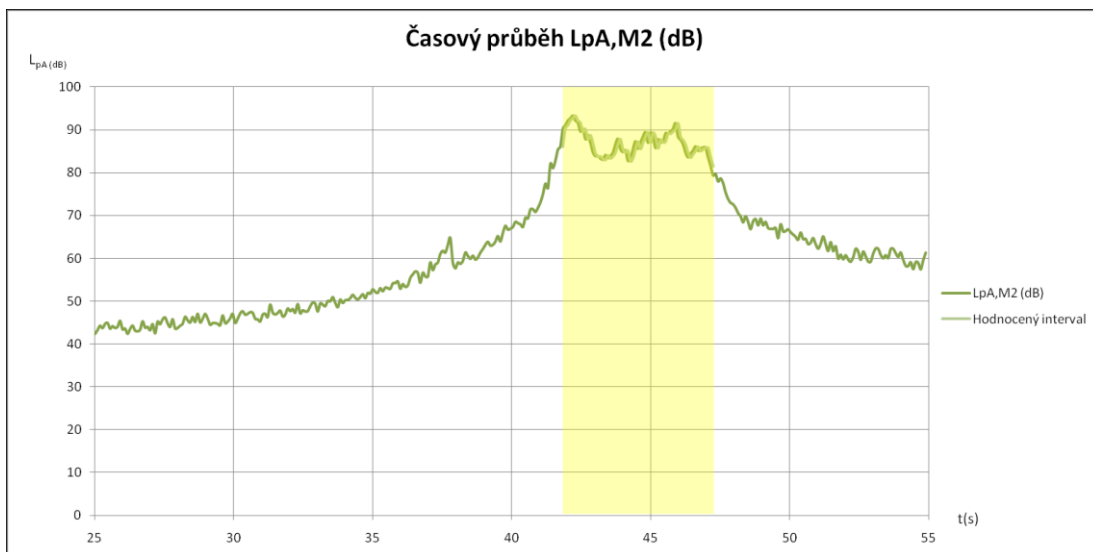
$v$  je skutečná rychlost vozidla při průjezdu měřicím stanovištěm [km/h].

Časový interval průjezdu lokomotivy je  $T_{pi \ 80 \text{ km/h}} = 0.622 \text{ s}$

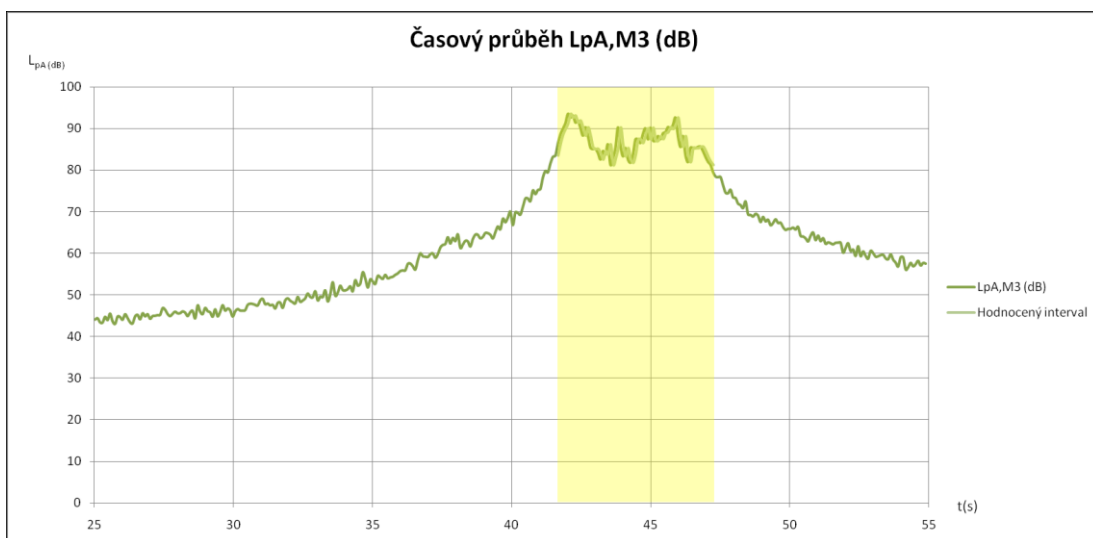
Rozdíl mezi  $T_{pe}$  a  $T_{pi}$ , je dán tím, že ve skutečném experimentu se vozidlo pohybuje zvolenou rychlostí, v našem případě  $80 \text{ km/h} \pm 5 \%$ , zatímco v ideálním případě je rychlost přesně  $80 \text{ km/h}$ .



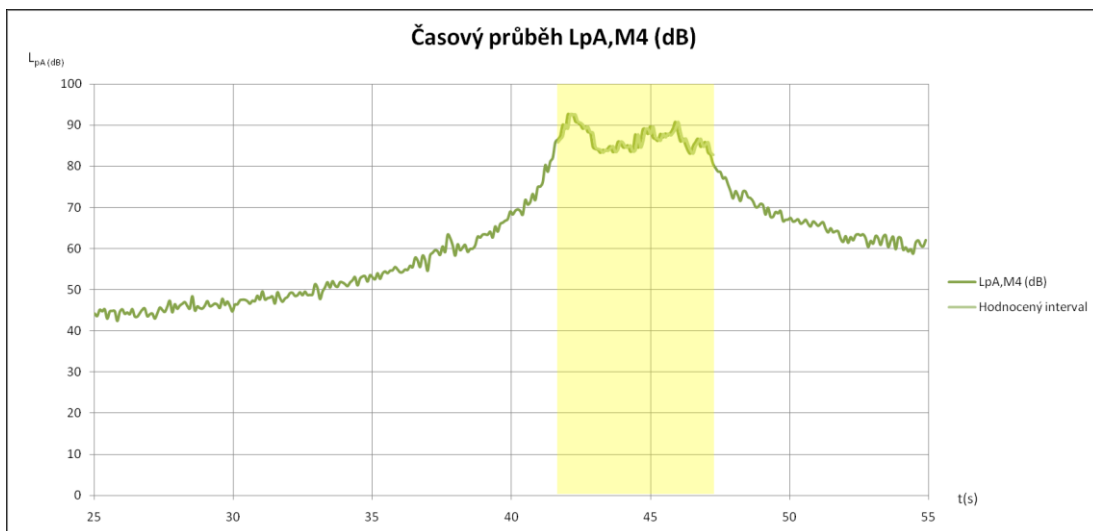
Obrázek 34 - Interval měření hladiny hluku celé soupravy určený pomocí kamery, stanoviště měření M<sub>1</sub>



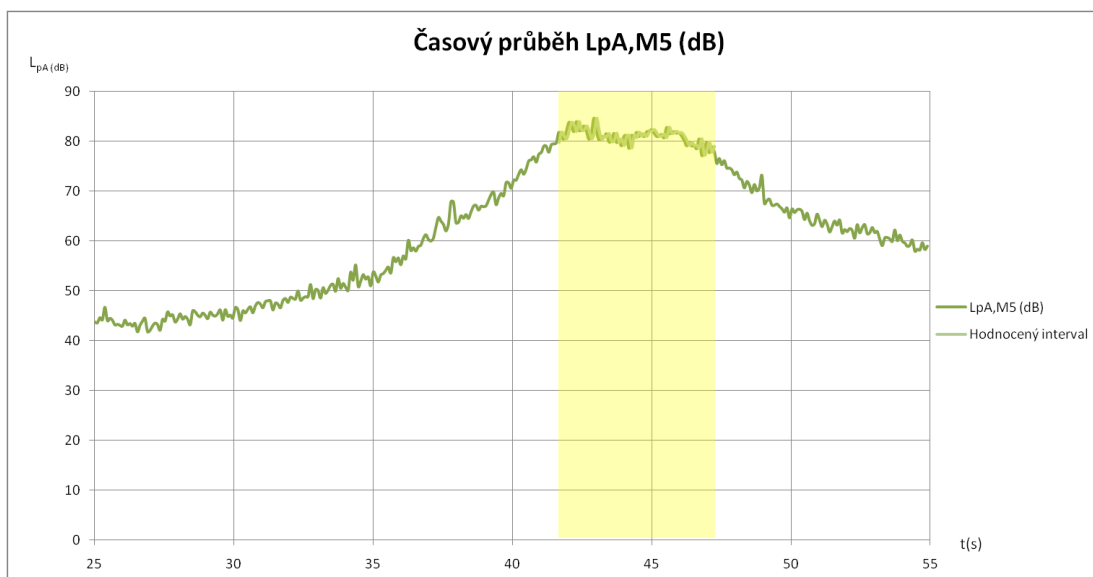
Obrázek 35 - Interval měření hladiny hluku celé soupravy určený pomocí kamery, stanoviště měření M<sub>2</sub>



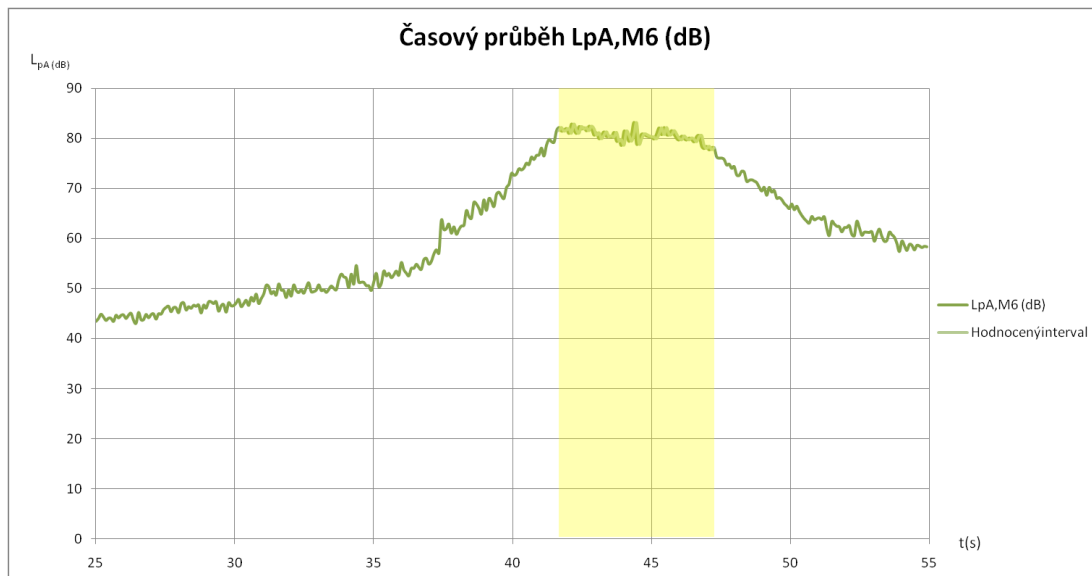
Obrázek 36 - Interval měření hladiny hluku celé soupravy určený pomocí kamery, stanoviště měření M<sub>3</sub>



Obrázek 37 - Interval měření hladiny hluku celé soupravy určený pomocí kamery, stanoviště měření  $M_4$



Obrázek 38 - Interval měření hladiny hluku celé soupravy určený pomocí kamery, stanoviště měření  $M_5$



Obrázek 39 - Interval měření hladiny hluku celé soupravy určený pomocí kamery, stanoviště měření M<sub>6</sub>

### 3.2.3.2.1 Výsledek měření– části 2.

Měřicí stanoviště	$L_{pAeq,T}$ (dB)
M1	88
M2	88
M3	88
M4	88
M5	81
M6	81

Tabulka 13 - Zjištěných hodnot  $L_{pAeq,T}$  pro jednotlivá měřicí stanoviště, interval měření určen pomocí kamery

### 3.2.3.2.2 Závěr experimentu (3) - části 2.

Měření a zpracování pomocí programu LabView probíhalo podobně jako v předchozím experimentu. Z jednotlivých záběrů kamery jsem určil počátek a konec měřeného intervalu. Kamera je synchronizována s měřicími mikrofony a snímá 25 snímků za sekundu. Data o zvuku se ukládají ve stejném čase. Z hodnot v určeném intervalu program LabView spočítá hladinu akustického tlaku  $L_{pAeqT}$ .

Při použití této metody můžeme stanovit ekvivalentní hladiny akustického



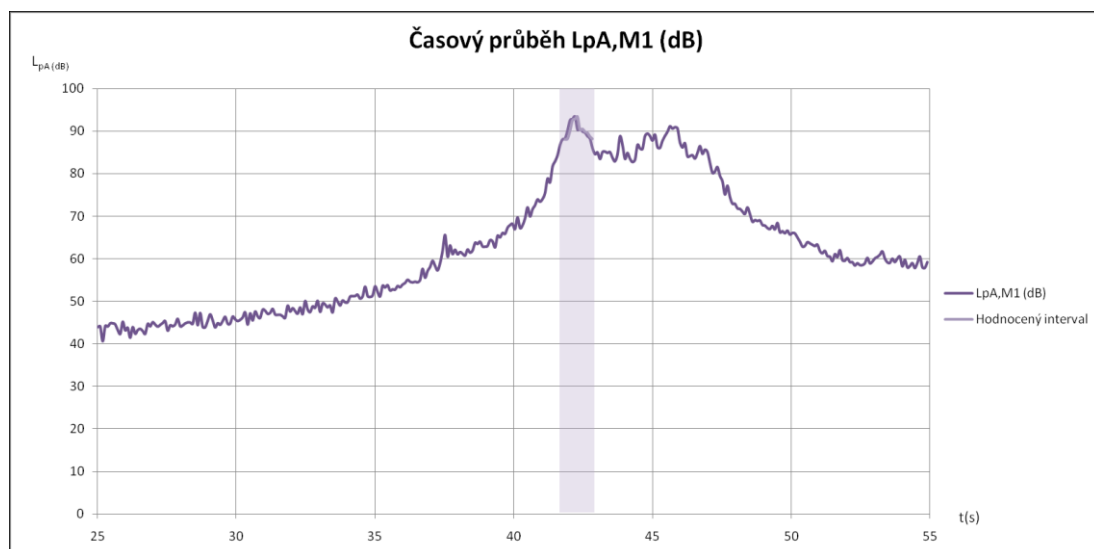
tlaku A  $L_{pAEqT}$ , pro jednotlivá vozidla soupravy. V této druhé části jsem určil ekvivalentní hladiny akustického tlaku A  $L_{pAEqT}$  pro celou soupravu a pro hnací lokomotivu zvlášť.

### 3.2.3.3 Část 3. - stanovení intervalu průjezdu lokomotivy vyhodnocení pomocí videokamery

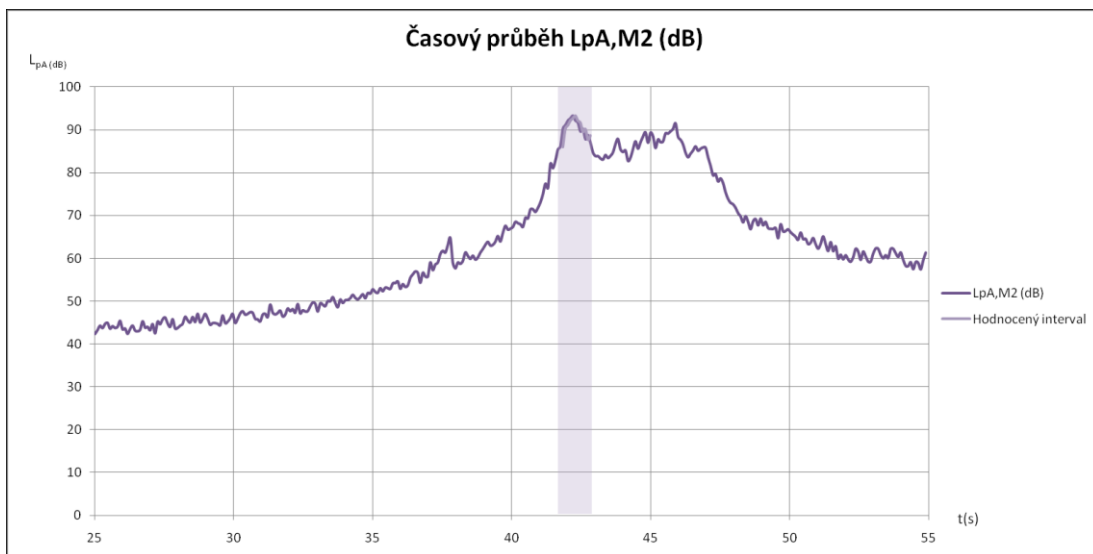
Dále jsem stanovil ekvivalentní hladinu akustického tlaku A,  $L_{pAeq,T}$  pro hnací lokomotivu a stejně jako v předchozím případě jsem interval stanovil pomocí kamery.

Režim měření	Měřená veličina	Limitní hodnota
Stacionární hluk	$L_{pAeq,Tp}$	75 [dB (A)]
Průjezd rychlostí 80 km/h kolem pevného stanoviště	$L_{pAeq,Tp}$	85 [dB (A)]
Rozjíždění vozidla	$L_{pAFmax}$	86 [dB (A)]
Hluk na stanovišti strojvedoucího (pro všechny režimy činnosti)	$L_{pAeq,Tp}$	78 [dB (A)]

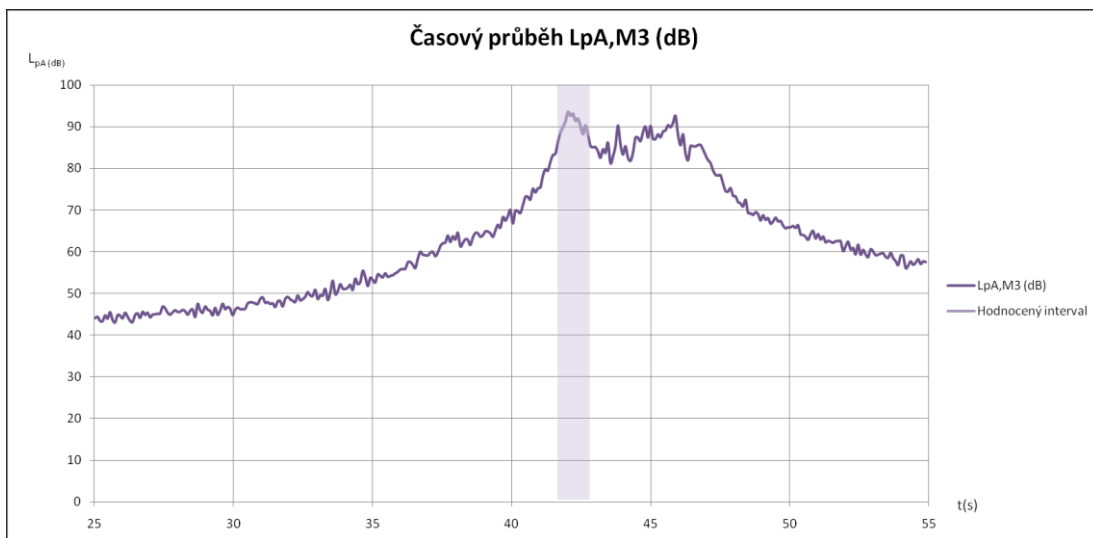
Tabulka 14 - Limitní hodnoty hluku podle TSI



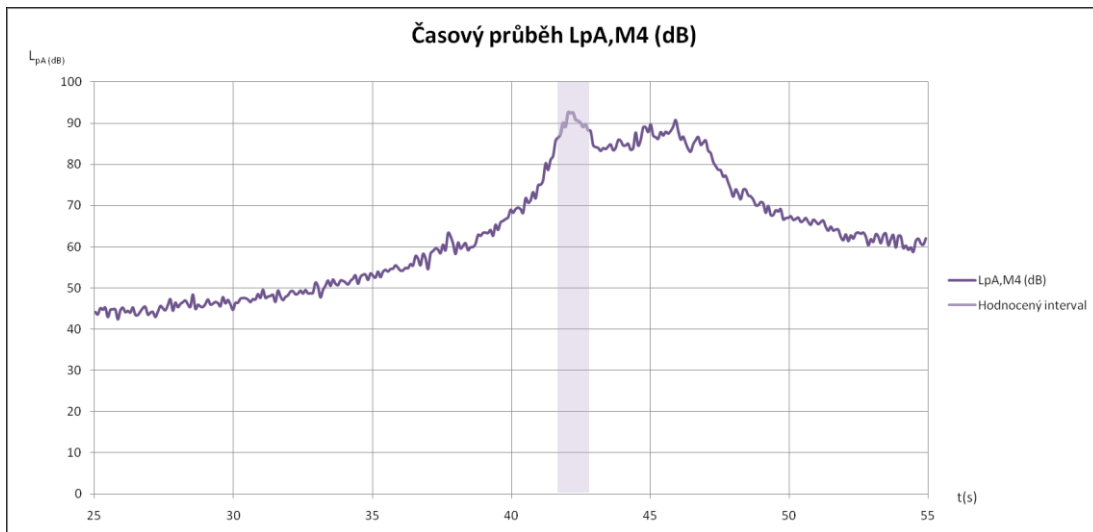
Obrázek 40 - Interval měření hladiny hluku lokomotivy určený pomocí kamery, stanoviště měření  $M_1$



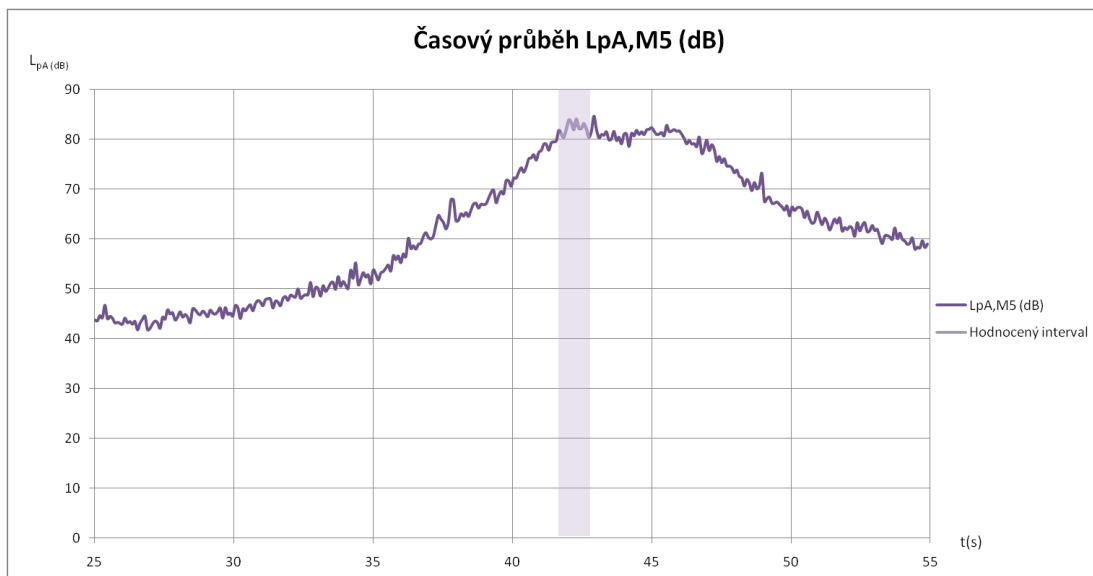
Obrázek 41 - Interval měření hladiny hluku lokomotivy určený pomocí kamery, stanoviště měření  $M_2$



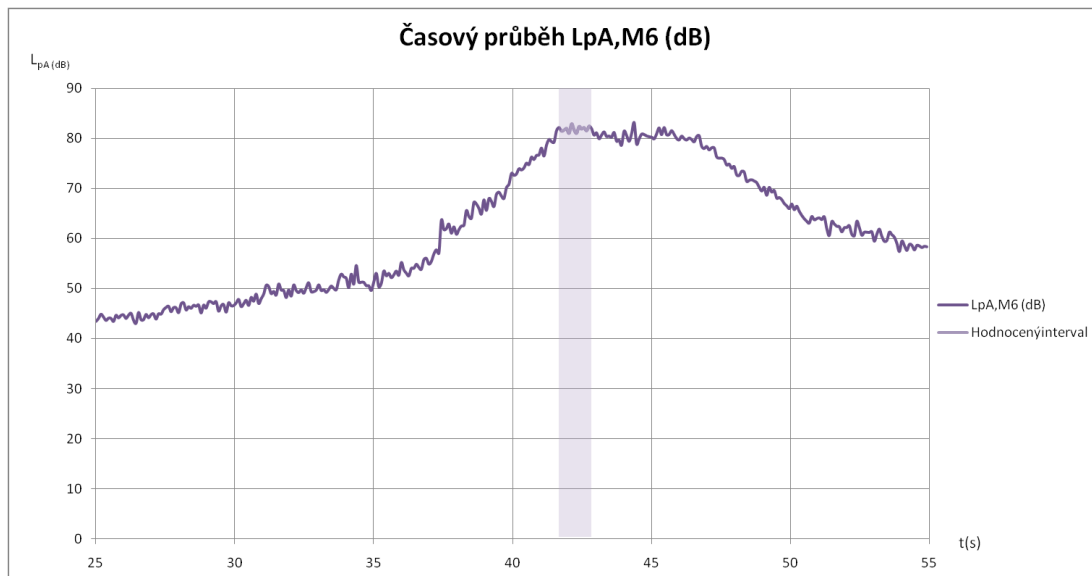
Obrázek 42 - Interval měření hladiny hluku lokomotivy určený pomocí kamery, stanoviště měření  $M_3$



Obrázek 43 - Interval měření hladiny hluku lokomotivy určený pomocí kamery, stanoviště měření M<sub>4</sub>



Obrázek 44 - Interval měření hladiny hluku lokomotivy určený pomocí kamery, stanoviště měření M<sub>5</sub>



Obrázek 45 - Interval měření hladiny hluku lokomotivy určený pomocí kamery, stanoviště měření M<sub>6</sub>

### 3.2.3.3.1 Výsledek měření – části 3.

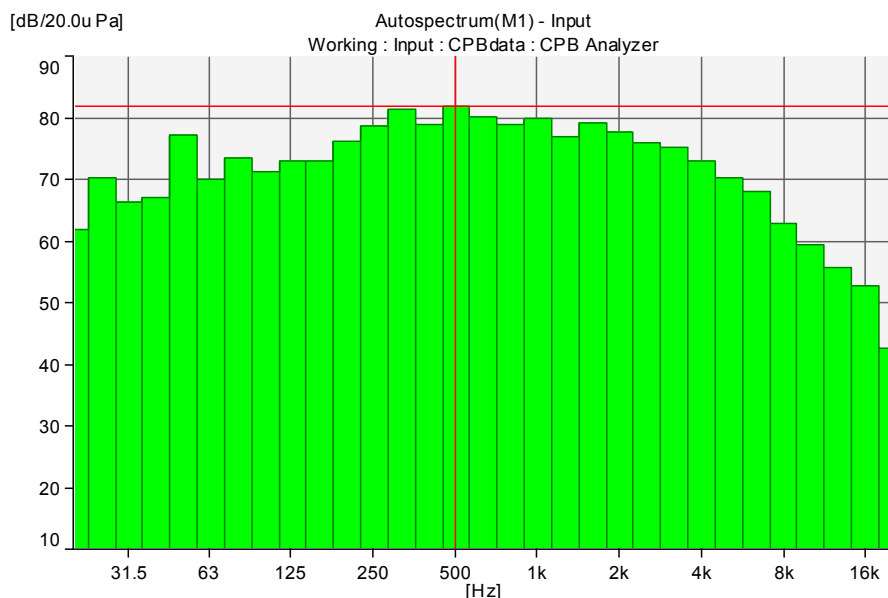
Měřicí stanoviště	$L_{pAeq,T}$ (dB)
M1	91
M2	91
M3	92
M4	91
M5	83
M6	82

Tabulka 15 Zjištěné hodnoty  $L_{pAeq,T}$  pro jednotlivá měřicí stanoviště, interval měření byl určen pro hnací lokomotivu pomocí kamery.

### 3.2.3.3.2 Závěr - části 3.

Ve třetí části experimentu jsem vyhodnocoval hluk stejné soupravy týmž způsobem jako v předchozí kapitole, ale zaměřil jsem se pouze na hnací lokomotivu řady 741. Měření probíhalo podle normy ČSN EN ISO 3095. Interval jsem stanovoval a vyhodnocoval stejným způsobem jako v předchozí části. Toto měření lze při splnění formálních náležitostí považovat za měření potřebné ke schválení vozidla do provozu.

Měřením jsme zjistili, že rekonstruovaná lokomotiva při průjezdu je zdrojem hluku, jehož hodnoty jsou uvedeny v tabulce 15. Díky analyzátoru PULSE jsem získal třetinooktávové spektrum, které se dá rozdělit do příslušných frekvenčních pásem.



Obrázek 46 - Frekvenční spektrum vyhodnocené z naměřených dat při průjezdu lokomotivy měřicím stanovištěm

## 4 Závěr

Ve své práci jsem se zabýval hlukovými emisemi. Zpracoval jsem teorii, která se týká mé práce, k měření i vyhodnocení. V okolí železniční trati se provádějí tři typy hlukových měření. Jsou to měření hygienická, měření na běžné trati a schvalování vozidla do provozu.

V prvním experimentu jsem měřil hlukové zatížení na běžné trati (Praha – Pardubice) za běžného provozu po dobu 2 hodin ve vzdálenosti 25 m od trati. Z naměřených hodnot jsem zjišťoval ekvivalentní hladinu pro zdravotní účely  $L_{Aeq}$  způsobenou osobní a nákladní železniční dopravou a celkovou ekvivalentní hladinu pro zdravotní účely. Tato měření se blíží měřením hygienické správy. Liší se dobou expozice, která je při hygienických měřeních 8 hodin. Extrapolace mých výsledku na

8 hodin by byla v tomto případě nekorektní. Výsledná ekvivalentní hladina pro zdravotní účely  $L_{Aeq}$  pro osobní dopravu během dvou hodin je 58.14 dB a po dobu měření projelo 21 vlakových souprav. Výsledná ekvivalentní hladina pro zdravotní účely  $L_{Aeq}$  pro nákladní dopravu během dvou hodin je 47.46 dB a po dobu měření projely 2 vlakové soupravy. Celková ekvivalentní hladina pro zdravotní účely  $L_{Aeq}$  je 58.5 dB pro 23 vlakových souprav. Na této konkrétní trati v čase od 15.30h – 17.30h je hluková zátěž z osobní dopravy větší, než z dopravy nákladní.

V druhém experimentu jsem měřil a vyhodnocoval hlukovou zátěž způsobenou jednotlivými vlakovými soupravami na trati Kolín – Praha. Mikrofon byl vzdálen 7.5 m od trati ve výšce 1.2 m. Hluková zátěž se pohybovala v rozmezí od 87 dB do 96 dB. Nejnižší hlukovou zátěž způsobuje nejmodernější z projíždějících vlakových souprav Pendolino. Nejvyšší zátěž způsobuje vlak třídy R.

Ve třetí části jsem měřil a vyhodnocoval hluk způsobený vlakovou soupravou a samotnou rekonstruovanou lokomotivou na referenční hlukové trati. Toto měření se provádí při schvalování vozidel do provozu. K vyhodnocení jsem použil dvě metody. V prvním případě jsem interval k vyhodnocení stanovoval kvalifikovaným odhadem, v druhém případě jsem interval stanovoval pomocí synchronizované kamery. Hlukovou zátěž jsem měřil pomocí šesti mikrofonů ve stanovených polohách dle normy ČSN EN ISO 3095. Hladiny ekvivalentní hladiny akustického tlaku  $L_{pAeqT}$  jsou uvedeny v následující tabulce.

Měřicí stanoviště	Interval stanovený odhadem $L_{pAeq,T}$ (dB)	Interval stanovený kamerou $L_{pAeq,T}$ (dB)
M1	88	88
M2	88	88
M3	88	88
M4	88	88
M5	81	81
M6	81	81

Tabulka 16 – Srovnání výsledků měření

Z tabulky vyplývá, že získané hodnoty oběma metodami jsou shodné. Dále je patrné, jak s rostoucí vzdáleností klesá ekvivalentní hladina akustického tlaku  $A$ ,  $L_{pAEqT}$ .

## Literatura

- [1] SMETANA, C. A KOL. *Hluk a vibrace – měření a hodnocení*. 1. vydání. Praha: MMT, 1998. 188 s. ISBN-80-901936-2-5.
- [2] KAVÁN, P.; HLAVÁČEK, J. *Technická zpráva o řešení etapy I. úkolu „Databáze hlukových zdrojů na železnici“*. Praha: Výzkumný ústav železniční, 2006. 60 s.
- [3] ČSN EN ISO 3095. *Akustika – Měření hluku vyzařovaného kolejovými vozidly*. Praha : Český normalizační institut, 2005. 32 s.
- [4] REICHL, J., VŠETIČKA, M. Encyklopedie fyziky [on-line] [cit. 20.4.2010]. Přístup z: <http://fyzika.jreichl.com/index.php?sekce=browse&page=383>
- [5] BURDA, Z. Mikrofony [on-line] [cit. 24.4.2010]. Přístup z: <http://www.zdenda.com/mikrofony>
- [6] Boleslav, A. Mikrofony a přenosky. 1. vydání. Praha : Nakladatelství technické literatury, 1962. 172 s.
- [7] BROTHÁNEK, M. A KOL. Zvukoměr – akustický analyzátor, Sborník textů přednášek (fyzika) ze semináře v Nových Hradech. Praha : Akademie věd České republiky, 2005. 79 s.
- [8] VAŇKOVÁ, M. *Hluk, vibrace a ionizující záření v životním a pracovním prostředí. Část II*. Brno: VUT, PC-DIR, 1996. 300 s. ISBN-80-214-0818-9.
- [9] SMETANA, C. A KOL. Praktická elektroakustika. 1. vydání. Praha : Nakladatelství technické literatury, 1981. 696 s.
- [10] NOVÝ, R. Hluk a chvění. 1. vydání. Praha : Vydavatelství ČVUT, 1995. 389 s.



[11] Boleslav, A. Mikrofony a přenosky. 1. vydání. Praha : Nakladatelství technické literatury, 1962. 172 s.

[12] NV 148/2006. Nařízení vlády o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. Praha : Český normalizační institut, 2006. 13 s.