



Petr Mondschein, Jan Valentin

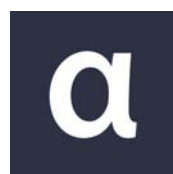
Metodika měření akustické pohltivosti asfaltových obrusných vrstev vozovek v laboratoři



s finanční podporou



Technologická agentura
České republiky



Alfa



Metodika měření akustické pohltivosti asfaltových obrusných vrstev vozovek v laboratoři

Zpracovatelé: Ing. Jan Valentin, Ph.D. (České vysoké učení technické v Praze)
Ing. Petr Mondschein, Ph.D. (České vysoké učení technické v Praze)
Prof. Ing. Jaroslav Smutný, Ph.D. (Vysoké učení technické v Brně)
Ing. Petr Hýzl, Ph.D. (Vysoké učení technické v Brně)
Doc. Dr. Ing. Michal Varaus (Vysoké učení technické v Brně)

2015

s finanční podporou



Technologická agentura
České republiky



Alfa

Publikace byla zpracována jako hlavní výstup a za podpory projektu výzkumu a vývoje programu ALFA Technologické agentury České republiky č. TA02030639 „Trvanlivé akustické asfaltové vrstvy s uplatněním výkonových asfaltových pojiv modifikovaných mikrogranulátem pryže včetně inovativní technologie jejího mletí“.

Název: Metodika měření akustické pohltivosti asfaltových obrusných vrstev vozovek v laboratoři

Hlavní autor: Ing. Jan Valentin, Ph.D.

Spoluautoři: Ing. Petr Mondschein, Ph.D.
Prof. Ing. Jaroslav Smutný, Ph.D.
Ing. Petr Hýzl, Ph.D.
Doc. Dr. Ing. Michal Varaus

Recenzenti: Ing. Jiří Šmíd, Ph.D. – technický expert, Ředitelství silnic a dálnic České republiky, úsek kontroly a jakosti
Ing., Jiří Biegl – odborník v oblasti silničních staveb, VIN Consult s.r.o., Jemerenkova 88, Praha 4

Vydání: první, 2015

Počet stran: 28

Jazyková korektura: nebyla provedena.

Vytištěno vlastním nákladem.

© Ing. Petr Mondschein, Ph.D., Ing. Jan Valentin, Ph.D.

© Fakulta stavební, české vysoké učení technické v Praze, Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ISBN 978-80-01-05834-3

Anotace certifikované metodiky

Autoři:

Ing. Jan Valentin, Ph.D., Ing. Petr Mondschein, Ph.D., Prof. Ing. Jaroslav Smutný, Ph.D.,
Ing. Petr Hýzl, Ph.D., Doc. Dr. Ing. Michal Varaus

Název:

Metodika měření akustické pohltivosti asfaltových obrusných vrstev vozovek v laboratoři

Abstrakt:

Problematika hluku vznikajícího z dopravy na pozemních komunikacích představuje dlouhodobě sledovanou problematiku, která ovlivňuje kvalitu života velké části populace. V této souvislosti jsou na jedné straně rozvíjena vhodná opatření pro snižování hlukové zátěže a to buď formou pasivních, nebo aktivních řešení. Na druhé straně jsou dlouhodobě rozvíjeny přístupy jednotného měření hlukové zátěže in-situ a to s využitím různých přístupů a různým umístěním hlukoměrů. Pro obě uvedené oblasti jsou zpracovány buď technické normy, nebo vhodné metodické postupy, které specifikují například přesné postupy provádění hlukových měření nebo sjednocují přístup k návrhu asfaltových směsí pro akustické obrusné vrstvy. Dosud však neexistuje sjednocený postup, který by kvalifikoval míru akustického útlumu (pohltivosti) navrhovaných opatření pro obrusné vrstvy, podle kterých by bylo možné v předstihu posoudit potenciál jednotlivých řešení, která jsou navrhována nebo by mohla být pro řešení v oblasti silničních staveb použita.

Cílem a zaměřením předkládané metodiky je vymezení vhodného laboratorního postupu pro rychlé kvalifikované posouzení potenciálu hlukové pohltivosti asfaltových směsí či betonů, které jsou určeny pro obrusné vrstvy a kde existuje předpoklad efektivního řešení z hlediska snižování hlukové zátěže, tzn. předpokladem je snížení hluku vznikajícího na styku pneumatiky pojíždějícího kola vozidla a povrchu vozovky. Takové orientační posouzení je možné s využitím principů impedanční trubice, která je vybavena vhodnými typy nástavců a je použitelná buď na válcových, nebo deskových zkušebních vzorcích. Zkušební postup přitom nekvantifikuje absolutní úroveň reálně dosažitelného útlumu hluku, nýbrž je určen pro vyloučení řešení, která při základním laboratorním posouzení akustické pohltivosti posuzovaného typu materiálu pro akustické obrusné vrstvy neprokážou zlepšení oproti tradičnímu typu obrusné vrstvy. Metodika v tomto ohledu vymezuje způsob provedení zkušebního postupu a jeho vyhodnocení.

Předkládaná metodika představuje ucelený technický dokument, který doplňuje chybějící laboratorní postup pro orientační posouzení akustické pohltivosti materiálů určených pro obrusné vrstvy vozovek. Prezentuje rychlý orientační hodnotící nástroj, který dosud v České republice není zaveden.

Klíčová slova:

Asfaltová směs, akustické obrusné vrstvy, hluk, snižování hluku, zvuková pohltivost, akustická impedance, laboratorní měření pohltivosti, impedanční trubice.

Jazyk:

Čeština

Certifikační orgán:

Ministerstvo dopravy České republiky, Odbor kosmických aktivit a ITS.

Annotation of certified methodology

Authors:

Ing. Jan Valentin, Ph.D., Ing. Petr Mondschein, Ph.D., Prof. Ing. Jaroslav Smutný, Ph.D.,
Ing. Petr Hýzl, Ph.D., Doc. Dr. Ing. Michal Varaus

Title:

Methodology for the laboratory determination of acoustic absorption capacity of asphalt wearing courses design, mixing and paving of acoustic asphalt layers

Abstract:

The problem of road traffic induced noise is a long-term followed issue, which influences quality of life of large part of the population. In this connection on one hand measures for noise pollution abatement are developed wither as passive or active solutions. On the other hand approaches are developed for uniform noise pollution in-situ determination by using various approaches and different positioning of sound level meters. For both of the mentioned fields either technical standard or suitable methodologies have been elaborated specifying for example exact procedures for elaborating sound level measurements or unifying approaches for design of asphalt mixes for acoustic wearing courses. Nevertheless, so are there does not exist any unified procedure, which would quantify the level of noise attenuation (absorption capacity) of proposed measures for wearing courses, according to which it would be possible in advance assess potential of particular designed solutions or measures applicable in pavement engineering.

The aim and focus of this methodology is to specify a suitable laboratory procedure for fast qualified assessment of sound level absorption potential for asphalt mixes or concretes, which are dedicated to wearing courses and where a presumption for effective solution for reducing noise abatement exists. I.e. it is expected there is a possibility to reduce the noise which originates on the contact between tire of a moving vehicle and pavement surface. Such orientation assessment is possible with use of impedance tube principles. Such tube is investigated with suitable adapters allowing measurements on cylindrical or slab test samples. The testing procedure does not quantify the absolute level of in real conditions achievable noise attenuation, but is foreseen for exclusion of solutions, which by basic laboratory assessment of acoustic absorption capacity determination for selected material used for acoustic wearing course would not show improvement if compared with traditional type of wearing course. The methodology in this respect specifies a way for executing such test procedure and its data evaluation.

Committed methodology represents complex technical document, which supplements missing laboratory procedure for benchmark assessment of acoustic absorption material capacity intended for pavement wearing courses. The methodology represents a fast benchmarking tool, which so far was not set up in the Czech Republic.

Keywords:

Asphalt mix, acoustic wearing course, noise, noise reduction, acoustic absorption capacity acoustic impedance, laboratory measurement of absorption capacity, impedance tube.

Language:

Czech

Certification Authority:

Ministry of Transport of the Czech Republic, Department of aerospace activities and ITS.



Ministerstvo dopravy

nábřeží Ludvíka Svobody 1222/12
PO BOX 9, 110 15 Praha 1

Praha 1. února 2016
Č. j.: 91/2015-710-VV/1

v y d á v á

OSVĚDČENÍ

o uznání uplatněné certifikované metodiky
v souladu s podmínkami „Metodiky hodnocení výsledků výzkumu a vývoje“

„Metodika měření akustické pohltivosti asfaltových obrusných vrstev vozovek v laboratoři“

ŘEŠITEL

ČVUT v Praze, Fakulta stavební
VUT v Brně, Fakulta stavební

Autor:

Ing. Jan Valentin, Ph.D.
Ing. Petr Mondschein, Ph.D.
Prof. Ing. Jaroslav Smutný, Ph.D.
Ing. Petr Hýzl, Ph.D.
Doc. Dr. Ing. Michal Varaus

Dedikace:

Vypracované v rámci výzkumného projektu č. TA02030639 názvem „Trvanlivé akustické asfaltové vrstvy s uplatněním výkonových asfaltových pojiv modifikovaných mikrogranulátem pryže včetně inovativní technologie jejího mletí“ financovaného za podpory TA ČR.

Zpracovatelé 2 nezávislých oponentních posudků:

- Ing. Jiří Šmíd, Ph.D. ŘSD ČR
- Ing. Jiří Biegl, VIN Consult s.r.o.

JUDr. Václav Kobera
Ředitel

Odbor ITS, kosmických aktivit a VaVal



Obsah

1.	Úvod - cíl metodiky	8
2.	Vlastní popis metodiky.....	10
2.1	Účel metodiky	11
2.2	Obecné uvedení do problematiky.....	11
2.3	Principy metody měření akustické pohltivosti.....	11
2.3.1	Pomůcky a zařízení	12
2.3.2	Příprava vzorků	16
2.3.3	Postup měření	16
2.3.4	Kalibrace.....	16
2.3.5	Vyhodnocení.....	19
3.	Srovnání novosti postupů	21
4.	Popis uplatnění certifikované metodiky	22
5.	Ekonomické aspekty.....	23
6.	Seznam použité související literatury	24
7.	Seznam publikací, které předcházely metodice.....	24
	Příloha A: Příklady vybraných měření	28

1. Úvod - cíl metodiky

Metodika je výstupem projektu č. TA02030639 „Trvanlivé akustické asfaltové vrstvy s uplatněním výkonových asfaltových pojiv modifikovaných mikrogranulátem pryže včetně inovativní technologie jejího mletí“ podpořeného programem ALFA Technologické agentury České republiky. Na vypracování se podíleli autoři řešitelské organizace Českého vysokého učení technického v Praze a Vysokého učení technického v Brně.

Problematika hluku dnes představuje jedno z klíčových témat řešených v souvislosti s dalším rozvojem individuální silniční dopravy a výstavbou či modernizací dopravní infrastruktury v rámci Evropské unie. Hluk působený vozidly má řadu zdrojů, přičemž jedním z těchto zdrojů je hluk vznikající na styku pneumatiky a povrchu vozovky. Velikost hlukové emise v tomto případě lze posuzovat in-situ a to s využitím metody CPX nebo lze orientačně stanovit míru pohltivosti materiálu určeného pro obrusnou vrstvu laboratorně s využitím impedanční trubice, jak popisuje tato metodika. Vzájemná porovnatelnost obou metod dosud má velmi omezenou závislost a vyžaduje další dlouhodobější srovnávací měření, k jejichž provedení budou nadále využity některé existující výzkumné infrastruktury jako je např. centrum kompetence CESTI (projekt TE01020168). Jak je uvedeno v Metodice pro návrh, výrobu a provádění akustických asfaltových vrstev lze při snižování hluku z dopravy využít řadu opatření, která zahrnují tradiční a běžné aplikované instalace protihlukových stěn či aplikace technologií asfaltových vrstev snižujících hlučnost, kdy lze dosáhnout omezení hladiny hluku o 3-7 dB (A). Zejména z důvodu druhého z uváděných opatření je nezbytné mít formulované metody a postupy, jak prokazovat potenciál hlukového útlumu, resp. pohltivosti vlastního materiálu, který je pro daný typ obrusné vrstvy ve vozovce aplikován.

Jak uvádí dříve zpracovaný dokument certifikovaný Ministerstvem dopravy ČR „Metodika pro měření a hodnocení komunikací z hlediska hlukové zátěže“ patří hluk v dnešní době k nejrozšířenějším škodlivým dopadům na životní prostředí. Ve smyslu ochrany životního prostředí a udržitelného rozvoje dopravy je vhodné mít dostatečně podrobné akustické charakteristiky používaných či průběžně rozvíjených technologií výstavby povrchu vozovek a znát změny jejich akustických charakteristik z dlouhodobého hlediska. Mezi tyto sledované charakteristiky patří i potenciál pohltivosti hluku, který může posloužit jako výchozí indikace účinnosti takového technického řešení a může posloužit pro základní predikci později dosahované míry útlumu hluku, kdy tato je samozřejmě ovlivněna řadou dalších parametrů, které přímo neovlivňuje jen samotná schopnost asfaltové vrstvy pohlcovat hluk, který vzniká jen při přejezdu pneumatiky po povrchu vozovky.

Jedním z vedlejších cílů projektu TA02030639 byl rozvoj, úprava a ověření využitelnosti vhodné laboratorní metody pro základní posouzení potenciálu hlukové pohltivosti asfaltových směsí, které jsou v souladu s certifikovanou Metodikou pro návrh, výrobu a provádění akustických asfaltových vrstev označovány jako „nízkohlučné“ nebo „akustické“. Zvolená metoda má být jednoduše proveditelná a pokud možno využívat principy, které jsou známé z jiných oblastí a to formou vhodně aplikované analogie. Díky tomu má být metoda i dostupná pro provádění běžnými laboratořemi a to s omezenými požadavky na pořízení náročného laboratorního vybavení. Na druhé straně metoda nemá sloužit pro posouzení kvality asfaltové směsi pro akustické obrusné vrstvy a současně není určena jako průkaz vyžadované míry útlumu hluku, jelikož takový parametr lze získat a následně vyžadovat jen v reálných podmínkách pro konkrétní vozovku při znalosti konkrétních podmínek okolí.

Obsah této metodiky formuluje zásady a pracovní postup, který umožňuje provádět laboratorní měření pohltivosti hluku u stavebních směsí (asfaltových či

betonových) pro obrusné vrstvy. Stanovuje míru pohltivosti a to v laboratorních podmínkách, kdy takto zjištěný ukazatel slouží pro základní rychlé posouzení potenciálu navrhované především asfaltové směsi z hlediska pozdějšího využití ve vozovce. Tento potenciál by měl indikovat rozdíl mezi standardním typem povrchu vozovky (např. standardní asfaltový beton, asfaltový koberec mastixový, litý asfalt či standardní typ cementobetonového krytu) a povrchy, které označujeme jako akustické (snižující hlučnost). Výsledek zvolené metody nedává absolutní hodnotu útlumu hluku, kterého lze v reálných podmínkách dosáhnout, nýbrž ukazuje míru potenciálu z hlediska pohltivosti daného materiálu, pokud je provedeno standardní zhutnění v laboratorních podmínkách a povrch je suchý a bez nečistot. Vlastní provedení takové zkoušky je při zajištění potřebných laboratorních pomůcek možné v zásadě v kterékoli laboratoři, která se věnuje rozboru silničních materiálů či provádí návrhy asfaltových nebo betonových směsí pro vozovky. Zvolená a potřebnými úpravami dále rozvinutá metoda vychází z principů, které stanovuje technická norma ČSN ISO 10534-2.

2. Vlastní popis metodiky

2.1 Účel metodiky

Problematika hluku z dopravy představuje jednu z klíčových oblastí, které se snaží evropská komise dlouhodobě řešit. V souvislosti s touto skutečností jsou rozvíjena a z hlediska inovací podporována řešení, která umožňují realizaci akusticky pohltivých povrchů asfaltových vozovek. Jak je uvedeno v Metodice pro návrh, výrobu a provádění akustických asfaltových vrstev je tato oblast v ČR intenzivněji řešena přibližně posledních 7 let. Souběžně s tím je velká pozornost věnována problematice vhodného prokázání akustické účinnosti alternativních materiálových řešení obrusných vrstev a ve větším rozsahu potom obecnému přístupu, jak vhodně provádět měření hluku, která by se omezila na oblast hlukové emise vznikající na styku pneumatiky pojezdějícího automobilu a povrchu vozovky. Tato oblast je řešena Metodikou pro měření a hodnocení komunikací z hlediska hlukové zátěže. Koordinovaně se tedy oblasti hluku vznikající při používání silniční infrastruktury věnovalo či věnuje v posledních letech několik projektů VaV, které jsou podporované MŠMT, MPO nebo Technologickou agenturou ČR. Zmínit lze zejména následující projekty a výzkumná centra, jejichž cíle je podpora rozvoje a zavádění inovací a slouží pro oblast experimentálního vývoji, nikoli základního výzkumu:

- Centrum integrovaného navrhování progresivních stavebních konstrukcí (CIDEAS); projekt MŠMT ČR 1M0579 realizovaný v letech 2005-2011 s dílčími aktivitami věnovanými též problematice hluku, např. dílčí zpráva 2.4.1.1-1 či 1.3.1.3-P3.
- Centrum efektivní a udržitelné dopravní infrastruktury (CESTI); projekt TAČR TE01020168 rámci programu Centra kompetence, který je realizovaný v letech 2013-2019 s dílčími aktivitami věnovanými problematice akustických povrchů a měření hlukové zátěže z dopravy.
- projekt „Změna hluku povrchů vozovek v průběhu několika let používání“; individuální projekt TAČR, program Alfa (hlavní řešitel: CDV, Ing. Vítězslav Kulhánek, Ph.D.).
- projekt „Trvanlivé akustické asfaltové vrstvy s uplatněním výkonových asfaltových pojiv modifikovaných mikrogranulátem pryže včetně inovativní technologie jejího mletí“; individuální projekt TAČR, program Alfa (hlavní řešitel: ČVUT v Praze, Ing. Jan Valentin, Ph.D.).

Jako jednu z problematik lze identifikovat skutečnost, že v rámci uvedených řešení nebyla dosud v dostatečné míře věnována pozornost možnostem rychlého posuzování potenciálu akustické pohltivosti navržených asfaltových směsí, tedy posouzení potenciálu před vlastní realizací akustického povrchu obrusné vrstvy a před získáním reálných dat z měření hlukové emise různých typů asfaltových, příp. betonových povrchů, v laboratorních podmínkách a na zkušebních tělesech, která byla v laboratoři vyrobena a sloužila například pro zpracování zkoušek typu apod.

V současnosti neexistuje jednotný přístup k problematice asfaltových povrchů snižujících hlukovou zátěž (akustických asfaltových povrchů) a tudíž neexistuje ani jednotná norma, co lze považovat za významné snížení hlukové zátěže. Současně neexistují jednoznačná kritéria, která by sloužila a byla obecně v České republice přijata jako kvalitativní parametry prokazující přínos v oblasti snížené hlukové zátěže. Vycházet lze pouze z některých technických norem při návrhu asfaltové směsi (např. ČSN EN 13108-7 jako výrobní norma pro asfaltové směsi typu PA) či ze zahraničních zkušeností a doporučení, která jsou vydávána v jiných evropských zemích. Dále lze vycházet z poznatků prezentovaných v řadě odborných článků, které v uplynulých letech byly

publikovány např. v rámci konference Asfaltové vozovky 2009, 2011 a 2013, nebo byly uveřejněny v odborných časopisech Silnice Železnice, Silnice mosty a Silniční obzor. Dostupné poznatky, které prokazatelně existují, jsou obecně dostatečným průkazem skutečnosti, že směsi typu PA, SMA LA, ACO LA, BBTM (včetně komerčních podob těchto typů asfaltových směsí) přínos v oblasti snížení hlukové zátěže prokazatelně mají a to jak v provedení s polymerem modifikovaným asfaltovým pojivem, tak i v provedení s pojivem modifikovanými drcenou či jemně mletou pryží.

S ohledem k výše uvedenému tým vedený Fakultou stavební ČVUT v Praze a zejména tedy se zapojením odborníků z Fakulty tavební VUT v Brně v průběhu let 2012-2014 rozvíjel a dále modifikoval zkušební přístup, který využívá k měření impedanční trubici. Vymezením vhodného zkušebního postupu je možné jednak provádět rychlá ověření před vlastní realizací a současně při dostatečném souboru dat a existující databázi informací později využívat účelný nástroj pro základní hodnocení vhodnosti zvolené asfaltové směsi či betonu pro uplatnění v rámci obrusné vrstvy, která má zvýšené nároky na akustickou pohltivost.

Metodika tak popisuje měření míry akustické pohltivosti obrusných vrstev vozovek na laboratorních vzorcích. Měření se provádí pomocí impedanční trubice a za pomoci níže uvedeného přípravku. Měření akustické pohltivosti je možné provést i na reálné vozovce. Pohlcováním přitom rozumíme přeměnu zvukové energie v jinou. Zvukové vlny způsobí, že částice (v našem případě materiál konstrukce vozovky) má tendenci vibrovat. Vibrace způsobí tření a změnu akustické energie na tepelnou. Aby se uvolnilo dostatečné množství energie, musí být plocha, na níž nastává tření, dostatečně velká. Z tohoto důvodu jsou nejvhodnější porézní materiály.

Činitel zvukové pohltivosti je reálná hodnota definovaná jako poměr akustického výkonu vstupujícího do materiálu o určité ploše k akustickému výkonu, který na tuto plochu dopadá. Hodnota α je v intervalu 0 až 1. Materiál pohlcující zvuk plně má $\alpha = 1$, materiál plně odrážející zvuk má $\alpha = 0$. Činitel zvukové pohltivosti α je kmitočtově závislý, měření se obvykle provádí v 1/3 oktávových pásmech v rozsahu 100 – 6 300 Hz.

2.2 Obecné uvedení do problematiky

Určování činitele zvukové pohltivosti a akustické impedance v impedančních trubicích metodou přenosové funkce upravuje obecně technická norma ČSN ISO 10534-2. Tato norma zahrnuje použití impedanční trubice, dvou míst mikrofónů a digitálního systému kmitočtové analýzy k určení činitele zvukové pohltivosti materiálů pohlcujících zvuk. Tato norma nicméně nijak neřeší využití této metody v případě asfaltových vrstev, resp. vhodného typu asfaltových vzorků.

Pohlcováním zvuku rozumíme přeměnu zvukové energie v jinou. Zvukové vlny způsobí, že částice má tendenci vibrovat. Vibrace způsobí tření a změnu akustické energie na tepelnou. Aby se uvolnilo dostatečné množství energie, musí být plocha, na níž nastává tření, dostatečně velká. Z tohoto důvodu jsou jako materiály pro konstrukce vozovek nejvhodnější porézní materiály. Současně s tím, však je nezbytné aplikovat pro vlastní měření vhodný adaptér, který umožní takové měření vůbec provést.

Činitel zvukové pohltivosti α je definován jako poměr akustického výkonu vstupujícího nenávratně do materiálu o určité ploše k akustickému výkonu, který na tuto plochu dopadá. Hodnota α je v intervalu 0 až 1. Pro materiál pohlcující zvuk plně platí $\alpha = 1$, materiál plně odrážející zvuk má hodnotu $\alpha = 0$. Činitel zvukové pohltivosti α je kmitočtově závislý, měření se obvykle provádí v třetinooktávových pásmech v rozsahu 100 – 6 300

Hz, kdy poměr krajních kmitočtů v libovolné třetině oktávy je konstantní. Při měření metodou přenosové funkce podle ČSN ISO 10534-2 je možno měřit činitel α pro kolmý dopad vln. Komerčně dostupná zařízení obsahují zdroj zvuku, impedanční trubici, dva 1/8 palcové (3,2mm) mikrofony a úplný vyhodnocovací software. Zdroj zvuku (reproduktor) je namontován na jednom konci impedanční trubice a vzorek materiálu je umístěn na druhém konci. Reproduktor vytváří širokopásmové spektrum. Náhodné zvukové vlny, které se šíří jako rovinné vlny v trubici, narážejí na vzorek a částečně se odrážejí. Šíření a dopad vln má za následek stojaté vlnění způsobené superpozicí vln. Koeficient zvukové pohltivosti se určuje prostřednictvím výpočtu komplexní přenosové funkce na základě měření hladiny akustického tlaku ve dvou pevných místech. Využitelný frekvenční rozsah závisí na průměru trubky a vzdálenosti mezi pozicemi mikrofonů.

Podle dosavadního stavu techniky se pro měření zvukové pohltivosti používají jako impedanční trubice nejčastěji velké trubice o průměru 100 mm s frekvenčním rozsahem 50 Hz až 1 600 Hz a malé trubice o průměru 29 mm s rozsahem 500 až 6 400 Hz, do kterých se vkládají vzorky. Pro horizontální použití je trubice doplněna o držáky vzorku a prodlužovací trubice.

Nevýhodou zjištěného stavu techniky bylo, že vzorky válcovitého tvaru je nutno uzpůsobit průměrům trubice. Z tohoto důvodu bylo modifikováno vlastní měření a byla navržena nová metodika měření, kdy k pořízení vývrtu z povrchu vozovky je nutno vždy použít speciální vrtnou korunku příslušného průměru, která je odladěna na přípustný průměr adaptéru, jímž musí být osazena impedanční trubice. Provádění vývrtů malých průměrů je přitom obtížné, proto se jako výsledná hodnota uvažuje průměr 100 mm.

2.3 Principy metody měření akustické pohltivosti

Pro měření a určování zvukové pohltivosti lze použít několika metod:

- *Metoda dozvukové komory*

Dává výsledky, které se nejvíce blíží praxi. Dopad akustických vln je všesměrový. Činitel zvukové pohltivosti daného materiálu se vypočte z rozdílu měřených dob dozvuku T prázdné komory a komory obložené materiálem. Přesný popis udává norma ČSN ISO 354: 1992 – Akustika – Měření zvukové pohltivosti v dozvukové místnosti v platném znění. Touto metodou lze stanovit střední akustickou pohltivost materiálu, jímž je dozvuková místnost obložena. Nevýhodou je, že na stěny a strop dozvukové místnosti musí být upevněno relativně velké množství materiálu.

- *Metoda rovinné vlny v impedanční trubici*

Zde je možno měřit činitel α pro kolmý dopad vln. Pro tento typ měření existují dvě normy ČSN ISO 10534-2: 2000 a její změna Z1: 2001, která se používá zejména v Evropě a ASTM E1050 – 10 Standard Test Tube Method for Impedance and Absorption of Acoustical Materials Using A Tube, Two Microphones and A Digital Frequency Analysis System používané zejména v USA. Obě využívají metodu nazvanou „dvou mikrofonovou“ nebo také „metodu přenosové funkce“. Vždy je měřena pohltivost α a zároveň také akustická impedance nebo admittance.

2.3.1 Pomůcky a zařízení

Impedanční trubice

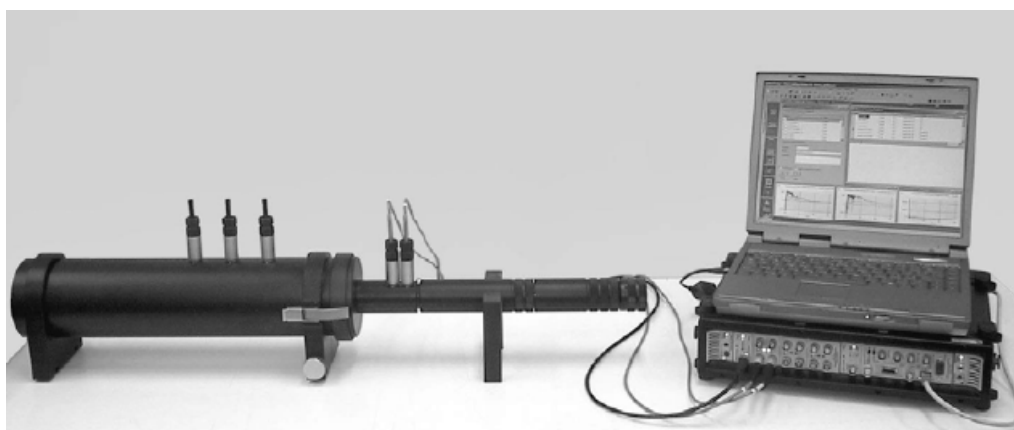
Impedanční trubici viz obrázek 1 je speciální kovová trubice s reproduktorem sloužícím jako zdroj zvukových vln. Na těle trubice jsou umístěny tři otvory pro vkládání mikrofonů.

Pro měření je možné např. využít impedanční trubice Brüel & Kjær 4206. Pro primární horizontální užití je trubice doplněna o komponenty umožňující vložení testovaného vzorku do trubice. Jedná se o držáky vzorku (\varnothing 29 a 100 mm) a dále prodlužovací trubice (\varnothing 29 a 100 mm). Je možno použít dvě modifikace této trubice – velká trubice o průměru 100 mm s frekvenčním rozsahem 50 Hz až 1 600 Hz a malá trubice o průměru 29 mm s rozsahem 500 – 6 400 Hz.

Na obrázku č. 6 je schematicky znázorněno vertikální umístění impedanční trubice (2), vsazené do přední strany (4) adaptéru podle technického řešení. Impedanční trubice (2) má reproduktor (10) a dva měřicí mikrofony (11), které jsou připojeny k neznázorněné řídicí jednotce obsahující vyhodnocovací software.



Obrázek 1: Impedanční trubice

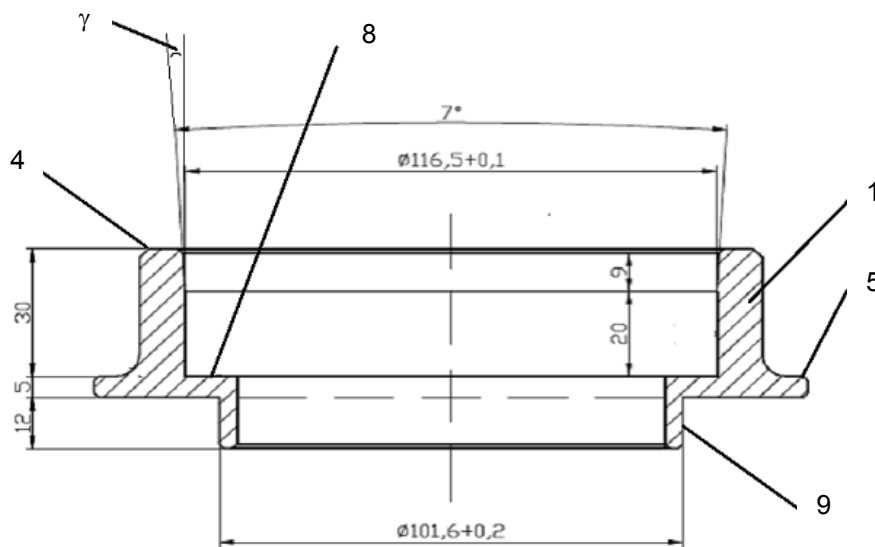


Obrázek 2 - Impedanční trubice – schéma zapojení

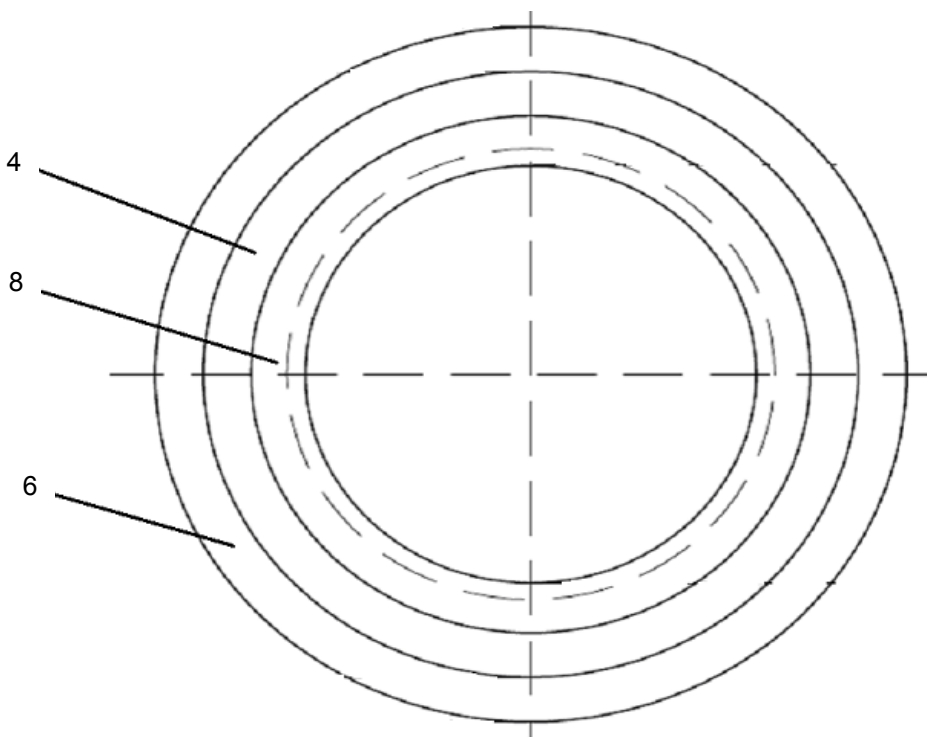
Adaptér pro impedanční trubici

Adaptér je vyroben z teflonu nebo polyvinylchloridu nebo polypropylenu nebo polyethylenu nebo polystyrenu nebo kaučuku. Má tvar prstence. Tělo (1) viz obrázek č. 6 adaptéru má, jak je znázorněno na obr. 3 a obr. 4, tvar prstence s přední stranou (4) a zadní stranou (5). Vnitřní průměr prstencovitého tělesa (1) adaptéru na přední straně (4) adaptéru v části jeho axiální délky v blízkosti osazení (8) je, jak je znázorněno kótou na obrázku 3 116,5 mm a odpovídá vnějšímu průměru impedanční trubice (2). Přechod předního vnitřního průměru do zadního vnitřního průměru je vytvořen jako osazení (8) pro

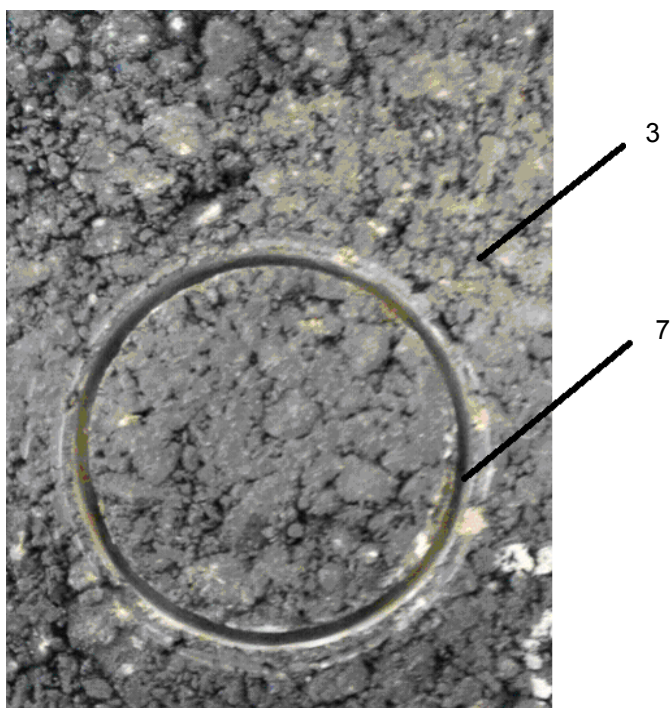
dosednutí konce impedanční trubice (2). Vnitřní průměr tělesa (1) adaptéru se od osazení (8) směrem k přední straně (4) zvětšuje, takže prstencový tvar tělesa (1) adaptéru se směrem k přední straně (4) kuželovitě rozšiřuje. Ve záznamě provedení na válcovitý vnitřní prostor adaptéru v délce 20 mm navazuje kuželovité rozšíření v délce 9 mm, úhel kuželovitého rozšíření $\gamma = 7^\circ$. Na zadní straně (5) tělesa (1) adaptéru je vytvořen axiální nákržek (9) o výšce 12 mm a o průměru 101,6 mm pro vložení do kruhové drážky (7) příslušných rozměrů, připravené v povrchu (3) vozovky resp. zkušebního vzorku. Na zadní straně (5) tělesa (1) adaptéru je dále vytvořen radiální nákržek (6) pro zvětšení plochy pro dosednutí na povrch (3) vozovky.



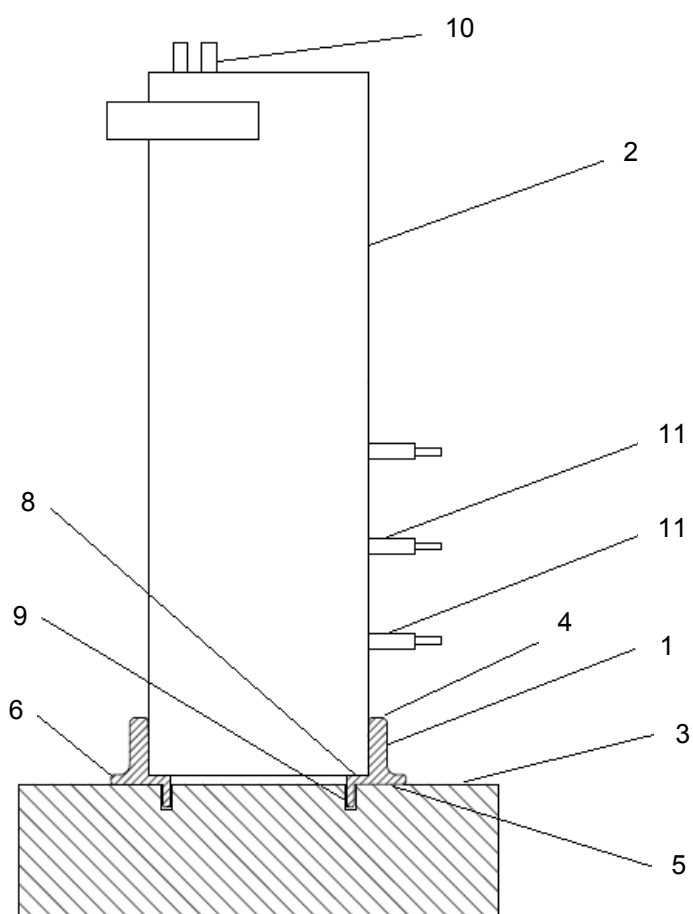
Obrázek 3: Boční pohled na adaptér pro impedanční trubici



Obrázek 4: Půdorys adaptéru pro impedanční trubici



Obrázek 5: Pohled na připravenou drážku ve zkušebním vzorku



Obrázek 6: Schématický pohled na impedanční trubici s adaptérem a zkušebním vzorkem

2.3.2 Příprava vzorku

Zkušební vzorek může být deska vyrobena podle ČSN EN 12697-33 nebo výsek z vozovky nebo může být měřeno přímo na obrusné vrstvě vozovky. Měřicí místo musí být připraveno vyvrtáním kruhového zahloubení ve formě kruhové drážky (7) do měřeného povrchu (3) vozovky pomocí jádrové vrtačky „za sucha“, bez použití výplachové vody. Ta by zanášela povrch měřeného vzorku a výsledky měření by byly zkresleny. Do takto vyvrtané kruhové drážky (7) se nasadí svou zadní stranou (5) adaptér podle technického řešení. Z přední strany (4) adaptéru bude vsazena impedanční trubice (2), takže její ústí bude směřovat přímo do vzorku. Provedení kruhové drážky (7) a typická struktura povrchů (3) vozovek, jejichž akustická pohltivost se měří, je vidět na obr. 5.

2.3.3 Postup měření

Před každým měřením a po skončení každé série měření musí být provedena kalibrace zařízení na standardním kalibračním vzorku. Zároveň je nutné překontrolovat a případně opravit konstanty v měřicím softwaru. Měření hodnot koeficientu zvukové pohltivosti se provádí ve frekvenčním rozmezí 100 až 6 300 Hz.

U impedanční trubice lze použít tři typy vah, „high – pass“ pro vysokofrekvenční měření v malé trubici, „linear“ pro měření ve velké trubici a „low – pass“ pro extra přenos měření pod frekvenci 100 Hz. Při primárním horizontálním měření se velký držák vzorku namontuje přímo k otevřenému konci velké trubice. Na těle trubice jsou vyvedeny tři konektory pro montáž mikrofonů. Mikrofony jsou tak zapuštěny do zvukového pole uvnitř trubice, tím je zabráněno úniku zvuku a vzniku chyb měření.

Malá trubice je namontována přes přechodový kus na otevřený konec velké trubice s reproduktorem. Držák malého vzorku se montuje opět na otevřený konec malé trubice. Na těle trubice jsou dva vývody pro mikrofony. Účinnou délku každého nastavení lze měnit pomocí jednoho nebo dvou prodlužovacích dílců trubice a změnou polohy posuvného pístu uvnitř držáku vzorku.

Měření se provádí dvěma ¼'' kondenzátorovými mikrofony typu 4187, které jsou běžně dodávány s trubicí 4206. Jsou speciálně konstruované pro snížení chyb z důvodu úniku tlaku při vysokých frekvencích.

Pro měření vzorků silničních krytů je primární horizontální uložení impedanční trubice nevyhovující. Proto je nutné při laboratorním měření požit sekundární vertikální pozici.

2.3.4 Kalibrace

Kalibrace se skládá z justování obou měřicích mikrofonů, změření odstupu zvukového signálu v trubici od šumu okolí a zjištění korekční frekvenční přenosové funkce H_C . Frekvenční přenosové funkce jsou vypočítávány z křížového spektra získávaného ze signálů z dvou měřicích mikrofonů. Z tohoto důvodu je nutné určit rozdíly fáze a amplitudy signálů z měřicích mikrofonů, jinak by docházelo k znehodnocení vypočítávaných hodnot. Při kalibraci dojde k výpočtu frekvenční přenosové funkce jak s prohozenou pozicí mikrofonů (H_{C2}) tak i s normální pozicí mikrofonů (H_{C1}).

$$H_{c1} = |H_{C1}|e^{j\theta_1} \quad (1)$$

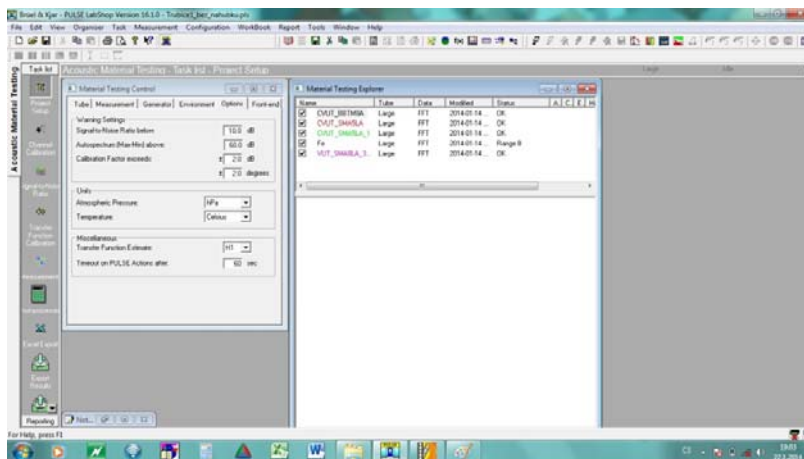
$$H_{c2} = |H_{C2}|e^{j\theta_2} \quad (2)$$

$$|H_C| = \sqrt{|H_{C1}||H_{C2}|} \quad (3)$$

$$\theta_C = \frac{1}{2}(\theta_1 + \theta_2) \quad (4)$$

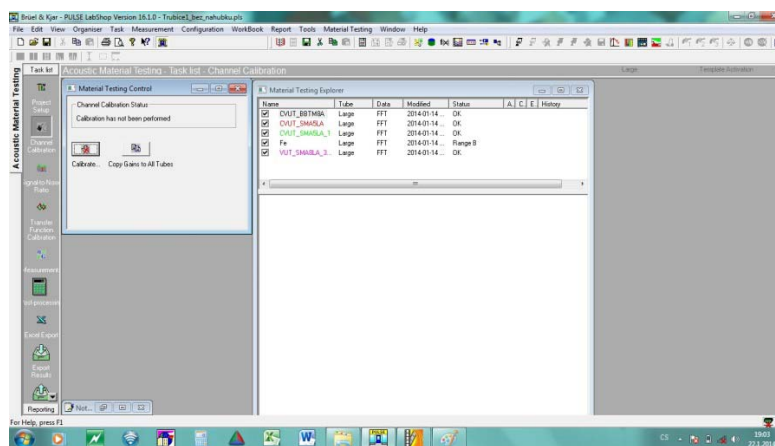
$$H_c = |H_c| e^{j\theta c} \quad (5)$$

V prvním kroku se vybere použitá trubice a nastaví parametry budícího signálu, frekvenčního analyzátoru, přiřadí se mikrofony ke měřicím kanálům. V dalším krku se provede validace mikrofónů. Amplituda signálu se musí zvolit tak, aby nejméně o 10 dB převyšovala hluk pozadí na všech uvažovaných kmitočtech měřených ve zvolených místech mikrofónů. Kmitočtová odezva reproduktoru by v ideálním případě měla být ekvalizována při bezodrazovém ukončení v místě vzorku tak, aby se vyhladila tlaková odezva měřená v místech mikrofónů. Během nějaké zkoušky musí být odmítnut jakýkoliv kmitočet s hodnotou v odezvě o 60 dB nižší, než je maximální hodnota kmitočtové odezvy, může však být proveden proces ekvalizace v přítomnosti zkušební vzorku.



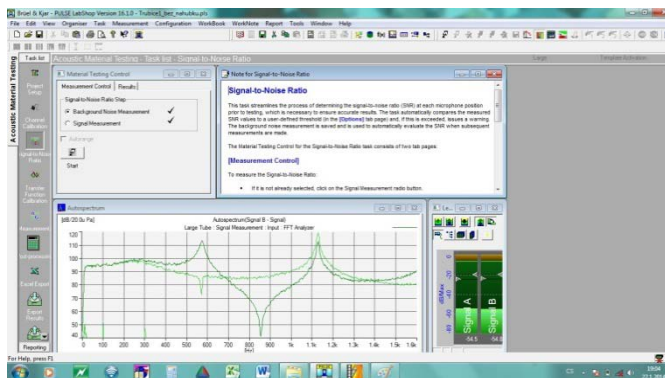
Obrázek 7: Nastavení systému

Průměrováním spekter měřených v místech mikrofónů mohou být potlačeny chyby způsobené šumem. Potřebný počet opakování závisí na zkoušeném materiálu a na požadované přesnosti odhadu přenosové funkce. Když se používá metoda dvou mikrofónů, musí se pro neshodu mezi kanály použít jeden z následujících postupů korigování údajů ze změřené přenosové funkce: opakovaná měření s kanály navzájem zaměněnými, nebo předem určený kalibrační součinitel. Kanál se skládá z mikrofónu, předzesilovače a kanálu analyzátoru. V případě jednokanálové metody, kde se používá pouze jeden mikrofón, není při vyhodnocování přenosové funkce třeba žádné korekce na neshodu mikrofónů. Korekce na neshodu mikrofónů se děje vzájemnou záměnou kanálů pro každé měření na zkušebním vzorku. Tomuto postupu se dává přednost, když se má měřit omezený počet vzorků.

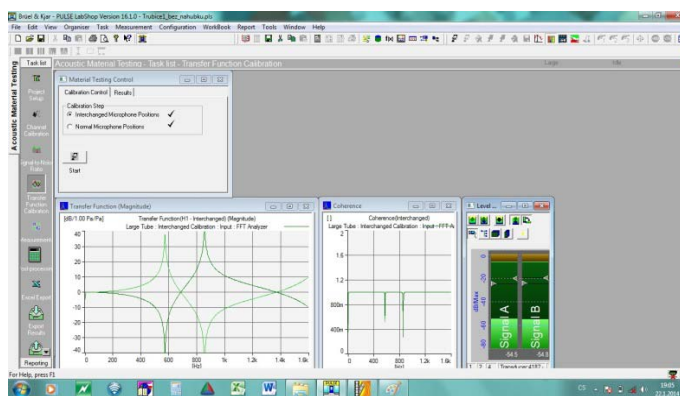


Obrázek 8: Validace mikrofónů

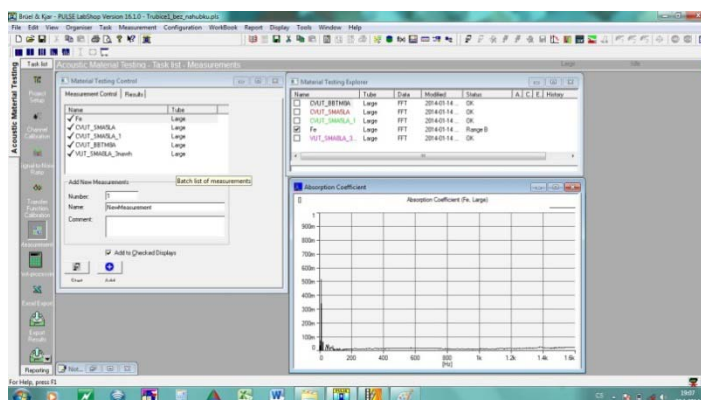
Zkušební vzorek se vloží do trubice a změří se příslušné dvě přenosové funkce. Mikrofony se umístí v konfiguraci I a uloží se přenosová funkce. Navzájem se zamění mikrofony A a B. Pokud se navzájem zamění mikrofony, je třeba se ujistit, že mikrofon A v konfiguraci II (mikrofony zaměněny) zaujímá přesně to místo, které mikrofon B zaujímal v konfiguraci I (standardní konfiguraci) a obráceně. Připojení mikrofonu k předzesilovači nebo k analyzátoru signálu se nemění. Změří se přenosová funkce II. Po úspěšném nastavení a kalibraci se realizuje vlastní měření.



Obrázek 9: Odstup signálu od šumu



Obrázek 10: Měření kalibračních přenosových funkcí



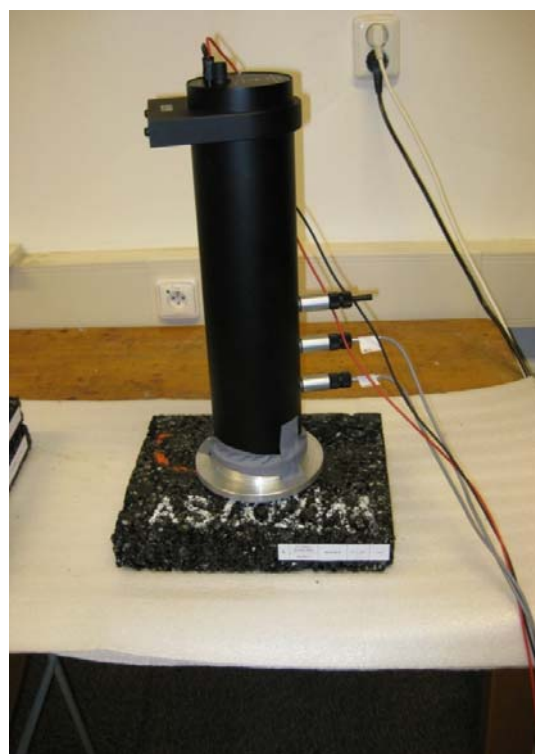
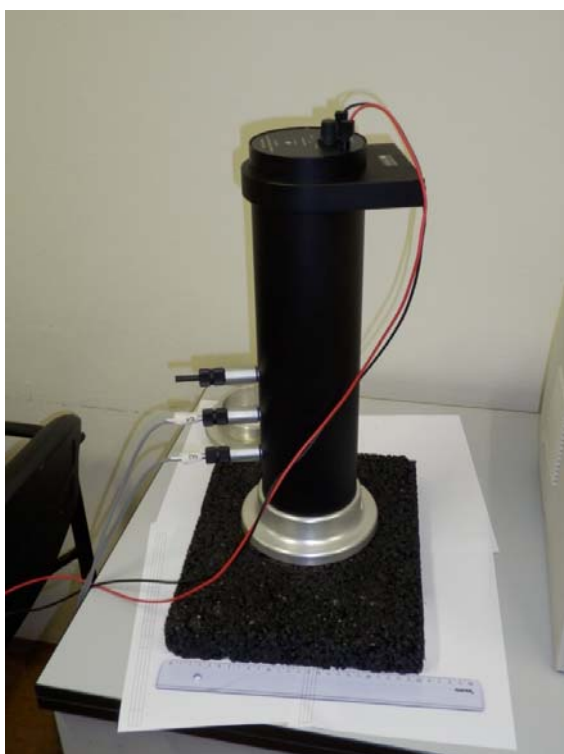
Obrázek 11: Vlastní měření

Po úspěšném nastavení a kalibraci se realizuje vlastní měření podle obrázku 11. Podotkneme, že stejné nastavení bylo použito jak při měření v klasické podobě, kdy vzorek se vkládá do příslušné trubice (viz obrázek 12), tak v případě, kdy se přikládá trubice pomocí speciálního náhubku na měřený povrch (obrázek 13).

V tomto případě je vyžadováno dobré zatěsnění vhodnou těsnící hmotou tak, aby ve spárách neunikala akustická energie mimo prostředí trubice. Tento únikem by se mohl projevit ve výsledku nárůstem pohltivosti.



Obrázek 12: Vzorek asfaltové směsi v trubici



Obrázek 13: Impedanční trubice s druhou variantou náhubku pro měření pohltivosti nekruhových vzorků

2.3.5 Vyhodnocení

Zdroj zvuku (reproduktor) je namontován na jednom konci impedanční trubice a vzorek materiálu je umístěn na druhém konci. Reproduktor vytváří širokopásmové spektrum. Náhodné zvukové vlny, které se šíří jako rovinné vlny v trubici, narážejí na vzorek a částečně se odrážejí. Šíření a dopad vln má za následek stojaté vlnění způsobené

superpozicí pohybem vln dopředu a dozadu. Díky měření hladiny akustického tlaku ve dvou pevných místech (dvou mikrofónová metoda) a následnému výpočtu komplexní přenosové funkce se určí koeficient zvukové pohltivosti, komplexní koeficient odrazu a normálová akustická impedance materiálu. Využitelný frekvenční rozsah závisí na průměru trubky a vzdáleností mezi pozicemi mikrofónů. Tato metoda je popsána ČSN ISO 10534-2.

Metoda měření akustické pohltivosti je založena na rozkladu širokopásmového náhodného signálu do signálu ze zdroje (P_i) a signálu odraženého (P_r). Zvukový signál je vytvářen reproduktorem a rozklad signálu na signál ze zdroje a odražený signál se zjišťuje ze závislosti mezi akustickými tlaky, které jsou měřeny dvojicí mikrofónů umístěných ve stěně trubice. Ze signálů od zdroje a z odraženého signálu měřených jako akustické tlaky dvěma mikrofóny v daných pozicích se vypočtou tři frekvenční přenosové funkce:

1. H_i frekvenční přenosová funkce
2. H_i frekvenční přenosová funkce spojená se složkou signálu od zdroje
3. H_r frekvenční přenosová funkce spojená se složkou odraženého signálu

Využitím těchto přenosových funkcí provedeme výpočet komplexního koeficientu odrazivosti (R) dle následujícího vztahu:

$$R = \left(\frac{H_1 - H_i}{H_r - H_l} \right) \cdot e^{j \cdot 2 \cdot k \cdot (l+s)} \quad (6)$$

kde k je vlnové číslo, l je vzdálenost mezi prvním mikrofónem a přední stranou vzorku [m], s je vzdálenost mezi měřícími mikrofóny [m]. Z koeficientu odrazivosti R provedeme výpočet normalizovaného impedančního poměru ($z/\rho c$) a koeficientu akustické pohltivosti (α). Dle následujících vzorců lze vypočítat koeficient pohltivosti α .

$$\frac{z}{\rho \cdot c} = \frac{1+R}{1-R} \quad (7)$$

$$\alpha = 1 - |R|^2 \quad (8)$$

Měření akustické pohltivosti dvou mikrofónovou metodou předpokládá šíření rovinných vln a žádné úniky energie způsobené pohltivostí stěn impedanční trubice. Tato zjednodušení nejsou při praktických měřeních nijak omezující, jen v případě měření vzorku s velmi malou akustickou pohltivostí (0,01–0,1) jsou výsledky zatíženy větší chybou. Tato chyba je však snadno odstranitelná opakovaným měřením a následným zprůměrováním naměřených hodnot.

3. Srovnání novosti postupů

Charakteristiky zvukové pohltivosti a akustické impedance patří v oblasti akustiky mezi standardně sledované parametry. Obdobně je dostatečně známo využívání impedanční trubice s metodou přenosové funkce, které upravuje technická norma ČSN ISO 10534-2. V oblasti povrchů vozovek byla v minulosti popsána a okrajově ověřována např. v rámci výzkumných prací prováděných LIZKOU [7] nebo STEHNEM [8].

V tomto metodickém dokumentu navržený postup je nový v celkové úpravě postupu měření a v uplatnění vývojově nového typu nástavce, který eliminuje některé dřívější nedostatky prováděných měření či značnou míru rozptylu měření díky přílišným netěsnostem mezi vlastní trubicí a povrchem ověřovaného vzorku. Dále bylo umožněno v důsledku úpravy metody měření, aby bylo přípustné provádět stanovení zvukové pohltivosti na válcových i deskových zkušebních tělesech, která vždy jsou položena na pevném podkladu. Rozhodující přitom není celková tloušťka zkušebního tělesa, doporučeno je používat standardní rozměry, které z hlediska tloušťky tvoří vždy minimálně 40 mm. Z hlediska dalších rozměrů je určující pouze průměr v případě válcových zkušebních těles, který díky upravenému typu nástavce musí být vždy 100 mm. Jiná omezení metoda nevymezuje.

Dalším aspektem, který je možné charakterizovat jako nový postup, je skutečnost, že je navrženo pro indikativní rychlé posouzení potenciálu zvukové pohltivosti a tedy i míry efektivity snižování hlučnosti budoucího povrchu obrusné vrstvy využít v laboratoři metodu, která posoudí, zda navržený typ asfaltové směsi v porovnání s tradiční variantou standardního typu asfaltového betonu nebo asfaltového koberce mastixového přináší vylepšení či odlišení posuzovaného typu směsi od běžných typů obrusných vrstev. Takový přístup lze laboratorně využít jednak při ověřování laboratorně optimalizovaných směsí určených pro běžnou výrobu na obalovnách, jakož i pro posouzení inovovaných směsí, u kterých se očekává další zlepšení akustických charakteristik.

Řešitelé výzkumného projektu TAČR č. TA02030639 poznatky využili při návrhu a optimalizaci některých asfaltových směsí, které jsou zdokumentovány v průběžných zprávách řešení projektu. Dále byla iniciována i budoucí porovnávací měření mezi touto laboratorní metodou a postupem in-situ měření metodou CPX.

Z hlediska využití zvolené metody a provedených úprav měření pro posuzování zvukové pohltivosti asfaltových (příp. betonových) obrusných vrstev se jedná o novou metodiku, jež má za účel poskytnout správcům pozemních komunikací na úrovni státu, vyšších územně-samosprávních celků i obcí a akreditovaným laboratořím v oboru silničního stavitelství jednotný přístup pro rychlé ověření možného potenciálu zvukové pohltivosti stávajících typů i nových alternativ směsí, které se pro daný účel využívají.

4. Popis uplatnění certifikované metodiky

V České republice v současné době jsou zavedeny postupy pro in-situ měření hlučnosti, resp. hlukové imise, která vzniká buď izolovaně na styku mezi vozovkou a pneumatikou pojíždějícího vozidla, nebo se jedná o měření, kdy je normovaným způsobem hodnocen celkový hluk, který v daném prostředí při daných podmínkách vzniká. Neexistuje však metodický nástroj, jak posuzovat vlastní pohltivost materiálů, které se využívají při výstavbě obrusných vrstev vozovek. Tuto skutečnost je cílem řešit tímto metodickým dokumentem, jenž specifikuje možný postup a potřebné laboratorní zařízení, aby bylo možné kvalifikovat dosažitelnou míru hlukové pohltivosti obrusných vrstev vozovek.

Metodika nalezne uplatnění na jedné straně u Ministerstva dopravy ČR, u vlastníků pozemních komunikací či jejich správců (ŘSD, jednotlivé kraje, municipality), kteří tak budou mít jednotný laboratorní postup při ověření možného potenciálu zvukové pohltivosti zejména nově navrhovaných typů vrstev, které je snahou označit jako akustické či nízkohlučné. Metodika v žádném případě neslouží pro provádění kontroly dosažitelného útlumu hluku, jelikož takový postup je možný pouze s využitím měření provedených in-situ ať již metodou CPX nebo metodou stacionárního hlukoměru SBP. Samozřejmě potřebné technické parametry a uplatňované zkušební metody jsou na druhé straně k dispozici i jednotlivým dodavatelům silničních staveb a výrobcům asfaltových směsí, kteří metodu a stanovený postup mohou využívat při vlastním ověření potenciálu zvukové pohltivosti u nových typů asfaltových směsí nebo betonů.

Uvedené postupy metodiky lze dále uplatnit na trhu vědy a výzkumu, vzdělávání, v oborech zabývajících se monitorováním kvality životního prostředí ČR a také zdravím obyvatel. Jelikož v poslední době především v zastavěném území obcí se rozrůstá trend pokládky specializovaných nízkohlučných asfaltových povrchů, tj. kdy je dosahováno snížení nadměrné hlukové zátěže obyvatelstva ze silniční dopravy pomocí povrchů vozovek se sníženou hlučností. Lze tak dosáhnout omezení negativních vlivů na životní prostředí, potažmo vlastní zdraví člověka, při využití vhodných nízkohlučných povrchů, kdy bude zachována dlouhodobá udržitelnost dopravy při současném omezení hlukové zátěže.

Popsané skutečnosti mají přímou souvislost i s cíly, které dlouhodobě sleduje EU, která se intenzivně věnuje diskusi zavedení problematiky hlučnosti povrchů komunikací do systému hospodaření vozovek. S tím se zvyšuje i nutnost v předstihu kvalifikovat, které z možných řešení obrusných vrstev mají také dostatečný potenciál zvukové pohltivosti a dosažení odpovídající míry útlumu hluku v běžných podmínkách na pozemních komunikacích. Zavedení jednotné metodiky v České republice tak umožňuje rychle a efektivně posuzovat různé návrhy směsí mezi sebou a určovat jejich vhodnost pro aplikace akustických obrusných vrstev vozovek.

5. Ekonomické aspekty

Metodika slouží jako rychlá pomůcka při posuzování přínosu asfaltových směsí (příp. betonů), které jsou výrobcem specifikovány jako směsi určené pro akustické obrusné vrstvy. Metodu nicméně nelze použít jako národní referenční zkušební postup, jelikož dosud byl získán omezený rozsah výsledků a navíc charakter této metod by měl být vždy vnímán jako kvalitativní a orientační. Metoda přesně nemůže kvantifikovat skutečnou míru snížení hlukové zátěže budoucí obrusné vrstvy, neboť v laboratorních podmínkách nelze simulovat reálné prostřední a reálné podmínky skutečné vozovky a okolí, ve kterém se taková vozovka nachází. Metodika z tohoto důvodu není vhodná pro jakékoli použití při vymezení a hodnocení technických kritérií ve veřejných soutěžích, kde se uvažuje s uplatněním akustické obrusné vrstvy. Jedná se o technickou pomůcku, která jak na straně veřejných správců pozemních komunikací, tak na straně zhotovitelů a výrobců asfaltových směsí či betonů má vyloučit takové technické návrhy, které neprokážou zlepšení zvukové pohltivosti v porovnání se standardní úpravou obrusné vrstvy.

Vlastní zavedení certifikované metodiky nepředpokládá vyjma nezbytného vybavení laboratoře impedanční trubici a potřebným vyhodnocovacím software další žádné bezprostřední náklady, které by s tímto krokem souvisely. Metodika doplňuje chybějící zkušební postupy, které by umožnily rychlé posouzení potenciálu hlukové pohltivosti. Metodika tak nemá jakýkoli dopad na vlastní provádění silničních staveb. Z hlediska provozních nákladů metodika nijak nezvyšuje běžné výdaje zkušebních laboratoří, potřebný je zaškolený personál, který měření umí provádět a vyhodnocovat. Jelikož se jedná o orientační laboratorní zkoušku, nejsou vyžadována speciální oprávnění či jakékoli další omezující podmínky z hlediska osob, která měření provedou a vyhodnotí. Zkoušky lze zadat jakékoli akreditované laboratoři, která daným zařízením a metodou bude disponovat a bude mít zkušenost s jejím provedením.

Z ekonomického hlediska tak lze přeneseně považovat spíše za přínos skutečnost, že použití této metody při posouzení potenciálu zvukové pohltivosti umožňuje vyloučit z hlediska dalšího praktického využití varianty asfaltových směsí, které by v porovnání se standardní asfaltovou směsí (AC, SMA, litý asfalt) nevykázaly žádné zlepšení, resp. žádné zvýšení hodnoty zvukové pohltivosti. Je tak možné předcházet zavedení nefunkčních typů asfaltových směsí, pakliže by byly specifikovány výrobcem jako nízkohlučné (akustické).

6. Seznam použité související literatury

- [1] ČSN ISO 354 Akustika. Měření zvukové pohltivosti v dozvukové místnosti, prosinec 1992.
- [2] ČSN EN ISO 354 Akustika - Měření zvukové pohltivosti v dozvukové místnosti, Listopad 2003, Český normalizační institut.
- [3] ČSN ISO 10534-2 Akustika - Určování činitele zvukové pohltivosti a akustické impedance v impedančních trubcích - Část 2: Metoda přenosové funkce, duben 2000, Český normalizační institut.
- [4] ČSN EN 12697-33+A1 (736160) Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 33: Příprava zkušebních těles zhutňovačem desek, leden 2008, Český normalizační institut.
- [5] ASTM E1050 – 10 Standard Test Method for Impedance and Absorption of Acoustical Materials Using a Tube, Two Microphones and a Digital Frequency Analysis System.
- [6] Pracherstorfer, W., Litzka, J.: Österreichische Erfahrungen mit lärmmindernen Straßendecken. FGVSÖ, Vídeň, 1994.
- [7] Stehno, G.: Rollgeräuschmessungen auf in- und ausländischen Fahrbahndecken. BMVIT, Heft 413, Vídeň, 1992.

7. Seznam publikací, které předcházely metodice

Valentin, J. - Varaus, M.: Současné technologické trendy u vozovek pozemních komunikací. Silnice železnice. 2010, roč. 5, č. 4, s. P1-2-P1-4. ISSN 1801-822X.

Valentin, J. - Mondschein, P.: Snižování hluku možnými úpravami obrusné vrstvy. Silnice železnice. 2010, roč. 5, č. 5, s. P14-P21. ISSN 1801-822X.

Valentin, J. - Mondschein, P. - Varaus, M. - Hýzl, P. - Stehlík, D.: Vybrané laboratorní poznatky s návrhem a posuzováním směsí SMA LA a LOA. Silnice železnice. 2014, roč. 9, č. 01/2014, s. 142-147. ISSN 1801-822X.

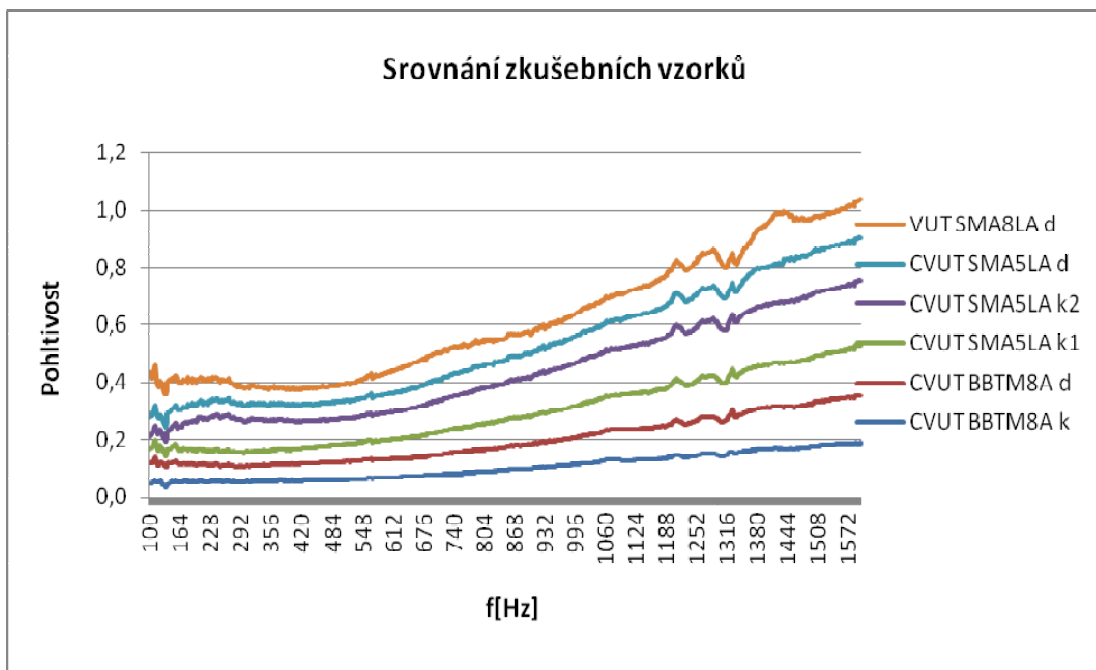
Valentin, J. - Mondschein, P. - Žák, J.: Possibilities of Rolling Noise Reduction by Application of Acoustic Asphalt Mixtures. In *International Scientific Conference C.A.R. 2013*. Bukurešť: CONSPRESS, 2013, p. 977-986. ISBN 978-973-100-290-3.

Seznam použitých zkratk a značek

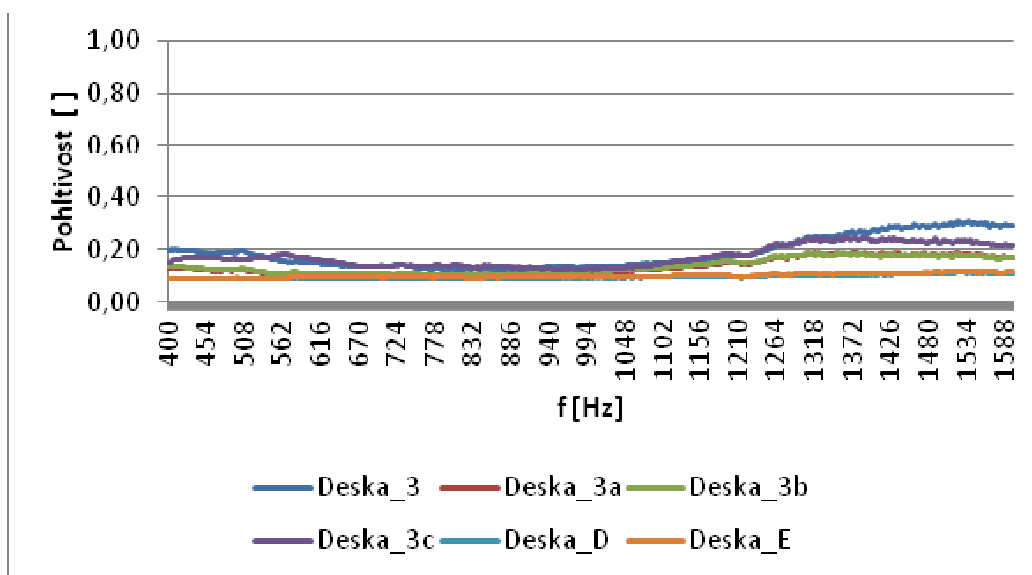
AC	Asphalt Concrete (ACO = asfaltový beton pro obrusnou vrstvu)
BBTM	Bétons bitumineux très minces (asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy)
CEN	Comité Européen de Normalisation (Evropský výbor pro normalizaci)
CPX	Close-ProXimity method
EC	European Commission
LA	Lärmarm (nízkohlučný)
PA	Porous Asphalt (asfaltový koberec drenážní)
ŘSD	Ředitelství silnic a dálnic
SMA	Stone Mastic Asphalt (asfaltový koberec mastixový)
SPB	Statistical Pass-By method
TKP	Technické kvalitativní podmínky
TP	Technické podmínky
j	imaginární jednotka
k	vlnové číslo
l	vzdálenost mezi prvním mikrofonem a přední stranou vzorku (m)
H1	frekvenční přenosová funkce
Hc	korekční frekvenční přenosová funkce
Hc1	přenosová funkce s normální pozicí mikrofónů
Hc2	přenosová funkce s prohozenou pozicí mikrofónů
Hi	frekvenční přenosová funkce spojená se složkou signálu od zdroje
Hr	frekvenční přenosová funkce spojená se složkou odraženého signálu
s	vzdálenost mezi měřicími mikrofony (m)
R	koeficientu odrazivosti
α	činitel zvukové pohltivosti
ϕ_1	fáze kalibrační funkce HC1
ϕ_2	fáze kalibrační funkce HC2
γ	úhel kuželovitého rozšíření (°)
(1)	těleso adaptéru
(2)	impedanční trubice
(3)	povrch vozovky
(4)	přední strana tělesa adaptéru
(5)	zadní strana tělesa adaptéru
(6)	radiální nákrůžek
(7)	drážka v povrchu vozovky
(8)	osazení pro dosednutí konce impedanční trubice
(9)	axiální nákrůžek
(10)	reproduktor
(11)	mikrofon

Příloha A: Příklady vybraných měření

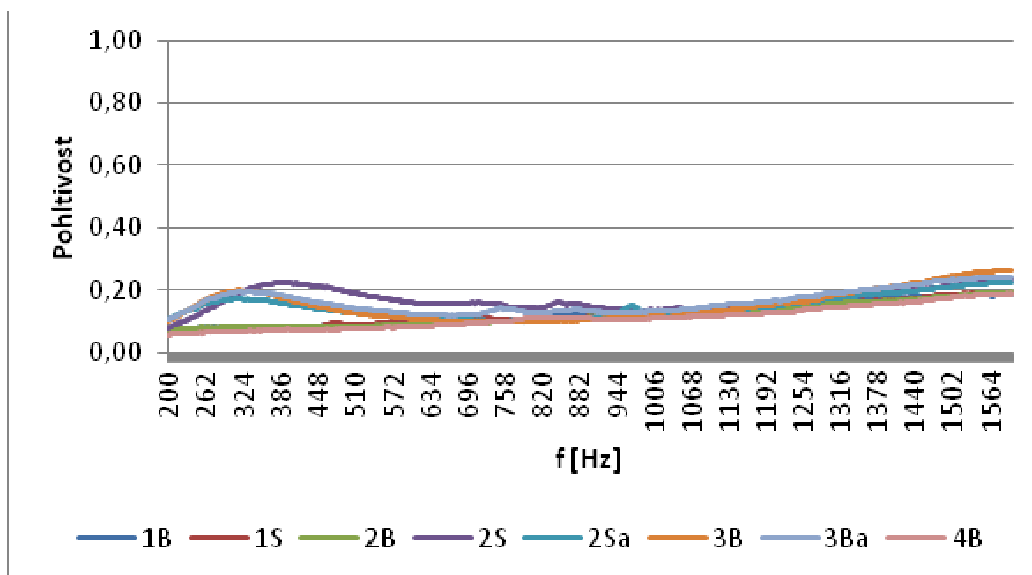
V rámci provedených souborů ověřovaných měření s využitím impedanční trubice a upravených typů vyvinutých nastavců byly posouzeny některé varianty asfaltových směsí rozvíjených a experimentálně posuzovaných v rámci projektu TA02030639. Jednalo se přitom jak o asfaltové směsi upravené technickými normami ČSN EN 13108-2,7 nebo technickými podmínkami TP148 (směsi BBTM nebo PA), tak i o směsi, které nově upravuje Metodika pro návrh, výrobu a provádění akustických asfaltových vrstev. Vlastní měření byla provedena v souladu se zde popsaným metodickým postupem a vyhodnocena. Výsledky provedených srovnání uvádí obrázek A.1 (na obrázku je uplatněno původní označení asfaltových směsí pro akustické asfaltové obrusné vrstvy SMA LA. Nově se jedná o směsi s označením SMA NH). Dále byla provedena opakovaná porovnání pro různé typy geometrie zkušebních vzorků (válcová tělesa a desková tělesa). Ze srovnání grafů při měření kulatých vzorků a deskových vzorků je vidět, že bylo v rámci druhého vyvinutého náhubku dosaženo dobré shody v rámci křivky pohltivosti. Výsledky měření směsi typu SMA 8 LA jsou uvedeny v obrázku A.1 a porovnány s ostatními typy směsí. V tomto obrázku je označení „d“ použito pro desková tělesa a označená „k“ pro válcová Marshallova tělesa, která byla odvrtna z deskových těles (Ø100 mm).



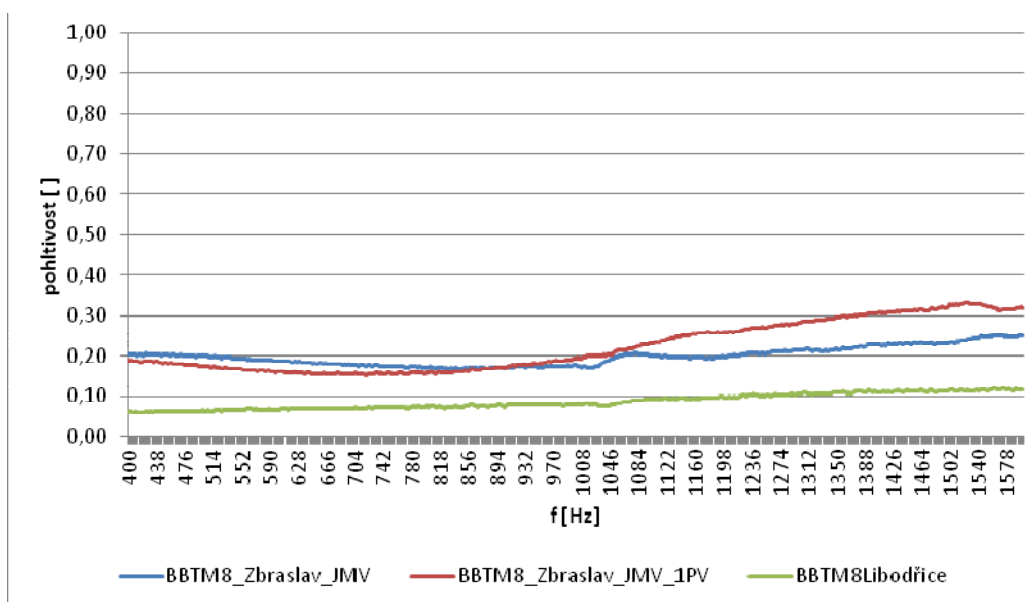
Obrázek A.1: Srovnání akustické pohltivosti několika vzorků se směsí SMA 8 LA (oranžová barva), výsledky 2013



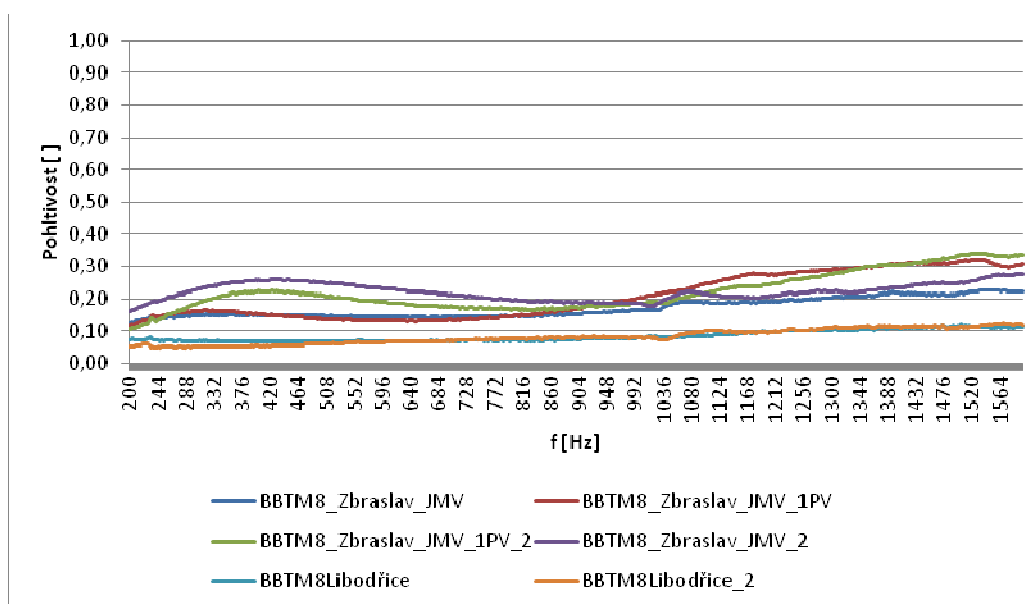
Obrázek A.2: Výsledky měření na vzorcích deskových zkušebních těles, rok 2014 (různé typy směsí SMA NH, deska E pro standardní SMA směs)



Obrázek A.3: Výsledky měření na vzorcích válcových zkušebních těles, rok 2014 (různé typy směsí SMA NH)



Obrázek A.4: Výsledky měření na vzorcích deskových zkušebních těles nízkohlučných variant BBTM směsí, rok 2014



Obrázek A.5: Výsledky měření na vzorcích válcových Marshallových zkušebních těles nízkohlučných variant BBTM směsí, rok 2014