

Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostrava

řada stavební, ročník 15, číslo 1, rok 2015

článek č. 10

Peter KOTEK¹, Matúš KOVÁČ²**VPLYV TEXTÚRY POVRCHU VOZOVKY A TYPU MERACEJ PNEUMATIKY
NA HODNOTY SÚČINITEĽA TREŇIA****THE INFLUENCE OF PAVEMENT SURFACE TEXTURE AND TYPE OF MEASURING TYRE
ON VALUES OF FRICTION COEFFICIENT****Abstrakt**

Príspevok sa venuje meraniu geometrických ako aj fyzikálnych charakteristík popisujúcich aktuálny stav drsnosti daného povrchu vozovky. Merania boli realizované na vybraných úsekoch cestnej siete s rozdielnym asfaltovým povrchom s cieľom o čo najväčšie možné zastúpenie používaných zmesí na Slovensku. Boli vykonané merania makrotextúry, mikrotextúry, ako aj samotné meranie súčiniteľa trenia. Merania súčiniteľa trenia boli realizované zariadením TWO (Traction Watcher One), ktoré je vo vlastníctve centra excelentnosti Žilinskej univerzity.

Kľúčové slová

Povrch vozovky, Makrotextúra, Mikrotextúra, Meracie zariadenie, Pneumatika.

Abstract

The article deals with the measurement of geometric and physical characteristics, which are used for describing of the current skid resistance value of the road pavement surface. The measurements were performed on selected road sections with different asphalt surface in order to examine the widest possible representation of asphalt mixtures used in Slovakia. There were performed measurements of macrotexture, microtexture and measurements of longitudinal friction coefficient. The measurements of friction coefficient were performed by means of device TWO (Traction Watcher One), which is the property of Centre of Excellence, University of Žilina.

Keywords

Pavement surface, Macrotexture, Microtexture, Measuring Equipment, Tyre.

1 ÚVOD

Drsnosť povrchov ciest je veľmi dôležitý parameter, ktorý je však veľmi ťažké správne merať a jeho kvantifikáciu následne objektívne vyhodnocovať. Bolo vyvinutých množstvo zariadení, ktoré ho určitým spôsobom popisujú. Niektorými zo zariadení, ktoré poskytujú informácie o trení medzi kolesom a vozovkou, sú kontinuálne pracujúce zariadenia na meranie súčiniteľa trenia. Tieto zariadenia sú však citlivé na určité špecifické podmienky, ktoré je príliš komplikované kontrolovať. Nie je prekvapujúce, že rozdiely medzi dvoma po sebe idúcimi meraniami pri použití rovnakého zariadenia môžu dosahovať až 5%. Pričom výsledky meraní viacerých zariadení na tom istom povrchu sa potom môžu značne líšiť. Preto sa už dlhodobo skúma spôsob merania súčiniteľa trenia viacerými rozdielnymi zariadeniami a stanovenie prevodových vzťahov medzi nimi s víziou

¹ Ing. Peter Kotek, Katedra cestného staviteľstva, Stavebná fakulta, Žilinská univerzita v Žiline, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, tel.: +421 41 / 513 5930, e-mail: peter.kotek@fstav.uniza.sk.

² Doc. Ing. Matúš Kováč, PhD., Katedra cestného staviteľstva, Stavebná fakulta, Žilinská univerzita v Žiline, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, tel.: +421 41 / 513 5910, e-mail: matus.kovac@fstav.uniza.sk.

zjednotenia výsledkov diagnostiky. Výsledky zo zariadení sú hlavne ovplyvnené rýchlosťou meracieho zariadenia, ako aj typom použitého kolesa, jeho zaťažením, dezénom a hustením. Ďalšie faktory, ktoré ovplyvňujú výsledky merania sú hrúbka vodného filmu, teplota povrchu vozovky a aktuálne kalibračné nastavenie zariadenia. Na veľkosť nameranej hodnoty súčiniteľa trenia by však mala mať najväčší a zásadný vplyv v prvom rade textúra daného povrchu vozovky. Ďalším dôležitým faktorom ovplyvňujúcim spolupôsobenie medzi kolesom a vozovkou je typ použitej pneumatiky. Z tohto dôvodu sa článok zameriava práve na tieto dva zásadné parametre.

2 SÚČINITEĽ TRENIA

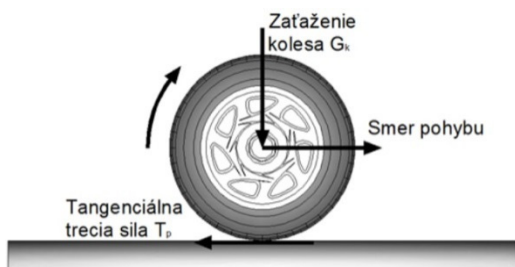
Drsnosť povrchu vozovky sa často vyjadruje použitím bezrozmerného súčiniteľa šmykového trenia, ktorý je definovaný ako pomer tangenciálnej trecej sily a normálovej sily medzi gumeným behúňom pneumatiky a povrchom vozovky [1]. Dá sa stanoviť pomocou rovnice.

$$f = T_p / G_k \quad [-].$$

kde: T_p – tangenciálna reakcia na povrchu vozovky na kontakte s pneumatikou [N],

G_k – zaťaženie kolesa [N].

Sily pôsobiace na rotujúce koleso sú znázornené na obr. 1.

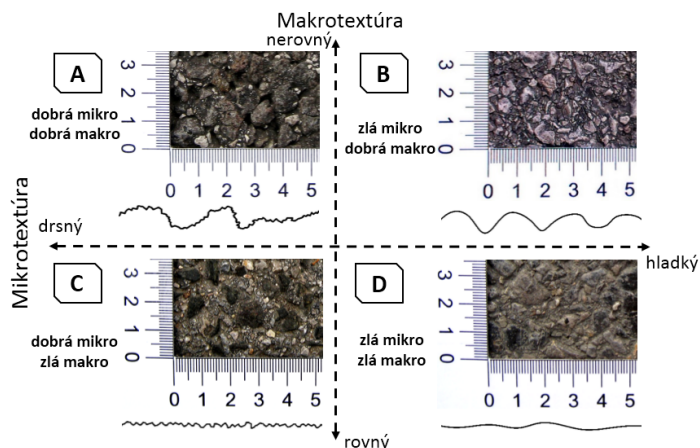


Obr. 1: Sily pôsobiace na rotujúce koleso

Na veľkosť súčiniteľa trenia má podstatný vplyv textúra povrchu, vyjadrená jeho mikrotextúrou a makrotextúrou. Obecne môže byť povrch vozovky podľa hodnôt mikro a makrotextúry rozdelený do štyroch kategórií:

- A. *Nerovný a drsný*, t. j. povrch má dobrú mikrotextúru aj makrotextúru;
- B. *Nerovný a vyhladený*, t. j. povrch má dobrú makrotextúru ale zlú mikrotextúru;
- C. *Rovný a drsný*, t. j. povrch má dobrú mikrotextúru ale zlú makrotextúru;
- D. *Rovný a vyhladený*, t. j. povrch má zlú mikro aj makrotextúru.

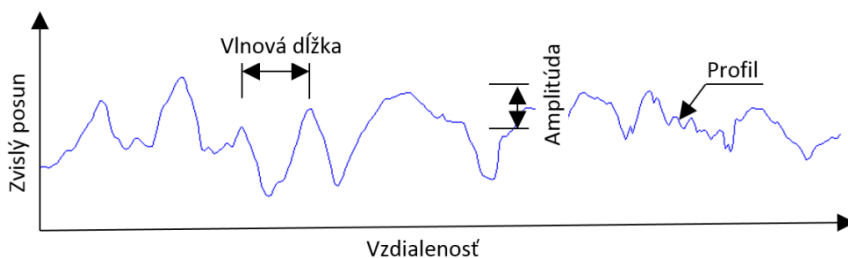
Znázornenie týchto kategórií s príkladmi konkrétnych povrchov je možné vidieť na obr. 2.



Obr. 2: Príklad povrchov vozoviek s rôznymi hodnotami mikro a makrotextúry

3 PARAMETRE OVPLYVŇUJÚCE HODNOTY SÚČINITEĽA TREŇIA

Textúra je definovaná morfológickým usporiadaním výstupkov materiálu tvoriaceho povrch vozovky. Vytvára ju kompletný materiál, ktorý sa nachádza pevne uchytený na povrchu vozovky. Tvorí základný prvok spolupôsobenia pneumatiky vozidla s vozovkou. Podľa rozsahov vlnových dĺžok a amplitúd jednotlivých výstupkov povrchu sa textúra rozdeľuje na mikro-, makro- a megatextúru. Ako vidieť z obr. 3., profil povrchu je vyjadrený pomocou dvoch súradníc, pričom jedna je pozdĺž roviny povrchu a nazýva sa vzdialenosť, druhá je kolmá na rovinu povrchu a nazýva sa zvislý posun, ktorý môže byť charakterizovaný amplitúdou resp. priemernou hĺbkou textúry. Vzdialenosť môže byť meraná v pozdĺžnom smere, t. j. v smere jazdy vozidiel, alebo v priečnom, t. j. kolmom na smer jazdy vozidiel. Nakoľko tvar profilu povrchu vozovky pripomína priebeh náhodného stacionárneho signálu, je možné na jeho popis použiť veličiny ako sú „vlnová dĺžka textúry (λ)“ s jednotkou (m), alebo jej inverzná hodnota, ktorá sa nazýva „priestorová frekvencia (f_{sp})“ s jednotkou (m^{-1}) [1].



Obr. 3: Zobrazenie základných charakteristík textúry vozovky

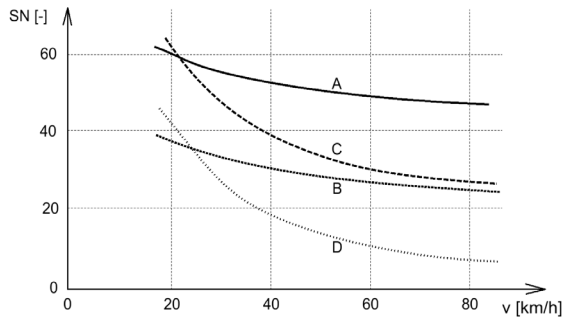
3.1 Mikrotextúra

Mikrotextúra je vyjadrená drobnými výstupkami na zrnách kameniva a hovorí o tom, ako sú zrná hladké alebo drsné a zásadne prispieva k treniu medzi pneumatikou a povrchom vozovky. Je charakterizovaná rozsahom vlnovej dĺžky 0,001 až 0,5 mm a amplitúdy 0,001 po 0,5 mm [2]. Svojim rozsahom vytvára dojem viac alebo menej drsného povrchu, ale je obvykle príliš jemná na to, aby ju bolo možné vizuálne zaznamenať. Mikrotextúra povrchu kameniva zabezpečuje základnú úroveň trenia. Jej význam taktiež spočíva v prerušení súvislého vodného filmu a vo vytvorení bezprostredného kontaktu pneumatiky vozidla s povrchom vozovky [2].

3.2 Makrotextúra

Makrotextúra zabezpečuje základnú drenážnu schopnosť povrchu vozovky. Vyjadruje súhrn výstupkov na povrchu vozovky a opisuje, ako sú jednotlivé zrná kameniva usporiadané na povrchu vozovky. Je charakterizovaná rozsahom vlnovej dĺžky 0,5 až 50 mm a amplitúdy s rozsahom 0,1 až 20 mm [2]. Je dôležitá na rýchle odvedenie vody z povrchu vozovky. Hlavnou príčinou je, že voda pôsobí ako lubrikant, čo sa výrazne prejavuje na vzájomnom trení medzi pneumatikou a vozovkou. Makrotextúra zohráva podstatnú úlohu pri vyšších rýchlostiach jazdy vozidiel nad 40 km/h [7, 8, 9].

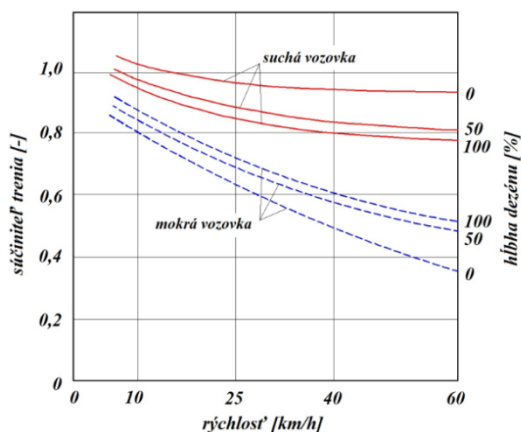
Ako textúra (mikro aj makro) ovplyvňuje protišmykové vlastnosti vlhkej vozovky pri rôznych rýchlostiach je naznačené na Obr. 4. Protišmykové vlastnosti vozovky sú tu vyjadrené pomocou koeficientu SN (*Skid Number*) - súčiniteľa trenia, ktorý je definovaný podľa [3], ako podiel sily potrebnej na pošmyknutie zablokovaného skúšobného kolesa na vlhkej vozovke vynásobenej 100 a efektívneho zaťaženia tohto kolesa, pri meraní rýchlosťou 40 km/h. Z obrázku je zrejmé, že pri nižších rýchlostiach má rozhodujúci vplyv mikrotextúra povrchu vozovky. Ďalej je zrejmé, že s nárastom rýchlosti sa odolnosť proti šmyku znižuje, ale tento pokles nie je taký výrazný kým má makrotextúra dostatočné hodnoty. Vyhovujúca mikrotextúra je vždy potrebná na zabezpečenie vysokých hodnôt trenia.



Obr. 4: Protišmykové vlastnosti charakterizované koeficientom SN ako funkcia rýchlosti pre rôzne typy vozovky (A. dobrá mikro aj makro, B. zlá mikro, dobrá makro, C. dobrá mikro, zlá makro, D. zlá mikro aj makrotextúra) [4]

3.3 Pneumatika

Pneumatiky vozidla tvoria spojovací článok medzi vozovkou a vozidlom. Prostredníctvom kolies sa na povrch vozovky prenáša hmotnosť vozidla, brzdné a hnacie momenty a bočné sily. Dôležitou požiadavkou kladenou na pneumatiky je dosahovanie optimálnych stykových síl medzi gumovou zložkou kolesa a povrchom vozovky. To sa dosahuje vhodne navrhnutým dezénom. Dezén pneumatiky sa spravidla používa na odvedenie vody z kontaktnej plochy pneumatiky. Dôležitý je predovšetkým na mokrých povrchoch vozoviek s uzavretou textúrou. Dezén pneumatiky má napomáhať rýchlemu odvedeniu vody z kontaktnej plochy s povrchom vozovky. Pneumatiky s vyhovujúcim dezénom majú až o 50 % vyšší súčiniteľ trenia ako hladké pneumatiky. Čím väčší je objem drážok, tým viac vody môže pneumatika za kratší čas odvieť zo stykovej plochy. Pri opotrebovaných pneumatikách dochádza na mokrej i suchej vozovke k výraznejším zníženiam súčiniteľa trenia a tieto hodnoty sa znižujú s narastajúcou rýchlosťou (obr. 5).



Obr. 5: Závislosť súčiniteľa trenia od rýchlosti a opotrebovania pneumatík [5]

4 MERACIE ZARIADENIE TWO (Traction Watcher One)

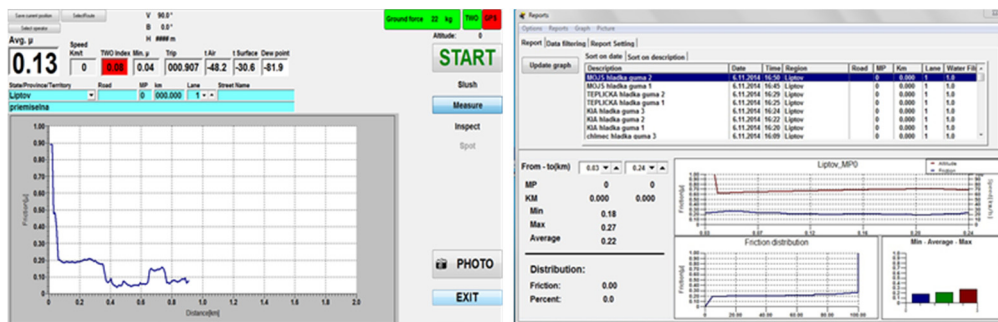
TWO je merací prístroj (obr. 6) vyvinutý nórskou firmou Pon-CAT, ktorý sa bežne používa v severných krajinách na merania protišmykových vlastností na cestách a letiskách s možnosťou použitia aj na zľadovatených povrchoch. Zariadenie je namontované priamo na vozidlo pomocou upevňovacieho nosníka. Samotný nosník je nasadený na ťažné zariadenie a následne uchytený o karosériu automobilu. Zariadenie pozostáva z radu dvoch kolies, referenčného a meracieho kolesa, navzájom spojených reťazovým prevodom. Počas prepravy sú kolesá zdvihnuté smerom hore, bez nutnosti zastavovania sa pri začatí merania automaticky spustia smerom k povrchu vozovky. Meracie koleso je počas merania brzdené fixným sklzom 17,8 %. Priamym výstupom zo zariadenia je

súčiniteľ pozdĺžneho trenia, ktorý je možné získavať pri rýchlostiach od 2 do 110 km/h, so zaťažením meracieho kolesa 60 kg. Merania je možné vykonávať aj na suchých, aj na mokrých povrchoch. Pri meraní namokro je možné pred druhé koleso prostredníctvom vodného čerpadla nanášať vodný film premenlivej hrúbky od 0,1 do 1 mm [6].



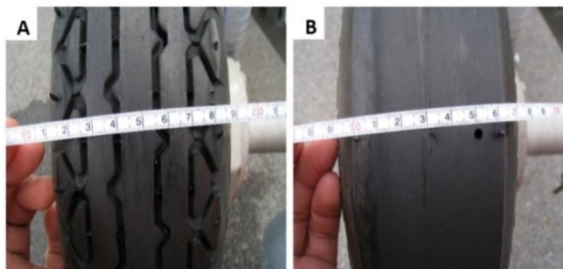
Obr. 6: Zariadenie TWO spolu s meracím vozidlom

Celý proces zaznamenávania a samotného merania je riadený prostredníctvom dodávaného softvéru TWO nainštalovaného na notebooku vo vozidle. Veľkou výhodou tohto zariadenia je, že je možné sledovanie nameraných hodnôt v reálnom čase na monitore a po skončení merania umožňuje okamžitý report hodnôt súčiniteľa trenia na celom úseku (obr. 7). Hodnoty súčiniteľa trenia dokáže zaznamenávať v závislosti od softvéru už s krokom od 0,5 m. Zariadenie je ďalej doplnené ďalšími senzormi, ktoré zaznamenávajú teplotu povrchu, teplotu vzduchu, vlhkosť vzduchu, ako aj polohu pomocou GPS. Počas merania umožňuje softvérové prostredie detekciu optimálnych, výstražných a varovných hodnôt graficky a aj zvukovým signálom v závislosti na ich nastavení.



Obr. 7: Softvér TWO meranie, report nameraných hodnôt

Meranie samotného súčiniteľa trenia bolo realizované dvoma typmi pneumatík, ako je znázornené na obr. 8. Pneumatikou s dezénom typu Trelleborg T49 s priemerom 420 mm, ktorá patrí medzi štandard pri meraní trenia v Európe a s hladkou pneumatikou typu ASTM E-1551 s priemerom 410 mm podľa štandardov ASTM E1844-96 (Standard Specification for A Size 10 x 4-5 Smooth-Tread Friction Test Tire). Všetky vykonané merania boli realizované z dôvodu zachovania bezpečnosti a dodržiavania predpisov cestnej premávky pri rýchlosti 60 km/h.



Obr. 8: Použité pneumatiky A) Trelleborg T49, B) ASTM TESTER TIRE E-1551

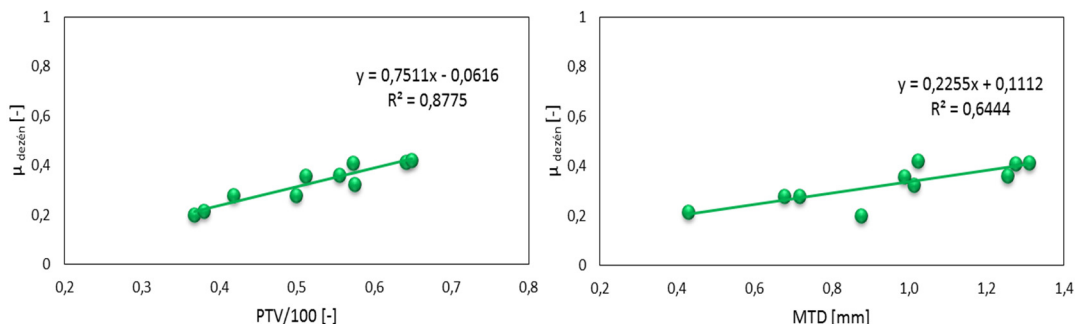
5 ANALÝZA VÝSLEDKOV

Merania boli realizované na desiatich rozdielnych vozovkách, s cieľom o čo najväčšie možné zachytenie používaných asfaltových povrchov na slovenskej cestnej sieti. Tieto povrchy sa od seba líšili zložením asfaltovej zmesi (druhom a množstvom spojiva, druhom kameniva, čiarou zrnitosti), vekom a intenzitou dopravy.

Hodnoty priemernej hĺbky makrotextúry boli na všetkých úsekoch vyjadrené parametrom *MTD* (Mean Texture Dept), ktorý je hodnotiacim výstupom odmernej metódy (STN EN 13036-1). Hodnoty priemernej hĺbky textúry sa pohybovali v rozmedzí od 0,43 mm (zlá makrotextúra) do 1,31 mm (dobrá makrotextúra). Na zachytenie stavu mikrotextúry na povrchu kameniva bol na jednotlivých úsekoch použitý British Pendulum Tester, ktorým sa hodnoty mikrotextúry kameniva získali na základe straty energie gumovej pätky po prejení po stanovenej dĺžke na povrchu vozovky (STN EN 13036-4). Hodnoty mikrotextúry sú vyjadrené bezrozmerným parametrom *PTV*, pričom sa na jednotlivých úsekoch pohybovali v rozmedzí od 37 (zlá mikrotextúra) do 65 jednotiek (dobrá mikrotextúra).

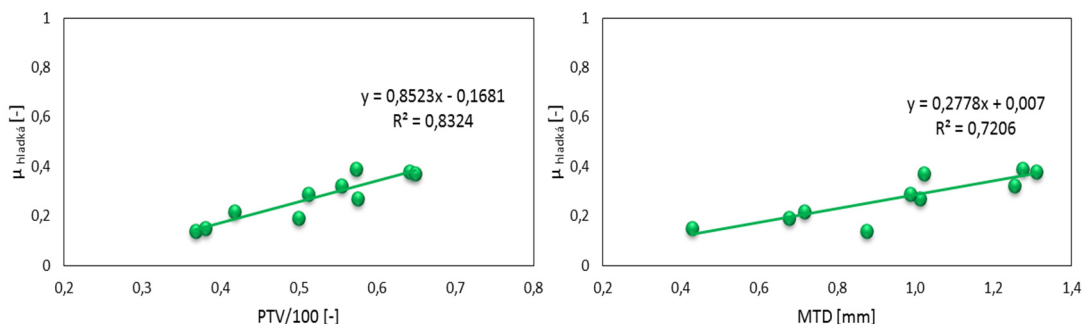
Z dosiahnutých výsledkov merania je možné stanoviť vplyv jednotlivých zložiek textúry na namerané hodnoty súčiniteľa, ktorý bol meraný zariadením TWO s rozdielnymi typmi pneumatík. Stanovený súčiniteľ trenia špecifikuje protišmykové vlastnosti daného povrchu.

Porovnaním súčiniteľa trenia (obr. 9) nameraného pneumatikou s dezénom s hodnotami textúry je vidieť, že hodnoty súčiniteľa trenia sú viac ovplyvnené hodnotami mikrotextúry kameniva (*PTV*) ako hodnotami makrotextúry (*MTD*). O tomto tvrdení hovorí dosiahnutý koeficient determinácie $R^2 = 0,877$ medzi $\mu_{\text{dezén}}$ a *PTV* pri porovnaní s koeficientom determinácie $R^2 = 0,644$ medzi $\mu_{\text{dezén}}$ a *MTD*. Jeho hodnota udáva, v akom rozsahu určuje variabilita jednej premennej variabilitu druhej premennej.



Obr. 9: Porovnanie súčiniteľa trenia meraného dezénovou pneumatikou s hodnotou mikrotextúry *PTV* a s hodnotou makrotextúry *MTD*

Komparáciou súčiniteľa trenia nameraného hladkou pneumatikou s hodnotami textúry (obr. 10) je vidieť, že hodnoty súčiniteľa trenia sú viac ovplyvnené hodnotami makrotextúry (*MTD*) ako to bolo v prípade merania s pneumatikou s dezénom. O tomto tvrdení hovorí dosiahnutý koeficient determinácie $R^2 = 0,721$ medzi $\mu_{\text{hladká}}$ a *MTD*, pričom však táto hodnota je stále nižšia ako pri korelácii $\mu_{\text{hladká}}$ a *PTV*. Ak uvažujeme s tým, že hodnoty trenia zistené skúškou kyvadlom aproximujú úroveň mikrotextúry, tak môžeme tvrdiť, že súčiniteľ trenia meraný pri rýchlosti 60 km/h so sklzom pneumatiky 17,8% je viac ovplyvňovaný mikrotextúrou povrchu vozovky.

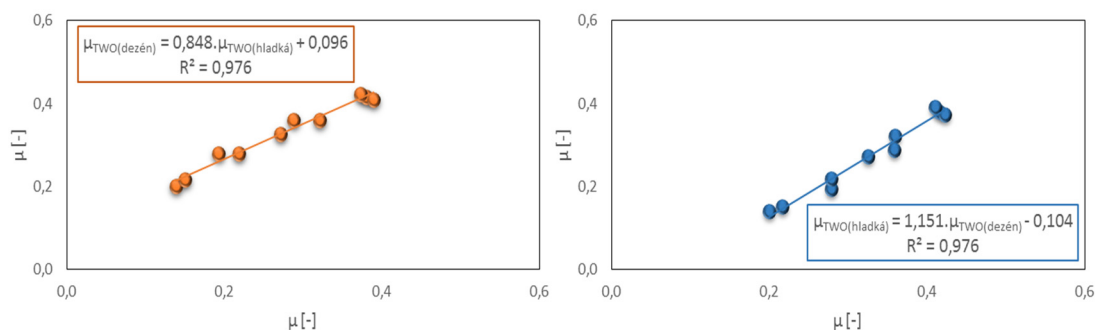


Obr. 10: Porovnanie súčiniteľa trenia meraného hladkou pneumatikou s hodnotou mikrotextúry *PTV* a s hodnotou makrotextúry *MTD*

Namerané menšie hodnoty súčiniteľa trenia pri hladkej pneumatike oproti hodnotám nameraných pri pneumatike s dezénom sú spôsobené nedostatočným vytlačením vody z kontaktnej plochy pneumatiky s vozovkou. Meranie súčiniteľa trenia s hladkou pneumatikou je insenzitívnejšie na hodnoty mikrotextúry kameniva a je viac ovplyvnené drenážnymi vlastnosťami makrotextúry povrchu vozovky ako pri meraní s pneumatikou s dezénom.

Z nameraných výsledkov hodnôt súčiniteľa trenia je možné vykonať vzájomné porovnanie týchto dvoch typov pneumatík. Z výsledkov je jednoznačné, že hodnoty namerané s hladkou pneumatikou sú nižšie ako hodnoty pri dezénovej pneumatike. Rozdiely v hodnotách sa pohybovali v rozmedzí od 6 do 27 % v závislosti od druhu povrchu vozovky. V priemere hodnoty namerané hladkou pneumatikou boli menšie o 17% .

Z komparácie nameraných hodnôt súčiniteľa trenia s dezénovou a hladkou pneumatikou je možné stanoviť prevodové vzťahy na určenie súčiniteľa trenia meraného s použitím týchto dvoch typov pneumatík (obr. 11).



Obr. 11: Porovnanie medzi dezénovou a hladkou pneumatikou

O výpovednej hodnote tohto prevodového vzťahu hovorí dosiahnutý koeficient determinácie medzi hladkou a dezénovou pneumatikou $R^2=0,976$ a fakt, že jednotlivé merania boli realizované na desiatich rozdielnych asfaltových povrchoch.

6 ZÁVER

Správne meranie a objektívne vyhodnotenie textúry povrchov ciest je veľmi dôležité a to ako z hľadiska hodnotenia drsnosti, tak aj z hľadiska sledovania produkcie a šírenia emisií [10], [11] v okolí cestnej komunikácie. Príspevok sa venoval problematike vplyvu textúry povrchu vozovky spolu s použitým typom meracej pneumatiky na namerané hodnoty súčiniteľa trenia na vybraných úsekoch cestnej siete. Z výsledkov je možné stanoviť, že hodnoty súčiniteľa trenia pri dezénovej pneumatike sú viac ovplyvnené veľkosťou mikrotextúry kameniva ako hodnoty súčiniteľa trenia dosiahnuté pri hladkej pneumatike, ktoré sú viac ovplyvnené drenážnymi vlastnosťami makrotextúry

povrchu vozovky. Na základe porovnania sklonu regresných priamok (smernice priamky) z obr. 9 a obr. 10 sa však dá predpokladať, že súčiniteľ trenia meraný pri rýchlosti 60 km/h so sklzom pneumatiky 17,8% je celkovo viac ovplyvnený mikrotextúrou povrchu vozovky.

POĎAKOVANIE

Tento príspevok bol vypracovaný ako súčasť riešenia grantovej úlohy VEGA 1/0804/12 Vplyv materiálového zloženia asfaltovej zmesi na charakteristiky textúry povrchu vozovky a produkciu emisií.

Tento príspevok bol vypracovaný ako súčasť riešenia grantovej úlohy VEGA 1/0557/14 Vplyv vybraných premenných parametrov na prevádzkovú spôsobilosť asfaltových vozoviek.

LITERATÚRA

- [1] KOVÁČ, M. a kol. 2012. Diagnostika parametrov prevádzkovej spôsobilosti vozoviek, Žilina: EDIS, 2012. 256 s. ISBN 978-80-554-0568-1
- [2] STN EN ISO 13473-5, Charakterizovanie textúry vozovky s použitím profilov povrchu. Časť 5: Stanovenie megatextúry (ISO 13474-5:2009)
- [3] ASTM E274, Standard Test Method for Skid Resistance of Paved Surfaces Using a Full-Scale Tire
- [4] „Road Surface Characteristics: Their Interaction and Their Optimization,“ OECD Scientific Technical Group, Organisation for Economic Cooperation and Development, Paris, 1984
- [5] KASANICKÝ, G. – KOHÚT, P. – LUKÁŠIK, M.. 2011. Teória pohybu a rázu pri analýze a simulácie nehodového deja. Žilina: EDIS, 2011. 350 s. ISBN 80-7100-597-5
- [6] Operating manual: TWO friction meter (Traction Watcher One). Olsense Technology AS, VAT reg. No.: 991 206 604.
- [7] Kováč M, Kotek P.: The usability of different Skid resistance characteristics in Road Assessment. Civil and Environmental Engineering. Volume 10, Issue 2, Pages 80–87, ISSN (Online) 1336-5835, DOI: 10.2478/cee-2014-0015, December 2014.
- [8] KOTEK, P. – FLORKOVÁ, Z. 2014. Comparison of the skid resistance at different asphalt pavement surfaces over time. In: Procedia Engineering : XXIII R-S-P seminar : Theoretical foundation of civil engineering [online]. 2014. vol. 91.
- [9] SLABEJ, M., GRINČ, M.: 2014. 3D road surface model for monitoring of transverse unevenness and skid resistance. In: 2nd International Conference on Traffic and Transport Engineering (ICTTE). Assoc Italiana Ingn Traffico Trasporti Res Ctr, Belgrade, SERBIA, NOV 27-28, 2014, p. 616-624. Accession Number: WOS:000348569200076, ISBN:978-86-916153-2-1.
- [10] DECKÝ, M., MIKOLAJ, REMEK, Ľ., PEPUCHA, Ľ.: Air pollution as criterion in multi criteria analysis performed in HDM-4. In: Ecology, economics, education and legislation : 13th international multidisciplinary scientific geoconference SGEM 2013 : conference proceedings : 16-22 June, 2013, Albena, Bulgaria. - Sofia: STEF92 Technology, 2013. - ISBN 978-619-7105-05-6. - S. 27-34
- [11] TROLLÉ, A., TERROIR, J., LAVANDIER, C., MARQUIS-FAVRE, C., LAVANDIER, M.: Impact of urban road traffic on sound unpleasantness: A comparison of traffic scenarios at crossroads. In: Applied Acoustics 94 (2015), p. 46-52, ISSN: 0003-682X

Oponentní posudek vypracoval:

Doc. Ing. Katarína Bačová, PhD., Katedra dopravných stavieb, Stavebná fakulta, STU v Bratislave.

Ing. Jiří Šmíd, Ph.D., Ředitelství silnic a dálnic ČR, Úsek kontroly kvality staveb, Praha.