

VYUŽITIE LASEROVÝCH SKENEROV V HOSPODÁRENÍ S VOZOVKOU

USE OF LASER SCANERS IN THE PAVEMENT MANAGEMENT

Martin Decký

Katedra cestného staveľstva
Stavebná fakulta
Žilinská univerzita v Žiline
Univerzitná 8215/1
010 26, Žilina
martin.decky@uniza.sk

Lukáš Ďuriš

Výskumné centrum
Žilinská univerzita v Žiline
Univerzitná 8215/1
010 26, Žilina
lukas.duris@uniza.sk

Matúš Kováč

Katedra cestného staveľstva
Stavebná fakulta
Žilinská univerzita v Žiline
Univerzitná 8215/1
010 26, Žilina
matus.kovac@uniza.sk

Abstract

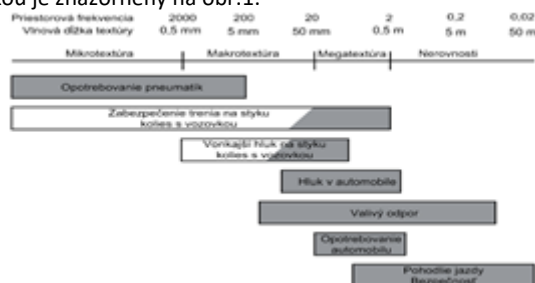
The paper presents the outputs of the staff of the Faculty of Civil Engineering and the Research Center UNIZA in the field of laser scanning of pavements for the purposes of pavement management (PM). Credibility objectification of road surface characteristics enables a more holistic, sophisticated way of decision-making within the PM, both at the network and project level. Specifically, the outputs of the SRS, Trimble CX and Lynx SG1 Mobile Mapper UNIZA devices are listed. There is a correlation dependence of the development of rut depth for non-rigid pavements of public transport stops found from measurements at the public transport stop Hurbanova in Žilina in the years 1994 to 2018.

Keywords

Laser scanning, pavement management, pavement morphology, cross evenness, rut depth, standard axles

1. Úvod

V článku sú prezentované výsledky dlhodobých výskumných aktivít autorov z oblasti objektivizácie morfológie povrchu vozoviek (Decký et al, 2018) s prioritnou orientáciou na rovnosť ich povrchu (Decký, Kováč, 2014) a nimi indukované mechanické kmitanie vozidiel (Decký a kol., 2019). Morfológia povrchu vozovky je okamžité usporiadanie všetkých prvkov povrchu vozovky. Ide o súhrn všetkých výškových odchýlok bodov povrchu od ideálne rovnej (projektovanej) plochy, ktoré v zvislých rezoch sledovaných rovín tvoria profily ako náhodnú kombináciu vln s rôznymi vlnovými dĺžkami a amplitúdami. Tieto odchýlky determinujú okamžité hodnoty premenných parametrov vozoviek (Kováč, 2013). Základná kategorizácia nepravidelností povrchov vozoviek na základe dĺžky a amplitúdy vlny bola navrhnutá na XVIII. cestnom svetovom kongrese v Bruseli v roku 1987 a ich vplyv na interakciu vozidla s vozovkou je znázornený na obr.1.



Obrázok 1: Rozsahy vlnových dĺžok textúry vozovky ovplyvňujúcej javy pri interakcii vozidla s vozovkou, tmavšie tieňovanie predstavuje rozsah nepriaznivého vplyvu. Zdroj: (Sandberg and Ejsmont, 2002).

AASHTO (The American Association of State Highway Transportation Officials) je neziskové združenie zastupujúce

diaľničné a dopravné oddelenia 50 štátov USA, zahŕňajúce všetky druhy

dopravy vrátane: leteckej, diaľničnej, verejnej, aktívnej (pešej a cyklistickej), železničnej a vodnej. Jeho primárnym cieľom je podpora rozvoja, prevádzky a údržby integrovaného národného dopravného systému, pričom AASHTO slúži ako:

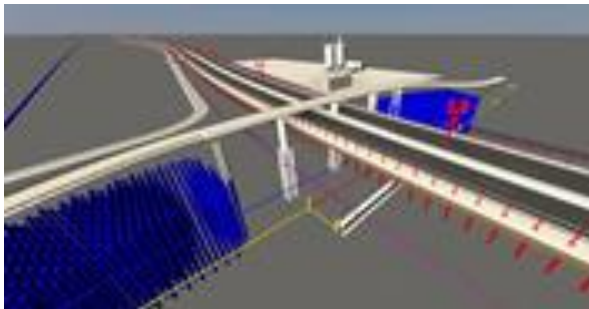
- prostredník medzi štátnymi ministerstvami dopravy a federálnou vládou,
- medzinárodný líder v oblasti technických noriem pre všetky fázy vývoja diaľničnej infraštruktúry, pre projektovanie, výstavbu diaľnic a mostov, materiály a mnoho ďalších technických oblastí.

V oblasti hospodárenia s vozovkou (*Pavement management*) za rozhodujúce výstupy združenia AASHTO možno považovať:

- *Pavement information management system (PIMS)* v *AASHTO Design Guide* z 1986, kde bol definovaný PMS, indikovala sa jeho dôležitosť a predstavila kroky potrebné na jeho prijatie a implementáciu, posledná verzia príručky je z 2012.
- *Maintenance and rehabilitation (M&R)* – údržba a rehabilitácia vozoviek by sa mala vykonávať prostredníctvom *pavement management (PM)*, čo má zabezpečiť optimálne využitie daní prostredníctvom nákladovo efektívnej stratégie navrhovania, výstavby a rehabilitácie (*cost-effective design, construction and rehabilitation strategy*) vozoviek.

Pavement management zahŕňa všetky činnosti týkajúce sa:

- plánovania,
- návrhu,
- výstavby,
- údržby a
- rehabilitácie vozoviek.

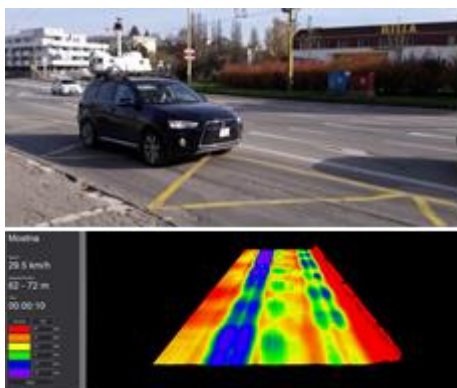


Obrázok 2: Výstup BIM Modelu D1 Budimír – Bidovce použitý pre detekciu kolízií. Zdroj: (Závodský)

PMS predstavuje súbor nástrojov (jedným z nich môže byť *BIM – Building Information Modeling*) a metód pre manažérske plánovanie výstavby a údržby cestných a letiskových vozoviek pre ich zabezpečenie v prevádzkyschopnom stave počas daného časového obdobia (Mallick and El-Korchi, 2018). PM sa často považuje za súčasť rozsiahlejšej schémy správy, ako je správa aktív (*asset management, U.S. Federal Highway Administration System*) a vyžaduje zväzovanie holistickejšieho (celostnejšieho) prístupu pri posudzovaní, analýze a implementácii. PM je implementovaný v dvoch rôznych úrovniach:

- **sieť** - na úrovni siete sa PMS využíva na výber najlepších stratégií pre návrh, výstavbu a rehabilitáciu všetkých vozoviek v rámci agentúry, aby sa dosiahol najlepší pomer nákladov a výnosov v danom období,
- **projekt** - na úrovni projektu sa PMS používa na výber najlepšieho variantu pre návrh, výstavbu alebo rehabilitáciu pre konkrétny projekt v rámci siete tak, aby výsledkom projektu bol maximálny pomer nákladov a výnosov za dané obdobie analýzy.

Informácie o doprave, existujúcich podmienkach, environmentálnych údajoch a histórii výstavby siete vozoviek poskytujú základ pre všetky následné činnosti v PM. Osobitnú pozornosť je potrebné venovať presnému, ale praktickému testovaniu existujúcich vozoviek - využívanie automatizovaného a nedeštruktívneho testovania bez narušenia plynulosti premávky (obr.3).



Obrázok 3: Znázornenie nerovností povrchu vozovky zastávky MHD Mostná v Žiline z 20.1.2018 zistené zariadením Lynx SG1 Mobile Mapper UNIZA pre účely projektu. Zdroj: (Ďuriš).

Tieto údaje/informácie sa môžu použiť na vývoj modelov na predikciu budúceho stavu vozoviek (pozri kap.4). S týmito informáciami sú spojené vstupné informácie o dostupných technikách M&R a ich relatívnych prínosoch a nákladoch.

Prínosy a náklady sa vyjadrujú z hľadiska predĺženia životnosti alebo zlepšenia podmienok a financií, alebo z hľadiska týchto faktorov, ako aj z dôvodu:

- spotreby paliva vozidiel,
- oneskorenia používateľa a
- opotrebenia pneumatík.

Informácie zozbierané a získané analýzami sa môžu použiť na výber najvhodnejšej činnosti v oblasti fúzií a akvizícií pre akúkoľvek špecifickú vozovku v najvhodnejšom čase, aby sa čo najlepšie využil dostupný rozpočet. Tento krok sa vykonáva v rastúcom poradí sofistikovanosti pomocou poradia, stanovovania priorít a optimalizácie. V uvedených činnostiach je dôležité poznať aktuálny stav záujmového objektu, v našom prípade vozovky, čo najpresnejšie a v tomto technológii laserového skenovania predstavujú účinný nástroj zvyšovanie sofistikovanosti rozhodovania.

2. Základné metódy laserového 3D skenovania

Hlavným prvkom laserového meracieho systému je laserový skener, detektor pracujúci na princípe laserového diaľkomeru a zasielajúci prijatú informáciu na ďalšie spracovanie. Laserové skenery sa líšia typom použitia a v súčasnej dobe rozoznávame terestrické skenery:

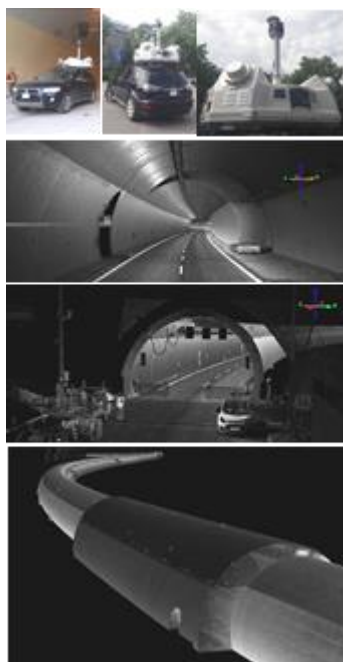
- stacionárne (obr.4)
- mobilné (obr.3 a 5).

Stacionárne skenery sú zvyčajne inštalované na stavbe (obr.4) alebo na špeciálnej podložke pre skenovanie predmetov.



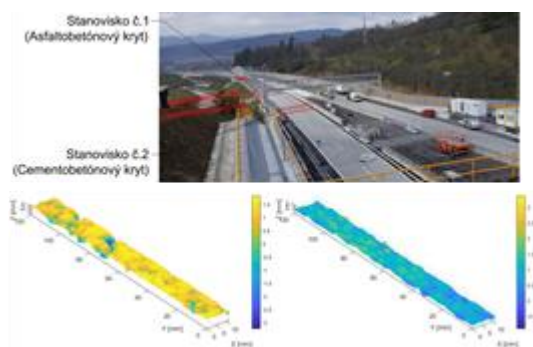
Obrázok 4: Pohľady na prístroj Trimble CX pri meraní rovnosti povrchu vozovky zastávky MHD Hurbanova v Žiline. Zdroj: (Decký a kol., 2018).

Mobilné skenery môžu byť inštalované na vozidle lietadla, helikoptére alebo drone. V súčasnosti existuje veľa typov skenerov líšiacich sa od seba svojou rozlišovacíou schopnosťou. Na SvF sa používajú skenery od mobilného mapovania objektov (obr.5), cez objektivizáciu rovnosti vozoviek (obr.4) až po meranie mikrotextúry povrchu vozoviek (obr.6)



Obrázok 5: Pohľady na Lynx SG1 Mobile Mapper UNIZA a jeho výstupy z mobilného zamerania 3D modelu tunela. Zdroj: (Ďuriš).

Dnešné skenery majú zabudované citlivé zrkadlové kamery snímajúce povrch skenovaného objektu a zaisťujúce vernosť jeho textúr. Na výstupe takéhoto systému je veľmi presná priestorová kópia skenovaného objektu v zmenšenej mierke.



Obrázok 6: Pohľady na meracie stanoviská s asfaltovým a CB krytom predportálového úseku tunela D1 a výstupy zariadenie SRS pre hodnotenie morfológie povrchu vozoviek. Zdroj: (Brna and Cingel, 2020).

Zariadenie SRS (Static Road Scanner) katedry cestného staviteľstva SvF UNIZA je určené pre meranie morfológie povrchu vozoviek s rozlíšením až do 15 μ m (obr.6).

3. Objektívizácia nerovností vozoviek terestrickým laserovým skenerom

Súčasný systém skenerov sú schopné pomocou 3D skenera nasnímať požadovaný objekt a pomocou programu vytvorí mračno bodov zodpovedajúce skenovanému objektu. Dnešné skenery majú zabudované veľmi citlivé zrkadlové kamery snímajúce povrch skenovaného objektu a zaisťujúce vernosť jeho textúr. Pri aplikácii laserového skenovania na problematiku nerovností vozoviek sa na SvF UNIZA využíva terestrický laserový skener Trimble CX (obr.4) používajúci kombinovanú metódu merania, pulznú (time-of-flight) a fázovú (phase shift). Dosah prístroja je 1,2 až 80 m, pri 90% odrazivosti

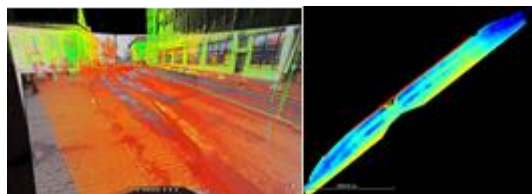
až 50 m, pri 18% odrazivosti. Rýchlosť skenovania 54 000 bodov/s. Štandardná odchýlka 1 mm na 30 m; 1.8 mm a 80 m, pre horizontálny uhol 15" a pre vertikálny uhol 25". Presnosť modelovanej plochy ± 3 mm, veľkosť stopy lúča lasera 8 mm na 25 m; 13 mm na 50 m, min. uhlový krok 0.002°. Prvé meranie rovnosti povrchu vozovky zastávky MHD prístrojom Trimble CX bolo v r.2013 uskutočnené a vyhodnotené v programe Trimble Realworks 6.0, ktorého výstupy môžu byť importované do programu AutoCAD vo formáte *.dwg resp. *.ptc



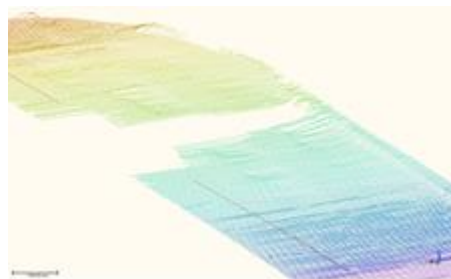
Obrázok 7: Pohľad na hrubé mračno bodov (MB) so zacytením zástavby (vľavo), MB spracované pre účely vyhodnotenia priečnych profilov, MBs vygenerovanými priečnymi profilmi vozovky. Zdroj: (Mužík).

Druhé meranie rovnosti povrchu predmetnej vozovky bolo realizované 22.10.2015 z 2 meracích stanovísk (MS) za plnej dopravnej premávky bez priameho kontaktu s povrchom vozovky (doba potrebná na vykonanie podrobného skenu z 1 stanoviska bola 3 min). Na mape (obr.8, vpravo), predstavujúcej základ pre podrobnejšiu kvantifikáciu nerovností povrchu vozovky, sú viditeľné deformácie povrchu v podobe vyjazdených koľají.

Vygenerované profily zobrazujú tvar povrchu vozovky vo forme rezov umožnili vyhodnotenie celkového stavu rovnosti vozovky spolu s určením hraničných hodnôt deformácií.



Obrázok 8: Perspektívny pohľad na MS2 spolu s podkladovými snímkami a Mapa povrchu získaná z mračna bodov. Zdroj: (Mužík).



Obrázok 9: Vygenerované profily a viditeľné nerovnosti na povrchu vozovky zastávky MHD Hurbanova v Žiline 22. 10. 2015. Zdroj: (Mužík).

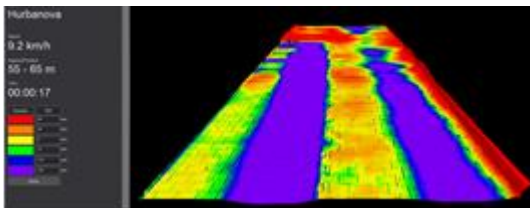
Z takto získaných profilov bolo možné porovnanie s tradičnými metódami merania nerovností. Pre účely komparácie s normovým postupom merania nerovností vozoviek 3 m latou bola zistená max. hodnota hĺbky pravej koľaje $R_{maxTrimble} = 76$

mm, čo predstavuje pomerne presnú zhodu s údajom získaným latou z 30.5.2015 $R_{max,latam} = 73$ mm. Tretie meranie sa vykonalo mobilným 3D skenerom Optech Lynx SG 1 vo vlastníctve Výskumného centra UNIZA (obr.10).



Obrázok 10: Pohľad na zariadenie Lynx SG1 Mobile Mapper UNIZA, MHD Mostná v Žiline z 20.1.2018 zistené (Ďuriš)

Prístroj využíva 2 LIDAR snímače, každý s výkonom 600kHz a rozsahom 360°. LIDAR (Light Detection And Ranging) je skratka na označenie optickej technológie diaľkového prieskumu Zeme využívajúceho pulzné radarové lúče na meranie vzdialenosti medzi objektom a LIDARom umiestneným na palube lietadla. Dosah prístroja je až 250 m, pri 10% odrazivosti. Rýchlosť skenovania je možné nastavovať až do 1,2 milióna bodov za sekundu. Rýchlosť vozidla počas merania môže byť do 100 km/hod. Presnosť modelovanej plochy ± 5 mm, georeferencovaná polohová presnosť ± 5 cm je závislá od kvality príjmu GPS signálu. Zariadenie je vybavené 360° panoramatickou 5MPx kamerou (obr.5 a 10) a meranie rovnosti povrchu zastávky MHD Hurbanova bolo uskutočnené v roku 2018 (obr.11).



Obrázok 11: Vyhodnotenia rovnosti povrchu 10m úseku vozovky zastávky MHD Hurbanova z 20. 1.2018, žltá – zrovnávací rovina 0mm, zelená - 5mm, modrá -15mm, fialová nad - 25 mm. Zdroj:(Ďuriš).

Obr. 11 bol vyhodnotený v programe Optech LMS 6.1. Výstupy programu môžu byť importované do programov podporujúcich Point cloud vo formáte *.las napr. Microstation, a.i.

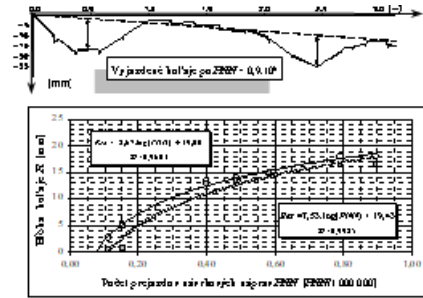
4. Záver

V príspevku sú uvedené príklady výstupov pracovníkov Stavebnej fakulty a Výskumného centra UNIZA z oblasti laserového skenovania povrchu vozoviek umožňujúce holistickejší, sofistikovanejší spôsob rozhodovania v rámci PM a to na úrovni siete ako aj projektu. Konkrétne sú uvedené výstupy laserových skenovacích zariadení SRS, Trimble CX a Lynx SG1 Mobile Mapper UNIZA, ktorých hlavnou výhodou je ich bezkontaktný spôsob získavania relevantných údajov o priečnej rovnosti povrchu vozoviek. Hlavná pozornosť je venovaná meraniu priečnej rovnosti povrchu vozovky zastávky MHD Hurbanova, na ktorej boli uskutočňované merania tohto parametra (obr.7 až 12) v rokoch 1994 až 2018. Autormi bola objektivizovaná kredibilitná korelačná závislosť vývoja priečnej nerovnosti netuhých vozoviek zastávok MHD od počtu prejazdov návrhových náprav (PNN).



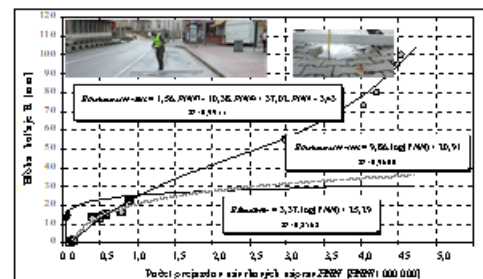
Obrázok 12: Pohľady na merania hĺbky koľají normovou latou po 160 000 PNN 27.8.1994, v roku 2012 po NN=3,4.10⁶, v r. 2015 po PNN=4.10⁶ a 2017 po PNN=4,5.10⁶. Zdroj: (Decký).

Na obr.13 je uvedená korelačná závislosť hĺbky ľavej (R_{LK}) a pravej koľaje (R_{PK}) od počtu PNN vyhodnotená pre celkový počet PNN v úrovni 0,9 milióna a na obr.14 pre PNN=4,6. 10⁶.



Obrázok 13: Príklad meraní hĺbky koľají profilografom z roku 1997 a korelačná závislosť od PNN=0,9 milióna. Zdroj:(Decký).

Na základe prezentovaných skutočností odporúčame v PM pre účely predikcie vývoja hĺbky koľají na zastávkach MHD a úsekoch ciest, kde vozidlá intenzívne akcelerujú a decelerujú, používať korelačnú závislosť vývoja hĺbky koľaje R [mm] od počtu prejazdov 100 kN návrhových náprav podľa rovnice 1.



Obrázok 14: Korelačné závislosti vývoja hĺbky koľají od PNN vyhodnotených pre PNN = 0,1x10⁶; 0,9x10⁶ a 4,5x10⁶. Zdroj: (Decký).

$$R_{MHD} = 1,56 \times PNN^3 - 10,38 \times PNN^2 + 37,02 \times PNN - 3,43 \quad (1)$$

Korelačná rovnica 1 bola získaná z meraní hĺbky koľají R normovými postupmi latou (obr.12) a laserovým skenerom Trimble CX uskutočnených od roku 1994 do 2018.

Pod'akovanie

Článok je publikovaný ako jeden z výstupov projektu: „Brokerské centrum leteckej dopravy pre transfer technológií a znalostí do dopravy a dopravnej infraštruktúry ITMS 26220220156.“



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

Referencie

- Brna, M. and Cingel, M., 2020. Comparison of pavement surface roughness characteristics of different wearing courses evaluated using 3D scanning and pendulum. MATEC Web of Conferences, 313, p.00013.
- Decký, M. a kol., 2019. Objektívizácia mechanického kmitania indukovaného cestnou dopravou. Vedecká monografia, 1. vyd., Žilinská univerzita v Žiline, s. 279.
- Decký, M., Kováč, M. 2014. Pozdĺžna rovnosť vozoviek pozemných komunikácií. Vedecká monografia, 1. vyd., Žilinská univerzita v Žiline, s. 222.
- Decký, M., Kováč, M., Mužík, J., Mičechová, L. and Ďuriš, L., 2018. Objectification of Public Bus Stop's Pavement Surface Morphology. Civil and Environmental Engineering, 14(1), pp.44-53. DOI: 10.2478/cee-2018-0006.
- Kováč, M.: Morfológia povrchu vozovky z hľadiska jej prevádzkovej spôsobilosti. Habilitačná práca, UNIZA 2013, s.121.
- Mallick, R., B., El-Korchi, T., 2018. Pavement engineering, n.d..
- Sandberg, U., Ejsmont, J. A., 2002. Tyre/Road Noise Reference Book. Informex, SE-59040 Kisa, Sweden: s.n., 2002.