

VYUŽITIE OPTICKÝCH SYSTÉMOV SKENOVANIA PRE KONTINUÁLNE HODNOTENIE PREMENNÝCH PARAMETROV POVRCHU VOZOVIEK

Eva REMIŠOVÁ

*Katedra cestného staviteľstva
Žilinská univerzita v Žiline
eva.remisova@fstav.uniza.sk*

Martin DECKÝ

*Katedra cestného staviteľstva
Žilinská univerzita v Žiline
martin.decky@fstav.uniza.sk*

Matúš KOVÁČ

*Katedra cestného staviteľstva
Žilinská univerzita v Žiline
matus.kovac@fstav.uniza.sk*

Abstrakt

Získavanie a využívanie údajov o premenných parametroch vozoviek pozemných komunikácií (diagnostika) je zdrojom informácií pre analýzu stavu komunikácií a ich následné hodnotenie. V súčasnosti, s vývojom nových technológií a s cieľom zautomatizovať diagnostiku, zrýchliť zber údajov a zvýšiť spoľahlivosť záznamu, sa dostávajú do popredia systémy laserového skenovania. Nové multifunkčné 3D skenery rozvíjajú využiteľnosť v rôznych oblastiach dopravy, pre cesty a diaľnice, letiská, tunely, železnice. Vysokorýchlostné kamery a optické systémy zabezpečujú rozlíšenie 3D s vysokou presnosťou a ponúkajú mnoho výhod oproti tradičným meraniam, napr. inšpekcia formou pochôdzky. Príspevok prináša prehľad metód a zariadení na hodnotenie premenných parametrov povrchu vozoviek (stavu porušenia povrchu, drsnosti a rovnosti) so zameraním na súčasný vývoj v oblasti automatizácie.

Kľúčové slová

Premenné parametre vozovky, automatický zber údajov, stav povrchu, laserové skenovanie, diagnostika.

1. Hodnotenie stavu vozoviek

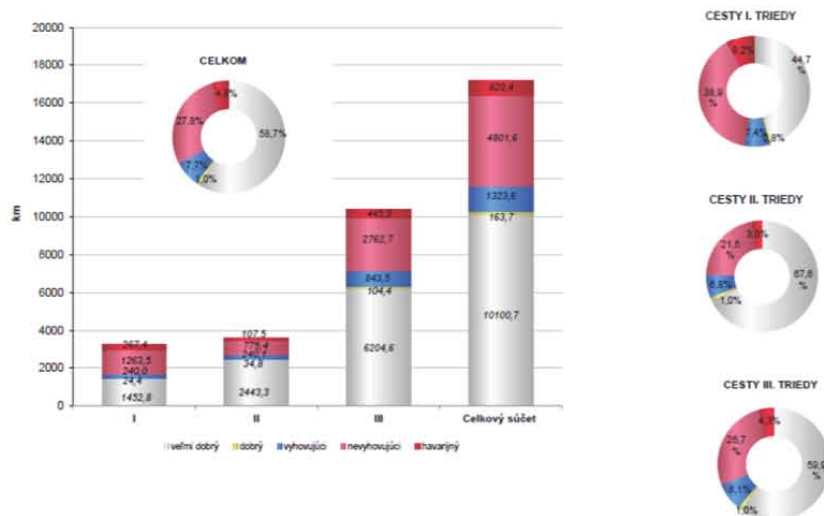
Pri posudzovaní stavu vozovky je potrebné rešpektovať jej schopnosť plniť základnú funkciu, t.j. vytvárať podmienky bezpečnej, hospodárnej a pohodlnej jazdy cestných motorových vozidiel požadovanou rýchlosťou.

Vplyvom pôsobenia dopravnej prevádzky, klimatických podmienok a podmienok v podloží vozovky dochádza postupne k jej degradácii, ktorá sa najskôr prejaví na povrchových vlastnostiach, ktorými sú drsnosť, rovnosť a stav povrchu. Súhrn okamžitých hodnôt týchto parametrov určuje mieru prevádzkovej spôsobilosti vozovky. Zhoršovanie dopravno-prevádzkových vlastností následne spôsobuje zvýšenie negatívnych externalít dopravy ako znečisťovanie ovzdušia imisiami tuhých častíc, zvyšovanie hluku a vibrácií. Zvyšuje sa spotreba pohonných hmôt a olejov, narastá opotrebovanie pneumatík vozidiel. Na obr. 1 je uvedený prehľad o stave cestných komunikácií na Slovensku na základe hlavných prehľadov vykonaných správcom komunikácie k 1.1.2014, na základe ktorých sa stanovuje prevádzkyschopnosť a spôsobilosť cestnej komunikácie.

Hodnotenie stavu vozoviek podľa premenných parametrov sa posudzuje podľa jednotlivých parametrov samostatne alebo podľa váženého priemeru všetkých zisťovaných parametrov. Podľa nameranej hodnoty príslušného parametra sa úseku prisudzuje klasifikačný stupeň. Rozlišuje sa 5 kvalitatívnych klasifikačných stupňov:

- (1) výborný
- (2) veľmi dobrý
- (3) vyhovujúci
- (4) nevyhovujúci
- (5) havarijný.

STAV CIEST I., II. A III. TRIEDY NA ZÁKLADE HLAVNÝCH PREHLIADOK VYKONANÝCH V ROKU 2013



Obr. 1. Stav ciest I., II. a III. triedy na Slovensku v roku 2013 (SSC, 2013).

Medzi základné premenné parametre vozovky patria drsnosť, rovnosť a stav povrchu. Drsnosť je vlastnosť krytu, ktorá určuje mieru spolupôsobenia medzi pneumatikou vozidla a vozovkou z hľadiska jej protišmykových vlastností. Nerovnosť povrchu vozovky vyjadruje výškové odchýlky v porovnaní s projektovanou plochou. A stav povrchu vozovky je charakterizovaný stavom porušenia povrchu a hodnotený údajmi o poruchách, sledovateľných pri vizuálnej prehliadke.

Najznámejšia metóda ako vyhodnotiť stav cestnej komunikácie na základe viacerých parametrov vychádza z AASHO Road Test-u (1956-1961). Hodnotí stav vozoviek pomocou indexu prevádzkovej spôsobilosti PSI (Present Serviceability Index) stanoveného na základe empirických poznatkov. Stanovuje sa rozdielne pre asfaltové vozovky a cementobetónové vozovky. Pre asfaltové vozovky sa stanoví vzťahom:

$$PSI = 5,03 - 1,91 \log(1 + SV) - 1,38 RD^2 - 0,01 \sqrt{C + P}. \quad (1)$$

kde SV - je priemerná zmena sklonu vozovky v pozdĺžnom smere meraná profilometrom v stopách kolies vozidiel vo vzdialenostiach 30 cm,
 C - plocha povrchu s výskytom trhlín v $m^2/1000 m^2$,
 P - plocha opráv povrchu v $m^2/1000 m^2$,
 RD- hĺbka vyjazdenej koľaje meraná kolmo na os vozovky pod latou dĺžky 1,43 m.

Pre podmienky Slovenska bol základný vzťah upravený podľa sústavy základných fyzikálnych jednotiek a neskôr bol podľa I.Poliačka rozšírený o hodnotenie drsnosti povrchu (Gschwendt, 1999). Pre index prevádzkovej spôsobilosti IPS bol navrhnutý vzťah:

$$IPS = 5,40 - 1,91 \log P - 0,21 \Delta z^2 - 2,5 \left(\frac{f_p - f_{p,skut}}{f_p - f_{p,min}} \right). \quad (2)$$

kde P - číslo hodnotiace rovnosť povrchu na základe merania viagrafom $P=14.Kn^2+0,12.Kn+0,9$,

Δz - priemerná hĺbka koľaje meraná latou dĺžky 1,50 m,

f_p - požadovaná hodnota súčiniteľa pozdĺžneho trenia,

$f_{p,min}$ - najmenšia prípustná hodnota súčiniteľa pozdĺžneho trenia,

$f_{p,skut}$ - nameraná hodnota súčiniteľa pozdĺžneho trenia.

2. Diagnostika premenných parametrov

Diagnostika je súhrn systematických činností a postupov, slúžiacich na meranie veličín a parametrov, potrebných pre hodnotenie technického stavu cestnej komunikácie. Hodnotenie vozovky, vo všeobecnosti, znamená stanovenie jej kvalitatívnych vlastností, pričom vo vzťahu k prevádzkovej spôsobilosti sa hodnotia vlastnosti povrchu. Diagnostické metódy merania hodnot premenných parametrov vozoviek cestných komunikácií nestanovujú príčinu zhoršovania stavu.

Zisťovanie stavu prevádzkovej spôsobilosti vozovky a rozsahu poškodenia povrchu vozovky patrí medzi náročné úlohy cestnej diagnostiky. Jedná sa o jednu z najdôležitejších charakteristík, ktoré sú podkladom pre navrhovanie údržby, opráv alebo rekonštrukcií vozoviek.

2.1. Diagnostika stavu povrchu

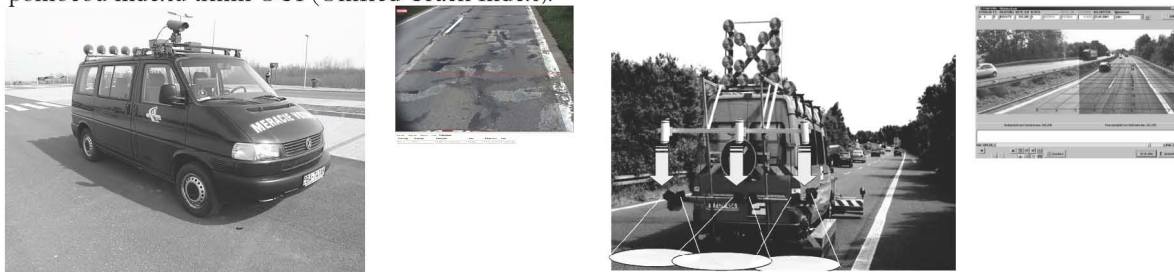
Pre diagnostiku stavu povrchu cestných komunikácií sa vo svete používajú rôzne metódy, ktoré sa delia podľa použitého spôsobu sledovania povrchu vozovky. Najčastejšie používané sú metódy (COST 325, 1997):

- (1) vizuálne prehliadky,
- (2) optické systémy,
 - foto a video techniky,
 - techniky spracovania obrázkov,
 - holografické procesy,
 - techniky laserovej identifikácie rozsahu,
- (3) infračervené systémy,
- (4) radarové metódy (hlbková penetrácia),
- (5) akustické systémy.

Vizuálnymi prehliadkami sa prostredníctvom pochôdzky po komunikácii, vizuálnym sledovaním sa zaznamená porucha do pripravených tlačív (ako bodový, líniový alebo plošný záznam so spresnením rozsahu). Následne sa prevedú poruchy do databázy výpočtového programu, štatisticky spracujú a vyhodnotia.

S cieľom zautomatizovať diagnostiku stavu povrchu cestných komunikácií, zrýchliť zber údajov, zvýšiť spoľahlivosť záznamu sa začali postupne využívať kamerové systémy ako napr.:

- zariadenie *Videocar* (obr.2), pre kontinuálny zber dát prostredníctvom videozáznamu a digitálno-optického záznamu komunikácie,
- multifunkčné zariadenie *ARGUS* (obr.2), s tromi nezávislými kamerami, špecializovaný softvér následne analyzuje záznam a vyhodnocuje poruchy ako trhliny, sieťové trhliny a výtlky,
- multifunkčné zariadenie *ARAN* (obr.3), systém zariadenia s prednou digitálnou kamerou pre záznam z pohľadu vodiča a zadných kamier pre záznam kolmého pohľadu povrchu vozovky (doplneného výbojkami pre zaistenie kvality osvetlenia povrchu) a softvérom pre automatické vyhodnocovanie,
- zariadenie *LineScan* (obr.3), kontinuálne zaznamenáva digitálny obraz povrchu vozovky tzv. riadkovou kamerou (lineárny obraz časti povrchu vo vysokom rozlíšení), programový prostriedok *RoadView* vyhodnocuje záznam na princípe rozlišovania hodnoty farebnej škály jednotlivých pixelov a povrch hodnotí pomocou indexu trhlín UCI (Unified Crack Index).



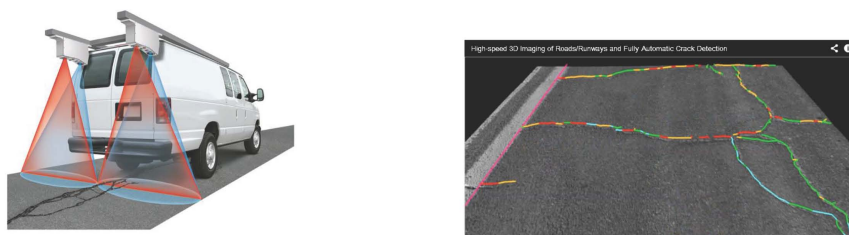
Obr. 2. Meracie zariadenia *Videocar* a *ARGUS* (Kováč a kol., 2012) a (Sybilski a kol., 2010).



Obr. 3. Meracie zariadenia ARAN (Automated Road Analyzer) a LineScan (Bolina, 2001) a (Čelko a kol., 2010).

V súčasnosti s vývojom optických systémov sa pre automatizovaný zber údajov o stave povrchu vozoviek dostávajú do popredia systémy laserového skenovania. 3D laserové skenovanie je technika merania založená na vedení laserového lúča od skenera k cieľu a späť. Ak je známy uhol laserového lúča a lúče sú vysielané v rôznych smeroch z pohybujúceho sa vozidla so známou polohou, je možné vytvoriť trojrozmerný obraz povrchu z mračna bodov povrchu komunikácie. V mračne s miliónmi bodov má každý bod súradnice x , z a z a charakteristiky odrazu a žiarenia.

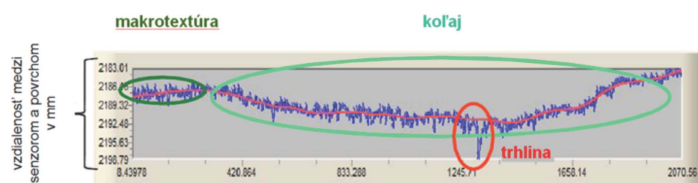
Systémy spoločnosti Pavemetrics LCMSTM (Laser Crack Measurement System) a LRIS (Laser Road Imaging System) (obr. 4) umožňujú zaznamenávať vysokokvalitné 2D snímky a 3D laserom skenované profily asfaltových aj cementobetónových povrchov. Pracujú pri bežnej jazdnej rýchlosti do 100 km/hod a všetkých typoch osvetlenia (počas dňa aj v noci). Dve vysokorýchlostné kamery a dva lasery sú usporiadané do symetricky sa prekrývajúcej optickej konfigurácie a nastavené na záber šírky 4 m s rozlíšením 1 mm (4000 pixelov) alebo 0,5 mm (8000 pixelov).



Obr. 4. Zariadenie Pavemetrics LCMS (LCMA, 2014).

Zariadenie sa skladá z troch častí: laserovej meracej hlavy, skenera a detektora. Meracia hlava vytvára laserový lúč, skener laserový lúč vysiela a detektor meria odrazený signál a definuje vzdialenosť k cieľu. Meranie vzdialeností je založené na meraní doby odrazu svetelného lúča, fázového posunu alebo ich kombinácie (Saarenketo a kol., 2011).

Algoritmy softvéru umožňujú zo zaznamenaných dát lokalizovať, analyzovať a vyhodnotiť okrem porúch povrchu (trhliny priečne, pozdĺžne alebo sieťové/mozaikové, výtlky, vypieranie) aj priečne nerovnosti a makrotextúru (obr. 5).



Obr. 5. Príklad výstupu z merania povrchu (Laurent a kol., 2014).

2.2. Diagnostika rovnosti

Nerovnosť povrchu vozovky podľa TP 10/2006 je vyjadrená výškovými odchýlkami povrchu v porovnaní s projektovanou plochou. V prípade pozemných komunikácií sa hodnotí ich rovnosť/nerovnosť v smere jazdy prostredníctvom merania pozdĺžnych nerovností a v smere kolmom na smer jazdy - priečne nerovnosti. Povrchy vozoviek pozemných komunikácií majú profil nerovnosti neusporiadaný. Výškový profil vozovky je zložený z nerovností rôznych vlnových dĺžok o rôznych amplitúdach.

Meranie a hodnotenie rovnosti povrchu vozoviek sa vykonáva normovými postupmi podľa STN EN 13036-7 Meranie nerovností vrstiev vozoviek latou a STN EN 13036-6 Meranie priečných a pozdĺžnych profilov a vln megatextúry.

Na meranie pozdĺžnych nerovností (okrem meraní latou) sa všeobecne používajú prístroje, ktoré rozdeľujeme do 2 základných skupín:

- profilometrické prístroje, získavajúce priamy obraz pozdĺžneho profilu vozovky danej stopy, ktorý sa spracúva rôznymi matematickými metódami,
- odozvové prístroje, získavajúce index nerovnosti, stanovený z dynamickej odozvy meracieho vozidla alebo špeciálneho meracieho prístroja.

Medzi najrozšírenejšie zariadenia na diagnostiku pozdĺžnej nerovnosti (Kováč a kol., 2012) patria:

- zariadenie *Profilograph GE*, ktoré umožňuje hodnotenie rovnosti povrchu vozoviek prostredníctvom parametra IRI (International Roughness Index) počítaného na základe známeho pozdĺžneho profilu vozovky zisteného pomocou laserovej techniky. Je vybavené 15 laserovými snímačmi nerovností (pre záznam do š. 2,7 m) a jedným laserovým snímačom makrotextúry povrchu. Meranie sa vykonáva pri rýchlosti 20 až 110 km.h⁻¹ s presnosťou merania hĺbky 0,05 až 1mm,
- *Laser RST*, zariadenie vybavené laserovými snímačmi Selcom AB a akcelerometrami, súčtom údajov sa stanoví okamžitý pozdĺžny sklon vzťahnutý k časovému kroku a vyhodnotením údajov je možné získať hodnotu parametra IRI, hĺbku koľaje a ďalšie dáta,
- *ARAN*, zariadenie sleduje a hodnotí priečne a pozdĺžne nerovnosti, je vybavené ultrasonickými senzormi, gyroskopmi, akcelerometrami,
- *APLN* (Analyseur de Profil en long), zariadenie priebežne zaznamenáva výchylky kolesa vzhľadom k pseudovodorovnej rovine vytvorenej zotrvačným kyvadlom s veľmi nízkou frekvenciou.

2.3. Diagnostika drsnosti povrchu

Drsnosť vozovky je premenným parametrom, ktorý charakterizuje kvalitu povrchu vozovky z hľadiska jej protišmykových vlastností. Z hľadiska geometrického sa jedná o textúru povrchu - morfológiu, t. j. usporiadanie jednotlivých zŕn kameniva na povrchu vozovky (makrotextúra) a usporiadanie výstupkov na povrchu zŕn kameniva (mikrotextúra).

Drsnosť povrchu je charakterizovaná pomocou určovania hĺbky textúry a pomocou súčiniteľa trenia. Stanovenie mikrotextúry sa vykonáva nepriamou metódou pomocou kyvadla, ktorá určuje hodnotu odporu proti šmyku na základe straty energie normovanej trecej pätky klzajúcej sa po skúšobnom povrchu (parameter PTV). Na meranie makrotextúry sa používajú profilometre (stanovujú priemernú hĺbku profilu MPD – Mean Profile Depth) alebo priama odmerná metóda (parameter MTD – Mean Texture Depth). Meranie šmykového trenia sa vykonáva diagnostickými zariadeniami (Kováč a kol., 2012), umožňujúcimi kontinuálne meranie a na základe meracieho princípu sa delia na:

- zariadenia so zablokovaným kolesom, napr. *ADHERA*,
- zariadenia s konštantnou hodnotou sklzu menšou ako 100 %, napr. *GripTester*, *RoadSTAR*, *ROAR DK*, *TRT* (Tatra Runway Tester), *Skidometer BV11*,
- zariadenia na meranie bočného trenia, napr. *SCRIM*.

3. Záver

Získavanie a využívanie údajov o premenných parametroch vozoviek (diagnostika) je zdrojom informácií pre analýzu stavu komunikácií a ich následné hodnotenie. Presná diagnostika a jej výsledky umožňujú včasné návrhy opatrení na zvýšenie prevádzkovej spôsobilosti vozoviek (schopnosti plniť prevádzkové funkcie) a tým zlepšenie bezpečnosti.

Výhodami diagnostických systémov sú okamžité a presné lokalizovanie a charakterizovanie porúch povrchu, ich následné analyzovanie a vyhodnotenie umožní optimalizovanie zdrojov na údržbu a opravy ciest v rámci hospodárenia s vozovkami.

Systémy s vysokorýchlostnými kamerami a optickými systémami zabezpečujú rozlíšenie 3D s vysokou presnosťou a dokážu automaticky prostredníctvom softvéru hodnotiť drsnosť povrchu, rovnosť povrchu a stav povrchu a tiež lokalizovať prvky cestnej komunikácie v priečnom reze (deliacu čiaru, vodiaci prúžok, hranu komunikácie, obrubníky), priečny aj pozdĺžny sklon. Dáta môžu byť tiež importované do CAD systémov a následne využité programami pre projektovanie pozemných komunikácií.

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.



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

Literatúra

- [1] SSC Slovenská správa ciest Bratislava (2013). Prehľad stavu ciest I., II. a III. triedy, stav na základe prehliadok vykonávaných správcom ciest.
- [2] Gschwendt, I. (1999). Vozovky: konštrukcie a ich dimenzovanie, Bratislava, vydavateľstvo Jaga group, 1999, ISBN 80-88905-14-1, 172 str.
- [3] COST 325 (1997). New road monitoring equipment and methods, final report, ISBN 92-828-0307-4.
- [4] Kováč, M. a kol. (2012). Diagnostika parametrov prevádzkovej spôsobilosti vozoviek, Žilinská univerzita v Žiline/EDIS-vydavateľstvo, ISBN 978-80-554-0568-1.
- [5] Sybilski, D., Mechowski, T., Sudyka, J., Harasim, P. (2010). Exploitation state identification of the roads throughout the
- [6] Silesian province. Instytut Badawczy Drog i Mostow, Warszawa.
- [7] Bolina, V. (2001). Technický popis systémů ARAN. ViaGeos, s.r.o., Praha.
- [8] Čelko, J. a kol. (2010). Metodika merania a vyhodnocovania stavu povrchu vozovky pomocou zariadenia LineScan - 1. etapa
- [9] Hodnotenie stavu povrchu vozovky kamerovým systémom LineScan - 2. Etapa, Rozborová úloha RVT 2010/2011.
- [10] Laser Crack Measurement System (2014). <http://www.pavemetrics.com/en/lcms.html>
- [11] Saarenketo, T. and col.: The use of ground penetrating radar, thermal camera and laser scanner technology in pavement diagnostics, Asfaltové vozovky 2011, České Budejovice, vydavateľ Pragoprojekt a.s., ISBN 978-80-903925-2-6
- [12] Laurent, J., Hébert J.F., Lefebvre D., Savard Y. (2014). 3D laser road profiling for the automated measurement of road surface conditions and geometry. <http://www.pavemetrics.com/en/articles.html>
- [13] TP 10/2006 Systém hospodárenia s vozovkami. Technické podmienky, MDPaT SR.
- [14] STN EN 13036-7:2005 Povrchové vlastnosti vozoviek. Skúšobné metódy. Časť 7: Meranie nerovností vrstiev vozovky latou.
- [15] STN EN 13036-6:2008 Charakteristiky povrchu ciest a letísk. Skúšobné metódy. Časť 6: Meranie rovnosti priečnych a pozdĺžnych profilov a vln megatextúry.