

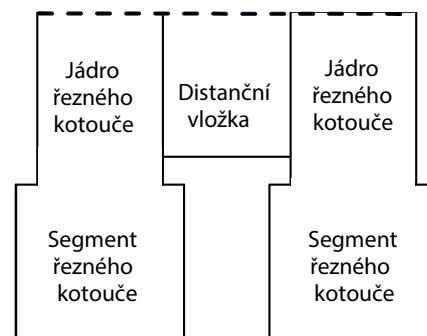
BROUŠENÍ – NOVÁ TECHNOLOGIE ZAJIŠŤUJÍCÍ NÍZKOU HLADINU HLUKU A ROVNÉ CEMENTOBETONOVÉ KRYTY ■ GRINDING – THE NEW TECHNIQUE FOR LOW-NOISE LEVEL AND EVEN CONCRETE SURFACES

Ralf Alte-Teigeler, Tim Alte-Teigeler

V Německu se broušení diamantovými kotouči využívá hlavně ke zlepšování rovnosti a protismykových vlastností cementobetonových krytů. Federální ministerstvo dopravy, výstavby a rozvoje měst financuje výzkumné projekty na intenzivnější snižování hlučnosti cementobetonových krytů. Předmětem několika výzkumných projektů je proto vliv broušení krytů na snižování emisí hluku. Tyto projekty zahrnují simulace, laboratorní zkoušky a výzkum v terénu. Na základě výsledků simulací byly připraveny betonové povrchy texturované pomocí laboratorní brusky. Při jejich přípravě bylo měněno složení betonu, tloušťka betonu a rozteče diamantových řezných kotoučů. Ukazuje se, že složení betonu a rozteč řezných kotoučů významně ovlivňují snížení emisí hluku. V rámci terénního výzkumu byly zkoumány emise hluku na řadě silničních úseků. Povrchy vozovek jsou v posledních desetiletích upravovány broušením diamantovými kotouči a výsledky naznačují, že tento způsob broušení může zajistit dobré a trvalé vlastnosti snižující emise hluku. Bylo sledováno několik nových úseků vozovky, kde se na základě laboratorních výsledků měnily šířka a rozteč diamantových řezných kotoučů s cílem optimalizovat snížení emisí hluku. Metoda broušení je dobrou alternativou k úpravě povrchu betonu technologií obnaženého kameniva, neboť také zajišťuje povrchy s nízkou hlučností. Dle nejnovějších informací se předpokládá, že kromě emisí hluku, rovnosti a protismykových vlastností může broušení diamantovými kotouči zlepšovat také valivý odpor a tím snižovat spotřebu paliva a emise CO₂. ■ In Germany, diamond grinding has been up to now mainly used to improve the evenness and skid resistance

of concrete pavement surfaces. The Federal Ministry of Transport, Building and Urban Development funds research projects which are aimed at improving the noise reduction properties of road pavements made of concrete. The ability of surfaces produced by diamond grinding to reduce noise emission has been investigated in several research projects. These projects included simulations, laboratory tests and field investigations. Based on the results of the simulations textured concrete surfaces were produced by a laboratory grinding machine. The composition of the concrete, the thickness and spacing of the diamond blades were varied. It appeared that the concrete composition and the spacing of the blades considerably affected the reduction in noise emission. The noise emission behaviour of numerous road sections was examined in field investigations. The pavement surfaces had been textured by diamond grinding during the last decades. The results show that the grinding method is able to provide good durable noise-reducing properties. Several new pavement sections were investigated where the thickness and spacing of the diamond blades were varied according to the results in the laboratories to optimize noise emission reduction. It is concluded that the grinding method is a good alternative to exposed aggregate concrete for the production of low-noise pavement surfaces. Latest information let assume that beside noise emission, evenness and skid resistance diamond grinding can also improve the rolling resistance and thus fuel consumption and emissions of CO₂ might be reduced.

Textura krytu vozovek významně ovlivňuje emise hluku pneumatik/vozovky. Ovlivňuje jak vibrace pneumatik, tak i aerodyna-

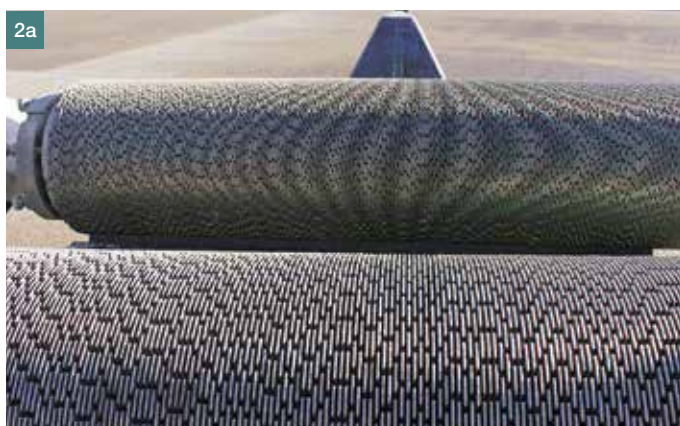


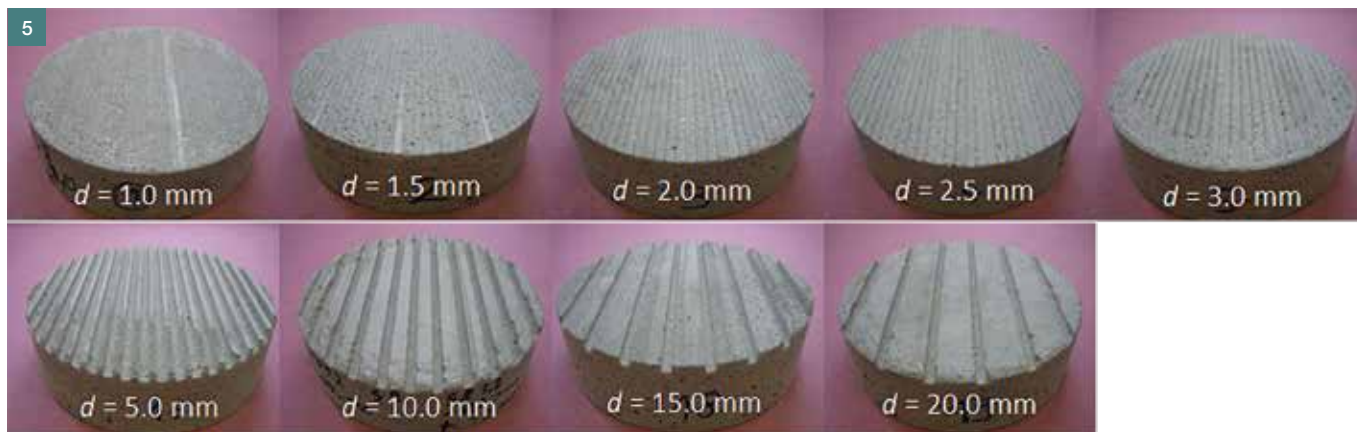
1

mické procesy, ke kterým dochází mezi pneumatikami a krytem vozovky, které vedou k emisím hluku. Ke zlepšení protismykových vlastností a rovnosti cementobetonových krytů se v Německu již řadu let úspěšně používá broušení diamantovými kotouči. Bylo zjištěno, že broušení také příznivě ovlivňuje emise hluku, avšak dosud není známo, které textury vzniklé broušením jsou pro snižování emisí hluku obzvláště vhodné. Vliv rozdílných parametrů broušení na vlastnosti povrchů cementobetonových krytů (CBK) a výsledné hladiny hluku studují různé výzkumné projekty (např. Villaret 2013).

BROUŠENÍ A DRÁŽKOVÁNÍ

Textura vytvořená diamantovým brusem vzniká pomocí řady řezných kotoučů, které jsou společně uchyceny na hnacím hřídeli a jsou vedeny po CBK. Hloubka broušení je mezi 3 a 5 mm. Brusné segmenty s diamantovými hroty s proměnnou šířkou jsou umístěny na hraně řezných kotoučů. Rozstup jednotlivých řezných kotoučů je řízen





distančními vložkami, umístěnými mezi nimi, a je většinou nastaven na 3 mm.

Textura diamantového brusu sestává z rýh a z výstupků původního povrchu, tj. z oblastí mezi po sobě jdoucími rýhami. Šířka rýh je určena šířkou segmentů a šířka výstupků pomocí oddělení segmentů distančními vložkami. Obr. 2a znázorňuje řeznou hlavu a obr. 2b typickou strukturu povrchu.

Také u technologie drážkování jsou řezné kotouče, osazené na rotujícím hřídeli, vedeny po povrchu CBK. Na rozdíl od broušení je zde rozstup diamantových segmentů větší než 10 mm. Hloubka drážek je 3 až 6 mm. Tato metoda se používá hlavně pro zlepšení odtoku vody z povrchu CBK.

BROUŠENÍ DIAMANTOVÝMI KOTOUČI V NĚMECKU

V minulosti se pro textury diamantového brusu používaly řezné hlavy o šířce 0,8 až 1 m. Moderní řezné hlavy mají v současné době pracovní šířku 1,4 m. Větší šířka zvyšuje výkonnost a zmenšuje překrývající se oblasti. Tyto řezné hlavy často vytvářejí různý vzhled povrchu, a tedy i různé povrchové vlastnosti. Několik snímačů průběžně monitoruje výšku řezné hlavy tak, aby byla zaručena požadovaná rovnost povrchu.

Aby se zabránilo kolísání výšky řezné hlavy při vysokých rychlostech, stroj musí na řeznou hlavu přenášet dostatečnou hmotnost. Betonový kal z broušení se odsává přímo v oblasti řezné hlavy a odvádí se pomocí sacího vozidla. Dodatečné čištění tedy není nutné a silnice může být okamžitě po broušení uvedena do provozu.

ZKOUŠENÍ POVRCHOVÝCH VLASTNOSTÍ STÁVAJÍCÍCH KRYTŮ UPRAVENÝCH BROUŠENÍM DIAMANTOVÝMI KOTOUČI

Federální výzkumný ústav silnic a dálnic (BAST) prováděl v letech 2010 a 2011 výzkum různých dálničních úseků s CBK. Z důvodu nevyhovující rovnosti a nedostatečných protismykových vlastností byl v rámci údržby povrch krytů těchto specifických úseků zbroušen diamantovými kotouči. Pro zjištění vlivu použité úpravy povrchu na snížení hluku byly změřeny akustické vlastnosti statistickou metodou při průjezdu (Statistical Pass-By method – SPB) a metodou malé vzdálenosti (Closed ProXimity method – CPX). Výsledky střední úrovně hluku při průjezdu vozidla rychlostí 120 km/h zjištěné metodou SPB jsou znázorněny v grafu na obr. 6. Ve srovnání s referenční hodnotou 85,2 dB(A) podle (RLS-90) [2] pro hladinu

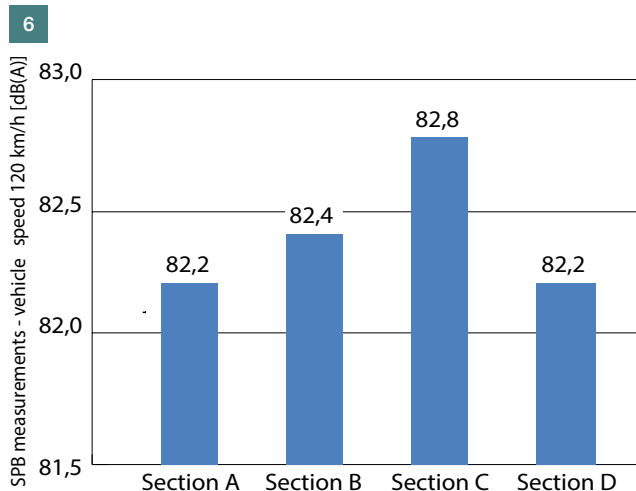
hluku při průjezdu vozidla vykazují měřené dálniční úseky snížení hluku o 2,4 až 3,0 dB(A).

Kromě zkoumání charakteristik povrchu bylo v rámci výzkumného projektu Villaret 2011 prováděno další sledování broušených úseků různého stáří. Tab. 1 uvádí výsledky měření protismykových vlastností metodou SKM, která byla prováděna při rychlosti 80 km/h. Broušení bylo provedeno před jedním rokem až deseti lety. U nově budovaných vozovek je minimální požadovaná hodnota protismykových vlastností 0,46 měřená při rychlosti 80 km/h. Po uplynutí záruční lhůty je minimální požadovaná hodnota 0,40. Všechny sledované úseky vykazovaly vysokou úroveň protismykových vlastností (tab. 1).

1 Typická konfigurace pro broušení 2 a) Řezná hlava, b) typická textura diamantového brusu

3 Textura diamantové drážky 4 Broušení diamantovými kotouči v Německu 5 Vrtná jádra vzorků malty, různé tloušťky distančních vložek ■ 1 Typical configuration for grinding 2 a) Grinding head, b) typical diamond-cut ground texture 3 Diamond groove texture 4 Diamond grinding in Germany 5 Drillcores of the mortar specimens, varying thickness of spacers d





LABORATORNÍ VÝZKUM

Pro laboratorní výzkum bylo navrženo použití brusky, která využívá řezné kotouče a distanční vložky obvyklé v praxi. Bruska je schopna texturovat povrch malých betonových vzorků, což umožňuje snadnou změnu řady parametrů, jako je např. vzdálenost mezi řeznými kotouči.

Nejprve se laboratorní zkoušky prováděly na vzorcích s maltou na povrchu tak, aby bylo dosaženo rovného povrchu a vyloučil se účinek hrubého kameniva na texturu. V první části laboratorních výzkumů se měnily rozestupy broušení, aby se zjistil jejich vliv na geometrii textury, a tím i na emise hluku. Šířka distanč-

ní vložky se pohybovala v rozmezí 1 až 20 mm. Šířka brusných segmentů byla udržována na hodnotě 3,2 mm a broušení bylo prováděno do hloubky 3 mm. Obr. 5 zobrazuje texturu vzorků malty.

Pro posouzení vlastností povrchů snižujících hluk byla povrchová textura určena pomocí laserového profilometru. Na základě DIN EN 29053 byla také měřena odolnost proti proudění vzduchu způsobená danou texturou.

Na základě výsledků měření byl očekávaný hluk způsobený kryty vozovek odhadnut pomocí modelu SPERoN (Statistical Physical Explanation of Rolling Noise), což je rámec pro modelování hluku na styku pneumatika-vozovka, který byl vyvinut během uplynulého desetiletí za účelem predikce vlivu vlastností vozovky na hluk pneumatik. Hladina akustické-

ho tlaku $L_{CPB,calc}$ se vypočítá z povrchové textury a odporu proti proudění vzduchu na povrchu. $L_{CPB,calc}$ je předpokládaná hladina okolního (coast-by) hluku v místě přijímače ve vzdálenosti 7,5 m od středu zkoumaného pruhu a ve výšce 1,2 m nad zemí. Vypočtené úrovně jsou podobné výsledkům měření SPB, ale je třeba mít na paměti, že hluk motoru není v modelu SPERoN zohledněn a že tento model nebyl ověřen pro anizotropní (různé v podélném a příčném směru) povrchy vozovek. Graf na obr. 7 zobrazuje odpor proti proudění vzduchu na povrchu a graf na obr. 8 uvádí vypočtenou hladinu akustického tlaku $L_{CPB,calc}$ pro různé distanční vložky. Hladiny akustického tlaku byly stanoveny pro pneumatiku Michelin Energy 3A o šířce 195 mm a při rychlosti 120 km/h.

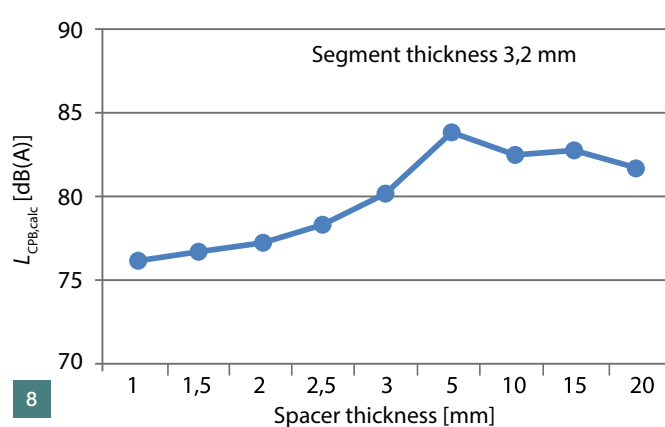
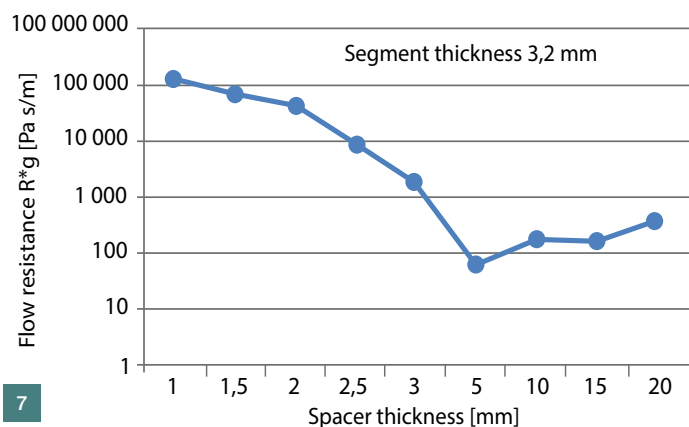
Tab. 1 Měření protismykových vlastností povrchů broušených diamantovými kotouči (BAST)

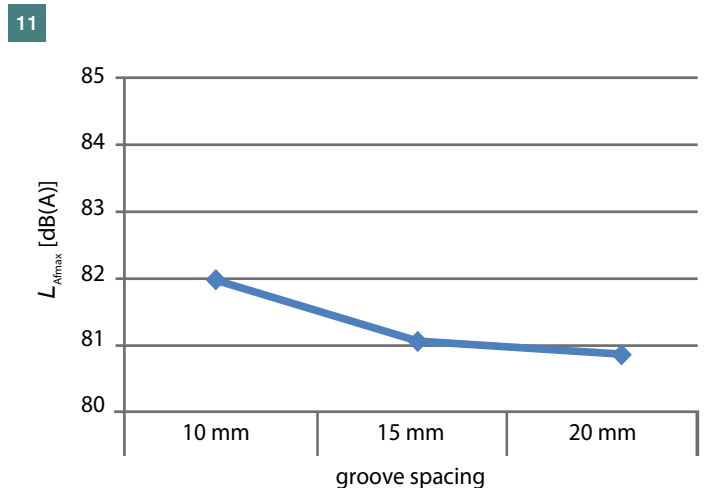
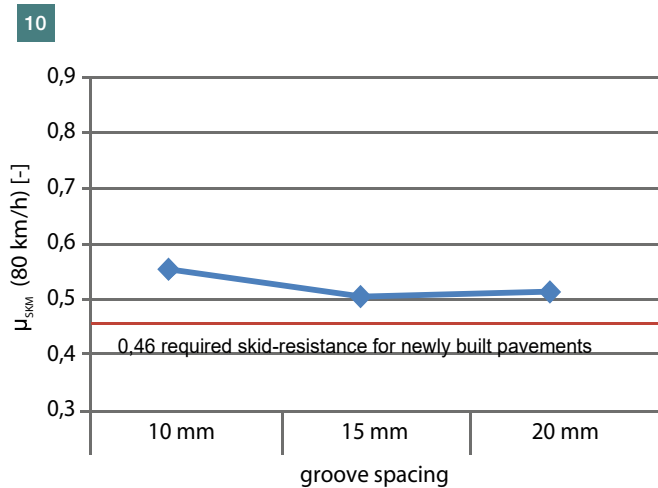
Tab. 1 Grip-measurements of diamond ground surfaces (BAST)

Dálnice	Rok broušení	Stáří broušení [roky]	μ_{SKM} (80 km/h)
1	2010	1	0,84
3	2009	2	0,71
7	2005	6	0,63
24	2001	10	0,66
115	2004	7	0,55

Tab. 2 Textury na A13

Textura	Broušení		Drážkování	
	Šířka segmentu [mm]	Rozestup mezi segmenty [mm]	Šířka segmentu [mm]	Rozestup mezi segmenty [mm]
1	2,8	1,8	2,8	10
2				15
3				20





6 SPB metoda měření povrchů upravených broušením diamantovými kotouči (BAST) 7 Odpor proti proudění vzduchu u vzorků 8 Vypočtená hladina akustického tlaku u vzorků 9 Broušení a drážkování, vzdálenost mezi rýhami 20 mm (zdroj: VKI)

10 Protismykové vlastnosti podle vzdálenosti drážek 11 Účinek rozteče drážek na hladinu hluku (CPB)

■ 6 SPB-measurements of surfaces produced by diamond grinding (BAST) 7 Flow resistance for the specimens 8 Calculated sound pressure level for the specimens 9 Grinding and grooving, distance of grooves 20 mm (source: VKI) 10 Skid resistance according to distance of grooves 11 Effect of groove spacing on noise level (CPB)

ZKUŠEBNÍ ÚSEKY

Na základě výsledků laboratorních zkoušek byly v rámci výzkumného projektu vybudovány různé zkušební úseky, jedním z nich byla dálnice A13 poblíž Mittenwalde. Z důvodu nízkých hodnot protismykových vlastností byl povrch 12leté betonové vozovky v prvním pruhu zbroušen/vydrážkován. Vzdálenost rýh byla různá (tab. 2), a to pro určení účinků vzdáleností rýh na povrchové charakteristiky. Obr. 9 zobrazuje jeden příklad povrchu s kombinací drážkování a broušení, kde vzdálenost mezi rýhami byla 20 mm. Jak je znázorněno v grafu na obr. 10, protismykové vlastnosti jsou mnohem lepší, dosahují takových hodnot, jaké jsou předepsány pro nové vozovky ($0,46 \mu_{SKM}$), a to nezávisle na rozestupech rýh. Rozestupy po 10 mm vykazují v oblasti protismykových vlastností nejlepší výsledky.

Hlukové charakteristiky byly měřeny metodou CPB (Controlled Pass-By). Výsledky nejsou přenositelné do metody SPB, ale poskytují vodítko pro oblast, kde lze výsledky SPB lokalizovat.

Graf na obr. 11 zobrazuje, že se emise hluku snižují se zvyšující se roztečí drážek. Vzhledem k větší vzdálenosti mezi kanálky má vzduch menší schopnost proudění, čímž je snížen aerodynamický hluk. Ve vzdálenosti 20 mm byla hladina hluku $80,9 \text{ dB(A)}$. Při referenční hodnotě $85,2 \text{ dB(A)}$ (pro SPB) to znamená snížení hluku o $4,3 \text{ dB(A)}$. Protože bylo měření CPB prováděno s reprezentativními pneumatikami, předpokládá se, že zkoumaná textura může zajistit snížení hluku o 4 dB(A) .

ZÁVĚR

Broušení se dosud používalo hlavně ke zlepšení protismykových vlastností a rovnosti krytů. Výzkum v této oblasti ukázal, že broušení diamantovými kotouči je dobrou alternativou k úpravě

povrchu betonu technologií obnaženého kameniva, zajišťující trvanlivé CBK s nízkou hlučností. Několik výzkumných projektů zkoumalo vliv různých řezných kotoučů a různých vzdáleností mezi segmenty na hladinu hluku a na protismykové vlastnosti. Laboratorní výzkum prokázal, že snížení úrovně hluku je lepší u CBK broušených diamantovými kotouči s velmi úzkou šířkou rozestupů. Na druhou stranu je třeba zajistit dostatečnou drsnost tak, aby byly dosaženy předepsané protismykové vlastnosti, které lze zajistit dodatečnými drážkami na jemně broušených površích.

Na základě výsledků laboratorních zkoušek byly vybudovány zkušební úseky v terénu. První výsledky ukazují, že zbroušené plochy mohou zajistit dobré protismykové vlastnosti a snížení hluku by mohlo být kolem 4 dB(A) .

V příští verzi německých předpisů ZTV Beton-StB má být brusná textura zavedena jako jedna z možností povrchové úpravy na nově budovaných vozovkách. V budoucnosti však bude nutné zajistit další výzkumné projekty. Jednak je třeba prozkoumat více různých textur tak, aby bylo možné další zlepšení charakteristik týkajících se hluku a protismykových vlastností, a jednak je zajímavý také další efekt broušení, a tím je změna valivého odporu, která může vést k úspoře spotřeby paliva a snížení emisí CO_2 .

Zdroje:

- [1] DIN EN 29053. *Akustika; materiály pro akustické aplikace; stanovení odolnosti proti proudění vzduchu* (ISO 9053:1991). Německá verze EN 29053:1993.
- [2] RLS-90. *Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen – RLS 90*. Ausgabe 1990. Der Bundesminister für Verkehr. Bonn, den 22. Mai 1990. Berichtiger Nachdruck, Februar 1992. (German guidelines for noise abatement on public roads (1990), corr. reprint 1992)
- [3] SPERON. SPERoN® - *Prognosemodell für Reifen-Fahrbahn-Geräusche* [online]. Dostupné z: <http://www.speron.net/>
- [4] VILLARET, S., BECKENBAUER, TH., SCHMIDT, J., PICHOTTKA, S., ALTE-TEIGELER, R., FROHBÖSE, B., ALBER, S. *Forschungsbericht zu FE 08.0210/2010/ORB: „Untersuchung der lärm technischen Eigenschaften von Betonfahrbahndecken mit Grinding-Oberflächen“*. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, vertreten durch die Bundesanstalt für Straßenwesen. Hoppegarten, Deutschland, November 2011.
- [5] VILLARET, S., ALTREUTHER, B., BECKENBAUER, TH., FROHBÖSE, B., SKARABIS, J. *Forschungsbericht zu FE 08.0211/2011/OGB: „Akustische Optimierung von Betonoberflächen durch Texturierung des Festbetons mit verbesserten Grinding-Verfahren“*. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, vertreten durch die Bundesanstalt für Straßenwesen. Hoppegarten, Deutschland, April 2013.

Ralf Alte-Teigeler
ralf.alte-teigeler@oat.de



Tim Alte-Teigeler
tim.alte-teigeler@oat.de



oba: Otto Alte-Teigeler GmbH