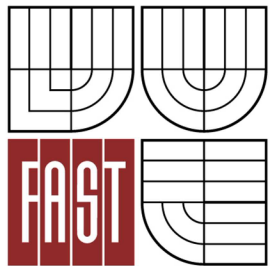




**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STAVEBNÍ**  
**ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ**

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

# VYHODNOCENÍ HLUKOVÝCH EMISÍ PROTIHLUKOVÝCH POVRCHŮ VOZOVEK

EVALUATION OF PAVEMENT SURFACE NOISE REDUCTIONS

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

Martin Mejzlík

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

prof. Ing. JAN KUDRNA, CSc.

BRNO 2012



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

**Studijní program** B3607 Stavební inženýrství  
**Typ studijního programu** Bakalářský studijní program s prezenční formou studia  
**Studijní obor** 3647R013 Konstrukce a dopravní stavby  
**Pracoviště** Ústav pozemních komunikací

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

**Student** Martin Mejzlík

**Název** Vyhodnocení hlukových emisí protihlukových povrchů vozovek

**Vedoucí bakalářské práce** prof. Ing. Jan Kudrna, CSc.

**Datum zadání bakalářské práce** 28. 11. 2011

**Datum odevzdání bakalářské práce** 25. 5. 2012

V Brně dne 28. 11. 2011

.....  
doc. Dr. Ing. Michal Varaus  
Vedoucí ústavu

.....  
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.  
Děkan Fakulty stavební VUT



## **Podklady a literatura**

Dostupná literatura týkající se zadané problematiky

Výsledky měření hlukových emisí na různých površích vozovek

## **Zásady pro vypracování**

Stanovení vlivu různých typů obrusných vrstev na hlukové emise. Vyhodnocení konkrétních měření dopravní hlučnosti

## **Předepsané přílohy**

1. Zadání bakalářské práce
2. Úvod do problematiky dopravní hlučnosti
3. Metodika řešení bakalářské práce
4. Popis a charakteristiky vybraných úseků PK k měření hlučnosti
5. Zpracování výsledků
6. Závěr

Licenční smlouva o zveřejňování vysokoškolských kvalifikačních prací

.....

prof. Ing. Jan Kudrna, CSc.  
Vedoucí bakalářské práce

## **ANOTACE**

Cílem bakalářské práce je seznámit se s problematikou protihlukových povrchů vozovek, analyzovat zdroje hluku při interakci pneumatiky s vozovkou, seznámit se s principy protihlukových koberců a jejich vlastnostmi. Součástí práce je také celkové shrnutí metod používaných pro měření hluku z rozhraní pneumatika/vozovka a vyhodnocení některých dosud provedených měření na realizovaných úsecích s protihlukovými kryty. Hlavním cílem je vyhodnocení měření v Zádveřicích u Zlína.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Dopravní hluk, rozhraní pneumatika/vozovka, hladina hluku, hlukové emise, protihlukový kryt, měření hluku

## **ANNOTATION**

The aim of the bachelor's thesis is to make an introduction to quiet pavements, analyzing the sources of tire/pavement noise, study the principles of this pavement and summarize their properties. This thesis deals with method of measurement tire/pavement noise and evaluate the concrete measurements. The main aim of the thesis is to evaluate measurement in Zádveřice near Zlín.

## **KEYWORDS**

Traffic noise, interaction tire/pavement, sound pressure, noise emission, quiet pavement, measurement of noise

## **Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne .....

.....

podpis autora

Martin Mejzlík

## **Bibliografická citace VŠKP**

MEJZLÍK, Martin. *Vyhodnocení hlukových emisí protihlukových povrchů vozovek*. Brno, 2012.54 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce prof. Ing. Jan Kudrna, CSc..

## **Poděkování:**

*Tímto bych chtěl poděkovat prof. Ing. Janu Kudrnovi, CSc. za odborné vedení, cenné rady a za ochotu věnovat mi čas při konzultacích v průběhu zpracovávání bakalářské práce a svým rodičům za celoživotní podporu při studiu.*

## **OBSAH:**

1. ÚVOD.....	9
2. PROBLEMATIKA DOPRAVNÍHO HLUKU.....	10
2.1 Hluk jako faktor životního prostředí.....	10
2.2 Základní veličiny hluku.....	10
2.3 Mezní hodnoty hluku.....	11
2.4 Hluk z dopravy.....	12
2.5 Zdroje hluku.....	13
2.5.1 Primární zdroje hluku.....	14
2.5.1.1 Adheze (Stick-snap).....	14
2.5.1.2 Náraz dezénového bloku.....	14
2.5.1.3 Air pumping - sání vzduchu.....	15
2.5.1.4 Tření mezi pneumatikou a povrchem.....	15
2.5.2 Sekundární zdroje hluku.....	16
2.5.2.1 Helmholtzovy rezonátory.....	16
2.5.2.2 Efekt trubky (Horn effect).....	16
2.5.2.3 Vibrace kostry pneumatiky.....	17
2.5.2.4 Vnitřní akustická rezonance.....	17
2.5.3 Shrnutí.....	17
2.6 Zdroje hluku z hlediska frekvence.....	18
2.7 Lze automobilový hluk snížit?.....	18
2.7.1 Dopravně-organizační protihluková opatření.....	19
2.7.2 Stavebně-technická protihluková opatření.....	20
3. PRINCIPY PROTIHLUKOVÝCH POVRCHŮ VOZOVEK.....	22
3.1 Porézní asfaltové vozovky (PA).....	22
3.2 Asfaltové koberce pro velmi tenké vrstvy (BBTM).....	24
3.3 Textury pro redukci hluku.....	25
3.4 Poro-elastické povrchy.....	25
3.4.1 Asfaltové směsi modifikované pryžovým granulátem.....	26
3.5 Nátěrové technologie.....	27
3.6 Vymývaný beton.....	28

4. METODY MĚŘENÍ HLUKU Z DOPRAVY.....	29
4.1 Statistical Passby (SPB).....	29
4.2 Controlled Passby (CPB).....	30
4.2.1 Coast-By.....	30
4.3 Close Proximity Methods (CPX).....	31
4.4 Close Proximity Sound Intensity (CPI).....	32
4.5 Metoda měření hluku pomocí časových intervalů.....	33
4.6 Absorpce povrchu.....	33
4.7 Laboratorní měření.....	33
5 REALIZOVANÁ MĚŘENÍ.....	35
5.1 Výsledky měření.....	35
5.2 Ulice Otakara Ševčíka.....	36
5.2.1 Popis úseku.....	36
5.2.2 Vlastní měření.....	37
5.2.3 Výsledky měření metodou CPX.....	37
5.3 Zádveřice - silnice I/49.....	40
5.3.1 Popis úseku.....	40
5.3.2 Výsledky měření metodou CPX.....	41
5.3.3 Výsledky měření metodou SPB.....	42
5.3.4 Histogramy dopravy.....	46
5.3.5 Vyhodnocení.....	48
6. ZÁVĚR.....	50
INFORMAČNÍ ZDROJE.....	51
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	52
SEZNAM TABULEK.....	52
SEZNAM GRAFŮ.....	53
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....	54

# 1. ÚVOD

Problematika dopravního a speciálně automobilového hluku se v poslední době stává stále více a více citlivou záležitostí v podvědomí obyvatelstva. Různé studie po Evropě prokázaly, že až 40% populace na kontinentu je zasaženo zdraví škodlivými hodnotami hluku. Konkrétně například v Praze je takto zasaženo 7,6 % obyvatel tedy přes 90 000 lidí. Proto je nutné se touto problematikou vážně zabývat a hledat možná řešení co se týče snížení emisí hluku, jelikož nynější společnost přirozenou cestou usiluje o neustálé vylepšování kvality života. S nárůstem objemu dopravy souvisí zvýšení hlukových emisí, a proto by se na tento problém mělo myslet při projektování nových komunikací, rekonstrukcích stávajících tras, ale i např. při plánování nových obytných celků či obytných zón.

Pozemní komunikace jsou považovány za liniový zdroj hluku a je třeba jej redukovat. Ne všechny problémy totiž může vyřešit stavba finančně náročného obchvatu či protihlukové stěny. V rámci finančních možností je proto třeba hledat schůdná řešení tohoto problému, která budou proveditelná a ekologicky přijatelná. Při analýze zdrojů dopravního hluku tak přichází pod drobnohled samotný automobil. V posledních letech dosáhly automobilky značných pokroků, co se týče karoserie auta (aerodynamický hluk) a hluku motoru. Podobně jsou na tom pneumatiky, které také prošly znatelným vývojem. Výrobci testují nejrůznější typy směsí a hlavně typy dezénů. Při určitém uspořádání drážek dezénu totiž lze dosáhnout menšího valivého odporu a tím tak snížit hladiny hlučnosti. A zde tedy přichází na řadu protihlukové kryty vozovek a jejich emise hluku, kterým se bude má bakalářská práce věnovat. Možným řešením se stávají tzv. gumoasfaltové porézní kryty. Tato technologie je však stále poměrně mladá, a je tedy otázkou, jak si bude stát při snižování hladin hluku v budoucnu. Nicméně první zkušební úseky a první měření naznačily, že by se mohlo jednat o krok správným směrem vstříc méně hlučným silnicím.[1][14]

## 2. PROBLEMATIKA DOPRAVNÍ HLUČNOSTI

### 2.1 Hluk jako faktor životního prostředí

Hluk se v moderní době stal přirozeným projevem nejrůznějších přírodních jevů a aktivity člověka. Jako hluk by se dal označit každý, pro člověka nežádoucí zvuk, který je jedním z fyzikálních faktorů negativně ovlivňujících lidské zdraví. Vyvolává nepříjemné až rušivé pocity a může být velice nebezpečný. V současné době produkuje hluk spousta činitelů. Patří mezi ně, kromě dopravy, také průmysl či zábava, ale také faktory nezávislé na člověku – proudění vody, proudění vzduchu či nejrůznější projevy fauny.

Zvuk je z hlediska fyziky definován jako mechanické vlnění v rámci vnímání lidského sluchu – frekvence mezi 20 až 20 000 Hz. Nižší frekvence než 20 Hz označujeme jako infrazvuk, vyšší jak 20 kHz jako ultrazvuk. Zvuk se šíří jak vzduchem, tak i pevným či kapalným prostředím, tudíž potřebuje určité látkové prostředí, proto se zvuk nešíří vakuem. Lidský sluch vnímá nejen hlasitost zvuku, ale také jeho výšku a barvu (frekvence).[0]

### 2.2 Základní veličiny hluku

Základním akustickým parametrem pro popis hluku v životním prostředí je ekvivalentní hladina akustického tlaku A (váhový filtr A)  $L_{Aeq}$ . Jednotkou je decibel (dB). Ekvivalentní hladina hluku má logaritmický průběh a stanoví se ze vztahu pro hladinu akustického tlaku ( $L_{pA}$ ). Je vztahena vždy pro určitý časový interval.

$$L_{pA} = 10 \log_{10} \left( \frac{p^2}{p_{ref}^2} \right)$$

$p$ ..... měřený akustický tlak

$p_{ref}$ ..... referenční tlak (pro vzduch  $p_{ref} = 20 \times 10^{-5}$  Pa)

$L_{Amax}$  [dB] - maximální hodnota hladiny akustického tlaku za sledovaný časový interval

$L_{Amin}$  [dB] - minimální hodnota hladiny akustického tlaku za sledovaný časový interval

$L_{AE}$  [dB] - hladina expozice (vztahená k časovému interval 8h)

$L_{AN}$  [dB] - procentní hladina, překročená v N % případů z časového intervalu [2]



## 2.3 Mezní hodnoty hluku

Hluk má významný vliv na zdraví a psychickou pohodu člověka. Všeobecně způsobuje rozdílné reakce na své okolí a to v závislosti na denní době, kdy se v průběhu mění jeho intenzita. Pokud na člověka působí průměrná ekvivalentní hladina hluku ( $L_{Aeq}$ ) v obytných místnostech 25 dB(A) v noci a 35 dB(A) ve dne, lze tvrdit, že nejsou překročeny limity a nedochází tak k žádným zdravotním rizikům. Tyto hodnoty se v průměru zvětšují při otevřených oknech o 10 dB(A). Pokud ekvivalentní hladina hluku  $L_{Aeq}$  překročí ve venkovním prostředí mezní hodnotu (ta je dána nařízením vlády č. 148/2006 Sb.), mohou se začít projevovat negativní vlivy na psychickou a sociální pohodu. Často tak dochází k ovlivnění komunikace mezi lidmi, která je důležitým faktorem vývoje osobnosti. Při další zvyšování hladiny hluku, se postupně mohou projevit i další zdravotní potíže. Hlavní roli už pak nehraje jen intenzita hluku, ale také i jeho doba trvání. Tyto projevy jsou pak doprovázeny nejčastěji poruchami spánku atd. Některé studie dokonce prokázaly, že pokud je člověk vystaven delší dobu hladině hluku přesahující 65 dB(A), zvyšuje se pravděpodobnost vzniku infarktu myokardu. Při tomto hlukovém zatížení je pravděpodobnost vyšší až o 30 %. Při vystavení člověka ekvivalentním hladinám přesahujícím hodnotu 85 dB(A) již vznikají trvalé poruchy sluchu. Největší nebezpečí hlučnosti tkví v tom, že člověk v podstatě nemá proti němu žádné obrané funkce.[8]

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

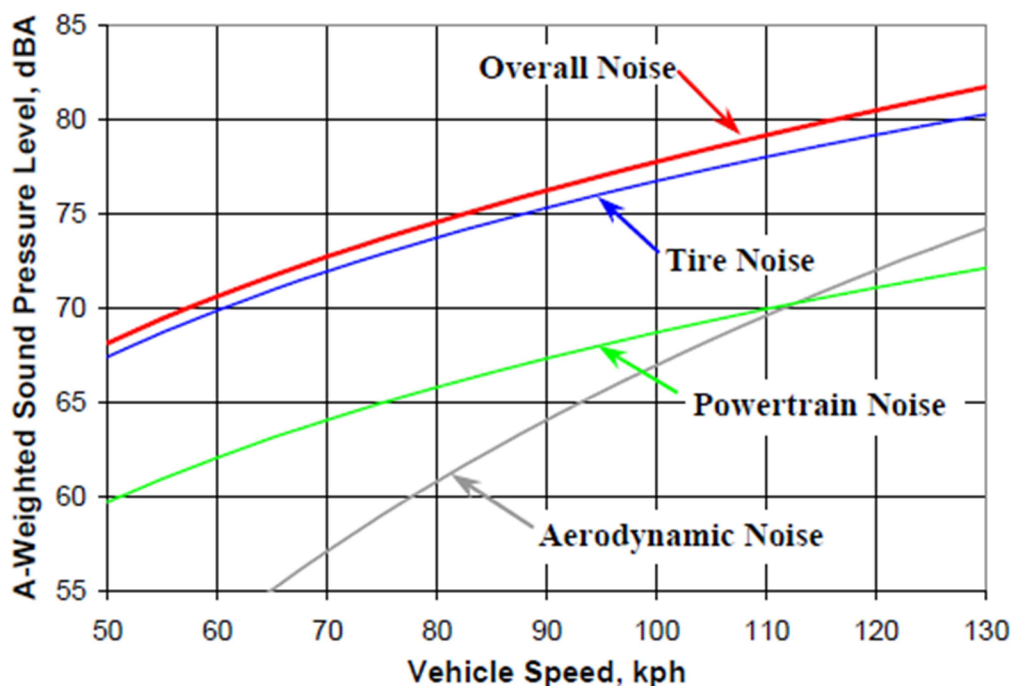
*Tab. 1: Limity pro venkovní hluk dle nařízení vlády [14]*

Pro celkové hlukové emise z dopravy platí v EU předpis na maximální hodnoty, u osobních automobilů 74 dB a u nákladních 80 dB.[14]

## 2.4 Hluk z dopravy

Hluk z dopravy je široký pojem, proto se nadále dělí na hluk z leteckého provozu, kolejový hluk a hluk automobilový. Nás samozřejmě nejvíce zajímá hluk automobilový. Ten se nadále dělí na vnitřní a vnější. Vnitřní hluk lze charakterizovat tak, že jej vytváří nejčastěji motor dopravního prostředku a obtěžuje pouze posádku vozidla. Nejsou na něj kladeny žádné zvláštní požadavky a tak by měl splňovat zejména nezbytnosti spojené s komfortem jízdy a nerušenou komunikací osob. Vnější hluk by měl ovšem splňovat důležitější kritéria, neboť obtěžuje okolí pozemních komunikací (sídliště, domy v městské zástavbě apod.). Vnější hluk tak podléhá přísnějším nárokům daným hygienickými předpisy a normovými podklady, které stanovují maximální hodnoty hladiny akustického tlaku  $L_{Aeq}$  a jsou popsány výše.

Hlavními zdroji hluku v automobilové dopravě jsou pneumatiky, motor vozidla, obtékání vzduchu kolem vozidla, hluk při brzdění a samotná karoserie. Jak už bylo řečeno, velkého pokroku se dosáhlo při snižování hlučnosti hnací jednotky, karoserie vozidla a pneumatik. Ty díky lepšímu uspořádání drážek dezénu mají menší valivý odpor a s tím je spojeno snížení produkce hluku pneumatik a jízda je nesrovnatelně tišší. Pneumatika samotná ovšem není jediným zdrojem hluku. Zvuková energie vzniká při jejím kontaktu s vozovkou a tak se do celé problematiky dopravního hluku dostává vozidlo a jeho rychlost jízdy. Studie prokázaly, že hlavním zdrojem hluku při nízkých rychlostech (osobní automobily do 40 km/h, nákladní do 65 km/h) je hnací jednotka. Tato hranice není ovšem přesně definována. U osobních automobilů se dle typu může tato hranice vyšplhat i k 50 km/h. Při vyšších rychlostech, až do 200 km/h začíná převládat hluk, který produkuje samotná jízda auta, tedy hluk z valení. Je produkován interakcí pneumatiky s vozovkou. Při rychlostech vyšších jak 200 km/h převládá hluk aerodynamický.[1]



Graf. 1: Příspěvky jednotlivých dílčích zdrojů hluku silniční dopravy [2]

Díky zjištění, že při rychlostech nad cca 50 km/h je primárním zdrojem hluku interakce pneumatiky s vozovkou, stalo se toto rozhraní primárním cílem pro redukci automobilového hluku. Tiché kryty vozovek byly tématem diskuse v několika komunitách v USA a byly intenzivně studovány v mnoha zemích Evropy, v Japonsku či Austrálii. Na základě těchto studií bylo zjištěno, že je možné budovat a spravovat vozovky, které jsou tišší než běžné vozovky, ale zároveň také bezpečné, odolné a efektivní z hlediska nákladů.[2]

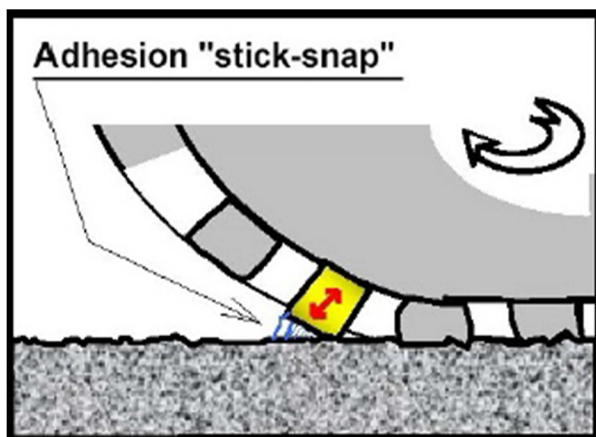
## 2.5 Zdroje hluku

Pokud se soustředíme pouze na hluk z rozhraní pneumatika/vozovka, lze říci, že zde několik mechanismů vytváří energii, kterou je posléze možno definovat jako hluk. Mechanismy, které tento hluk vytváří, označujeme jako primární zdroje hluku. Mechanismy, které hluk pouze zesilují, ale sami ho nevytváří, jsou označeny jako sekundární zdroje hluku.[1]

## 2.5.1 Primární zdroje hluku

### 2.5.1.1 Adheze (Stick-snap)

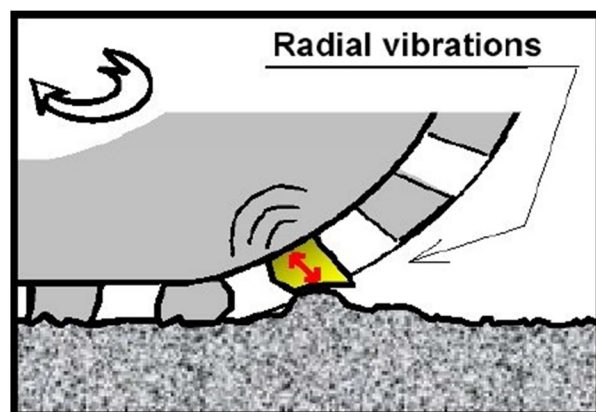
Kontakt mezi dezénovým blokem a vozovkou způsobuje adhezi (přilnavost). Tento jev lze popsat tak, že se pneumatika chová jako „přísavka“. Pokud existuje kontaktní plocha mezi vozovkou a pneumatikou, je dezén přitlačován k vozovce adhezní silou (Obr. 1). Uvolnění bloku dezénu způsobuje zvukovou energii a vibrace kostry pneumatiky.[2]



Obr. 1: Adheze mezi dezénem a vozovkou [2]

### 2.5.1.2 Náraz dezénového bloku

Každý druh pneumatiky si je podobný svou strukturou. Na běhounu kolem celého obvodu bývá pneumatika drážkována, aby byl zajištěn dostatečný odvod vody. Výjimku tvoří pouze závodní pneumatiky, tzv. „slicky“ které dezén nemají. Při jízdě vozidla dochází postupně k nárazu jednotlivých dezénových bloků na nerovný povrch vozovky v tzv. kontaktní zóně a tím se produkuje hluk (Obr. 2).

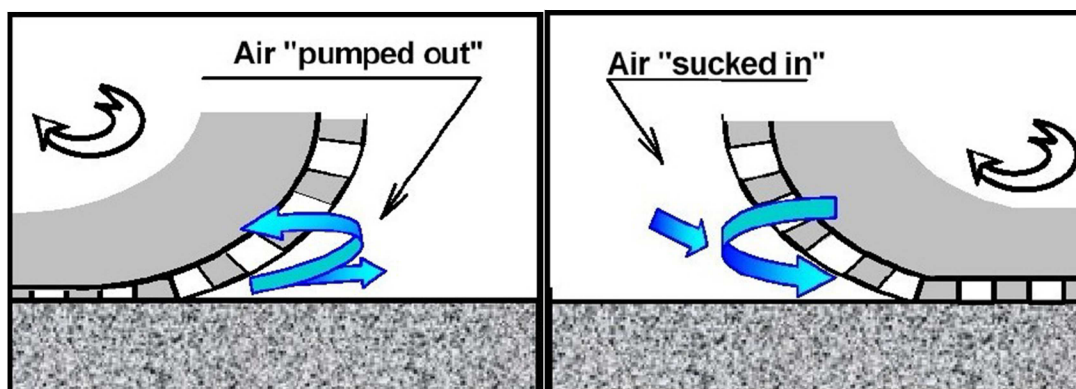


Obr. 2: Vibrace způsobené nárazem dezénového bloku [2]

Nárazem dezénového bloku se celá pneumatika rozvibruje. V případě, kdyby byly oba materiály podobně pružné, hluková energie by se výrazně snížila. Náraz dezénu může být také v některých případech náhodně eliminován a to díky je příznivému uspořádání kameniva. Při jízdě pneumatiky dezénový blok postupně „naráží“ do textury povrchu, tím se rozvibrují bočnice a tak se tvoří hluk o frekvencích 500 až 1 000 Hz. Tento negativní jev lze eliminovat pomocí pružného povrchu s malou velikostí kameniva či vhodnou volbou textury.[1]

### 2.5.1.3 Air pumping – sání vzduchu

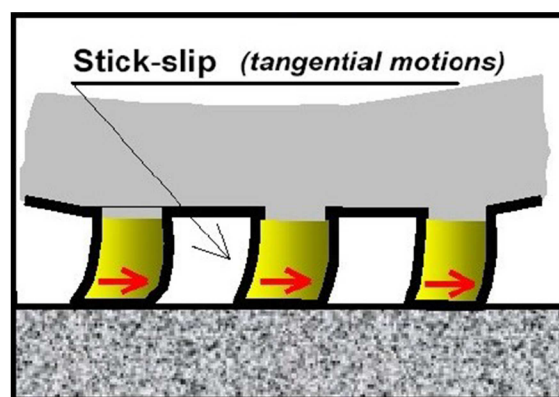
Tento zdroj hluku je svou podstatou podobný jako tleskání rukou. Má dvě fáze – tzv. „pumped out“ neboli vytlačování vzduchu a „sucked in“ neboli nasávání vzduchu. (Obr. 3). Jakmile se pneumatika začne otáčet, dochází na přední straně k vytlačování vzduchu. Pootočením se na zadní straně začne vzduch nasávat. Tímto způsobem je pak generován hluk o vysokých frekvencích (1000 až 2000 Hz). Redukovat tento zdroj můžeme použitím krytu s otevřenou texturou. [1]



Obr. 3: Sání vzduchu pneumatik [2]

### 2.5.1.4 Tření mezi pneumatikou a povrchem (Slip-stick)

Průvodním jevem interakce každých materiálů je tření. Na rozhraní/pneumatika vozovka tomu není jinak. Jelikož je pneumatika zakřivená, snaží se „vyrovnat“ vozovce a přizpůsobit se makrotextuře. Proto dochází ke tření, které označujeme jako hysterezní (Obr. 5). Toto tření má malou hodnotu, ovšem diametrálně se zvyšuje s rozjezdovými či brzdnými silami. Tento jev lze porovnat k pískání bot při sálových sportech. Při snaze o redukci tohoto zdroje rozhoduje typ pneumatiky a její výrobce.[1]



Obr. 4: Tření pneumatiky [2]

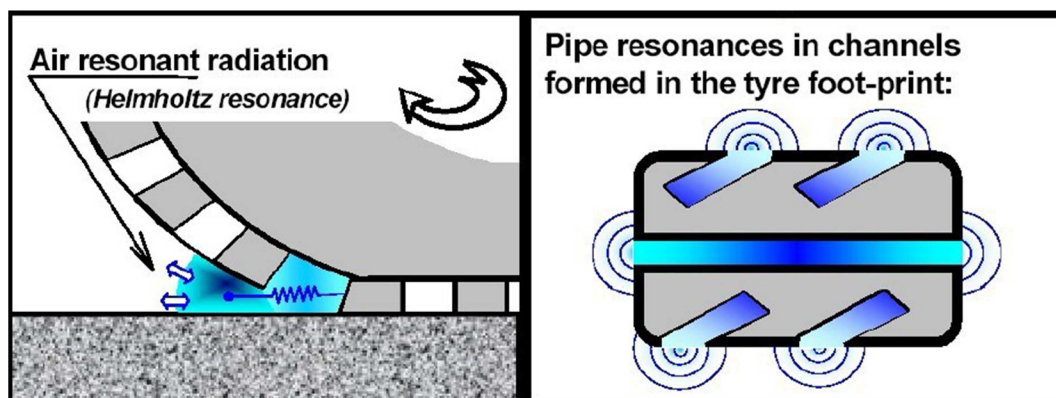


## 2.5.2 Sekundární zdroje hluku (zesilující mechanismy)

V mnoha případech není energie z primárních zdrojů vyzařována efektivně. K zesílení této energie přispívají tedy sekundární zdroje hluku, kdy tyto jevy připomínají „hudební nástroje“.[1]

### 2.5.2.1 Helmholtzovy rezonátory

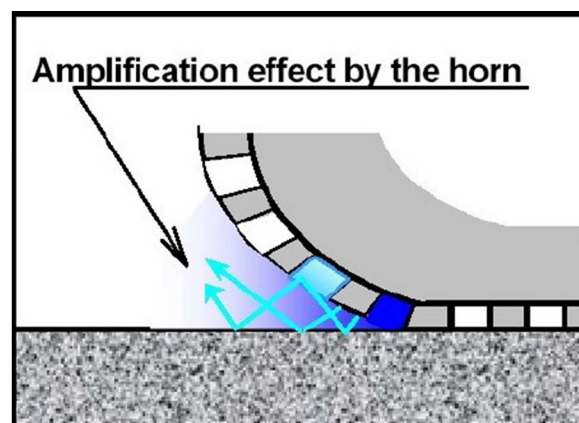
Boční drážky dezénu pneumatiky v kontaktní zóně se díky své tvarové charakteristice chovají jako akustické systémy, které navyšují vyzařování zvuku. Přirovnání se nabízí u systému rezonance varhanních píšťal a Helmholtzových rezonátorů (Obr. 6), které produkují zvuk jako při pískání přes hrdlo lahve.[1]



Obr. 5: Schématické znázornění rezonátoru [2]

### 2.5.2.2 Efekt trubky (Horn effect)

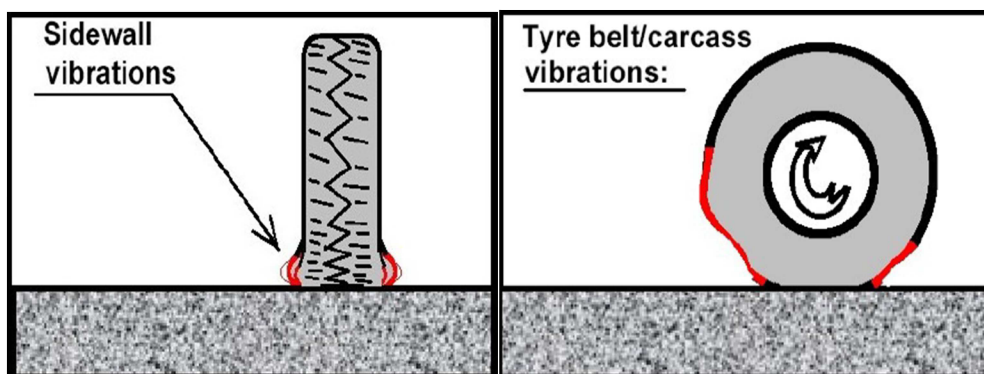
Díky geometrii nad vozovkou je pneumatika svým způsobem malý klakson či malá trubka (Obr. 6). Ačkoliv tvar není klasický a klakson jako takový nemůže být klasifikován jako hudební nástroj, zvuk vytvořený jakýmkoli zdrojovým mechanismem v blízkosti hrdla „klaksonu“ bude díky tomuto efektu zesílen.[2]



Obr. 6: Efekt trubky [2]

### 2.5.2.3 Vibrace kostry pneumatiky

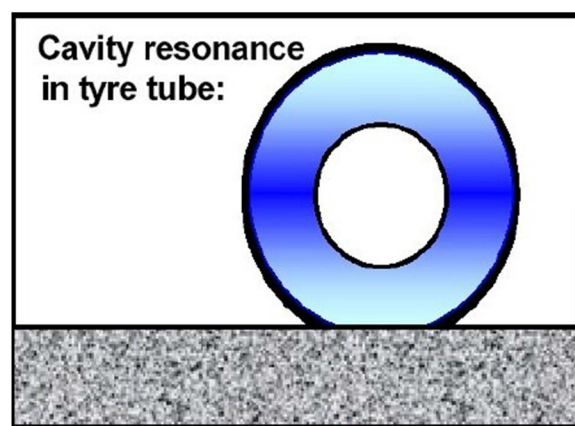
Vibrace vzniklé na styčné ploše mezi pneumatikou a vozovkou se zvyšují s působením kostry pneumatiky. Vibrační vlny se šíří v běhounovém pásu, což je základní konstrukční prvek pneumatiky nacházející se v těsné blízkosti dezénu. Tyto vlny tak vytváří energii, která je vyzařována z kostry kola. Navíc bočnice kostry, v blízkosti kontaktní plochy taktéž vibruje a vytváří hluk (Obr. 7).[2]



Obr. 7: Vibrace kostry pneumatiky [2]

### 2.5.2.4 Vnitřní akustická rezonance

Vzduch uvnitř pneumatiky, který je zde jako výplň, také přispívá ke tvorbě hluku. Při určitých frekvencích spojených s přirozenou frekvencí toroidní vložky uvnitř pneumatiky, vzduch uvnitř pneumatiky rezonuje (Obr. 8). Odezva vzduchu uvnitř pneumatiky je dostatečná, aby tyto rezonance byly slyšitelné.[2]



Obr. 8: Akustická rezonance uvnitř pneumatiky [2]

### 2.5.3 Shrnutí

Problém hluku na rozhraní pneumatika/vozovka je rozčleněn do několika sfér. Všechny čtyři primární zdroje hluku byly shledány jako rozhodující pro určité kombinace vozovky s pneumatikami. Tudíž každý zdroj může dominovat při tvorbě zvukové energie při rozdílných podmínkách, proto je složité rozvíjet strategie, které budou schopné eliminovat zdroje hluku pro všechny případy, jako je například rychlost vozidla či stav vozovky. Navíc, pokud si jsou zdrojové

mechanismy podobné, co se týče jejich síly, strategie potlačit jeden mechanismus nebude mít tak velký efekt na celkový hluk, protože ostatní zdroje se stanou dominantními.

Dále i zesílení zdrojů hluku (sekundární zdroje) komplikují strategie pro dosažení redukce nežádoucího hluku. Příspěvky od sekundárních zdrojů jdou často obtížně rozlišit jeden od druhého, nebo od zdroje záření energie. Tudíž není vždy jasné, který z mechanismů je rozhodující pro určité povrchy a podmínky. Mělo by být také zdůrazněno, že mechanismy pro generování či zesílení hluku z vozovky a pneumatiky jsou přímo zahrnuty v charakteristikách rozhraní pneumatika/vozovka, a mělo by se brát ohled především na požadavky bezpečnosti, trvanlivosti a ceny.

Hluk z rozhraní pneumatika/vozovka je náročným problémem a metody pro jeho eliminaci nejsou prozatím přímočaré a jednoznačné.[2]

## **2.6 Zdroje hluku z hlediska frekvence**

Z pohledu hluku je při pohybu pneumatiky významným činitelem dezén pneumatiky. Z hlediska frekvenčního pásma rozlišujeme dva typy zdrojů – nízkofrekvenční a vysokofrekvenční. Při nízkých frekvencích (500 - 1000 Hz) se nejvýrazněji projevuje vibrace kostry pneumatiky, kdy bočnice naráží na nerovnosti povrchu (textura), rozvibruje se a stává se tak zdrojem hluku. Vibrace lze omezit rovným pružným povrchem s malou použitou frakcí kameniva. V oblasti vysokých frekvencí (1000 – 2000 Hz) dominuje při tvorbě hluku jev, výše zmíněný jako „air-pumping“, neboli sání vzduchu. Při pohybu dochází k natáčení náprav a tím se vtlačuje vzduch na přední hranu kontaktní plochy vozovky a pneumatiky. Naopak na zadní straně je vzduch nasáván. Redukce tohoto jevu je založena na použití krytu s otevřenou strukturou.[1]

## **2.7 Lze automobilový hluk snížit?**

V rámci nejrůznějších studií se tedy nabízí otázka, jak účelně dopravní hluk redukovat. Velkým krokem kupředu v boji proti automobilovému hluku se staly protihlukové kryty. U spousty odborníků se ovšem nesetkaly s kladným ohlasem. Svým způsobem se nejedná o mimořádné vozovky, které vyřeší všechny problémy na silnicích, ale svou strukturou mohou tyto kryty redukovat hladiny hluku v dopravě. Takových krytů je na trhu celá řada a primárně je můžeme rozdělit na tuhé a netuhé protihlukové kryty. Za tuhé kryty se považují cementobetonové a dlážděné, naopak za netuhé různé typy asfaltových koberců. Pro nás jsou zajímavé ty, které

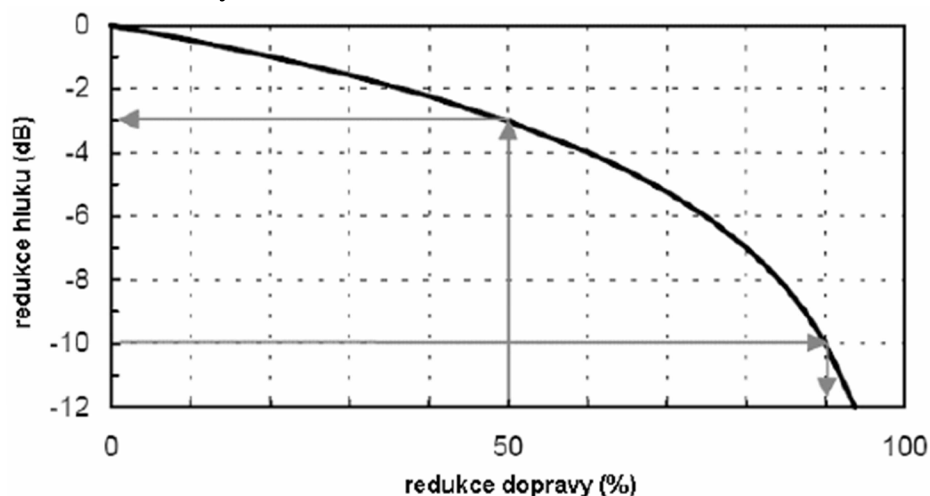


dokážou svou charakteristickou strukturou pohlcovat zvukové vlny šířící se z primárních zdrojů hluku (z jednotlivých vozidel). Mezi základní faktory ovlivňující dopravní hluk, které musí být brány v potaz, patří textura, typ a stáří krytu, protismykové vlastnosti, zda je vozovka ve stoupání či klesání a v neposlední řadě intravilán vs. extravilán.

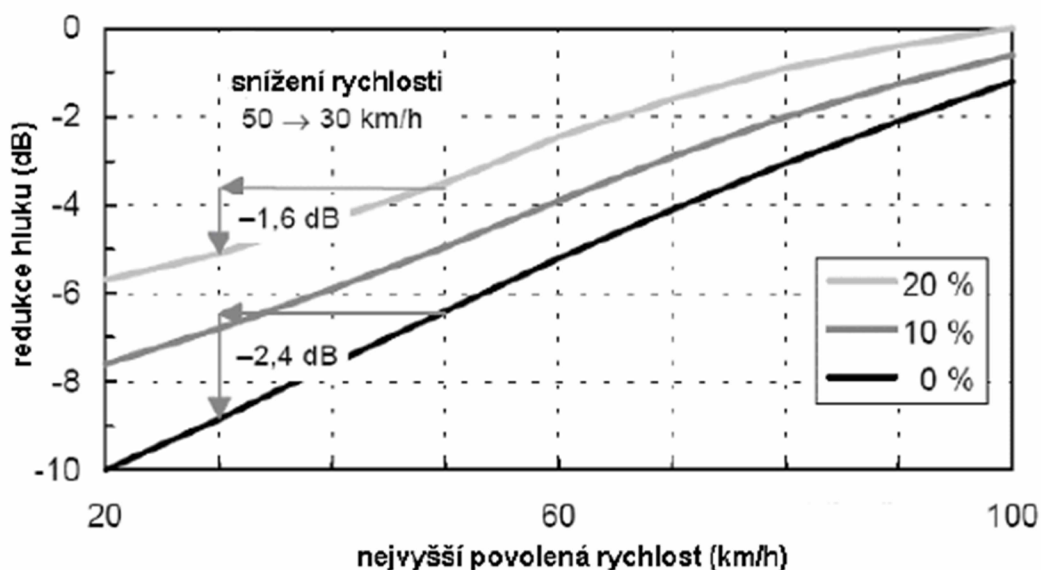
Velmi důležitým činitelem při redukci hluku je mezerovitost povrchu. Na tuto redukci se nesmíme dívat jako na samostatnou záležitost, vždy je třeba brát v úvahu i další vlastnosti vozovky, např. protismykové vlastnosti. Proto je vždy nutné veškeré úpravy monitorovat z více stran. Většinou platí, že jednotlivé úpravy zlepšující protismykové vlastnosti, naopak negativně ovlivňují hlukovou pohltivost krytů, u cementobetonových krytů zejména striáž. Neodmyslitelným činitelem je také stáří vozovek. Jednotlivé protihlukové kryty jsou neustále vyvíjeny a modernizovány, z tohoto důvodu je velmi složité nízkohlučné koberce detailně porovnávat co se týká redukce hluku. Je tedy nezbytné uvádět i další doplňující údaje, jako je například datum pokládky. Jeden z nejvýznamnějších protihlukových krytů je asfaltový koberec drenážní, který se provádí jako jednovrstvý či dvouvrstvý. Nízkohlučné cementobetonové kryty jsou ve značné nevýhodě díky své struktuře, ale i tak tyto kryty vykazují z posledních studií lepší protihlukové vlastnosti se stejně starým asfaltovým kobercem mastixovým.[1]

### 2.7.1 Dopravně-organizační protihluková opatření

Prvním možným řešením snižování hluku z dopravy jsou dopravně-organizační protihluková opatření, kdy se nejdůležitějšími činiteli při snižování hluku stávají společně vliv intenzity dopravy a vliv rychlosti. Lepší organizací dopravy lze dosáhnout menších hlukových emisí – snaha o odvedení tranzitní nákladní dopravy z center měst, obchvaty, upřednostnění MHD atd. Z grafu 1 lze vyčíst, že při snížení intenzity na 50%, lze docílit snížení hlučnosti asi o 3 dB.[6]



Graf 2: Závislost intenzity dopravy na produkci hluku [6]



Graf 3: Závislost rychlosti dopravy na produkci hluku [6]

### 2.7.2 Stavebně-technická protihluková opatření

Z pohledu stavebně technického je k dispozici mnoho variant jak snižovat hluk. V poslední době se v České republice velmi rozšířilo budování protihlukových stěn. Je ovšem na uvážení, jestli je ve všech případech výstavba těchto stěn nejefektivnějším a nejekonomičtějším řešením při redukci hlukové zátěže. Obecně se přistupuje k protihlukovým stavebním úpravám dvěma způsoby – aktivní a pasivní opatření. Ve většině vyspělých zemí by se měl upřednostňovat aktivní systém.

Ve druhém případě, při pasivních opatřeních, se provádí úpravy na budovách – zesílení prosklení, hlukové izolace atd. Tyto úpravy se logicky neupřednostňují, jelikož hluk se řeší primárně u zdroje a ne u uživatele. Do aktivních systémů redukci hluku spadá např. vedení trasy v zářezu, tunelu, výsadba zeleně či zvýšení vzdálenosti trasy pozemních komunikací od chráněných objektů. Při stavebně-technických opatřeních tak přichází na řadu možnost hlubšího využití protihlukových povrchů vozovek.[7]

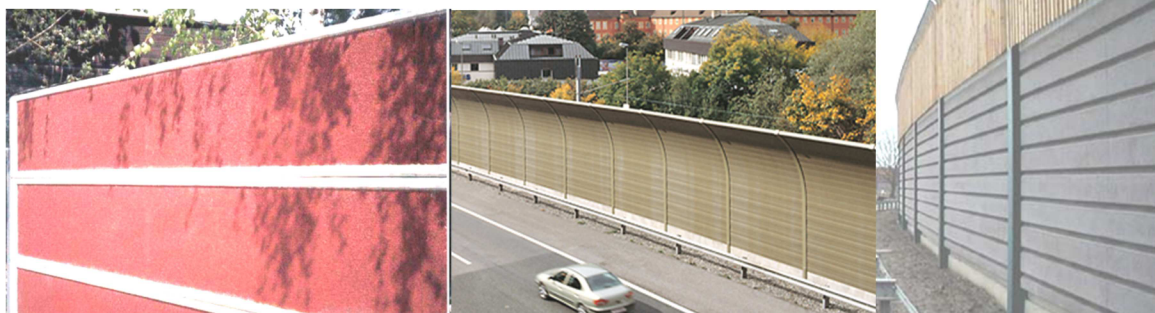
## Typy protihlukových stěn:

- Panely LIADUR (nízké, vysoké a rovné profily)
  - možné redukce hluku – nízké 8 dB, vysoké 11 dB, rovné 4 - 8 dB



*Obr. 9: Ukázka různých protihlukových stěn typu LIADUR [9]*

- Panely z recyklované pryže – redukce až 7 dB
- Hliníkové zakřivené panely – redukce až 9dB
- Dřevěné s výplní – redukce až 11 dB [9]



*Obr. 10: Protihlukové stěny z pryže, hliníku a dřeva [9]*

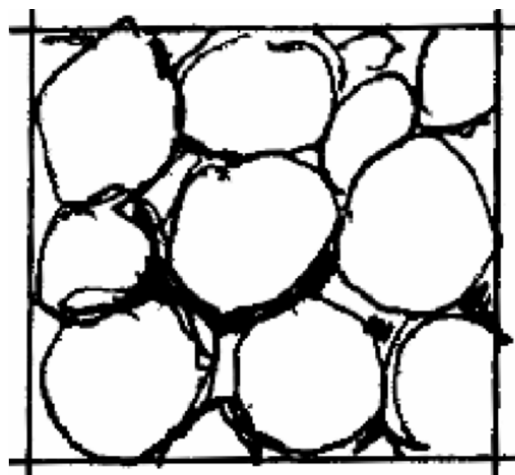
### 3. PRINCIPY PROTIHLUKOVÝCH KRYTŮ VOZOVEK

V současné době existuje několik technologických zásad při navrhování povrchů vozovek, které by se posléze daly označit jako protihlukové či nízkohlučné. Každý návrh by měl brát ohled na to, zda je komunikace v intravilánu či extravilánu. V extravilánu v zásadě neexistují žádné limitující podmínky pro aplikaci nízkohlučných koberců. V intravilánu je však situace jiná a to hlavně z důvodu vlastních okrajových podmínek komunikace. Ty jsou dány možnostmi pokládky, pravděpodobnostmi dalších výkopů a překopů v důsledku oprav např. inženýrských sítí a také i odlišnou dopravní situací, např. změna směru jízdy. V případě těchto pozemních komunikací se tak dá použít upravená textura, která je méně náchylná k mechanickému poškození.[7]

#### 3.1 Porézní asfaltové vozovky (PA)

Porézní asfaltové kryty jsou konstruovány pro redukování hluku použitím množství malého kameniva ve vrstvě tak, že vozovka není plně kompaktní - vznikají póry. Na obrázku je znázorněna pórovitost asfaltové vozovky, pokud je použito kamenivo větší frakce.

Obr. 11: Typická struktura porézního asfaltového krytu [2]



Obecně porézní asfaltové kryty redukuje hluk pohybující se frekvencí kolem nad 800 Hz, což je hodnota, na kterou je lidské ucho velice citlivé. Největší pórovitost se u asfaltových krytů pohybuje mezi hodnotami 18 – 25%. Z primárních zdrojů hluku porézní kryty nejvíce redukuje tzv. sání vzduchu, kdy póry potlačují kompresy vzduchu. Dále póry velmi příznivě ovlivňují redukcí sekundárních zdrojů - Helmholtzovy rezonátory či trubkový efekt.

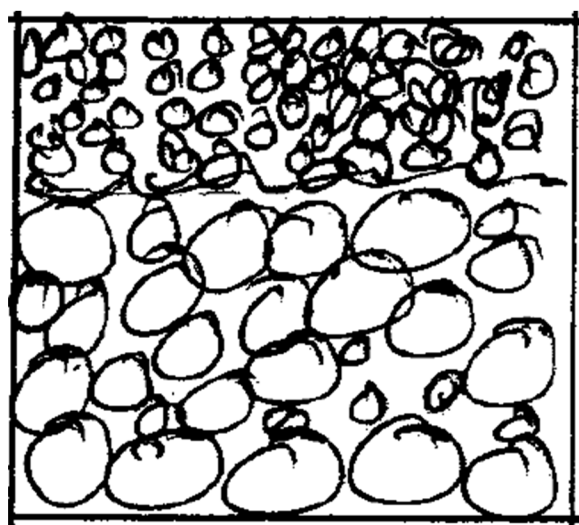
Tyto kryty jsou také schopné snižovat hluk druhou svou dobrou vlastností. Tou je absorbování hluku, kdy se zvuková energie od krytu neodrazí, ale je částečně pohlcena. Tyto absorpční vlastnosti jsou na stejném principu, jako mají zvukové izolace v budovách. Jelikož je hluk z rozhraní pneumatika/vozovka generován velice blízko povrchu krytu, nemusí být pohlcování hluku nejvýznamnějším činitelem při všeobecném snižování hladiny hluku. Ovšem pro nákladní vozidla a všeobecně pro nadměrná vozidla, s významnými zdroji zvukové energie pod karoserií,

jako je např. hluk od motoru, může být tato absorpční vlastnost významným faktem při redukci hluku.

Třetí význačnou vlastností porézních krytů je jejich skvělá drenážní schopnost. Tedy jejich schopnost dobře odvádět srážkovou vodu z povrchu krytu, kdy je póry odváděna do podkladních vrstev a odtud dále nepropustnou vrstvou pryč z oblasti zemního tělesa.

Existují však obavy ze dvou problémů spojenými s porézními asfalty. První je dlouhodobá ztráta redukce hluku, kvůli ucpání pórů pískem, štěrkem a dalšími nečistotami spojenými s provozem na takto stavěných pozemních komunikacích. Druhým problémem jsou horší protismykové vlastnosti při námrazách.

Proti problému zanášení krytu nečistotami se bojuje v Evropě výstavbou dvouvrstvého systému porézních krytů (Obr. 11). Zde se ovšem doporučuje omezit použití těchto krytů pro silnice s vysokými návrhovými rychlostmi, neboť mají tendenci se samočistit stlačeným vzduchem od jedoucích pneumatik (Pumping effect) a může tak být znečišťováno okolí vozovky. Při návrhu dvouvrstvého krytu by měla vrchní vrstva sloužit jako síto a chránit nižší vrstvu proti zanesení velkými zrny písku či štěrku. Nižší vrstva by se měla navrhovat jako vysoce porézní.[2]



Obr. 12: Typická struktura dvouvrstvého krytu [2]

Zimní údržba porézních asfaltů s sebou nese také problémy. Nejpoužívanější materiál údržby – sůl, propadává krytem do nižších vrstev a neplní tak svoji funkci. Tento problém může být vyřešen použitím vlhčených solí či solných vod. Kvůli obavám z finančně nákladné údržby některé země omezily používání porézních asfaltů pouze na oblasti, kde nehrozí výrazné namrzání vozovky.

Dalším negativem těchto koberců je jejich jiná technologie provádění a oprav než u běžných asfaltových povrchů.

Mezi nejčastěji využívané porézní asfalty v České republice patří asfaltový koberec drenážní (PA) jednovrstvý či dvouvrstvý.[2]



Obr. 13: Porovnání odvodnění porézního koberce a cementobetonového [4]

### 3.2 Asfaltové koberce pro velmi tenké vrstvy (BBTM)

Pro omezení negativ porézních asfaltů při zimních teplotách, se v Evropě vyvíjí asfaltové povrchy vozovek s nižší pórovitostí (asi 9 %) s malým, vysoce kvalitním agregátem. Jako tento agregát se většinou používá kamenivo s maximální velikosti 10 mm či dokonce 6 mm. Poréznosti je dosaženo použitím agregátu s přerušenu čarou zrnitosti (určité velikostní částice z velké části, nebo zcela chybí). Materiál tvoří vhodnou výplň tak, že hotový povrch vozovky se snadno a dobře vypořádává se srážkovou vodou. Pro maximální velikost frakce 6 mm se přidává kamenivo maximální velikosti 2-4 mm, pro vrstvy s kamenivem maximální frakce 10 mm pak částice velikosti 4-6 mm. Celková tloušťka vrstvy se pohybuje v rozmezí 15 až 25 mm, což je v porovnání s klasickými asfaltovými povrchy méně (např. SMA11 - 40mm). Tloušťka je závislá na maximální velikosti frakce kameniva použitého pro vrstvu. Toto malé kamenivo také inklinuje k vytvoření povrchu s velmi malou charakteristickou texturou, menší než 10 mm. Pórovitost, která je relativně nízká, je stále efektivní pro redukci vysokofrekvenčního hluku z dopravy.

Typické hodnoty redukcí hluku asfaltových koberců pro velmi tenké vrstvy se pohybují kolem 2-3 dB v porovnání s klasickými asfaltovými koberci (ACO). První testy ovšem neprokázaly žádné výrazné redukce hluku. Tento typ vozovky je totiž svým složením velmi podobný asfaltovým povrchům s použitou malou frakcí kameniva – SMA 8 (protihlukový), které jsou hojně využíváné v Evropě.[2]



Název směsi	Zkratka	ČSN EN	Mezerovitost %	Hlučnost dB(A)
Asfaltový koberec mastixový	SMA 11	13108-5	3 až 5	±0
Asfaltový koberec mastixový protihlukový	SMA 8	13108-5	6 až 10	-1 až -2
Asfaltový koberec pro velmi tenké vrstvy	BBTM 8	13108-2	11 až 15	-2 až -3
Asfaltový koberec drenážní	PA A 8	13108-7	14 až 18	-3 až -4
Asfaltový koberec drenážní	PA B 8	13108-7	20 až 24	-4 až -6
Asfaltový koberec drenážní, dvouvrstvový	PA B 8 + PA B 11	13108-7	20 až 24	-6 až -9

Tab. 2: Srovnání teoretických hodnot hlučnosti různých asfaltových kobereců [9]

### 3.3 Textury pro redukci hluku

Textura je důležitým elementem každého typu vozovky ke zvýšení tření za deště. Ovšem to s sebou přináší i negativa. Při vyšších texturách, 10 mm a více, náraz dezénového bloku vede k produkci hluku. Proto je třeba najít vhodný kompromis. Nicméně některé textury jiných velikostí a typu vedou i tak k produkci hluku, často velice významných hodnot. Lokální textury hloubky přibližně 3 mm (které dosahují průměrných hodnot někdy i kolem 1 mm) se ukazují jako dostatečné k dosažení alespoň mírné redukce hluku.

Pro asfaltové vozovky je textura vedlejším produktem materiálu, který je použit. Návrh textury je umožněn správnou volbou velikosti frakce použitého kameniva a celkovým uspořádáním kameniva ve vozovce. Tmely a další techniky k redukci textury a vytvoření povrchu hladkého v mikrotextrálním měřítku, zvýší produkci hluku v interakci pneumatika/vozovka.[2]

### 3.4 Poro-elastické povrchy

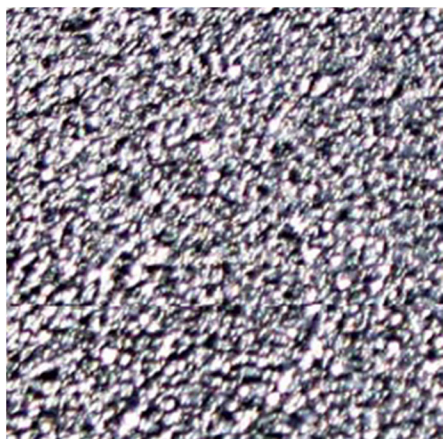
Naše dosavadní znalosti zdrojů generování hluku a zesilování hluku vedou k řešením, které zahrnují výzkum povrchů, které budou elastické a akusticky propustné. Elasticita prvku vede k redukci hluku z mechanických zdrojů. Akusticky propustné povrchy redukují zdroje aerodynamického hluku, odraz hluku a eliminují sekundární zdroje hluku, tedy zesilující mechanismy. Několik zkušebních vzorků bylo vyvinuto k dosažení ideálních charakteristik. Tyto povrchy jsou výrazně tišší než současné vozovky vyráběné klasickou technologií, nicméně mnoho

z těchto prozatímních laboratorních řešení nejsou zcela připraveny pro jejich širší využití, primárně pro jejich omezenou trvanlivost a únosnost.

Je zde také možnost využití asfaltových krytů s drcenou gumou. Tyto směsi byly primárně vyvíjeny spíše se snahou o snazší recyklaci vozovek než se záměrem útlumu hluku. Nicméně některé z těchto směsí prokazovaly pozoruhodné schopnosti redukce hlukových emisí.

Ministerstvo dopravy v Arizoně objevilo široké využití pro směs zvanou Asphaltic Rubber Friction Course (ARFC). Tento povrch má otevřenou texturu a chová se jako porézní vozovka. Tyto povrchy měly jedny z nejnižších naměřených hladin hluku ze všech stávajících povrchů ve Spojených státech. Tento materiál a taky materiály jemu podobné jsou v současné době zkoumány v dlouhodobých studiích za účelem zjistit, zda budou schopné splňovat požadavky ceny, bezpečnosti a trvanlivosti.[2]

### 3.4.1 Asfaltové směsi modifikované pryžovým granulátem (CRmB)



Také České republice byl představen druh asfaltové směsi, kdy je asfaltové pojivo modifikováno pryžovým granulátem a používá se jak při výstavbě, tak i údržbě či opravách pozemních komunikací, dopravních ploch či zpevněných krajnic.

*Obr. 14: Typická struktura gumoasfaltového koberce [4]*

Pryžový granulát - odpadní pryž zbavená příměsí kordu a upravená mechanicky drcením a mletím, popř. kalandrováním

Vrstva z hutněné asfaltové směsi se vyznačuje tím, že se granulovaná, mletá nebo jinak upravená pryž z ojetých pneumatik přidává do silničního asfaltu v míchacím zařízení, kde modifikuje vlastnosti asfaltu a takto připravený modifikovaný asfalt se používá pro výrobu asfaltových směsí. Ve směsi je možné použít vyšší obsah pojiva.[3]

Asfaltové pojivo modifikované pryžovým granulátem tak příznivě ovlivňuje vlastnosti asfaltového koberce. Zahraniční výzkum gumoasfaltů prokázal, že u těchto modifikovaných vrstev lze snížit tloušťku oproti běžně užívaným asfaltovým kobercům, při zachování stejné životnosti. Důvodem tohoto faktu je, že gumoasfalty mají větší odolnost proti únavě, stárnutí a trvalým deformacím. Z doposud realizovaných studií bylo zjištěno, že náklady na údržbu a opravu vozovky



jsou nižší než u běžných krytů. Plusem je také možnost jeho následné recyklace (opětovné využití). Také díky mezerovitosti tohoto asfaltového koberce se znatelně snižuje hladina hluku (absorpce) a zabraňuje vytváření vodní clony při dešti. Menší nevýhodou těchto asfaltů je jeho energetická a ekologická náročnost, kdy při zabudování granulátu je potřeba přídavné míchací zařízení. Tyto směsi jsou také obecně hůře zpracovatelné.[5]

Další výhodou asfaltového koberce s pojivem modifikovaným pryžovým granulátem je jeho nesporná ekologičnost. Většina ojetých pneumatik se v České republice využívá pouze energeticky jako přídavné palivo a jen malá část z milionů již z dopravy vyřazených pneumatik se po zpracování stává materiálovou surovinou k další produkci. Vozovky s tímto povrchem budou mít i výrazně nižší náklady na údržbu a opravy.

Jako gumoasfalty lze použít všechny typy asfaltových směsí – PA, ACL, SMA, BBTM. Tyto směsi vyžadují menší obsah jemného a drobného kameniva a tak je možno vyrobit směsi v celé škále mezerovitosti:

- Asfaltový koberec drenážní – PA8 - mezerovitost 14 % - 22%
- Asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy – BBTM - mezerovitost 11 % - 15 %, 7 - 10%
- Asfaltový beton obrusný – ACO 11S - mezerovitost 3 % až 5 %
- Asfaltový koberec mastixový SMA 11S - mezerovitost 2,5 % až 4,5 % [4]



Obr. 15: Ukázka odvodnění gumoasfaltového koberce drenážního (PA 8 CRmB) [4]

### 3.5 Nátěrové technologie

Nátěrovou technologií se prováděly úpravy zejména na betonových vozovkách a spolu s drenážním kobercem byly společně dříve používány výhradně pro přistávací dráhy letištních ploch. Drenážní koberec byl užíván pro jeho dobré odvodňovací schopnosti jako povrch snižující riziko aquaplaningu a nátěry byly vyvíjeny za účelem zlepšení protismykových vlastností povrchu. Co se týče redukce hluku, použití úzké frakce kameniva při nátěru vede k omezení vlivu oscilace

pneumatiky a také ke snížení „air-pumping“ efektu. Nátěrové technologie nemají vzhledem ke svým malým tloušťkám a celkovým principem provedení zásadní drenážní funkci.[8]

### **3.6 Vymývaný beton**

Cementobetonové vozovky jsou obecně charakteristické, že při testech vykazují obecně vyšší emise hluku. Vhodnou úpravou povrchové vrstvy však lze docílit lepších akustických vlastností. Použitím hladící lišty došlo k prvnímu vylepšení makrotextury a mikrotextury, kdy hladící lišta urovnávala příčné zvlnění vozovky vznikajícím za kladečím rámem finišeru.

Pro zlepšení vlastností podélné textury se v poslední době v řadě z případů použito, pro finální úpravy vozovky, technologie vlečené juty. Bylo prokázáno, že tato technologie také zvyšuje redukovaní hluku z dopravy. Ovšem z důvodů relativně malé odolnosti proti ohladitelnosti se vlečená juta začíná vytrácet. Proto se začala vyvíjet další technologie – vymývaný beton, kdy se na čerstvý kryt nastříkává zpomalovač tuhnutí, který působí do maximální hloubky 2 mm. Posléze, aby bylo zamezeno přílišnému odpařování, se celý povrch překrývá vhodnou fólií, která se pak odstraňuje cca po 24-30 hodinách od pokládky. Následuje speciální kartáčování, čímž se vytváří struktura vymývaného betonu. Co se týče akustických vlastností, tak hlavním přínosem je snížení vlivu oscilace pneumatiky.[8]

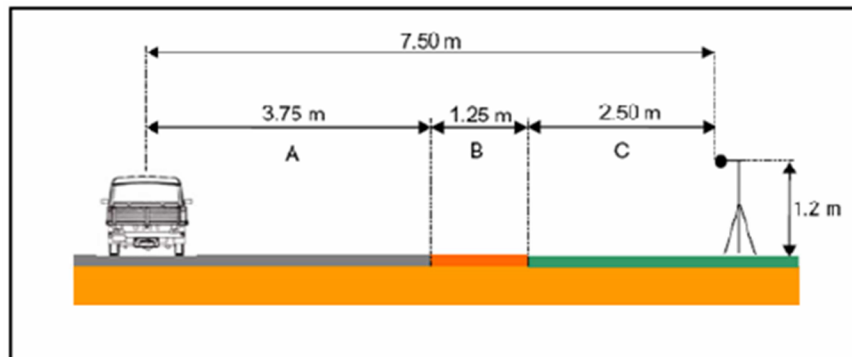
## 4. METODY MĚŘENÍ HLUKU Z DOPRAVY

Za účelem vyhodnotit redukce hluku konkrétního povrchu vozovky je nezbytné provést spolehlivá akustická měření. Žádná z měřících metod není natolik univerzální, aby mohla být použita za jakékoli situace. Proto je třeba měřící metodu vhodně zvolit. Všechny tyto metody mají přesně specifikované detaily měření a jsou předepsány v měřících standardech a technických předpisech. Z hlediska použití se v Evropě nejvíce používají metody SPB a CPX.[2]

### 4.1 Statistical Passby (SPB)

Při metodě SPB projíždí náhodné vozidla na testovaném úseku a měřící zařízení zachytává každé vozidlo zvlášť. Radarem se zaznamenává rychlost vozidla a jeho druh (nákladní, osobní, jednostopé). Hladiny akustického tlaku jsou měřeny mikrofonom. Následně se počítá normalizovaná hladina hluku pro referenční rychlosti – osobní automobily 50,80 a 110 km/h, nákladní 50,70,85 km/h. Pro evropské standardy je mikrofون umístěn 7,5 m, dle amerických norem 50 stop, od osy jízdního pruhu a 1,2 m nad povrchem. Data jsou pak počítačově zpracována a výsledkem je Statistical Passby Index (SPBI). Tato hodnota pak bývá použita pro porovnání různých povrchů vozovek.

Detaily mezinárodních standardů metody SPB jsou specifikovány v normě ISO 11819-1. Tato metoda bývá používána pro obecnější studie povrchů vozovek.



Obr. 16: Schéma SPB metody měření hluku [6]

Měření metodou SPB zahrnuje všechny aspekty dopravního hluku, včetně motoru a aerodynamického hluku. Pro měření SPB musí být dopravní proud usměrněn tak, aby kolem měřícího zařízení projelo pouze jedno vozidlo ve stejném směru. Místo pro usazení mikrofону nutno náležitě zvolit tak, aby měření nebylo negativně ovlivněno okolním hlukem. Chyba při měření může nastat při nevhodně zvoleném terénu, kdy se může hluk odrážet. V zásadě by měly být hodnoty okolního rušení menší o 10 dB než hluk od měřené dopravy. Příklad účelně zvoleného místa je znázorněn na obrázku 17.[2]



*Obr. 17: Příklad vhodně zvoleného měřícího místa [2]*

## **4.2 Controlled Passby (CPB)**

Metoda CPB má stejné počáteční nastavení jako metoda SPB. Rozdíl je pouze v tom, že je testována pouze dvojice vozidel (malý a velký) s vybranými pneumatikami (na každé vozidlo dvě sady). Vozidla jsou testována na určitém úseku mimo dopravní proud a jedou kontrolovanou, předem stanovenou rychlostí kolem měřícího zařízení. Měří se maximální hladina hluku, která může být v některých případech zvýšena projetím vozidla blíže k mikrofonu. Alternativy povrchů pak bývají porovnávány skrz každé vozidlo a rychlost. Ve Spojených státech neexistuje jednotná úprava pro tuto měřící metodu, ovšem v evropských zemích se vyvíjí standardizace pro EU a možná také ISO, založená na francouzské národní normě. CPB se používá pro stanovení detailních studií různých druhů povrchů.

Oproti metodě SPB, která by měla trvat přesně jednu hodinu, je výhodou CPB méně časově náročná. Nevýhodou CPB je to, že díky nízké rozmanitosti vozidel (na rozdíl od SPB), může být výsledné hodnocení méně vypovídající. Podmínky pro měření metodou CPB jsou shodné jako pro metodu SPB a je příhodné, aby byla měřena za venkovských podmínek, či na zkušební dráze.[2]

### **4.2.1 Coast-By (CB)**

Drobnou modifikací CPB je měřící metoda CB. Rozdíl je v tom, že při CB metodě mívá mikrofon vozidlo s vypnutým motorem. Měří se opět maximální hladina hluku, ze které se dále stanoví hladina hluku pro referenční rychlosti. Tyto rychlosti jsou stejné pro metodu CB a CPB, 80 Km/h pro osobní automobily a 70 Km/h pro nákladní.[6]

### 4.3 Close Proximity Methods (CPX)

Metoda CPX byla vyvinuta tak, že se měření soustředí výhradně na hluk z interakce pneumatiky s vozovkou. Detaily CPX metody jsou popsány v normě ISO/CD 11819-2. Měřící zařízení je umístěno na přívěsu za autem, kde je jeden či více mikrofonů umístěno co nejbližší pneumatice. Tento přívěs obsahuje kryt, který tyto mikrofony překrývá a díky tomu je omezen aerodynamický hluk a hluk z okolní dopravy se od tohoto krytu odráží. Tudíž měření CPX může být provedeno při klasickém provozu na pozemních komunikacích. Pro měření se používají referenční rychlosti 50, 80 a 110 Km/h a pro tyto hodnoty je zaznamenávána průměrná hladina akustického tlaku.[2]



Obr. 18: Měřící zařízení na přívěsu za vozidlem [6]

Na pneumatiky jsou kladeny určité požadavky. Je doporučeno, aby nebyla pneumatika zcela nová a měla by být pojížděna minimálně 100 km před prvním měřením. Statické zatížení na pneumatiku by mělo být dle standardů 3200 kN ( $\pm 200$  kN) a měla by být nahuštěna na hodnotu 170 kPa ( $\pm 10$  kPa).

Důležitým činitelem při měření CPX metodou je vhodná volba úseku. V zásadě existují 4 parametry pro správný výběr měřeného úseku.

1. Délka úseku – doporučuje se minimální délka 200 m, pro dosažení referenční rychlosti je také zapotřebí dostatečná rozjezdová vzdálenost, stejně tak by měla být dodržena bezpečná brzdňá dráha. Celkový měřený úsek by měl mít délku cca 500 m. Nesmí se zapomenout také na prostor pro otočení vozidla a osazení aparatury
2. Podélný sklon úseku – nemělo by se volit úseků ve stoupání, aby měření nebylo ovlivněno hlukem motoru. Je vhodné zvolit rovinné území-
3. Stav vozovky – místo, kde pneumatika je vozovka pojížděna, by mělo být až do vzdálenosti 0,5 m od bočnice kola čisté a suché, také by měl být povrch bez výtluků, nerovností či trhlin, zbaven šterku a nánosů bláta.



4. Intravilán vs. Extravilán – extravilánové komunikace umožňují větší měřicí rychlosti, ovšem nenabízí tolik možností k otáčení vozidla. Intravilánové komunikace zato disponují velkým dopravním zatížením a dobrými podmínkami pro otáčení vozidel.[7]

Výhodou měření CPX je fakt, že tato je metoda relativně rychlá. Je také možné hodnoty hluku odečítat přímo v okamžiku měření. Nicméně mírnou nevýhodou je to, že metoda CPX je standardizována pro limitovaný počet pneumatik stejné váhy a velikosti. Přesný druh vozidla, který by měl provádět tato měření, není stanoven. Metoda je založena na terénních měřeních. Terénní měření může být ovšem obtížné pro normované zdroje hluku o nízkých frekvencích. Navíc pro toto měření by měla být přesně stanovena korelace mezi naměřenými hodnotami, a cestou hluku mezi postranním měřicím zařízením a pneumatikou. Pro místa s hluk absorbujícími povrchy vozovek, může být tento vliv na měření významný.[2]

Výstupem metody CPX bývá nejčastěji závislost frekvenčního spektra na hladině hlučnosti, či konkrétní stanovení ekvivalentní hladiny hlučnosti.

#### 4.4 Close Proximity Sound Intensity (CPI)

Měření intenzity hluku je sofistikovanější metoda měření, než stanovení hladiny akustického tlaku. Intenzita je síla zvuku stanovená na jednotku plochy a je obecně citlivější funkcí, než akustický tlak. Navíc díky měření intenzity hluku jsme schopni zjistit zesilující mechanismy hluku v okolí jeho zdroje.



*Obr. 19: Zavěšený mikrofon při metodě CPI [2]*

Měření metodou CPI je stejné jako CPX. Zařízení měřící intenzitu je zavěšeno velmi blízko pneumatice. Při měření metodou CPI, není nutno zakrývat měřicí zařízení krytem pro redukci aerodynamického hluku. Měření může být uskutečněno při klasickém dopravním zatížení a při běžných rychlostech. Velkou výhodou je, že studie konkrétního druhu vozovky a jeho stavu může být vytvořena velice rychle. Nevýhodou tohoto měřicího aparátu je, že je mu přizpůsobeno pouze na málo vozidel.[2]

## 4.5 Metoda měření hluku pomocí časových intervalů

Při vysoké hustotě dopravy mohou být metody SPB a CPX použity jen velmi omezeně. Jelikož jednotlivé akustické impulzy projíždějících vozidel nejsou dokonale odděleny. Pro takové případy se používá metod stanovení hluku za časový interval. Tímto měřením stanovíme hodnoty akustického tlaku, z nichž stanovíme ekvivalentní hladinu akustického tlaku  $L_{Aeq}$ . Podobně jako u metody SPB by měření nemělo být ovlivněno okolním hlukem, jehož maximální hladina by měla být minimálně o 10 dB menší ve srovnání s hlukem dopravního proudu. Při této metodě měření se rovněž zaznamenává hlučnost, rychlost a druh vozidla. Někdy bývají doplňujícím údajem meteorologické podmínky.

Tyto metody měření se často používají pro zhodnocení vlivu času na akustické charakteristiky dálničních povrchů.[2]

## 4.6 Absorpce povrchu

Protože většina zdrojů a zesilujících mechanismů hluku je závislá na akustických vlastnostech daného povrchu, je měření těchto vlastností velice důležité. Ideální postup pro zjišťování akustických vlastností povrchů je stále ve vývoji. Ovšem pro stanovení absorpce povrchu se již využívá některých měření *in situ* – jádrové vývrty a následné laboratorní zkoušky, či metody založené na zkoumání odporu vozovky proti proudění vzduchu, což velice úzce souvisí s celkovou vlastností vozovky absorbovat hluk.[2]

## 4.7 Laboratorní měření

Laboratorní výzkum pneumatik pro všechny druhy mechanických problémů, včetně trvanlivosti a protismykových vlastností se provádí nejčastěji metodou točících se bubnů (rolling drums). Tyto bubny jsou vyrobeny tak, aby byla k dispozici pro testovací pojezd pneumatiky co nejdelší rovná plocha, díky tomu je dosaženo větší realističnosti výzkumu. Odstředivé síly limitují použití realistických povrchů na točícím se bubnu. Pro simulaci textury povrchu, jsou bubny pokryty replikou povrchu vozovky vyrobeného z epoxidu. Bubny mají poloměr od 1 až do 15 m, a jsou použity pro studie hluku z rozhraní pneumatika/vozovka.

Výzkum používaných povrchů se tak provádí na testovací zařízení TPTA (Tire/Pavement Test Apparatus). To vyvinuto tak, aby byla možná montáž reálného povrchu na stabilní aparát kruhového typu. Poloměr takového TPTA zařízení se pohybuje kolem 4 metrů. Používá se zatížení až 1000 liber (cca 500 kg) a rychlost maximálně 30 Mp/h (cca 50 Km/h). [2]



*Obr. 20: Testovací zařízení TPTA [2]*



## 5. REALIZOVANÁ MĚŘENÍ

### 5.1 Výsledky měření

Jedny z prvních gumoasfaltových krytů zrnitosti do 8 mm v České republice byly položeny v Praze, v ulici Michelská či Poděbradská. Dále pak pokusný úsek Černošice - Solopisky, nebo dvouvrstvá oprava silnice I/18 Bohutín - Láz. Ty byly, společně i s ulicí Otakara Ševčíka v Brně (která bude rozebrána podrobněji), podrobeny důkladným měřením metodou CPX. Měřené destinace byly pracovní rozděleny do 3 skupin - A, B a C

Skupina A - intravilán, asfaltové koberce

Úsek 1 - ulice Michelská Praha - Krč, směr Jižní spojka PA8 CRmB, pokládka 11/2008  
směr Michle ACO11, pokládka 12/2008

Úsek 2 - rampy MÚK Kytín R4, PA8 CRmB, pokládka 11/2009

Úsek 3 - silnice I/18 průtah obcí Bohutín, PA8 CRmB, pokládka 11/2009

Úsek 4 - ulice Poděbradská Praha - Vysočany, 1 - PA8 CRmB klesání, pokládka 6/2010  
2 - PA8 CRmB stoupání, pokládka 9/2010  
3 - ACO16 stoupání souběžně s 1

		SKUPINA A					
Rychlost [km/h]	Úsek 1		Úsek 2	Úsek 3	Úsek 4		
	PA8 CRmB	SMA11	PA8 CRmB	PA8 CRmB	PA8 CRmB	PA CRmB	ACO16
50	88	90	85	85	87	86	91

Tab. 3: Porovnání hladin hlučnosti  $L_{Aeq}$  intravilánových komunikací [7]

Z pohledu intravilánových komunikací porézní kryty naplnily očekávání v podobě snížení hladiny hlučnosti. Zejména pak úseky 2 a 3, kde byly naměřeny v porovnání s asfaltovými betony nižší hodnoty o 5 dB. Jen na úseku 1 nebyly naměřeny tak příznivé hodnoty, kdy vlivem několika faktorů došlo ke snížení akustických vlastností. Jedním z vlivů mohlo být to, že nebylo dosažené požadované mezerovitosti krytu, ta se pohybovala mezi 12 - 16%. Dalším faktorem mohla být etapizace výstavby, kdy vlivem pracovních spár mohlo dojít ke zvýšení hluku.

Skupina B - extravilán, asfaltové koberce

Úsek 5 - Dálnice D2, km 28,0 – 25,0, směr Brno, SMA11, pokládka 1996

Úsek 6 - Dálnice D8, km 14,0 – 15,0, směr Tábor, SMA11, pokládka 1996

Úsek 7 - Silnice R43, km 4,5 – 4,7, směr Brno, PA16 CRmB, pokládka 2002

### Skupina C - extravilán, cementobetonové koberce

Úsek 8 - Dálnice D1, km 211,034 – 229,675, směr Brno, CB – juta, pokládka 1992

Úsek 9 - Dálnice D1, km 138,0 – 139,0, směr Brno, CB – striáž, pokládka 1977

Úsek 10 - R1, oba pásy, CB - negativní textura s příčnými drážkami, pokládka 07/2010

Rychlost [km/h]	SKUPINA B			SKUPINA C		
	Úsek 5	Úsek 6	Úsek 7	Úsek 8	Úsek 9	Úsek 10
	SMA11	SMA11	PA16 CRmB	CB - juta	CB - striáž	CB - negativní textura
80	96	98	99	95	98	98
110	101	102	104	101	103	103

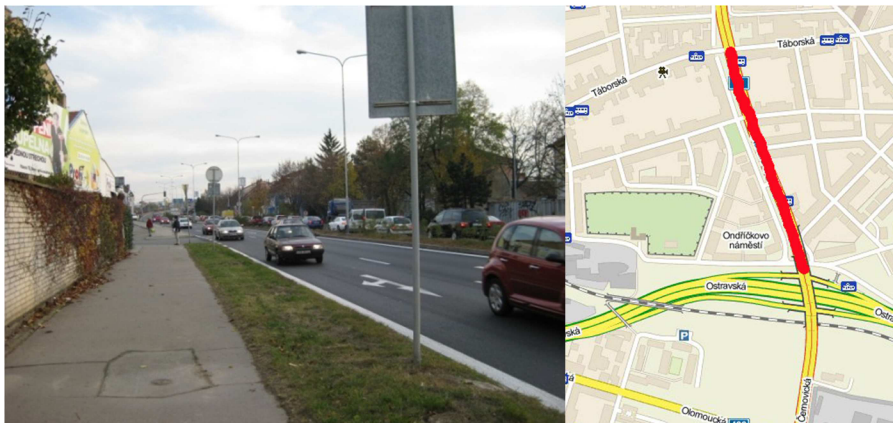
Tab. 4: Porovnání hladin hlučnosti  $L_{Aeq}$  extravilánových komunikací [7]

Při měření v extravilánu vykazoval překvapivě dobré výsledky cementobetonový kryt na úseku 8 upravovaný vlečenou jutou. Naopak velmi negativní akustické vlastnosti projevil úsek s cementobetonovým krytem upravovaný technologií negativní textury s příčnými drážkami.[7]

## 5.2 Ulice Otakara Ševčíka - Brno

### 5.2.1 Popis úseku

V rámci studií města Brna za účelem hledání možností jak snížit hluk od dopravy, byla v ulici Otakara Ševčíka pokusně realizována vrstva PA 8 CRmB. Zájmový úsek se nachází v městské části Židenice. Jedná se o dvoupruhovou, silně zatíženou místní sběrnou komunikaci, směrově rozdělenou. Pokládka předešlého koberce (ACO) byla v letech 1987-1988. Nový koberec byl položen v srpnu roku 2010. Délka zkoumaného úseku byla cca 500 m (od křižovatky s ulicí Ostravskou po křižovatku s ulicí Tábořskou). Měření bylo provedeno metodami CPX i SPB.[10]



Obr. 21: Ulice Otakara Ševčíka [10]

## 5.2.2 Vlastní měření

Měření bylo provedeno na zájmovém úseku před realizací PA 8 a také po realizaci protihlukového krytu. Během obou těchto měření bylo nezbytné zjistit intenzity dopravy a to v obou směrech. Byly vybrány dva měřící body MB1 a MB2. Oba byly umístěny blíže křížení s ulicí Ostravskou. Měřeno bylo celkem dvanáct intervalů po 15 minutách, z nichž se následně vyjádřily průměrné hodnoty ekvivalentních hladin akustického tlaku ( $L_{Aeq}$ ) pro časový interval 3 hodiny a celkové součty intenzity dopravy. (Tab. 5)

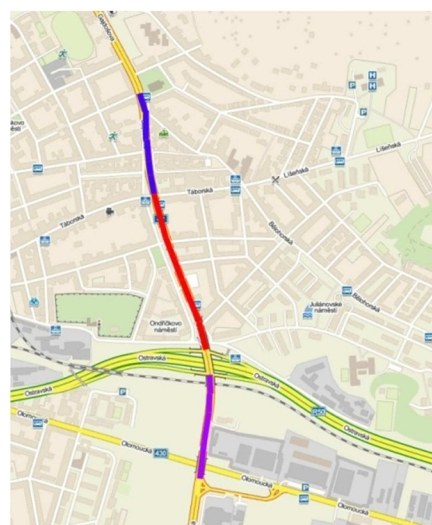
Čas	$L_{Aeq}$ /dB/		OA		LNA		NA	
	MB1	MB2	směr B	směr OI	směr B	směr OI	směr B	směr OI
průměr před	73.1	71.3	212	276	38	40	30	26
			488		78		56	
průměr po	70.9	66.7	239	253	25	51	20	36
			492		76		56	
rozdíl před - po	2.2	4.6	-26	23	14	-11	10	-10
			-4		2		0	

Tab. 5: Celkové shrnutí měření  $L_{Aeq}$  [15]

Z pohledu snížení hlučnosti, byly při obou měřeních (MB1, MB2) naměřeny pozitivní hodnoty. Z výsledků zapsaných v tabulce je patrné, že pokládkou nového koberce poklesly emise hluku z dopravy o 2,2 resp. 4,6 dB. Menší z těchto dvou hodnot si lze vysvětlit tím, že měřící zařízení bylo umístěno při úseku s mírným stoupáním, a proto zde sehrál roli hluk z motoru. Celkově tak poklesl hluk na tomto úseku o 3,4 dB.[15]

## 5.2.3 Výsledky měření metodou CPX

Měřilo se celkem dvakrát v obou směrech, přičemž byly zahrnuty i přilehlé úseky se staršími asfaltovými koberci. Hodnoty referenčních rychlostí se zvolily 50 a 60 km/h. Měřící jízdy se provedly pro asfaltový beton obrusný ACO16 v ulici Černovická (úsek 1-B), dále na ulici Gajdošova (úsek 1-A) kde je položen asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy BBTM 8C, který byl před cca 10 lety opatřen emulzní kalovou krycí vrstvou a samozřejmě pro nově položený koberec PA8 (mezilehlý úsek). Pokud to dopravní situace umožňovala, měřilo se v obou pruzích.[10]



Obr. 22: Rozdělení měřené komunikace na úseky [10]

Metodou CPX se stanovily hladiny akustického tlaku pro obě referenční rychlosti. Mohou se tak porovnat všechny 3 asfaltové koberce.

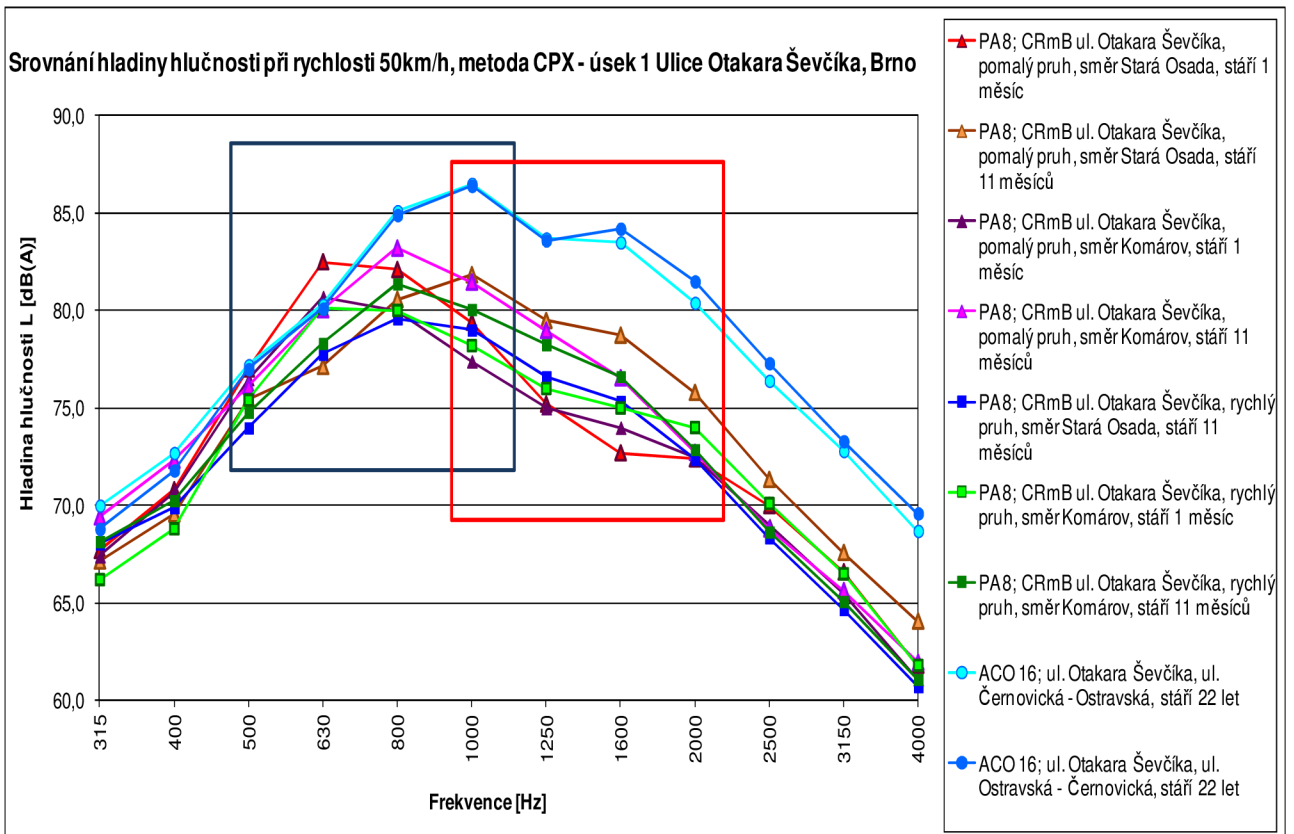
Rychlost [km/h]	Úsek 1										
	Datum měření CPX	Směr Stará Osada ul. Ostravská - Tábořská					Směr Komárov ul. Tábořská - Ostravská				
		Úsek 1 - A		Úsek 1		1-B	Úsek 1 - A		Úsek 1		1-B
		BBTM 8 C		PA 8, CRmB		ACO 16	BBTM 8 C		PA 8, CRmB		ACO 16
Pomalý pruh	Rychlý pruh	Pomalý pruh	Rychlý pruh	Pomalý pruh	Rychlý pruh		Pomalý pruh	Rychlý pruh			
50	19. 9. 2010	x <sup>1)</sup>		88	x <sup>1)</sup>	92	x <sup>1)</sup>		86	87	92
	16. 7. 2011	88	90	88	86	89	89	89	89	87	90
60	19. 9. 2010	x <sup>1)</sup>		90	88	94	x <sup>1)</sup>		89	89	95
	16. 7. 2011	91	92	91	89	93	91	92	91	89	92
1) Měření nebylo provedeno.											

Tab 6: Ekvivalentní hladiny  $L_{Aeq}$  [ dB (A) ] pro rychlost 50 a 60 km/h [10]

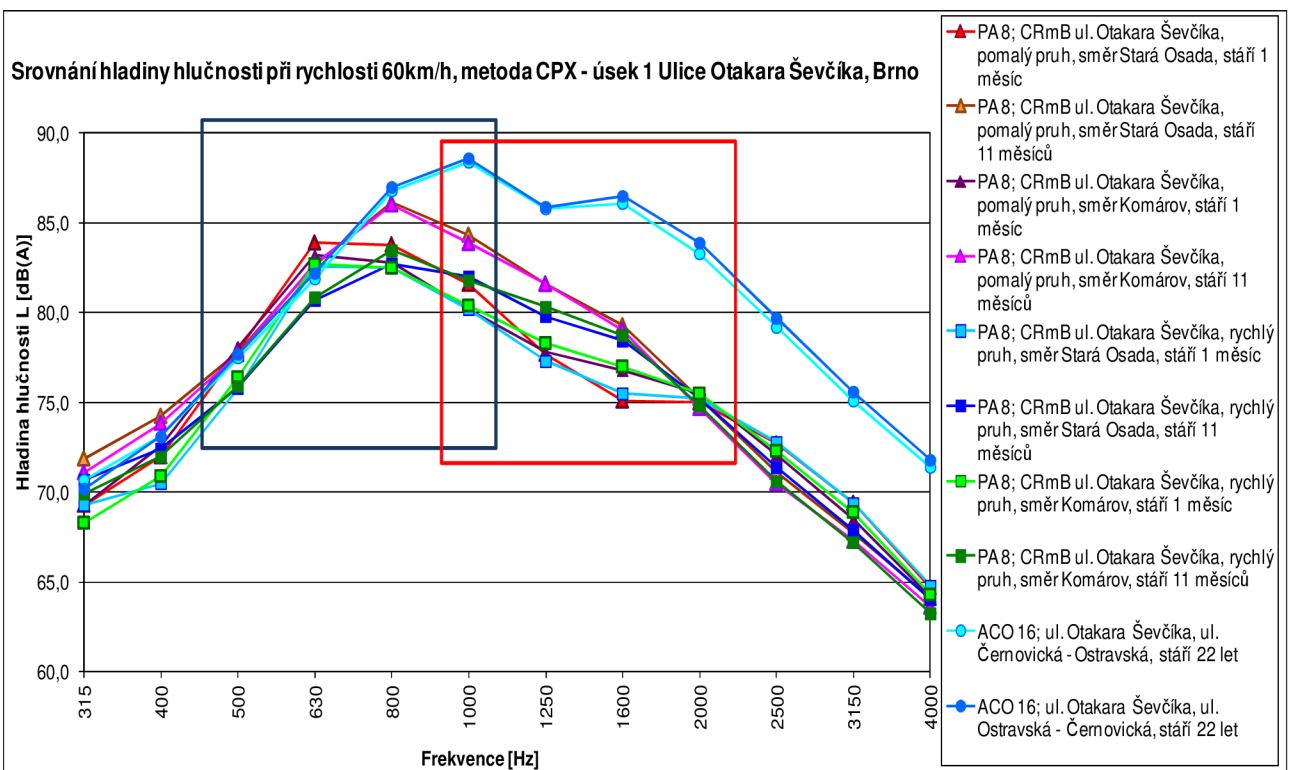
V grafech 4 a 5 jsou zobrazeny pro 2 referenční rychlosti závislosti frekvenčních spekter na hladinách hlučnosti pro ACO16 a PA8. Modrým čtvercem je charakterizován frekvenční rozsah 500 - 1000 Hz, zde jako zdroj hluku převládá náraz dezénového bloku. Červeným čtvercem jsou označeny oblasti 1000 - 2000 Hz, zde převládá hluk z „air-pumping“ efektu, tedy sání vzduchu. Pozornost by se měla věnovat hodnotám při 1000 Hz (průnik čtverců) a více. Toto je již zmiňovaná hranice, kdy začíná být hluk pro lidský organismus nepříjemný.

Z těchto grafů pro frekvenční spektra, sestavených při měření metodou CPX, vyplývá, že v zájmové oblasti (1000 Hz) vykazuje znatelně nižší hlukové emise PA8 než ACO16. Konkrétní hodnoty snížení hlučnosti PA8 se pohybují mezi 8 - 10 dB při referenční rychlosti 50 km/h a mezi 8 - 12 dB při rychlosti 60 km/h. V rámci druhého měření byly zjištěny poklesy tlumící schopnosti u PA8, a to zejména díky ucpání vzduchových bublin nejružnějšími nečistotami a tím snížení poréznosti. Rozdíl mezi hladinami hluku se tak zmenšil na rozmezí 4 - 6 dB pro 50 km/h a 5 - 6 pro 60 km/h. V rámci porovnávání ekvivalentních hladin akustického tlaku  $L_{Aeq}$  mezi PA8, BBTM a ACO16 byly naměřeny také pozitivní hodnoty (viz.tab), nicméně se zde také projevilo znečištění koberce, zvláště pak u pomalého pruhu.[10]





Graf 4: Závislost hladiny hloučnosti na frekvenčních spektrech,  $v=50$  km/h [10]



Graf 5: Závislost hladiny hloučnosti na frekvenčních spektrech,  $v=60$  km/h [10]

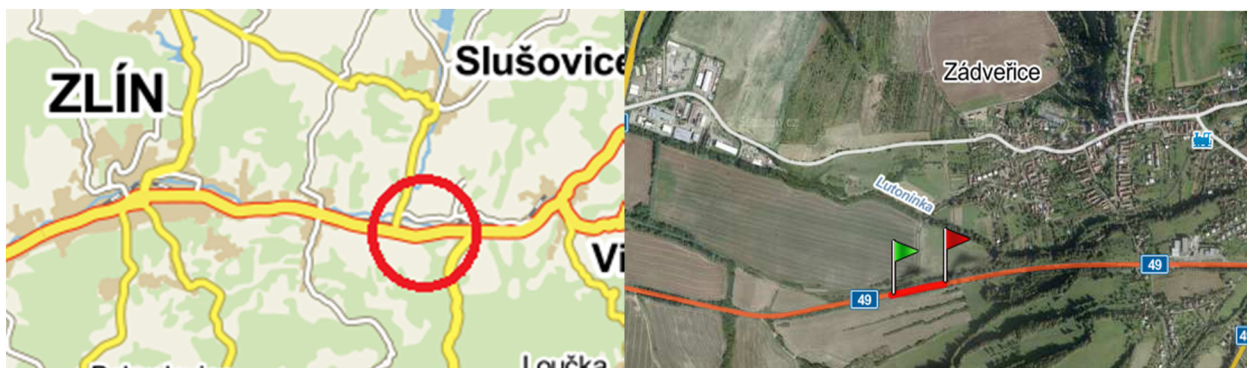
## 5.3 Zádveřice – silnice I/49

### 5.3.1 Popis úseku

Měření bylo uskutečněno v dubnu 2012 na silnici I/49 mezi Zlínem a Vizovicemi, typ pozemní komunikace je S11,5/80. Měření proběhlo nedaleko vesnice Zádveřice, kde byl na přelomu října a listopadu 2011 pokusně realizován asfaltový koberec drenážní PA8 s asfaltovým pojivem modifikovaným pryžovým granulátem (CRmB). Délka krytu z PA8 CRmB je asi 230 m. Tento úsek se stal první frekventovanou silnicí první třídy o návrhové rychlosti vyšší než 50 km/h, na němž byl tento asfaltový koberec položen a testován. Měření bylo prováděno v porovnání se sousedními povrchy. Byly použity metody CPX i SPB.[11]



Obr. 23: Asfaltový koberec u Zádveřic [12]



Obr. 24: Situační umístění asfaltového koberce drenážního [13]

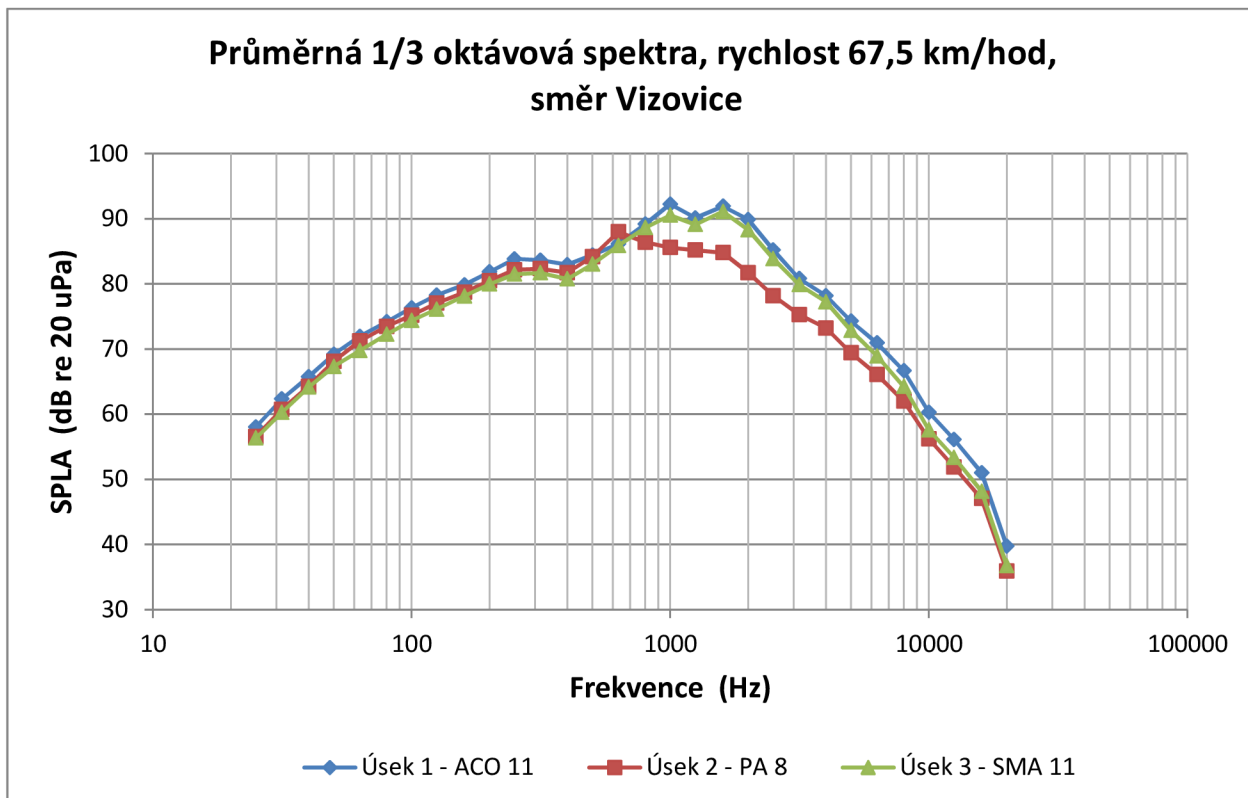
### 5.3.2 Výsledky měření metodou CPX

Měření bylo provedeno pro několik referenčních rychlostí v obou směrech. Pro pojezd s měřícím vozíkem byla celková dráha rozdělena do tří úseků:

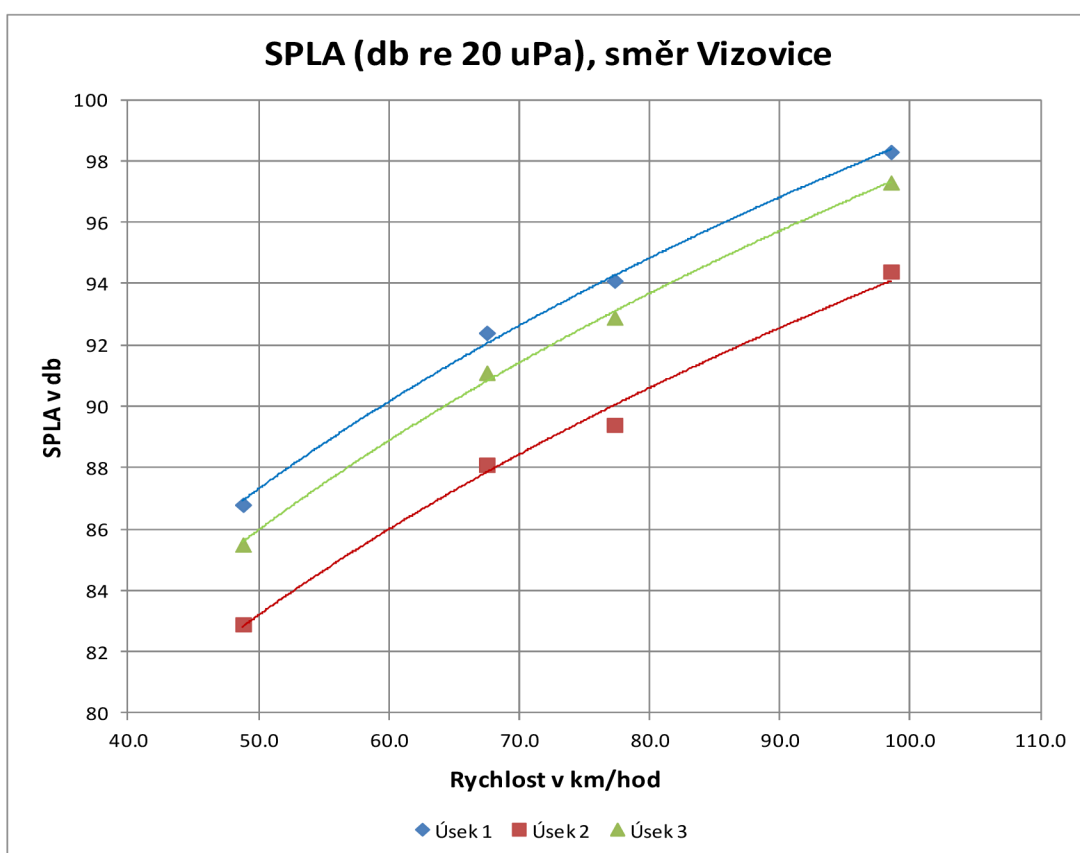
Úsek 1 - asfaltový povrch, který předchází testovanému úseku směrem ze Zlína – ACO11 (od křižovatky se silnicí II/491)

Úsek 2 - testovaný úsek délky 200 m – PA8 CRmB

Úsek 3 - asfaltový povrch, který následuje po testovaném úseku směrem ze Zlína – SMA11 (po autobusovou zastávku Zádveřice) [11]



Graf 7: Závislost frekvenčních spekter na hladině hluchnosti [11]



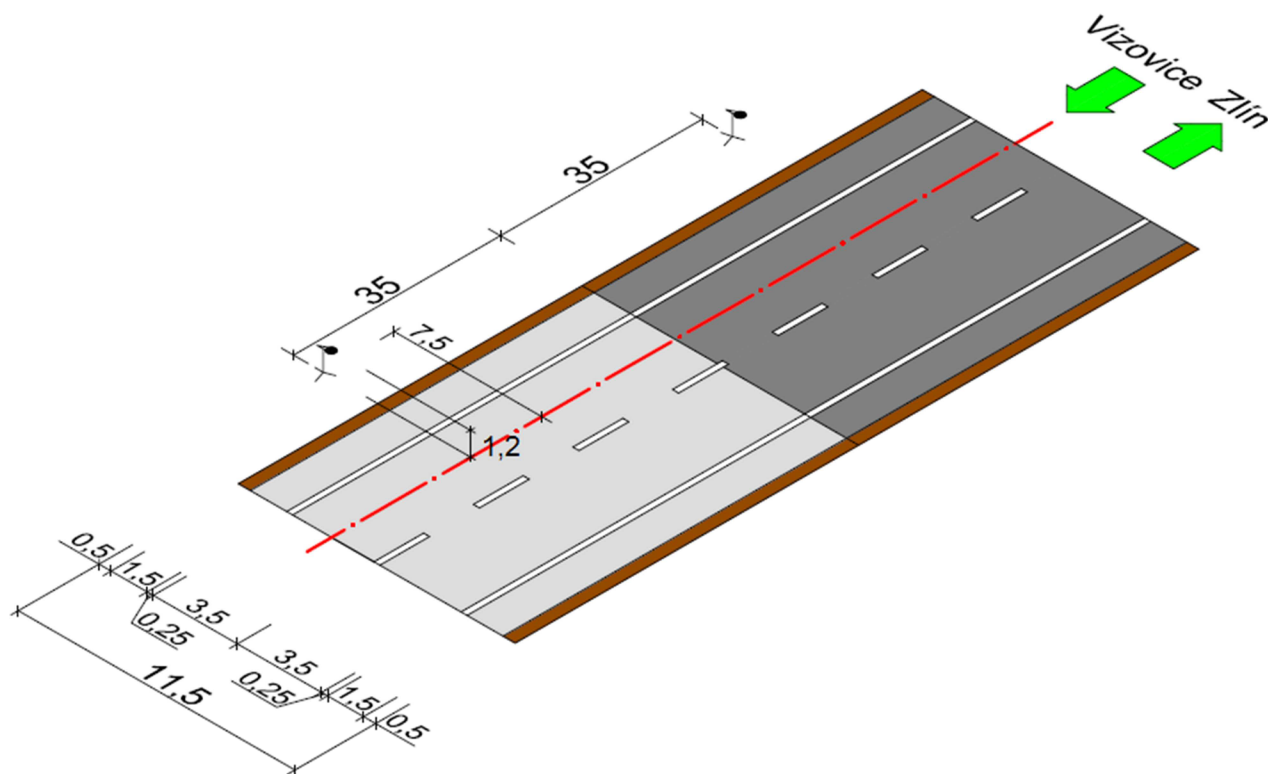
Graf 8: Hladiny hluku v závislosti na rychlosti [11]

Z grafu frekvenčních spekter pro rychlost 67,5 km/h vyplývá, že asfaltový povrch PA8 CRmB splnil očekávání v podobě snížení emisí hluku v porovnání se sousedními povrchy. V zájmové oblasti kolem hodnoty 1000 Hz lze vyčíst snížení hladiny hluku o 5 resp. 6,5 dB.

V grafu 8 je znázorněna závislost hladin hluku na rychlosti dopravy. Lze tvrdit, že pro celkovou stanovenou průměrnou rychlost 83,6 km/h došlo ke snížení emisí hluku PA8 ve srovnání s ACO11 o 4 dB a s SMA11 o 3 dB.

### 5.3.3 Výsledky měření metodou SPB

Měření metodou SPB probíhalo ve dvou fázích. Nejdřív se měřilo na rozhraní ACO11/PA8, poté PA8/SMA11. Součástí metody SPB je stanovení intenzit dopravy pomocí radaru, stanovení průměrných rychlostí a zařazení vozidel (nákladní s přívěsem, nákladní, osobní, jednostopá). Dle standardů SPB metody tak byly mikrofony umístěny 7,5 m od osy jízdního pruhu směrem na Vizovice, 1,2 m nad povrchem. Od rozhraní povrchů byly oba mikrofony umístěny vždy 35 m a to proto, aby se hlučnost z povrchů navzájem neovlivňovala.



Obr. 25: Schématické znázornění umístění mikrofonů pro měření SPB



Naměřené hodnoty prvního měření:

Pod hodnotou  $L_{Aeq}$  jsou postupně uvedeny hodnoty  $L_{Amax}$ ,  $L_{Amin}$ ,  $L_{sel}$

*NSP - nákladní vozidla s přívěsem*

*N - nákladní vozidla*

*O - osobní automobily*

*J - jednostopé vozidla*

*Směr 1 - ze Zlína; Směr 2 - z Vizovic*

<i>Interval 1</i>				<i>Intenzita dopravy</i>							
<b>Obrusná vrstva</b>	<b>Hlučnost</b>			<b>NSP</b>		<b>N</b>		<b>O</b>		<b>J</b>	
	LAeq dB(A)			Směr 1	Směr 2	Směr 1	Směr 2	Směr 1	Směr 2	Směr 1	Směr 2
ACO 11	<b>76,66</b>			Počet vozidel		Počet vozidel		Počet vozidel		Počet vozidel	
	77,76	64,74	106,23	11	10	12	14	100	85	1	0
PA 8	<b>71,41</b>			[km/h]		[km/h]		[km/h]		[km/h]	
	72,23	87,11	100,98	78,5	76,9	76,7	74,3	80,1	78,5	88,0	0,0
				Σ		233 vozidel					
				V		78,8 km/h					

Tab. 7: Výsledky prvního měření - interval 14:40 - 14:55

<i>Interval 2</i>				<i>Intenzita dopravy</i>							
<b>Obrusná vrstva</b>	<b>Hlučnost</b>			<b>NSP</b>		<b>N</b>		<b>O</b>		<b>J</b>	
	LAeq dB(A)			Směr 1	Směr 2	Směr 1	Směr 2	Směr 1	Směr 2	Směr 1	Směr 2
ACO 11	<b>76,56</b>			Počet vozidel		Počet vozidel		Počet vozidel		Počet vozidel	
	84,01	76,4	106,09	8	7	14	8	104	111	1	1
PA 8	<b>71,17</b>			[km/h]		[km/h]		[km/h]		[km/h]	
	79,79	67,36	100,71	74,8	80,1	75,0	77,6	83,0	86,1	75,0	72,0
				Σ		254 vozidel					
				V		83,3 km/h					

Tab. 8: Výsledky prvního měření - interval 14:55 - 15:10

<i>Interval 3</i>				<i>Intenzita dopravy</i>							
<b>Obrusná vrstva</b>	<b>Hlučnost</b>			<b>NSP</b>		<b>N</b>		<b>O</b>		<b>J</b>	
	LAeq dB(A)			Směr 1	Směr 2	Směr 1	Směr 2	Směr 1	Směr 2	Směr 1	Směr 2
ACO 11	<b>76,54</b>			Počet vozidel		Počet vozidel		Počet vozidel		Počet vozidel	
	80,2	67,19	106,08	6	8	8	11	130	103	2	1
PA 8	<b>70,52</b>			[km/h]		[km/h]		[km/h]		[km/h]	
	73,93	65,4	100,06	70,5	84,3	81,0	83,2	80,4	85,3	77,5	77,0
				Σ		269 vozidel					
				V		82,3 km/h					

Tab. 9: Výsledky prvního měření - interval 15:10 - 15:25

<i>Interval 4</i>				<i>Intenzita dopravy</i>							
<b>Obrusná vrstva</b>	<b>Hlučnost</b>			<b>NSP</b>		<b>N</b>		<b>O</b>		<b>J</b>	
	LAeq dB(A)			Směr 1	Směr 2	Směr 1	Směr 2	Směr 1	Směr 2	Směr 1	Směr 2
ACO 11	<b>75,31</b>			Počet vozidel		Počet vozidel		Počet vozidel		Počet vozidel	
	78,54	72,1	104,85	4	12	4	12	113	88	0	2
PA 8	<b>69,56</b>			[km/h]		[km/h]		[km/h]		[km/h]	
	70,33	64,52	99,1	83,2	81,6	79,8	80,1	83,2	87,6	0,0	84,5
				Σ		235 vozidel					
				V		84,5 km/h					

*Tab. 10: Výsledky prvního měření - interval 15:25 - 15:40*

Naměřené hodnoty druhého měření:

<i>Interval 1</i>				<i>Intenzita dopravy</i>							
<b>Obrusná vrstva</b>	<b>Hlučnost</b>			<b>NSP</b>		<b>N</b>		<b>O</b>		<b>J</b>	
	LAeq dB(A)			Směr 1	Směr 2	Směr 1	Směr 2	Směr 1	Směr 2	Směr 1	Směr 2
PA 8	<b>70,23</b>			Počet vozidel		Počet vozidel		Počet vozidel		Počet vozidel	
	71,44	62,58	99,78	9	12	2	4	122	87	2	0
SMA 11	<b>75,63</b>			[km/h]		[km/h]		[km/h]		[km/h]	
	86,77	74,23	75,97	75,3	81,8	74,5	75,0	78,7	87,6	60,0	0,0
				Σ		238 vozidel					
				V		81,8 km/h					

*Tab. 11: Výsledky prvního měření - interval 16:25 - 16:40*

<i>Interval 2</i>				<i>Intenzita dopravy</i>							
<b>Obrusná vrstva</b>	<b>Hlučnost</b>			<b>NSP</b>		<b>N</b>		<b>O</b>		<b>J</b>	
	LAeq dB(A)			Směr 1	Směr 2	Směr 1	Směr 2	Směr 1	Směr 2	Směr 1	Směr 2
PA 8	<b>75,66</b>			Počet vozidel		Počet vozidel		Počet vozidel		Počet vozidel	
	82,38	59,99	105,2	6	7	6	3	135	80	3	0
SMA 11	<b>77,96</b>			[km/h]		[km/h]		[km/h]		[km/h]	
	84,09	66,92	107,5	78,2	83,9	86,5	82,0	82,2	92,3	119,3	0,0
				Σ		240 vozidel					
				V		86,1 km/h					

*Tab. 12: Výsledky prvního měření - interval 16:40 - 16:55*

<i>Interval 3</i>				<i>Intenzita dopravy</i>							
<b>Obrusná vrstva</b>	<b>Hlučnost</b>			<b>NSP</b>		<b>N</b>		<b>O</b>		<b>J</b>	
	LAeq dB(A)			Směr 1	Směr 2	Směr 1	Směr 2	Směr 1	Směr 2	Směr 1	Směr 2
PA 8	<b>71,99</b>			Počet vozidel		Počet vozidel		Počet vozidel		Počet vozidel	
	80,06	55,58	101,53	4	3	6	3	107	79	1	3
SMA 11	<b>76,53</b>			[km/h]		[km/h]		[km/h]		[km/h]	
	82,59	61,89	106,06	74,5	77,3	77,0	85,0	85,3	95,7	48,0	40,0
				Σ		206 vozidel					
				V		85,3 km/h					

*Tab. 13: Výsledky prvního měření - interval 16:55 - 17:10*

<i>Interval 4</i>				<i>Intenzita dopravy</i>							
<b>Obrusná vrstva</b>	<b>Hlučnost</b>			<b>NSP</b>		<b>N</b>		<b>O</b>		<b>J</b>	
	LAeq dB(A)			Směr 1	Směr 2	Směr 1	Směr 2	Směr 1	Směr 2	Směr 1	Směr 2
PA 8	<b>69,98</b>			Počet vozidel		Počet vozidel		Počet vozidel		Počet vozidel	
	74,86	55,3	99,53	2	8	5	3	118	84	1	0
SMA 11	<b>75,49</b>			[km/h]		[km/h]		[km/h]		[km/h]	
	79,1	65,83	105,03	73,0	87,0	73,0	85,0	81,9	91,2	77,0	0,0
				Σ		221 vozidel					
				V		85,4 km/h					

*Tab. 14: Výsledky prvního měření - interval 17:10- 17:25*

Celkové hodinové intervaly:

celkový součet vozidel - 1896

celková průměrná rychlost - 83,6 km/h

<i>Měření 1</i>				<i>Celková intenzita dopravy</i>							
<b>Obrusná vrstva</b>	<b>Hlučnost</b>			<b>NSP</b>		<b>N</b>		<b>O</b>		<b>J</b>	
	LAeq dB(A)			Směr 1	Směr 2	Směr 1	Směr 2	Směr 1	Směr 2	Směr 1	Směr 2
ACO 11	<b>76,29</b>			29	37	38	45	447	387	4	4
	77,76	64,74	111,94								
PA 8	<b>70,72</b>			[km/h]		[km/h]		[km/h]		[km/h]	
	72,23	57,11	106,37	76,4	80,6	79,4	78,6	81,6	84,6	79,5	79,5
				Σ		991 vozidel					
				V		82,3 km/h					

*Tab. 15: Celkové výsledky prvního měření*

Měření 2				Celková intenzita dopravy							
Obrusná vrstva	Hlučnost			NSP		N		O		J	
	LAeq dB(A)			Směr 1	Směr 2	Směr 1	Směr 2	Směr 1	Směr 2	Směr 1	Směr 2
PA 8	72,52			21	30	19	13	482	330	7	3
	75,09	62,63	108,11								
SMA 11	76,33			[km/h]		[km/h]		[km/h]		[km/h]	
	86,57	74,03	111,91	75,8	83,2	78,7	81,2	81,9	91,6	86,1	40,0
				Σ		905 vozidel					
				V		85,2 km/h					

Tab. 16: Celkové výsledky druhého měření

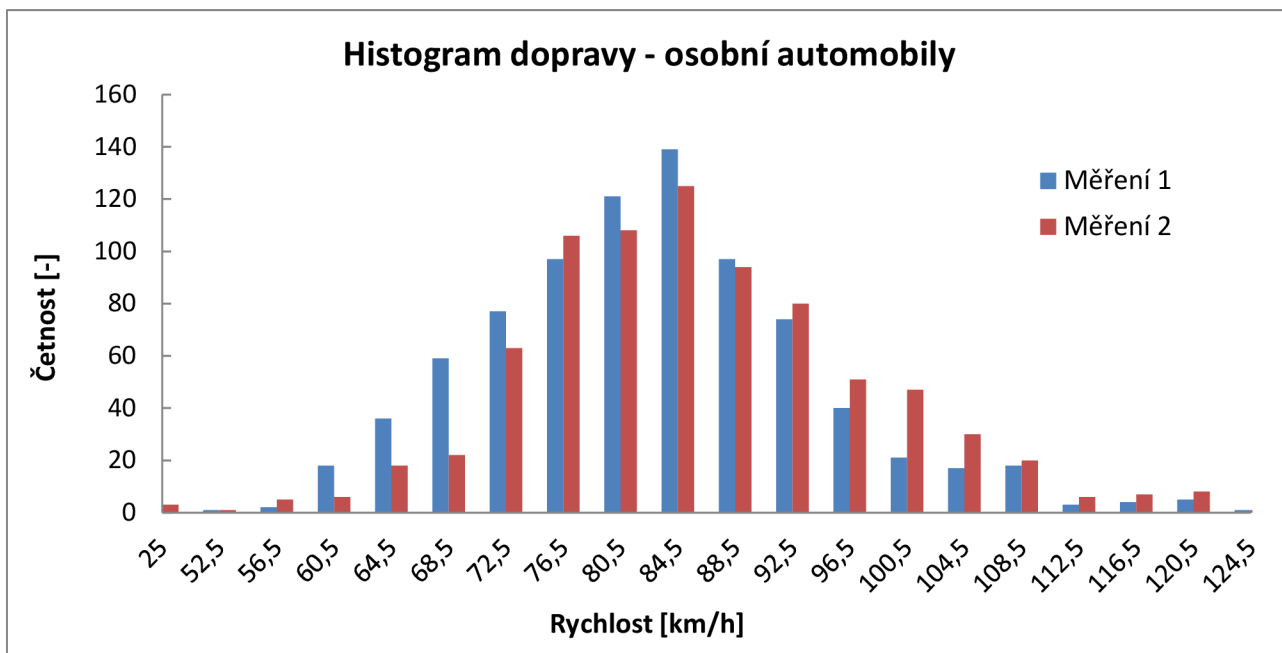
Při porovnávání celkových ekvivalentních hladin akustického tlaku ( $L_{Aeq}$ ) měřených metodou SPB můžeme dojít k závěru, že nový protihlukový povrch PA8 CRmB splnil naše očekávání v podobě snížení hlukových emisí. Konkrétně došlo při porovnání se staršími kryty ACO11 a SMA11 ke snížení hluku o 5,57 dB resp. 3,81 dB. Což jsou velmi výrazné hodnoty. Například snížení hladiny hlučnosti o 5,57 dB znamená snížení intenzity dopravy o 72 %. V druhém případě snížení hladiny o 3,81 dB znamená snížení intenzity o 58 %.

Obrusná vrstva	LAeq		Porovnání
	dB(A)		
PA 8	70,72	72,52	± 0,0
SMA 11	-	76,33	+ 3,81
ACO11	76,29	-	+ 5,57

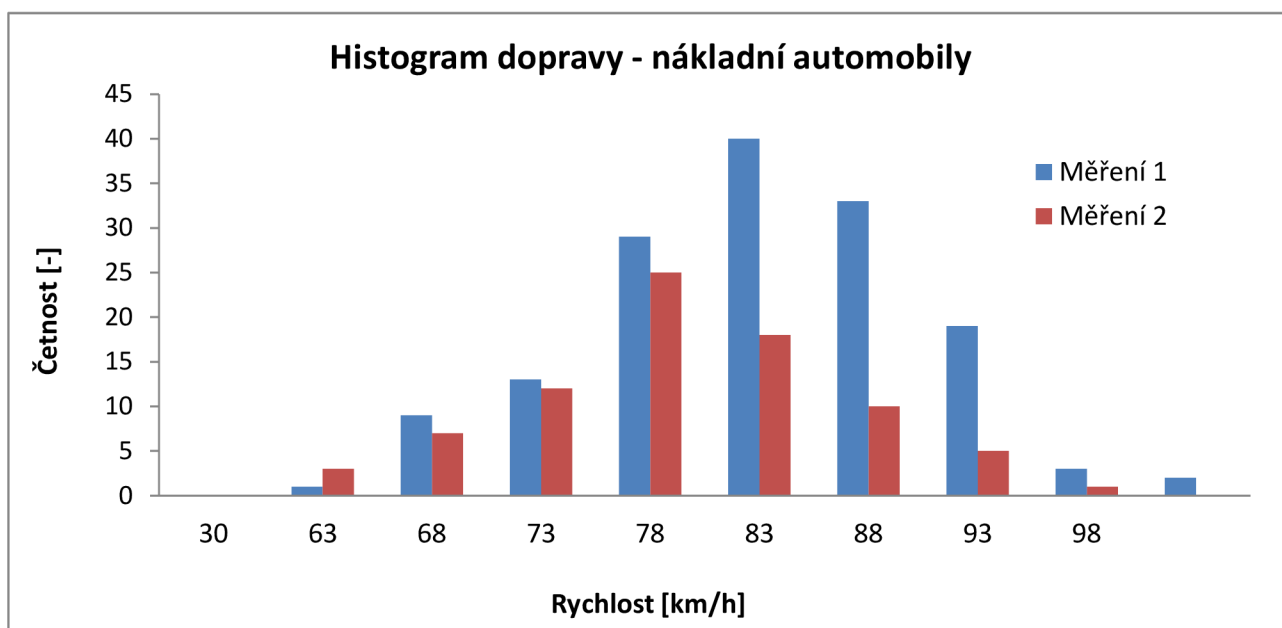
Tab. 17: Porovnání  $L_{Aeq}$

### 5.3.4 Histogramy dopravy

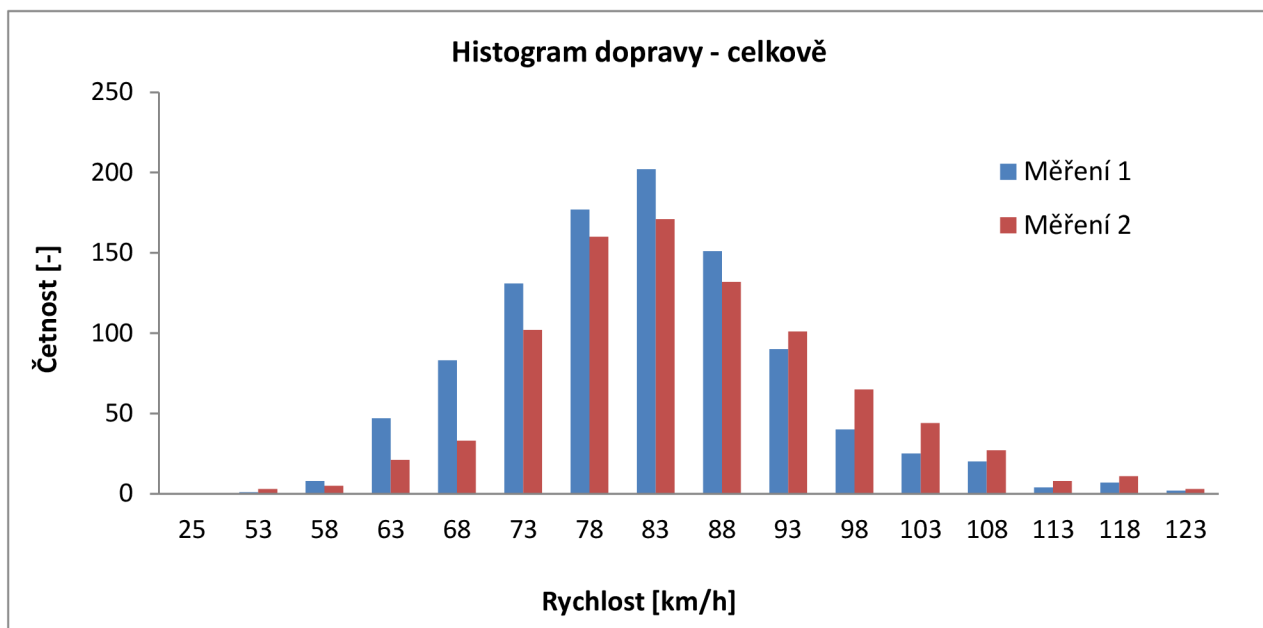
Při druhém měření byly na povrchu PA8 naměřeny vyšší hlukové emise a to i při menší dopravní intenzitě (905 vozidel). Tento fakt je tedy důkazem toho, že dopravní hluk je výrazněji závislý na rychlosti než na celkové intenzitě dopravy. Z histogramu pro celkovou dopravu lze vyčíst, že na tvorbě vyšších hlukových emisí při druhém měření se nejvýrazněji podepsal větší počet osobních automobilů jedoucích rychlostí v intervalu 93-108 km/h. Negativně také přispělo více motocyklů na testovaném úseku. Nákladní vozidla a jejich rychlost nebyla při druhém měření dominantním zdrojem hluku.



*Graf 9: Histogram dopravy - osobní automobily*



*Graf 10: Histogram dopravy - nákladní automobily*



Graf 11: Histogram dopravu - celkový objem

### 5.3.5 Vyhodnocení

Porovnáním hodnot z měření metodou CPX a SPB lze dojít k několika závěrům. Zásadní je ten, že při obou dvou měřeních se potvrdily předpoklady drenážního koberce, co se týče snižování emisí hluku. Zjištěná frekvenční spektra nám vypovídají o tom, že snižování hluku se začíná u PA8 projevovat od frekvence 700 - 800 Hz a při kritické frekvenci pro lidský sluch 1000 Hz dochází ke snížení hluku v porovnání se sousedními koberci o 5 resp. 6,5 dB. Provoz po tomto koberci je pak lidským uchem vnímán výrazně tišeji a může být označen jako „šeptající“.

Jak bylo zmíněno v principech metod měření hluku, při použití metody CPX se soustředíme výhradně na hluk z rozhraní pneumatika/vozovka. Naopak metoda SPB zahrnuje jak tuto interakci, tak ostatní faktory způsobující hluk. Porovnáním konkrétních hodnot redukcí hluku z obou metod můžeme prohlásit, že jízda po PA je výrazně tišší a zároveň tento koberec dokáže zabránit odrazu zvuku a pohltit jej. Při porovnání ACO11/PA8 je celkové snížení hluku rovno 5,57 dB, jelikož metodou CPX bylo stanoveno, že samotný kryt sníží hluk o 4 dB, zbylé snížení emisí, které bylo naměřeno (1,57 dB) je krytem utlumeno.

Metoda	Snížení emisí	
	ACO11 / PA8	PA8 / SMA11
SPB	5,57	3,81
CPX	4	3
Útlum	<b>1,57 dB</b>	<b>0,81 dB</b>

Tab. 18: Konkrétní hodnoty útlumu

Při detailní studii závislosti hladin akustického tlaku na rychlosti (Graf 8), lze dojít také k zajímavému závěru. Při průjezdu po ACO11 60 km/h vzniknou stejné hlukové emise, jako při průjezdu po PA8 80 km/h. Tudíž lze tvrdit, že použitím PA8 můžeme dosáhnout zvýšení rychlosti dopravy o 20 km/h při zachování stejných emisí hluku. Toto řešení se tak nabízí např. u intavilánových komunikací, kde by bylo výhodně na průtazích zvyšovat rychlost z 50 km/h, ale z důvodů emisí hluku to není možné.



## 6. ZÁVĚR

Hluk z dopravy je a bude vždy nedílnou součástí naší společnosti. Proto by mělo být jedním s prioritních cílů spolu s ekonomickou a ekologickou rovnováhou dodržení hlukových limitů. Vyhodnocení hlukových emisí z měření protihlukových krytů, nejen v Zádveřicích, naznačuje, že realizace v současnosti nejpoužívanějších prvků pro redukci hluku (protihlukových stěny, snižování rychlosti, snižování intenzity dopravy), se může stát brzo záležitostí minulosti. Tyto řešení mohou nahradit protihlukové kryty. V mé bakalářské práci jsem se přesvědčil, že potenciál k tomu rozhodně mají a ne malý. Je však také velice důležité, jak bude na celý problém snížení emisí hluku protihlukovými kryty nahlíženo z pohledu zainteresovaných orgánů zabývajících se touto tematikou.

Náklady na realizaci protihlukového krytu jsou nepatrně vyšší než u krytu klasického, ovšem všechny jeho klady převáží nad pořizovací hodnotou krytu. Nicméně je otázkou, jak se protihlukové kryty vypořádají s dlouhodobým dopravním zatížením a přírodními vlivy, to vše však ukáže až čas. Zanášení pórů může vést ke snížení tlumící schopnosti a celkové znečištění může dokonce vést ke znehodnocení krytu. Je proto velice důležité pečlivě se věnovat čištění (např. tryskově vhaněnou vodou) těchto koberců pokud mají plnit svoji funkci i v budoucnosti.

Nelze však očekávat, že všechny problémy spojené s hlukem mohou být vyřešeny protihlukovým krytem, je proto třeba se na problém dívat z více stran a hledat možné kompromisy a varianty řešení.

## POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] Ing. Jana Gottvaldová Ph.D. *Automobilový hluk*. Časopis Silnice-Železnice
- [2] Roger L. Wayson, Robert Bernhard. *An introduction to tire/pavement noise of asphalt pavement*
- [3] TP148. *Hutněné asfaltové vrstvy s asfaltem modifikovaným pryžovým granulátem z pneumatik*. VUT FAST Brno
- [4] *Drenážní koberec PA8*. Reimo a.s.
- [9] prof. Ing. Jan Kudrna, Ing. Jana Gottvaldová Ph.D., Ing. Ondřej Dašek, MBA Karel Horák M.Sc. *Tiché kryty vozovek - prezentace*
- [10] prof. Ing. Jan Kudrna, CSc., Ing. Jana Gottvaldová Ph.D. *Měření hladin hlučnosti na ulici Otakara Ševčíka*
- [11] prof. Ing. Jan Kudrna, Csc., *Předběžná zpráva o měření protihlukových vlastností povrchů vozovek*
- [15] *Posouzení výměny povrchu na komunikaci Otakara Ševčíka*. Akusting s.r.o.

### Webové stránky:

- [0] <http://www.zubrno.cz/studie/kap06.htm>
- [5] <http://www.casopisstavebnictvi.cz/clanek.php?detail=277>
- [6] <http://www.cdv.cz/file/seminar-skanska-problematika-hlucnosti/>
- [7] <http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/hluk-na-styku-pneumatika-vozovka/>
- [8] <http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/snizovani-hluku-moznymi-upravami-obrusne-vrstvy-vozovky/>
- [12] <http://www.ceskatelevize.cz/zpravodajstvi-brno/zpravy/174040-vedci-vyvinuli-unikatni-gumoasfalt-provoz-je-diky-nemu-mene-hlucny/>
- [13] [www.mapy.cz](http://www.mapy.cz)
- [14] <http://hluk.eps.cz/hluk/>

## SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obr. 1: Adheze mezi dezénem a vozovkou [2]*
- Obr. 2: Vibrace způsobené nárazem dezénového bloku [2]*
- Obr. 3: Sání vzduchu pneumatik [2]*
- Obr. 4: Tření pneumatiky [2]*
- Obr. 5: Schématické znázornění rezonátoru [2]*
- Obr. 6: Efekt trubky [2]*
- Obr. 7: Vibrace kostry pneumatiky [2]*
- Obr. 8: Akustická rezonance uvnitř pneumatiky [2]*
- Obr. 9: Ukázka různých protihlukových stěn typu LIADUR [9]*
- Obr. 10: Protihlukové stěny z pryže, hliníku a dřeva [9]*
- Obr. 11: Typická struktura porézního asfaltového krytu [2]*
- Obr. 12: Typická struktura dvouvrstvého krytu [2]*
- Obr. 13: Porovnání odvodnění porézního koberce a cementobetonového [4]*
- Obr. 14: Typická struktura gumoasfaltového koberce [4]*
- Obr. 15: Ukázka odvodnění gumoasfaltového koberce drenážního (PA 8 CRmB) [4]*
- Obr. 16: Schéma SPB metody měření hluku [6]*
- Obr. 17: Příklad vhodně zvoleného měřícího místa [2]*
- Obr. 18: Měřící zařízení na přívěsu za vozidlem [6]*
- Obr. 19: Zavěšený mikrofon při metodě CPI [2]*
- Obr. 20: Testovací zařízení TPTA [2]*
- Obr. 21: Ulice Otakara Ševčíka [10]*
- Obr. 22: Rozdělení měřené komunikace na úseky [10]*
- Obr. 23: Asfaltový koberec u Zádveřic [12]*
- Obr. 24: Situační umístění asfaltového koberce drenážního [13]*
- Obr. 25: Schématické znázornění umístění mikrofonů pro měření SPB*

## SEZNAM TABULEK

- Tab. 1: Limity pro venkovní hluk dle nařízení vlády [14]*
- Tab. 2: Srovnání teoretických hodnot hlučnosti různých asfaltových koberců [9]*
- Tab. 3: Porovnání hladin hlučnosti  $L_{Aeq}$  intravilánových komunikací [7]*
- Tab. 4: Porovnání hladin hlučnosti  $L_{Aeq}$  extravilánových komunikací [7]*
- Tab. 5: Celkové shrnutí měření  $L_{Aeq}$  [15]*
- Tab. 6: Ekvivalentní hladiny  $L_{Aeq}$  [ dB (A) ] pro rychlost 50 a 60 km/h [10]*
- Tab. 7: Výsledky prvního měření - interval 14:40 - 14:55*
- Tab. 8: Výsledky prvního měření - interval 14:55 - 15:10*
- Tab. 9: Výsledky prvního měření - interval 15:10 - 15:25*
- Tab. 10: Výsledky prvního měření - interval 15:25 - 15:40*
- Tab. 11: Výsledky prvního měření - interval 16:25 - 16:40*
- Tab. 12: Výsledky prvního měření - interval 16:40 - 16:55*
- Tab. 13: Výsledky prvního měření - interval 16:55 - 17:10*
- Tab. 14: Výsledky prvního měření - interval 17:10- 17:25*
- Tab. 15: Celkové výsledky prvního měření*
- Tab. 16: Celkové výsledky druhého měření*
- Tab. 17: Porovnání  $L_{Aeq}$*
- Tab. 18: Konkrétní hodnoty útlumu*

## SEZNAM GRAFŮ

- Graf. 1: Příspěvky jednotlivých dílčích zdrojů hluku silniční dopravy [2]*
- Graf. 2: Závislost intenzity dopravy na produkci hluku [6]*
- Graf. 3: Závislost rychlosti dopravy na produkci hluku [6]*
- Graf. 4: Závislost hladiny hlučnosti na frekvenčních spektrech,  $v=50$  km/h [10]*
- Graf. 5: Závislost hladiny hlučnosti na frekvenčních spektrech,  $v=60$  km/h [10]*
- Graf. 7: Závislost frekvenčních spekter na hladině hlučnosti [11]*
- Graf. 8: Hladiny hluku v závislosti na rychlosti [11]*
- Graf. 9: Histogram dopravy - osobní automobily*
- Graf. 10: Histogram dopravy - nákladní automobily*
- Graf. 11: Histogram dopravy - celkový objem*

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

<i>LAeq</i>	- ekvivalentní hladina akustického tlaku
<i>dB</i>	- deciBel
<i>Hz</i>	- Hertz
<i>EU</i>	- evropská unie
<i>ACO11</i>	- asfaltový beton ohrusný, maximální velikost frakce 11 mm
<i>SMA11</i>	- asfaltový koberec mastixový, maximální velikost frakce 11 mm
<i>PA8</i>	- asfaltový koberec drenážní, maximální velikost frakce 8 mm
<i>CRmB</i>	- modifikace asfaltového pojiva gumovým granulátem
<i>BBTM</i>	- asfaltový koberec pro velmi tenké vrstvy