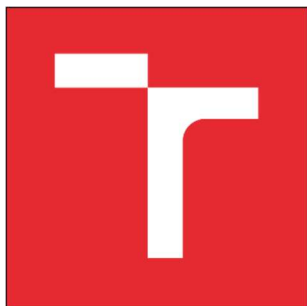




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

ÚSTAV SOUDNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF FORENSIC ENGINEERING

**IDENTIFIKACE RELEVANTNÍCH STOP PNEUMATIK NA
MÍSTĚ DOPRAVNÍ NEHODY NA ZÁKLADĚ JEJICH
FYZIKÁLNÍCH VLASTNOSTÍ**

IDENTIFICATION OF RELEVANT TIRE TRACES IN TRAFFIC ACCIDENT PLACE BASED ON
THEIR PHYSICAL CHARACTERISTICS

TEZE DIZERTAČNÍ PRÁCE

ABBREVIATED DISSERTATION THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ing. et Ing. Bc. Martin Bilík

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Albert Bradáč, Ph.D.

STUDIJNÍ OBOR

Soudní inženýrství

BRNO 2018

Abstrakt

Práce se zabývá možnostmi identifikace relevantních stop pneumatik na místě dopravní nehody na základě jejich fyzikálních vlastností. Stopy pneumatik na vozovce jsou jedním z nejdůležitějších objektivních prvků pro analýzu nehodového děje a jejich snadná a přesná detekce je tedy velmi důležitá. S narůstající technickou vybaveností vozidel, zejména se zavedením novějších generací asistenčních systémů brzdění, se brzdné stopy na vozovce zanechané pneumatikami stávají pro lidské oko téměř neviditelné. Je tedy žádoucí, aby jejich detekce byla nejen co nejpřesnější, ale také pokud možno snadná a rychlá, a to nejen pro soudní znalce, ale především pro příslušníky výjezdových jednotek dopravní policie.

V souladu s vývojem a zaváděním nových bezpečnostních a asistenčních systémů do vozidel by měl být i vývoj prostředků a metod zajištění podkladů pro technickou analýzu dopravních nehod. Realita však ukazuje, že postupy, byť stále funkční, jsou několik desítek let prakticky shodné, a především jsou závislé na subjektivních schopnostech dokumentujících osob. Zásadním prvkem práce, ve srovnání s dříve popsány postupy měření, je využití moderních metod a zařízení, tj. poznatků na nejvyšší známé úrovni poznání. Cílem je nalezení a ověření jednoduché, přesné a subjektivně co nejméně ovlivnitelné metody detekce stop na vozovce.

Abstract

The thesis deals with the possibilities of identifying the relevant tire traces at the place of a traffic accident based on their physical characteristics. Braking traces on the road are one of the most important objective elements for accident analysis, their easy and accurate detection is very important for accurate accident assessment. With the increasing technical equipment of vehicles, especially with the introduction of newer generations of braking assistance systems, traces left by the tires become almost invisible to the human eye. It is therefore highly desirable that their detection should be not only as accurate as possible but also as easy and fast as possible, not only for forensic experts, but especially for members of the traffic police departments.

In line with the development and introduction of new safety and assistance systems for vehicles should also be the development of means and methods of providing the basis for technical analysis of traffic accidents. Reality shows that the procedures, even if still functional, are practically identical for several decades, are dependent on the subjective capabilities of the documenting person. An essential element of the work, compared to the previously described measurement procedures, is the use of modern methods and devices at the highest known level of knowledge. The aim is to find and verify a simple, accurate, subjectively least influenced detecting method for tire traces on the road.

Klíčová slova

Vozidlo, brzdná stopa, brzdění, LIBS, pneumatika, silnice.

Keywords

Vehicle, braking trace, braking, LIBS, tire, road.

OBSAH

1 ÚVOD	4
1.1 Vymezení problému a problémové situace	5
2 SOUČASNÝ STAV	6
2.1 Kategorizace stop na místě dopravní nehody.....	6
2.2 Stopy pneumatik vozidel s brzdovými a bezpečnostními systémy.....	6
2.3 Vývoj asistenčních systémů s vlivem na brzdné stopy vozidel	7
2.4 Současné metody záznamu stop na místě DN.....	8
2.4.1 Metody dokumentace používané policií ČR.....	8
2.5 Experimentální metody detekce nezřetelných stop pneumatik.....	11
2.5.1 Použití termokamery	11
2.5.2 Identifikace pneumatik s využitím pyrolýzy.....	12
2.6 Degradace stop pneumatik na vozovce	14
3 CÍLE PRÁCE.....	15
4 METODY VÝZKUMU	16
4.1.1 Využití termokamery.....	17
4.1.2 Využití LIBS.....	17
5 POPIS ZÁKLADNÍHO POUŽITÉHO VYBAVENÍ.....	18
5.1 Měřicí přístroje	18
5.2 Vozidla, pneumatiky a povrchy použité při měřeních	19
6 DETEKCE STOP S VYUŽITÍM TERMOKAMERY	20
6.1 Zvýraznění opticky nevýrazných stop.....	21
6.2 Znevýraznění opticky zřetelných stop	22
6.3 Shrnutí dosažených výsledků	23
7 DETEKCE STOP POMOCÍ RLBS	24
7.1 Detekce stop na betonovém povrchu	27
7.2 Detekce stop na frekventovaném povrchu	28
7.2.1 Degradace stopy – pozvolná	30
7.3 Shrnutí dosažených výsledků a očekávaný další vývoj	33
8 ZÁVĚR	35
8.1 Využitelnost termokamer pro detekci nezřetelných stop.....	35
8.2 Využitelnost LIBS pro detekci nezřetelných stop.....	35
9 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	37
10 CURRICULUM VITAE	41

1 ÚVOD

Tato dizertační práce se zabývá možnostmi identifikace relevantních stop pneumatik na místě dopravní nehody na základě jejich fyzikálních vlastností. Zásadní změnou, ke které práce směřuje ve srovnání s dříve popsány postupy měření, je využití moderních metod a zařízení, tj. poznatků na nejvyšší známé úrovni poznání.

Dle policejních statistik¹ bylo v České republice v roce 2017 Policií ČR řešeno 103 821 dopravních nehod, během kterých bylo usmrceno 502 osob, 2 339 osob se zranilo těžce a 24 740 osob se při dopravních nehodách zranilo lehce. Celková odhadnutá hmotná škoda na místech dopravních nehod byla 6,32 *miliardy Kč*. Přestože dle statistik klesá počet usmrcených osob, tak celkový počet dopravních nehod od roku 2009 každoročně o několik procent roste, s čímž je spojeno i navyšování hmotné škody, která při dopravních nehodách vzniká. Přesné stanovení příčiny vzniku dopravní nehody je potřebné nejen z hlediska určení viníka předmětné dopravní nehody, ale také z hlediska prevence vzniku nehod obecně. Díky známým příčinám je pak možné snižovat počet nehod působením vhodných technických, právních a jiných prostředků na systém dopravní prostředek – řidič – dopravní prostředí.

Z pohledu konstrukce vozidel je výsledkem analýzy příčin dopravních nehod zavádění různých bezpečnostních prvků a systémů, působících na zvýšení bezpečnosti a řiditelnosti vozidla. Zavádění nových asistenčních a bezpečnostních systémů do vozidel má však i „negativní“ stránku, kterou je snižování množství stop pneumatik na vozovce na místě dopravní nehody, přitom tyto stopy jsou jedním z primárních podkladů pro analýzu dopravní nehody.

V souladu s vývojem a zaváděním nových bezpečnostních a asistenčních systémů do vozidel by tak měl postupovat i vývoj prostředků a metod zajištění podkladů pro technickou analýzu dopravních nehod. Obecně nejznámějším příkladem zavádění nových bezpečnostních systémů je zavedení systému ABS, čímž ale dochází k omezenému vzniku brzdných stop na vozovce, které jsou obvykle v případě zablokování kola velmi zřetelné a jasně rozpoznatelné. Stopy pneumatik (a stopy obecně) jsou jedním z nejdůležitějších podkladů pro analýzu předmětné dopravní nehody, je tedy maximálně žádoucí, aby jejich detekce byla nejen co nejpřesnější, ale také pokud možno snadná a rychlá. Přestože vývoj v oblasti bezpečnostních a asistenčních systémů je značný, z pohledu metod dokumentace míst dopravních nehod tomu tak není. Postupy, které v současné době používá Policie ČR pro dokumentaci míst dopravních nehod, byť stále funkční, jsou několik desítek let prakticky shodné, a především jsou závislé na subjektivních schopnostech příslušníků. Cílem je nalezení a ověření jednoduché, přesné, subjektivně co nejméně ovlivnitelné metody záznamu stop na vozovce za jakýchkoliv světelných podmínek.

¹ Policie ČR: Informace o nehodovosti na pozemních komunikacích v ČR v roce 2017, [online], [cit. 11.01.2018]

1.1 Vymezení problému a problémové situace

Ve své knize prof. Janíček² formuluje problémovou situaci jako nestandardní situaci vyžadující řešení ať už z objektivních či subjektivních důvodů. Od standardní situace se problémová situace liší tím, že problémová situace směřuje na řešení problémů, přičemž proces řešení není rutinní. Z tohoto důvodu musí řešitel problémové situace využívat informační, hodnotící, rozhodovací a tvůrčí činnosti a s jejich využitím hledat odpovídající metody řešení této nestandardní situace. Řešení problémové situace souvisí primárně se stanovením množiny problémů, kterou tvoří výroky spojené s řešením problémové situace a jejich následným řešením.

V případě této dizertační práce lze jako problémovou situaci vymezit dopravní nehodu, jejíž příčiny vzniku je nutné analyzovat z různých důvodů, např. pro účely trestního řízení a posouzení odpovědnosti za vznik nehody, ale u které na místě jejího vzniku absentují stopy intenzivního brzdění, přestože by je bylo možné na daném místě očekávat. Absence opticky zřetelných stop na místě dopravní nehody, resp. nutnost exaktního řešení dopravních nehod, při kterých vozidla vybavená moderními bezpečnostními systémy nezanechávají na vozovce opticky jasně zřetelné a detekovatelné stopy pneumatik, pak má zásadní vliv na možnosti objektivního posouzení skutečného průběhu analyzované dopravní nehody.

Problémem podle prof. Janíčka³ je možné označit situaci nebo stav objektu, který není možné vyřešit rutinními činnostmi, pro jeho řešení je vyžadováno uskutečnění tvůrčích, hodnotících, rozhodovacích, informačních a výkonných činností řešitele pro nalezení vhodných metod řešení.

Primárním problémem při analýze pohybu vozidel s moderními bezpečnostními systémy je nutnost posouzení, zda předmětné vozidlo i přes absenci viditelných brzdných stop brzdilo, či nikoliv. Skutečností je, že moderní vozidla při svém pohybu, konkrétně brzdění, nezanechávají na první pohled opticky jasně zřetelné a rozpoznatelné stopy, jak tomu bylo v dobách, kdy tyto prvky a systémy nebyly používány. Při jejich dokumentaci tak může v lepším případě dojít ke zkreslení jejich skutečného tvaru či délky, v horším případě, nemusí být taková stopa na místě dopravní nehody identifikována a zadokumentována vůbec i při maximálním úsilí dokumentující osoby. Kvalita a kvantita zadokumentovaných stop však přímo ovlivňuje výsledky následně prováděné analýzy dopravní nehody, které mohou mít v krajním případě důsledky až v nesprávném posouzení předmětné dopravní nehody při správním či soudním řízení. Podstatnými veličinami pro řešení primárního problému jsou délka brzdné či blokovací stopy a dosažené brzdné zpomalení umožňující odůvodnění výskytu těchto stop.

² JANÍČEK, P.: Systémová metodologie: Brána do řešení problémů. Vyd. 1.

³ JANÍČEK, P., MAREK, J.: Expertní inženýrství v systémovém pojetí.

2 SOUČASNÝ STAV

Tato kapitola popisuje kategorizaci stop na místě dopravní nehody, jak je v současné době používána, dále jsou představeny metody identifikace a zaměření stop na místě dopravních nehod používané v praxi příslušníky výjezdových skupin dopravní policie a také již popsane metody identifikace nezřetelných stop.

2.1 Kategorizace stop na místě dopravní nehody

Během dopravní nehody na jejím místě vznikne množství stop. Stopou dle literatury⁴ se rozumí každá změna, která vznikla v příčinné souvislosti s předmětnou dopravní nehodou, která je zjištěitelná, zajistitelná a obsahuje informace významné pro vyšetřování a následnou analýzu předmětné události. Pro každou zajištěnou stopu je nutné zjistit způsob jejího vzniku a posoudit, jestli předmětná stopa vznikla v souvislosti s analyzovanou dopravní nehodou nebo již byla na místě dříve (např. pozůstatek předchozí nehody na stejném místě). Při ohledání místa dopravní nehody je možné nalézt velké množství paměťových a materiálních stop.⁵

Na základě vzájemných interakcí systému člověk – vozidlo – prostředí vznikají všechny stopy využívané při odhalování a vyšetřování dopravních nehod a analýze průběhu nehodového děje. Na základě změn způsobených odrazem je pak možné usuzovat na způsob, jakým prvek působil na jiný prvek systému, na druh, intenzitu a délku trvání této interakce.⁶ V knize Kriminalistika – dopravní nehody⁷ byly již v roce 1968 definovány základní kategorie materiálních stop vzniklých na místě dopravní nehody:

- stopy vozidel na vozovce,
- stopy na zúčastněných vozidlech,
- stopy kapalin,
- stopy způsobené vozidly na pevných objektech,
- stopy na tělech účastníků nehody.

2.2 Stopy pneumatik vozidel s brzdovými a bezpečnostními systémy

V dnešní době je většina vozidel vybavena systémem ABS a na něj navazujícími systémy. U prvních generací systému ABS je vzniklá stopa při brzdění vozidla poměrně dobře viditelná a jedná se o jakousi kombinaci brzdných stop a blokovacích, střídajících se ve velmi krátkém časovém úseku, viz **obr. 1**. Na pevném povrchu jsou tyto stopy lépe patrné při bočním pohledu nebo při šikmém osvětlení, jeví se jako střídání tmavých a lesklých pruhů na vozovce. Na měkkém povrchu jsou pak tyto

⁴ DOLEŽEL, J., NOVÁK Č., VOLF Z.: Kriminalistické minimum, 1. vyd.

⁵ KONEČNÝ, J.: Šetření a dokumentace silničních dopravních nehod, 1. vyd.

⁶ BRADÁČ, A.: Soudní inženýrství

⁷ ČERMÍN, S. a kol.: Kriminalistika dopravní nehody

stopy dobře patrné a jsou hlubší než stopy jízdní. Viditelné bývají tyto stopy také po fotografické expozici.⁸



Obr. 1: Stopa pneumatiky vozidla s ABS⁹

Obecně budou stopy pneumatik nejlépe vidět na dobře udržovaných asfaltových površích. Dobrá rozpoznatelnost bude také na štěrku, v prachu a na měkkých površích. Na betonu a starém – světlém asfaltu mohou být zanechané stopy jen slabé nebo vůbec žádné, viz **obr. 2**. Tmavé stopy po pneumatikách jsou důsledkem vyšších teplot, pravděpodobnost, že budou nalezeny a budou dobře dokumentovatelné, bude větší v teplém počasí při zanechávání dlouhých stop než při krátkých stopách za chladného počasí. Vznik otěrové stopy pneumatiky je závislý na struktuře povrchu vozovky, na teplotě povrchu vozovky atd. a rovněž závisí na jakosti a stavu běhounu pneumatiky.



Obr. 2: Pohledy na vozovku, na které bylo provedeno zabrzdění z rychlosti 70 km/h (vlevo starý povrch, vpravo nový povrch)¹⁰

2.3 Vývoj asistenčních systémů s vlivem na brzdné stopy vozidel

Hlavní funkcí těchto systémů je zajistit bezpečnost jak řidiče, tak vozidla při jízdě, zejména pak při krizových situacích. K tomu systémy využívají několik soustav snímačů, monitorujících povely řidiče, dění v okolí vozidla, ale i samotné chování vozidla. Signály z těchto snímačů jsou následně zpracovány v řídicích jednotkách, které na základě stanovených algoritmů vyhodnotí situaci a vyšlou signál akčním

⁸ PORADA, V.: Silniční dopravní nehoda v teorii a praxi

⁹ archiv autora

¹⁰ archiv autora

členům systémů. Tendence vývoje systémů je jednoznačně spojena s vývojem použitých snímačů a výpočetní techniky. V současné době jsou již systémy natolik vyspělé, že dovedou vyhodnotit nebezpečnou situaci ještě předtím, než nastane. Jedním z nejznámějších a také z nejstarších systémů je protiblokovací systém ABS, na jehož vývoji lze demonstrovat vývoj v této oblasti.¹¹

Protiblokovací systém ABS (z anglického Anti-lock Braking System) byl vyvinut v roce 1978 společností Bosch. Samotná snaha zabránit blokaci kol vozidla při prudkém brzdění je ale mnohem starší. Prvním vozidlem vybaveným tímto systémem, byl Mercedes-Benz třídy S.¹²

V posledních letech je brzdový systém ABS zařazen jako jedna z částí nadřazeného stabilizačního systému ESP (Electronic Stability Programme, nebo ESC - Electronic Stability Control), který zahrnuje mnoho dalších asistenčních systémů. Jednoznačným trendem vývoje je zkracování trvání procesu získání a vyhodnocení dat a případného zásahu.

Než se ABS stalo součástí dalších systémů okolo roku 2000, byla délka celého procesu 20 ms , přičemž v průběhu brzdění vznikla na počátku krátká stopa $40\text{ až }50\text{ cm}$ – regulace byla řízena pouze skluzem předních kol, tj. velký počáteční skluz vozidla. Dle adheze a stavu pneumatik pak v průběhu brzdění mohlo vzniknout několik dalších stop různé délky. Před zastavením vozidla pak žádná brzdná stopa nevznikala. Postupným vývojem došlo ke zvýšení frekvence a zkrácení procesního času na 8 ms okolo roku 2008. Od roku 2012 se pak trvání celého procesu pohybuje v úrovni 5 ms a méně, v průběhu brzdění pak na samém počátku brzdná stopa nevzniká, případně je nezřetelná. Regulační smyčka nových generací asistenčních systémů umožňuje před zastavením vozidla blokaci kol, při nízkých rychlostech není nutné řešit stabilitu vozidla, mohou tedy vzniknout viditelné brzdné stopy.

2.4 Současné metody záznamu stop na místě DN

Postupy, které v současné době používá Policie ČR pro identifikaci a dokumentaci stop na místě dopravní nehody, byť stále funkční, jsou několik desítek let prakticky shodné, a především jsou závislé na subjektivních schopnostech ohledávajících a dokumentujících příslušníků. V případě, že je stopa na místě dopravní nehody identifikována, pak je zadokumentována nejčastěji jednou z níže popsanych metod.

2.4.1 Metody dokumentace používané policií ČR

Zaměření místa DN

Zaměření místa dopravní nehody je jednou z náročných a velmi důležitých činností, které vykonává policie na místě dopravní nehody. Nepřesnosti, nedostatky či chyby v zaměření místa dopravní nehody mohou významným způsobem negativně ovlivnit následné právní posouzení dopravní nehody a případné znalecké zkoumání.

¹¹ VLK, F.: Automobilová elektronika 1: asistenční a informační systémy. 1. vyd.

¹² SAJDL, J.: ABS (Anti-lock Braking System). Autolexicon.net [online]. [cit. 2016-12-20].

V současné době jsou pro zaměření místa dopravní nehody používány prakticky tři základní topografické metody.

Metoda pravoúhlých souřadnic (ortogonální metoda) – tato metoda je velmi vhodná pro krátké a rovné úseky, není však vhodná pro zaměření členitých míst dopravních nehod v zatáčkách atd., kdy je velmi pracná a časově náročná. Princip metody je založen na volbě minimálně dvou výchozích bodů, které jsou dobře identifikovatelné, a mezi těmito body se vytyčí úsečka, která slouží jako základ pravoúhlého souřadného systému, případně je možné použít více různě položených úseček např. okraj pozemní komunikace, čímž vznikne pravoúhlý souřadný systém. Odměřované vzdálenosti jsou tedy od výchozího bodu měření (X) a od paty pomyslné vytvořené kolmice k zaměřovanému bodu (Y). Vznikne tak soubor samostatných různě orientovaných pravoúhlých souřadnic, které spolu tvoří celek – plánec místa dopravní nehody.

Metoda průsečného měření (průsečíková) – princip této metody je založen na protínání naměřených délek z předem stanovených výchozích bodů. Obdobně jako u předchozí metody je nutné zvolit alespoň dva výchozí body měření, ale může to být i více bodů, jejichž vzájemná vzdálenost je známá, případně se změří. Zaměřovaný bod je potom zadán jako vzdálenost od těchto dvou bodů a polohou vpravo nebo vlevo od směru od prvního k druhému výchozímu bodu.

Metoda řetězce trojúhelníků (trojúhelníková) – shodně jako u výše popsaných metod je nutné zvolit dobře identifikovatelný a zaznamenanatelný výchozí bod měření, od kterého se následně vytyčují trojúhelníky, jejichž vrcholy jsou shodné se zájmovými body měření. Principem je vytváření sítě trojúhelníků tak, že sousední trojúhelníky mají vždy společnou jednu stranu, až do okamžiku, kdy je takovými trojúhelníky pokryta celá požadovaná oblast. Je nutné důsledné značení všech vzdáleností a zaměřovaných bodů. Trojúhelníková metoda je použitelná i pro zaměření členitějších komunikací nebo křižovatek.

Společnou výhodou výše popsaných topografických metod je skutečnost, že tyto je možné realizovat pomocí základních přístrojů a pomůcek. V praxi je nejčastěji používáno měřické kolečko, jehož výhodou, mimo poměrně nízkých pořizovacích nákladů, je možnost měření délky i křivočarých stop. Přestože výrobci udávaná přesnost měřického kolečka je cca 0,05 %, výsledná nepřesnost měření je umocněna „odskakováním a protáčením“ kolečka na nerovném terénu. V praxi to znamená, že měření musí být několikrát opakováno, u rozlehlejších míst může být odchylka skutečné a naměřené délky i v řádu metrů.¹³

Využití totální geodetické stanice

V současné době má policie k dispozici několik výjezdových vozidel, která jsou vybavena totální geodetickou stanicí, což je v podstatě elektronický teodolit (přístroj na přesné měření a vytyčování horizontálních a vertikálních úhlů) vybavený

¹³ TOKAŘ S., STÁŇA I., BILÍK M.: Comparison possibilities of Measurement of Traffic Accident Place. ExFOS 2016

elektrooptickým dálkoměrem, v dnešní době se často používá dálkoměr pulzní nebo jeho kombinace s frekvenčním dálkoměrem. Totální geodetická stanice tedy slouží k měření nebo vytyčování vodorovných a svislých úhlů a délek. Délky mohou být měřeny buď pomocí odrazného hranolu, nebo v bezhranolovém módu – odrazem přímo od povrchu měřeného objektu.¹⁴

Při měření pomocí odrazného hranolu lze při dobrých podmínkách měřit až do vzdáleností 1 až 2 km, při odchylce v řádu milimetrů, což je zcela dostačující i pro zaměření rozsáhlých míst dopravních nehod. Jasnou výhodou oproti předešlým metodám je přesnost a rychlost dokumentace, kdy časová úspora dokumentace a následného zpracování dat může být i 50 % v porovnání s tradičními topografickými metodami¹⁵. Určitou nevýhodou pak může být cena totální geodetické stanice, která se u nového přístroje pohybuje v řádech desítek až stovek tisíc korun.

Využití GNSS

Využití globálního družicového polohového systému (GNSS, z anglického Global Navigation Satellite System) je finančně i časově podobnou alternativou k využití totální geodetické stanice s odrazným hranolem. Pro měření se používá přijímač, který na základě signálů z navigačních družic vypočítává polohu. Přesnost určení polohy závisí na použité technologii. Výhodou této metody v porovnání s geodetickou stanicí je její rychlost, nevýhodou je pak požadavek na minimální počet dostupných satelitů pro dosažení požadované přesnosti měření (v řádu maximálně jednotek cm).¹⁶

Fotodokumentace

Fotodokumentace je velmi podstatnou součástí dokumentace místa dopravní nehody. Pořízené snímky by měly poskytovat věrný a ucelený pohled na místo dopravní nehody a jeho přilehlé okolí. Mimo to, v případě kvalitních snímků, je možné následně identifikovat stopy, které nebyly přímo na místě dopravní nehody při dokumentaci rozpoznány. Nesprávně provedenou fotodokumentaci však obvykle není možné nahradit kvůli změně podmínek na místě dopravní nehody (odklizení vozidel a střepů, změna atmosférických podmínek atd.). Snímky musí být pořizovány tak, aby zachycovaly číselné označení jednotlivých stop a objektů na místě dopravní nehody. Při pořizování fotografií je potřeba postupovat co nejrychleji z důvodu možnosti znehodnocení stop.¹⁷

Rektifikace stop pomocí fotogrammetrie

Principem digitální rektifikace snímků je transformace šikmo dokumentované plochy vozovky místa dopravní nehody na rovinný obrázek v půdorysu, který je

¹⁴ ŘÍHA, J.: Moderní přístrojová technika. [online] [cit. 13.12.2015]

¹⁵ STÁŇA, I.; TOKAŘ, S.; BUCSUHÁZY, K.; BILÍK, M. Comparison of Utilization of Conventional and Advanced Methods for Traffic Accidents Scene Documentation in the Czech Republic.

¹⁶ RAPANT, P.: Družicové polohové systémy

¹⁷ Závazný pokyn policejního prezidenta č. 100/2001 ke kriminalistickotechnické činnosti Policie ČR, Čl. 33

relativně přesný a umožňuje v konkrétním měřítku zobrazit veškeré informace obsažené na snímku, tj. stopy, polohy vozidel atd., a vytvořit tak plánec místa dopravní nehody. Při fotodokumentaci je zapotřebí použít tzv. rektifikační kříž¹⁸, případně je nutné tento nahradit čtyřmi body a změřením vzdálenosti mezi nimi (tj. délky čtyř stran a alespoň jedné z úhlopříček). Nespornou výhodou této metody je dodatečná možnost odměření vzdáleností nebo délek stop přímo na rektifikovaném snímku. Z rektifikovaného snímku je možné určit rovněž poloměr trajektorie stop, což může posloužit pro výpočet mezní rychlosti a tvar stop obecně. U zakřivených a jinak tvarově náročných stop je totiž jejich přesné zaměření velmi pracné a časově náročné.

Přestože je tato metoda již poměrně dlouhou dobu známa, není složkami policie v současnosti ve větší míře využívána. V rámci policie Jihomoravského kraje se začalo s jejím využíváním v průběhu roku 2015 po zprovoznění novějších verzí softwaru. Ne všichni zpracovatelé dopravních nehod však tuto metodu v potřebném rozsahu ovládají, přesto jsou k dispozici první pozitivní výsledky a díky tomu má policie Jihomoravského kraje určitý náskok oproti ostatním krajům a lze předpokládat postupný nástup této metody v praxi.

2.5 Experimentální metody detekce nezřetelných stop pneumatik

2.5.1 Použití termokamery¹⁹

Ing. Vlastimil Rábek, Ph.D. ve své dizertační práci použil pro detekci nezřetelných stop na vozovce termovizní kameru pro vzdálenou oblast infračerveného spektra. Pomocí této získal přímý (černobílý) teplotní obraz typu FLIR i termografický obraz v nepravých barvách. Cílem provedených zkoušek bylo ověření použitelnosti termokamery pro detekci nezřetelných brzdných stop; detekci konečné polohy vozidla po dopravní nehodě; detekci konečné polohy ležící osoby po dopravní nehodě.

Při provedených měřeních bylo potvrzeno, že při intenzivním brzdění vozidla vznikl po dobu cca 15 sekund na suché vozovce velmi intenzivní detekovatelný tepelný účinek. Vzniklé tepelné pole však bylo možné s použitou technikou detekovat pouze do cca 30 minut. Vzniklé teplo souvisí s přeměnou části kinetické energie vozidla na teplo. Mimo toto vzniklé teplo byla vozovka ovlivněna pro infračervenou detekci nanesením mikrootěrů pneumatiky, které měnily vlastnosti povrchu vozovky a tato místa vykazovala jiné absorpční a emisní vlastnosti než okolí.

Velmi dobrých výsledků bylo dosaženo při parném (horkém) počasí, kdy získ optické informace pomocí termovizní kamery byl o cca 20 % větší, a to na asfaltovém i betonovém krytu vozovky, než tomu bylo okem pozorovatele, tj. část brzdné stopy vozidla byla lidským okem rozpoznatelná a identifikovatelná. Při měřeních za relativně nižších teplot (cca 14–20 °C) bylo zjištěno, že získ informace pozorování

¹⁸ BURG, H., MOSER, A.: Handbuch Verkehrsunfallrekonstruktion: Unfallaufnahme, Fahrdynamik, Simulation

¹⁹ RÁBEK, V.: Optické metody detekce nezřetelných stop na vozovce při znalecké analýze silničních nehod

termovizní kamerou byl vyšší u lidským okem méně zřetelných (ale viditelných) stop, než u okem jasně viditelných stop, kde došlo k masivnímu odběru materiálu z běhounu pneumatiky vozidla. Na mokré vozovce byla zjištěna nemožnost detekce jakýchkoliv stop termovizní kamerou.

Z hlediska detekce nezřetelných brzdných stop dospěl Ing. Vlastimil Rábek, Ph.D. k závěru, že použití termovizní kamery pro detekci nezřetelných brzdných stop může přinést výrazný zisk optické informace jen za určitých povětrnostních podmínek – při chladnějším počasí, byl termografický zisk přídatné informace o nezřetelných brzdných stopách velmi slabý.

Možnosti použití termovizní kamery pro ověření konečné polohy vozidla po nehodě se ukázaly na suché vozovce jako zcela reálné, přičemž při parném počasí dominovalo tepelné pole vznikající jako následek stínu celého vozidla a při relativně chladnějším počasí dominoval tepelný otisk pneumatik.

2.5.2 Identifikace pneumatik s využitím pyrolýzy

Možností identifikace pro lidské oko nezřetelných brzdných stop, je i chemická analýza otěrů běhounu pneumatiky na povrchu vozovky. Touto metodou se zabýval již v roce 2004 G. Sarkissian²⁰ a jeho tým, kteří provedli odběr 59 vzorků z pneumatik vozidel zúčastněných při dopravních nehodách. Tyto vzorky analyzovali a porovnali se vzorky pneumatik odebraných z vozovky na místech dopravních nehod. Úspěšnost přiřazení jednotlivých vzorků k jednotlivým výrobcům během provedených experimentů byla 95 %, z hlediska vyšetřování dopravních nehod je tato metoda vhodná pro zjištění pneumatik např. neznámého vozidla, které odjelo z místa dopravní nehody.

Obdobným výzkumem se zabývali ve svých člancích L. Gueissaz a G. Massonet^{21, 22}, kteří využili pyrolýzu v kombinaci s plynovou chromatografií a hmotnostní spektrometrií pro přiřazení odebraného vzorku brzdné stopy ke konkrétní pneumatice. Odběr otěrů běhounu pneumatik z vozovky byl proveden pomocí daktyloskopické fólie, ze které byly následně pinzetou odebrány částice pro rozbor, tato metody byla úspěšně otestována na 10 a 12 vzorcích pneumatik osobních vozidel různých výrobců, kdy jednotlivé vzorky byly správně přiřazeny ke svým původcům při tzv. slepém testu. Autoři se však nezabývali délkami ani tvarem brzdných stop, povrch na kterém probíhalo testování, byl pro měření důkladně vyčištěn, což nelze považovat za situaci odpovídající obvyklým podmínkám na místě dopravní nehody.

²⁰ SARKISSIAN, G., KEEGAN, J., DU PASQUIER, E., DEPRIESTER J.-P., ROOUSSELOT, P.: The Analysis of Tires and Tire Traces using FTIR and Py-GC/MS, Canadian Society of Forensic Science Journal

²¹ GUEISSAZ, L., MASSONNET, G.: Tire traces - discrimination and classification of pyrolysis-GC/MS profiles. Forensic science international [online]

²² GUEISSAZ, L., MASSONNET, G.: Chemical Analysis of TireTraces in Traffic Accidents Investig. J Forensic Sci Med 2015

Souběžně se identifikací pneumatik zabýval také T. Lachowicz a kol.^{23, 24}, kteří rovněž rozvíjeli metodu odběru vzorků pneumatik z brzdných stop a jejich následné přiřazení k výrobcí a typu pneumatiky. Svá měření provedli na 42 vzorcích, a to jak letních, tak zimních i celoročních pneumatik osobních vozidel. Odběr vzorků z brzdných stop prováděli pomocí daktyloskopických pásek, na počátku, středu a viditelném konci brzdných stop s cílem zjistit vliv brzdění na složení/ovlivnění zkoumaného vzorku.

Z tohoto pohledu zjistili, že v průběhu brzdění je chemické složení zanechaných částic pneumatiky konstantní a neměnné. Výsledkem bylo opět přiřazení odebraného vzorku z „viditelné“ části brzdné stopy k pneumatice, kterou byla tato stopa vytvořena. Jako jasnou nevýhodu však autoři popsali nutnost odběru množství vzorků a jejich následný transport do laboratoře k rozboru. Pozitivním výsledkem všech výše popsaných metod je potvrzení možnosti chemické identifikace částic pneumatik, toto prokazuje mj. i množství publikací zabývajících se detekcí částic pneumatik v životním prostředí. Jako identifikátor byla ve všech případech zvolena organická forma zinku, která je v rámci různých sloučenin při výrobě přidávána do pneumatik.

Společnou nevýhodou všech výše popsaných metod je nutnost odběru a přípravy vzorků a jejich následný transport do laboratoře k rozboru, s čímž je spojena také určitá časová a logistická náročnost. Pro praktické využití metod identifikace částic pneumatik je nezbytné, aby tyto mohly být prováděny a vyhodnocovány dokumentujícími osobami přímo na místě dopravní nehody. Určitým pokrokem v této oblasti je práce Ing. Davida Procházky, Ph.D.²⁵, který navrhl pro identifikaci částic běhounu pneumatiky využití spektroskopie laserem buzeného plazmatu (LIBS).

Na základě chemického složení pneumatik byl jako vhodný prvek pro identifikaci pneumatiky zvolen opět zinek. Z emisních LIBS spekter pneumatik byla určena vhodná spektrální čára neinterferující s žádnou spektrální čarou prvku potenciálně se vyskytujícího v nosiči, v případě přenosu pomocí adhezní pásky. Jako v podstatě jediná vhodná byla vybrána spektrální čára na vlnové délce 330,25 nm.

V rámci práce bylo provedeno přímé měření povrchu vozovky pomocí mobilní aparatury (rLIBS). Pro všechny varianty měření byla provedena optimalizace parametrů měření na základě podmínky maximálního poměru signálu k šumu.

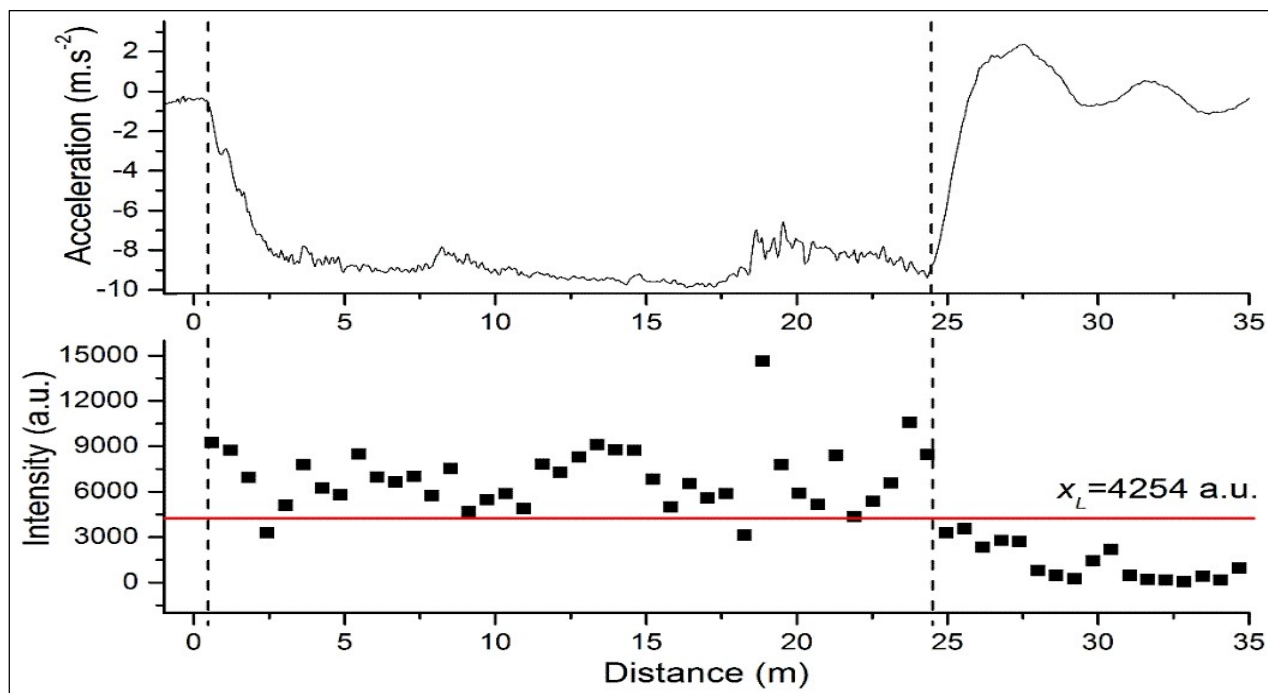
Pro ověření potenciálu metody byla vytvořena brzdná stopa pomocí vozidla vybaveného protiblokovacím brzdovým systémem (ABS). Počáteční rychlost vozidla byla 72 km/h. Prahová intenzita spektrální čáry Zn I 330,25 nm, pro kterou bylo možné

²³ LACHOWICZ, T., ZIĘBA-PALUS, J., KOŚCIELNIAK, P.: Chromatographic Analysis of Tire Rubber Samples as the Basis of Their Differentiation and Classification for Forensic Purposes. *Analytical Letters* [online]

²⁴ LACHOWICZ, T., ZIĘBA-PALUS, J., KOŚCIELNIAK, P.: Pyrolysis Gas Chromatography - Mass Spectrometry for the Characterization of Tire Marks for Forensic Analysis. *Analytical Letters* [online]

²⁵ PROCHAZKA, D.: Detekce brzdných stop pomocí spektrometrie laserem indukovaného plazmatu (LIBS) a spektrometrie laserem indukované fluorescence (LIBS + LIFS)

prohlásit, že jde o signál, byla stanovena pomocí měření povrchu vozovky bez brzdné stopy. Brzdná stopa byla analyzována směrem od konečné pozice vozidla k místu, kde začalo brzdění. V grafech na obrázku **obr. 3** je srovnání intenzity spektrální čáry v závislosti na poloze (dolní graf) s průběhem zpomalení v závislosti na dráze (horní graf). Teplota vzduchu v době experimentu dosahovala hodnoty 32 °C a teplota vozovky 48 °C. Povrch vozovky byl živičný, sklon vozovky byl zanedbatelný.



Obr. 3: Porovnání zpomalení vozidla a intenzity spektrální čáry²⁶

Z grafů je patrné, že předmětná brzdná stopy byla identifikována po celé její délce, čímž byla prokázána možnost použití metody LIBS pro identifikaci opticky nezřetelných brzdných stop přímo na vozovce. Pro zavedení metody do praxe je však zapotřebí provést ověření a další experimenty, což je jedním z cílů této práce, a dále vytvořit jednotnou metodiku měření.

2.6 Degradace stop pneumatik na vozovce

Významným faktorem ovlivňujícím jak samotnou možnost, tak i kvalitu záznamu brzdné či smykové stopy vozidla je degradace této stopy. Degradaci stopy není možné zabránit, existují však situace a faktory, které degradaci významným způsobem urychlují. Degradace stopy pneumatiky na vozovce může vzniknout už při samotném nehodovém ději, kdy může dojít k překrytí stopy pneumatiky na vozovce například provozními kapalinami uniklými z vozidla po střetu, viz **obr. 4**. Toto překrytí stopy s sebou obvykle nese i další překrytí, a to posypem sorbentu s následným zametením. Tímto způsobem se jakákoliv stopa pneumatiky překrytá uvedeným způsobem stává prakticky nedetekovatelnou pomocí současných metod.

²⁶ PROCHAZKA, D., BILIK, M., a kol.: Detection of Visually Unrecognizable Braking Tracks Using Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS). Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy



Obr. 4: Stopy pneumatik osobního vozidla a motocyklu překryté únikem provozních kapalin a posypem sorbentu²⁷

Velmi často je stopa pneumatiky na vozovce degradována vlivem atmosférických podmínek v místě dopravní nehody, tj. například odfouknutí částic pneumatiky vlivem větru, či jejich odplavení vlivem deště. Z pohledu možnosti detekce pomocí termokamery, pak při větru dochází k rychlejšímu chladnutí stopy.

K mechanické degradaci dochází obvykle vlivem provozu v místě DN, tj. „rozježdění“ stopy pneumatiky dalšími vozidly po jejím okolí. Pokud se stopa nachází v prostoru, kde probíhají záchranné práce integrovaného záchranného systému, pak bývá stopa pneumatiky degradována všemi výše uvedenými způsoby, ke kterým je možné přidat ještě její odplavení či zametení, při pracích hasičského záchranného sboru.

Degradujícím prvkem dokumentace stop pneumatik jsou při využití současných metod světelné podmínky v době dokumentace. Obecně platí, že čím horší jsou světelné podmínky, tím obtížněji je možné pomocí fotoaparátu či kamery stopu pneumatiky zadokumentovat.

Teoreticky je možné připustit, že s dostatečným vybavením by bylo možné tento problém výrazně eliminovat, je však nutné konstatovat, že finanční i prostorové možnosti jednotek vyjíždějících k dokumentaci dopravních nehod nedovolují používání několika statických výkonných fotografických blesků a profesionální zrcadlovky se sadou výměnných objektivů.

3 CÍLE PRÁCE

Primárním cílem této dizertační práce je *nalezení metody detekce opticky nezřetelných stop pneumatik na vozovce*, která bude co nejméně ovlivnitelná dokumentující osobou a zároveň bude dostatečně rychlá (doba trvání by neměla přesáhnout dobu obvyklou na ohledání místa dopravní nehody policií s vážným zraněním či úmrtím, tj. 80 minut) a přesná. Detekce nezřetelných stop na místě

²⁷ archiv ÚSI VUT v Brně

dopravní nehody je aktuální otázkou, protože stávající dokumentační metody přestávají dostačovat. Pro analýzu dopravních nehod, ale i další vývoj v oblasti asistenčních systémů a bezpečnosti vozidel celkově, je však nutné mít co možná nejpresnější vstupní hodnoty. Nalezení vhodné metody bude znamenat velmi účinný nástroj pro zaznamenávání dopravních nehod a získávání dat pro další výzkum.

Dílčí cíle pak odpovídají jednotlivým metodám detekce:

Provéřit využití termokamery pro detekci stop na vozovce – práce zabývající se detekcí stop pomocí termokamery byla zpracována v roce 2003. Od té doby však došlo v oblasti termokamer k značnému vývoji – rozsahy měření, teplotní rozlišitelnost atd. Také se výrazně zlepšila jejich cenová dostupnost, kdy nejjednodušší kamery se již nepohybují v řádech statisíců, ale pouze desetitisíců. Proto je žádoucí tuto metodu opět prověřit z hlediska její využitelnosti provedením několika sérií jízdních zkoušek za různých povětrnostních podmínek.

Provéřit možnosti identifikace částic běhounu pneumatiky s využitím LIBS – využitelnost této metody mimo laboratorní podmínky byla předběžně potvrzena provedením prvotních experimentů, které jsou popsány v práci Ing. Davida Procházky, Ph.D.²⁸ Pro ověření potenciálu využitelnosti je však nutné provést a vyhodnotit několik sérií měření s různými typy pneumatik, vozidel, povrchů, povětrnostních podmínek atd.

I když použití výše představených metod v praxi může v některých lidech vyvolat zdání o science fiction a obavy o neúměrné finanční náklady, prokázání jejich reálné využitelnosti může v důsledku znamenat další významný posun ve vývoji bezpečnosti vozidel, který může v budoucnu zachránit lidské životy.

4 METODY VÝZKUMU

Pro splnění cílů a získání potřebného množství relevantních dat bylo nutné provést několik brzdných zkoušek osobních vozidel, za různých podmínek. Průběh brzdných zkoušek však byl ve všech případech identický: byly zadokumentovány podmínky testu – typ povrchu, vozidlo, pneumatiky, povětrnostní podmínky atd., následně bylo testovací vozidlo osazeno přístroji schopnými zaznamenat průběh zrychlení při testu (XL Meter, Racelogic Performance Box apod.), poté byla provedena samotná brzdná zkouška, kdy vozidlo bylo urychleno na požadovanou rychlost (30 až 130 km/h) a následovalo maximální brzdění vozidla, tj. plné sešlápnutí brzdového, případně i spojkového pedálu. Po zastavení vozidla, bylo toto fotograficky zadokumentováno v konečné poloze včetně pohledů ve směru a proti směru brzdění, a posléze odstaveno mimo testovací prostor.

Konečná pozice vozidla byla označena (na úrovni předních kol) a počátek brzdné stopy byl odměřen pomocí mechanického krokoměru („měřičského kolečka“) na základě dat z akcelerometru XL Meter, viz **obr. 5**. Počátek brzdění byl současně

²⁸ PROCHAZKA, D.: Detekce brzdných stop pomocí spektrometrie laserem indukovaného plazmatu (LIBS) a spektrometrie laserem indukované fluorescence (LIBS + LIFS)

při některých měřeních označen pomocí zařízení upevněného na zadním nárazníku spouštěného společně s brzdovými světly. Trajektorie brzdné dráhy kola testovacího vozidla byla zvýrazněna pomocí křídly a provázku pro následnou detekci brzdných stop vozidla s využitím termokamery a přístroje rLIBS.



Obr. 5: Schéma průběhu brzdných zkoušek²⁹

4.1.1 Využití termokamery

Při intenzivním brzdění vozidla vzniká na suchém povrchu vozovky vlivem tření pneumatik detekovatelný tepelný účinek, který byl dle měření, které provedl Ing. Vlastimil Rábek, Ph.D., detekovatelný po dobu cca 15 sekund, vzniklé tepelné pole bylo možné s použitou technikou detekovat až do cca 30 minut. Další ovlivnění, které je možné detekovat termokamerou je vlivem nánosu mikrootěrů, tj. částic pneumatiky, které mají jinou emisivitu než povrch vozovky.

Dle závěrů Ing. Vlastimila Rábka, Ph.D., použití termokamery pro detekci nezřetelných brzdných stop může za určitých povětrnostních podmínek přinést výrazný zisk optické informace. Při chladnějším počasí byl termografický zisk informace o nezřetelných brzdných stopách velmi slabý a nesystematický, zatímco při podmínkách parného počasí bylo dosaženo pozoruhodných zisků optické informace o nezřetelné brzdné stopě. Rozptyl podmínek měření by tedy měl obsáhnout co nejširší škálu suchých povětrnostních podmínek.

4.1.2 Využití LIBS

Pomocí metody LIBS je možné v reálném čase provádět kompletní prvkovou analýzu vybraného bodu, jehož velikost závisí na použité energii laseru, na vlnové délce laseru, na délce pulzu, na fokusační optice a na vlastnostech vzorku, řádově se však pohybuje od jednotek do stovek μm . V případě rozsáhlejší dokumentované oblasti je možné vytvořit dvourozměrné, případně trojrozměrné rozložení zkoumaných prvků, které je možné nazvat pojmy jako chemická nebo prvková mapa. Každému bodu takto vytvořené mapy odpovídá intenzita, nebo plocha vybrané spektrální čáry zkoumaného prvku. Z hlediska dokumentace brzdných stop na vozovce je pak možné tyto identifikovat na základě prvkové mapy vhodně zvoleného prvku (zinku), který je obsažen pouze v částicích pneumatik, které byly na vozovku ořeny při brzdění či smyku vozidla.³⁰

²⁹ archiv autora

³⁰ PROHAZKA, D.: Detekce brzdných stop pomocí spektrometrie laserem indukovaného plazmatu (LIBS) a spektrometrie laserem indukované fluorescence (LIBS + LIFS)

Podmínkou však je, aby citlivost detekčního zařízení byla dostatečná pro identifikaci zinku v otěrech pneumatiky na vozovce. Určení limitů detekce pro pneumatiku na vozovce je však poměrně komplikované, kdy významným problémem je „rovinnost“ vozovky. Jedním z parametrů ovlivňujících poměr získaného signálu k šumu je velikost ablačního kráteru, který je dobře kontrolovatelný v laboratorních podmínkách pomocí náhledové kamery. U mobilního zařízení použitého na vozovce však, v současném konstrukčním uspořádání, není možné udržet tento parametr konstantní, problémem i je příprava kalibračních standardů.

Pro detekci brzdné stopy ale není potřeba znát absolutní koncentraci částic pneumatiky v místě měření, pro posouzení postačuje binární informace, zda se v předmětném bodě částice (prvek obsažený pouze v pneumatice) pneumatiky nachází anebo nenachází v nadprahovém množství. Prahová hodnota intenzity signálu, při které je možné rozhodnout, zda je hledaný prvek přítomen, může být vyjádřena pomocí blanku (povrchu bez částic pneumatiky) dle následující rovnice:

$$x_L = \bar{X}_B + k \cdot s_B$$

kde $\bar{X}_L$ je průměr signálu blanku, s_B je směrodatná odchylka signálu blanku a k je faktor vyjadřující požadovanou hodnotu jistoty. Pro $k = 3$ všechny hodnoty vyšší než x_L s pravděpodobností 99,7 % přísluší spektrální čáře zinku. Z těchto hodnot vychází prahová hodnota intenzity pro detekci zinku na povrchu vozovky přibližně $x_L = 2933$. Měření brzdné stopy, viz **obr. 3**, bylo provedeno při frekvenci laseru i detektoru 20 Hz a každý vynesení bod je průměrem z deseti měření (bodů na vozovce).

Základem detekčního přístroje využívajícího metodu LIBS musí být laser s poměrně vysokým výkonem a co nejvyšší opakovací frekvencí. Díky tomu by bylo možné dosáhnout vysoké citlivosti a současně vysoké opakovací frekvence měření. V případě vybavení přístroje vhodným softwarem a snímačem polohy by mohl být přístroj schopen zobrazovat detekovanou brzdou stopu v reálném čase.³¹

5 POPIS ZÁKLADNÍHO POUŽITÉHO VYBAVENÍ

5.1 Měřicí přístroje

Mobilní laboratoř - rLIBS

Mobilní laboratoř pro dálkovou Spektrometrii laserem buzeného plazmatu (rLIBS) byla navržena na Ústavu fyzikálního inženýrství Fakulty strojního inženýrství VUT v Brně Ing. Janem Novotným Ph.D. v rámci jeho dizertační práce³². Vlastní konstrukční řešení zařízení rLIBS je podrobně popsáno v diplomových pracích Ing. Michala Brady³³ a Ing. Michala Petrilaka³⁴. Toto zařízení od doby svého vzniku

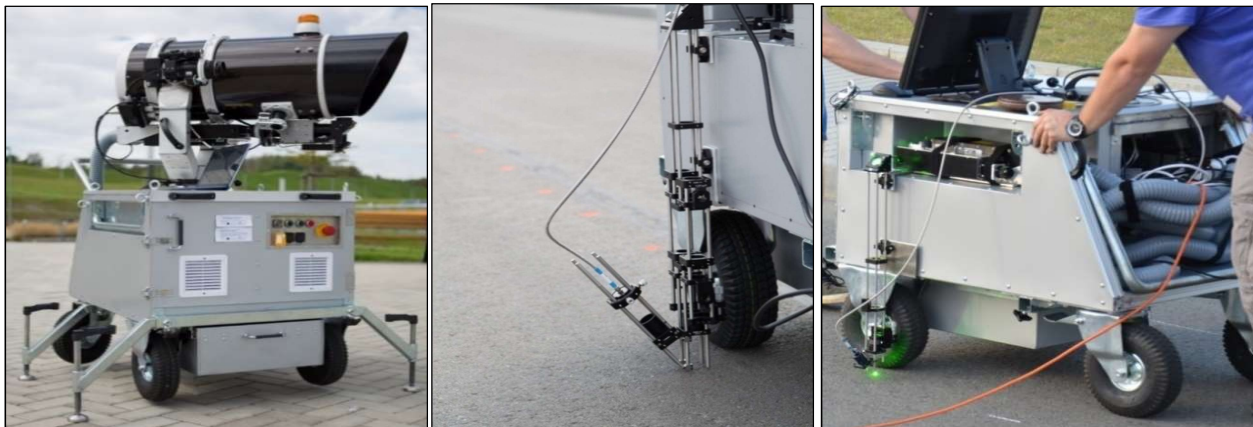
³¹ PROCHAZKA, D.: Detekce brzdných stop pomocí spektrometrie laserem indukovaného plazmatu (LIBS) a spektrometrie laserem indukované fluorescence (LIBS + LIFS)

³² NOVOTNÝ, J.: Dálkově řízená laserová spektroskopie (LIBS)

³³ BRADA, M.: Polohovací jednotka pro laserovou spektroskopii

³⁴ PETRILAK, M.: Řídicí systém pro dálkovou laserovou spektroskopii

prochází neustálým vývojem. Základem zařízení rLIBS během provedených měření byl laser pracující s maximální energií 200 mJ na jeden pulz. Základní sběrnou optikou je speciálně navržené sférické zrcadlo zasazené do teleskopu Newtonova typu. Druhá možnost umístění laserové hlavy je spolu s využitím speciálního modulu, který pomocí soustavy zrcadel směřuje laserový svazek z šachty pro laser ve vozíku kolmo k zemi. Na povrch vozovky je pak svazek fokusován pomocí čočky umístěné v klecovém systému s posuvem, viz **obr. 6**.



Obr. 6: Mobilní zařízení rLIBS – vlevo s teleskopem, uprostřed – detail modulu pro detekci brzdných stop na vozovce, vpravo – Laserový pulz

Sběrná optika byla vzhledem k laserovému svazku umístěna pod úhlem 45 °. Díky tomuto speciálnímu modulu pro analýzu povrchu vozovky jsou tak při měřeních nastoleny obdobné podmínky, jako v případě měření v laboratoři v interakční komoře – v porovnání s ní má fokusační optika menší hloubku ostroty a sběrná optika je umístěna blíže ke vzniklému plazmatu.

Termokamera FLUKE

Termokamera Fluke Ti 400, je profesionální termokamera s rozsahem měření teploty od $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ až po $+1\text{ }200\text{ }^{\circ}\text{C}$, teplotní citlivost snímače je $\leq 0,05\text{ }^{\circ}\text{C}$ při $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, celkový počet pixelů IR snímače je 76 800, termokamera je také vybavena „běžným“ fotoaparátem s rozlišením 5 MPix, díky tomu je možné vytvářet tzv. obraz v obraze. Termokamera obsahuje systém automatického zaostřování LaserSharp, zaostření je však možné provést také v manuálním režimu. K termokameře je standardně dodáván SW, ve kterém je možné získaná data vyhodnotit a zpracovat – doplnit či odebrat značky, změnit emisivitu atd.

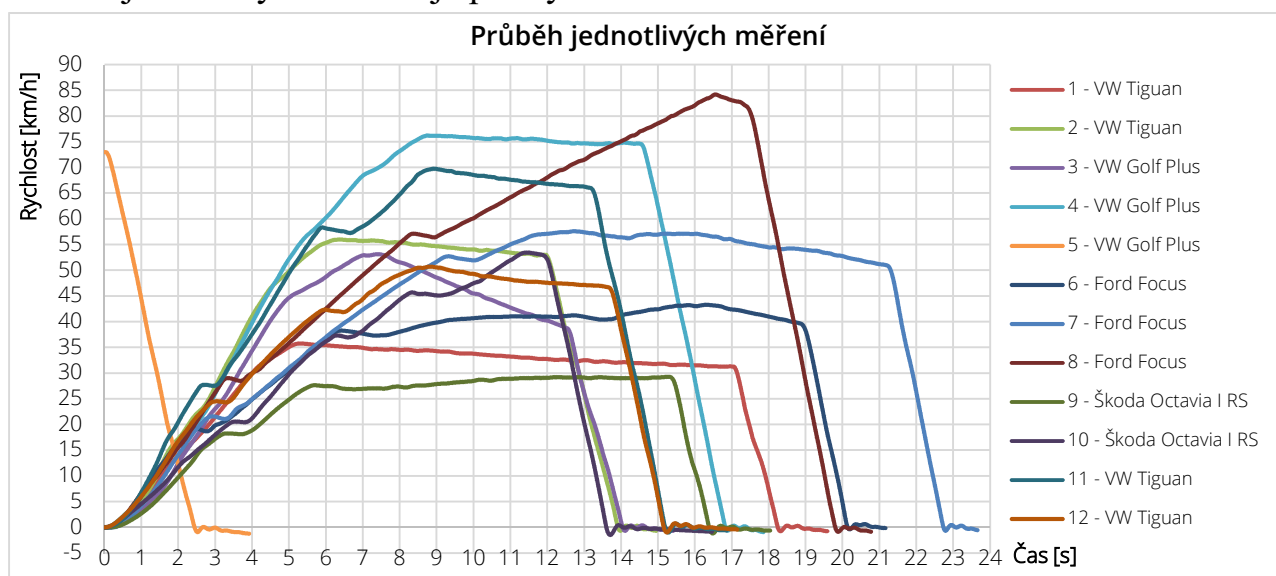
5.2 Vozidla, pneumatiky a povrchy použité při měřeních

Pro měření realizovaná v rámci dizertační práce bylo použito celkem 13 vozidel vybavených systémem ABS. Jednalo se o vozidla jak továrně nová, tak již několik let používaná, což platilo i pro jejich pneumatiky. Podrobnější údaje o vozidlech, včetně jejich využití v rámci jednotlivých let testování, jsou uvedeny v následujících částech.

Jako testované povrchy byly zvoleny úseky silnic, úseky byly rovné s minimálními podélnými sklony, které byly při následném vyhodnocení dat kompenzovány.

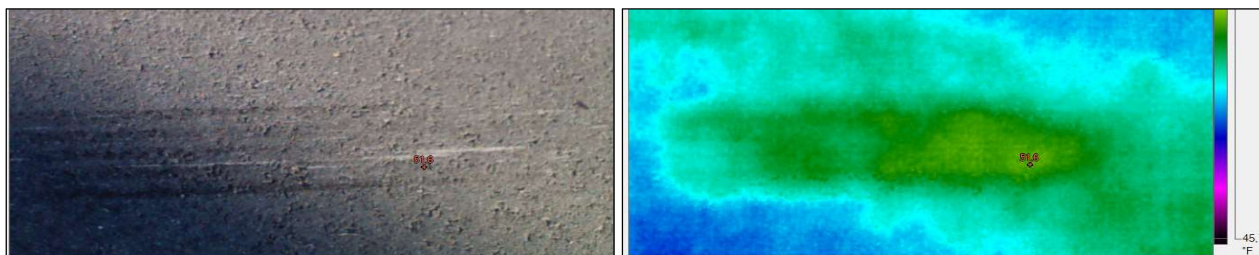
6 DETEKCE STOP S VYUŽITÍM TERMOKAMERY

Pro ověření možností využitelnosti termokamery pro detekci opticky nezřetelných stop byla realizována sada měření v roce 2014, pro měření byla použita vozidla VW Tiguan, VW Golf Plus, Ford Focus a Škoda Octavia I RS. Měření byla realizována na komunikacích v areálech VUT v Brně na ulicích Údolní a Technická. Výchozí rychlost na počátku plného brzdění vozidla byla v rozmezí 30 km/h až 83 km/h. Průběh jednotlivých měření je patrný z **obr. 7**.



Obr. 7: Průběh měření provedených v roce 2014³⁵

Bezprostředně po zastavení vozidla byla vozovka za vozidlem zadokumentována pomocí fotoaparátu a následně termokamery, snímání termokamerou pak bylo opakováno s cca 15 až 20 minutovým odstupem. Při použití reálného rozmezí emisivity asfaltového povrchu přímo na místě bylo zjištěno, že detekovatelné oteplení povrchu vozovky vlivem brzdění vozidla bylo po dobu maximálně několika sekund. Při zpracování dat s pomocí Fluke SmartView pak byla následně změněna jak emisivita, tak % přenosu signálu s jasným cílem zviditelnit brzdňou stopu, nikoliv teplotu dokumentovaného povrchu vozovky a brzdňé stopy, viz **obr. 8**.



Obr. 8: Zvýraznění vychladlé blokovací stopy vozidla³⁶

Detail viditelného konce brzdňé/blokovací stopy vozidla VW Tiguan cca 1 hodinu po jejím vzniku, tj. vychladlá na teplotu povrchu vozovky. V IR spektru má ale stopa

³⁵ archiv autora

³⁶ archiv autora

díky různé emisivitě „různou teplotu“, tzn. je možné ji zvýraznit (max. teplota 11 °C, reálná teplota povrchu 3 °C). Vyhodnocením získaných termografických snímků bylo zjištěno jak zvýraznění opticky nezřetelné stopy, viz **kap. 6.1**, tak znevýraznění opticky zřetelných stop, viz **kap. 6.2**, potvrzena byla také možnost detekce konečné polohy vozidla před jeho odstavením.

6.1 Zvýraznění opticky nevýrazných stop

Při měření č. 1 došlo k zajímavému zvýraznění stopy v IR spektru – brzdná stopa vozidla VW Tiguan se bez úprav emisivity jevila o 1 °C chladnější než její okolí (8 °C), viz **obr. 9**. Tato skutečnost byla způsobena odpařováním vody, jejíž kapky padaly na jinak suchou vozovku ze stromů, brzděním vozidla pak došlo k jejich rozprostření a následnému odpařování, tedy chladnutí povrchu. Tento jev byl pozorovatelný po dobu cca 20 minut.



Obr. 9: Měření č. 1 – VW Tiguan, výchozí rychlost 32 km/h, brzdná dráha 5,85 m³⁷

Při měření č. 11 byla s využitím změny emisivity povrchu velmi významným způsobem zvýrazněna část brzdné stopy pravého předního kola vozidla. Část stopy, která byla opticky nezřetelná, se tak jevila o několik stupňů teplejší než její okolí, viz **obr. 10**. Dokumentace pomocí termokamery byla provedena 3 min. po zastavení vozidla, tj. teplotního účinek brzdění na povrch vozovky by již neměl mít vliv.



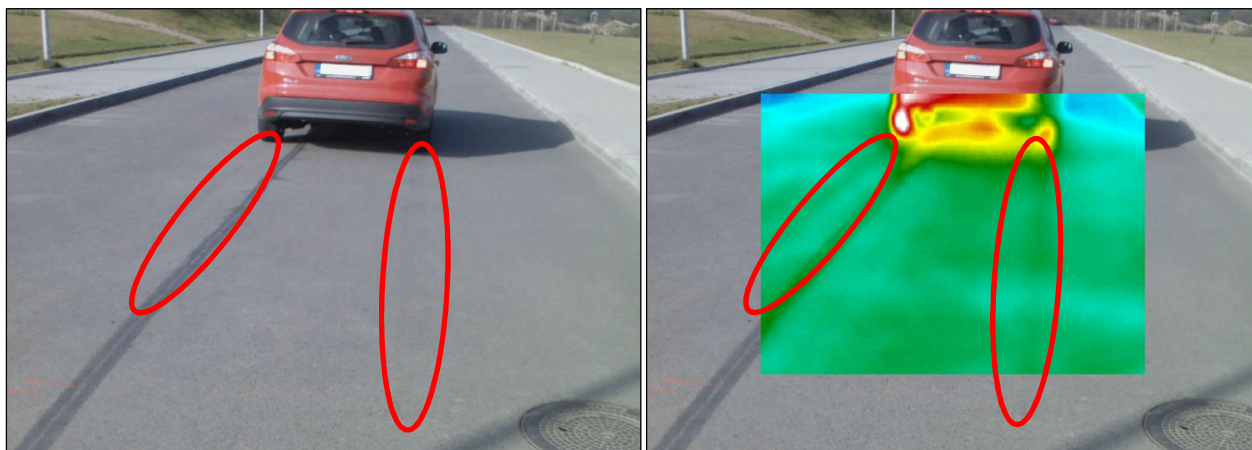
Obr. 10: Měření č. 11 – VW Tiguan, výchozí rychlost 67 km/h, brzdná dráha 20,4 m³⁸

Při měření č. 8 bylo dosaženo zvýraznění opticky slabě zřetelných brzdných stop vozidla Ford Focus. S využitím změny emisivity povrchu se brzdné stopy vozidla jevily o cca 1,7 °C teplejší než jejich okolí, viz **obr. 11**. Dokumentace brzdných

³⁷ archiv autora

³⁸ archiv autora

pomocí termokamery byla provedena 2 minuty po zastavení vozidla, tj. na základě provedených měření by oteplení vozovky vlivem brzdění již mělo být zanedbatelné.



Obr. 11: Měření č. 8 – Ford Focus, výchozí rychlost 83 km/h, brzdná dráha 29,5 m³⁹

6.2 Znevýraznění opticky zřetelných stop

Zvýraznění opticky slabě zřetelných stop či nezřetelných stop s využitím termokamery bylo dosaženo pomocí postprocesingu získaných dat pomocí změny emisivity. Shodný postup však může vést i ke zcela opačnému výsledku, tj. znevýraznění opticky dobře zřetelných stop, tento případ bylo možné pozorovat například při zpracování dat z měření č. 10.

Při měření č. 10 byly pomocí termokamery dokumentovány brzdné stopy vozidla Škoda Octavia I RS. Při zpracování dat byl proveden identický postup jako v případě měření č. 11 (viz **obr. 10**), kdy bylo dosaženo výrazného zvýraznění části opticky nezřetelné brzdné stopy. V případě měření č. 10 však došlo v IR spektru k znevýraznění opticky slabě viditelných brzdných stop vozidla, viz **obr. 12**.



Obr. 12: Měření č. 10 Octavia I RS, výchozí rychlost 55 km/h, brzdná dráha 15,1 m⁴⁰

Shodný postup byl aplikován také na detailní snímek levé brzdné stopy pod vozidlem Škoda Octavia I RS, která byla opticky poměrně dobře rozpoznatelná, v IR spektru však její obraz byl pouze velmi slabě odlišitelný od jejího okolí. viz **obr. 13**.

³⁹ archiv autora

⁴⁰ archiv autora



Obr. 13: Měření č. 10 Škoda Octavia I RS – detail konečné polohy⁴¹

6.3 Shrnutí dosažených výsledků

Pomocí série provedených měření byl potvrzen předpoklad využití termokamery za určitých podmínek (suchá vozovka, časový limit cca 30 minut po brzdění) pro zvýraznění či detekci opticky nezřetelných brzdných stop vozidel.

Tepelné ovlivnění povrchu vozovky bylo detekovatelné pouze po dobu několika sekund po brzdění vozidla, v praxi je tedy detekce tepelného ovlivnění povrchu vozovky termokamerou pro stanovení délky brzdné dráhy vozidla nevyužitelné.

Z hlediska detekovatelného teplotního ovlivnění povrchu vozovky je reálně využitelná možnost identifikace konečné polohy vozidla po jeho odstavení – toto bylo prokázáno při několika měřeních, kdy vozidlo stálo v konečné poloze alespoň 5 minut a následně bylo přemístěno. Tepelné otisky pneumatik předmětného vozidla bylo možné termokamerou identifikovat i po cca 30 minutách po přemístění vozidla.

Zvýraznění opticky nezřetelných brzdných stop vozidla s použitím termokamery je reálně proveditelné na základě různé emisivity povrchu vozovky a povrchu vozovky s brzdnou stopou. Při možnosti změny emisivity dokumentovaného objektu, a to jak přímo na místě, tak případně při následném zpracování dat, je možné i při jednotné teplotě odlišit oblasti s různou emisivitou, tj. brzdné stopy. Pro následné zpracovávání dat je vhodné použít termokamery s možností záznamu typu „picture in picture“ s duálním záznamem – fotoaparát + termokamera s možností oddělitelného zobrazení obou snímků s prolínáním. Touto metodou je možné při určité změně emisivity velmi výrazným způsobem zvýraznit brzdnou stopu.

Zásadním prvkem, který má vliv na kvalitu získaných dat pomocí termokamery, je správné zaostření dokumentovaného objektu či prostoru, v případě nesprávného zaostření není možné tento nedostatek odstranit ani s pomocí softwaru. Dražší a profesionální modely termokamer disponují funkcí automatického ostření, u levnějších a dostupnějších modelů je však ostření prováděno ručně a je závislé na subjektivních schopnostech uživatele, jedná se tedy o subjektivně ovlivnitelnou metodu. Výhodou této metody je její rychlost a časová nenáročnost, z pohledu

⁴¹ archiv autora

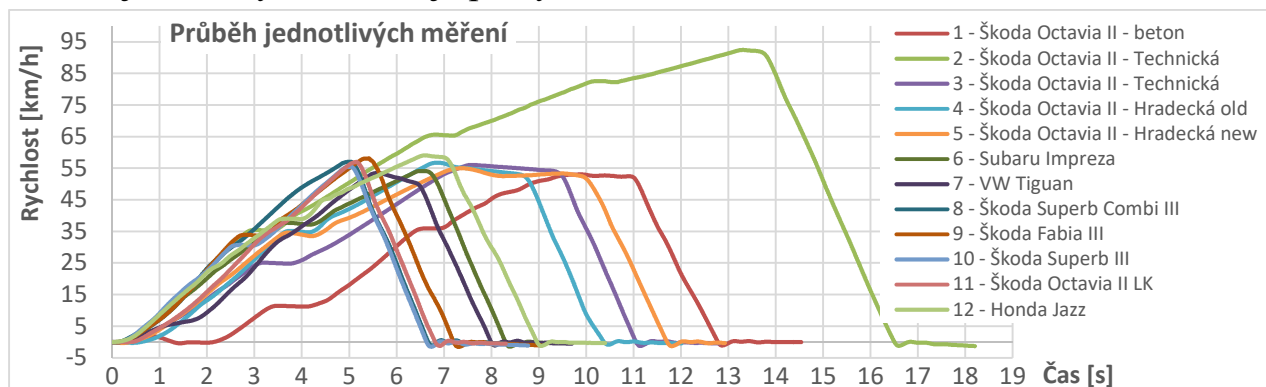
nákladů se jedná o investici v řádu několika stovek tisíc Kč za kvalitní profesionální termokameru včetně vyhodnocovacího software. Nevýhodou je pak snadná subjektivní ovlivnitelnost a nemožnost využití při všech atmosférických podmínkách, například při dešti a na mokřém povrchu.

7 DETEKCE STOP POMOCÍ rLIBS

Použitelnost zařízení rLIBS pro detekci brzdných stop na vozovce byla prokázána při experimentu provedeném s vozidlem VW Bora v roce 2014.⁴² Uvedený experiment byl proveden za „ideálních“ podmínek pro vznik otěrů pneumatiky a stop – zkušební povrch byl málo používaný, na vozidle byly zimní pneumatiky, teplota vzduchu byla 32 °C a teplota vozovky 48 °C.

Pro potvrzení obecného předpokladu využití bylo zapotřebí provést další série měření s variabilitou jak vozidel a pneumatik, tak opotřebením povrchu vozovky a teploty. Další otázkou k řešení byla rychlost degradace brzdné stopy. Za tímto účelem byly provedeny série jízdních zkoušek v letech 2014 až 2016, po kterých byly provedeny modifikace jak přístroje rLIBS, tak samotného způsobu sběru dat. Kvalitativně nejlepších výsledků bylo dosaženo při sérii testů v roce 2016, které budou popsány v následujících kapitolách.

Měření byla realizována na komunikacích v areálu VUT v Brně na ulici Technická s živičným a betonovým povrchem a na ulici Hradecká s opotřebeným a novým povrchem. Vliv degradace stopy byl zkoumán pro 2 modelové situace – působením pouze atmosférických vlivů, působením atmosférických a dalších vlivů (pohyb osob přes stopy, přejíždění stop vozidlem atd.) Pro testování byla zvolena následující vozidla: VW Tiguan, Škoda Octavia II, Subaru Impreza, Škoda Superb Combi III, Škoda Fabia III, Škoda Superb III, Škoda Octavia LK II a Honda Jazz. Výchozí rychlost na počátku plného brzdění vozidla byla v rozmezí 52 km/h až 93 km/h. Průběh jednotlivých měření je parný z **obr. 14**.



Obr. 14: Průběh měření provedených v roce 2016⁴³

⁴² PROCHAZKA, D.; BILÍK, M.; PROCHAZKOVÁ, P.; BRADA, M.; KLUS, J.; POŘÍZKA, P.; NOVOTNÝ, J.; NOVOTNÝ, K.; TICOVÁ, B.; BRADÁČ, A.; SEMELA, M.; KAISER, J. Detection of visually unrecognizable braking tracks using Laser-Induced Breakdown Spectroscopy, a feasibility study. Spectrochimica Acta Part B

⁴³ archiv autora

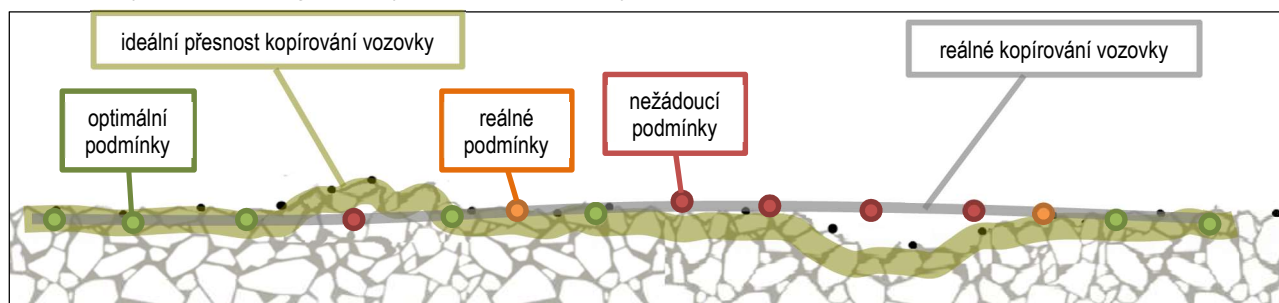
Metodika sběru dat

Bezprostředně po zastavení vozidla byla vozovka za vozidlem zadokumentována pomocí fotoaparátu a případně termokamery, následně byla brzdná trajektorie vozidla zvýrazněna pomocí křídý nebo provázku a vozidlo bylo odstaveno. Dokumentace pomocí přístroje rLIBS byla provedena tak, že přístroj byl ručně konstantní rychlostí naváděn po trajektorii brzdné stopy od jejího označeného konce směrem k počátku a dále do míst, kde již brzdění vozidla neprobíhalo.

Snahou bylo přístroj navádět tak, aby byla data sbírána z míst kontaktu dezénu pneumatiky s vozovkou. Jedno měření, tj. jeden chemický rozbor vozovky, pokrylo plochu přibližně 3 mm^2 , rozestup jednotlivých měření byl přibližně 1 cm v podélném směru brzdné trajektorie vozidla. Pro interpretaci výsledků v grafech pak bylo vždy minimálně 10 měření sdruženo a zprůměrováno v jeden bod.

Časový odstup jednotlivých měření byl následující: I. do 30 minut po vzniku brzdné stopy až IV. 120 minut po vzniku brzdné stopy, což je maximální obvyklá doba pro provedení prací integrovaného záchranného systému a dokumentaci místa dopravní nehody.

Zásadním parametrem ovlivňujícím možnost sběru dat pomocí přístroje rLIBS používaného při měřeních bylo správné zaostření sběrné optiky na povrch vozovky. Při měřeních toto bylo realizováno ručně před počátkem měření a v průběhu měření již s nastavením nebylo manipulováno. V případě dostatečně rovné vozovky bylo dosaženo dobrých výsledků – hloubka ostrosti se pohybovala v přijatelném pásmu, viz **obr. 15**. V případě výrazně nerovné vozovky, tj. odchylky od optimální hloubky ostrosti byly natolik výrazné, viz **obr. 15**, že došlo ke ztrátě dat, resp. zisku natolik zkreslených dat, že je nebylo možné analyzovat.



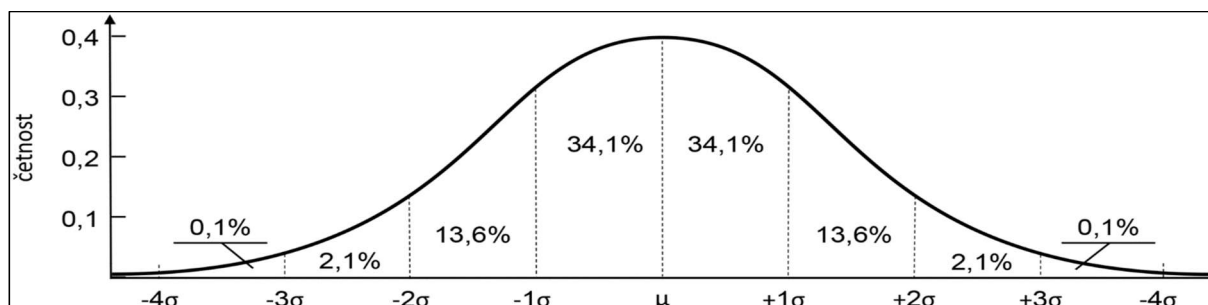
Obr. 15: Vizualizace rozmístění měřicích bodů vzhledem k povrchu vozovky⁴⁴

Stanovení limitů detekce stopy

Aby bylo možné rozhodnout, zdali se v předmětném bodě nacházela brzdná stopa či nikoliv, bylo nutné stanovit detekční limit, při jehož překročení je možné s dostatečně vysokou pravděpodobností konstatovat, že se v daném místě stopa pneumatiky nachází. Pro tento účel bylo využito definice Mezinárodní unie pro čistou a užitou chemii, kdy limit detekce je definován jako koncentrace c_L odvozená od nejmenšího naměřeného signálu χ_L , který může být pro danou analytickou metodu

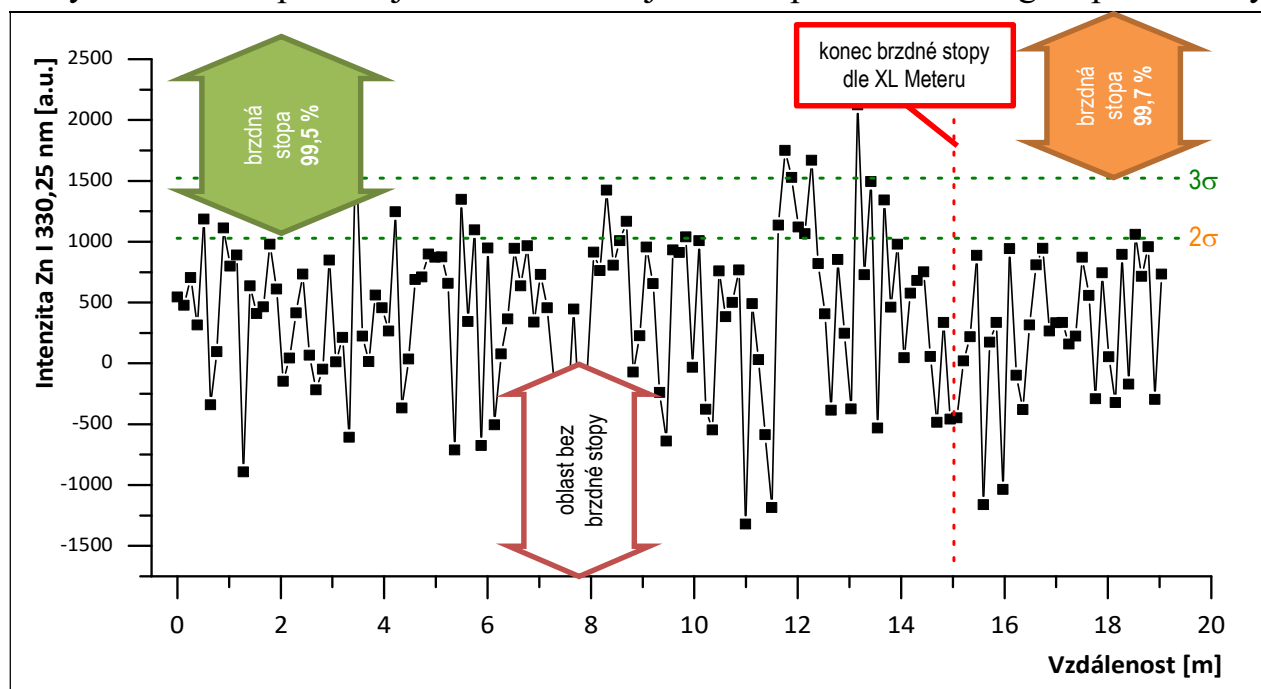
⁴⁴ archiv autora

detekován s požadovanou jistotou, dle normálního rozdělení, viz **obr. 16**. Vztah mezi signálem a koncentrací je dán směrnicí kalibrační přímky, rovnice pro limit detekce tedy může být vyjádřena jako $LOD = k \cdot \left(\frac{s_B}{\bar{X}_B}\right) \cdot \left(\frac{\bar{X}_B}{b}\right)$, kde b je směrnice lineární části kalibrační křivky. Člen v první závorce popisuje relativní směrodatnou odchylku a člen v druhé závorce popisuje koncentraci odpovídající úrovni signálu pozadí.



Obr. 16: Hustota normálního rozdělení se střední hodnotou μ a směrodatnou odchylkou σ ⁴⁵

Pro hodnotou $k = 2$, tj. 2x směrodatná odchylka, je zahrnuto 95,5 % naměřených bodů blanku, pro hodnotou $k = 3$ je zahrnuto 99,7 % všech naměřených bodů blanku. Body s intenzitou přesahující tuto hodnotu je možné považovat za signál pneumatiky.



Obr. 17: Ukázka naměřených hodnot brzdě stopy na asfaltovém povrchu⁴⁶

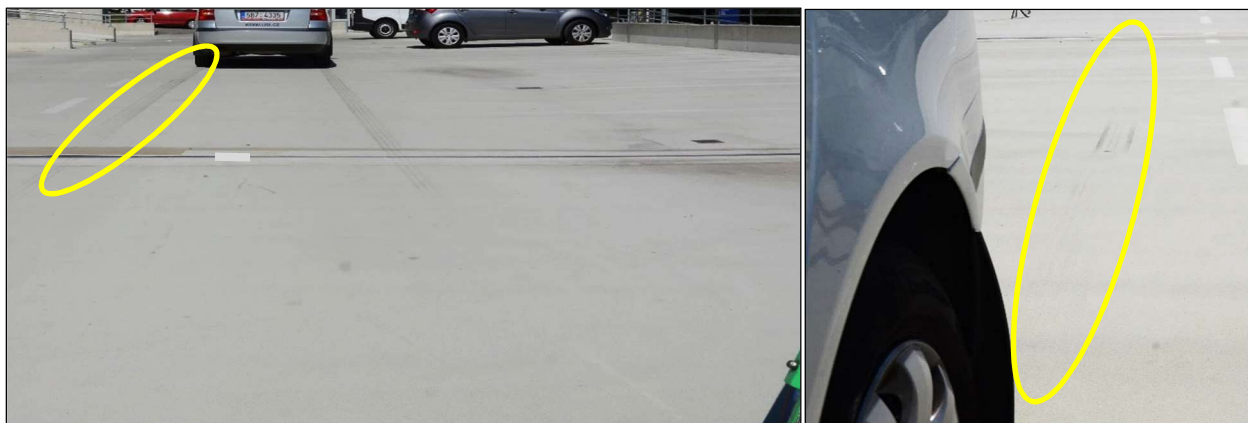
Měření, při kterých byla brzdě dráha identifikována pomocí přístroje rLIBS byla prováděna v průběhu let 2014 až 2016, měřicí aparatura i samotná metodika byla v průběhu měření upravována a inovována s cílem optimalizace rychlosti sběru a přeseděvším kvality získaných dat. V následujících kapitolách budou uvedena data z experimentů provedených v roce 2015.

⁴⁵ https://www.wikiskripta.eu/w/Soubor:Normalni_rozdeleni.png

⁴⁶ archiv autora

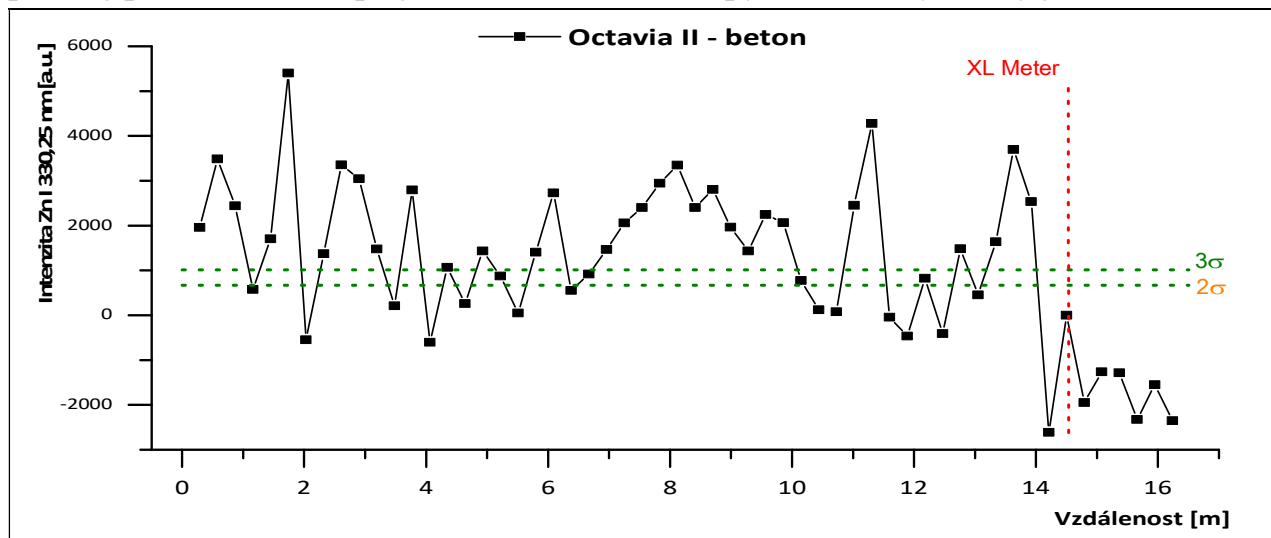
7.1 Detekce stop na betonovém povrchu

Z pohledu vizuální detekce a identifikace brzdných stop pneumatik na betonovém povrchu jde o triviální úlohu, protože stopy pneumatik jsou obecně výrazně tmavší než betonový povrch a je možné je snadno identifikovat vizuálně. Pro identifikaci stopy na takovém druhu povrchu je obecně zapotřebí pozorovat ji ve směru jejího vzniku, kdy by tato stopa měla být vůči svému okolí co nejkontrastnější, viz **obr. 18** vlevo. Pokud je stopa fotograficky zadokumentována z pohledu proti směru jejího vzniku, pak je optický zisk výrazně nižší, viz **obr. 18** vpravo.



Obr. 18: Měření č. 1 – Škoda Octavia II, výchozí rychlost 54 km/h, brzdná dráha 14,51 m; vlevo – pohled ve směru brzdění; vpravo – pohled proti směru brzdění⁴⁷

Z pohledu mechanického vzniku stopy, je způsob shodný s ostatními povrchy – při brzdění dochází k otěru drobných částic pneumatiky, které následně ulpívají na povrchu vozovky. Při detekci těchto stop s využitím přístroje rLIBS tak bylo možné přístroj přesně navádět po jedné z čar brzdné stopy, získané výsledky jsou na **obr. 19**.



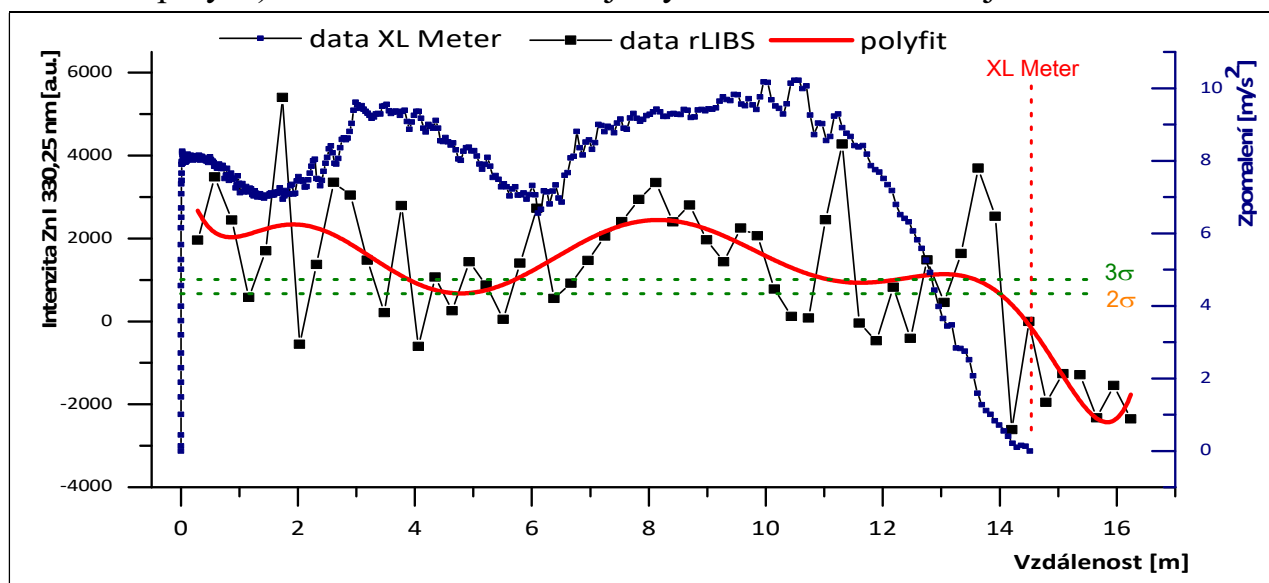
Obr. 19: Detekce brzdné stopy na betonovém povrchu s využitím přístroje rLIBS⁴⁸

⁴⁷ archiv autora

⁴⁸ archiv autora

Z grafu je zřejmé, že bylo dosaženo velmi dobrých výsledků. Cílem tohoto experimentu bylo navodit situaci dostatečného množství měřených bodů na brzdné stopě, tj. pokrytí brzdné stopy sítí měřených bodů. Díky přesnějšímu navádění přístroje bylo dosaženo jak vyšších absolutních intenzit Z_n , tak vyššího poměru bodů nad detekčním limitem 3σ v porovnání s ostatními měřeními.

Pro lepší vizualizaci a podobnost s výstupy z přístroje XL Meter byla data získaná pomocí přístroje rLIBS proležena polynomem (na obrázcích označeno jako křivka s názvem polyfit). Porovnání těchto dat je vyobrazeno na následujícím **obr. 20**.



Obr. 20: Měření č. 1 – porovnání dat z měřicích přístrojů rLIBS a XL Meter⁴⁹

Z porovnání získaných dat je patrné, že průběh intenzity Zn v závislosti na dráze měřené pomocí přístroje rLIBS přibližně odpovídá průběhu zpomalení vozidla na dráze měřené pomocí přístroje XL Meter. Vzhledem k limitům vývojové varianty přístroje rLIBS, lze předpokládat, že při rovnoměrnějším rozptýlení měřených bodů po dráze brzdné stopy by bylo dosaženo ještě lepší shody průběhu obou křivek.

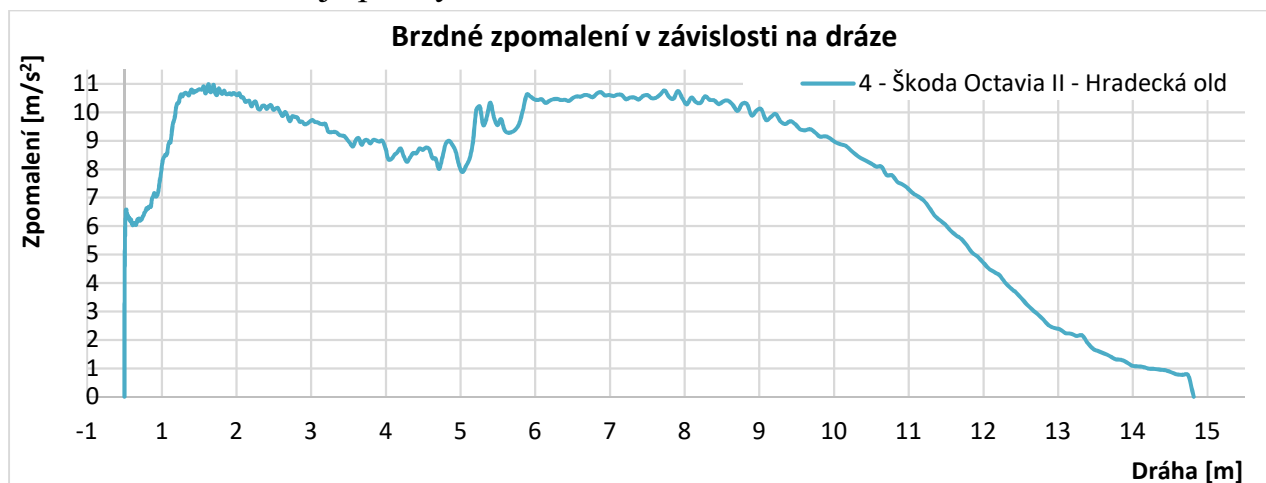
7.2 Detekce stop na frekventovaném povrchu

Pilotní měření na frekventovaném povrchu byla provedena v roce 2015. Při měřeních se plně projevila náchylnost metody na přesné „zaostření“ a „kopírování reliéfu povrchové vrstvy“. Zisk upotřebitelných a využitelných dat byl minimální, přesto výsledkem měření byla hardwarová úprava speciálního přípravku, díky které bylo možné realizovat měření v roce 2016 s výrazně lepším výsledkem.

Při měření č. 4 byla provedena na ulici Hradecká, na frekventovaném povrchu bezprostředně před jeho renovací (měření realizováno v odstavném pruhu, který byl minimálně 2 měsíce před měřením využíván pro provoz vozidel), brzdná zkouška s vozidlem Škoda Octavia II z výchozí rychlosti 54 km/h, průměrná hodnota podélného zpomalení vozidla dosáhla hodnoty $7,87 \text{ m/s}^2$, maximální naměřená

⁴⁹ archiv autora

hodnota podélného zpomalení vozidla byla $10,99 \text{ m/s}^2$. Průběh dosaženého zpomalení v závislosti na dráze je patrný z **obr. 21**.



Obr. 21: Průběh dosaženého brzdného zpomalení při měření č. 4 na starém povrchu ⁵⁰

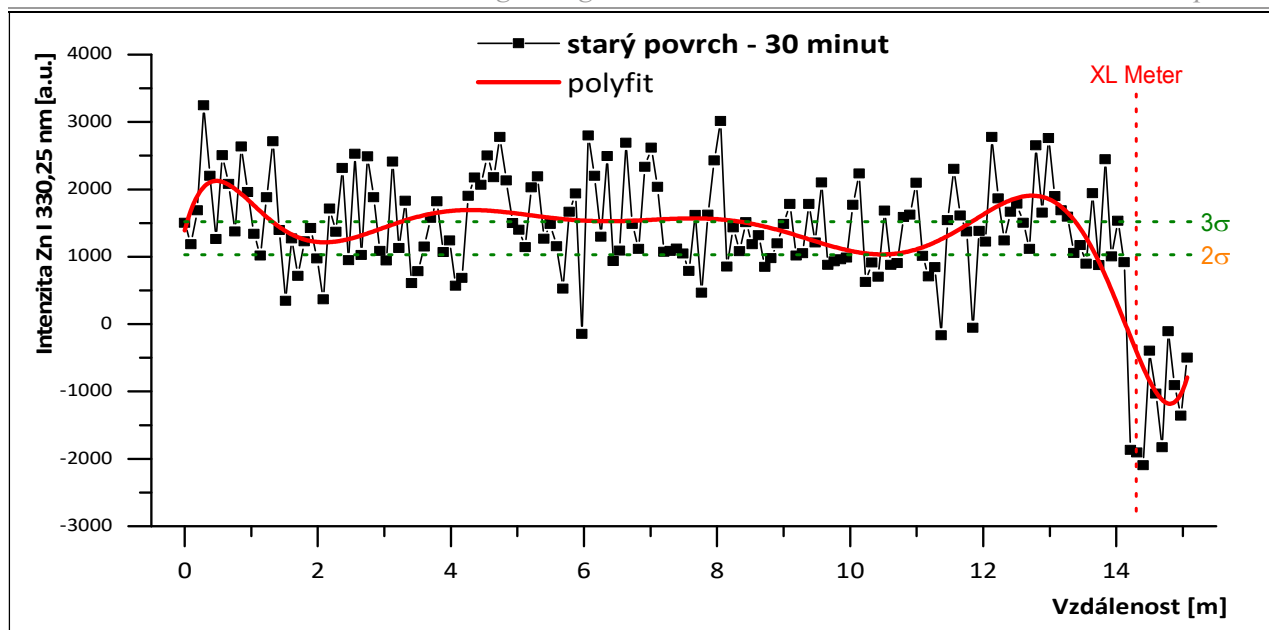
Brzdné stopy předních kol vozidla Škoda Octavia po měření č. 4 byly vizuálně slabě zřetelné především při pohledu ve směru jejich vytvoření a současně malém úhlu pozorování, viz **obr. 22**.



Obr. 22: Fotograficky zadokumentované brzdné stopy po měření č. 4; vlevo – pohled po směru jejich vzniku; vpravo – pohled proti směru jejich vzniku

Při pohledu ve směru vytvořených stop při malém úhlu pozorování se v pravé stopě vyskytovala zřetelnější část, na **obr. 22** vyznačena červenou barvou. Při pohledu proti směru vzniku stop byla vizuální rozpoznatelnost stop výrazně horší. Bezprostředně po fotodokumentaci byla provedena dokumentace stopy pravého předního kola pomocí přístroje rLIBS. Získaná data, včetně detekčních limitů jsou uvedena na následujícím obrázku. Začátek dokumentace stopy pomocí rLIBS byl cca 25 minut po jejím vzniku, časová náročnost dokumentace stopy – 5 minut.

⁵⁰ archiv autora



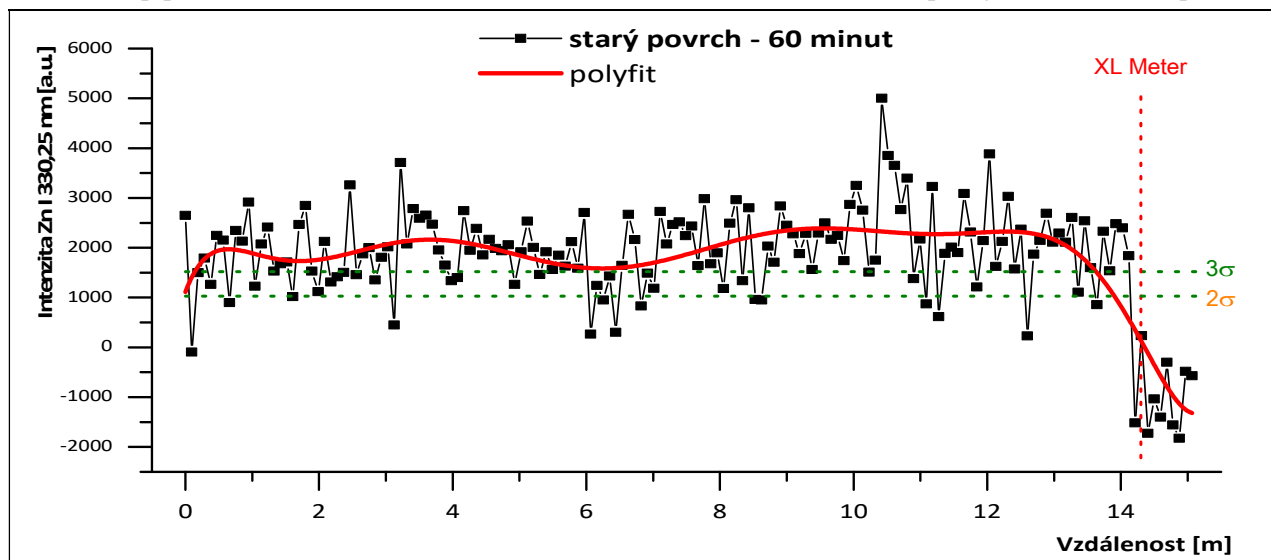
Obr. 23: Dokumentace brzdné stopy pravého předního kola vozidla Škoda Octavia II při měření č. 4⁵¹

Z rozložení bodů na předchozím obrázku v porovnání s předchozími měřeními je patrné, že bylo dosaženo velmi dobrých výsledků – vysoké procento bodů se nachází nad detekčními limity po celé délce brzdné stopy. Po konci brzdné stopy následuje výrazný pokles hodnot – stop, tj. jasně rozpoznatelný konec brzdné stopy. V porovnání s detekcí na betonovém povrchu neodpovídá křivka proložená hodnotami křivce průběhu zaznamenaného zpomalení.

7.2.1 Degradace stopy – pozvolná

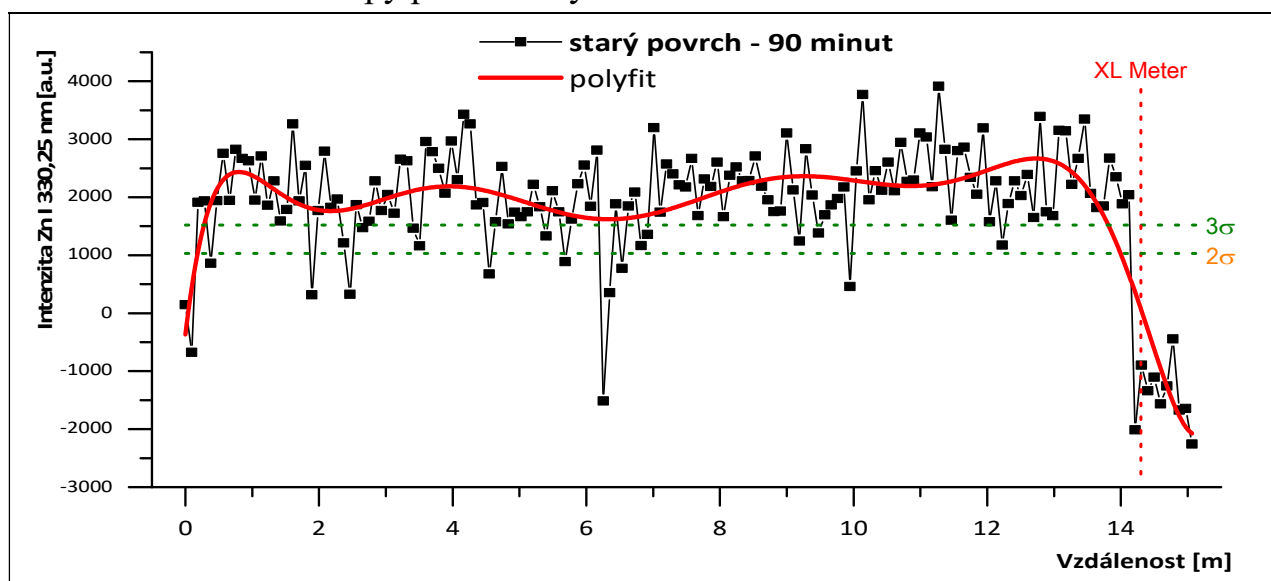
Zkoumání vlivu pozvolné degradace brzdné stopy na výsledky její dokumentace pomocí rLIBS bylo realizováno pomocí sady měření s časovým odstupem 30 minut. Rozdílnost naměřených dat při jednotlivých časově odstupňovaných dokumentacích brzdné stopy pravého předního kola vozidla Škoda Octavia II po měření č. 4 je patrná z **obr. 24** až **obr. 27**.

⁵¹ archiv autora



Obr. 24: Dokumentace brzdné stopy vozidla Škoda Octavia II při měření č. 4, 60 minut po jejím vzniku ⁵²

Porovnáním absolutního počtu bodů v bezprostřední blízkosti a nad detekčním limitem 3σ s množstvím zaznamenaným po 30 minutách je zřejmý poměrně významný nárůst. Tento nárůst lze vysvětlit jak přesnějším naváděním měřicího přístroje rLIBS po trajektorii brzdné stopy, tak minimální pozvolnou degradací stopy. Výskyt bodů nad detekčními limity a výrazný pokles hodnot umožňuje jednoznačně odlišit oblast brzdné stopy pneumatiky.

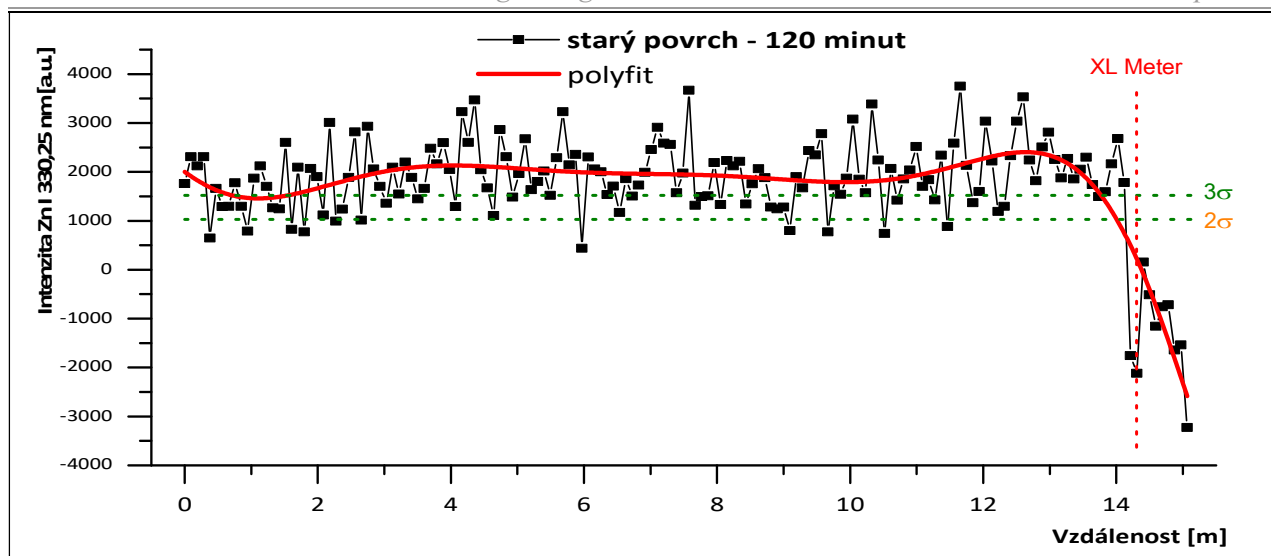


Obr. 25: Dokumentace brzdné stopy vozidla Škoda Octavia II při měření č. 4, 90 minut po jejím vzniku ⁵³

Porovnáním naměřených hodnot s předešlým **obr. 24** je zřejmý minimální pokles jak absolutních naměřených hodnot, tak četnosti výskytu bodů nad detekčním limitem 3σ . Identifikace brzdné stopy je i v tomto případě jednoznačná.

⁵² archiv autora

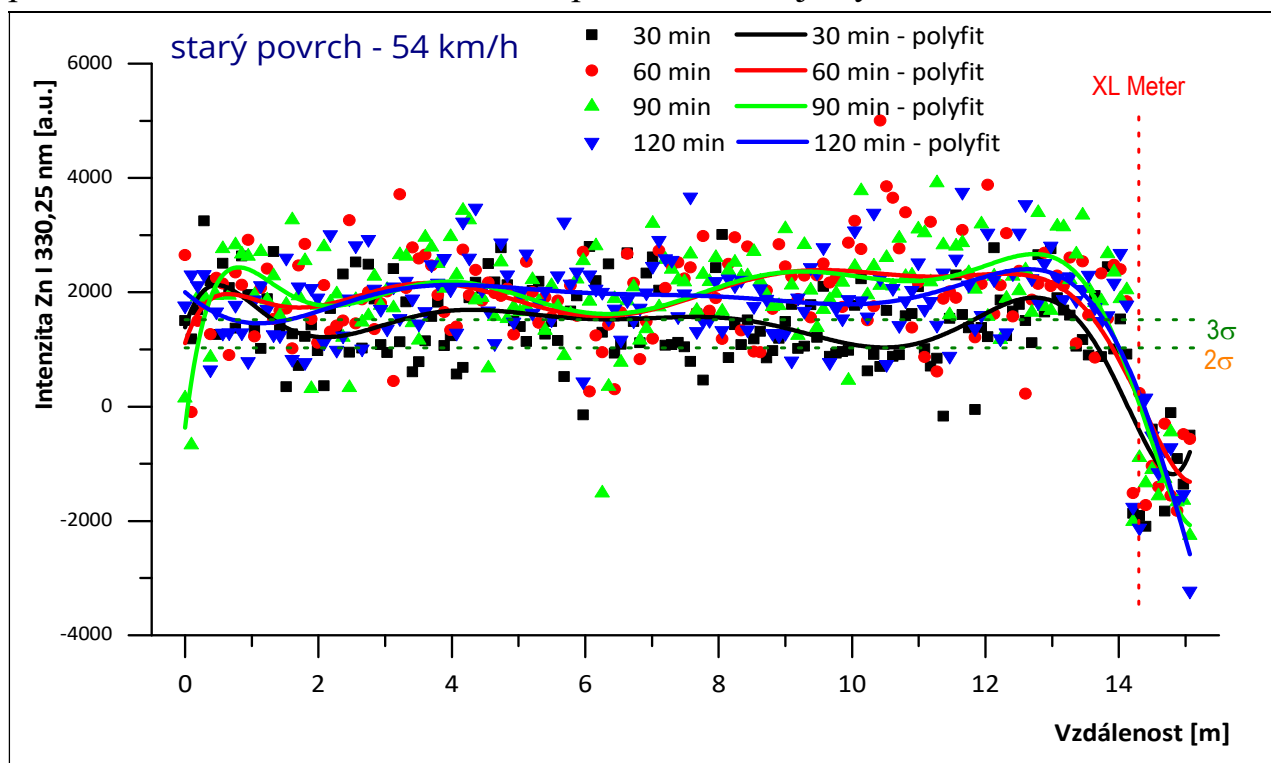
⁵³ archiv autora



Obr. 26: Dokumentace brzdné stopy vozidla Škoda Octavia II při měření č. 4, 120 minut po jejím vzniku⁵⁴

Porovnáním naměřených hodnot s předešlým **obr. 25** je zřejmý pokles absolutních naměřených hodnot, lze tedy konstatovat, že došlo k částečné degradaci stopy. Jednoznačná identifikace stopy je i přes proběhlou degradaci možná.

Porovnání naměřených dat všech provedených měření brzdné stopy pravého předního kola vozidla Škoda Octavia při měření č. 4 je vyobrazeno na **obr. 27**.

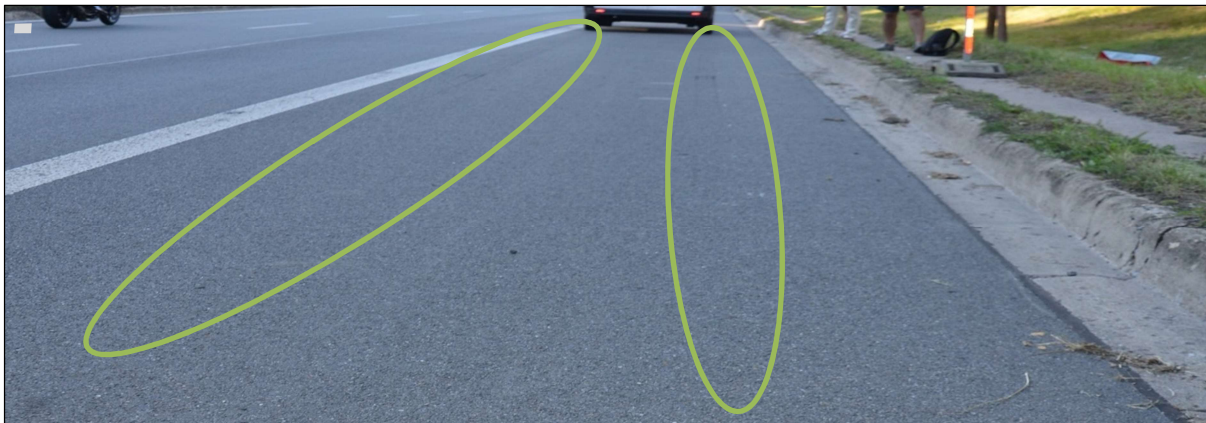


Obr. 27: Dokumentace brzdné vozidla Škoda Octavia II 30, 60, 90 a 120 minut po jejím vzniku⁵⁵

⁵⁴ archiv autora

⁵⁵ archiv autora

Množství naměřených bodů nad detekčním limitem 3σ i po 120 minutách od vytvoření brzdné stopy, odpovídá velmi mírné degradaci stopy z pohledu detekce pomocí rLIBS. V porovnání s možností fotografické dokumentace, viz **obr. 28**, kdy po 120 minutách nebyla brzdná stopa prakticky dokumentovatelná, by bylo využití přístroje rLIBS jednoznačně lepší variantou dokumentace stopy.



Obr. 28: Fotograficky zadokumentovaná oblast brzdné stopy po měření č. 4 po 120 minutách ⁵⁶

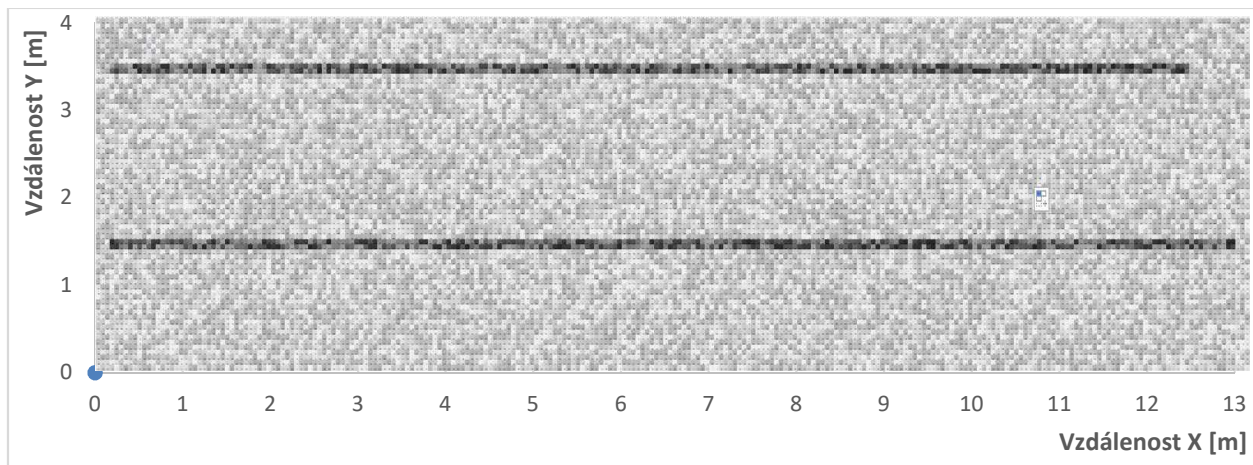
7.3 Shrnutí dosažených výsledků a očekávaný další vývoj

Pomocí provedených měření byl potvrzen a rozvinut potenciál využití detekce částic pneumatiky, tedy brzdné stopy, na povrchu vozovky pomocí metody LIBS. Pro reálné využití na místech dopravních nehod je však zapotřebí provést několik modifikací, především v oblasti hardwaru měřicího zařízení.

Užitá vývojová varianta přístroje rLIBS byla naváděna ručně s cílem co nejpřesněji kopírovat trajektorii brzdné stopy – tato skutečnost z pohledu detekce znamená několik negativních vlivů. Z hlediska dokumentované plochy se jedná o rozložení bodů na čáře/křivce, která nemusí kopírovat či protínat detekovanou brzdnou stopu – tento nedostatek je však možné kompenzovat rozšířením „záběru“ měřicího zařízení tak, aby detekovaná oblast svým tvarem neodpovídala čáře, ale spíše pruhu či pásu jednotlivých bodů. Dalším problémem je nehomogenní rozložení měřicích bodů, což je zásadní pro možnost vykreslení jakýchkoliv závislostí vzhledem k dráze – tento nedostatek lze vyřešit několika způsoby, například zajištěním konstantní rychlosti pohybu měřicího přístroje či doplněním o generátor signálů pro spuštění měření (rotační snímač apod.). Dalším nedostatkem je nedostatečná možnost „kopírování“ zkoumaného povrchu snímací aparaturou, čímž je ovlivněno správné zaostření detekční optiky na měřený povrch a tím může být způsobena ztráta či ovlivnění dat – toto je z technického hlediska řešitelné přidáním kompenzačního a kopírovacího členu do konstrukce zařízení, tak aby byl zkoumaný povrch kopírován s dostatečnou přesností. Zavedení výše popsanych úprav tak umožní vytvoření sítě měřicích bodů.

⁵⁶ archiv autora

Vyhodnocením informace zdali, případně kolikanásobně, byl v jednotlivých bodech překročen detekční limit (například barevnou škálou, čím vyšší překročení, tím tmavší barva), lze získat „mapu“ místa dopravní nehody, viz **obr. 29**.



Obr. 29: Vizualizace možného výstupu měření – chemická mapa místa dopravní nehody s barevným odlišením naměřené koncentrace Zn v jednotlivých bodech měření⁵⁷

Takto vytvořené výstupy pak odpovídají v současné době používaným plánkům místa dopravních nehod, které vytváří policie, a v nich zakresleným brzdným stopám jednotlivých vozidel.

Při provedených měřeních bylo kvalitativně nejlepších výsledků dosaženo na betonovém povrchu z důvodu možnosti minimalizovat výše uvedené negativní vlivy – povrch dostatečně rovný a stopa zřetelná. Získané výstupy v tomto případě jsou kvalitativně nejbližší zamýšlenému cílovému stavu. Lze předpokládat, že reálné procento jednotlivých bodů, které překročily detekční limity, bylo vyšší. V grafech vyobrazené body byly vytvořeny jako aritmetický průměr 10 po sobě jdoucích měření.

Metoda detekce brzdných stop pneumatik/jejich částic není závislá na světelných podmínkách na rozdíl od fotodokumentace. Z podstaty věci je však metoda nepoužitelná za deště, tak jako ostatní metody, kvůli odplavení částic pneumatik.

Při dostatečně vysoké rychlosti záznamu dat (předpoklad je několik desítek Hz) v kombinaci s dalšími modifikacemi přístroje by se mělo jednat o poměrně rychlou metodu, například při rychlosti záznamu 100 Hz a síti bodů 1,5 x 1,5 cm je časová náročnost pro zadokumentování prostoru 1 m² přibližně 45 sekund. Pro plochu 15 m jízdního pruhu šíře 3,5 m (oblast brzdné dráhy z rychlosti cca 50 km/h) je doba nutná pro zadokumentování přibližně 40 minut bez ohledu na tvar komunikace či jiné vlivy, které v současnosti příslušníkům policie ztěžují dokumentaci.

Z hlediska finančních nákladů lze předpokládat, že cena zařízení, které bude schopno v autonomním režimu dokumentovat pracovníkem zadanou oblast místa dopravní nehody se bude pohybovat v řádu milionů Kč, což je cenová hladina odpovídající profesionálním termokamerám, případně 3D skenerům.

⁵⁷ archiv autora

8 ZÁVĚR

V rámci této dizertační práce byly popsány možnosti identifikace relevantních stop pneumatik na místě dopravní nehody na základě jejich fyzikálních vlastností s využitím moderních metod a zařízení, tj. poznatků na nejvyšší známé úrovni poznání. Detekce nezřetelných stop na místě dopravní nehody je velmi aktuální otázkou, protože stávající metody dokumentace stop na místě dopravní nehody využívané policií neodpovídají vývoji asistenčních systémů vozidel ani dokumentační techniky. Pro soudně inženýrskou analýzu dopravních nehod je však nutné mít co možná nejpřesnější vstupní hodnoty.

Cílem této dizertační práce bylo nalezení metody detekce opticky nezřetelných stop pneumatik na vozovce, která bude co nejméně ovlivnitelná dokumentující osobou a zároveň bude dostatečně rychlá. Za tímto účelem byly stanoveny dílčí cíle v podobě prověření potenciálu využitelnosti termokamery a LIBS.

8.1 Využitelnost termokamer pro detekci nezřetelných stop

Pomocí série provedených měření bylo potvrzeno využití termokamery za omezených atmosférických a časových podmínek – suchá vozovka, časový limit v řádu desítek minut od vzniku stopy. Při splnění těchto podmínek je možné dosáhnout pro zvýraznění či detekci opticky nezřetelných brzdných stop vozidel.

Tepelné ovlivnění povrchu vozovky bylo možné detekovat pouze po dobu několika sekund po brzdění vozidla. V praxi tento způsob pro identifikaci a stanovení délky brzdné dráhy vozidla není využitelný. Z hlediska detekovatelného teplotního ovlivnění povrchu vozovky je reálně využitelná možnost identifikace konečné polohy vozidla po jeho odstavení za podmínky, že vozidlo stálo v konečné poloze alespoň *5 minut* a následně bylo přemístěno; za stejných předpokladů bylo možné identifikovat i tepelné otisky pneumatik předmětného vozidla i po cca *30 minutách* po přemístění vozidla. Zvýraznění opticky nezřetelných brzdných stop vozidla s použitím termokamery je reálně proveditelné na základě různé emisivity povrchu vozovky a povrchu vozovky s brzdnou stopou. Při možnosti změny emisivity dokumentovaného objektu, a to jak přímo na místě, tak případně při následném zpracování dat, je možné i při jednotné teplotě odlišit oblasti s různou emisivitou.

Zásadním prvkem, který má vliv na kvalitu získaných dat pomocí termokamery, je správné zaostření dokumentovaného objektu či prostoru, z toho plyne snadná subjektivní ovlivnitelnost. Využití termokamery tak neodpovídá požadavkům stanoveným na detekční metodu.

8.2 Využitelnost LIBS pro detekci nezřetelných stop

V oblasti využitelnosti spektroskopie pro detekci nezřetelných stop tato práce navazuje na práci Ing. Davida Procházky, Ph.D. V rámci již publikovaných výsledků měření, ve dvou impaktovaných článcích, byl popsán potenciál a základní možnost detekovat částice pneumatiky na vozovce – tato tvrzení byla v rámci této dizertační

práce podložena sérií měření s větší variabilitou povrchů, vozidel, pneumatik i výchozích rychlostí.

Na základě výsledků lze konstatovat, že užitá metodika sběru dat pomocí přístroje je silně subjektivně ovlivnitelná – rozložení a rozmístění bodů, správné zaostření atd., toto bylo způsobeno dosažením technických a technologických limitů zařízení rLIBS v dané vývojové variantě. Jednotlivé vlivy byly identifikovány a z technického hlediska je možné je eliminovat či zcela odstranit dalšími modifikacemi a dovybavením zařízení. K datu odevzdání této práce bylo za účelem těchto modifikací podáno několik grantových žádostí, které byly vždy recenzenty kladně hodnoceny a v případě výzvy MPO TRIO také finančně podpořeny.

Z provedených měření bylo nejlepších výsledků dosaženo na betonovém povrchu, tendence křivky proložené naměřenými daty prakticky kopíruje křivku průběhu zpomalení v závislosti na dráze. Pro stanovení možného přepočtového koeficientu mezi naměřenou intenzitou Z_n a zpomalením je však nutné provést další série měření.

Vliv degradace stopy, jak pozvolné, tak zvýšené na získaná data, byl v rámci možností zkoumán pomocí časově odstupňovaných měření až do doby *120 minut* po vzniku stopy. Na základě vyhodnocení a porovnání lze konstatovat, že vliv degradace na možnost dokumentace a následné identifikace brzdné stopy je minimální.

Využití LIBS není závislé na světelných podmínkách, na rozdíl od v současné době používané fotodokumentace. Shodně jako v případě termokamery a dalších metod, také LIBS není využitelná při dešti či mokré vozovce.

Lze konstatovat že, při odstranění popsanych technicky řešitelných nedostatků, je možné metodu použití LIBS pro detekci opticky nezřetelných stop pneumatik považovat za metodu minimálně ovlivnitelnou dokumentující osobou a současně dostatečně rychlou – tedy zcela odpovídající požadavkům stanoveným v cílech této práce.

9 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- BRADA, M.: Polohovací jednotka pro laserovou spektroskopii. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 74 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Daniel Koutný, Ph.D.
- BRADÁČ, A.: Soudní inženýrství. Brno: CERM, 1999. ISBN 80-720-4133-9
- BURG, H., MOSER, A.: Handbuch Verkehrsunfallrekonstruktion: Unfallaufnahme, Fahrdynamik, Simulation. 2., aktualisierte Aufl. Wiesbaden: Vieweg+Teubner, 2009. s.34
- ČERMÍN, S. a kol.: Kriminalistika dopravní nehody. Praha: SPN, 1968
- DIVIŠ, P.; SOLNÝ, T.; PTÁČEK, P.; ADAMEC, V.; BILÍK, M.; BRADÁČ, A.; SCHÜLLEROVÁ, B. Analysis of tire composition for further detection of tire marks on the road. Czech Chemical Society Symposium Series, 2015, roč. 13, č. 2, s. 137-138. ISSN: 2336- 7210
- DOLEŽEL, J., NOVÁK Č., VOLF Z.: Kriminalistické minimum, 1. vyd., Praha : Ministerstvo vnitra ČR, 1998 - 31 s
- DVOŘÁČEK, T. Metodika ohledání dopravní nehody policií. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, 2013. 83 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Bc. Marek Semela, Ph.D.
- SARKISSIAN, G., KEEGAN, J., DU PASQUIER, E., DEPRIESTER, J.-P., ROUSSELOT, P.: The Analysis of; Tires and Tire Traces using FTIR and Py-GC/MS, Canadian Society of Forensic Science Journal, (2004) 37:1, 19-37, DOI: 10.1080/00085030.2004.10757566
- GUEISSAZ, L., MASSONNET, G.: Chemical Analysis of TireTraces in Traffic Accidents Investigation. J Forensic Sci Med 2015;1:99-108
- GUEISSAZ, L., MASSONNET, G.: Tire traces - discrimination and classification of pyrolysis-GC/MS profiles. Forensic science international [online]. 2013, vol. 230, no. 1-3, pp. 46–57
- CHMELÍK J. a kol.: Dopravní nehody. Plzeň: Nakladatelství Aleš Čeněk, s.r.o., 2009. 540 s., ISBN 978-80-7380-211-0
- CHMELÍK J.: Vyšetřování silničních dopravních nehod str. 52
- JANÍČEK, P.: Systémová metodologie: Brána do řešení problémů. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2014, 1 sv. ISBN 978-80-7204-887-8. str. 123 A
- JANÍČEK, P., MAREK, J.: Expertní inženýrství v systémovém pojetí. Praha: Grada, 2013. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-4127-7, str. 75
- KEJÍKOVÁ, B.: Vliv hloubky dezénové drážky na dosažitelné zpomalení vozidla. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, 2016. 60 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Albert Bradáč, Ph.D.
- Kolektiv autorů: Gumárenská technologie, učební texty Barum Continental spol. s r. o., 2008

- KONEČNÝ, J.: Šetření a dokumentace silničních dopravních nehod, 1. vyd. Vyšší policejní škola MV v Brně, 2011, 141 s. MV-50082-1/VO-2011
- KOS, J.: 2010: Historie ABS [online]. [cit. 2016-12-20].
www.automotospecial.cz/technika/bosch/historie-abs-2010
- KRAUS P.: Generační vývoj systému ABS a jeho vliv na indikaci brzdné stopy na vozovce, ExFOS 2015
- LACHOWICZ, T., ZIEBA-PALUS, J., KOŚCIELNIAK, P.,: Chromatographic Analysis of Tire Rubber Samples as the Basis of Their Differentiation and Classification for Forensic Purposes. Analytical Letters [online]. Taylor, 2013, 46(15), 2332-2344 [cit. 2017-02-03]. DOI: 10.1080/00032719.2013.800536. ISSN 0003-2719
- LACHOWICZ, T., ZIEBA-PALUS, J., KOŚCIELNIAK, P.,: Pyrolysis Gas Chromatography - Mass Spectrometry for the Characterization of Tire Marks for Forensic Analysis. Analytical Letters [online]. Taylor, 2014 [cit. 2017-02-03]. DOI: 10.1080/00032719.2013.865200. ISSN 0003-2719
- MALÁČ J.: Gumárenská technologie – 2. Kaučuky
<http://www.home.karneval.cz/0323339201/text/kaucuky.pdf>
- manuál PC crash 10.1
- MUSIL, J., KONRÁD, Z., SUCHÁNEK, J.: Kriminalistika. 2., Praha: C. H. Beck, 2004, s. 494
- Nariadenie č. 25/2010 prezidenta Policajného zboru Slovenskej republiky o postupe pri vyhotovovaní, spracovávaní a uchovávaní digitálnych obrazových záznamov na účely trestného konania. Čl. 17
- NOVOTNÝ, J.: Dálkově řízená laserová spektroskopie (LIBS). Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 97 s. Vedoucí doc. Ing. Jozef Kaiser, Ph.D.
- Policie ČR: Informace o nehodovosti na pozemních komunikacích v ČR v roce 2017, <http://www.policie.cz/clanek/statistika-nehodovosti-900835.aspx?q=Y2hudW09Mg%3d%3d> [cit. 11.01.2018]
- PETRILAK, M.: Řídicí systém pro dálkovou laserovou spektroskopii. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky, 2013. 73 s. Vedoucí práce byl Ing. Michal Kubíček, Ph.D
- PORADA, V.: Silniční dopravní nehoda v teorii a praxi. Praha: Linde, 2000, 378 s. ISBN 80-720-1212-6
- PROCHAZKA, D.: Detekce brzdných stop pomocí spektrometrie laserem indukovaného plazmatu (LIBS) a spektrometrie laserem indukované fluorescence (LIBS + LIFS). Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 87 s. Vedoucí dizertační práce prof. Ing. Jozef Kaiser, Ph.D

- PROCHAZKA, D., BILÍK, M., a kol.: Detection of Visually Unrecognizable Braking Tracks Using Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS). Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy
- PROCHAZKA, D.; BILÍK, M.; PROCHAZKOVÁ, P.; BRADA, M.; KLUS, J.; POŘÍZKA, P.; NOVOTNÝ, J.; NOVOTNÝ, K.; TICOVÁ, B.; BRADÁČ, A.; SEMELA, M.; KAISER, J. Detection of visually unrecognizable braking tracks using Laser-Induced Breakdown Spectroscopy, a feasibility study. Spectrochimica Acta Part B, 2016, č. 118, s. 90-97. ISSN: 0584-8547
- RÁBEK, V.: Optické metody detekce nezřetelných stop na vozovce při znalecké analýze silničních nehod. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, 2003. Vedoucí dizertační práce prof. Ing. Albert Bradáč, Dr.Sc.
- RAPANT, P.: Družicové polohové systémy. VŠB-TU Ostrava, 2002. 200 str. ISBN 80-248-0124-8. [online]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/10052548-Druzicove-polohove-systemy.html> [cit. 2018-05-05]
- Rentgenové spektrometry ED-XRF <https://www.bas.cz/rentgenove-spektrometry/xrf-rentgenove-spektrometry.php>
- ŘÍHA, J.: Moderní přístrojová technika. [online] Praha 2014 [cit. 13.12.2015] Dostupné z: <http://spszem.cz/>
- SAJDL, J.: ABS (Anti-lock Braking System). Autolexicon.net [online]. [cit. 2016-12-20].
- SAJDL, J.: Konstrukce pneumatiky. Autolexicon.net [online]. [cit. 2017-11-28]
- STÁŇA, I.; TOKAŘ, S.; BUCSUHÁZY, K.; BILÍK, M.: Comparison of Utilization of Conventional and Advanced Methods for Traffic Accidents Scene Documentation in the Czech Republic. Procedia Engineering, 2017, roč. 187, č. C, s. 471-476. ISSN: 1877-7058
- STÁŇA, I.; TOKAŘ, S.; BUCSUHÁZY, K.; BILÍK, M.: Comparison of Utilization of Conventional and Advanced Methods for Traffic Accidents Scene Documentation in the Czech Republic. Procedia Engineering, 2017, roč. 187, č. C, s. 471-476. ISSN: 1877-7058
- ŠACHL, J.: Zvláštnosti stop na místech dopravních nehod. Soudní inženýrství č.6, 2002
- TOKAŘ, S., STÁŇA, I., BILÍK, M.: Comparison possibilities of Mesurment of Traffic Accident Place. In: Proceedings of Expert Forensic Science Brno 2016, 146-158
- VAŠÍČEK, E.: Gumárenské směsi <http://slideplayer.cz/slide/3762754/>
- VLK, F.: Automobilová elektronika 1: asistenční a informační systémy. 1. vyd. Brno: Prof. Ing. František Vlk, DrSc, 2006. ISBN 80-239-6462-3
- VLK, F.: Dynamika motorových vozidel str. 121
- VLK, F.: Elektronické systémy motorových vozidel. 1. vyd. Brno: František Vlk, 2002, vii, 299-592 s. ISBN 80-238-7282

VLK, F.: Podvozky motorových vozidel. 2. vyd. Brno: František Vlk, 2003. ISBN 80-239-0026-9

www stránky společnosti Robert Bosch, Gmbh, [Online],

www.aeryon.com/aeryon-skyranger

www.creaform3d.com/en/metrology-solutions/handheld-portable-3d-scanner-goscan-3d

www.dji.com

www.faro.com/en-gb/products/construction-bim-cim/faro-focus/

www.fluke.com/fluke/czcs/termokamera/Fluke-Ti400.htm

www.fotoradce.cz/recenze-canon-eos-450d

www.geoserver.cz/gnss-gps-gis-software/geodeticke-gnss

www.merici-pristroje.cz/faro-focus3d-x130-laser-scanner/

www.racelogic.com

www.youtube.com/watch?v=d2CmxqcMQcE

www.wikiskripta.eu/w/Soubor:Normalni_rozdeleni.png

Závazný pokyn policejního prezidenta č. 100/2001 ke kriminalistickotechnické činnosti Policie ČR, Čl. 33

Archiv ÚSI VUT v BRNĚ

Archiv autora

10 CURRICULUM VITAE

Vzdělání a akademická kvalifikace

2011-dosud, student PhD., Ústav soudního inženýrství VUT v Brně, obor Soudní inženýrství

2009-2011, Ing., Fakulta strojního inženýrství VUT v Brně, obor Výrobní stroje, systémy a roboty

2009-2011, Ing., Ústav soudního inženýrství VUT v Brně, obor Expertní inženýrství v dopravě

2006-2009, Bc., Fakulta strojního inženýrství VUT v Brně, obor Strojní inženýrství

2006-2009, Bc., Právnická fakulta Masarykovy univerzity, obor Právo a mezinárodní obchod

Tvůrčí a publikační činnost

Práce na projektech:

- **2018** – člen řešitelského týmu za ÚSI VUT v Brně v projektech TAČR, MPO Trio, MOST (ESF, ERDF), ROSTU na VUT (OP VVV).
- **2017** - příprava projektů TAČR Zéta, TAČR Éta, MPO Trio;
- **2016** - příprava projektů MOST (ESF, ERDF), Cyber HUB;
- **2015** - specifický výzkum (hlavní řešitel): Využitelnost metody LIBS v rámci detekce brzdných stop pneumatik na různých druzích povrchu;
- specifický výzkum (spoluřešitel): Databáze chemického složení pneumatik vozidel v ČR;
- TAČR - aktivní účast na nočních měřeních dohlednosti na chodce jako figurant a dále zpracovávání naměřených dat;
- práce na projektu pro ŘSD o vyprošťování nákladních vozidel na dálnicích a silnicích I. třídy;
- **2014** - specifický výzkum (hlavní řešitel): Moderní metody zaznamenávání stop na vozovce;
- práce na projektu pro ŘSD o vyprošťování nákladních vozidel na dálnicích a silnicích I. třídy;
- TAČR - aktivní účast na nočních měřeních dohlednosti na chodce jako vedoucí posádky a figurant a dále zpracovávání naměřených dat;
- **2013** - spolupráce na projektu specifického výzkumu zaměřeného na zjištění vlastností reflexních prvků.
- práce na projektu statistiky nehodovosti pro VW.

Výuka:

- Výuka cvičení v předmětu Diagnostika a zkoušení vozidel (ECZV) na ÚSI od 2016;
- výuka cvičení v předmětu Elektrotechnika a elektronika (6EE, CEL) na FSI v letech 2011 až 2015;

- výuka ve znaleckých kurzech – Diagnostika vozidel a technologie opravárenství, Dynamika vozidel, Technická analýza silničních nehod;
- vedení seminárních a závěrečných prací;
- vedení a oponování bakalářských prací;
- vedení a oponování diplomových prací.

Další činnost:

- Zpracovatel 29 ks znaleckých posudků a doplňků ÚSI VUT v Brně;
- realizace a účast na znaleckých experimentech (požár vozidla, poškození přední části vozidla nacouváním, brzdění vozidla na šterku, atd.).
- od roku 2015 příprava a organizace akce CRASHDAY;
- od roku 2015 návrh a vývoj zařízení ÚSI cRIO pro sběr dat při jízdách manévrech a crashtestech vozidel;
- kompletní vývoj, konstrukční návrh a výroba zařízení a přípravků pro roztažení vozidel při crashtestech;
- spolupráce na vývoji zařízení pro dálkové ovládání a brzdění vozidel při crashtestech;
- příprava parametrů výběrových řízení pro nákup snímačů a měřicí techniky.

Publikace:

- BILÍK, M.; SEMELA, M.; BRADÁČ, A.; BELÁK, M.; KŘIŽÁK, M.; MAXERA, P.; MIKULEC, R.; BUCSUHÁZY, K.; DVOŘÁKOVÁ, P.; OBRÁTILOVÁ, A.; STÁNA, I. CRASHDAY 2017. In Expert Forensic Science 2018. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, Purkyňova 464/118, 612 00 Brno, 2018. s. 42-71. ISBN: 978-80-214-5600-6.
- BILÍK, M.; SEMELA, M.; BRADÁČ, A.; KLEDUS, R. Noční nehoda trolejbusu a chodce. Soudní inženýrství, 2017, roč. 2017, č. 2, s. 116-129. ISSN: 1211-443X.
- BILÍK, M.; TOKAŘ, S. et al. Parametry zderzenia - wyniki z testów zderzeniowych najnowszych modeli samochodu Škoda. Paragraf na drodze, 2017, roč. 19, č. numer specjalny, s. 7-21. ISSN: 1505-3520.
- BILÍK, M.; SEMELA, M.; BRADÁČ, A.; BELÁK, M.; KŘIŽÁK, M.; MIKULEC, R.; BUCSUHÁZY, K.; STÁNA, I.; TOKAŘ, S.; VÉMOLA, A. CRASHDAY 2016 - NÁRAZOVÉ ZKOUŠKY VOZIDEL. Soudní inženýrství, 2017, roč. 2017, č. 1, s. 23-43. ISSN: 1211-443X.
- STÁNA, I.; TOKAŘ, S.; BUCSUHÁZY, K.; BILÍK, M. Comparison of Utilization of Conventional and Advanced Methods for Traffic Accidents Scene Documentation in the Czech Republic. Procedia Engineering, 2017, vol. 187, no. C, p. 471-476. ISSN: 1877-7058.

- BILÍK, M.; SEMELA, M.; BRADÁČ, A.; KLEDUS, R.; BELÁK, M.; MAXERA, P.; STÁŇA, I.; BUCSUHÁZY, K.; VÉMOLA, A. Noční nehoda trolejbusu a chodce. Žilina: Žilinská univerzita v Žilině, 2017.
- BILÍK, M.; SEMELA, M.; BRADÁČ, A.; BELÁK, M.; KŘIŽÁK, M.; MAXERA, P.; MIKULEC, R.; BUCSUHÁZY, K.; DVOŘÁKOVÁ, P.; OBRÁTILOVÁ, A.; STÁŇA, I. CRASHDAY 2016 - prezentace výsledků. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, Purkyňova 464/118, 612 00 Brno, 2017.
- TOKAŘ, S.; SEMELA, M.; BILÍK, M.; BRADÁČ, A. COMPARISON OF SELECTED IMPACT PARAMETERS BY SIDE VEHICLE CRASH TESTS WITH COMPUTATIONAL SOFTWARE RESULTS. In International Conference on Traffic and Transport Engineering ICTTE. Belgrade, SERBIA: SCIENTIFIC RESEARCH CENTER LTD BELGRADE, 2016. p. 634-641. ISBN: 978-86-916153-3-8.
- STÁŇA, I.; TOKAŘ, S.; BILÍK, M. MOŽNOSTI ZAMĚŘENÍ MÍSTA DOPRAVNÍ NEHODY S VYUŽITÍM ORTOFOTOSNÍMKŮ. In Sborník anotací. Brno: Ústave soudního inženýrství Vysokého učení technického v Brně, 2016. s. 80-88. ISBN: 978-80-214-5336-4.
- PROCHAZKA, D.; BILÍK, M.; PROCHAZKOVÁ, P.; BRADA, M.; KLUS, J.; POŘÍZKA, P.; NOVOTNÝ, J.; NOVOTNÝ, K.; TICOVÁ, B.; BRADÁČ, A.; SEMELA, M.; KAISER, J. Detection of visually unrecognizable braking tracks using Laser-Induced Breakdown Spectroscopy, a feasibility study. Spectrochimica Acta Part B, 2016, no. 118, p. 90-97. ISSN: 0584-8547.
- TOKAŘ, S.; STÁŇA, I.; BILÍK, M. POROVNÁNÍ MOŽNOSTÍ ZAMĚŘENÍ MÍSTA DOPRAVNÍ NEHODY. In Expert Forensic Science 2016. 1. Brno, Česká republika: Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, 2016. s. 156-168. ISBN: 978-80-214-5321-0.
- DIVIŠ, P.; SOLNÝ, T.; PTÁČEK, P.; ADAMEC, V.; BILÍK, M.; BRADÁČ, A.; SCHÜLLEROVÁ, B. Analysis of tire composition for further detection of tire marks on the road. Czech Chemical Society Symposium Series, 2015, vol. 13, no. 2, p. 137-138. ISSN: 2336-7210.
- BRADÁČ, A.; SEMELA, M.; BILÍK, M.; KLEDUS, R.; SUMEC, S.; ŠKODA, J. Comparison of Halogen and Xenon Headlamps in Terms of Pedestrians' Visibility. In Proceedings of the 21st International Conference LIGHT SVĚTLO 2015. first. Brno, Czech Republic: Brno University of Technology, 2015. p. 133-137. ISBN: 978-80-214-5244-2.
- PROCHAZKA, D.; KAISER, J.; BILÍK, M.; PROCHAZKOVÁ, P.; KLUS, J.; POŘÍZKA, P.; NOVOTNÝ, J.; NOVOTNÝ, K.; BRADÁČ, A.; SEMELA, M. Detection of tire tread particles using laser-induced breakdown spectroscopy. Spectrochimica Acta Part B, 2015, vol. 108, no. 1, p. 1-7. ISSN: 0584-8547.

- BILÍK, M.; BELÁK, M.; KUŘE, A. Moderní metody detekce nezřetelných stop pneumatik na vozovce. In JUFOS 2015. Brno: VUT v Brně, 2015. s. 25-30. ISBN: 978-80-214-5145-2.
- BILÍK, M. Maximální dosažitelné zpomalení osobních vozidel na různých površích. In JUNIORSTAV 2015. Brno: VUT, 2015. s. 368-387. ISBN: 978-80-214-5091-2.
- BILÍK, M.; BRADÁČ, A.; SEMELA, M.; VÉMOLA, A.; KREJČÍŘ, P. Analýza silniční nehody a rozsahu poškození - střet tří vozidel (4050 - doplněk). Brno: 2015. s. 1-17.
- ŠÍŠKA, A.; SEMELA, M.; ADAMEC, V.; SCHÜLLEROVÁ, B.; KREJČÍŘ, P.; VÉMOLA, A.; BILÍK, M. Analýza kolizního děje (vybrzdování) na rychlostní komunikaci R10 (4139). 2015. s. 1-46.
- BILÍK, M.; KUŘE, A. Rozbor tachografických kotoučků vozidla Volvo. In JUFOS 2014. Brno: VUT, 2014. s. 50-55. ISBN: 978-80-214-4935-0.
- BRADÁČ, A. a kol. Zajímavé výsledky VaV činnosti ÚSI v oblasti analýzy silničních nehod. In XXIII. mezinárodní vědecká konference soudního inženýrství sborník příspěvků. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2014. s. 113-120. ISBN: 978-80-214-4852-0.
- BRADÁČ, A.; SCHEJBAL, J.; KUŘE, A.; MOTL, J.; BELÁK, M.; BILÍK, M.; SEMELA, M.; ŠKODA, J.; SUMEC, S. Light Reflective Attributes Of Selected Materials. In Proceedings 22nd Annual Congress Firenze 2013. Florencie: EVU Italia, 2013. p. 203-210. ISBN: 978-88-903072-7-0.
- BILÍK, M.; KUŘE, A.; BELÁK, M. Rozdílné pohledy na statistiky nehodovosti v zemích EU. In Sborník příspěvků konference JUFOS 2013 na CD. Brno: 2013. s. 69-76. ISBN: 978-80-214-4704-2.
- SCHEJBAL, J.; KUŘE, A.; MOTL, J.; BELÁK, M.; BILÍK, M. Světelné vlastnosti reflexních prvků. In Sborník příspěvků konference JUFOS 2013 na CD. Brno: 2013. s. 1-9. ISBN: 978-80-214-4704-2.
- SCHEJBAL, J.; KUŘE, A.; MOTL, J.; ŠKODA, J.; BELÁK, M.; BRADÁČ, A.; BILÍK, M. Světelné vlastnosti vybraných reflexních prvků. In Sborník příspěvků konference EXFOS 2013 na CD. Brno: 2013. s. 210-221. ISBN: 978-80-214-4675-5.
- LIBERTÍN, J.; BELÁK, M.; BILÍK, M.; KUŘE, A. Statistika nehodovosti v letech 2001 až 2011 v Polsku, Maďarsku a na Slovensku. 2012. s. 1-76.
- KOLÍBAL, Z.; PAVLÍK, J.; PACAL, B.; DOLEŽAL, P.; ZAPLETAL, J.; BILÍK, M. Odborná expertíza havárie převodovky 2ZR500C. VUT v Brně, FSI: 2012. s. 1-98.
- BILÍK, M. Funkce elektronického stabilizačního systému při rychlostech blízkých mezní rychlosti při jízdě obloukem. In Sborník anotací příspěvků vč. CD s plným zněním příspěvků. BRNO: VUT, 2012. s. 1-7. ISBN: 978-80-214-4485-0.