Návrh metodiky testovania mechanickej odolnosti vozidlových kamier pri ich dynamickom rázovom namáhaní

Proposal of methodology for testing the mechanical resistance of vehicle cameras at their dynamic impact

Ing. Veronika Adamová
Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta bezpečnostného inžinierstva, Katedra bezpečnostného manažmentu, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina
Kontakt: adamova4@uniza.sk

Ing. Eduard Kolla, PhD.
Žilinská univerzita v Žiline, Ústav znaleckého výskumu a vzdelávania
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina
Kontakt: kolla@uniza.sk

ABSTRAKT

Predložený článok je výstupom riešenia inštitucionálneho grantového projektu pod názvom „Návrh metodiky merania vybraných fyzikálnych veličín pri dynamickom namáhaní vozidlových kamier“. Riešenie predmetného problému bolo rozdelené na dve 2 fázy. 1. fáza bola orientovaná na návrh prípravku na dynamické, rázové testovanie a návrh meracieho systému, ktorý zabezpečí zber zdrojových dát o dynamickom namáhaní vozidlových kamier. 2. fáza predstavuje experimentálne vykonanie série testov zameraných na zber dát metodikou navrhnutou v 1. fáze. Článok obsahuje výstupy z riešenia tohto projektu a prezentuje komplexný merací systém, navrhnutý prototyp konštrukcie na vykonávanie testov pádom. Na preukázanie funkčnosti navrhnutého systému je výsledková časť článku venovaná variantným testovaním a vyhodnotením získaných dát. Experimentálne funkčné testovania majú demonštratívny charakter a poukazujú na realistickosť, realizovateľnosť a reprodukovateľnosť testovania.

Kľúčové slová: *vozidlové kamery, testovanie, mechanická odolnosť, rázové namáhanie, test pádom*

ABSTRACT

The presented paper is the result of the solution of an institutional grant project entitled "Proposal of a methodology for measuring selected physical quantities under dynamic loading of vehicle cameras". The solution to the problem was divided into two 2 phases. Phase 1 was focused on the design of a device for dynamic, impact testing and the design of a measuring

system that ensures the collection of source data on the dynamic stress of vehicle cameras. Phase 2 represents the experimental series of tests focused on data collection using the methodology proposed in Phase 1. The paper contains the outputs from the solution of this project and presents a complex measuring system, designed a prototype for performing drop tests. To prove the functionality of the proposed system, the result part of the article is devoted to variant testing and evaluation of the obtained data. Experimental functional testing has a demonstrative character and points to the realism, feasibility and reproducibility of testing.
Key words: *vehicle cameras, testing, mechanical resistance, impact stress, drop test*

1 ÚVOD

Odolnosť elektronických zariadení vo všeobecnosti dokazuje, ako dobre sa elektronické zariadenie dokáže vyrovnať s dynamickým namáhaním, ktorý je najčastejší pri pádoch [1]. V prípade vozidlových kamier umiestnených na čelnom skle ide zvyčajne o náraz spôsobený z dôvodu pôsobenia vysokých zrýchlení/spomalení vozidla. Podľa [1] je odolnosť voči pádom a rôznym typom nárazov dôležitým záujmom najmä pri navrhovaní prenosných elektronických výrobkov. Preto sa napríklad dynamické testy môžu použiť aj ako prostriedok na stanovenie uspokojivého dizajnu danej vzorky, pokiaľ ide o jej štrukturálnu integritu, ako aj známku kvality [2]. Čo je však dôležitejšie, sily pôsobiace pri náraze môžu spôsobiť ťažké funkčné poškodenie, napríklad vo forme poruchy komponentov, a to môže viesť k znemožneniu správneho fungovania daného elektronického zariadenia. Zber dát a nadobudnutie poznatkov v tejto oblasti, ktorá sa týka dynamickej odozvy a poruchy mechanizmov elektronických komponentov sa vykonáva prostredníctvom experimentov a experimentálnych štúdií [1]. Pomerne populárnym testovacím postupom v tejto oblasti sú skúšky a testy, ktoré sú založené na princípe pádových testov. Podľa [2, 3] je tento prístup efektívny, pretože umožňuje duplikovať scenáre poškodenia výrobku, ku ktorému môže dôjsť v reálnych, praktických podmienkach či už počas výroby, prepravy, inštalácie či používania. Pádové testy umožňujú aj navrhovať postupy, ako zvýšiť odolnosť produktov voči nárazom. Dôvodom je zabezpečiť, aby dané zariadenie dokázalo prežiť potenciálne riziká spojené s používaním, prípadne i zneužitím [4].

Analýzou súčasného stavu problematiky testovania dynamickej odolnosti vozidlových kamier nainštalovaných v osobných motorových vozidlách bolo zistené, že neexistuje jednotná metodika, ktorá by pokrývala celé spektrum nehodových dejov v rámci cestnej dopravy. Motivácia riešiť vplyv nárazu na vozidlovú kameru vyplýva z možnosti jej vystavenia

dynamickému rázovému namáhaniu. Vozidlová kamera zabezpečuje zber relevantných dát, pričom samotný záznam býva dnes už frekventovaným typom stopy v odbore analýzy dopravných nehôd. Dôvodom je charakter stopy, ktorá v sebe nesie digitálne údaje pre kriminalistické a forenzné účely o časopriestorových podmienkach prešetrovaného deja, čo je kľúčové najmä pri určovaní rýchlosti vozidiel [5, 6, 7]. Vyplýva to z definície videozáznamu, ktorý reprezentuje súbor určitého počtu kvázistatických obrazov idúcich za sebou v príslušnom časovom kroku [8]. Digitálna optická stopa tak plní svoj účel od riešenia menej závažných udalostí až po rozsiahle a komplikované trestno-právne konania.

Prešetrenie vplyvu mechanickej záťaže na funkčnosť vozidlových kamier vo vzťahu k forenznému vyťažovaniu digitálnych stôp je podmienené výskytom vysoko-dynamických dejov. Vplyv mechanickej záťaže na ich funkčnosť doposiaľ nebola vo významnej miere rozobratá. Z pomedzi množiny nepreriešených funkčných parametrov vozidlových kamier sme pozornosť, predovšetkým z dôvodu vysokej priority zo strany forenzného skúmania, nasmerovali na prešetrenie parametra, ktorým je snímkovacia frekvencia.. Správne ustálená hodnota a charakter skutočnej snímkovacej frekvencie poskytujú časový údaj potrebný na rekonštrukciu dynamických dejov v priestore a čase z predmetného videozáznamu. V praxi ide o najcennejšiu digitálne uchovanú kriminalisticky relevantnú stopu. Určovanie snímkovacej frekvencie vo forenznej analýze je jeden z najdôležitejších krokov, pretože ak sa pri určovaní pohybu analyzovaného objektu, najmä cestného vozidla, použije videozáznam, snímkovacia frekvencia má na presnosť analýzy významný vplyv. Z tohto dôvodu si analytik dopravných nehôd musí byť istý, čo všetko má, prípadne nemá vplyv na charakter snímkovacej frekvencie. Účelom preskúmania tejto problematiky je minimalizácia nepresnosti pri rekonštrukcii dynamických dejov v priestore a čase.

Pre potreby skúmania vyššie definovaného problému bolo za podpory inštitucionálnych grantových projektov Žilinskej univerzity v Žiline možné navrhnúť metodiku testovania vozidlových kamier voči vplyvu dynamického rázového namáhania. Bola tým čiastočne vyriešená oblasť preskúmania jedného z možných vplyvov na správnosť a regulárnosť snímkovacej frekvencie, v zmysle návrhu testovacej metodiky. V rámci tohto návrhu sme sa zamerali na dosiahnutie dvoch čiastkových cieľov a to:

1. Skonštruovanie prípravku pre potreby vystavenia vozidlových kamier dynamickému rázovému namáhaniu. Zostavenie komplexného meracieho systému a nastavenie jeho parametrov v laboratórnych podmienkach za účelom objektívneho a presného merania vybraných fyzikálnych veličín.

2. Realizácia série experimentálnych testovaní za súčasného merania hodnôt vybraných fyzikálnych veličín pri vystavení vozidlovej kamery dynamickému rázovému namáhaniu.

Splnením jednotlivých čiastkových cieľov sme sledovali návrh realistickej, realizovateľnej a predovšetkým reprodukovateľnej metodiky a postupu testovania vzorky vozidlových kamier. . Nasledujúce časti článku budú preto venované popísaniu navrhovanej metodiky testovania a na demonštráciu funkčnosti systému budú prezentované dve skúšky funkčnosti. Po dynamickom rázovom namáhaní kamier bude v nadväzných činnostiach prešetrovaný tento vplyv na charakter snímkovacej frekvencie vozidlových kamier.

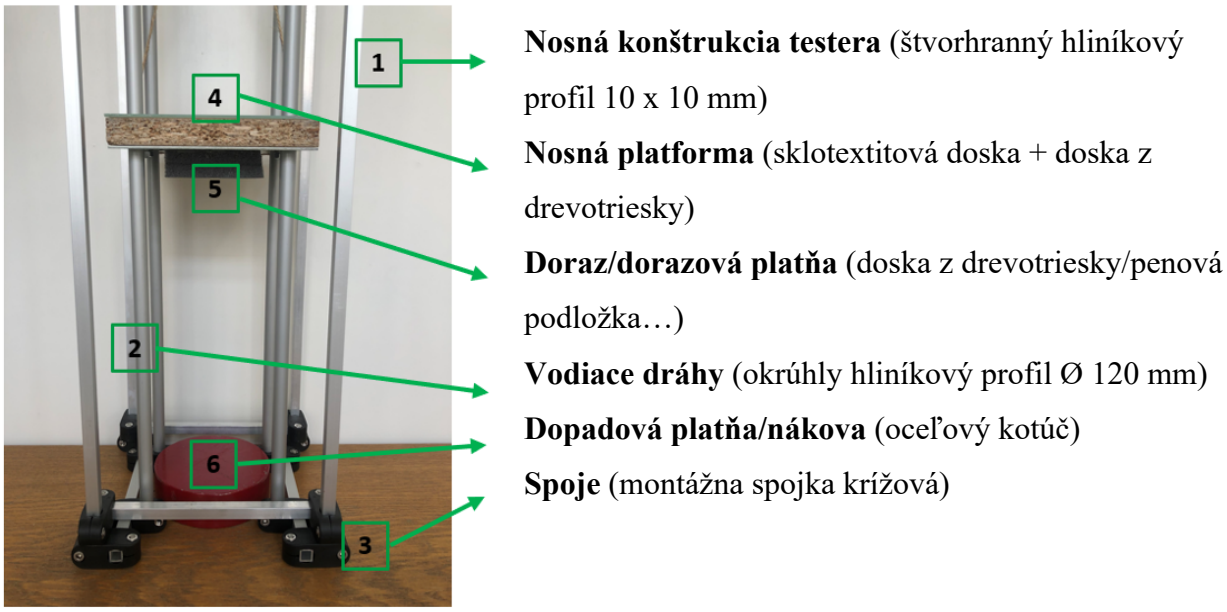
2 NÁVRH TESTOVACEJ METODIKY

Táto časť príspevku je venovaná popisu návrhu metodiky a použitých pomôcok na dosiahnutie stanoveného cieľa, ktorým je návrh realistického testovacieho postupu. Účelom tejto metodiky je možnosť simulovať náraz do vozidlovej kamery. Treba však podotknúť, že uvedený systém spĺňa základné požiadavky a preto bude podrobený ďalším úpravám a zmenám. Po prvé sme sa venovali návrhu, konštrukcii a realizácii základných skúšok funkčnosti prototypu na vykonávanie nárazových testov. Po ďalšie sme navrhovali systém na meranie vybraných významných veličín pri dynamickom namáhaní vozidlových kamier. Aplikáciou profesionálneho systému na meranie zrýchlenia a súčasne použitie funkčného prototypu prípravku na vystavenie kamier mechanickej záťaži, skonštruovaného a pracujúceho na princípe pádového testu sme naplnili stanovený cieľ.

2.1 Návrh konštrukcie funkčného prototypu na pádové skúšky

Pri navrhovaní prípravku, ktorý by mal plniť funkciu vystavenia testovacej vzorky mechanickej záťaži boli zvažované viaceré prístupy. Na začiatok sme si stanovili niekoľko kritérií, ktoré by mal takýto prototyp spĺňať, napr. modularita konštrukcie, použitie relatívne lacných a ľahko dostupných dielov, jednoduchá manipulácia a prenosnosť prípravku, v neposlednom rade jednoduchá a lacná výmena poškodených častí prototypu v dôsledku jeho opakovaného používania. Na základe zvolených kritérií bol skonštruovaný prípravok, pracujúci na princípe pádu. Samotná konštrukcia prototypu na vykonanie pádových skúšok je zhotovená z hliníkových profilov. Na vonkajšiu, nosnú konštrukciu (1) sme zvolili štvorhranný hliníkový profil. Výška pádu, z ktorej padá testovacia vzorka je rovnaká, ako výška daného prototypu, čo zodpovedá približne 1000 mm. Vzhľadom na modularitu prípravku je možné výšku pádu v

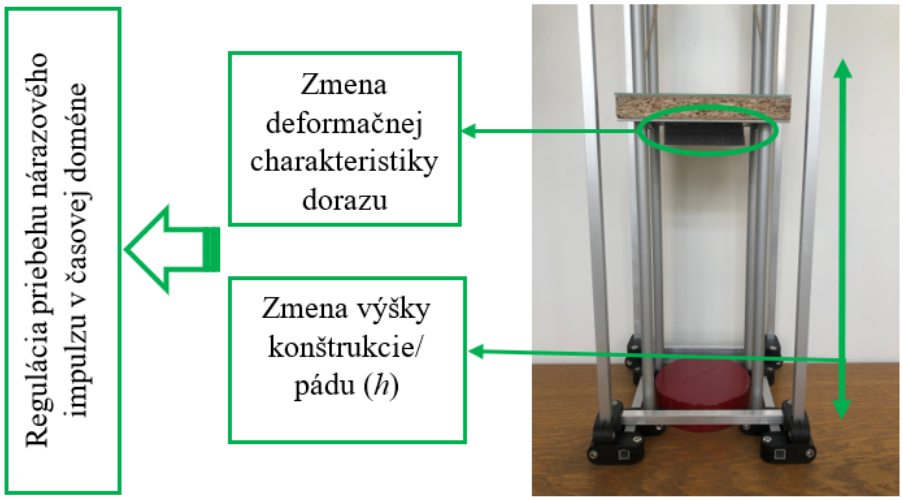
budúcnosti zväčšiť. Previazanie jednotlivých častí konštrukcie bolo zabezpečené použitím plastových montážnych krížových spojok (3). Na zaistenie stability je pohyblivá nosná platforma (4) pri páde vedená vodiacimi dráhami (2). Vodiace dráhy (2) boli skonštruované z hliníkových profilov medzikruhového prierezu o vonkajšom priemere 12 mm a dĺžke 1000 mm. Nosná platforma (4) sa skladá z troch častí. Strednú, vnútornú časť tvorí doska z drevotriesky, jej spodná a vrchná časť je prekrytá sklotextitovou doskou (vhodný materiál na uchytenie vozidlovej kamery pomocou prísavky, ďalej umožňuje štrukturálne spevnenie nosnej platformy). Plocha tejto platformy je štvorcová s rozmermi 120 x 120 mm. Na spodnej časti nosnej platformy (4) je upevnený doraz (5) – platňa, ktorú je možné meniť v závislosti od požadovaného priebehu nárazovej odozvy. V praxi to znamená, že zmenou deformačnej charakteristiky materiálu, ktorý použijeme ako doraz (5), vieme regulovať priebeh razového impulzu v danej časovej doméne. Poslednou časťou je nákova, teda dopadová platňa (6). Ide o tuhé teleso z kovu, na ktoré je testovacia vzorka vozidlovej kamery upevnená na nosnej platforme spúšťaná z danej, vopred preddefinovanej výšky. Na Obr. 1 sú označené jednotlivé časti prototypu prípravku.



Obrázok 1 Konštrukcia prototypu prípravku na vykonávanie pádových testov s popisom jeho jednotlivých častí

V rámci zhodnotenia navrhnutého prípravku na testovanie rázového namáhania vozidlových kamier je dôležité dodať, že ide o základnú verziu. Súčasne navrhnutý koncept umožňuje užívateľovi prispôsobovať a meniť tie časti prípravku, ktoré sa priamo podieľajú na

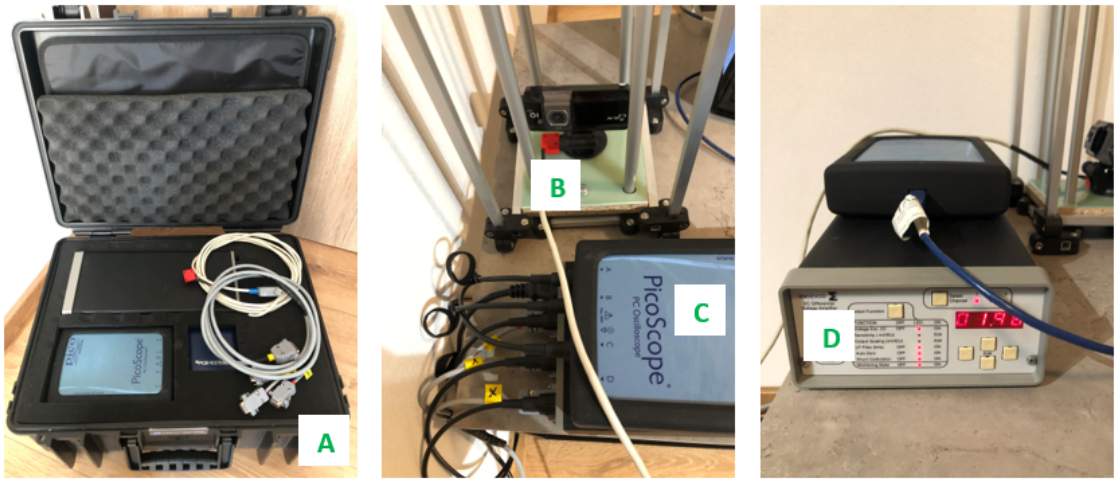
charaktere priebehu nárazového impulzu. Predovšetkým ide o typ materiálu dorazu a výšku pádu, z ktorej je nosná platforma spolu so vzorkou spúšťaná (Obr. 2).



Obrázok 2 Možná aproximácia laboratórne nameraných nárazových impulzov, nárazovým impulzom rôznych scenárov reálnych nárazov cestných vozidiel

2.2 Systém na meranie zrýchlenia

V rámci komplexného návrhu metodiky testovania vozidlových kamier sme sa zamerali na meranie parametra zrýchlenia *a*. Zo známeho nameraného zrýchlenia je následne možné aplikáciou nepriamych metód, vypočítať a určiť silové pôsobenie, resp. kontaktnú silu pôsobiacu na kameru v čase nárazu, dopadu na nákovu.



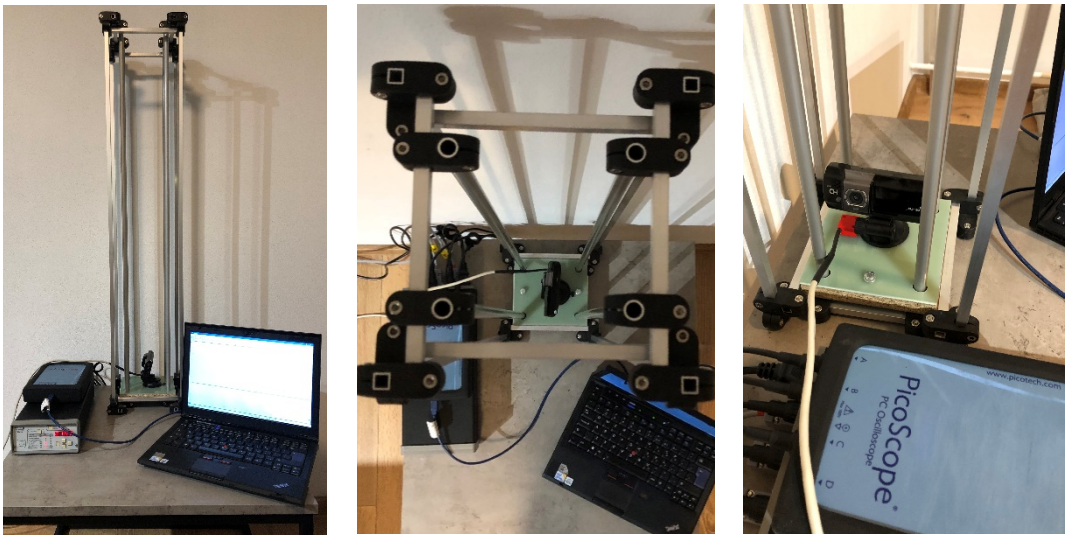
Obrázok 3 A: Systém na meranie zrýchlenia, B: PCB Piezotronics 3503C2060KG C: Picoscope 4424, D: Meggitt Endevco 136

Na Obr. 3 je zobrazený merací systém použitý pri meraní zrýchlenia *a* vozidlových kamier pri pádovom teste. Systém pozostáva z nasledovných položiek:

- *PCB Piezotronics 3503C2060KG*: kompaktný trojosí senzor zrýchlenia pre vysoko dynamické deje, určený na povrchovú montáž, merací rozsah do 60 000g [9] (Obr. 3 B).
- *Meggitt Endevco® 136*: prístroj na spracovanie signálu zo senzora. Ide o trojkanálový jednosmerný zosilňovač napätia, ktorý je manuálne alebo počítačovo programovateľný [10] (Obr. 3 C).
- *Picoscope 4424:* prístroj na konverziu analógového signálu na digitálne dáta, typ osciloskopu pripojeného na laptop [11] (Obr. 3 D).
- Laptop na zber a uloženie digitálnych dát z Picoscope 4424.

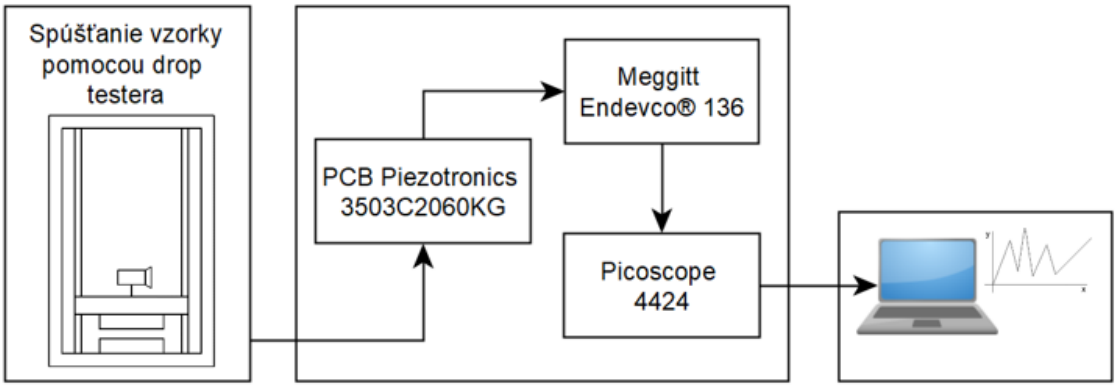
2.3 Návrh komplexného testovacieho a meracie systému

Merací systém spolu s prototypom na vykonávanie testov pádom spĺňa základnú a východiskovú metodiku merania zrýchlenia vozidlovej kamery pri dopade na dokonale tuhé teleso (Obr. 4).



Obrázok 4 Zadokumentovaný komplexný testovací systém na meranie zrýchlenia vozidlových kamier pri ich mechanickom namáhaní

Senzor na meranie zrýchlenia umiernený pri tele kamery umožňuje pri teste pádom zaznamenávať dáta o zrýchlení *a*. Namerané údaje o zrýchlení kamery je následne možné nepriamymi metódami, t. j. prepočítaním, transformovať na silové pôsobenie na kameru, čím sa stanoví kontaktná sila. Na demonštráciu funkčnosti navrhnutého systému (Obr. 4) boli vykonané testy funkčnosti, ktoré budú odprezentované v nasledujúcej časti článku. Na Obr. 5 je zobrazená bloková schéma systému.



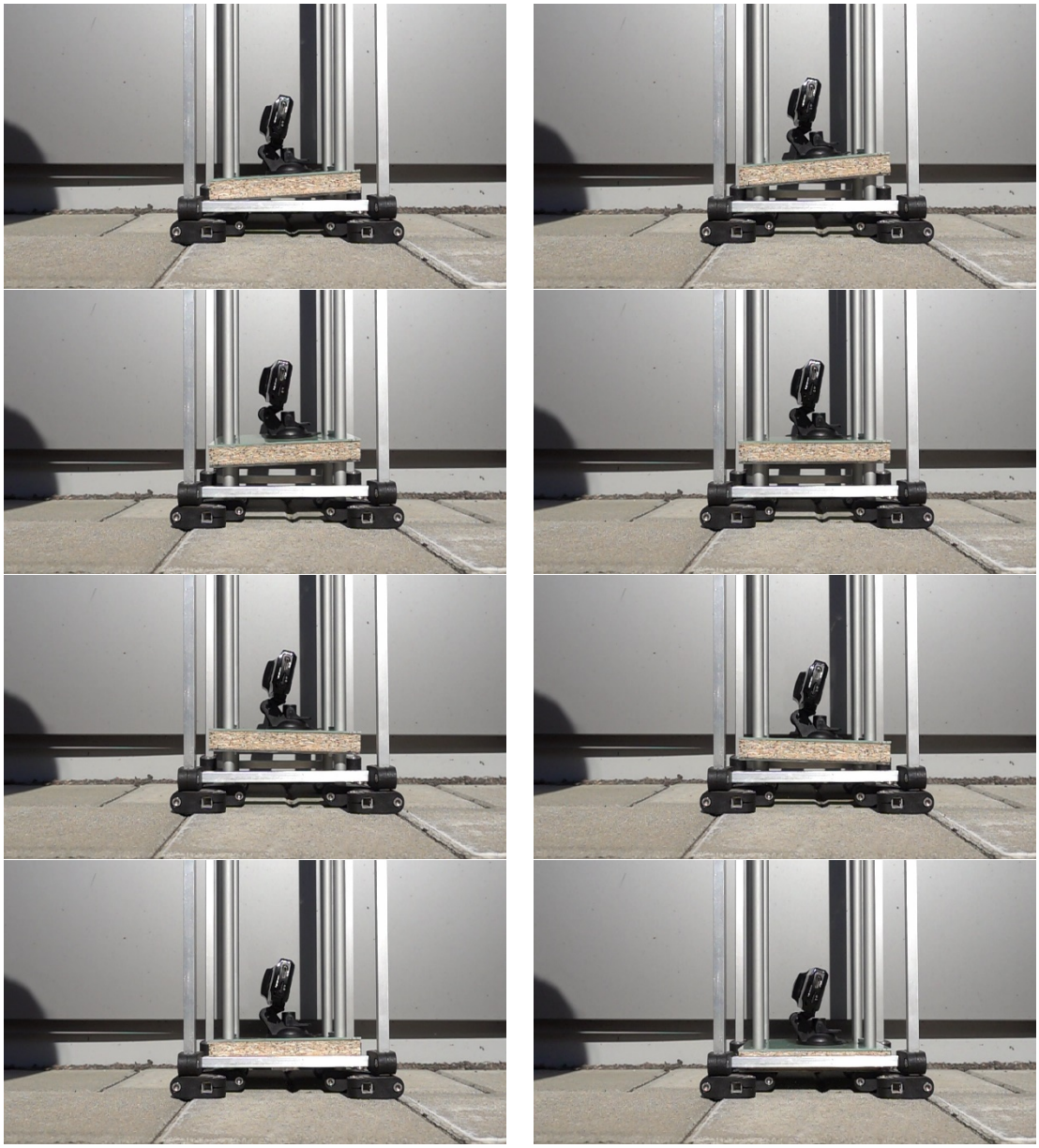
Obrázok 5 Bloková schéma testovania, merania a vyhodnotenia rázového namáhania vozidlových kamier

3 VÝSLEDKY

Funkčnosť navrhnutého systému bola prakticky otestovaná a overená realizáciou série experimentálnych meraní. Výsledková časť bude venovaná odprezentovaniu dvoch testov, zameraných na overenie funkčnosti navrhnutého systému. V rámci jednotlivých testov sme pristupovali dvoma rôznymi smermi v zmysle výberu dvoch rôznych materiálov dorazovej platne. Zatiaľ, čo sme v prvom prípade použili pomerne tuhé teleso – doska z drevotriesky, pri druhom teste sme zvolili materiál mäkší v podobe peny. Výsledky a priebeh zrýchlení v oboch prípadoch sú graficky znázornené v časti 3.1 a 3.2. Sledovaný bol hlavne vplyv zmeny deformačnej charakteristiky dorazu na priebeh nárazového impulzu (Obr. 2).

3.1 Test funkčnosti navrhnutého systému – Variant 1

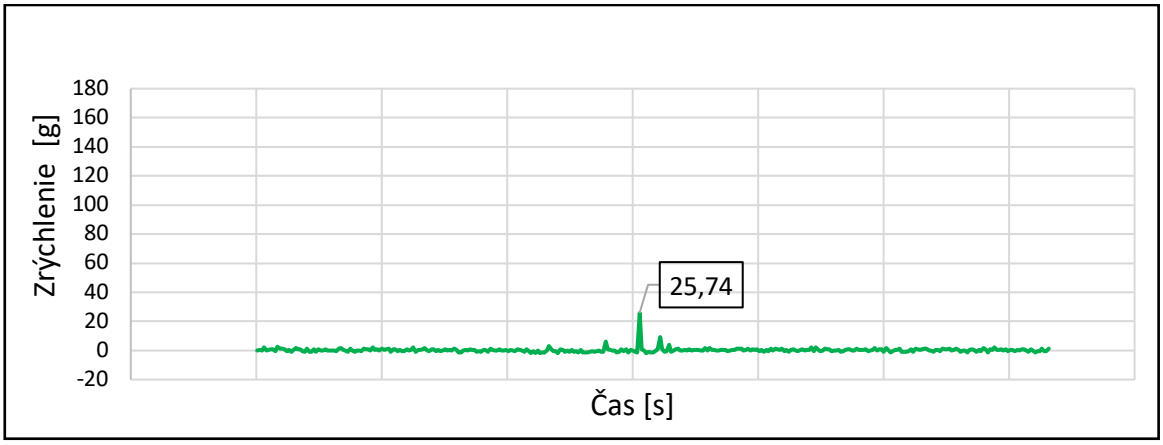
Variant 1 reprezentuje základné testovanie funkčnosti navrhnutého testera bez použitia časti prototypu, ktorá plní funkciu nárazovej platne. Taktiež bol tento test vykonaný bez nákovy. V rámci tohto testovania neboli merané hodnoty zrýchlenia kamery. Išlo predovšetkým o vykonanie niekoľkých opakovaní pádov kamery z vopred preddefinovanej výšky. Ich účelom bolo odstránenia nedostatkov, ktoré súviseli hlavne so zasekávaním nosnej platformy pri páde. Tento problém sme sa snažili odstrániť nájdením vhodnej polohy vodiacich dráh a pod. Na Obr. 6 je zobrazená prezentácia pádu vozidlovej kamery bez použitia dorazu a nákovy v časovom kroku 0,025 s (časový priebeh je zhora nadol a zľava doprava). Priebeh pádu kamery je vizuálne zaznamenaný pomocou použitia rýchlobežnej kamery.



Obrázok 6 Prezentácia pádu vozidlovej kamery bez použitia dorazu a nákovy zachytený rýchlobežnou kamerou v časovom kroku 0,025 s

3.2 Test funkčnosti navrhnutého systému – Variant 2

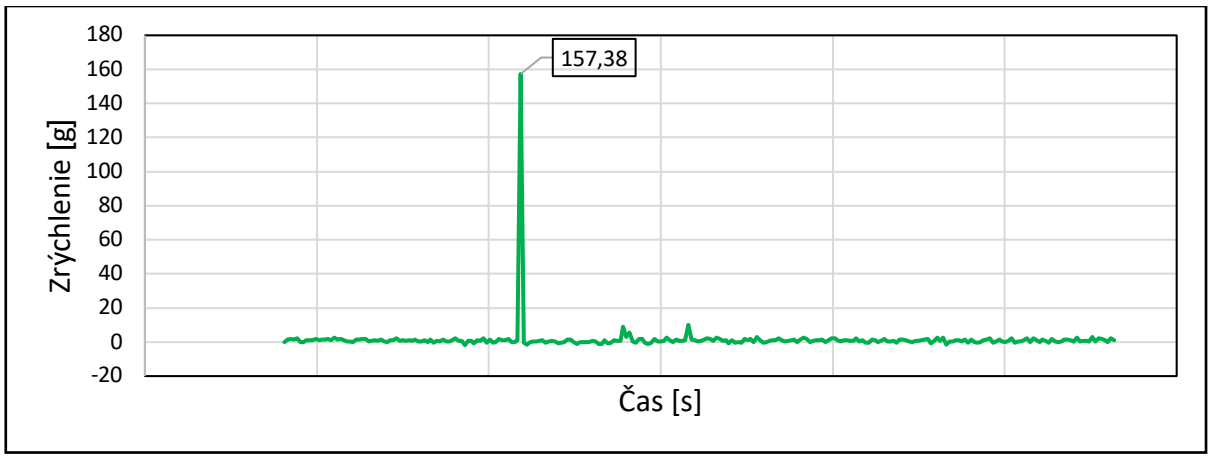
Variant 2 reprezentuje testovanie funkčnosti navrhnutého testera pri použití peny ako nárazovej platne, u ktorej dochádza ku kontaktu s nákovou pri páde nosnej platformy spolu s testovacou vzorkou vozidlovej kamery. Za praktickej aplikácie meracieho systému popísaného v časti 2.2 a skonštruovaného prototypu testera popísaného v časti 2.1 s daným typom dorazu sme dosiali maximálne zrýchlenie v časovej doméne zodpovedajúce hodnote 25,74 g (približne 252,5 m/s^2). Na nasledujúcom obrázku (Obr. 7) je zobrazený grafický priebeh nárazového impulzu pri testovaní s použitím dorazovej platne – peny.



Obrázok 7 Priebeh nárazového impulzu pri testovaní s použitím dorazovej platne – peny

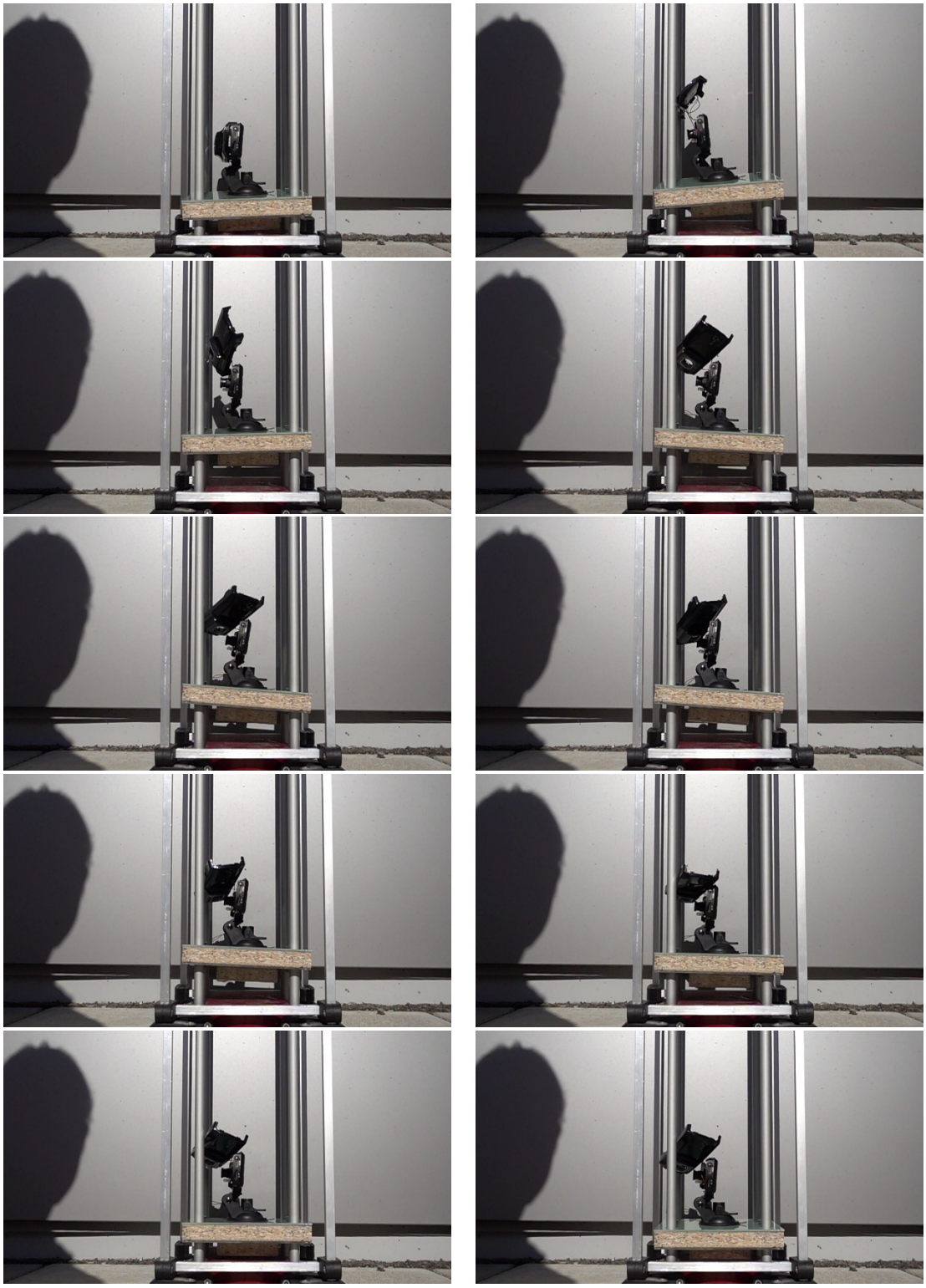
3.3 Test funkčnosti navrhnutého systému – Variant 3

Variant 3 reprezentuje testovanie funkčnosti navrhnutého testera pri použití dosky z drevotriesky ako nárazovej platne, u ktorej dochádza ku kontaktu s nákovou pri páde nosnej platformy spolu s testovacou vzorkou vozidlovej kamery. Za praktickej aplikácie profesionálneho meracieho systému popísaného v časti 2.2 a skonštruovaného prototypu testera popísaného v časti 2.1 s daným typom dorazu sme dosiali maximálne zrýchlenie v časovej doméne zodpovedajúce hodnote 157,4 g (približne 1 544 m/s^2). Na nasledujúcom obrázku (Obr. 8) je zobrazený grafický priebeh nárazového impulzu pri testovaní s použitím dorazovej platne – doska z drevotriesky.



Obrázok 8 Priebeh nárazového impulzu pri testovaní s použitím dorazovej platne – doska z drevotriesky.

Na Obr. 9 je zobrazená prezentácia pádu vozidlovej kamery s použitím dorazu a nákovy v časovom kroku 0,025 s (časový priebeh je zhora nadol a zľava doprava). Priebeh pádu kamery je vizuálne zaznamenaný pomocou použitia rýchlobežnej kamery.

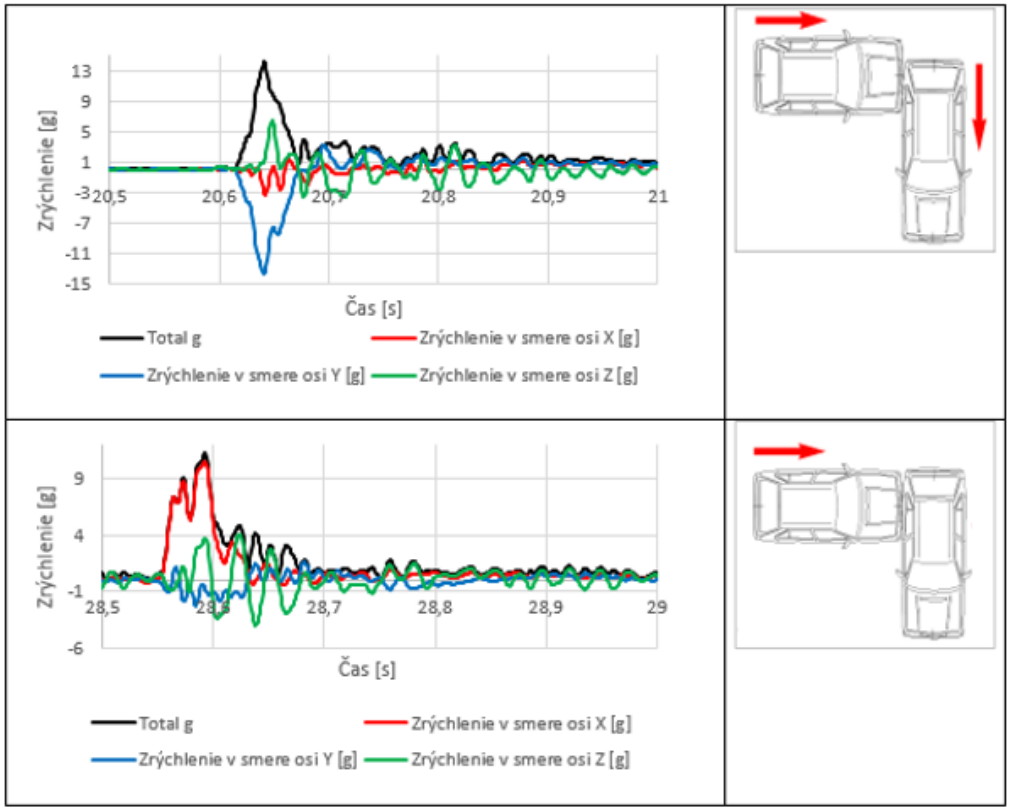


Obrázok 9 Prezentácia pádu vozidlovej kamery s použitím dorazu a nákovy zachytený rýchlobežnou kamerou v časovom kroku 0,025 s

V rámci tohto testovania došlo k mechanickému poškodeniu vozidlovej kamery, kedy pri dopade nákovy na pevne teleso, sa plastový kryt z prednej časti oddelil od tela kamery a spôsobil tak viditeľnú deštrukciu.

4 DISKUSIA

Na základe nameraných dát bolo zistené, že navrhnutý systém na testovanie a merania vybraných fyzikálnych veličín umožňuje kamerové zariadenia vystavovať len určitým mechanickým šokom. Súčasná koncepcia prototypu neumožňuje dosahovať hodnoty nepriameho dynamického namáhania, ktoré by sa približovali reálnym nehodovým dejom. Napriek tomu, že testovací systém má aktuálne určité obmedzenia, je možné konštatovať, že systém je konštruovaný modulárne, resp. tak, aby bola možná jeho rýchla oprava, dodatočná úprava či zmena. Cieľom je maximálne možné priblíženie sa nárazovému impulzu, ktorý je typický pre daný scenár nehodového deja, napr. kolízia vozidlo a vozidlo, vozidlo a pevná prekážka (deformovateľná), vozidlo a pevná prekážka (nedeformovateľná), vozidlo a chodec a pod. Príklady priebehov zrýchlení pri reálnych nárazových testoch, ktoré sa budeme snažiť dosiahnuť sú zobrazené na Obr. 10. Ľavá strana prezentuje graficky priebeh zrýchlení v smere osí x, y a z, ako aj výsledné „total“ g a pravá strana zobrazuje jazdný manéver daného vybraného analyzovaného testu.



Obrázok 10 Príklady zrýchlení pri reálnych nárazových testoch (orientačná rýchlosť pohybujúcich sa vozidiel 20-40 km/h)

V rámci nadväzných činností bude naša pozornosť orientovaná predovšetkým na možnosti a vplyvy zmien deformačnej charakteristiky dorazu a zmien výšky, z ktorej je vzorka spúšťaná.

Nevylučuje sa aj preskúmanie iných parametrov na reguláciu priebehu nárazového impulzu v danej časovej doméne.

5 ZÁVER

Odprezentovaný článok je súčasne vstupom do riešenia komplexnejšieho posudzovania spoľahlivosti vozidlových kamier. Ide najmä o skúmanie rôznych vplyvov prostredia na presnosť snímkovacej frekvencie vozidlových kamier vo vzťahu k forenznému vyťažovaniu digitálnych stôp. Skúmanie vplyvu mechanického namáhania kamier tvorí v rámci tohto výskumu parciálny cieľ, čo znamená, že je splnená čiastková úloha – navrhnutie metodiky testovania.

Stanovený problém mal dva ciele. Prvým cieľom bolo zostavenie komplexného meracieho systému a nastavenie jeho parametrov za účelom objektívneho a presného merania vybraných fyzikálnych veličín pri dynamickom namáhaní vozidlovej kamery. Druhým cieľom bola realizácia série experimentálnych meraní a vyhodnotení reálneho dynamického namáhania vozidlových kamier. Stanovené ciele boli naplnené a konštatujeme, že v súčasnosti disponujeme funkčným laboratórnym prototypom na vykonanie mechanických nárazových skúšok. Testovacia metodika a realizácia experimentálnych meraní prebehla v súlade s dostupnými pomôckami, pričom sa predpokladá do budúcna, tzv. vylepšenie skonštruovaného prototypu, napr. inštaláciou mechanického urýchľovača na dosiahnutie dynamickejších nárazov, prípadne jeho rozmerové zväčšenie. Merací systém spolu s prototypom na vykonávanie testov pádom spĺňa základnú a východiskovú metodiku merania zrýchlenia vozidlovej kamery pri dopade na dokonale tuhé teleso.

POĎAKOVANIE

Tento článok bol vypracovaný za podpory inštitucionálnych grantových projektov Žilinskej univerzity v Žiline KOR/1095/2020 – Návrh metodiky merania vybraných fyzikálnych veličín pri dynamickom namáhaní vozidlových kamier a KOR/7731/2021 – Testovanie presnosti snímkovacej frekvencie vozidlových kamier voči vybraným vplyvom prostredia.

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

[1] ZHOU, C.Y., T.X. YU, R. S.W. LEE, 2006. Design of shock table tests to mimic real-life drop conditions for portable electronic device. In: International Conference on Electronic Materials and Packaging. 2006, s. 1-5, DOI: 10.1109/EMAP.2006.4430652.

[2] IEC 60068-2-27: International standard: Basic environmental testing procedures, International Electrotechnical Commission, Geneva, Switzerland, 1987.

[3] MIL-STD-883C: Military standard: Test methods and procedures for microelectronics, US Office of Naval Publications, Washington, D.C., 1983.

[4] ETS 300 019-2-2: Equipment engineering: Environmental conditions and environmental tests for telecommunications equipment, Part 2-2: Specification of environmental tests, transportation, European Telecommunication Standard Institute, Valbonne, France, 1994.

[5] WONG, W.T., C.H. TAO, Y.K. CHENG, K.H. WONG, C.N. TAM, 2014. Application of crossratio in traffic accident reconstruction. In: Forensic Sci. Int. 235. 2014. s. 19–23. DOI: https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2013.11.012.

[6] HAN, I., 2016. Car speed estimation based on cross-ratio using video data of car-mounted camera (black box). In: Forensic Sci. Int. 269. 2016. s. 89–96. DOI: https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2016.11.014.

[7] MOSER, A., H. BURG, 2017. Estimation of vehicle speed using video images and laserscanner data in PC-Crash, EVU. 2017. s. 93-98.

[8] IVOR, J., E. KOLLA, 2019. Záznam z autokamery ako dôkaz v trestnom konaní (Vehicle Camera Record as the Proof in Criminal Proceedings). In: Informačno-technické prostriedky v trestnom konaní – možnosti a perspektívy, 2019. s. 92-108. ISBN 978-80- 7502-363-6.

[9] PCB PIEZOTRONICS. [online]. [cit. 2021-10-28]. Dostupné z: http://www.pcb.com/products?m=3503C2060KG

[10] ENDEVCO. [online]. [cit. 2021-10-28]. Dostupné z: https://buy.endevco.com/signal-conditioners/136-electronics

[11] TME Electronic Computer. [online]. [cit. 2021-10-28]. Dostupné z: https://www.tme.eu/sk/details/picoscope4424/pc-osciloskopy/pico-technology/picoscope-4424/?gclid=Cj0KCQjwlOmLBhCHARIsAGiJg7l5Oq6Ggk0_kAr2Ehj4yIZpVcB-j2kor3UgZeSkfb-y8u0jBS0zVSkaAtAcEALw_wcB