



PŘEHLED METOD POUŽÍVANÝCH PŘI HODNOCENÍ STAVU POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

OVERVIEW OF METHODS USED IN ASSESSING ROAD CONDITIONS

Michal JANKŮ *, Ilja BŘEZINA *, Josef STRYK *

* Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.

Contact e-mail: michal.janku@cdv.cz

Abstrakt

Jen stěží se najde řidič motorového vozidla, který by se nikdy nevyjadřoval ke stavu té či oné pozemní komunikace. Nejčastěji si pak všímáme množství a velikosti výtluků na vozovce. Ač se to možná někomu nezdá, pravidelné kontroly stavu vozovky zabezpečuje i vlastník nebo správce dotčené komunikace a o jejím výsledku vede záznam. Tyto prohlídky mají většinou charakter vizuální kontroly a podle rozsahu se dělí do čtyř kategorií. Nejkratší interval mají běžné prohlídky, na dálnicích se provádí každý pracovní den, na silnicích I. třídy 2x týdně, na silnicích nižších tříd již méně často. Běžnou prohlídkou se zjišťuje hlavně správná funkce dopravního značení, bezpečnostního zařízení a závady ve sjízdnosti. Naopak podrobnější diagnostický průzkum zpravidla předchází plánované opravě či rekonstrukci vozovky a slouží jako podklad pro přípravu projektové dokumentace. Některá měření se také provádí před uvedením nové vozovky do provozu. K tradičním zkoumaným parametrům patří měření protismykových vlastností vozovky, měření průhybů a hodnocení únosnosti prostřednictvím rázového zařízení FWD, či odběr jádrových vývrtů a jejich analýza v laboratoři. Mezi novější metody lze zařadit georadar, s jehož pomocí je možné stanovit tloušťky vrstev vozovky. Laserové skenování umožňuje měřit proměnné parametry, jako je příčná a podélná nerovnost a díky termokameře lze mimo jiné určit teplotu asfaltové směsi při pokládce vrstev asfaltových vozovek.

Klíčová slova: prohlídky silnic, georadar, termokamera, rázové zařízení FWD

Abstract

It is hard to find a driver of a motor vehicle who would have never commented on conditions of this or that road. Most often we notice the amount and sizes of potholes on roads. Even if it may seem strange, regular inspections of road condition is performed by the owner or administrator of the road and the results are recorded. These inspections are mostly visual and divided into four categories. General inspections are performed on shortest intervals, every working day on motorways, twice a week on first class roads, and less often on lower class roads. General inspection is mainly focused on the right operation of road signing and marking, safety devices and defects on road pavements. In contrast, a more detailed diagnostic survey usually precedes a planned road reconstruction and is used as a basis for the project documentation. Some measurements are also performed before a new road is put into operation. Typical measured parameters include anti-skid properties of road pavement, deflection measurement and the evaluation of bearing capacity using a Falling Weight Deflectometer, and extraction of drill cores and their analysis in the laboratory. Regarding

more recent methods, a georadar can be used to determine thicknesses of pavement layers. Laser scanning allows for variable parameter measurements, such as transverse and longitudinal unevenness. In addition, it is possible to determine the temperature of hot asphalt mixture when laying asphalt pavement layers thanks to the thermal camera.

Key words: road inspections, georadar, thermal camera, Falling Weight Deflectometer

1. Úvod

Tento článek popisuje procesy a metody sloužící k monitorování stavu či k diagnostice pozemních komunikací. Autoři článku se osobně přes 3,5 roku podíleli na provádění běžných prohlídek silnic I. třídy v Jihomoravském kraji a provedli mnoho diagnostik na pozemních komunikacích v České republice. V první části článku jsou charakterizovány typy jednotlivých prohlídek prováděných na pozemních komunikacích v České republice. Následuje přehled tradičních diagnostických metod a dále i těch novějších.

2. Prohlídky pozemních komunikací

Vykonávání prohlídek nařizuje a upravuje zákon o pozemních komunikacích č. 13/1997 Sb. V něm se mimo jiné píše, že vlastník nebo správce pozemní komunikace zajišťuje její prohlídky. Prohlídka se zaměřuje na posouzení dopadů zejména stavebních, technických a provozních vlastností pozemní komunikace na její bezpečnost. Vyhláška č. 104/1997 Sb. rozlišuje čtyři kategorie prohlídek podle rozsahu a frekvence provádění: běžné, hlavní, mimořádné a bezpečnostní inspekce komunikací zařazených do transevropské silniční sítě

Z výše zmíněných, jsou nejčastěji prováděny běžné prohlídky, které se soustředí především na správnou funkci dopravního značení, bezpečnostního zařízení a závady ve sjízdnosti. Na dálnicích jsou vykonávány každý pracovní den, na silnicích I. třídy 2x týdně, na silnicích II. třídy 2x měsíčně a na silnicích III. třídy 1x měsíčně.

Běžné prohlídky jsou vykonávány z jedoucího vozidla. V případě, že inspektor zahlédne nějakou poruchu, odstaví bezpečně vozidlo a jde ji zaznamenat. V době, kdy zaměstnanci Centra dopravního výzkumu, v. v. i. (CDV) prováděli běžné prohlídky silnic I. třídy v Jihomoravském kraji, byl záznam poruch prováděn pomocí chytrého mobilního telefonu. Při pořízení fotografie poruchy došlo zároveň k automatickému zaznamenání polohy díky GPS. Po doplnění komentáře byly záznamy odesílány odpovědným osobám na Ředitelství silnic a dálnic (ŘSD).

Mezi nejčastěji zaznamenané poruchy patřily výtluky, vytržené nebo poničené směrové sloupky, vyvrácené značky a poškozená svodidla. Rychlost opravy se lišila podle typu poruchy a střediska či cestmistrovství, ke kterému náležel úsek silnice, na němž se nacházela porucha. Dle našich zkušeností byla většina výtluků obratem opravena. Horší situace panovala v případě poškozených svodidel, ty často čekaly na opravu několik týdnů až měsíců.

Cílem hlavní prohlídky je zjištění stavebně technického stavu komunikace, včetně jejích součástí a příslušenství. Hlavní prohlídka se provádí nejméně jednou za 5 let,

jinak vždy při uvedení nového nebo rekonstruovaného úseku komunikace do provozu a před skončením záruční doby. Hlavní prohlídka se provádí formou pochůzky a je při ní sledován stav vozovky a tělesa komunikace včetně krajnice. U poruch se zjišťuje jejich rozsah (plocha, délka) a umístění na vozovce. Jevy zjištěné v průběhu hlavní prohlídky jsou doplněny o dostupné údaje proměnných parametrů (drsnost, podélná a příčná nerovnost, zbytková životnost), změřené a vyhodnocené na základě příslušných ČSN.

Mimořádnou prohlídku zajišťuje vlastník nebo správce mimo termíny běžných a hlavních prohlídek, a to zejména při náhlém poškození vozovky (např. dopravní nehodou, živelní pohromou), při výrazné změně dopravního zatížení (např. v důsledku nařízení objíždky) nebo při nutnosti získat vstupní data pro systémy hospodaření s vozovkou. Jak u hlavních, tak i u mimořádných prohlídek silnic bývají často použity některé z níže uvedených diagnostických metod.

3. Protismykové vlastnosti vozovky

U většiny dopravních nehod je za viníka označován řidič dopravního vozidla. Jako příčina nehody se v takových případech často uvádí nepřiměřená rychlost. V lepších případech končí nehody jen pomačkanými plechy, v těch nejhorších naopak až těžkým zraněním nebo smrtí. Otázkou je, jestli tato daň není až příliš vysoká, obzvlášť, pokud zraněný ani nebyl viníkem nehody. Nekvalitní vozovka se špatnými protismykovými vlastnostmi zvyšuje riziko smyku a prodlužuje brzdou dráhu až o desítky metrů.

Protismykové vlastnosti zásadním způsobem ovlivňují bezpečnost silničního provozu. Prokázaly to různé výzkumné projekty, které porovnávaly počty dopravních nehod se stavem protismykových vlastností povrchu vozovky. Z porovnání vyplynulo, že na úsecích silnic I. třídy s hodnocením protismykových vlastností povrchu vozovky klasifikačním stupněm 5 – havarijní stav je 16x více nehod než na úsecích s hodnocením klasifikačním stupněm 1 – velmi dobré protismykové vlastnosti. V současnosti se často používá termín „odpouštějící silnice“, což znamená, že pokud řidič udělá chybu, tak by silnice měla být v takovém stavu, aby řidič měl možnost svoji chybu napravit, případně aby následky dopravní nehody byly minimalizovány [1].

Zhoršený stav vozovky hodnotí běžný řidič většinou podle nerovností či množství výtluků. Špatné protismykové vlastnosti naopak často pozná, až když je pozdě. V praxi se k měření užívá vozidlo TRT (obr. 1).



Obr. 1 Měřicí vozidlo TRT [2]

Pro zjištění kontinuálního průběhu součinitele podélného tření se používá jednokolový závěs s měřicím kolem rovnoběžným se směrem pojezdu umístěným v levé jízdni stopě. Hydraulicky ovládané brzdění měřicího kola umožňuje při měření na pozemních komunikacích nastavení poměru skluzu na 25 %, což odpovídá systémům ABS v automobilech. Snímače měří rychlost vozidla a rychlost měřicího kola. Stálý kontakt měřicí pneumatiky se zkoušeným povrchem lze nastavit v rozmezí 700 - 1300 N. Řídící a regulační technika ve vozidle umožňuje automatický provoz měřicího zařízení ve zvoleném režimu, výpočetní technika se stará o záznam a vyhodnocování měřených veličin v reálném čase. Měření se provádí na vodním filmu tloušťky 0,5 mm, proto je vozidlo vybaveno dávkovacím zařízením a nádrží s vodou.

4. Diagnostika a hodnocení únosnosti vozovky

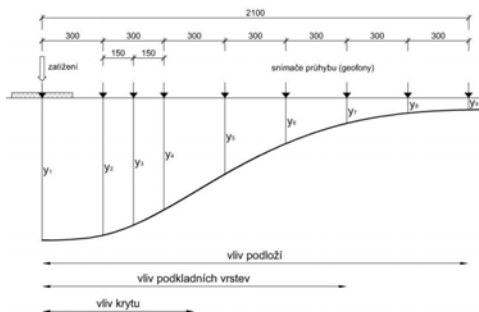
Diagnostika a hodnocení vozovky z hlediska jejich únosnosti se obvykle provádí měřením průhybů povrchu vozovky rázovým zařízením FWD, které zatěžuje vozovku stacionárním impulzním zatížením. Rázové zařízení FWD umožňuje nastavit parametry zatížení tak, aby se blížily reálnému zatížení kol pohybujících se vozidel. Skutečnému průhybu však nejvíce odpovídá průhyb měřený při pohyblivém dynamickém zatížení. Nejnovějším zařízením splňujícím toto kritérium je zařízení TSD (Traffic Speed Deflectometer), které umožňuje měřit při rychlosti provozu na pozemní komunikaci.

Rázové zařízení FWD (Falling Weight Deflectometer, obr. 2) je tradiční zařízení používané pro měření průhybů, které zatěžuje povrch vozovky tlumeným rázem odpovídajícím zatížením kolem nápravy nákladního vozidla (je generováno pádem břemene na gumové tlumiče a přenáší se přes kruhovou zatěžovací desku na povrch zkoušeného místa vozovky), zároveň měří odezvu vozovky na toto dynamické zatížení. Omezením pro měření zařízením FWD jsou především teplotní podmínky. Teplota povrchu vozovky při měření musí být v rozsahu 5 – 30 °C.

Výstupem z měření na diagnostikovaných bodech (obvykle s odstupem 25 m mezi jednotlivými body) jsou hodnoty průhybu v různých vzdálenostech od osy zatížení tvořící průhybovou křivku (obr. 3).



Obr. 2: Rázové zařízení FWD pro měření průhybů vozovek, zdroj: CDV



Obr. 3: Průhybová křivka vynesená z výsledků měření rázovým zařízením FWD při použití 9 snímačů průhybu, zdroj: CDV

Cílem měření je vyhodnotit únosnost konstrukčních vrstev vozovky a jejího podloží na základě změřených dat. Na hodnocení únosnosti vozovek se používají komplexní výpočtové programy. Zjišťuje se zbytková životnost vozovky a tloušťka potřebného zesílení, přičemž se počítá s rázovými moduly pružnosti vrstev určenými zpětným výpočtem z průhybové křivky změřené na povrchu vozovky.

Zesílení, případně rekonstrukce vozovky, se navrhuje v případě, že je vozovka hodnocena jako neúnosná. Tloušťka zesílení se odvíjí od předpokládaného dopravního zatížení, kvality materiálu zesilující vrstvy, únavových procesů ve vozovce apod.

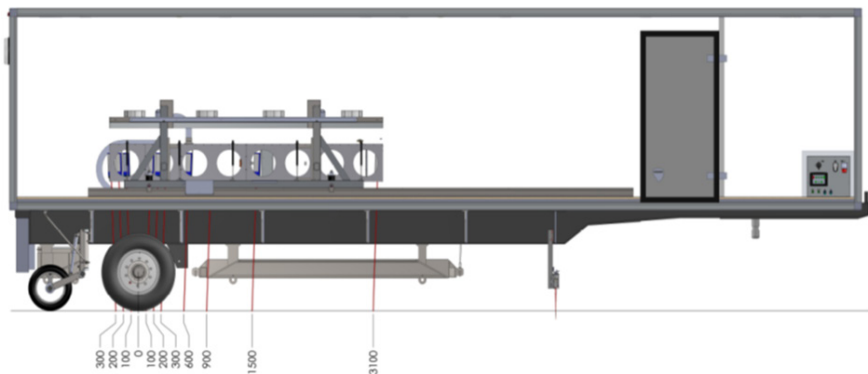
Pro hodnocení únosnosti z měření průhybů vstupují do výpočtu rázových modulů pružnosti tloušťky vrstev vozovky. Ty se obvykle zjišťují odběrem jádrových vývrtů po pravidelných vzdálenostech (např. po 250 m). Tento přístup však nemůže zaručit optimální výsledky, neboť vnitřní skladba konstrukce vozovky je známa pouze v místě odebrání jádrového vývrtu.

Současná praxe ukazuje na nezbytnost doplnění informací z jádrových vývrtů o kontinuální měření georadarem (kapitola 6) pro průběžné stanovení tlouštěk vrstev vozovky a nalezení jejich případných anomálií, což pozitivně ovlivní výpočet rázových modulů pružnosti, optimalizaci návrhu a snížení finančních nákladů na opravu konstrukce vozovky.

Traffic Speed Deflectometer (obr. 4) slouží k zjišťování průhybů povrchu vozovky při rychlosti 40 – 80 km/h. Průhyb, získaný při pohyblivém (dynamickém) zatížení, vyvolaný pohybujícím se kolem vozidla, nejvíce odpovídá skutečnému průhybu při zatížení nákladními vozidly pohybujícími se rychlostí dopravního proudu. Zařízení TSD tak vnáší do konstrukce vozovky během jízdy podobné dynamické zatížení (velikost, doba trvání) jako ostatní nákladní vozidla pohybující se v reálném provozu.

Výhodou je také možnost zaznamenat průhyb vozovky v celé linii průjezdu vozidla, což neomezuje pouze na měření lokálních míst, jako je tomu u rázového zařízení FWD.

Z výsledků zařízení TSD získá uživatel kompletní informaci o únosnosti vozovky v celém měřeném úseku. Odpadá také problém s omezováním provozu na pozemních komunikacích jako při měření zařízení FWD, které může v případě vysokých intenzit dopravy způsobit značné dopravní problémy. Zvyšuje se bezpečnost účastníků silničního provozu a posádky měřicího zařízení během měření. Velkou výhodou je rovněž vysoká kapacita měření, která umožňuje měřit až několik set kilometrů vozovek denně. Kvůli laserovým snímačům nelze měření provádět za deště nebo na mokré vozovce.



Obr. 4 Schéma návěsu zařízení TSD s tuhým nosníkem a Doppler-laser snímači [3]

Zařízení tvoří jízdní souprava těžkého nákladního vozidla skládající se ze standardního tahače návěsů a z modifikovaného návěsu. V klimatizovaném návěsu je umístěn tuhý nosník s příslušným počtem laserových snímačů pracujících na bázi Dopplerova jevu, které snímají povrch vozovky pravé stopy vozidla v ose dvojmontáže návěsu.

5. Jádrové vývrty

Odběr vzorků vrstev vozovky umožňuje vysvětlit příčiny poruch vozovky a získat doplňující informace pro návrh opravy. Slouží ke zjištění stavu konstrukce vozovky, jejího krytu, podkladních vrstev a podloží. Jádrové vývrty jsou odebírány za účelem zjištění typu, tloušťky a stavu porušení stmelených vrstev konstrukce vozovky a zároveň pro potřebu získání dostatečného množství materiálu asfaltových vrstev pro jeho laboratorní posouzení. V silniční laboratoři lze zjišťovat například kvalitu spojení jednotlivých vrstev, obsah asfaltového pojiva a zrnitost směsi kameniva, mezerovitost asfaltové směsi, míru zhutnění a mezerovitost vrstvy, odolnost asfaltové směsi proti trvalým deformacím či vlastnosti zpětně získaného asfaltového pojiva.

Na jádrových vývrtech odebraných z cementobetonového krytu a lze určit pevnost betonu v tlaku a v tahu za ohybu. V CDV jsme dále schopní nad rámec stanovení fyzikálně mechanických vlastností provádět analýzu vzorků polarizačním mikroskopem

(petrografie kameniva), skenovacím elektronovým mikroskopem, energiově disperzním analyzátozem a petrografickým či chemickým rozbozem.

Jádrové vývrty jsou nejběžněji odebírány prostřednictvím silniční vrtačky postavené na podvozku přívěsu. Součástí je nádrž s vodou o objemu 200 l na chlazení jádrové korunky při vrtání. Pro pohon vrtačky se používá benzínový motor o výkonu 5 kW, který je také součástí soupravy (obr. 5).



Obr. 5 Odběr jádrového vývrty, zdroj: CDV



Obr. 6 Jádrový vývrt, zdroj: CDV

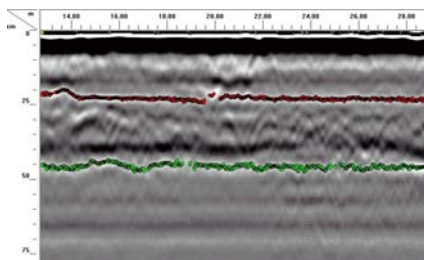
6. Georadar

Tato metoda je založena na opakovaném vysílání vysokofrekvenčního elektromagnetického (EM) signálu v rozsahu od několika set MHz do několika GHz do zkoumaného prostředí a záznamu odrazu části energie tohoto signálu od rozhraní vrstev a různých materiálů [4]. Nejčastější aplikace v oblasti dopravní infrastruktury jsou následující stanovení tloušťek konstrukčních vrstev vozovek, detekce dutin pod krytem vozovky, detekce nadměrného obsahu vody v konstrukčních vrstvách vozovek apod.

Tloušťky konstrukčních vrstev vozovky se počítají ze změřeného času průchodu signálu konstrukčními vrstvami vozovky a z určené rychlosti šíření EM signálu. Obvykle se pro účely stanovení rychlosti šíření EM signálu jednotlivými konstrukčními vrstvami vozovek provádí minimálně jeden jádrový vývrt. Tímto způsobem se kalibrují stanovené tloušťky vrstev. Přesnost při stanovení tloušťek konstrukčních vrstev vozovek se pohybuje v rozsahu 3–15 %, v závislosti na porušení vrstev, druhu materiálu jednotlivých vrstev a požadovaném hloubkovém dosahu použité antény. Dle našich zkušeností jsou pro účely kontinuálního měření tloušťek krytových vrstev vozovek vhodné trychtýřové antény s centrální vysílací frekvencí 1 až 2 GHz (obr. 7). Pro účely měření tloušťek podkladních vrstev vozovek je vhodné použití antény s centrální vysílací frekvencí 400 až 900 MHz, ideálně v kombinaci s měřením trychtýřovou anténou. Měření je možné provádět za vysokých rychlostí až 80 km/h s krokem měření od 5 cm, viz záznam z měření na obr. 8.



Obr. 7 Příklad zařízení pro měření tlouštěk vrstev vozovky, zdroj: CDV



Obr. 8 Záznam tlouštěk konstrukčních vrstev vozovky - radargram, zdroj: CDV

7. Laserové skenování

Moderní měřicí vozidla jsou vybaveny technikou pro zaznamenávání proměnných parametrů vozovek a snímání jejich povrchu - například systém RST snímá podélný profil a makrotexturu ve třech stopách. Systém LCMS dokáže skenovat povrch ve 3D s rozlišením lepším, než jeden milimetr, přičemž zvládá jeden příčný sken každých 5 mm i při rychlosti 90 km/h. Vozidla také mohou disponovat systémem automatického rozpoznávání a klasifikace poruch vozovky (především trhlin). Výhodou je, že všechna měření mohou probíhat současně, jsou synchronizována a georeferencována. Systém funguje při běžných rychlostech silničního provozu, není proto potřeba nijak omezovat dopravu na měřené komunikaci. Laserová měření nejsou závislá na světelných podmínkách, avšak nelze měřit na mokré vozovce.

Automatizované zpracování dat poskytuje objektivní informace o stavu silniční sítě. Měřicí vozidlo vybavené laserovým systémem dokáže v krátkém čase poskytnout zásadní informace pro vlastníky a správce komunikací pro oblast kontroly a plánování běžné údržby a systémy hospodaření s vozovkou.

V praxi se měření provádí zejména u nových vozovek před jejich převjímkou, opakovaně se kontrolují parametry vozovek v průběhu záručních lhůt. Díky rychlosti měření lze kontrolovat stav vozovek během jejich životnosti i u rozsáhlých sítí komunikací [5].



Obr. 9 Multifunkční měřicí systém - CleveRa Car [5]

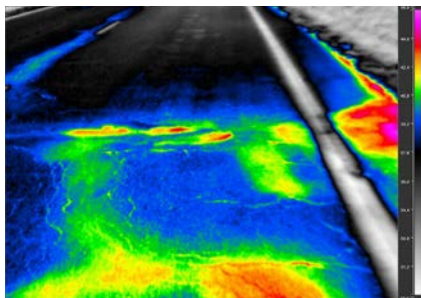
8. Termografie

V CDV se zabýváme výzkumem v oblasti použití termografie při diagnostice vozovek pozemních komunikací. Při měření používáme jak ruční termokameru, tak i termokameru připevněnou na měřicí vozidlo. Výsledkem měření jsou termogramy znázorňující povrchové rozložení teplot na vozovce. Ukazuje se, že na některých termogramech jsou například trhliny ve vozovce (obr. 10) lépe rozeznatelné, než na běžné kameře.

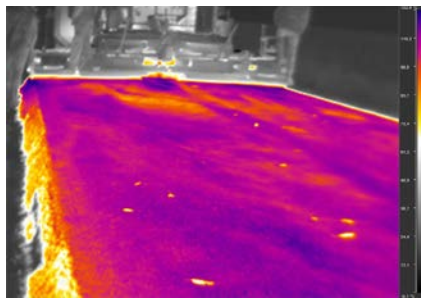
Asi více praktické je využití termokamery při pokládce nových asfaltových vrstev vozovek (obr. 11). V této aplikaci se již termokamera v některých zemích používá. Při pokládce asfaltových vrstev je důležité, aby asfaltová směs měla správnou teplotu. Příliš studená směs zhoršuje zpracovatelnost, snižuje se schopnost asfaltovou vrstvu dostatečně zhutnit. Výsledkem je zvýšená mezerovitost, která potenciálně může vést k budoucí tvorbě poruch. Případně může docházet k problémům spojených s přítomností vlhkosti v konstrukci.

Hlavní příčiny nadměrného vychladnutí směsi jsou příliš dlouhý časový interval mezi nakládkou a vykládkou, nesprávné naložení nákladu a absence plachty či jiných prostředků určených k omezení nadměrného ochlazování směsi během přepravy.

Termokameru lze využít jako nástroj pro ověření správné teploty asfaltové směsi při její pokládce a tedy i pro kontrolu kvality práce. Termografie může do jisté míry přispět k prodloužení životnosti asfaltových vozovek a zároveň pomoci snížit náklady na budoucí opravy.



Obr. 10 Termogram povrchu vozovky, zdroj: CDV



Obr. 11 Termogram pořízený při pokládce asfaltové vozovky, zdroj: CDV

Poděkování

Tento článek byl vytvořen za finanční podpory Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy v rámci programu Národní program udržitelnosti I, projektu Dopravní VaV centrum (LO1610) na výzkumné infrastruktuře pořízené z Operačního programu Výzkum a vývoj pro inovace (CZ.1.05/2.1.00/03.0064).

Literatura

- [1] NEKULA, L. Skutečně děláme vše pro to, aby silnice byly „odpouštějící“? In: *Konference asfaltové vozovky 2015: 24. - 25. 11. 2015, České Budějovice*. Praha: PRAGOPROJEKT, 2015. ISBN: 978-80-903925-7- 1.
- [2] NEKULA, L. Technická specifikace zařízení TRT. Vyškov: Měření PVV, 2012.
- [3] BECKEDAHL, H. J., KRARUP, J., FERNE, B. 2015. Optimierung der Erhaltungsplanung durch den Einsatz des Tragfähigkeitsmesssystems Traffic Speed Deflectometer (TSD) für die Zustandserfassung und -bewertung der Fahrbahnoberflächen von Straßen (ZEB). In *Straße und Autobahn*. 2015, no. 3, p. 202 - 209. ISSN 0039-2162.
- [4] STRYK, J. Uplatnění nových diagnostických metod při hodnocení stavu vozovek PK. In: *Silniční konference 2017: sborník příspěvků*, Brno, 18. - 19. 10. 2017, s. 107 - 111.
- [5] VARS, 2018 [online] VARS Brno a.s. [Cit. 29. 9. 2018]. Dostupné z: <http://www.vars.cz/clevera-car-zakladni-informace-o-multifunkcnim-vozidle>
- [6] JANKŮ, M. a STRYK, J. Metodika pro termografické měření objektů dopravní infrastruktury. In: *Defektoskopie 2017, 47. mezinárodní konference: 7. – 9. 11. 2017, Chomutov, Česká republika*. Brno: Brno University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering, 2017, 97 - 108. ISBN 978-80-214-5592-4.
- [7] JANKŮ, M. a STRYK J. Využití infračervené termografie při pokládce asfaltových vrstev vozovky. In: *Konference Asfaltové vozovky 2017: 28. - 29. listopadu 2017, České Budějovice*. Praha: PRAGOPROJEKT, 2017. ISBN 978-80-906809-0-6.
- [8] STRYK, J., JANKŮ, M., GROŠEK, J., BŘEZINA, I. Diagnostika objektů dopravní infrastruktury nedestruktivními metodami. *Silniční obzor*, 2017, roč. 78, č. 12, s. 323-327. ISSN 0322-7154.