

ACOUSTIC CHARACTERISTICS OF ROAD SURFACES

AKUSTICKÉ CHARAKTERISTIKY POVRCHŮ VOZOVEK

PETRA MARKOVÁ, VÍTEZSLAV KŘIVÁNEK, BLANKA HABLOVIČOVÁ, JAN MACHANEC

CDV – Transport Research Centre, Brno, Czech Republic, petra.markova@cdv.cz, vitezslav.krivanek@cdv.cz, blanka.hablovicova@cdv.cz, jan.machanec@cdv.cz

Abstract: The article is focused on the tyre/road noise and vibration measurements of the motorway network in the Czech Republic between 2012 and 2020. Three different surfaces were measured, namely a conventional stone mastic asphalt pavement (SMA 11S) and two cement concrete pavements with different treatments – burlap drag and exposed aggregate. A basic statistical analysis of the noise values in different years after laying was performed. Cement concrete treated by burlap drag method has lower noise values than SMA 11S. This is to be expected as burlap drag method is considered a low-noise cement concrete treatment. However, it has worse skid resistance properties and so the exposed aggregate cement concrete (EACC) began to be used. SMA 11S and EACC have very similar noise levels in all years tested, suggesting that they behave acoustically in the same way. Vibrations were investigated during field measurements with an accelerometer mounted on the CPX trailer. The noise and vibration results could thus be compared with each other. There is a positive correlation between them.

Keywords: tyre/road noise, stone mastic asphalt; exposed aggregate cement concrete; close proximity method (CPX)

1. INTRODUCTION

According to the World Health Organization, noise is the second most serious pollutant from transport affecting health [1, 2, 3, 4] and causing economic, social and health losses. It is now becoming a serious problem for society. Traffic noise affects the quality of life of people living near roads. The noise generated by the rolling of the tyre on the surface is the result of several mechanisms, which are the stick-snap adhesion, air pumping and stick-slip mechanism (primary sources) [5]. Secondary sources are sound amplifying mechanisms ("horn effect") and Helmholtz resonators (sound like the sound produced by whistling through the neck of a bottle), which have been the subject of many studies [6, 7, 8]. So, the noise is amplified by the road texture. Tyre/road noise is the dominant source of road noise for vehicles with internal combustion engines from about 40 km/h, while for electric vehicles the rolling noise is dominant from 20 km/h [9]. The importance of the sur-

1. ÚVOD

Hluk je dle Světové zdravotnické organizace druhou nejzávažnější škodlivinou z dopravy ovlivňující zdraví [1, 2, 3, 4] a způsobující ekonomické, sociální i zdravotní ztráty. V současné době se stává pro společnost vážným problémem. Hluk z dopravy má vliv na kvalitu života lidí, kteří v blízkosti komunikací žijí. Hluk, který vzniká odvalováním pneumatiky po povrchu vozovky, je výsledkem působení více mechanismů, kterými jsou náraz dezénového bloku, sání vzduchu a tření mezi pneumatikou a povrchem (primární zdroje) [5]. Sekundárními zdroji jsou potom zvuk zesilující mechanismy („efekt trubky“) a Helmholtzovy rezonátory (zvuk podobný zvuku vznikajícímu při pískání přes hrdlo lahve), kterými se zabývá mnoho studií [6, 7, 8]. Na styku pneumatika/vozovka je tedy generován hluk, který je díky textuře vozovky zesilován. Odvalování pneumatiky po vozovce je od rychlosti cca 40 km/h dominantním zdrojem hluku ze silničního provozu pro vozidla se spalovacími motory, u elektromobilů je hlučnost

face type and condition of the road increases in terms of the overall noise load generated by road traffic. Indeed, environmental protection to minimise the cost to human health or sustainability represents a significant potential for further development.

z odvalování dominantní již od 20 km/h [9]. Důležitost typu povrchu a stavu pozemní komunikace se z hlediska celkové generované hlukové zátěže ze silničního provozu zvyšuje. Ochrana životního prostředí s cílem minimalizovat náklady na lidské zdraví či udržitelnost totiž představuje významný potenciál dalšímu rozvoji.

2. TYRE/ROAD NOISE MEASUREMENT METHODS

The following measurement methods for tyre/road noise shall be used for the determination of road traffic noise:

- Coast-by method (CB) – A test car with test tyres passes the microphone with the engine switched off at different speeds. Usually, the maximum sound level is measured, and regression is used to find the noise level for reference speeds (80 km/h for cars and 70 km/h for trucks).
- Controlled Pass-By method (CPB) – Two selected cars, one small and one large, with selected tyres, pass the microphone with the engine running. The maximum noise level is measured and the average value for specific speeds is calculated.
- Statistical Pass-By method (SPB) – Separate vehicles in the traffic flow are passing the side microphone. The type of vehicle, its speed, and maximum noise level are detected. Using more than 100 cars and 80 trucks and subsequent regressions, the normalised noise levels for passenger (50, 80 and 110 km/h) and heavy (50, 70 and 85 km/h) vehicles are calculated. The method recognises 3 categories of roads according to maximum speed limits: low (45–64 km/h), medium (65–99 km/h), high (100 km/h and more). The result is the Statistical Pass-By Index (SPBI).
- Close-proximity method (CPX) – A reference tyre mounted on a trailer towed behind the car (or mounted on a measuring car) is allowed to roll along the test track with microphones mounted near it. The average sound pressure level for each road segment is recorded for reference speeds of 50, 80 and 110 km/h.

2. METODY MĚŘENÍ HLUČNOSTI PNEUMATIKA/VOZOVKA

Pro stanovení hlučnosti z provozu na pozemních komunikacích se pro hluk styku pneumatika/vozovka používají následující metody měření:

- Metoda volnoběžného průjezdu (CB) – Testovací automobil s testovanými pneumatikami míjí mikrofon s motorem vypnutým při různých rychlostech. Obvykle se měří maximální hladina zvuku, pomocí regrese se zjišťuje hladina hluku pro referenční rychlosti (80 km/h pro osobní a 70 km/h pro nákladní vozidla).
- Řízená metoda při průjezdu (CPB) – Dva vybrané automobily, jeden malý a jeden velký, s vybranými pneumatikami, míjí mikrofon se zapnutým motorem. Měří se maximální hladina hluku, dále se počítá průměrná hodnota pro konkrétní rychlosti.
- Statistická metoda při průjezdu (SPB) – Samostatná vozidla v dopravním proudu míjí postranní mikrofon. Zjišťuje se typ vozidla, jeho rychlost a maximální hladina hluku. Za použití více než 100 osobních a 80 nákladních vozidel a následné regrese se počítá normalizovaná hladina hluku pro osobní (50, 80 a 110 km/h) a nákladní (50, 70 a 85 km/h) vozidla. Metoda rozeznává 3 kategorie silničních komunikací podle maximálních povolených rychlostí: nízká (45–64 km/h), střední (65–99 km/h), vysoká (100 a více km/h). Konečným výsledkem je statistický index při průjezdu (SPBI).
- Metoda malé vzdálenosti (CPX) – Referenční pneumatika osazená na přívěsu taženém za automobilem (případně namontovaná na měřícím automobilu) se nechá odvalovat po testované dráze s mikrofony připevněnými v její blízkosti. Pro referenč-

- On Board Sound Intensity method (OBSI) – Similar to the CPX method but uses acoustic intensity probes instead of microphones => OBSI is not sensitive to ambient noise and does not need a special trailer.

Side microphones are used 7.5 m from the centre of the test path for the CB, CPB, and SPB methods, on one side for the CPB and SPB methods and on both sides for the CB method. The SPB and CPX methods are the most used methods for measuring the acoustic properties of pavements in Europe and the SPB and OBSI methods are used in the USA. Changes in the acoustic properties of road surfaces in the Czech Republic have been monitored by CDV specialists using the CPX method according to valid standards. The CPX method makes it possible to measure and evaluate long sections of roads independently of the traffic intensity. Method is described in detail in ISO/CD 11819-2, which specifies the basic measurement requirements, including a speed correction for each surface type. Standard ISO/TS 11819-3 defines two reference tyres for use in the CPX method. It also specifies the conditions for the handling of reference tyres, including their storage, as well as the introduction of maximum tyre wear and hardness corrections, which must be within a defined interval. To this purpose, the technical specification ISO/TS 13471-1 has also been issued, setting out procedures for considering the effect of temperature on noise emissions at the tyre/road interface.

All measurements were carried out using a specialised CPX open trailer (see Figure 1) designed by Transport Research Centre (CDV), which meets all the requirements of ISO/CD 11819-2. Uniroyal Tigerpaw 225/60 R16 SRTT was used for all measurements. In addition to ISO/TS 11819-3, this tyre is also recommended by the automotive industry as a standard tyre for ASTM F2493 reference testing. A new tyre is used every year for measurement purposes to minimise the effect of wear and degradation.

ní rychlosti 50, 80 a 110 km/h je zaznamenávána průměrná hladina akustického tlaku pro každý segment silnice.

- Metoda s intenzitní sondou (OBSI) – Podobná CPX metodě, používá však místo mikrofónů sondy akustické intenzity => není citlivá na okolní hluk, nepotřebuje speciální přívěs.
- U metod CB, CPB a SPB se používají postranní mikrofony vzdálené 7,5 m od středu testované dráhy, u metod CPB a SPB na jedné straně a u metody CB po obou stranách. Metody SPB a CPX jsou nejpoužívanější pro měření akustických vlastností vozovek v Evropě, metody SPB a OBSI pak v USA. Metoda CPX je podrobně popsána v normě ISO/CD 11819-2, která specifikuje základní požadavky na měření, včetně korekce rychlosti pro každý typ povrchu. Norma ISO/TS 11819-3 definuje dvě referenční pneumatiky pro použití v metodě CPX. Rovněž specifikuje podmínky pro zacházení s referenčními pneumatikami, včetně jejich skladování, jakož i zavedení maximálního opotřebení pneumatik a korekcí tvrdosti, které musí být v definovaném intervalu. Za tímto účelem byla rovněž vydána technická specifikace ISO/TS 13471-1 stanovující postupy pro zohlednění vlivu teploty na emise hluku na rozhraní pneumatiky a vozovky.

Všechna měření byla provedena pomocí specializovaného otevřeného přívěsu CPX (viz obrázek 1) vyvinutého Centrem dopravního výzkumu (CDV), který splňuje všechny požadavky normy ISO/CD 11819-2. Pro všechna měření byla použita pneumatika Uniroyal Tigerpaw 225/60 R16 SRTT. Tato pneumatika je kromě normy ISO/TS 11819-3 doporučována také automobilovým průmyslem jako standardní pneumatika pro referenční zkoušky podle normy ASTM F2493 Aby se minimalizoval dopad opotřebení a degradace, byla pro účely měření každý rok používána nová pneumatika.



Fig. 1: Measuring trailer for CPX measurement.

Obr. 1: Měřicí přívěs pro měření CPX metodou.

3. CPX MEASUREMENT RESULTS

The following noise results are focused on the motorway network in the Czech Republic, where stone mastic asphalt (SMA) and cement concrete (CC) are mainly used as surfaces. All data presented were obtained by the CPX measurements described above. The average long-term changes in the variable pavement noise parameter for the different technologies are described with respect to their age or homogeneity. The noise of conventional wearing course (SMA 11S – S means with increased resistance to permanent deformation) and low-noise cement concrete treated by burlap drag method was monitored on one of the selected sections of the D1 motorway between 2012–2020, providing a long-term data series. The section consists of sub-sections defined by motorway exits and segments of these sub-sections were measured. The values of all segments of one sub-section were averaged and Figure 2 shows the average values of the sub-sections. The noise of the road surfaces does not increase equally over time, so the change in the acoustic characteristics of the road surfaces is not linear, as can be seen in Figure 2.

3. Výsledky měření metodou CPX

Níže uvedené výsledky hlučností jsou zaměřené na dálniční síť na území České republiky, kdy se jako povrch převážně používají obrusná vrstva s technologií asfaltového koberce mastixového (SMA) a cementobetonového krytu (CBK). Všechna prezentovaná data byla získána měřením CPX popsaným výše. Jsou zde popsány průměrné dlouhodobé změny proměnného parametru hlučnosti vozovky pro jednotlivé používané technologie s ohledem na jejich stáří či homogenitu. Na jednom z vybraných úseků byla sledována hlučnost běžné obrusné směsi s maximální velikosti frakce kameniva 11 mm (SMA 11S – S znamená zvýšenou odolnost vůči trvalým deformacím) a nízkohlučné úpravy cementobetonového krytu (juta) na dálnici D1, a to mezi roky 2012–2020, díky čemuž bylo možné získat ojedinělou dlouhodobou datovou řadu. Úsek se skládá z dílčích úseků vymezených dálničními exity, přičemž byly proměřovány segmenty těchto dílčích úseků. Hodnoty všech segmentů jednoho dílčího úseku byly zprůměrovány a obrázek 2 pak ukazuje průměrné hodnoty dílčích úseků. Z obrázku 2 je možné zřejmé, že změna akustických charakteristik vozovek není v čase lineární, tedy že hluk v čase nenarůstá neustále stejně.

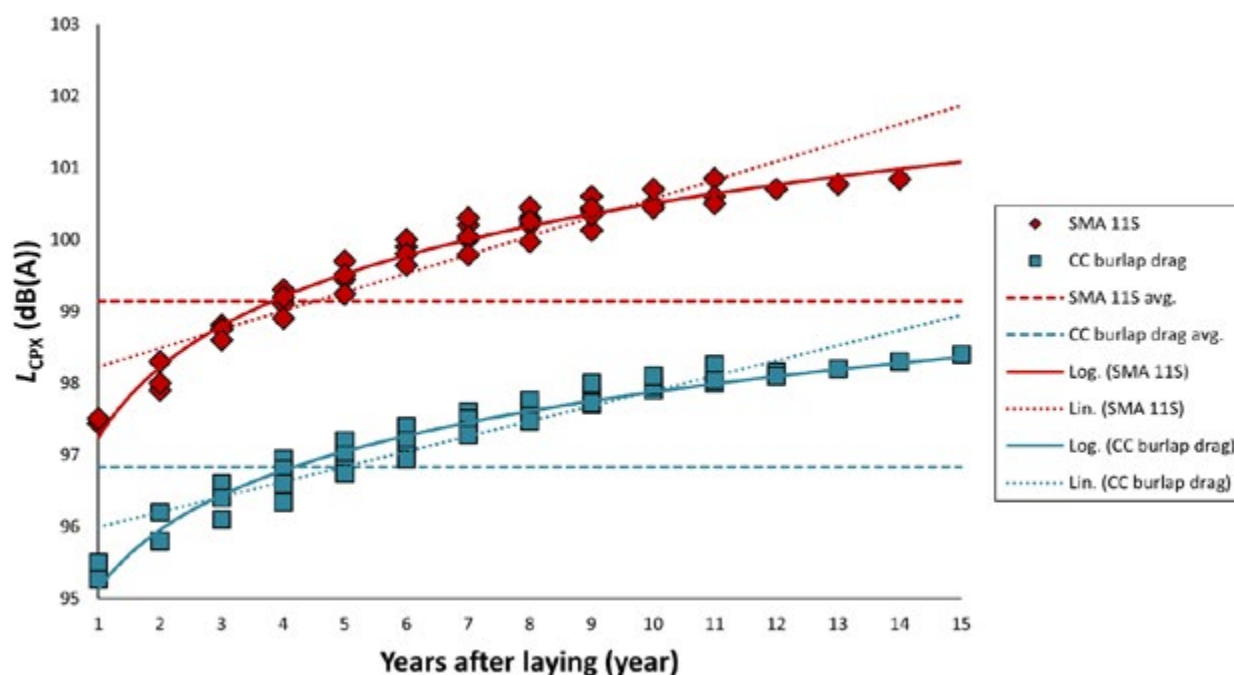


Fig. 2: Long-term comparison of the noise of a conventional wearing course (SMA 11S) and low-noise cement concrete treated by burlap drag method on the D1 motorway on the section Vyškov – Hladké Žitovice for a reference speed of 80 km/h, measurements from 2012–2020.

All data were obtained from several research projects for the Technology Agency of the Czech Republic (TACR) and the Ministry of Transport. The research projects were carried out over a maximum period of 4 years, and thus the measured sites were interlinked and interconnected between the research projects, making it possible to obtain a long-term data series for the pavements shown in Figure 2. These values are a composite of measurements taken between 2012 and 2020 [10]. The resulting noise levels of the pavements depend on the different meteorological conditions and traffic intensities at each location. Any significant measured fluctuations were excluded from the assessment. The dotted line in the graph (Figure 2) indicates a linear progression of increasing noise over time. The largest errors occur at the beginning and at the end of the lifetime of a surface when considering a linear process. However, this error is significantly lower than the simplest possible approach for lifetime assessment, i.e. the average, which is shown as dashed line in Figure 2. The use of the average lifetime noise value is determined as the difference between the end-of-life (highest) and after-laying (lowest)

Obr. 2: Dlouhodobé srovnání hlučnosti běžné ohrusné směsi (SMA 11S) a nízkohlučné úpravy cementobetonového krytu (juta) na dálnici D1 na úseku Vyškov – Hladké Žitovice pro referenční rychlost 80 km/h, měření z let 2012–2020.

Všechna data byla získána z několika výzkumných projektů pro Technologickou agenturu České republiky (TAČR) a Ministerstva dopravy. Řešené projekty trvaly maximálně po dobu 4 let, a tak se měřené lokality mezi výzkumnými projekty vzájemně prolínaly a navazovaly na sebe, díky čemuž bylo možné získat dlouhodobou datovou řadu pro zmíněné ohrusné vrstvy, které jsou vyobrazeny na obrázku 2. Jedná se o hodnoty složené z měření realizovaných v letech 2012–2020 [10]. Výsledná hlučnost ohrusných vrstev se odvíjí od odlišných meteorologických podmínek a dopravních intenzit na každé z lokalit. Případné významné naměřené výkyvy byly z hodnocení vyloučeny. Tečkovaná čára v grafu (obrázek 2) naznačuje lineární průběh narůstání hluku v čase. Z něho je zřejmé, že na začátku životnosti, respektive ke konci životnosti daného krytu vozovky se z hlediska akustiky v případě uvažování lineárního průběhu dopouštíme největší chyby. Tato chyba je však výrazně nižší než případný uvažovaný nejjednodušší možný přístup pro hodnocení v rámci celé životnosti, tj. průměr, který je na obrázku 2 zobrazen čárkovaně. Použití průměrné hodnoty hlučnosti za dobu životnosti je stanovena jako rozdíl hodnot na konci životnosti (nejvyšší)

values. However, the CNOSSOS-EU [11] methodology still uses the average value to determine the lifetime noise value of a road surface type, precisely because the long-term changes of individual surfaces over time are not known.

While Figure 2 compares the noise values of SMA 11S and cement concrete treated by bur-lap drag method, Table 1 compares the noise values of the same asphalt mixture with exposed aggregate cement concrete with the highest grain size of 8 mm (EACC 8). The data in Table 1 refer to the section between Prague and Brno. Again, segments of sub-sections were measured. The average value of specific year is then the average value of sub-section values, where sub-sections are defined by motorway exits. Prague – Brno section was modernized in 2013–2021 and therefore it was not possible to obtain as long-term data series as in the case of the previous section in Figure 2. The expected service life of the reconstructed asphalt pavement is approximately 15 years and the concrete pavement is expected to last twice as long. Therefore, it is currently not possible to have a complete picture of the change in noise levels over the expected lifetime of these road surfaces. The noise values of SMA 11S and EACC 8 surfaces within the modernized section of the D1 motorway are similar, as can be seen in Table 1. The standard deviation (SD) indicates the extent to which the mean values of the individual sub-sections differ from their overall average value. The values are closer the smaller the SD is. The noise values of the two monitored surfaces differentiated by age on the sub-sections are very similar. Thus, each surface within the section achieves similar acoustic values in a specific year after laying, regardless of traffic volume, different meteorological conditions, or other influences.

a po pokládce (nejnižší). Metodika CNOSSOS-EU [11] však zatím stále používá k určení celoživotní hodnoty hluku daného typu povrchu vozovky průměrnou hodnotu právě proto, že nejsou známy dlouhodobé změny jednotlivých povrchů v čase.

Zatímco v obrázku 2 byly porovnávány hodnoty hlučnosti pro obrusné vrstvy SMA 11S a betonu s povrchovou úpravou vlečenou jutou, tak v tabulce 1 jsou porovnány hlučnosti stejné asfaltové směsi s CBK s povrchovou úpravou obnaženého kameniva (vymývaný beton) s maximální velikostí frakce kameniva 8 mm. Data v tabulce 1 jsou vztažena na úsek mezi Prahou a Brnem. Měření bylo opět prováděno po segmentech jednotlivých dílčích úseků. Průměrná hodnota daného roku je pak průměrem hodnot dílčích úseků, které jsou většinou vymezeny dálničními exity. Úsek Praha – Brno byl modernizován v letech 2013–2021 a proto nebylo možné získat tak dlouhou časovou řadu, jako v případě předchozího úseku na obrázku 2. Očekávaná životnost rekonstruovaných asfaltových obrusných vrstev je cca 15 let a u betonového krytu se předpokládá dvojnásobek. V současné době proto nelze mít úplnou představu o změně hlučnosti po celou dobu předpokládané životnosti těchto povrchů vozovek. Z dílčích výsledků měření v tabulce 1 je možné rámcově říct, že při modernizaci dálnice D1 je hodnota hlučnosti pro SMA 11S a cementobetonový kryt s obnaženým kamenivem obdobná. Směrodatná odchylka (SMODCH) uvádí, na kolik se průměrné hodnoty jednotlivých dílčích úseků liší od jejich celkové průměrné hodnoty. Čím je SMODCH menší, tím jsou si hodnoty bližší. Hodnoty hlučností obou sledovaných povrchů rozlišených podle stáří na dílčích úsecích jsou si velmi podobné. Každý z povrchů v rámci úseku tak dosahuje v jednotlivých letech od pokládky podobných akustických hodnot bez ohledu na intenzitu dopravy, rozdílné me-

Surface	Age of surface in years after laying						
	0	1	2	3	4	5	6
EACC 8 - avg. (dB(A))	97.6	98.0	98.4	98.8	99.0	99.2	99.5
- minimum (dB(A))	96.7	97.1	97.7	97.8	98.0	98.2	99.3
- maximum (dB(A))	98.7	99.1	99.3	99.5	99.6	99.7	99.8
- SD (dB(A))	0.47	0.43	0.41	0.41	0.43	0.41	0.19

Surface	Age of surface in years after laying						
	0	1	2	3	4	5	6
Number of sub-sections (-)	14	28	26	18	11	8	6
SMA 11S – avg. (dB(A))	97.7	98.2	98.5	98.8	99.1	99.2	99.5
– minimum (dB(A))	97.4	97.7	98.1	98.4	98.6	98.8	99.2
– maximum (dB(A))	98.2	98.8	99.1	99.2	99.5	99.5	99.7
– SD (dB(A))	0.24	0.27	0.26	0.25	0.24	0.20	0.17
Number of sub-sections (-)	12	28	26	18	12	8	6

Tab. 1: Summary of measured data from individual sections of the D1 motorway (Prague – Brno), years 2014–2020 for the stone mastic asphalt (SMA 11S) and exposed aggregate cement concrete (EACC 8) surfaces.

Surface noise measurements, collection and evaluation of these data do not take as long, so it is not possible to compile long-term series of data for individual surfaces and thus establish clear differences between surfaces. In contrast, the variable parameters of unevenness and skid resistance, which are important and essential for road safety, are long-term monitored. The progress of the noise level of road surfaces depends not only on the type of pavement and the aggregate fraction used but also on the quality of the design, the degree of compaction, etc. Other parameters that could be considered in the long-term changes of the noise level of road pavements will be monitored within the TACR project CK04000058.

4. DISCUSSION – OTHER POSSIBLE FACTORS AFFECTING NOISE LEVELS

Noise can also be affected by vibration. Several foreign studies have focused on this issue [12, 13]. Therefore, internal research focusing on field measurements was conducted with an accelerometer mounted in several positions on a CPX measurement trailer. In the end, the most suitable position was chosen to be in the axis of the reference SRTT tyre. This position was the least affected by other influences of all tested locations and is shown in Figure 3.

teorologické podmínky či další vlivy.

Tab. 1: Souhrnný přehled naměřených dat z jednotlivých úseků na dálnici D1 (úsek Praha – Brno), v letech 2014–2020 pro obrusnou směs SMA 11S a CBK vymývaný beton.

Měření hlučnosti povrchů vozovek, sběr a hodnocení těchto dat neprobíhá tak dlouho, proto není možné poskládat dlouhodobé řady dat pro jednotlivé povrchy a stanovit tak jednoznačně rozdíly mezi jednotlivými obrusnými vrstvami. Oproti tomu proměnné parametry nerovnosti a protismykové vlastnosti, jež jsou významné a zásadní z hlediska bezpečnosti provozu na pozemních komunikacích, jsou sledovány dlouhodobě. Vývoj hlučnosti povrchů vozovek se odvíjí nejen od typu obrusné vrstvy a použité frakce kameniva, ale také od kvality provedení, míry zhutnění apod. V rámci projektu TACR CK04000058 se budou sledovat další parametry, které by mohly být zohledněny v dlouhodobém vývoji hlučnosti obrusných vrstev pozemních komunikací.

4. Diskuse – další možné faktory OVLIVŇUJÍCÍ HLUČNOST

Hlučnost může být ovlivňována také vibracemi. Tuto problematiku řeší více zahraničních studií [12, 13]. Proto byl řešen interní výzkum zaměřený na terénní měření s akcelerometrem, který byl umístěn v několika pozicích na měřicím přívěsu CPX. Nakonec bylo jako nejvhodnější místo vybráno umístění v ose referenční SRTT pneumatiky. Tato pozice byla nejméně ovlivněna dalšími vlivy ze všech testovaných umístění a je zobrazena na obrázku 3.



Fig. 3: Accelerometer location on the CPX measuring trailer.

Obr. 3: Umístění akcelometru na měřicím přívěsu CPX.

Road sections with different surfaces and ages were identified, namely old and new asphalt (SMA), cement concrete (burlap drag, exposed aggregate) and cobblestones. The assessed sections were 500 m long and were measured at a speed of 80 km/h. One section was therefore recorded in 22.5 s. The beginning of the evaluated section was most often at the mile marker for easy orientation. It should be noted that there were no significant unevenness or bridge closures in the selected areas that could distort the measurements. The measured values were evaluated after 0.5 s in postprocessing. In addition, a single overall value has always been set for a given section, which is easier to work with for future year-on-year comparisons. The data for each section are plotted in Figure 4, where the dotted line shows the linearly averaged total value, which is also given numerically on the right side of the graph for each line. The X-axis shows the distance travelled and the Y-axis shows the acceleration measured by the accelerometer, which was positioned as shown in Figure 3. A more detailed description of the individual sections is given in the note under Figure 4. Roads that are older or have more unevenness show more discomfort when driving, which also corresponds to the values in the graph. The highest acceleration values were measured on cobblestones, followed by old SMA 11, old cement concrete (burlap drag), and noticeably better values were measured on new cement concrete (exposed aggregate) and asphalt SMA 11S, where the differences were minimal. Although driving on the concrete pavement and crossing its expansion

Byly vytipovány úseky, které měly rozdílné ohrusné vrstvy a různé stáří, a to starý a nový asfalt (SMA), beton (juta, vymývaný beton) a dlažební kostky. Vyhodnocované úseky měly délku 500 m a pojízďely se rychlostí 80 km/h. Jeden úsek se tedy projel za 22,5 s. Počátek vyhodnocené oblasti byl pro snadnou orientaci nejčastěji u kilometrovníku. Nutno podotknout, že ve vybraných oblastech se nenacházela žádná výrazná nerovnost či mostní závěra, která by mohla měření zkreslit. Naměřené hodnoty byly v rámci postprocessingu vyhodnocovány po 0,5 s. Mimo to byla vždy také pro daný úsek stanovena jedna celková hodnota, se kterou je jednodušší do budoucna pracovat v případě meziročních porovnání. Data u jednotlivých úseků jsou vynesena do obrázku 4, kde tečkovaná čára zobrazuje lineárně zprůměrovanou celkovou hodnotu, která je také číselně uvedena v pravé části grafu u každé z čar. Na ose X je vyobrazena ujetá vzdálenost a na ose Y zrychlení naměřené akcelometrem, který byl umístěn dle obrázku 3. Podrobnější popis jednotlivých úseků je uveden v poznámce pod obrázkem 4. Vozovky, které jsou staršího typu nebo mají více nerovností, vykazují větší diskomfort při jízdě, čemuž také korespondují hodnoty v grafu. Nejvyšší hodnoty zrychlení byly naměřeny na dlažebních kostkách, následovalo staré SMA 11, starý beton (juta) a o poznání lepší hodnoty byly naměřeny u zánovního betonu (vymývaný beton) a asfaltu SMA 11S, kde byly rozdíly minimální. I když jízda po betonové ohrusné vrstvě a přejíždění jejích dilatačních spár působí výrazněji, tak rozdíl v naměřených hodnotách oproti zánovnímu asfaltovému povrchu nebyl tak velký.

joints has a more significant effect, the difference in the measured values compared to the new asphalt surface was not so great. All values mentioned are site-specific and therefore it is not possible to generalise that such values would also be measured at other sites, even if they were the same type of pavement.

Všechny uvedené hodnoty se týkají konkrétních lokalit a nelze to tedy zobecňovat, že by byly takové hodnoty naměřeny také na jiných lokalitách, ač by se jednalo o stejný typ obrusné vrstvy.

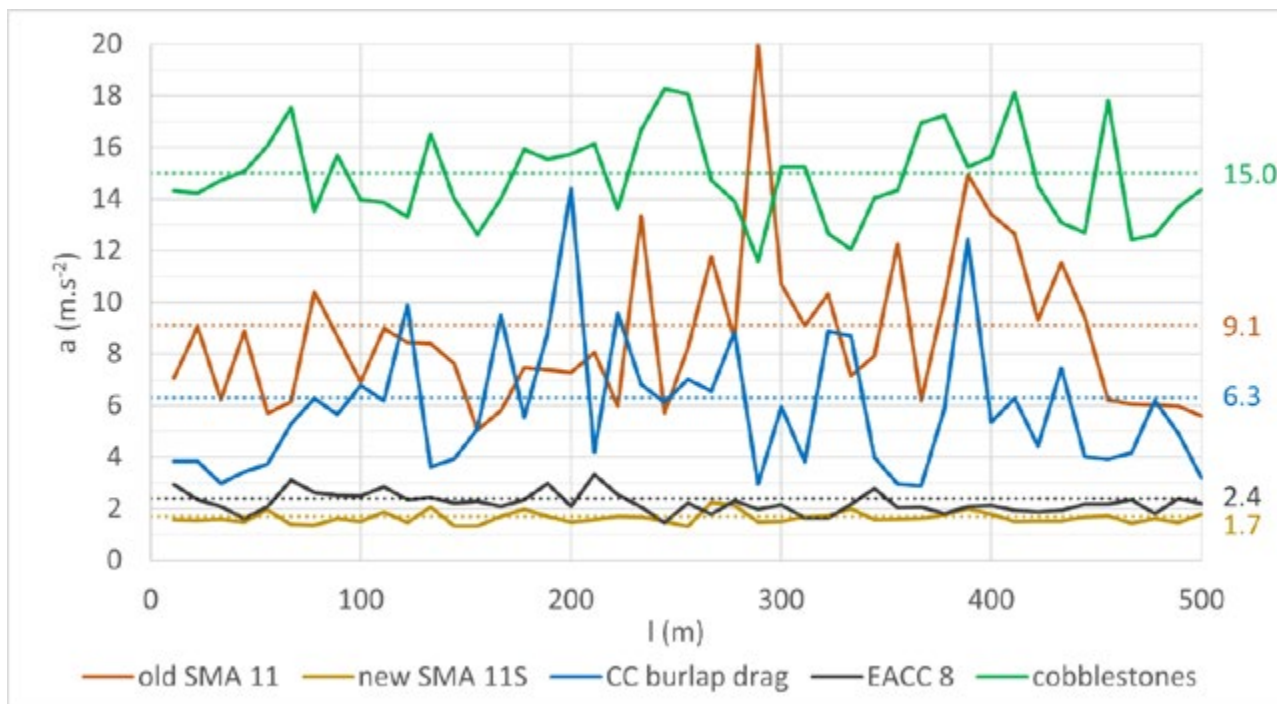


Fig. 4: Evaluated accelerometer data.

Note: SMA 11 approximately 15 years old, the surface had fatigue cracking, potholes and patching; new SMA 11S laid on a highway was 3 years old with no visible deformations; cement concrete treated by burlap drag method 17 years old had repaired joint transitions with iron spikes, because of significant height differences; exposed aggregate cement concrete was without deformations, 3 years old. Cobblestone pavement of unknown age (more than 30 years) was placed on 3rd class road.

The vibrations when driving on the road depend on the location of the sensor, the chosen springing, the tyre and its pressure. In CPX noise measurement, the conditions for the measuring tyre, such as its type, load, inflation, and other parameters, are clearly defined. For the vibration measurement, everything was followed similarly to the noise measurement, where the sensor was placed as close to the wheel hub as possible, as the wheel has a defined dimension, tyre and in-

Obr. 4: Vyhodnocené průběhy naměřených hodnot akcelometru

Poznámka: SMA 11 starý přibližně 15 let, povrch měl síťové trhliny, výtluky a vysprávk; SMA 11S nový byl na dálniční komunikaci, stáří 3 roky bez viditelných deformací; CBK juta stáří 17 let, povrch měl opravené spárové přechody železnými trny, z důvodu výrazných výškových rozdílů; CBK vymývaný byl bez deformací, stáří 3 roky. Dlažební kostky byly na komunikaci 3. třídy neznámého stáří (více než 30 let).

Vlastní vibrace při jízdě po pozemní komunikaci jsou závislé na umístění snímače, zvoleném odpružení, pneumatice a jejím tlaku. Při měření hluchnosti metodou CPX jsou jasně dané podmínky pro měřicí pneumatiku jako je její typ, zatížení, nahuštění a další parametry. U měření vibrací bylo vše dodržováno obdobně jako u měření hluchnosti, kdy byl snímač umístěn co nejblíže vlastnímu náboji kola, jelikož kolo má definovaný rozměr, pneumatiku a nahuštění. Cílem bylo zajistit stále stejné

flation. The aim was to ensure the same conditions during each measurement so that the results could be compared with each other.

CONCLUSION

The long-term progression of the acoustic characteristics of the technologies used on roads is currently unknown. In fact, many technologies have been innovated, such as the change from cement concrete treated by burlap drag method to exposed aggregate cement concrete or "grinding" technology and others. However, the measurements have not yet been carried out over a long enough period to obtain a statistically significant set of data, as is the case, for example, with skid resistance. Therefore, the partial results and measurements obtained so far will be continued to expand the noise data (project CK04000058).

The paper deals with the noise at the contact between tyre and road surface on the modernised section of the D1 motorway from Prague to Brno. The data were obtained by measurements using the close-proximity (CPX) method. The results presented in this paper show that the noise values for the measured sections with stone mastic asphalt with the highest grain size of 11 mm (SMA 11S) and exposed aggregate cement concrete with the highest grain size of 8 mm (EACC 8) are similar, almost the same. This shows that it is not necessary to lay conventional asphalt surfaces on the motorway network due to the lower noise level. It can be concluded that the change in the acoustic characteristics of the roadways is not linear over time (the noise does not increase consistently over time), which is evident from the measured and analysed data of Vyškov – Hladké Životice section.

Noise can also be affected by vibration and other possible factors. Pavements that are older or have more unevenness are more uncomfortable to drive on, and the measured noise levels correspond to this. Newer asphalt (SMA 11S) had the lowest measured values, followed by new cement concrete (exposed aggregate), old cement concrete (burlap drag method), old asphalt (SMA 11), and cobblestones had the worst measured noise values.

podmínky během jednotlivých měření tak, aby se daly výsledky mezi sebou porovnat.

ZÁVĚR

V současné době není znám dlouhodobý vývoj akustických charakteristik technologií používaných na vozovkách. Mnohé technologie jsou totiž inovovány, například přechod z cementobetonového krytu upraveného vlečením jutové textilie na vymývaný beton nebo technologii „grinding“ a jiné. Měření však zatím neprobíhají dostatečně dlouhou dobu pro získání statisticky významného souboru dat tak, jak je tomu například u protismykových vlastností. Proto bude na doposud získané dílčí výsledky a měření navázáno, čímž dojde k rozšíření údajů o hlučnosti (projekt CK04000058).

Příspěvek se zabývá hlučností na styku pneumatiky a povrchu vozovky na modernizovaném úseku dálnice D1 z Prahy do Brna. Data byla získána měřením s využitím metody malé vzdálenosti CPX. Výsledky prezentované v článku ukazují, že hodnoty hlučností pro změřené úseky s asfaltovým kobercem mastixovým a cementobetonovým krytem s obnaženým kamenivem jsou obdobné, téměř stejné. Z tohoto vyplývá, že není nezbytně nutné na dálniční síti pokládat běžné asfaltové povrchy vzhledem k nižší hlučnosti. Z naměřených a zanalyzovaných dat úseku Vyškov – Hladké Životice lze konstatovat, že změna akustických charakteristik vozovek není v čase lineární, hluk v čase nenarůstá neustále stejně.

Hlučnost může být ovlivňována také vibracemi a dalšími možnými vlivy. Z výsledků lze konstatovat, že vozovky, které jsou staršího typu nebo mají více nerovností, vykazují větší diskomfort při jízdě, a tomu také odpovídají hodnoty hlučnosti. Na novějším asfaltu (SMA 11S) byly naměřeny nejnižší hodnoty, následoval nový beton (vymývaný beton), starý beton (úprava jutou), starý asfalt (SMA 11) a nejhorší naměřené hodnoty měly dlažební kostky.

ACKNOWLEDGEMENT

This paper is financed from the state budget by the Technology Agency of the Czech Republic and the Ministry of Transport of the Czech Republic under the DOPRAVA2020+ Programme, project CK04000058 „Consideration of other influences reflected in the measured noise values of pavement surfaces in dynamic measurement“.

PODĚKOVÁNÍ

Tento článek je financován se státní podporou Technologické agentury ČR a Ministerstva dopravy v rámci Programu DOPRAVA 2020+, v rámci řešení projektu CK04000058 „Zohlednění dalších vlivů promítajících se do naměřených hodnot hlučnosti povrchů vozovek při dynamickém měření“.

REFERENCES

- [1] World Health Organization. New evidence from WHO on health effects of traffic-related noise in Europe. In: WHO [online]. 2011-03-30 [cit. 2023-03-20]. Available from: <https://www.who.int/europe/news/item/30-03-2011-new-evidence-from-who-on-health-effects-of-traffic-related-noise-in-europe>.
- [2] Kim, R. and M. Van den Berg: Summary of night noise guidelines for Europe. *Noise Health*. 12(47), 61–63, 2010.
- [3] Dzhambov, A., B. Tilov, I. Markevych and D. Dimitrova: Residential road traffic noise and general mental health in youth: the role of noise annoyance, neighborhood restorative quality, physical activity, and social cohesion as potential mediators. *Environ. Int.* 109, 1–9, 2017.
- [4] Banerjee, D.: Association between transportation noise and cardiovascular disease: a meta-analysis of cross-sectional studies among adult populations from 1980 to 2010. *Indian J. Public Health*. 58(2), 84–91, 2014.
- [5] Tiwari, N., A. Saraswat, G. Unnikrishnan, S. Goyal and K. Ujjwal: A model to predict role of different tread parameters on tire noise. *InterNoise 2015*, San Francisco, USA, 12 p.
- [6] Allard, J.E. and N. Atalla: Propagation of sound in porous media: Modelling sound absorbing materials. 2nd Ed., John Wiley & Sons, Inc., 2009. ISBN 9780470746615.
- [7] Seo S.-H. and Y.-H. Kim: Silencer design by using array resonators for low-frequency band noise reduction. *J Acoust Soc Am*. 118(4), 2332–2338, 2005.
- [8] Komkin, A.I., M.A. Mironov and A.I. Bykov: Sound absorption by a Helmholtz resonator. *Acoust Phys*. 63(4), 385–392, 2017.
- [9] Misdariis, N. and L.F. Pardo: The sound of silence of electric vehicles – Issues and answers. *InterNoise 2017*, Hong-Kong, China. hal-01708883.
- [10] Křivánek, V., J. Stryk, P. Marková and B. Hablovičová: Hodnocení vývoje hlučnosti povrchů vozovek na síťové úrovni – možnost jejich klasifikace. *Silnice mosty*. 2, 32–33, 2021.
- [11] Kephalopoulis, S., M. Paviotti and F. Anfosso-Lédée: Common Noise Assessment Methods in Europe (CNOSSOS-EU). Luxembourg: Publications Office of the European Union. ISBN 978-92-79-25281-5.
- [12] Coquel, G. and F. Corinne: Analysis of ground-borne noise and vibration levels generated by buses. *Procedia Engineering*. 199, 2699–2704, 2017.
- [13] Zarei, Z., J. Sadeghi and A. Sarkar: Evaluation of heavy-vehicle-induced vibrations running on asphalt pavements. *Construction and Building Materials*. 358, 129399, 2022.



**Ing. Vitezslav Krivanek,
Ph.D.,**

1981, is a graduate of Brno University of Technology, Faculty of Electrical Engineering and Communication. In his post graduate study in 2005–2008 he partici-

parted in research projects of FRVŠ, GAČR, NBU, MPO ČR, NPV II. In 2002–2011 he cooperated with a leisure activity centre Junior – DDM in Brno, where he participated in educational and preventive activities concerning free time of children and the youth in the Department of Science and Technology for Everybody. Since 2008 he has been working in Transport Research Centre (CDV) as a researcher in the field of transport environmental aspects. Recently he has cooperated in CDV in R&D projects: "Quantification of external costs of transport in the Czech Republic, Virtual education in transport, Education of youth to sustainable transport, Critical analysis of new materials and new shapes suitable for noise barriers, Tools for Analysis and Assessment of Environmental Impacts of Road Surface Noise, Centre for Effective and Sustainable Transport Infrastructure, Urban planning using low-noise roads". Furthermore, he produces noise studies, expertise in noise from transport, he is a member of an accredited laboratory No. 1506 for measuring traffic noise, and a member in an international work group CEN TC 227 WG5. Since 2021 he is a guarantor of a project "Determination of values of classification levels for evaluation of road surface noise in the Czech Republic".



Ing. Jan Machanec

Ing. Jan Machanec, graduated of a bachelor's degree in 2018 and a master's degree in 2021 at Mendel University in Brno. His thesis was focused on the kinematic of braking forces on hybrid and electric

vehicles. He has been working in Transport Research Centre (CDV) since 2021 and he focuses on environmental acoustics. Mainly he deals with measuring by method CPX all around the Czech Republic. He collaborates on projects for the Technology Agency of the Czech Re-

public as CK02000121 and TL02000258, a project funded by the Ministry of Transport and on the new methodology CNOSSOS-EU.



Ing. Blanka Hablovičová

Ing. Blanka Hablovicova obtained a master's degree from the University of Pardubice in 2013. Since 2018, she has been working in Transport Research Centre (CDV) as a researcher. She

deals with traffic noise from the environmental point of view which includes noise generated around roads. She collaborates in projects of the Technology Agency of the Czech Republic CK02000121 and TL02000258; project funded by the Ministry of Transport "Analysis and monitoring of road surface noise changes". She also participates in the (SUMP) of towns and cities in the Czech and Slovak Republic. She also contributes in project "Acoustic properties of the most used surfaces in the Czech Republic and their implementation in the CNOSSOS-EU calculation methodology".



Ing. Petra Marková

Ing. Petra Markova, graduate of Mendel Agriculture and Forestry University in Brno, has been working in Transport Research Centre (CDV) since 2005. Her main activity in the field of transport and the environ-

ment is focused on the environmental acoustics. Her work includes assessing acoustic situations around roads, assessing acoustic situations with the use of measurements and numeric noise modelling by software SoundPLAN, and subsequent assessing transport noise impact on population. She is currently involved in a project funded by the Ministry of Transport "Analysis and monitoring of road surface noise changes" and projects of the Technology Agency of the Czech Republic CK02000121 and TL02000258. She participates in project concerning CNOSSOS-EU, classification of surfaces in the Czech Republic. In the frame of "Sustainable Urban Mobility Plans" she processes noise studies. She is also a member of an accredited laboratory for traffic noise measuring.