
**AUTOMOBILOVÉ ČERNÉ SKŘÍNKY – PROBLEMATIKA ZÍSKÁVÁNÍ A
VYHODNOCENÍ DAT PRO ZNALECKOU ČINNOST**

**CAR BLACK BOXES /THE PROBLEM OF DATA ACQUISITION AND ANALYSIS
FOR USE IN FORENSIC SCIENCE/**

Alžběta Lenková⁴¹, Drahomír Schmidt⁴²

ABSTRAKT:

Na českém i světovém trhu roste množství záznamových zařízení, které se dají nazvat černými skřínkami pro nezávislou instalaci do osobních či nákladních automobilů. Kromě základní dynamiky sledují polohu automobilu pomocí systému GPS, případně poskytují uživateli obrazový záznam. Využití takovýchto zařízení, či lépe řečeno jejich výstupů, pro analýzu nehodového děje se přímo nabízí. Článek má za cíl představit obecnou problematiku vyhodnocování takto získaných dat, možné zdroje nepřesností a chyb zavlečených do měření. Cílem článku není hodnocení konkrétních jednotlivých zařízení, ale spíše dát podnět k odborné diskuzi nad požadavky kladenými na tyto nezávisle pracující systémy. Zároveň je provedeno srovnání s jednotkami EDR.

ABSTRACT:

The amount of recording devices for independent installation to cars and trucks is increasing. These devices can be called cars' black boxes. They measure the fundamental vehicle dynamics and record the actual GPS position of the car; alternatively they are able to record the video sequence. The usage of these devices for the vehicle accident analysis is undoubtedly advantageous. This article is aimed to the problematic of analysis of data acquired from these systems, definition of sources of uncertainties and errors. The aim of this article isn't in the certain evaluation of any system. The aim is to give an impulse for the expert discussion in the field of demands and requirements to these independent systems from the forensic expertise point of view. A comparison with the EDR units is outlined.

KLÍČOVÁ SLOVA:

černá skřínka, EDR jednotka, video jednotka, analýza dat, dopravní nehoda

KEYWORDS:

black box, EDR unit, video data unit, data analysis, traffic accident

1 ÚVOD

Záznamové jednotky, pracující na principu tzv. černých skříněk, se v poslední době dostávají i do osobních a nákladních automobilů. Jejich přínos pro analýzu dopravních nehod je nesporný a využití těchto dat se přímo nabízí. V rámci tohoto článku odhlédneme od právního pohledu na vlastnictví a možnost přístupu k takovýmto informacím v rámci šetření nehodového děje, a zaměříme se na možnost samotného zpracování takto získaných dat. Rádi

⁴¹⁾ Lenková, Alžběta, Ing. – Ústav soudního znaleství v dopravě, ČVUT v Praze, Fakulta dopravní, Horská 3, 12803 Praha 2, 224359003, xkvasova@fd.cvut.cz

⁴²⁾ Schmidt, Drahomír, Ing., Ph.D. – Ústav soudního znaleství v dopravě, ČVUT v Praze, Fakulta dopravní, Horská 3, 12803 Praha 2, 224359520, schmidt@fd.cvut.cz

bychom se zaměřili zejména na zpracování dat týkajících se jízdní dynamiky vozidla před střetem, případně během něj, ale také na vlivy, které je nutné při zpracování a zpětné rekonstrukci děje brát v úvahu. Článek má za cíl podnítit odbornou debatu nad požadavky kladenými na tato zařízení z pohledu analýzy nehodového děje.

2 INTERNÍ VS. EXTERNÍ ZAŘÍZENÍ

Záznamové jednotky, které se dají nazvat automobilovými „černými skříňkami“, lze v současnosti principiálně rozdělit do dvou kategorií. První kategorií jsou tzv. jednotky EDR (Event Data Recorder). Jedná se o jednotku, která je do automobilu umístěna výrobcem – zpravidla se jedná o řídicí jednotku airbagu (nebo samostatný modul v této jednotce), která je schopna zaznamenat informace o základních parametrech nehodového děje a případně uchovat v paměti několik vteřin před dějem samotným. První takovéto jednotky byly do vozidel instalovány od roku 1996. Ve Spojených státech amerických byla v roce 2012 uzákoněna povinnost [1] vybavit takovouto jednotkou všechny nové osobní automobily, které jdou do prodeje od září 2014 (resp. pro všechny automobily modelového roku 2015). Již v roce 2006 však NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration) standardizovala pravidla pro sběr a získávání dat z EDR jednotek. Tento požadavek se týká již vozidel modelového roku 2013 a pozdějších, které výrobce EDR jednotkou vybaví. Od jednotek je požadováno zaznamenávat 15 veličin ve specifikovaném formátu. Vyspělejší (modernější) jednotky musí zaznamenávat až 30 veličin. Výrobci musí veřejně sdílet informace o tom, jakým způsobem je možné data z jednotky získat. Mezi 15 základních veličin patří zejména: rychlost vozidla, změna rychlosti při kolizi, aktivace brzd, použití bezpečnostního pásu řidičem, aktivace airbagu řidiče a spolujezdce, počet kolizí, poměr sešlápnutí plynového pedálu ad. [2]. Výkonnější jednotky zaznamenávají dále zejména: boční a dopředné zrychlení, rychlost motoru, vstup řízení (natočení volantu), stav bezpečnostního pásu u spolujezdce (zapnut/vypnut), informace, zda byl aktivován elektronický stabilizační systém, systém ABS, aktivace bočních airbagů a pozice sedaček pro řidiče i spolujezdce. Dále může být uložena informace o hmotnosti řidiče a spolujezdce [2]. V současnosti (u dosavadních typů jednotek), se počet zaznamenávaných kanálů liší dle výrobce automobilů resp. jednotek. Stejně tak se liší i délka záznamu před a po kolizi – zpravidla se jedná o cca 5 s až 20 s před nárazem a cca 5 s po nárazu. Automobilky, které vybavovaly svá vozidla jednotkami EDR standardně i doposud, jsou např. automobilky koncernu General Motors, Ford, Chrysler, Toyota. [3]

V pevninské Evropě jednotky EDR nejsou standardně využívány pro vyšetřování dopravních nehod, automobilky/výrobci jednotek nemají povinnost uvádět klíč k hexadecimálním kódům platným pro výstupy z jednotek airbagu. Řídicí jednotky, které zaznamenávají pouze chybové kódy, přítomnost signálu k aktivaci airbagů a předepínačů pásů, nejsou považovány za EDR jednotky. [4]



Obr. 1 – Video záznamová jednotka – černá skříňka [5].

Fig. 1 – Video Data Event Recorder – black box [5].

Druhou kategorií jednotek, které lze nazývat černými skřínkami, jsou tzv. záznamové video-jednotky, které si řidič/majitel vozidla může dobrovolně instalovat do vozidla sám (např. jednotka na obr. 1). Tato záznamová zařízení zpravidla obsahují jednu či dvě kamery, GPS modul a snímač zrychlení ve 3 osách. Modul se umísťuje na čelní sklo, kde jedna kamera snímá situaci před vozidlem, druhá kamera je umístěna buď přímo v hlavním čelním modulu a je obrácena směrem do interiéru vozidla, nebo je umístěna v samostatném modulu a lze ji tedy umístit na zadní sklo automobilu. Některé druhy jednotek obsahují i integrovaný mikrofon a zaznamenávají tedy např. i hovor v kabině vozidla. Tento druh jednotek je schopen zaznamenat kromě zmíněného audia a videa i rychlost, zrychlení a polohu vozidla. Pořízení záznamu je iniciováno buď automaticky po překročení určitého prahu zrychlení naměřeného jednotkou (okamžikem nárazu), uživatelsky prostřednictvím nahrávacího tlačítka či zcela automaticky po zapnutí zapalování vozidla. To s sebou zpravidla přináší výhody v podobě délky záznamu.

3 VYUŽITÍ/ZPRACOVÁNÍ DAT

Každý typ zmíněných zařízení přináší své výhody. U jednotek EDR se jedná zejména o vyšší počet měřených parametrů a to i takových, které nelze externími jednotkami získat, přesně definované parametry snímání dat (jakými je např. přesně určená poloha zařízení vzhledem k vozidlu, rovnoběžnost os snímače s automobilem, ortogonalita os měření, kalibrace zařízení, synchronizace dat, vzorkování), nevýhodou může být relativně krátký časový úsek naměřených dat a skutečnost, že zpravidla není zaznamenáván aktuální čas/den pořízení záznamu. Dodatečně instalované jednotky oproti tomu přináší výhodu pořízení obrazového záznamu a záznam polohy GPS, nevýhodou může být omezená možnost exportu dat a tedy omezená možnost následného zpracování. Ne všechna zařízení podporují možnost zpracování dat v jiném, než výrobcem podporovaném software (ty jsou zpravidla orientovány uživatelsky a podporují pouze prohlížení). Jednotlivá zařízení a jejich konstrukce se od sebe liší dle konkrétního výrobce, nejsou tedy obecně známy charakteristiky snímačů zrychlení, jejich citlivost či poloha v jednotce.

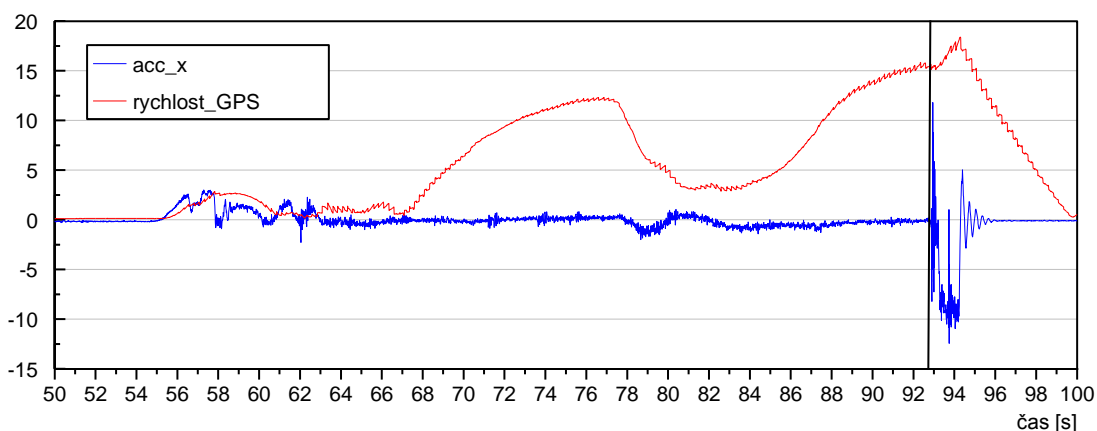
Jak již bylo řečeno v předcházejících odstavcích, výhody vyplývající z využití dat získaných prostřednictvím „černých skříněk“ pro analýzu nehodového děje jsou nesporné a není třeba jejich přínos komentovat. Analýzu děje samotného však může ovlivnit neznalost některých počátečních podmínek měření či chyby (šum), které s sebou každé měření přináší. Tím mohou být výsledné hodnoty nepříznivě ovlivněny. Pro ilustraci vezmeme dva případy veličin, které jsou pro analýzu nehodového děje klíčové – vliv nepřesností měření na zrychlení a rychlost.

3.1 Stanovení rychlosti

Rychlost je u samostatných záznamových jednotek (externích) získávána pomocí GPS měření. V současnosti GPS jednotky nejčastěji vypočítávají rychlost kombinací diferenciálního posunu jednotky v čase spolu s frekvenční změnou v nosné vlně signálu ze satelitů (Dopplerův jev) – nejčastěji za použití Kalmanovy filtrace. Rychlost je vyhlazená a nejedná se o okamžitou rychlost. Přesnost naměřené rychlosti je závislá na mnoha faktorech – odrazy, zastínění signálu např. ve vysoké městské zástavbě, nepříznivé rozložení satelitů apod., ale je možné dosáhnout přesnosti až 0,2 m/s pro jednu osu. [6] Typická dosažitelná přesnost pro automobilové aplikace je cca 0,5 – 1 km/h (2D měření). Další zkreslení rychlosti přichází v úvahu zejména při výpadcích signálu. Díky filozofii měření nemusí být vždy korektně zaznamenány náhlé změny rychlosti (např. intenzivní brzdění), či může být křivka

rychlosti v porovnání se zrychlením posunuta v čase. Toto závisí zejména na vzorkovací frekvenci jednotky (liší se dle výrobce, u komerčních jednotek v současnosti zpravidla 1 Hz, u specializovaných zařízení až 10 Hz).

Ke zkreslení rychlosti dochází také v případech, kdy nejsou uživatelem dodrženy požadavky, které jsou kladeny např. na instalaci zařízení. Příkladem jsou jednotky, které pro svojí správnou funkci a zvýšení přesnosti měření, využívají kombinaci GPS měření a tzv. inerciální jednotky, kterou tvoří zpravidla snímač zrychlení a úhlové rychlosti. Zjednodušeně řečeno, výstupy ze snímačů a GPS měření jsou filtrovány pomocí Kalmanovy filtrace a následně ukládány v již filtrované podobě – eliminují se tak nevýhody obou přístupů měření (pouze GPS či pouze inerciální jednotkou). Nesprávnou aplikací (např. není-li dodržena shodnost os snímače a automobilu – zejména rovnoběžnost podélné osy x) jsou však výsledné hodnoty značně zkresleny. Příklad je uveden na obr. 2. Jedná se o záznam z jízdní zkoušky, kdy po projetí krátkého zkušební okruhu došlo k nárazu a k následnému intenzivnímu brzdění. Záznamová jednotka byla pootočená o 90 stupňů mimo svou pracovní polohu. Ačkoli záznam zrychlení odpovídá skutečnému průběhu (jsou pouze prohozeny osy x a y), záznam o rychlosti vykazuje značnou chybu. Reálná nárazová rychlost byla 30,2 km/h, naměřená rychlost z GPS 54,5 km/h (v grafu pro větší přehlednost uvedeno v jednotkách m/s). Okamžik nárazu vyznačen svislou čarou. Záznam samotný na první pohled nevykazuje chybná data. Nutno podotknout, že standardní záznamová zařízení typu černých skříněk (video zařízení) v současné době těchto algoritmů nevyužívají, rychlost je získávána pouze na principu GPS a tudíž by výpočet rychlosti neměl být ovlivněn umístěním/polohou zařízení na čelním skle. Zmíněného principu výpočtu je využíváno především u speciálních měřicích zařízení.

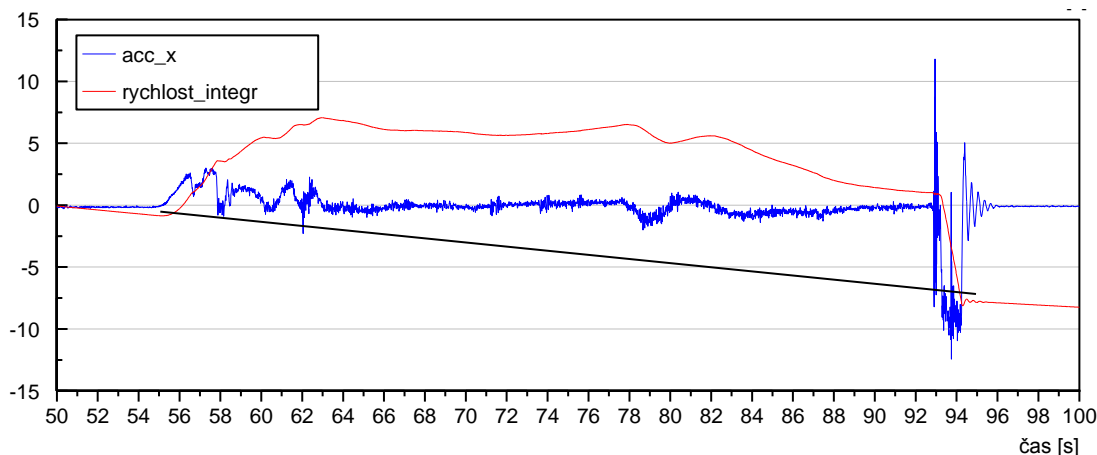


**Obr. 2 – Průběh zrychlení a rychlosti z GPS, v GPS se projevuje chyba měření/instalace.
Fig. 2 – Acceleration and GPS velocity measurement – car speed with the measurement error due to the wrong unit installation.**

U jednotek EDR je rychlost nejčastěji získávána ze snímačů otáček kol. Zkreslení dat může nastat v případech, kdy dojde k zablokování kol a ke smyku – a to také ve spojitosti s krátkým zaznamenaným intervalem před nehodou.

Další možností výpočtu rychlosti je samozřejmě integrace naměřeného zrychlení (za předpokladu kontinuálního snímání dat). Integrace přes delší časové intervaly je však zatížena značnou integrační chybou. A to zejména z důvodu šumu (vibrace, samotný šum snímačů, dlouhodobá nestabilita - ARW, posunutí nuly ad.). Vliv vibrací je možné do značné míry eliminovat filtrací, ostatní vlivy lze však odstranit obtížně – zvláště při neznámých

parametrech snímače. V grafu na obr. 3 je použit výpočet rychlosti pomocí integrace u výše zmíněného příkladu. I přes značnou integrační chybu lze, po její korekci, odečíst rychlost cca 8,5 m/s, tedy cca 30,6 km/h – tento výsledek lze považovat za uspokojivý, ve většině případů alespoň pro první odhad rychlosti. U naměřeného zrychlení musí být zaručena rovnoběžnost os snímače s automobilem a odstraněny nežádoucí vlivy – např. vliv klonění, klopení (viz následující odstavec).

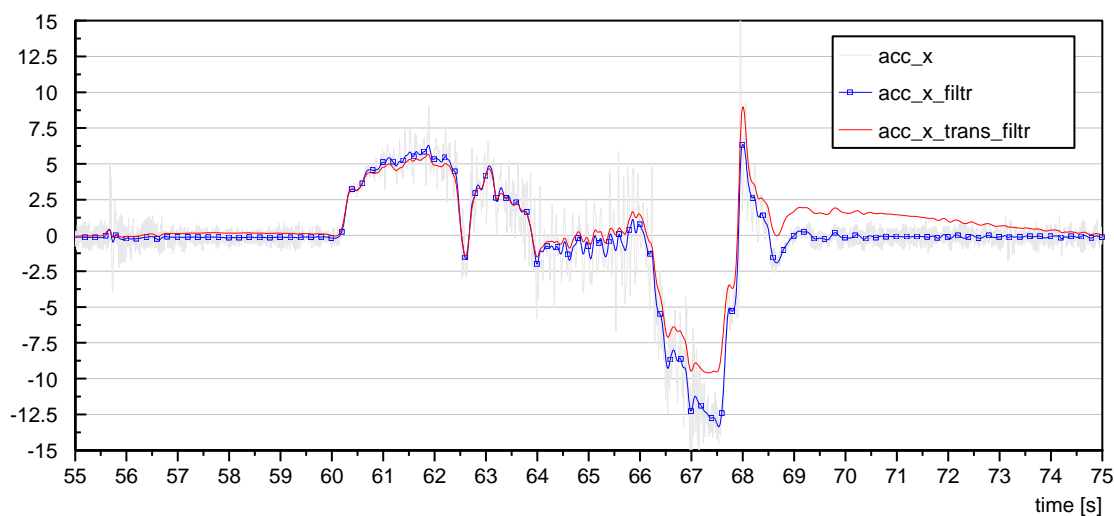


Obr. 3 – Rychlost získaná integrací zrychlení – zatížena integrační chybou.

Fig. 3 – The car speed calculated from longitudinal acceleration – speed with integration error.

3.2 Průběh zrychlení

Možnost následného zpracování dat z akcelerometrů u video jednotek je ovlivněna jednak již zmíněnou možností exportu dat a dále přístupem, který výrobce zvolil pro jejich ukládání. Především, zobrazuje-li se ve výstupu složka gravitace (např. zařízení Roadhawk) či je eliminována a jakým způsobem (např. zařízení Caidrox). Dále, je-li zařazen algoritmus pro (softwarové) vyrovnání snímače do horizontální polohy tak, aby osa z snímače souhlasila s vertikální osou automobilu a zda je algoritmicky ošetřeno, aby osa x snímače odpovídala podélné ose automobilu. Nemá-li toto ošetření korektně, lze bez další znalosti data zpracovat jen s obtížemi. Dále procházejí-li data filtrací (např. z důvodu kompenzace vibrací) a je-li ošetřena jejich dlouhodobá nestabilita. Nutným předpokladem pro správné zpracování je znalost vzorkovací frekvence, citlivosti snímače apod. Do naměřených hodnot dále zpravidla vstupuje vliv klonění a klopení automobilu jak vlivem trasování komunikace (podélný a příčný sklon), tak vlivem samotného odpružení vozidla. I toto ovlivnění naměřených hodnot musí být při následném zpracování uvažováno. Jako příklad je uveden případ klonění při intenzivním brzdění na motocyklu v grafu na obr. 4. Šedě je vyznačeno původní naměřené zrychlení v ose x ; modře (křivka s body) je již filtrované zrychlení, ale bez provedené korekce; červeně pak korigovaná křivka. Maximální hodnoty zpomalení jsou zřetelné z grafu, efektivní hodnoty zpomalení: pro nekorigovaný průběh $9,0 \text{ m/s}^2$ resp. $6,8 \text{ m/s}^2$ pro korigovaný průběh zpomalení. Tento příklad (extrémní klonění) byl vybrán záměrně z toho důvodu, aby byl výsledný rozdíl co nejvíce patrný. Neuvažování klonění či klopení značně zkresluje výsledné hodnoty. Aby bylo možné správně provést příslušnou korekci, je nutné do obvodu zařadit také gyroskopický snímač a na základě znalosti úhlů klopení provést transformaci souřadnic. Nevýhodou gyroskopických snímačů zejména jejich dlouhodobá nestabilita, tuto nevýhodu lze však kompenzovat a dosáhnout tak uspokojivých výsledků při výpočtu úhlů - viz např. [7], [8].



Obr. 4 – Zrychlení zatížené chybou klonění vozidla – křivka s body před korekcí, křivka bez bodů po korekci.

Fig. 4 – The car speed calculated from the longitudinal acceleration – a curve with points stands for acceleration before the correction, a curve without points after it.

4 ZÁVĚR - SOUČASNOST A BUDOUCNOST

Využívání tzv. černých skříněk nabízí velké možnosti pro následnou analýzu nehod. Uzákonění povinnosti instalace a využívání EDR jednotek v automobilech na evropském trhu, respektive zavedení povinnosti výrobců uveřejňovat klíč k hexadecimálnímu kódu výstupů jednotek, není v nejbližším horizontu očekávané. Volně prodejné záznamové video-jednotky mohou proto být důležitým zdrojem informací. Stejně tak, jako existuje mnoho výrobců jednotek, existuje i mnoho přístupů pro algoritmicizaci a ukládání dat. Aby bylo možné provést korektní zpětné odvození děje, je nutné znát co nejvíce podrobností o tom, jakým procesem data procházejí, aby nedošlo k jejich dezinterpretaci – pro příklad viz výše uvedené případy. Pro zpřesnění zpětného odvození trajektorie vozidla a zvýšení přesnosti celého měření, by bylo vhodné zaměřit se i na měření úhlové rychlosti, jak je tomu u měřících zařízení využívaných pro sledování jízdní dynamiky. Znalost úhlové rychlosti, resp. příslušných úhlů může dále napomoci při řešení dopravních nehod, které jsou specifické svojí konfigurací a pro deskripci postřehového pohybu – viz např. [9].

5 LITERATURA

- [1] *Bill no. 1813, Moving Ahead for Progress in the 21st Century Act.*, sec. 31406, 112th Congress, 2012 Washington, [online] <http://www.govtrack.us/congress/bills/112/s1813/text>
- [2] Insurance Institute for Highway Safety: *Event Data Recorders*. 2012, [online] <http://www.iihs.org/research/qanda/edr.aspx>
- [3] Crash Data Services, LLC: *Vehicles EDR*. [online] <http://www.crashdataservices.net/Vehicles.html>
- [4] NHTSA: *Event Data Recorder (EDR)*. Research NHTSA, Washington, [online] <http://www.nhtsa.gov/EDR>
- [5] Car Black Box: *What is a car black box*. 2010. [online] <http://www.carblackbox.co.uk/>

- [6] The Navigation Center of Excellence: *Navstar GPS User Equipment Introduction*. Alexandria 2006, 215 s. [online] <http://www.navcen.uscg.gov/pubs/gps/gpsuser/gpsuser.pdf>
- [7] RYU, J., GERDES, C.: *Integrating Inertial Sensors with GPS for Vehicle Dynamics Control*. Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control, 2004. ISSN 0022-0434.
- [8] BEVLY, D. M., SHERIDAN, R., GERDES, C. J.: *Integrating INS Sensors with GPS Velocity Measurements for Continuous Estimation of Vehicle Sideslip and Tire Cornering Stiffness*, Proceedings of the American Control Conference, Arlington, 2001.
- [9] MIČUNEK, T.: *Road Passive Safety*, 1. ed. Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 2012. 184 s. ISBN 978-3-8484-4887-6