

UDK 681.783:004.352:340.6:656.1  
Pregledni znanstveni članak

# Primjena laserskog skeniranja pri analiziranju štete na vozilima nakon prometnih nesreća

**Admir MULAHUSIĆ – Sarajevo<sup>1</sup>, Dubravko GAJSKI – Zagreb<sup>2</sup>,  
Nedim TUNO, Jusuf TOPOLJAK, Emina ZEC – Sarajevo<sup>1</sup>,  
Mirnes BOJIĆ – Sarajevo<sup>3</sup>**

*SAŽETAK. Lasersko skeniranje napredna je mjerna tehnologija koja ima znatnu primjenu u mnogim područjima ljudske djelatnosti u svrhu efikasnog, učinkovitog i prije svega vremenski i prostorno pouzdanog rješavanja nastalih problema. Jedna od najvažnijih je primjena laserskog skeniranja u forenzici. Primjena laserskog skeniranja u istraživanju prometnih nesreća relativno je nova i još uvijek nedovoljno istražena mogućnost. Zbog toga se ovaj rad bavi mogućnostima primjene laserskog skeniranja pri rekonstrukciji prometnih nesreća.*

*Ključne riječi: lasersko skeniranje, Image Master, rekonstrukcija prometnih nesreća.*

## 1. Uvod

Razvoj tehnologije nudi mnogobrojne mogućnosti koje su na početku prošlog stoljeća bile nezamislive. Automobilaska industrija razvija se velikom brzinom. Automobili današnjice kreiraju se tako da izdrže velike brzine te istovremeno pružaju sigurnost korisnicima. Međutim, automobilske nesreće događaju se unatoč svim mjerama opreza. Razlozi za to su mnogobrojni: vremenski uvjeti, nepoštovanje horizontalne i vertikalne prometne signalizacije, loša mreža prometnica, nepažnja vozača, vožnja pod utjecajem alkohola i vrlo često prekoračenje dopuštene brzine. Ipak, kada se nesreća jednom dogodi, potrebno je što brže ukloniti ostatke vozila s prometnice i ponovno uspostaviti normalno odvijanje prometa.

<sup>1</sup> prof. dr. sc. Admir Mulahusić, Građevinski fakultet Univerziteta u Sarajevu, Patriotske lige 30, BA-71000 Sarajevo, Bosna i Hercegovina, e-mail: admir\_mulahusic@gf.unsa.ba,

doc. dr. sc. Nedim Tuno, Građevinski fakultet Univerziteta u Sarajevu, Patriotske lige 30, BA-71000 Sarajevo, Bosna i Hercegovina, e-mail: nedim\_tuno@gf.unsa.ba,

mr. sc. Jusuf Topoljak, Građevinski fakultet Univerziteta u Sarajevu, Patriotske lige 30, BA-71000 Sarajevo, Bosna i Hercegovina, e-mail: jusuf\_topoljak@gf.unsa.ba,

Emina Zec, MA geodezije – dipl. ing. geod., Građevinski fakultet Univerziteta u Sarajevu, Patriotske lige 30, BA-71000 Sarajevo, Bosna i Hercegovina, e-mail: emina.zec@gmail.com,

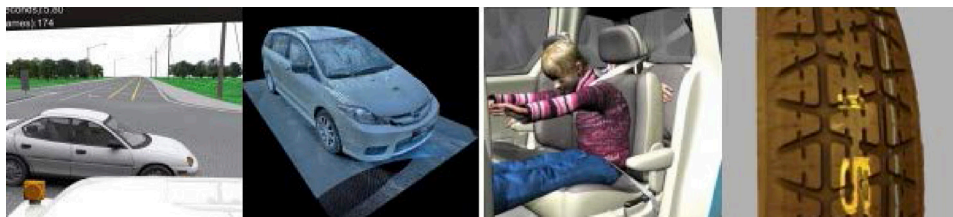
<sup>2</sup> doc. dr. sc. Dubravko Gajski, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, HR-10000 Zagreb, Croatia, e-mail: dgajski@geof.hr,

<sup>3</sup> Mirnes Bojić, dipl. ing. geod., BNpro d.o.o., Buka 6, BA-71000 Sarajevo, Bosna i Hercegovina, e-mail: mirnes8686@hotmail.com.

Metode rekonstrukcije prometnih nesreća mnogobrojne su i veoma je teško odabrati koja od njih daje najbolje rezultate. Nekada je dovoljno obaviti mjerenje samo mjernom vrpcom, međutim u mnogim situacijama upotrebljavaju se totalne stanice ili fotogrametrijska mjerenja, ali nijedna od navedenih metoda ne osigurava kompletnost podataka kao lasersko skeniranje. Pod kompletnosti podataka podrazumijeva se efikasnost prikupljanja potrebnih podataka i vrlo brza mogućnost dobivanja grafičkog prikaza područja nezgode.

Metoda terestričkog laserskog skeniranja jedna je od naprednih tehnika snimanja koja omogućava brzo, detaljno i precizno digitalno 3D dokumentiranje snimanog područja (Comert i dr. 2012). Terestričko lasersko skeniranje precizna je i veoma brza metoda dobivanja 3D koordinata točaka. Prednosti su te metode mnogobrojne, a najvažnija je mogućnost dobivanja modela snimljenog objekta u 3D virtualnom prostoru u najkraćem mogućem roku. Posljednjih godina razvoj računalne tehnologije uzrokovao je sve veću „revoluciju“ digitalne obrade i prikaza prostornog položaja i konstrukcija na površini Zemlje te razvoja 3D tehnika (Dimen i dr. 2012).

U postupku koji se vodi kao posljedica prometne nesreće najvažnije je točno utvrditi sve relevantne činjenice, pri čemu je najkritičniji aspekt prikupljanje pouzdanih podataka na mjestu nesreće (Ehigiator-Irughe i Ehigiator 2012). Neminovni sudionici u postupku rješavanja tih slučajeva su geodetski stručnjaci specijalizirani za lasersko skeniranje, koji će u svojstvu vještaka geodetske struke prikazati situaciju nastalu nakon prometne nezgode. Samo na temelju poznavanja i razumijevanja svih relevantnih činjenica, pravni stručnjaci (odvjetnici, tužitelji i suci) mogu pravilno upotrijebiti pravne norme i presuđivati o pitanjima krivične ili civilne odgovornosti sudionika u prometnoj nesreći.



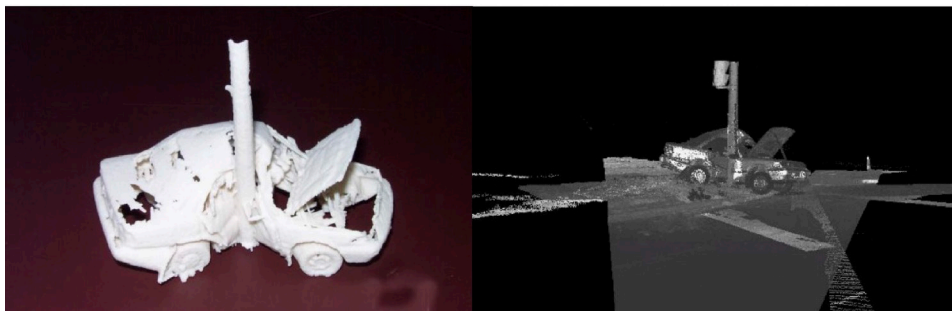
Slika 1. *Različite upotrebe laserskog skeniranja pri rekonstrukcijama prometnih nesreća (URL 2).*

Lasersko skeniranje ima veliki potencijal kao metoda za prikupljanje podataka pri rekonstrukciji prometnih nesreća (slika 1). Prednosti te relativno nove tehnologije uključuju:

- *Sigurnost* – kako su terestrički laserski skeneri bezdodirni instrumenti i realiziraju mjerenja bez uporabe reflektora, operator ne mora riskirati i kretati se u prometnoj zoni da bi postavio prizmu na točke važne za prometnu nesreću.
- *Brzina prikupljanja podataka* – prikupljanje podataka laserskim skenerima veoma je brzo (frekvencije od 1 do 400 KHz, ovisno o instrumentu). Kada je nužno zaustavljanje prometa, prekid u odvijanju prometa će biti minimalan.

- *Cijena* – dugotrajno zatvaranje prometnih trakova može uzrokovati znatne novčane gubitke.

Dokazi prikupljeni laserskim skenerom uvjerljiviji su od fotografija te je na osnovi njih moguće kreirati 3D prikaze ili čak i animacije koje prikazuju tijek događaja, što se s lakoćom može interpretirati tijekom sudskih procesa (Komar i dr. 2012). Jedan od glavnih razloga zašto je lasersko skeniranje bolji izbor pri rekonstrukciji prometnih nesreća je taj da je njime moguće snimiti pet milijuna točaka za oko sat vremena. Oblak točaka, zajedno s fotografijama koje snima isti instrument, omogućava brzu izradu 3D modela kompletne lokacije (slika 2). Digitalni 3D modeli također pomažu istražiteljima pri analizi događaja u sudaru, mjerenjem deformacija na vozilu. Time je omogućeno određivanje brzine pri udaru i ostalih bitnih faktora.



Slika 2. Preliminarni 3D model vozila (lijevo), 3D model mjesta nesreće (desno) (Jenkins 2005).

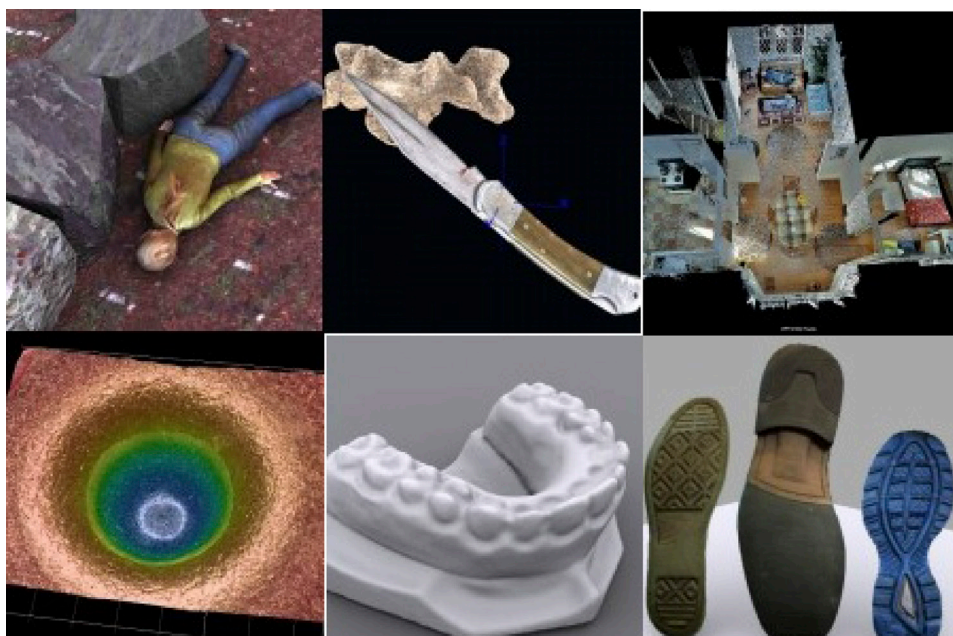
Na području rekonstrukcije nesreće iznimno je važno mjerenje deformacija vozila (tj. automobila, kamiona, motocikala itd.) nakon što je došlo do udesa (Tandy i dr. 2012).

## 2. Primjena laserskog skeniranja u forenzici

Kako laserski skeneri postaju uobičajen alat za bilježenje i prezentaciju dokaza, policajci, forenzički tehničari, advokati i ostali uključeni u pravni proces moraju biti svjesni mogućnosti, prednosti i nedostataka primjene te tehnologije u procesu prikupljanja podataka te u načinu njihove upotrebe pri analizi dokaza prikupljenih na mjestu događaja. Početak bilo koje forenzičke istrage je prikupljanje, pregled i analiza dokaza (slika 3). Glavno je pravilo: što je bolja kvaliteta dokaza, bolja je i analiza i mogućnost rješavanja slučaja.

Kao što je već navedeno, postoji mnogo načina za klasifikaciju laserskih skenera, a time i skeniranja. Sa stajališta forenzike ta se podjela temelji na veličini skeniranog objekta i najvećoj mogućoj udaljenosti od skenera do objekta. Skeniranje se može podijeliti na (URL 2):

1. *Mikroskeniranje* – skenirani objekti su veličine do nekoliko centimetara.
2. *Blizupredmetno skeniranje* – udaljenost između skenera i objekta iznosi do tri metra.
3. *Skeniranje na srednjim udaljenostima* – udaljenost između skenera i objekta je između 30 i 120 m.
4. *Skeniranje na velikim udaljenostima* – dokazi udaljeni i do 1500 m.
5. *Skeniranje na veoma velikim udaljenostima i kinematičko skeniranje* – postoje i skeneri kojima je moguće mjeriti dužine od nekoliko kilometara, te skeneri koje je moguće postaviti na vozilo i tako obavljati skeniranje.



Slika 3. Različite primjene laserskog skeniranja u forenzici (URL 1).

### 3. Tijek istraživanja prometne nesreće

Prije početka istrage potrebno je obaviti detaljnu pripremu koja podrazumijeva izbor tima geodeta specijaliziranih za postupak laserskog skeniranja, provjeru opreme i testna mjerenja. Nakon što tim stigne na mjesto nesreće treba provesti inicijalnu proceduru i sam incident tretirati kao mjesto zločina. Potrebno je brzo i pažljivo pristupiti mjestu nesreće, s posebnim naglaskom na sve ljude, vozila, događaje, potencijalne dokaze i uvjete okoline.

Proces istraživanja prometne nesreće (slika 4) obično podrazumijeva pet razina aktivnosti (Pagounis i dr. 2006):



Slika 4. Uvidaj prometne nesreće (URL 5).

- izvještavanje – podrazumijeva jednostavno istraživanje, koje omogućava identificiranje i klasifikaciju nesreće,
- istraga mjesta nesreće – dodatno prikupljanje podataka na mjestu događaja i dokaza nastalih kao rezultat nesreće (krhotine vozila, tragovi kočenja itd.),
- tehničko istraživanje – utvrđuje okolnosti nesreće kao što su brzina i ubrzanje vozila, vidljivost i slično,
- profesionalna rekonstrukcija nesreće – određena iz prikupljenih podataka o tome u kojoj mjeri su vozač, vozilo i prometnica utjecali na nesreću,
- analiza uzroka – iz svih raspoloživih podataka otkriva zašto se dogodila nesreća (jesu li uzroci vezani uz nedostatke ceste ili vozila).

Prikupljanje i obrada podataka najvažniji su dijelovi pri istrazi prometne nesreće. Alati koji se upotrebljavaju prilikom snimanja mjesta nesreće trebaju biti tehnički sofisticirani instrumenti koji omogućavaju precizno, brzo i uniformno prikupljanje podataka. Proces mjerenja treba obaviti u najkraćem mogućem vremenskom razdoblju kako bi prekid prometa bio kratkotrajan, što se može negativno odraziti na točnost prikupljenih podataka (Topolšek i dr. 2014). Važno je prije početka mjerenja ustanoviti vremenski okvir unutar kojega skeniranje treba biti završeno.

Najvažniji dokazi na mjestu nesreće obično su kratkoročni: privremeni tragovi i oznake koji omogućavaju detaljne zaključke o kretanju vozila i brzini vozila. No i drugi tragovi koji su trajnije naravi, poput prometnih znakova ili lampiona, mogu biti relevantni za ispravno vrednovanje scenarija. Tragovi navedeni u tablici 1 temeljni su za istraživanja prometnih nesreća (Vock 2013).



Tablica 1. *Relevantni površinski tragovi za rekonstrukciju prometne nesreće (Vock 2013) ujedno su i detalji koje je potrebno snimiti.*

Tragovi na površini ulice	Tragovi u području okoline nesreće
• tragovi klizanja vozila	• abrazije (ogrebotine)
• policijske oznake	• otisci
• dijelovi vozila	• okluzije
• prepreke	• dijelovi vozila
• položaj vozila	• položaj vozila

Pojava terestričkih laserskih skenera omogućila je 3D prikaz događaja u prometnoj nesreći na sigurniji način, s obzirom na to da se podaci mogu prikupiti bez zatvaranja ceste i prekida prometa. Često se obavljaju dodatna skeniranja nakon što se sklone sva vozila koja su sudjelovala u nesreći. To podrazumijeva skeniranje prometnice na mjestu na kojem se dogodila nesreća da bi se ustanovila eventualna oštećenja ili nedostaci ceste koji su mogli dovesti do nesreće.

## 4. Analiziranje oštećenog vozila

Na idućim stranicama prikazan je postupak izrade 3D modela dvaju vozila (ispravnog i oštećenog) korištenjem podataka laserskog skeniranja. Objasneni su svi korišteni postupci, kako prilikom prikupljanja podataka tako i u toku njihove obrade. Za obradu podataka skeniranja korišten je softver Topcon Image Master, a odabrani tip vozila bio je Ford Fiesta.

### 4.1. Rad na terenu

Prije samog skeniranja, u oba slučaja stabilizirana je lokalna mreža od po četiri točke. Točke su raspoređene na taj način da je omogućena dobra vidljivost snimanog objekta sa svih stajališta. Nakon što je instrument aklimatiziran, centriran i horizontiran, pristupilo se odgovarajućim podešavanjima. Da bi se obavila bilo kakva mjerenja, prvo je bilo potrebno kreirati novi projekt u kojem će se nalaziti i koordinate točaka lokalne mreže te podaci skeniranja. Uspostavljen je lokalni koordinatni sustav pri čemu je, u slučaju oštećenog vozila, kao ishodište poslužila točka A ( $X, Y, Z$ ), a koordinate ostalih točaka određene su polarnom metodom. Skica mreže koja je poslužila kao osnova skeniranja oštećenog vozila te koordinate točaka prikazani su na slici 5a.

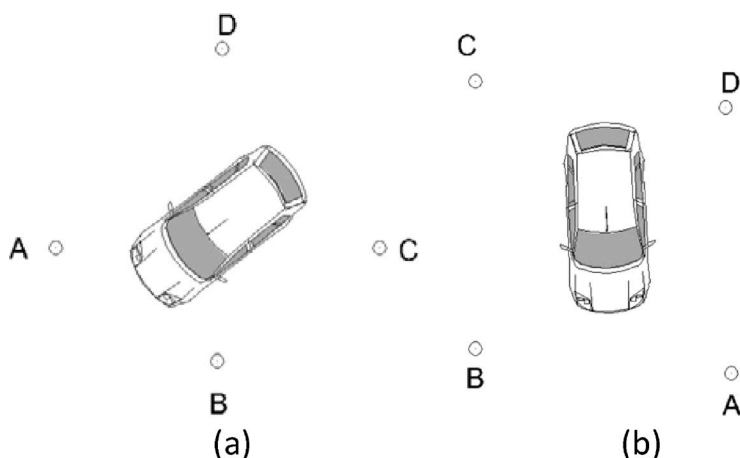
Za terenska mjerenja korišten je sljedeći instrumentarij:

- slikovni tahimetar Topcon Imaging Station 3, robotizirani instrument s mogućnošću laserskog skeniranja (Caprioli i Scognamiglio 2009, Stojnović i dr. 2012),
- reflektor i štap za reflektor,
- stativ za instrument i
- džepni metar.

Isti postupak ponovljen je i u slučaju ispravnog vozila, a kao ishodište lokalnoga koordinatnog sustava poslužila je točka B. Skica mreže i koordinate točaka u mreži prikazani su na slici 5b. Terenska mjerenja prilikom korištenja laserskog skeniranja podrazumijevaju prije svega dobar odabir mreže. U postupku rekonstrukcije nesreće snimani objekt nije potrebno povezati s državnom mrežom. Dovoljno je razviti manju lokalnu mrežu, i to tako da su točke mreže dobro raspoređene oko snimanog objekta. U slučajevima kada je to moguće, korisno je snimiti objekt u cijelosti. Kada je riječ o važnoj prometnici, na kojoj promet treba brzo uspostaviti, za procjenu faktora nesreće dovoljno je snimiti samo dijelove vozila oštećenih u sudaru.

Jedan od najvažnijih parametara laserskog skeniranja je rezolucija snimanja. Što je razmak između susjednih točaka u oblaku točaka manji, to je veća detaljnost i bolja kvaliteta konačnog 3D modela. Odabir rezolucije ovisi o vremenu raspoloživom za snimanje te o karakteristikama instrumenta koji se koristi. Stoga je veoma važno ispravno odabrati rezoluciju snimanja kako bi se, što je moguće brže, dobili što kvalitetniji rezultati.

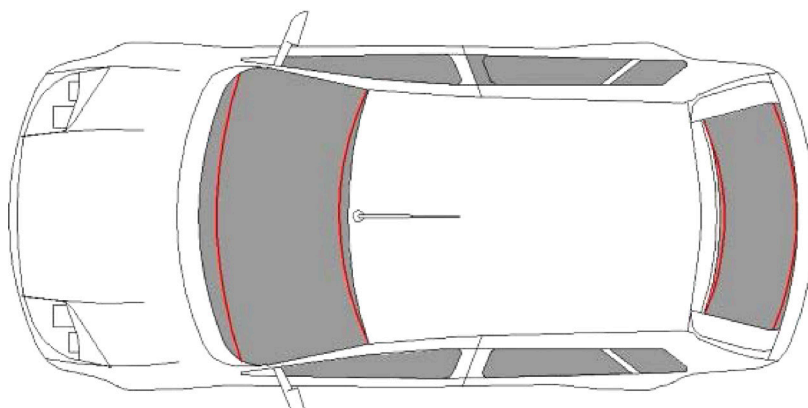
Točka	Mreža za skeniranje oštećenog vozila			Mreža za skeniranje ispravnog vozila		
	X [m]	Y [m]	Z [m]	X [m]	Y [m]	Z [m]
A	0,000	0,000	0,000	-0,477	4,850	-0,015
B	-5,776	3,865	0,076	0,000	0,000	0,000
C	0,000	11,581	-0,004	8,048	-0,006	0,057
D	5,962	6,807	-0,070	8,782	3,487	0,060



Slika 5. (a) Skica mreže i položaj oštećenog vozila u mreži; (b) skica mreže i položaj ispravnog vozila u mreži.

## 4.2. Kontrolna mjerenja

U svrhu kontrole dobivenih rezultata i ocjene točnosti 3D modela obaju vozila obavljena su kontrolna mjerenja. Kontrolna mjerenja sastojala su se od dva dijela. Na oba vozila izmjereni su frontovi (slika 6), a zatim i koordinate detaljnih točaka na ispravnom vozilu. Ako se upotrebljavaju nereflektirajuće samoljepive markice, kontrolna mjerenja treba obaviti instrumentom koji ima mogućnost mjerenja dužina bez reflektora. Alternativa takvim mjerenjima je mjerenje horizontalnih pravaca i određivanje koordinata detaljnih točaka presjekom naprijed. Za potrebe ovog rada koordinate detaljnih točaka određene su polarnom metodom pomoću instrumenta Topcon Imaging Station. Prilikom uporabe reflektirajućih samoljepivih markica može se koristiti totalna stanica.



Slika 6. *Mjereni frontovi.*

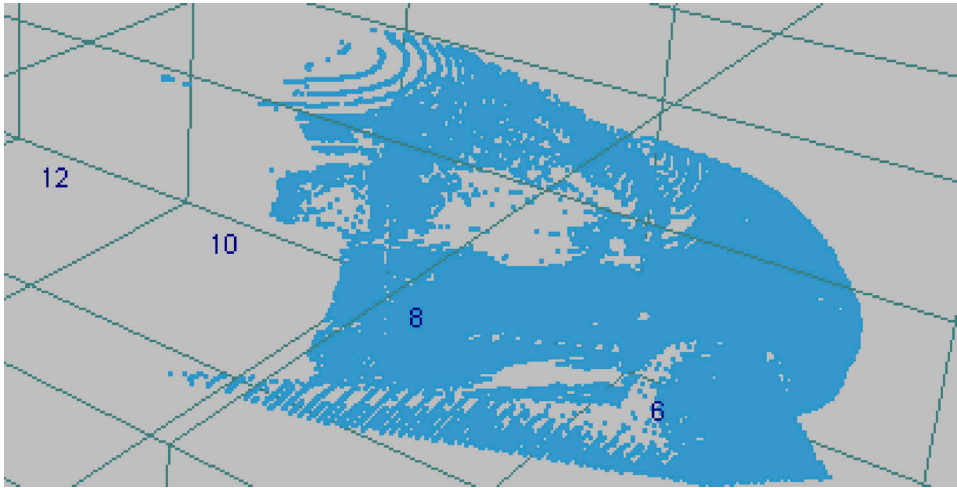
## 4.3. Obrada podataka

Kada su svi radovi na terenu završeni pristupa se obradi podataka. Podaci su obrađeni u softveru *ImageMaster*, razvijenom za potrebe obrade podataka laserskog skeniranja prikupljenih instrumentom Topcon IS (Hamzah i Said 2011). *Image Master* je paket aplikacija pomoću kojeg je moguće lako pregledati snimljene podatke, upravljati 3D modelom, pri pregledu izrezivati podatke, upravljati slojevima, mjeriti i pregledati projekt obrađen u bilo kojoj drugoj verziji softvera. Obrada podataka sastoji se od niza radnji koje poboljšavaju izgled i točnost konačnog 3D modela.

Nakon što se uveze oblak točaka (slika 7), potrebno je izvršiti određene modifikacije. Objekti koji nisu važni, kao i točke koje su snimljene slučajno, brišu se. Svaki pojedini oblak točaka potrebno je urediti prije kreiranja TIN mreže. Što se više vremena posveti brisanju točaka u oblaku točaka, to će biti lakša obrada ploha. Nakon što se obrišu sve nebitne točke, pristupa se kreiranju TIN-a (engl. Triangular Irregular Network – TIN), odnosno triangulacijska nepravilna mreža predstavlja mrežu međusobno spojenih trokutova.

U softveru *Image Master for IS* TIN mreža se kreira od točaka i polilinja koje su u tom trenutku prikazane. U ovome radu polilinja je korištena za iscrtavanje prozora te za dopunu mreže u dijelovima gdje je mala gustoća točaka. Takav je

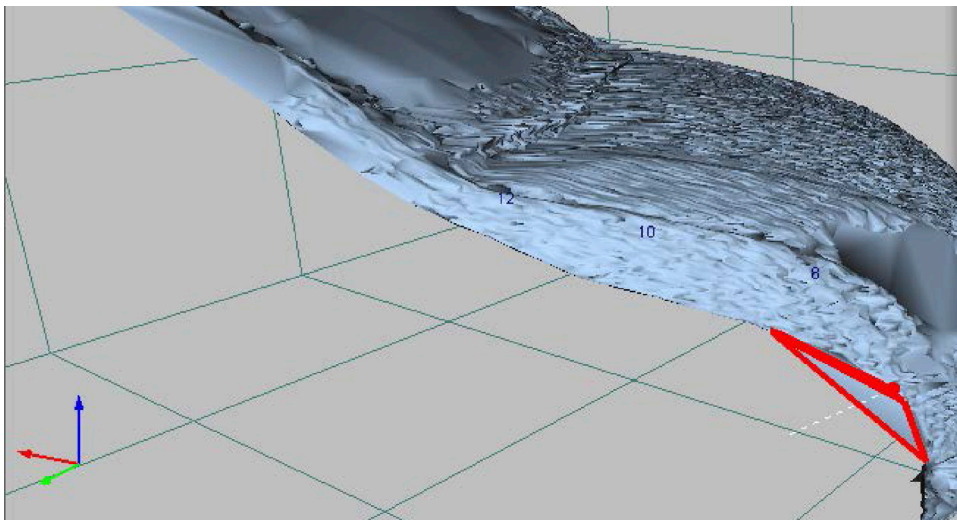




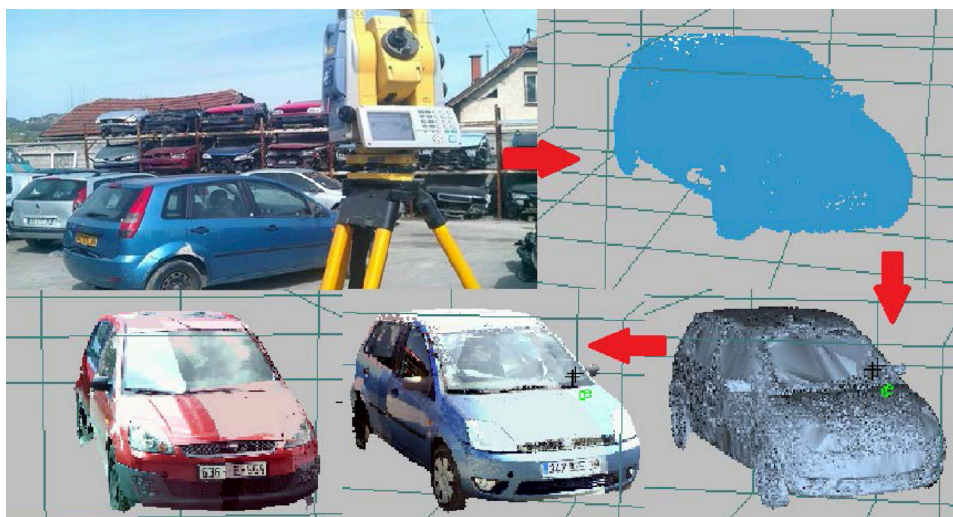
Slika 7. Izvorni oblak točaka.

slučaj s felgama na ispravnom vozilu. S obzirom na to da su kotači vozila veoma tamni, čak ni nakon ponovljenih mjerenja nije bilo moguće povećati gustoću snimljenih točaka. Tada su pojedini dijelovi iscrtani polilinijom, što je u izvjesnoj mjeri popravilo kvalitetu konačnog modela.

Obrada ploha (slika 8) najzahtjevniji je i najdugotrajniji dio obrade podataka laserskog skeniranja i iziskuje mnogo truda kako bi se postigli kvalitetni rezultati. Nakon što je kreiran TIN, potrebno je otkloniti sve nepravilnosti prije nanošenja teksture. Kako je površina automobila visokoreflektirajuća, snimljeni podaci nisu najbolje kvalitete. Zbog toga je obrada ploha u ovom konkretnom slučaju



Slika 8. Detalj postupka obrade plohe.



Slika 9. Primijenjeni postupci.

zahtjevnija nego li u slučaju obrade npr. betonske površine. Dijelovi mreže koji su višak mogu se brisati, a pojedinačne trokuteve također je moguće obrisati korištenjem raspoloživih alata. Nakon završene obrade plohe potrebno je nanijeti teksturu, a praktični rezultati oštećenog i neoštećenog vozila vidljivi su na slici 9.

#### 4.4. Ocjena točnosti

Da bi se izvršila ocjena točnosti 3D modela vozila obavljene su dvije provjere mjerenih vrijednosti. Uspoređene su mjerene dužine (frontovi) na vozilima i na odgovarajućim 3D modelima. Nakon toga su za ispravno vozilo uspoređene koordinate očitane na 3D modelu s koordinatama dobivenim polarnom metodom.

##### 4.4.1. Ocjena točnosti na osnovi mjerenih frontova

Dio uspoređivanja mjerenja dobivenih na 3D modelima i mjerenja na vozilu prikazuje tablica 2.

Tablica 2. Mjerene dužine na oštećenom vozilu i na 3D modelu oštećenog vozila.

	Vozilo		3D model	
	Prednje vjetrobransko staklo	Zadnje vjetrobransko staklo	Prednje vjetrobransko staklo	Zadnje vjetrobransko staklo
Gornja strana [m]	1,097	1,012	1,096	1,015
Donja strana [m]	1,375	1,198	1,373	1,201

Razlike između pojedinih dužina na vozilu i 3D modelu prikazuje tablica 3. Dobi-  
vene razlike izračunate su na osnovi:

$$\Delta d = d_{\text{vozilo}} - d_{\text{3D model}} . \quad (1)$$

Tablica 3. *Razlike mjerenih dužina na ispravnom vozilu  $\Delta d$ .*

	<b>Prednje vjetrobransko staklo</b>	<b>Zadnje vjetrobransko staklo</b>
Gornja strana [m]	-0,003	-0,002
Donja strana [m]	0,001	0,002

Za potrebe dodatne provjere izmjerene su dužine između markica na vozilu i na 3D modelu. U sljedećoj tablici prikazani su rezultati mjerenja.

Tablica 4. *Mjerene dužine između markica na ispravnom vozilu i na 3D modelu isprav-  
nog vozila.*

	<b>Vozilo</b>		<b>3D model</b>	
	<b>Prednje vjetrobransko staklo</b>	<b>Zadnje vjetrobransko staklo</b>	<b>Prednje vjetrobransko staklo</b>	<b>Zadnje vjetrobransko staklo</b>
Gornja strana [m]	1,072	-	1,071	-
Donja strana [m]	-	1,174	-	1,175

Iduća tablica prikazuje razlike mjerenih dužina između fotosignala.

Tablica 5. *Razlike mjerenih dužina između fotosignala na ispravnom vozilu.*

	<b>Prednje vjetrobransko staklo</b>	<b>Zadnje vjetrobransko staklo</b>
Gornja strana [m]	0,001	-
Donja strana [m]	-	-0,001

#### 4.4.2. Ocjena točnosti na osnovi koordinata detaljnih točaka

Koordinate točaka dobivene su metodom polarnog snimanja, ali su i očitane na 3D modelu. Nakon tako dobivenih vrijednosti koordinata izračunate su koordinatne razlike  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$  i  $\Delta Z$ , a potom je izvršena ocjena točnosti (tablica 6).

Tablica 6. *Koordinatne razlike i ocjena točnosti [m].*

Broj točke	$\Delta X = X_{mjereno} - X$	$\Delta Y = Y_{mjereno} - Y$	$\Delta Z = Z_{mjereno} - Z$	$\Delta_{XY}$	$\Delta_{XYZ}$
1	-0,008	0,001	-0,008	0,008	0,011
2	-0,014	-0,007	-0,012	0,016	0,020
3	0,016	-0,004	-0,002	0,016	0,017
4	0,000	-0,005	-0,001	0,005	0,005
5	0,021	0,014	-0,003	0,025	0,025
6	0,021	0,012	-0,003	0,024	0,024
$\sigma$	0,015	0,008	0,006	0,017	0,018

Najveća pojedinačna koordinatna razlika iznosi 21 mm, što je ujedno i najveće odstupanje koordinate  $X$ . Najveće odstupanje koordinate  $Y$  iznosi 14 mm, a koordinate  $Z$  8 mm. Najveća vrijednost horizontalnog odstupanja nalazi se na točki 5 i iznosi 25 mm, a na toj točki je i najveće prostorno odstupanje. Najveće standardno odstupanje u iznosu 15 mm ima koordinata  $X$ . Standardno odstupanje koordinate  $Y$  je 8 mm, a koordinate  $Z$  6 mm. Standardno položajno horizontalno odstupanje je 17 mm, a prostorno 18 mm. Iz tih vrijednosti može se zaključiti da je uporabom laserskog skeniranja moguće dobiti točnost, koja je sasvim dovoljna za potrebe rekonstrukcije prometnih nesreća.

#### 4.5. Analiza prometne nesreće

Nakon što su 3D modeli obaju vozila završeni, ispitani su svi faktori koji su bili relevantni u trenutku nesreće. U tu svrhu izmjerene su udaljenosti između dviju ploha na oba vozila, i to na mjestu na kojem je vozilo oštećeno. Mjerenja su uključila četrnaest identičnih točaka međusobno udaljenih 10 cm (slika 10). Rezultati mjerenja i razlike mjerenih dužina prikazani su u sljedećoj tablici.

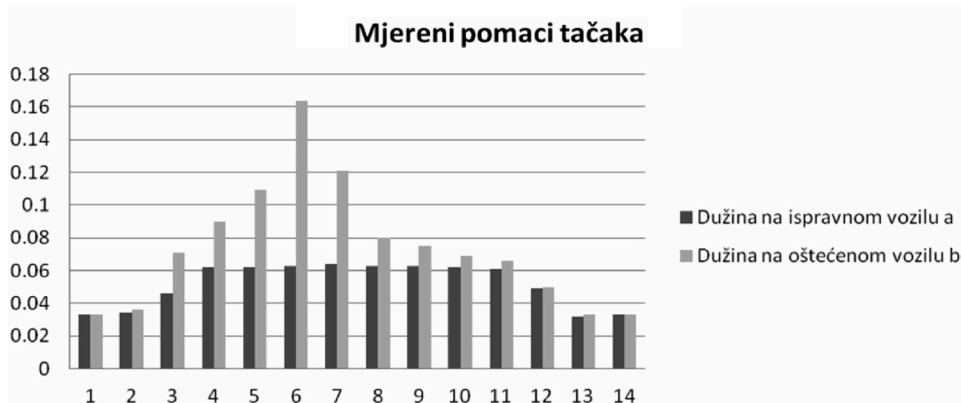
Tablica 7. *Izmjerene dužine na oba vozila i razlike između dužina [m].*

Točka	Dužina na ispravnom vozilu	Dužina na oštećenom vozilu	Razlika
	$a$	$b$	$b - a$
1	0,033	0,033	0,000
2	0,034	0,036	0,002
3	0,046	0,071	0,025
4	0,062	0,09	0,028
5	0,062	0,109	0,047
6	0,063	0,164	0,101
7	0,064	0,121	0,057
8	0,063	0,080	0,017
9	0,063	0,075	0,012
10	0,062	0,069	0,007
11	0,061	0,066	0,005
12	0,049	0,05	0,001
13	0,032	0,033	0,001
14	0,033	0,033	0,000



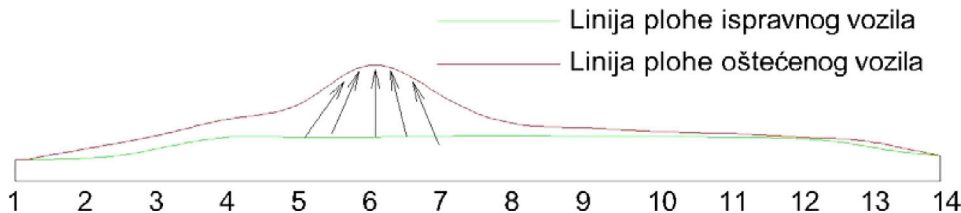
Slika 10. Karakteristične točke za mjerenje deformacija.

Kako bi se dobila jasnija slika o pomacima identičnih točaka na oba vozila, slika 11 prikazuje mjerene pomake točaka.



Slika 11. Grafički prikaz mjerenih pomaka točaka.

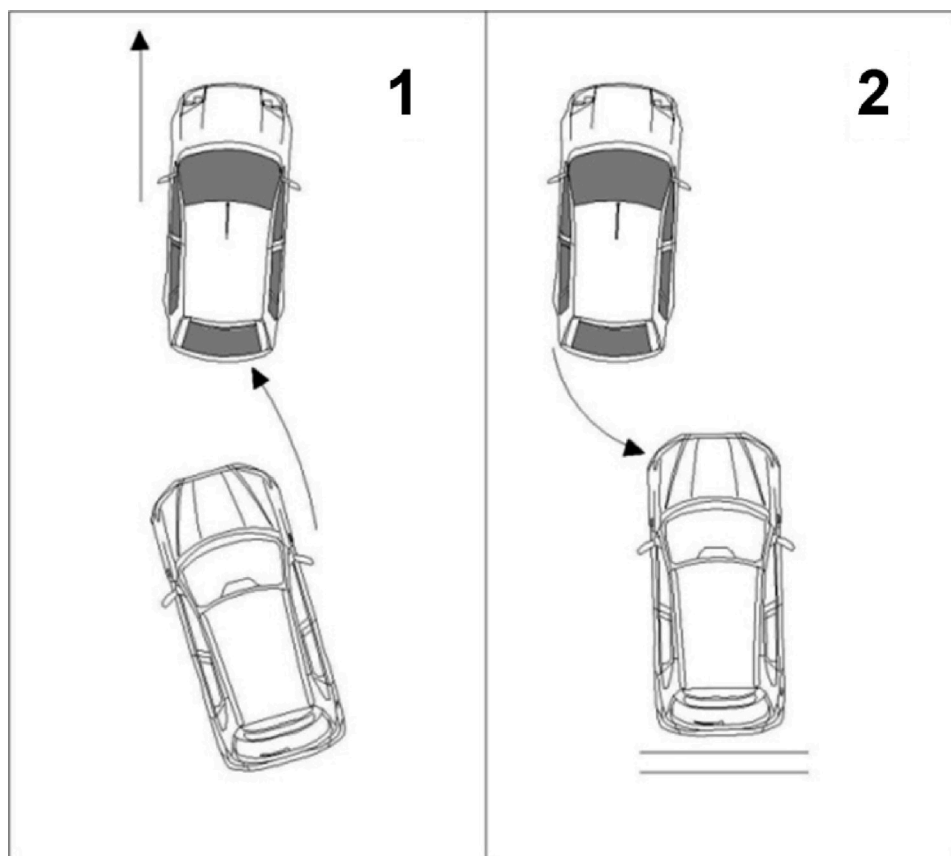
S prethodne slike vidi se da je deformacijska krivulja oblika kupole, te se može zaključiti da je deformacija nastala zbog sudara s prednjim ili zadnjim bočnim dijelom drugog vozila ili s uglom nekog drugog objekta. Stoga vektori udara nisu paralelni (slika 12).



Slika 12. Vektori udara.



Istraživanje čimbenika koji su utjecali na događanje prometne nesreće zasnovano je na dvije pretpostavke. Prva je pretpostavka da je nesreća nastala udarom drugog vozila u zadnju stranu vozila koje se ispituje. Pritom se vozilo koje je oštećeno kretalo naprijed, dok je drugo vozilo bilo iza njega i pokušalo ga preteći ili zaobići. Druga je pretpostavka da se oštećeno vozilo kretalo unazad i pritom udarilo o prednju ili zadnju bočnu stranu drugog vozila, ili o ugao nekog drugog objekta (slika 13).



Slika 13. *Moguće okolnosti prometne nesreće.*

Najbolji način da se ustanove okolnosti nesreće upravo je određivanje brzine nuleta. U tu je svrhu potrebno odrediti deformacijsku energiju pri djelovanju sile na određenu površinu vozila. Matematički modeli za određivanje deformacijske energije razlikuju se za prednju, bočnu i zadnju stranu vozila. Formula za izračunavanje deformacijske energije za zadnji dio vozila ovisi o mjerenoj deformaciji  $X_d$ , koja u ovom slučaju predstavlja najveću izmjerenu deformaciju na oštećenom dijelu vozila. Deformacijska energija  $E_d$  računa se po formuli (Zovak i Šarić 2011).

Kako je:

$$X_d = 0,101\text{ m} ,$$

tada je:

$$E_D = 3575,6\text{ Nm} .$$

Na osnovi izračunate deformacijske energije moguće je izračunati naletnu brzinu po formuli (Zovak i Šarić 2011):

$$v = \sqrt{\frac{2E_D}{m}} \text{ [m / s]} . \quad (2)$$

Pritom je  $m$  masa vozila, koja u ovom slučaju iznosi 1100 kg. Naletna brzina je tada:

$$v = 2,55\text{ m / s} \approx 10\text{ km / h} .$$

S obzirom na veoma malu naletnu brzinu logično je zaključiti da je vjerojatnija druga pretpostavka o okolnostima pod kojima se dogodila prometna nesreća. Male brzine karakteristične su za kretanje unazad, pa čak i nakon kočenja nije vjerojatno da će se brzina smanjiti do 10 km/h ako se vozilo kreće naprijed.

Visina na kojoj je vozilo oštećeno iznosi približno 70 cm. Iz tog podatka može se zaključiti, ako je oštećeno vozilo udarilo o drugo vozilo, da je najvjerojatnije riječ o kamionetu, kombiju ili džipu. Da je u pitanju bilo manje vozilo, branik ne bi ostao na mjestu, što ovdje nije slučaj.

## 5. Zaključak

U posljednjih nekoliko godina u novijoj literaturi moglo se vidjeti dosta radova u kojima je obrađivana primjena 3D modela i interes za njihovo korištenje (Stal i dr. 2012). Cilj je ovog rada istraživanje primjene laserskog skeniranja za potrebe analiziranja prometnih nesreća. Ispitane su mogućnosti raspoloživog instrumentarija i softvera u svrhu istraživanja prometnih nesreća te je rekonstruirana prometna nesreća uz analiziranje svih čimbenika koji su utjecali na događanje nesreće.

Lasersko skeniranje relativno je nova tehnologija koja se veoma uspješno primjenjuje u mnogim znanostima i djelatnostima. Primjena laserskog skeniranja za rekonstrukciju prometnih nesreća proizašla je iz potrebe za što bržim uklanjanjem ostataka vozila s prometnice, a da se istovremeno prikupe sve bitne informacije za ispitivanje faktora i uzroka nesreće. Lasersko skeniranje je, u odnosu na druge tehnike koje se primjenjuju u toj problematici, jedina metoda koja daje 3D prikaz cjelokupnog mjesta nesreće, i to bez dodatnih skica i vođenja zapisnika. U tome se očituje i najveća prednost primjene te metode na problematiku rekonstrukcije prometnih nesreća. Nažalost, ni ova tehnika, kao ni mnoge druge, nije savršena i ima svoje nedostatke. Osnovni je nedostatak primjene laserskog skeniranja pri ispitivanju prometnih nesreća u tome što su površine automobila nepogodne za

skeniranje. Razlog tome je upotreba tzv. metalik boja, koje imaju visoku refleksiju, kao i činjenica da je veliki dio površine vozila napravljen od stakla. Takve je površine veoma teško skenirati s visokom točnošću, posebno kada riječ o instrumentima slabijih karakteristika.

Korišteni instrument Topcon Imaging Station ima zadovoljavajuće karakteristike, ali se u stvarnim situacijama ne bi mogao upotrebljavati za skeniranje vozila i mjesta nesreće. Razlog je u maloj brzini skeniranja koju instrument može postići. Za skeniranje jednog automobila potrebno je dosta vremena, što je u potpunosti neprimjenjivo u svakodnevnim uviđajima prometnih nesreća.

Korišteni softver nudi mnogobrojne mogućnosti i uz dovoljno vremena i truda mogu se dobiti dosta dobri rezultati. Ipak, osnovna namjena softvera nije za kreiranje kompleksnijih 3D modela pa bi za stalnu upotrebu bilo dobro primjenjivati sofisticiranije softversko rješenje.

Podaci dobiveni na osnovi ocjene točnosti 3D modela daju vrijednosti standardnih odstupanja u milimetarskom i centimetarskom opsegu. Takva je točnost i više nego zadovoljavajuća prilikom rekonstrukcije prometnih nesreća. To dodatno potvrđuje činjenica da je za procjenu brzine dovoljno imati centimetarsku točnost deformacija na vozilu.

Kada se uzme u obzir sve navedeno, može se zaključiti da se i unatoč određenim nedostacima metode, instrumentarija i softvera mogu dobiti veoma dobri rezultati. Uz korištenje laserskog skenera, koji bi imao veću brzinu skeniranja, te nešto naprednijeg softvera znatno bi se smanjilo vrijeme potrebno za rekonstrukciju nesreće. Sa sigurnošću se može tvrditi da je metoda laserskog skeniranja, ako se raspolaze s dovoljno sredstava za nabavku adekvatnog instrumentarija i softvera, u potpunosti primjenjiva za rekonstrukciju prometnih nesreća.

## Literatura

- Caprioli, M., Scognamiglio, A. (2009): Low coast methodology for 3D modelling and metric description in architectural heritage, IAPRS Vol. XXXVIII 2009.
- Comert, R., Avdan, U., Senkal, E. (2012): Documentacion of historical buildings with terrestrial laser scanning method: the case study of Armenian church in Sivrihisar, in Eskisehir-Turkey, International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2012, 871–878, Albena, Bulgaria.
- Dimen, L., Borsan, T., Herban, S. (2012): 3D modelling of the historical buildings and archeological sites, International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2012, 925–932, Albena, Bulgaria.
- Ehigiator-Irughe, R., Ehigiator, M. O. (2012): 3D Geospatial modeling of accident scene using Laser Scanner data, Civil and Environmental Research, Vol. 2, No. 10, 39–47.
- Hamzah, H. B., Said, S. M. (2011): Measuring volume of stockpile using Imaging Station, Geoinformation Science Journal, Vol. 11, No. 1, 15–32.
- Jenkins, B. (2005): Laser Scanning for Forensic Investigation, Part 1 of 2, SparViewTM, Chicago.
- Komar, D. A., Davy-Jow, S., Decker, S. J. (2012): The Use of a 3-D Laser Scanner to Document Ephemeral Evidence at Crime Scenes and Postmortem Examinations, Journal of Forensic Sciences, Vol. 57, No. 1, 188–191.
- Pagounis, V., Tsakiri, M., Palaskas, S., Biza, B., Zaloumi, E. (2006): 3D Laser Scanning for Road Safety and Accident Reconstruction, Shaping the Change XXIII FIG Congress, Munich.
- Stal, C., De Wulf, A., De Maeyer, P., Gossens, R., Nuttens, T., Tack, F. (2012): Statistical comparison of urban 3D models from photo modeling and airborne laser scanning, International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2012, 901–908, Albena, Bulgaria.
- Stojnović, V., Ćosić, K., Tivanovac, D. (2012): Mogućnosti robotizirane mjerene stanice Topcon Imaging Station za potrebe terestričkog laserskog skeniranja, Ekscentar, br. 15, 35–38.
- Tandy, D., Coleman, C., Colborn, J., Hoover, T. et al. (2012): Benefits and Methodology for Dimensioning a Vehicle Using a 3D Scanner for Accident Reconstruction Purposes, SAE Technical Paper 2012-01-0617, 2012, doi:10.4271/2012-01-0617.
- Topolšek, D., Herbaj, E. A., Sternad, M. (2014): The Accuracy Analysis of Measurement Tools for Traffic Accident Investigation, Journal of Transportation Technologies, Vol. 4, No. 1, 84–92.
- Vock, D. (2013): Automatic Segmentation and Reconstruction of Traffic Accident Scenarios from Mobile Laser Scanning Data. Doctoral dissertation, Technische Universität Dresden, Fakultät Umweltwissenschaften.
- Zovak, G., Šarić, Ž. (2011): Prometno tehničke ekspertize i sigurnost (autorizirana predavanja), Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.

### Mrežne adrese

- URL 1: Forenzička istraživanja, analiza i vizualizacija,  
<http://ai2-3d.com/services/>, (22. 3. 2014.).
- URL 2: Lasersko skeniranje u forenzici,  
<http://www.forensicmag.com/articles/2009/12/primer-3d-scanning-forensics-part-1>,  
(10. 3. 2014.).
- URL 3: Rekonstrukcija prometne nesreće,  
[http://www.rekonstrukcija.eu/bs/saobracajne\\_nesrece](http://www.rekonstrukcija.eu/bs/saobracajne_nesrece), (5. 3. 2014.).
- URL 4: Stizanje na mjesto nesreće,  
<http://www.forensicmag.com/articles/2014/02/arriving-scene-initial-response>,  
(5. 3. 2014.).
- URL 5: Uviđaj prometne nesreće,  
<http://ww4.hdnux.com/photos/25/24/55/5589851/13/628x471.jpg>, (5. 3. 2014.).

## Application of Laser Scanning in Damage Analysis on Vehicles after Car Accidents

*ABSTRACT. Laser scanning is an advanced measurement technology that is of great importance in many areas of human activities, all with the aim of efficient, effective and above all temporal and spatial reliable solution. One of the most important applications of laser scanning is in forensics. Application of laser scanning in car accident reconstruction is relatively new and still unexplored possibility. Therefore, this paper deals with the possibilities of application of laser scanning in reconstructing car accidents.*

*Keywords: laser scanning, Image Master, car accident reconstruction.*

*Primljeno: 2015-04-02*

*Prihvaćeno: 2015-06-03*