



Porovnání vybraných metod měření pro stanovení hloubky deformace vozidla

The Comparison of Selected Measurement Techniques Used for the Analysis of Vehicle Deformation Depth

Pavčina Moravcová^{a,b*}, Kateřina Bucsuházy^b, Albert Bradáč^a

^aVysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství

^bCentrum dopravního výzkumu, Brno

Abstrakt

Důležitou součástí komplexní analýzy nehodového děje je co možná nejpřesnější určení deformace vozidla, resp. deformační energie vzniklé při střetu. Cílem tohoto článku je představit vybrané metody měření deformace vozidel a analyzovat jejich využitelnost. Přesnost vybraných metod bude hodnocena prostřednictvím porovnání s nejmodernější metodou – 3D skenováním vozidla. Zhodnoceny budou rovněž výhody i limity použitých metod.

Klíčová slova: vozidlo, měření deformace, deformační energie, vyšetřování nehody.

Abstract

The deformation depth, respectively the analysis of deformation energy, is essential part of the accident analysis which include the calculation of impact speed. The aim of this article is to present selected methods for vehicle deformation measurement. The accuracy of selected methods will be evaluated by comparison with the most modern method – 3D scanning. The advantages and disadvantages of the methods used will be evaluated.

Keywords: vehicle, deformation measurement, deformation energy, accident analysis,

1. ÚVOD

V případech, kdy je vyžadována analýza dopravních nehod pro účely stanovení míry zavinění jednotlivých účastníků, je obvykle pro toto posouzení nezbytné vypracování znaleckého posudku. Úkolem znalce je na základě předložených podkladů zodpovědět položené otázky (zpravidla komplexní analýza nehodového děje včetně určení rychlostí všech účastníků dopravní nehody v jednotlivých fázích). Znalci využívají pro výpočet střetové rychlosti různé metody výpočtu, z nichž každá má svá specifika i limity. Problémem však je, že jako podklad pro analýzu nehodového děje slouží znalci převážně fotografie, které v některých případech nejsou schopny zachytit plný rozsah poškození vozidel. Poskytnuté podklady tak mohou obsahovat pouze omezené množství informací [7]. Časové omezení při sběru dat na místě dopravní nehody se následně může odrazit v nedostatečné dokumentaci místa dopravní nehody, stop, vozidel a v celkové kvalitě dat [18].

2. METODY MĚŘENÍ DEFORMACÍ

Jedním z hlavních bodů komplexní analýzy nehodového děje je stanovení střetových rychlostí vozidel. Toto vychází zejména z energií; je tedy třeba stanovit míru kinetické energie vozidel, která byla přeměněna na mechanickou práci – vytvoření trvalých deformací na vozidle [1][10].

Pro všechny využívané metody stanovení deformační energie je zapotřebí znát míru deformace, tj. umět kvantifikovat rozsah deformace na vozidle [16]. K tomuto slouží několik známých metod měření hloubky deformace:

- 2D metody měření (fotografická dokumentace, nivelační latě, měřicí tyčinky),
- 3D metody měření (totální stanice, fotogrammetrie nebo 3D skener).

Za poslední roky došlo k výraznému posunu v oblasti dokumentace místa dopravní nehody i samotného vozidla a jeho



Obr. 1 Měření deformace vozidla Ford Focus.
Fig. 1 Deformation measurement of vehicle Ford Focus.

poškození. Postupně se začínají i v běžné policejní praxi využívat moderní metody [1], [14], [13]. Pro dokumentaci poškození vozidla jsou ale stále nejčastěji využívány 2D metody měření (fotografie, nivelační latě) a to zejména s ohledem na finanční náročnost.

Oproti konvenčním 2D metodám umožňují moderní metody (3D skenování a fotogrammetrie) přesně a rychle zachytit celé místo dopravní nehody vč. vzniklých stop a poškozených vozidel [1], [7]. Trojrozměrná analýza deformace vozidla je sofistikovanější a umožňuje zpřesnit analýzu nehodového děje [9].

S ohledem na účel dokumentace je důležitá rovněž volba typu skeneru. Skenery s vysokým dosahem jsou určeny pro skenování pozemní komunikace a okolního prostředí a nelze s nimi podrobně analyzovat např. deformaci vozidla. Pro dokumentaci poškození vozidla je z tohoto důvodu nutno využívat skenery, které jsou vhodné na kratší vzdálenost s dobrou přesností [9].

Každá z výše uvedených metod má svá omezení z hlediska vybavení, přesnosti, časové náročnosti měření, náročnosti na kvalifikaci obsluhy či náročnosti finanční. Cílem tohoto článku je zejména porovnání vybraných metod dokumentace poškození vozidla. Na základě získaných výsledků i navazující analýzy by pak bylo možno stanovit použitelnost vybraných metod pro různé typy střetů a jejich využitelnost v různých podmínkách na místě dopravní nehody.

3. POSTUP MĚŘENÍ

3.1 Použité metody

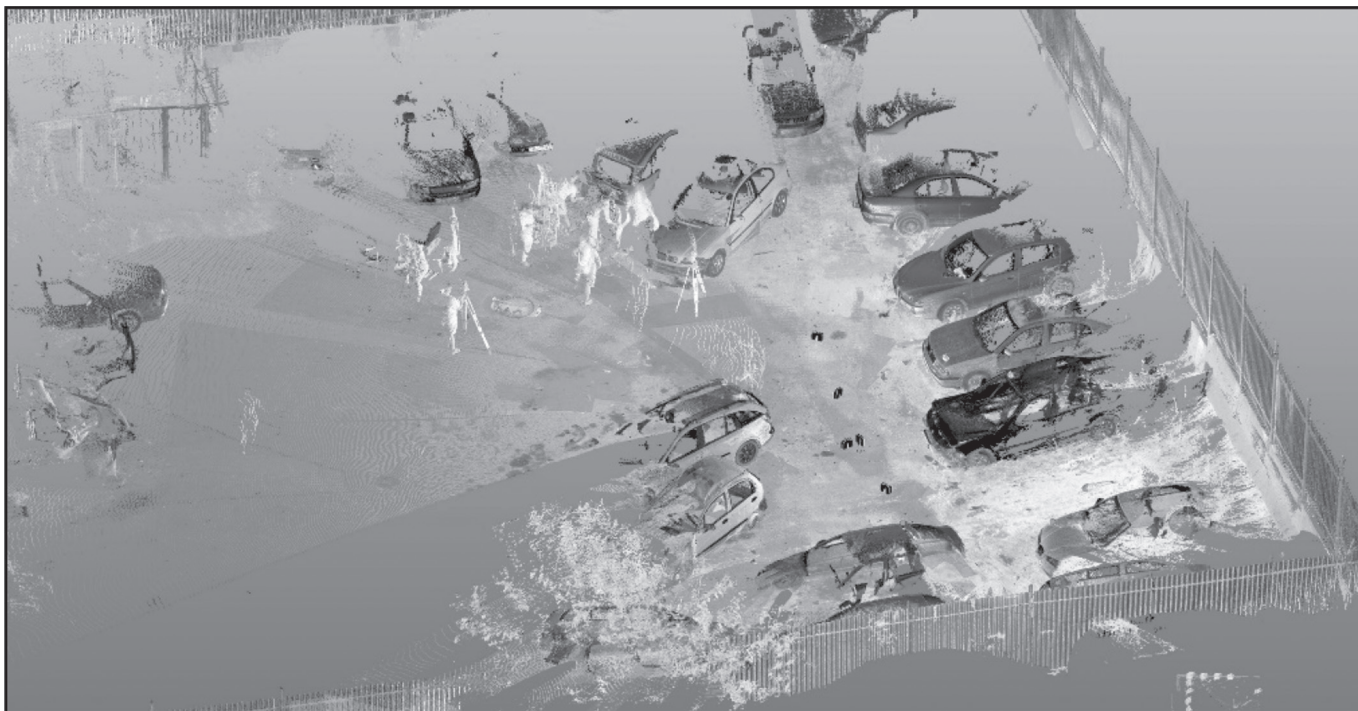
Dokumentace poškození vozidla je důležitou součástí při rekonstrukci nehodového děje. Na základě zjištěné hloubky deformace a celkové geometrie vozidla po nehodě je možno stanovit obecné parametry nárazu jako je konfigurace střetu, kinematika vozidla po nárazu apod. [6]. Pro analýzu byly vybrány 3 metody dokumentace poškození vozidla:

- analýza deformace na základě fotografie z horního pohledu,
- analýza deformace s využitím měřicích tyčinek (tzv. Crush JIG) a
- analýza deformace s využitím laserového 3D skenování.

Měření proběhlo v areálu Jerex, a. s., kde byla provedena série měření na vozidle Ford Focus, viz obr. 2. Jednodušší metody měření (2D metody) a přesnost stanovené hloubky deformace těmito metodami bude porovnáována s hloubkou deformace zjištěnou pomocí 3D skenování, jež je nejmodernější, ale současně nejvíce finančně nákladnou metodou.



Obr. 2 Měřené vozidlo Ford Focus.
Fig. 2 Measured vehicle Ford Focus.



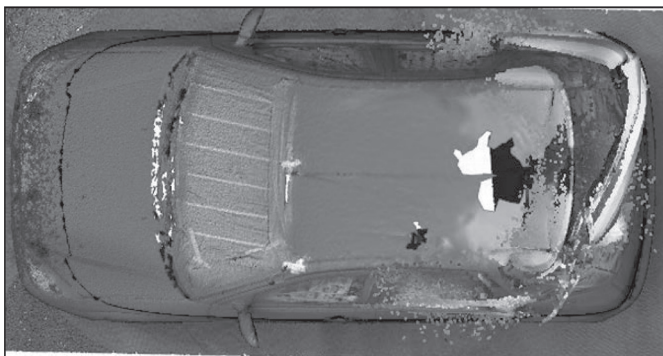
Obr. 3 Point Cloud z 3D skeneru.

Fig. 3 Point cloud from 3D scan.

3.2 Měření deformace pomocí 3D skenování

Trojrozměrná analýza za pomoci 3D skeneru umožňuje získat 3D síť (tzv. Point Cloud) vozidla s poměrně vysokou přesností. Nezbytné je skenovat objekt z více stran a případně i výšek, jelikož je zapotřebí získat úplnou geometrii poškozeného/nepoškozeného vozidla [6]. Byl zvolen panoramatický skener Faro Focus 3D 120, který měří s rozsahem 0,6 až 120m a s přesností do 2 mm [15]. Na základě nastavení 3D skeneru a sady měření vznikne point cloudový 3D obraz, viz obr. 3. Měření proběhlo ze tří stran a dvou výšek, aby byla zajištěna vysoká hustota bodů. Čas potřebný pro měření byl cca 40 minut.

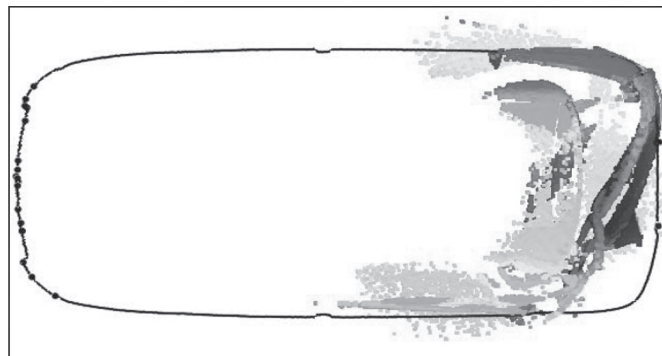
Získaný obraz byl předzpracován v programu FARO, aby mohlo dojít k následnému vyhodnocení deformace poškozeného vozidla vůči nepoškozenému (referenčnímu) vozidlu, viz obr. 4. Řez byl proveden v oblasti maximální deformace. Následné porovnání pak proběhlo v programu Geomagic Control X, a to v oblasti maximální deformace ve výšce cca 80 cm nad zemí. Čas pro vyhodnocení hloubky deformace byl cca 1,5 hodiny.



3.3 Měření deformace z horní pohledové fotografie

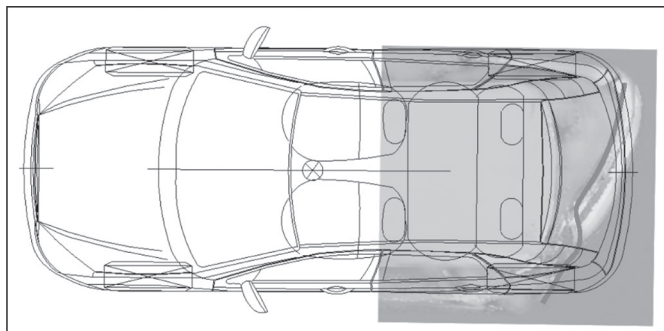
Měření deformace z horní pohledové fotografie je konvenční metodou pro stanovení rozsahu poškození vozidla především z důvodu nízkých pořizovacích nákladů, rychlé manipulace a poměrně snadného a rychlého zpracování. K dosažení co nejpřesnějšího výsledku je nezbytné dodržovat určitá pravidla. Mezi nejdůležitější se řadí kolmost fotoaparátu k měřené deformaci. Měření za pomoci tzv. horního pohledu z fotografie bývá u některých typů střetů nepřesné, jelikož zpracovatel pracuje pouze v jedné rovině (x-y rovině). Další odchylka může nastat v případech, kdy je měřená oblast maximálního poškození překryta kapotou vozidla či zdeformovanou karoserií (jako v našem případě, viz obr. 5).

Následné zpracování proběhlo v programu Virtual Crash 4.0, kde byla pořízená fotografie vložena do měřítka. Následně proběhlo porovnání a odečet hloubky deformace za pomoci 2D modelu ze softwaru AutoView. Čas potřebný pro měření byl cca 5 minut a pro zpracování cca 30 minut.



Obr. 4 Porovnání poškozeného a nepoškozeného vozidla.

Fig. 4 The comparison of damaged vehicle and undamaged vehicle.



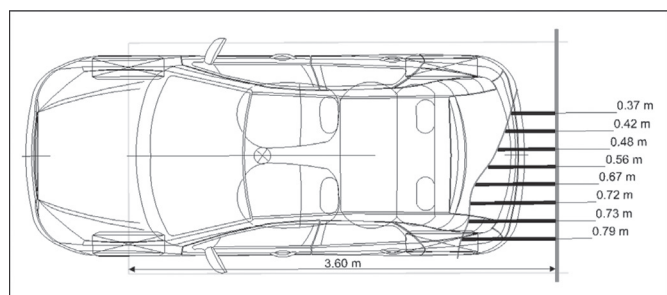
Obr. 5 Měření deformace za pomoci horní pohledové fotografie.
Fig. 5 Deformation measurement – top-view photography.

3.4 Měření deformace za pomoci měřicích tyčinek

Tato metoda, jež není v České republice moc rozšířená, umožňuje velmi snadné a rychlé odměření deformace. Měřicí tyčinky mají omezenou dostupnost a jsou vyráběny převážně na zakázku. Mezi velké výhody patří jednoduchá konstrukce a snadná manipulace [11]. Poměrně přesné odměření deformace umožňuje tato metoda zejména v případech, kdy nedošlo k markantní destrukci karoserie a je možno stanovit referenční body.



Obr. 6 Měření deformace za pomoci měřicích tyčinek.
Fig. 6 Deformation measurement – crush jigs.



Obr. 7 Měření deformace za pomoci měřicích tyčinek v programu Virtual Crash 4.0.
Fig. 7 Deformation measurement – crush jigs in Virtual Crash 4.0.

Postup měření není náročný na zaškolení obsluhy. Primárně je nutno určit referenční body, od kterých bude deformace odměřena. V tomto případě proběhlo měření od přední nápravy vozidla směrem k poškození. Osa přípravku byla umístěná 3,6 m od přední nápravy. Výška přípravku byla v oblasti maximální deformace, a to 80 cm od země. Následně byly rozmístěny měřicí tyčinky po 15 cm a přiloženy k deformaci, viz obr. 6. Čas potřebný pro měření byl cca 30 minut.

Při vyhodnocení získaných výsledků byly veškeré údaje přeneseny do programu Virtual Crash 4.0 (obr. 7) a za pomoci 2D modelu vozidla byla odměřena hloubka deformace. Čas potřebný pro vyhodnocení hloubky deformace byl cca 30 minut.

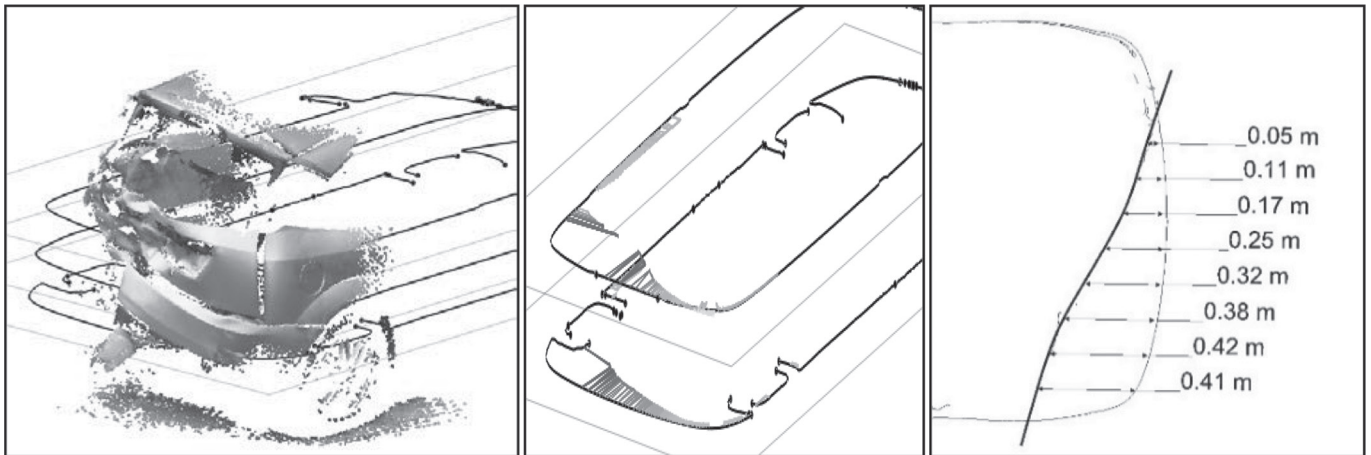
4. VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ

4.1 3D skenování

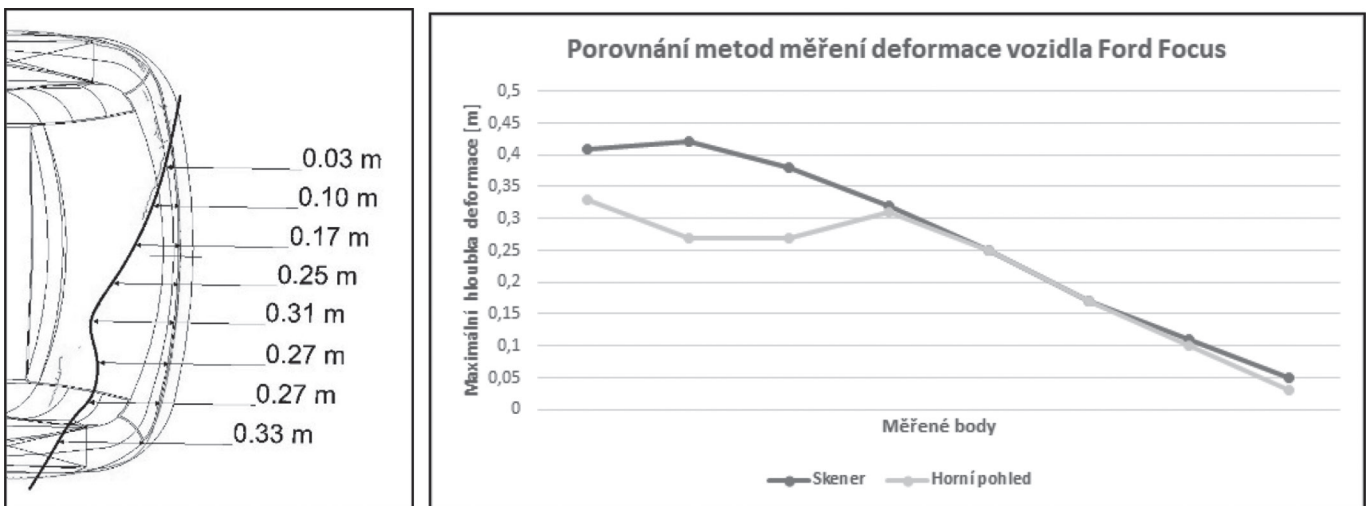
Měření proběhla v ideálních podmínkách, které na místě dopravní nehody nelze ve většině případů zajistit (jako jsou ideální podnební podmínky, dostatek času na místě dopravní nehody, dobře přístupné místo dopravní nehody, dostatek prostoru na měření apod.).

Na obr. 8, 9 a 10 jsou zobrazeny hloubky deformací vozidla Ford Focus v předem definovaných bodech po 15 cm. K maximální deformaci došlo v levé zadní části vozidla Ford Focus, kdy byl výrazně poškozen levý nárazník a dveře zavazadlového prostoru (páté dveře).

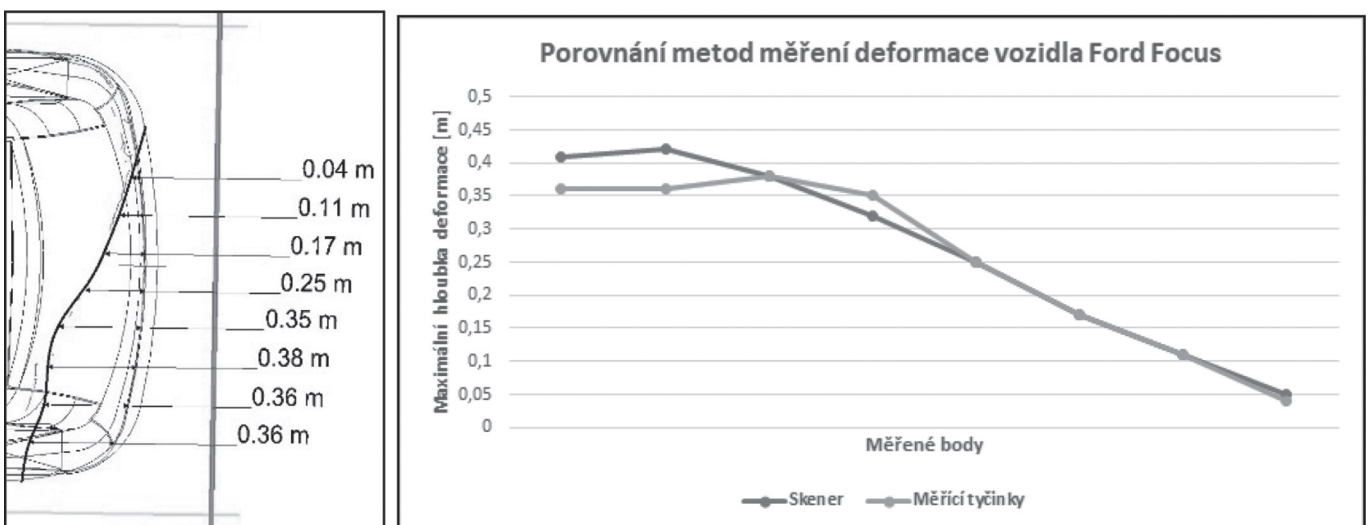
V případě měření hloubky deformace za pomoci trojrozměrné analýzy se maximální deformace pohybovala okolo 42 cm a minimální okolo 5 cm, viz obr. 8. Při odměření nedošlo k žádnému překrytí deformace, tudíž měření proběhlo za velmi dobrých podmínek.



Obr. 8 Hloubka deformace jednotlivých částí vozidla – 3D skener.
Fig. 8 Deformation depth – 3D scan.



Obr. 9 Hloubka deformace jednotlivých částí vozidla – horní pohled z fotografie.
Fig. 9 Deformation depth – top-view photography.



Obr. 10 Hloubka deformace jednotlivých částí vozidla – měřicí tyčinky (tzv. Crush JIG).
Fig. 10 Deformation depth – crush jig.

4.2 Měření deformace z horní pohledové fotografie

Maximální hloubka deformace měřená pomocí horního pohledu z fotografie byla stanovena na cca 33 cm a minimální na cca 3 cm. V případě tohoto měření dochází k výrazné nepřesnosti, jelikož nejvíce poškozenou část překrývá část zdeformovaných pátých dveří. Pro eliminaci nedostatku této metody je nezbytné využít kombinaci více metod (nivelační lať či měřicí tyčinky).

4.3 Měření za pomoci měřicích tyčinek

V případě měření za pomoci měřicích tyčinek (tzv. Crush JIG) nedocházelo k takovým odchylkám jako u předchozí metody. Maximální deformace se pohybovala okolo 38 cm a minimální cca 4 cm. Odchylka měření v tomto případě mohla nastat v důsledku špatného nastavení měřicích tyčinek či jejich držáků.

5. DISKUZE

Hlavním cílem tohoto článku bylo komparovat přesnost analýzy poškození vozidla s využitím konvenčních a levnějších metod (crush jig, fotografie) s nejmodernější metodou 3D skenování. Pro analýzu bylo vybráno vozidlo Ford Focus, které bylo poškozeno v zadní části. Měření proběhlo za ideálních podmínek, což na místě dopravní nehody nemusí být a ve většině případů není zajištěno.

Jak je možno vidět na obr. 11, při použití metody odečítání deformace za pomoci horního pohledu z fotografie docházelo k poměrně velké odchylce. Jednalo se o cca 15 cm, což může

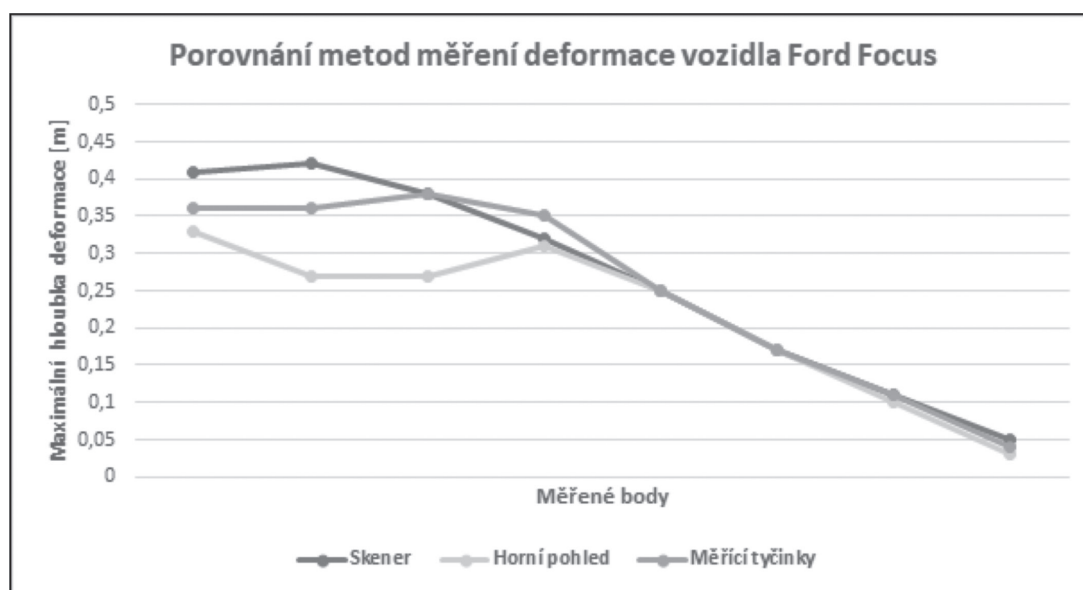
mít negativní dopad na stanovení deformační energie a tím i na samotnou analýzu nehodového děje. Toto potvrzuje i autor studie [2], kdy uvádí, že odchylka měření deformace při využití metody za pomoci horního pohledu fotografie je v rozmezí od 6 do 18 %. Jelikož komplexní analýza nehodového děje závisí na přesnosti vstupních dat, může v případě takto markantní odchylky docházet k nepřesnému výpočtu deformační energie, resp. EES, a tudíž i zkreslení výsledné střetové rychlosti. Výsledná nepřesnost této metody může být způsobena mnoha faktory: překrytí deformace karoserií či jinou zdeformovanou částí karoserie vozidla, deformace nebyla snímána kolmo k vozidlu, určení měřítka v rovině, kde provádíme měření apod. Tuto odchylku lze eliminovat např. využitím kombinace více metod měření (nivelační lať, svinovací metr apod).

Při použití měřicích tyčinek docházelo k odchylce v maximální hloubce deformace do cca 6 cm. Tato chyba je především přikládána špatnému nastavení měřicích tyčinek, a jak autor [17] ve svém článku uvádí, přesnost této metody závisí čistě na pečlivosti jedince při jednotlivých měřeních. V případě tohoto typu střetu je možno určit referenční body (které jsou důležité pro následnou analýzu) a zajistit tím dostatečně přesné výsledky pro analýzu nehodového děje. V případě markantního poškození či úplné destrukce karoserie je obtížné najít referenční body, použití této metody je problematické.

Výsledná přesnost každé z využitých metod je závislá na preciznosti zpracovatele, ale svojí roli zde hraje i časová náročnost, která je důležitou součástí tohoto porovnání. Odměření

Tab. 1 Porovnání časové náročnosti vybraných metod měření.
Tab. 1 Comparison of time complexity selected measurement methods.

Metoda měření	Faro FOCUS 3D skener	Fotografie (horní pohled)	Měřicí tyčinky Crush JIG
Čas potřebný pro měření [min]	40	5	30
Čas potřebný pro vyhodnocení [min]	90	30	30
Celkový čas [min]	130	35	60



Obr. 11 Hloubka deformace jednotlivých částí vozidla měřena za pomoci 3D skeneru, horního pohledu z fotografie a měřicích tyčinek.
Fig. 11 Deformation depth – comparison of selected methods (3D scan, top-view photography and crush jig).

deformace za pomoci 3D skeneru je velmi přesné, ale zpracování 3D modelu a následné odměření hloubky deformace může být časově velice náročné (např. když je vozidlo naskenované z více úhlů, je nastavena vysoká hustota bodů apod.). Časová náročnost v tomto případě byla celkově cca 130 minut. Oproti 3D skeneru je fotografie pořízena takřka během minuty, ale jak již bylo zmíněno výše, tato metoda je díky mnohým faktorům značně nepřesná. Celkové zpracování proběhlo za cca 35 minut. Metoda měření za pomoci měřicích tyčinek není v České republice takřka využívána. Mezi její výhody nesporně patří její přesnost a časová nenáročnost; měření vč. zpracování proběhlo za cca 60 minut.

6. ZÁVĚR

Řešení střetu vozidel, jehož součástí je určení deformační energie, je jednou z hlavních částí komplexní analýzy dopravních nehod. Přesné určení střetových rychlostí vozidel závisí na přesnosti určení několika parametrů – zejména tuhosti vozidla, hloubky deformace a deformační energie.

I přestože na místě dopravní nehody nejsou zajištěny ideální podmínky, je nezbytné pro objektivní analýzu nehodového děje zajistit co nejpřesnější data. Jak uvádí autoři v článku [18], na místě dopravní nehody je zapotřebí využívat takové metody, aby samotná analýza na místě dopravní nehody byla co nejkratší a neefektivnější. Do úvahy ovšem nelze brát pouze časovou náročnost, ale i finanční stránku výše zmíněných metod. Cílem tohoto článku bylo představit tři metody měření deformace. Na základě zjištěných výsledků bylo možno stanovit jejich použitelnost za ideálních podmínek.

Za nejpřesnější metodu měření lze považovat 3D laserový skener, který ale v současné době nemusí být finančně dostupný pro (samostatné) znalce a policii, která provádí ohledání vozidla po nehodě. 3D skenování umožňuje získat velmi přesné výsledky pro následnou analýzu nehodového děje i při poškození vozidla ve značném rozsahu. Jednou z limitací metody 3D skenování mohou být např. podmínky pro skenování. V některých případech (zejména v závislosti na typu skeneru) je využitelnost této metody omezena, a to například v případě silného deště, sněžení, v nepřístupném terénu, překrytí deformace kapotou apod. [18].

Konvenční metody jsou výrazně levnější než modernější metody dokumentace poškození vozidel, ale na místě dopravní nehody může být jejich použití zdoluhavé a v nepříznivých podmínkách velice nepřesné. Z výsledného porovnání se vhodnou alternativou z hlediska poměru ceny/přesnosti jeví měřicí tyčinky. Výhodou této metody je nízká pořizovací cena i časová náročnost a přijatelná odchylka měření. Využití měřicích tyčinek ale může být limitováno charakterem poškození vozidla (nelze-li např. nalézt vhodné referenční body).

Pro analýzu využitelnosti a přesnosti těchto metod je třeba dále analyzovat různé typy poškození vozidel a různý rozsah deformace a následně vybrané metody a jejich využitelnost verifikovat při ohledání na místech reálných dopravních nehod.

Navazující výzkumné aktivity si kladou za cíl na základě definovaných limitů jednotlivých metod stanovit metodiku pro měření deformace v závislosti na charakteru poškození vozidla. Cílem navazující práce pak bude zejména kvantifikovat vliv odchylek měření jednotlivými metodami na výsledné stanovení deformační energie, resp. parametru EES a související stanovení

střetové rychlosti vozidla. Výstupy této práce by tak měly přímý aplikační potenciál v soudním znalectví.

7. DEDIKACE

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

8. LITERATURA

- [1] ARNOLD E. D. *Use of Photogrammetry as a Tool for Accident Investigation and Reconstruction*, Virginia Department of Transportation. 2007.
- [2] BODDORFF, T. C. AND JONES, I. S. "Simple Overhead Photography Techniques for Vehicle Accident Reconstruction," SAE Technical Paper 900370, 1990.
- [3] CALLAHAN, M. A., LEBLANC, B., VREELAND, R., BRETTING, G. (2012). *Close-Range Photogrammetry with Laser Scan Point Clouds*. SAE Technical Paper Series. doi:10.4271/2012-01-0607.
- [4] CAMPBELL, K. L. (1974). *Energy Basis for Collision Severity*. SAE Technical Paper Series. doi:10.4271/740565.
- [5] COLEMAN, C., TANDY, D., COLBORN, J., AULT, N. (2015). *Applying Camera Matching Methods to Laser Scanned Three Dimensional Scene Data with Comparisons to Other Methods*. SAE Technical Paper Series. doi:10.4271/2015-01-1416.
- [6] ERICKSON, M., BAUER, J., HAYES, W. (2013). The Accuracy of Photo-Based Three-Dimensional Scanning for Collision Reconstruction Using 123D Catch, SAE Technical Paper 2013-01-0784.
- [7] HARRINGTON, S., LEBAK, G. (2018). *The Placement of Digitized Objects in a Point Cloud as a Photogrammetric Technique*. SAE International Journal of Transportation Safety, 6(2). doi:10.4271/09-06-02-0007.
- [8] HOXHA, G., SHALA, A., LIKAJ, R. (2017). *Vehicle Speed Determination in Case of Road Accident by Software Method and Comparing of Results with the Mathematical Model*. Strojnícky Casopis – Journal of Mechanical Engineering, 67(2), 51–60. doi:10.1515/scjme-2017-0017.
- [9] Kang, H., HAN, I. *3-Dimensional Scanning/Modeling for Analysis of Vehicle Collision Accidents*. Transactions of KSAE. 2017, 25(5), 541 – 547. DOI: <https://doi.org/10.7467/KSAE.2017.25.5.541>. ISSN 2234-0149.
- [10] MCHENRY, R. R., MCHENRY, B. G. (1986). *A Revised Damage Analysis Procedure for the CRASH Computer Program*. SAE Technical Paper Series. doi:10.4271/861894.
- [11] MORAVCOVÁ, P., MIKULEC, R., BUCSUHÁZY, K., BILÍK, M., KOSTÍKOVÁ, M. *Z badań nad zależnościami między energią zderzenia a deformacją pojazdu*. Paragraf na drodze, 2019, roč. 1, č. 2, s. 45–61. ISSN: 1505-3520.
- [12] Point Cloud Import. Virtual CRASH: *Accident Reconstruction Software* [online]. Dostupné z: <https://www.vcrashusa.com/guide-chapter20/#Pointcloudimport>.
- [13] STÁŇA, I., TOKAŘ, S., BUCSUHÁZY, K., BILÍK, M. (2017). *Comparison of utilization of conventional and advanced methods for traffic accidents scene documentation in the Czech*

- Republic. *Procedia engineering*, 187, 471–476.
- [14] STÁŇA, I., RYBKA, J., NOVÁK., M., BUCSUHÁZY, K. *Využití pokročilých metod dokumentace místa dopravní nehody policií ČR*. *Soudní inženýrství* [online]. Akademické nakladatelství CERM, 2019, 30(2), 3–7 [cit. 2020-04-16]. DOI: 10.13164/SI.2019.2.3. ISSN 1211-443X. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/180484>.
- [15] ŠTRONER, M. a kol. *3D skenovací systémy*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2013. 394 s. ISBN 978-80-01-05371-3.
- [16] TANDY, D. F., COLEMAN, C., COLBORN, J., HOOVER, T., BAE, J. (2012). *Benefits and Methodology for Dimensioning a Vehicle Using a 3D Scanner for Accident Reconstruction Purposes*. SAE Technical Paper Series. doi:10.4271/2012-01-0617.
- [17] TOKAŘ, S. FEDRA, T. Návrh měřicího zařízení a metodiky pro odměřování deformací na vozidle. *Soudní inženýrství*, 2013, roč. 23, č. 4, s. 288–295. ISSN 1211-443X.
- [18] TOPOLŠEK D, HERBAJ EA, STERNAD M. *The Accuracy Analysis of Measurement Tools for Traffic Accident Investigation*. *Journal of Transportation Technologies*, 2014; 4(01): 84–92. doi: 10.4236/jtts.2014. 41008.

Správná citace:

MORAVCOVÁ, P., BUCSUHÁZY, K., BRADÁČ, A. Porovnání vybraných metod měření pro stanovení hloubky deformace vozidla. *Soudní inženýrství*, 2020, 31(3), 2–9. DOI: <http://dx.doi.org/10.13164/SI.2020.1.2>. ISSN 1211-443X.