

# POROVNANIE VÝSLEDKOV HODNOTENIA TEXTÚRY POVRCHOV MERANÍM POMOCOU 3D SCANERA A KONVENČNÝMI METÓDAMI

Matúš KOVÁČ

*Katedra cestného staviteľstva  
Žilinská univerzita v Žiline  
[matus.kovac@fstav.uniza.sk](mailto:matus.kovac@fstav.uniza.sk)*

Martin DECKÝ

*Katedra cestného staviteľstva  
Žilinská univerzita v Žiline  
[martin.decky@fstav.uniza.sk](mailto:martin.decky@fstav.uniza.sk)*

Eva REMIŠOVÁ

*Katedra cestného staviteľstva  
Žilinská univerzita v Žiline  
[eva.remi.sova@fstav.uniza.sk](mailto:eva.remi.sova@fstav.uniza.sk)*

Peter KOTEK

*Katedra cestného staviteľstva  
Žilinská univerzita v Žiline  
[peter.kotek@fstav.uniza.sk](mailto:peter.kotek@fstav.uniza.sk)*

## Abstrakt

The surface texture evaluation is very important for many reasons in civil engineering. Generally, the surface texture can have different influence on the road issues depending on wavelength and amplitude of the surface irregularities. The article deals with the micro and macro texture, which have the main influence on the skid resistance. There were three different road sections measured by conventional methods for texture and skid resistance evaluation, and surfaces of all these sections were scanned by the 3D scanner, as well. Results, i.e. the texture characteristics of all methods were compared and correlation functions were established.

## Kľúčové slová

Surface texture, Skid resistance, 3D scanning, Macrotexture, Microtexture, Volumetric method, British pendulum tester.

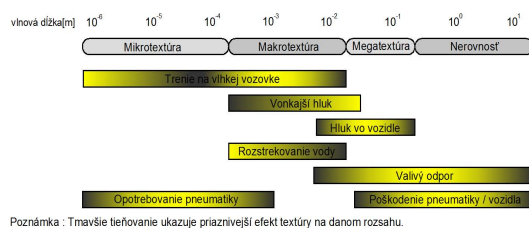
## 1. Meranie a hodnotenie povrchov

Pri hodnotení povrchov je nutné prihliadať na účel, za akým sa dané meranie a následné vyhodnotenie výsledkov vykonáva a tomu je nutné prispôbiť aj metódy merania a meraciu techniku. Pokiaľ je účelom vytvorenie digitálneho terénneho modelu veľkého územia, bude použitá letecká fotogrametria, alebo vektorizácia mapových podkladov v mierke odpovedajúcej požiadavkám stupňa projektovej dokumentácie. Pokiaľ je účelom hodnotiť nerovnosti vozoviek vplyvajúce na pohodlie a bezpečnosť jazdy, resp. dynamické zaťaženie vozovky, budú použité profilometrické, alebo odozvové prístroje umožňujúce vyhodnotenie z hľadiska interakcie systému vozidlo-vozovka v zmysle kmitania odpružených hmôt vozidla, resp. prítlaku neodpruženej hmoty na povrch vozovky. Pokiaľ je účelom hodnotenie odolnosti povrchu vozovky proti šmyku, dostávame sa k najmenším hodnotám vlnových dĺžok a amplitúd nerovností zo všetkých uvedených príkladov a hovoríme už o tzv. mikro a makro textúre povrchov. Tab.1 ukazuje rozsahy hodnôt rôznych charakteristík jednotlivých zložiek textúry.

| Textúra      | Vlnová dĺžka<br>$\lambda$ (mm) | Amplitúda<br>$A$ (mm) | Priestorová frekvencia<br>$f_{sp}$ (m <sup>-1</sup> ) |
|--------------|--------------------------------|-----------------------|-------------------------------------------------------|
| Mikrotextúra | 0,001 ~ 0,5                    | 0,001 ~ 0,5           | > 2000                                                |
| Makrotextúra | 0,5 ~ 50                       | 0,1 ~ 20              | 20 ~ 2000                                             |
| Megatextúra  | 50 ~ 500                       | 0,1 ~ 50              | 2 ~ 20                                                |
| Nerovnosti   | > 500                          | > 50                  | < 2                                                   |

Tab.1. Rozsahy hodnôt pre vybrané charakteristiky textúry

Na obr.1 sú znázornené rozsahy vlnových dĺžok textúry vozovky so znázornením vplyvu na jednotlivé javy týkajúce sa spolupôsobenia vozidla s vozovkou.



Obr. 1. Rozsahy vlnových dĺžok textúry vozovky so znázornením vplyvu na spolupôsobenie vozidla s vozovkou. Tmavšie tieňovanie signalizuje nepriaznivý vplyv v danom rozsahu (Sandberg, U., et al.)

Protišmykové vlastnosti povrchu vozovky za normálnych podmienok ovplyvňuje predovšetkým zloženie obrusnej vrstvy. Krivka zrnitosti asfaltovej zmesi, a tiež aj veľkosť maximálneho zrna kameniva, ovplyvňuje makrotextúru vozovky. Druh použitého kameniva ovplyvňuje mikrotextúru povrchu vozovky a spolu s množstvom spojiva aj časový priebeh jej úrovne v rámci životného cyklu vozovky. Pre hodnotenie jednotlivých zložiek textúry a tiež aj pre hodnotenie celkovej drsnosti povrchu, teda súčiniteľa trenia postihujúceho obidve zložky textúry odpovedajúce tejto úrovni interakcie systému vozidlo-vozovka, bolo vyvinutých množstvo metód. Tieto metódy sa od seba odlišujú ako princípom a podstatou, tak aj množstvom okrajových podmienok vplývajúcich na výsledok a objektívne zhodnotenie odolnosti vozovky proti šmyku. V súčasnej dobe rýchlo sa vyvíjajúcej laserovej a výpočtovej techniky sme sa podujali na vývoj novej metódy hodnotenia textúry vozovky, ktorá je jedným z hlavných faktorov ovplyvňujúcich drsnosť vozovky. Metóda by bola založená na 3D skenovaní povrchu s vysokým rozlíšením, čím by sa dosiahlo odstránenie vplyvu okrajových podmienok z procesu merania (rýchlosť, teplota, hĺbka vodného filmu, hĺbka dezénu a hustenie meracej pneumatiky, ľudský faktor a pod.). Pre možnosť overenia výsledkov získaných pomocou novej metódy boli tieto porovnávané s výsledkami získanými pomocou konvenčných metód hodnotenia drsnosti.

## 2. Použité metódy a zariadenia

Na úsekoch bola meraná makrotextúra pomocou odmernej metódy podľa STN EN 13036-1. Výsledkom tejto metódy je stredná hĺbka textúry – *MTD*. Ďalším zariadením, pomocou ktorého bola meraná makrotextúra povrchu bol Profilograph GE, ktorý poskytuje strednú hĺbku profilu – *MPD*, podľa STN EN ISO 13473-5, resp. TP 14/2006. Mikrotextúra povrchu bola hodnotená nepriamo pomocou skúšky kyvadlom (hodnota *PTV*) podľa STN EN 13036-4. Protišmykové vlastnosti boli hodnotené súčiniteľom trenia pomocou zariadenia Skiddometer BV11 (hodnota *Mu*) podľa TP 14/2006. Uvedené konvenčné meracie zariadenia sú znázornené na obr.2.



Obr.2. Použité zariadenia a pomôcky: 1) balotina – odmerná metóda - *MTD*, 2) Profilograph GE – *MPD*, 3) kyvadlo – *PTV*, 4) Skiddometer BV11 – *Mu*

Spomínanou novou metódou bolo skenovanie povrchu s 3D skenerom s rozlíšením 0,2mm (obr.3). Ide o ručný, laserový skener, ktorý umožňuje vzájomný pohyb skenovaného povrchu objektu a skenera počas snímania. Skenovanie prebieha pomocou troch kamier, ktoré pri skenovaní snímajú laserový červený kríž. Cele snímanie je založené na princípe triangulácie. Ak tri kamery súčasne vidia minimálne 4 reflexné body, je systém schopný automaticky určiť polohu snímaného bodu. Skenovaný povrch sa okamžite zobrazuje na monitore počítača, čo umožňuje sledovať dôslednosť skenovania povrchu, a prípadne doskenovať miesta, ktoré nie sú až tak podrobne naskenované. Každý jeden bod má svoju jedinečnú súradnicu X, Y, Z. Výsledná sieť bodov je automaticky prepočítavaná na základe nasnímanej polohy jednotlivých bodov podľa zvoleného rozlíšenia. Pričom počas



skenovania je možné zvyšovať presnosť skenovania zmenou rozlíšenia. Softvérové prostredie skeneru je schopné zaznamenávať všetky snímky povrchu a vďaka tomu je možné dáta neustále spresňovať a upravovať.



Obr.3. 3D Zscanner 800 – MPD,  $R_a$ ,  $R_q$ , priebeh skenovania, reflexný bod (Targets)

Pre spracovanie výsledkov meraní 3D skenerom bol vytvorený algoritmus v programovom prostredí MATLAB® na vyhodnotenie profilov, výkonovej spektrálnej hustoty, priemernej hĺbky textúry MPD, ako aj iných charakteristík drsnosti -  $R_a$ ,  $R_q$ . Spracovanie dát prebehlo v dvoch krokoch. Binárne dáta zo skenovania bolo najskôr nutné filtrovať v rámci softvéru VXELENTS, ktoré je súčasťou zariadenia, a v rámci tohto kroku bolo potrebné odstrániť šum a dáta mimo sledovaný rozsah. V druhom kroku sa zo súborov s exportovanými súradnicami X,Y,Z sledovaného povrchu vytvoril 3D obraz, z ktorého sa potom na základe spracovania profilov vyhodnocovali všetky štatistické a geometrické charakteristiky textúry.

**Na stanovenie priemernej hĺbky makrotextúry vozovky – MTD** (z anglického Mean Texture Depth) sa používa tzv. odmerná metóda (v minulosti nazývaná „metóda zisťovania hĺbky textúry pieskom“), ktorá sa už veľa rokov používa po celom svete na posudzovanie textúry povrchu vozovky. Priemerná hĺbka textúry povrchu MTD sa stanoví z rovnice:

$$MTD = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot D^2} \quad (\text{mm}) \quad (1)$$

kde  $V$  - objem skúšobnej vzorky v  $\text{mm}^3$  a  $D$  - priemerná hodnota priemerov kruhovej plochy pokrytej vozovky materiálom na skúšanie v mm.

**Na stanovenie priemernej hĺbky profilu vozovky** (z anglického Mean Profile Depth) sa používajú profilometrické zariadenia, ktoré nameraný profil rozdelia na tzv. základne, pričom každá základňa s dĺžkou 100 mm sa rozdelí na dve rovnaké časti. Zistia sa maximálne hodnoty profilu na každej polovici základne (hodnoty  $M1$  a  $M2$ ), z ktorých sa následne vypočíta aritmetický priemer. Ďalej sa určí priemerná hodnota profilu (PP) zo všetkých nameraných hĺbok profilu na celej dĺžke základne. Priemerná hĺbka profilu (MPD) sa potom pre každý nameraný profil vypočíta ako rozdiel aritmetického priemeru dvoch najvyšších hodnôt a priemernej hodnoty profilu (Kováč, et al.):

$$MPD = \frac{(M1 + M2)}{2} - PP \quad (\text{mm}) \quad (2)$$

**Na odhad úrovne mikrotextúry vozovky** sa používa metóda, ktorá stanovuje hodnoty odporu proti šmyku na základe straty kinetickej energie kyvadla pri preklze na konštantnej dĺžke po povrchu. Po vykonaní požadovaného počtu skúšok sa vypočíta hodnota z každej skúšky ako priemer z piatich kmitov podľa vzťahu:

$$PTV = \frac{\sum v_1 + v_2 + v_3 + v_4 + v_5}{5} \quad (-) \quad (3)$$

kde  $PTV$  je hodnota trenia určená kyvadlom (Pendulum Test Value) (-),  $v_1 - v_5$  sú jednotlivé hodnoty pre každý kmit kyvadla. Výsledná hodnota  $PTV$  sa zaokrúhli na najbližšie celé číslo a vykoná sa korekcia vzhľadom na teplotu povrchu vozovky.

Pri základnom popise nepravidelností povrchu je možné použiť aj amplitúdové parametre, akými sú deskriptívne charakteristiky polohy (priemer ( $\bar{y}$ )) a variability (stredná aritmetická odchýlka ( $R_a$ ), stredná kvadratická odchýlka ( $R_q$ )).

**Stredná aritmetická odchýlka  $R_a$**  je daná priemerom absolútnej hodnoty rozdielu výšok profilu a priemernej hodnoty profilu a vypočíta sa pomocou vzťahu:

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \bar{y}| \quad (\text{mm}) \quad (4)$$

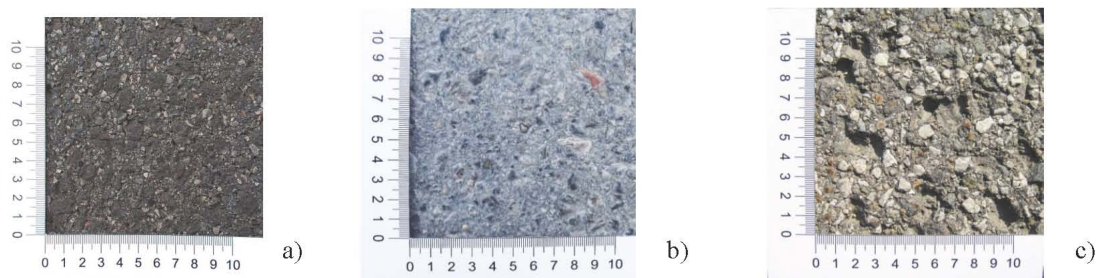
**Stredná kvadratická odchýlka  $R_q$**  je definovaná ako kvadratický priemer odchýlok jednotlivých hodnôt profilu ( $y_i$ ) od jeho aritmetického priemeru ( $\bar{y}$ ) a vyjadruje variabilitu výšok v pôvodných merných jednotkách. Je daná rovnicou:

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (\text{mm}) \quad (5)$$

Hodnoty  $MPD$ ,  $R_a$  a  $R_q$  získané z dát nameraných skenerom budú porovnávané s výsledkami konvenčných metód –  $MTD$ ,  $PTV$ ,  $Mu$ ,  $MPD_{prof}$ .

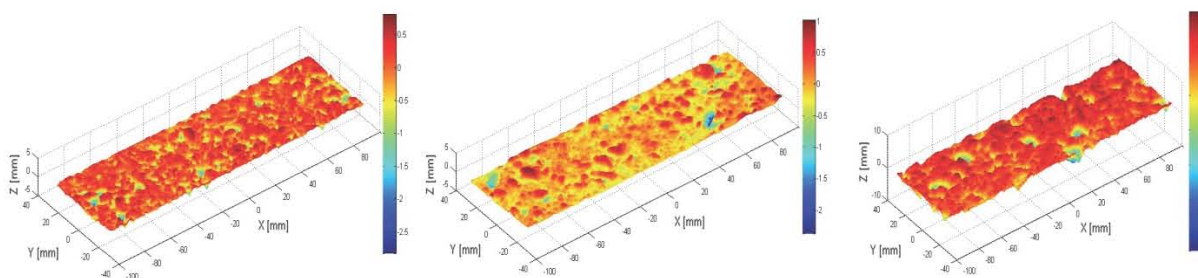
### 3. Merania na vybraných úsekoch

Pre zistenie vzťahu medzi výsledkami hodnotenia charakteristík textúry povrchov získanými konvenčnými metódami a novou metódou založenou na 3D skenovaní povrchov s vysokým rozlíšením boli v okolí Žiliny vytipované tri pokusné úseky s obrusnými vrstvami vozovky z odlišných zmesí (čo sa týka použitého kameniva, zrnitosti a veľkosti maximálneho zrna kameniva i veku vozovky), čím sa zabezpečilo to, že povrchy budú mať odlišné parametre jednotlivých zložiek textúry. Všetky merania vykonávané na mieste boli na každom úseku realizované v desiatich bodoch v presných staničeniach, aby tieto bolo možné porovnať s hodnotami získanými pomocou kontinuálne pracujúcich meracích zariadení. Úsek č.1 sa nachádzal na ceste tretej triedy pozdĺž Vodného diela Žilina smerom do obce Mojš. Fotografia posudzovaného povrchu je na obr.4a. Úsek č.2 sa nachádzal v obci Považský Chlmec smerom na skládku odpadov. Fotografia posudzovaného povrchu je na obr.4b. Úsek č.3 sa nachádzal na prístupovej ceste k letisku Žilina v obci Dolný Hričov. Fotografia posudzovaného povrchu je na obr.4c.



Obr. 4. Povrchy vozovky na úseku č.1 – a), úseku č.2 – b) a úseku č.3 – c)

Z obr.4 je už od pohľadu zrejmé, že ide o odlišné druhy asphaltových zmesí a teda aj s odlišnou textúrou povrchu. Zobrazenia povrchov uvedených úsekov po spracovaní binárnych dát získaných skenovaním pomocou 3D skenera s rozlíšením 0,2mm znázornené na obr.5.



Obr.5. Zobrazenia povrchov úsekov po spracovaní binárnych dát z 3D skenera

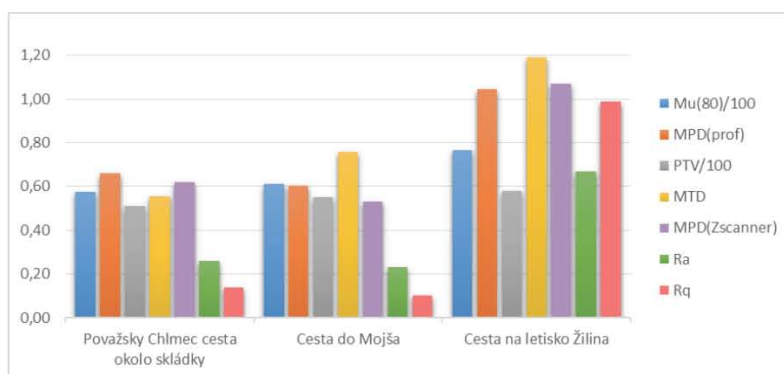
Ako bolo spomenuté vyššie, na všetkých úsekoch boli vykonané aj merania štandardnými metódami doteraz používanými pri hodnotení kvality povrchov vozoviek (cestných aj letiskových) z hľadiska drsnosti. Výsledky zo všetkých metód a ich vzájomné porovnanie je uvedené v kap.4.

#### 4. Výsledky meraní a porovnanie metód

Z nameraných a vyhodnotených výsledkov, z viac ako 200 profilov v každom z desiatich bodov na každom úseku sa vypočítali priemerné hodnoty, ktoré by mali predstavovať reprezentatívne charakteristiky textúry povrchu pre daný úsek. Následne sa navzájom porovnali namerané hodnoty. Výsledné hodnoty sú uvedené v tab.2 a v grafe na obr.6.

Tab.2 Výsledné hodnoty textúry a drsnosti daných úsekov

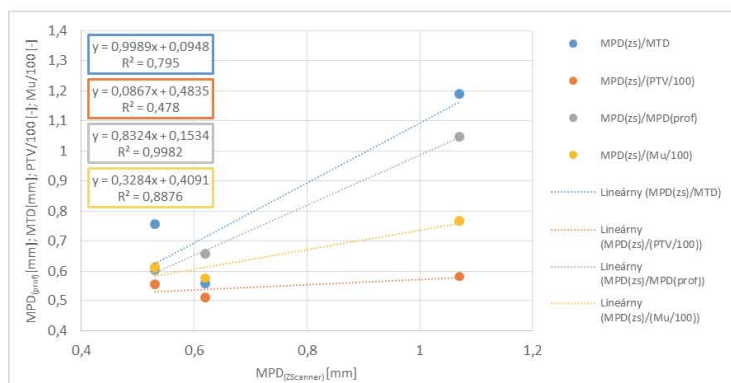
| Úseky / Parametre        | Mu(80)/100<br>[-] | MPD(prof)<br>[mm] | PTV/100<br>[-] | MTD<br>[mm] | MPD (Zscanner)<br>[mm] | Ra<br>[mm] | Rq<br>[mm] |
|--------------------------|-------------------|-------------------|----------------|-------------|------------------------|------------|------------|
| Cesta v Považskom Chlmci | 0,58              | 0,66              | 0,51           | 0,56        | 0,62                   | 0,26       | 0,14       |
| Cesta do Mojša           | 0,61              | 0,60              | 0,55           | 0,76        | 0,53                   | 0,23       | 0,1        |
| Cesta na letisko Žilina  | 0,77              | 1,05              | 0,58           | 1,19        | 1,07                   | 0,67       | 0,99       |



Obr.6. Výsledné hodnoty textúry a drsnosti daných úsekov

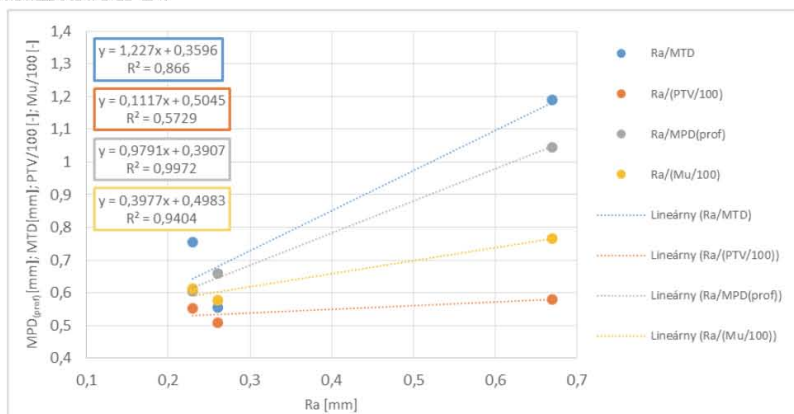
Vzájomné porovnanie výsledkov získaných pomocou nového zariadenia – 3D skenera a výsledkov získaných konvenčnými metódami je uvedené na grafoch v obr.7 až 9.



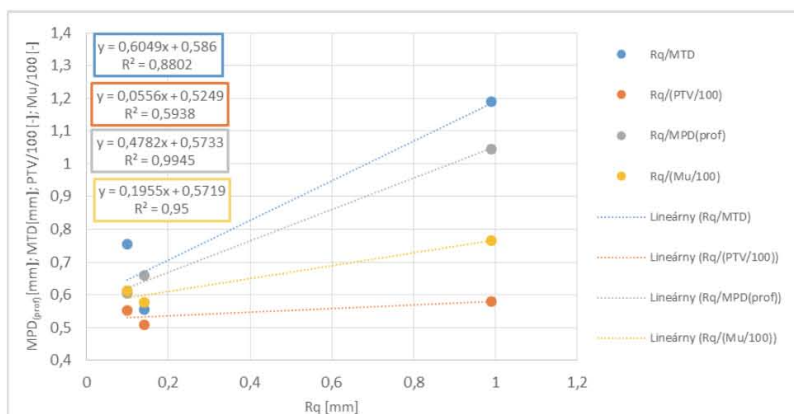


Obr. 7. Závislosť medzi hodnotou priemernej hĺbky profilu získanej pomocou 3D skenera  $MPD_{(ZScanner)}$  a konvenčnými metódami

Z uvedených obrázkov je vidieť veľmi dobrú koreláciu výsledkov charakterizujúcich makrotextúru vozovky. Pri porovnávaní hodnôt  $MPD$  získaných 3D skenerom bola, podľa očakávania, dosiahnutá najlepšia korelácia s hodnotou  $MPD$  určenou zariadením Profilograph GE. Za veľmi dobré korelácie je však tiež možné považovať aj závislosti s hodnotami  $Mu$  a  $MTD$ . Podľa očakávania bola nízka hodnota korelácie dosiahnutá pri porovnávaní výsledkov s hodnotami  $PTV$ , ktoré by mali predstavovať mikrotextúru povrchu. Toto možno pripísať rozlíšeniu skenera, kde hodnota 0,2mm jednoznačne nepostačuje pre zachytenie mikrotextúry povrchu. Z uvedených závislostí je tiež možné vidieť, že vyhodnotenie profilov na základe amplitúdových charakteristík  $R_a$  a  $R_q$  lepšie odpovedá hodnotám súčiniteľa trenia, ako hodnoty  $MPD$ , čo možno pripísať lepšiemu zachyteniu tvaru nerovností oproti parametru  $MPD$ .



Obr. 8. Závislosť medzi hodnotou strednej aritmetickej odchýlky profilu  $R_a$  získanej pomocou 3D skenera a konvenčnými metódami



Obr. 9. Závislosť medzi hodnotou strednej kvadratickej odchýlky profilu  $R_q$  získanej pomocou 3D skenera a konvenčnými metódami

## 5. Záver

Článok sa zaoberal porovnaním výsledkov hodnotenia textúry povrchu vozovky získaných konvenčnými metódami s hodnotami získanými pomocou nového zariadenia – 3D skenera. Z dosiahnutých výsledkov možno konštatovať, že konvenčné postupy, doteraz používané v praxi, bude možné nahradiť novými metódami

založenými na 3D skenovaní povrchov, čím by sa odstránil vplyv okrajových podmienok merania a zvýšila sa tak objektivita hodnotenia kvality povrchov vozoviek. Pre lepšie zohľadnenie protišmykových vlastností však bude v budúcnosti nutné zvýšiť rozlíšenie skenovania, aby došlo aj k zachyteniu nerovností povrchu na úrovni mikrotextúry. Aby sa však dosiahnuté výsledky potvrdili, bude tiež nutné vykonať ešte ďalšie porovnávacie merania na viacerých úsekoch s odlišnými povrchmi.

*Tento príspevok vznikol vďaka podpore v rámci OP Výskum a vývoj pre projekt „Brokerské centrum leteckej dopravy pre transfer technológií a znalostí do dopravy a dopravnej infraštruktúry“. (ITMS: 26220220156) ktorý je spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja a tiež ako súčasť riešenia grantovej úlohy VEGA 1/0804/12 Vplyv materiálového zloženia asfaltovej zmesi na charakteristiky textúry povrchu vozovky a produkciu emisií.*



**Podporujeme výskumné aktivity na Slovensku/ Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ**

#### **Literatúra**

- [1] SANDBERG, U., EJSFONT, J. A.: *Tyre/Road Noise Reference Book*. Informex, SE-59040 Kisa, Sweden 2002
- [2] KOVÁČ, M. a kol. (2012). Diagnostika parametrov prevádzkovej spôsobilosti vozoviek, Žilinská univerzita v Žiline, EDIS-vydavateľstvo ŽU, ISBN 978-80-554-0568-1.
- [3] STN EN ISO 13473-5, *Charakterizovanie textúry vozovky s použitím profilov povrchu. Časť 5: Stanovenie megatextúry* (ISO 13473-5:2009)
- [4] STN EN 13036-4 (73 6171) *Povrchové vlastnosti vozoviek. Skúšobné metódy. Časť 4: Metóda merania odporu povrchu proti šmyku. Skúška kyvadlom.*
- [5] STN EN 13036-1 (73 6171) *Povrchové vlastnosti vozoviek a letiskových plôch. Skúšobné metódy. Časť 1: Meranie hĺbky makrotextúry povrchu vozovky odmernou metódou.*
- [6] TP 14/2006 *Meranie a hodnotenie drsnosti vozoviek pomocou zariadení SKIDOMETER BV11 a Profilograph GE*