

**OPTIČKE METODE MJERENJA – NOVA KVALITETA U
REVERSIBILNOM INŽENJERSTVU**

**OPTICAL MEASUREMENT METHODS – THE NEW QUALITY IN
REVERSE ENGINEERING DESIGN**

**Petar Ilinčić, znanstveni novak
Rudolf Tomić, znanstveni novak
Goran Šagi, znanstveni novak
Zoran Lulić, izvanredni profesor
Ivan Mahalec, redoviti profesor**

**Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Katedra za motore i vozila
Zagreb**

REZIME

U slučajevima kada mjerenja konvencionalnim metodama ne daju zadovoljavajuće rezultate, točke na površinama objekata mogu se vrlo precizno snimiti optički i digitalizirati. U radu je prikazana primjena ovih metoda u reverzibilnom inženjerstvu. Uređajem TRITOP snimljene su točke na površini nosive rešetke autobusa, te je na temelju tako dobivenog oblaka točaka izrađen žičani 3D model, a zatim i modeli za konstrukcijsku razradu i analizu napreznja. Sustavom ATOS digitalizirane su površine okvira bočnih vrata osobnog automobila i samih vrata, a dobiveni 3D CAD modeli bili su podloga za sintezu i analizu novog mehanizma za otvaranje bočnih vrata osobnog automobila prilagođenog invalidima.

Ključne riječi: optički mjerni sustav, reversibilno inženjerstvo

SUMMARY

If conventional measuring methods do not provide satisfactory results, object surface points can be precisely optically recorded and digitized. The work shows the application of these methods in reversible engineering of design. TRITOP system records points on the surface of the bus body structure, and on the basis of that cloud of points a 3D wire frame model was made, followed by models used for construction analysis and stress analysis. ATOS system was used to digitize door opening frame surfaces of personal vehicle as well as the doors themselves. The obtained 3D CAD models were used as a basis for synthesis and analysis of the new mechanism for opening the side door of a disabled persons' adapted vehicle.

Key words: optical measuring system, reversible engineering of design

1. UVOD

Prva faza reverzibilnog inženjerstva je mjerenje objekta koji je predmetom preinake ili rekonstrukcije. U članku je opisano mjerenje nosive rešetke autobusa, i površine okvira stražnjih bočnih vrata i samih vrata osobnog automobila. Mjerenju nosive rešetke autobusa

konvencionalnim metodama (mjerenje mjernom trakom) je zbog velikih dimenzija mjernog objekta i njegove složenosti dugotrajan postupak podložan pogreškama, a mjerenje površine okvira stražnjih bočnih vrata i samih vrata osobnog automobila upotrebom mehaničkog ticala ili nekog sličnog načina određivanja pozicije mjernih točaka na površini mjerenog objekta je teško izvedivo i zahtijeva mnoge improvizacije. Optički mjerni sustavi i optičke metode mjerenja mogu se upotrebljavati kao optički trokoordinatni mjerni strojevi i 3D digitalizatori, te za kontrolu tolerancija oblika i položaja i stoga se mogu primijeniti za mjerenje navedenih objekata. Takvi sustavi i metode zahtijevaju primjenu računala kao podsustava na kojem se vrši akvizicija i obrada podataka dobivenih iz mjernog sustava. Podaci dobiveni mjerenjem se obrađuju u posebnom programskom paketu i u vrlo kratkom roku su raspoloživi kao vjeran računalni model mjerenog objekta, što omogućuje točnu i brzu rekonstrukciju mjerenog objekta na računalu u obliku CAD modela pogodnog za daljnju doradu i analizu.

2. OPTIČKI MJERNI SUSTAVI

Za mjerenja su korišteni optički mjerni sustavi TRITOP i ATOS, tvrtke GOM Optical Measuring Techniques. Navedeni sustavi omogućuju brzo, jednostavno i precizno bilježenje oblika različitih objekata, neovisno o njihovom materijalu, veličini i složenosti. Sustavi su prijenosni i robusni pa mjerenja nisu ograničena na laboratorije, nego se lako provode na terenu. Detaljan oblik objekata ostaje pohranjen u računalu, što uz mnogobrojne programske funkcije omogućuje niz različitih područja primjene kao što su kontrola dimenzija završnog proizvoda ili rekonstrukcije postojećih proizvoda na kojima je potrebno napraviti određene korekcije ili promjene.

3. MJERENJE NOSIVE REŠETKE AUTOBUSA

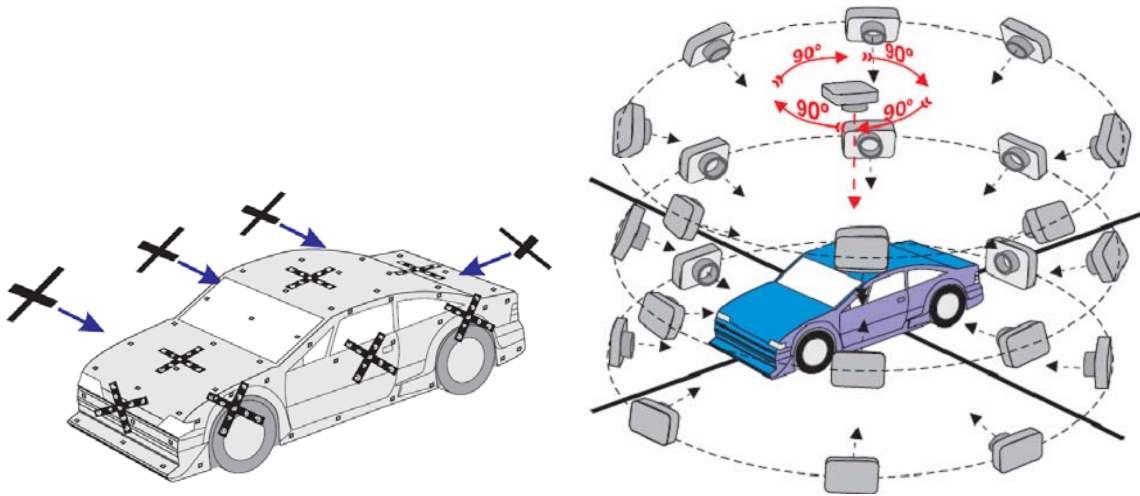
U jednom od projekata suradnje Katedre za motore i vozila s privredom, trebalo je osmisliti preradu postojećeg autobusa u panoramski autobus namijenjen turističkom razgledavanju grada. Tehničku dokumentaciju rešetke autobusa nije bilo moguće nabaviti, te ju je stoga trebalo najprije izmjeriti, a potom rekonstruirati. Kako bi se mjerenje nosive rešetke moglo provesti, s nje je trebalo prethodno skinuti svu oplatu (slika 1.). Nosiva rešetka autobusa je velika struktura složena od četvrtastih cijevi različitih dimenzija, međusobno povezanih u čvorovima.



Slika 1. Rešetka autobusa koju treba izmjeriti

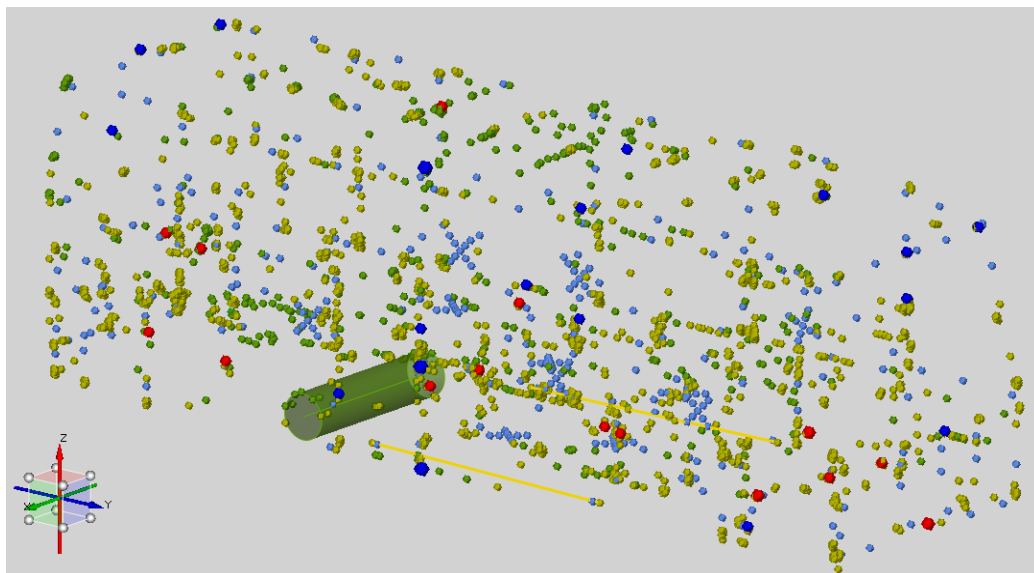
Da bi se mogla napraviti rekonstrukcija postojeće rešetke na računalu, bilo je potrebno odrediti pozicije čvorova rešetke i dimenzije presjeka cijevi rešetke. Odlučeno je da se za to upotrijebi optički mjerni sustav TRITOP. Taj se industrijski optički mjerni sustav koristi za beskontaktno mjerenje velike pouzdanosti, a mjeri trodimenzionalne koordinate geometrijskih elemenata (provrt, rubova, cilindara, konusa, kugli). Dužina mjerenog objekta može biti i do

20m, te su moguća brza i učinkovita mjerenja na licu mjesta. Sustav se sastoji od fotogrametrijske kamere velike rezolucije i posebnih markera, adaptera i mjernih letvi, te programskog paketa. Pomoću njih sustav automatski određuje pozicije kamere i mjerenih točaka u prostoru.



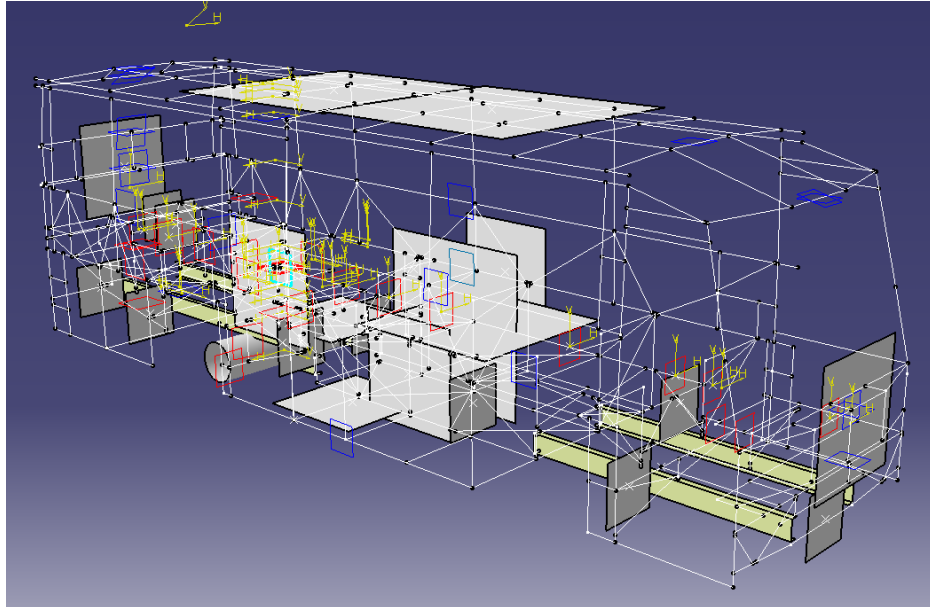
Slika 2. Postupak mjerenja TRITOP optičkim mjernim sustavom

Prilikom mjerenja, čvorovi rešetke i površine cijevi označeni su posebnim markerima i adapterima koji predstavljaju kodirane i nekodirane točke (slika 2.). Kodirane točke programski paket TRITOP prepoznaje prema definiranom barkodu, a potrebne su za automatsko određivanje položaja kamere, odnosno predorijentaciju kod svakog snimanja, dok se pozicije nekodiranih točaka određuju iz položaja kamere i fotografije na kojoj se dotična točka nalazi. Po bokovima rešetke su postavljene dvije mjerne letve, svaka dužine 2m. Pomoću mjernih letvi sustav određuje duljinu mjerene rešetke. Nakon što su obavljene sve pripreme na rešetki autobusa, snimljene su četiri kalibracijske fotografije, svaka u odnosu na prethodnu zakrenuta za 90° oko optičke osi kamere (slika 2.).



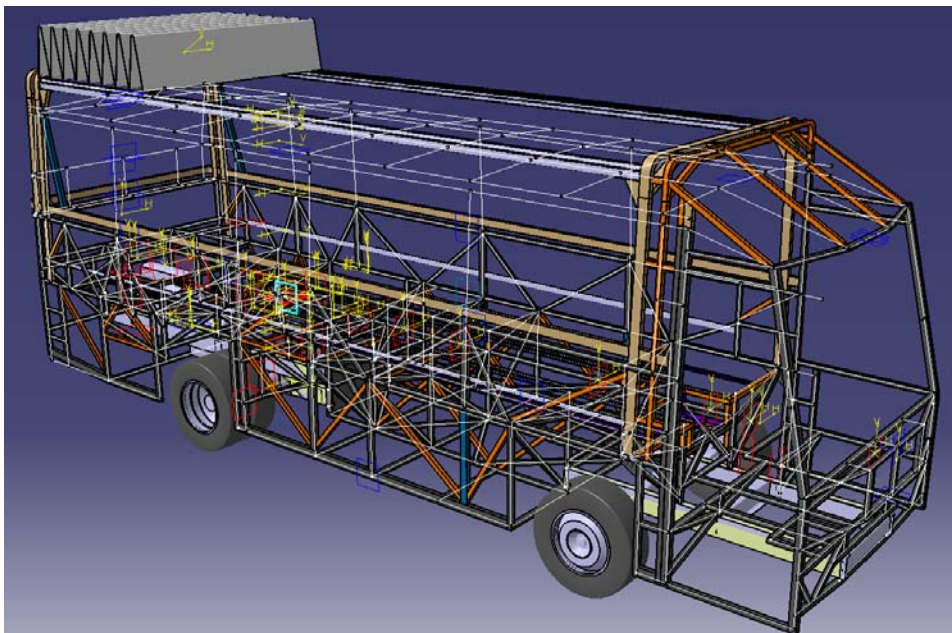
Slika 3. „Oblak“ točaka dobivenih trokoordinatnim snimanjem rešetke

Snimanjem rešetke dobivene su digitalne fotografije koje su zatim obrađene u TRITOP programskom paketu. Rezultat obrade snimljenih fotografija je oblak točaka koji predstavlja 3D koordinate snimljenih točaka (slika 3.). Preciznost mjerenja je 0,02 milimetara po svakom metru veličine mjenjenog objekta.



Slika 4. Ravnine i linije kao podloga za konstrukcijski model rešetke gradskog autobusa

U TRITOP-ovom programskom paketu u oblak mjernih točaka su dodane ravnine poprečnih nosača rešetke i ravnina koja definira položaj poda, te su tako obrađeni rezultati mjerenja (točke i ravnine) kao IGES format učitani u CAD program (slika 4.). U CAD programu je tada rekonstruirana postojeća rešetka autobusa. Nakon analize napreznja i deformacija nekoliko mogućih rješenja preinake postojeće rešetke u rešetku novog, panoramskog autobusa, konačno je oblikovana najpovoljnija konstrukcija rešetke panoramskog autobusa (slika 5.).



Slika 5. Konstrukcija rešetke panoramskog autobusa izrađenog preradom gradskog

4. SNIMANJE BOČNIH VRATA I OKVIRA OSOBNOG AUTOMOBILA

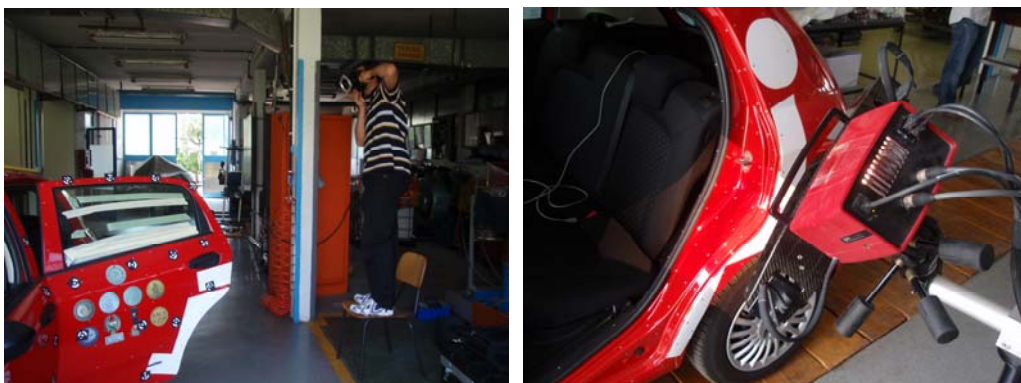
Prilikom preinake osobnog automobila Fiat Punto u vozilo koje će moći koristiti invalidi, trebalo je osmisliti mehanizam za translatorno gibanje stražnjih vrata vozila. U tu je svrhu

trebalo točno snimiti površinu stražnjih vrata i njihovog okvira. Snimanje navedenih površina je obavljeno optičkim mjernim sustavom ATOS. ATOS je mobilni optički mjerni uređaj koji na mjereni objekt projicira uzorke paralelnih linija i snima ih pomoću dvije digitalne kamere visoke rezolucije koje su čvrsto pozicionirane u zajedničkom kućištu. Uz sam uređaj dolazi i pripadajući programski paket za obradu dobivenih podataka. Za svaki pojedini piksel pripadajuće točke sa snimane površine u kamerama se velikom preciznošću triangulacijom određuju koordinate u prostoru. Time se stvara poligonizirana mreža koja detaljno opisuje oblik snimanog objekta.



Slika 6. Osobni automobil pripremljen za mjerenje

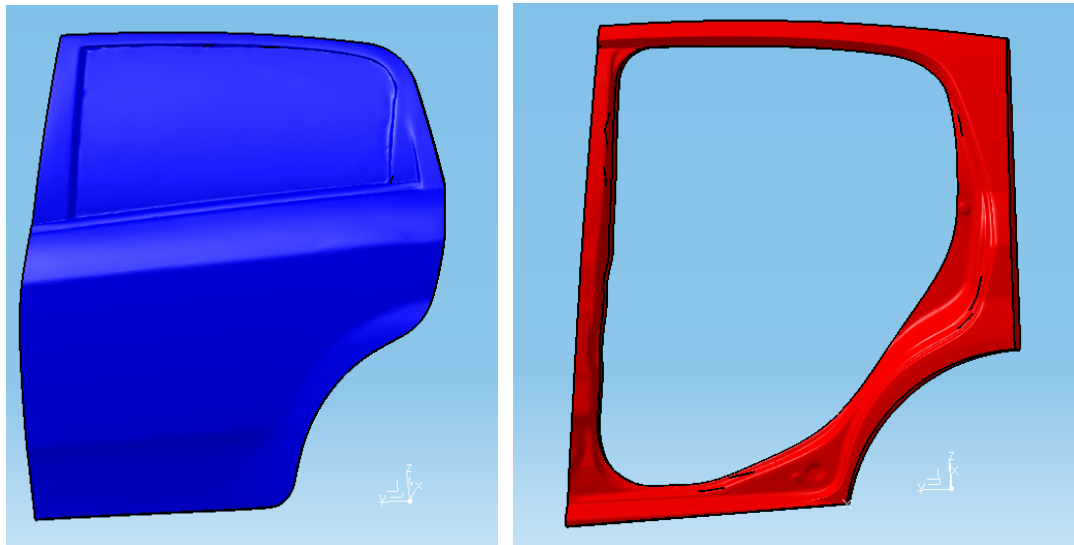
Digitalne kamere sustava ATOS razlučuju i do 4 milijuna mjernih točaka što omogućuje visokokvalitetne snimke površine mjenenog objekta. Prije snimanja sustavom ATOS potrebno je obaviti snimanje referentnih točaka snimanih površina pomoću sustava TRITOP. Referentne točke objekta su označene markerima (slika 6.), što je nužna priprema za snimanje TRITOP-om (slika 7.). Obradom podataka dobivenih snimanjem sustavom TRITOP generiran je i koordinatni sustav i točke potrebne za spajanje dijelova površine snimljenih sustavom ATOS u jednu cjelinu. Nakon kalibracije ATOS-ovih kamera glava mjernog sustava se ručno pozicionira za snimanje pojedinih segmenata površine mjenenog objekta. Postupak se ponavlja dok se cijela površina ne snimi.



Slika 7. Postupak mjerenje, prvo mjerenje s TRITOP-om (lijeva slika), pa onda ATOS-om (desna slika)

Dimenzija segmenta površine kojeg korišteni sustav ATOS III može snimiti jednim mjerenjem su $150 \times 150 \text{ mm}^2$. Nakon obavljenog snimanja svi podaci dobiveni mjerenjem pomoću ATOS-a slažu se u jednu cjelinu te se kao rezultat dobiva oblak točaka koje čine presjeke, karakteristične linije ili zasebne točke, koji se mogu eksportirati u jednom od

formata koje čitaju komercijalni CAD programi. U ovom slučaju su u CAD programu pomoću dobivenih mjernih točaka rekonstruirana stražnja bočna vrata i pripadajući okvir navedenog osobnog automobila (slika 8.), pa su ti modeli kasnije skorišteni za oblikovanje i analizu kinematike i dinamike mehanizma za translatorno otvaranje stražnjih vrata.



Slika 8. CAD modeli stražnjih vrata (lijevo) i okvira vrata (desno) snimanog vozila

5. ZAKLJUČAK

Mjerenje nosive rešetke autobusa optičkim trokoordinatnim mjernim sustavom TRITOP i snimanje površina stražnjih bočnih vrata i pripadajućeg okvira osobnog automobila sustavom ATOS ukazalo je na velike prednosti optičkih mjernih sustava u odnosu na konvencionalne metode kontaktnog mjerenja. Usporedbe radi, sustavom TRITOP moguće je prikupiti i do nekoliko tisuća mjernih točaka s točnošću od 0,02mm na 1m duljine mjerenog objekta, a opisano snimanje nosive rešetke autobusa i obradu prikupljenih podataka dva su čovjeka obavila za tri radna dana, dok im je za mjerenje slične rešetke mjernom trakom bilo potrebno deset radnih dana, pri čemu je kod primjene mjerne trake točnost znatno manja a mjerenja prostornih udaljenosti karakterističnih osi su veoma teška i nesigurna. Za snimanje površina stražnjih vrata i okvira osobnog vozila jedva da se i moglo primijeniti nekakvo kontaktno mjerenje, a mjerenje sustavom ATOS trajalo je svega jedan dan. Iz navedenog se može zaključiti da optičko beskontaktno mjerenje u velikoj mjeri pojednostavljuje postupak rekonstrukcije i dorade već postojećih proizvoda i omogućuje brže i jeftinije generiranje novih 3D modela za daljnju CAD primjenu.

6. REFERENCE

- [1] GOM mbH - <http://www.gom.com/>
- [2] Topomatika d.o.o. - <http://www.topomatika.hr/>
- [3] Jurčić, I., Barišić, B., Hercigonja, T., Šćilac, L.: *Measurement of jig for inspection of fan-nousing by means of optical 3D coordinate measuring system TRITOP*, Engineering Review, Vol.26 No.1-2 December 2006
- [4] Tomić, R., Ilinčić, P., Lulić, L.: *Optical measuring on vehicle reconstruction*, Innovative Automotive Technology - IAT'09, Nova Gorica, Slovenia, April 23-24, 2009, Proceedings, 259-267.
- [5] *TRITOP User Manual – Software, TRITOP v6.1*, GOM mbH, 2008