

# Zastosowanie metod fotogrametrycznych do projektowania i analizy foteli autobusowych i kolejowych

Application of photogrammetry to design and inspect bus and railway seats

MICHAŁ WIECZOROWSKI  
MACIEJ SZYMAŃSKI  
BARTOSZ GAPIŃSKI  
ARTUR RĘKAS  
SEBASTIAN SZYMAŃSKI  
MIROŚLAW GRZELKA \*

DOI: 10.17814/mechanik.2016.12.541

W artykule przedstawiono zastosowanie metod fotogrametrycznych do projektowania i badania foteli komunikacji masowej. Zaprezentowano zarówno fotogrametrię statyczną stosowaną do analizy geometrii foteli, jak i dynamiczną, wykorzystywaną m.in. w testach zderzeniowych. Pokazano zasady fotogrametrii i omówiono przykładowe badania.

**SŁOWA KLUCZOWE:** fotogrametria, badania statyczne, badania dynamiczne, deformacja

*In the paper application of photogrammetry method to design and test seats for public transportation was presented. Both, static photogrammetry used for geometry analysis as well as dynamic one applied for crash tests were shown. Bases of photogrammetry and examples of inspections were briefly discussed.*

**KEYWORDS:** photogrammetry, static tests, dynamic inspection, deformation

Pojazdy komunikacji zbiorowej obejmują różne środki transportu – mogą to być pojazdy drogowe – autobusy i trolejbusy oraz pojazdy szynowe – tramwaje, metro i pociągi, a także pojazdy specjalne, jak na przykład szynowe kolejki górskie.



Rys. 1. Przykładowe fotele STER

Każda z wymienionych grup pojazdów cechuje się innymi wymaganiami, oczekiwaniami i przepisami w odniesieniu do stosowanych w nich foteli. Pojazdy drogowe – autobusy i trolejbusy są homologowane do użytku na podstawie Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady

\* Prof. dr hab. inż. Michał Wieczorowski (michal.wieczorowski@put.poznan.pl), mgr inż. Maciej Szymański (maciej.szymanski@ster.com.pl) – Ster Sp. z o.o.; dr inż. Bartosz Gapiński (bartosz.gapinski@put.poznan.pl), dr inż. Artur Rękas (ARekas@agh.edu.pl) – Akademia Górniczo-Hutnicza Kraków; Sebastian Szymański (sebastian.szymanski@ster.com.pl) – OBR – Ster Sp. z o.o.; dr inż. Mirosław Grzelka (miroslaw.grzelka@put.poznan.pl) – Politechnika Poznańska, Instytut Technologii Mechanicznej

oraz Regulaminów Europejskiej Komisji Gospodarczej Organizacji Narodów Zjednoczonych (EKG ONZ), a także Białej Księgi Amerykańskiej.

Firma STER jako czołowy producent foteli na świecie wytwarza je dla wszystkich wymienionych powyżej typów pojazdów. Przykłady takich realizacji pokazano na rys 1.

## Fotogrametria

Fotogrametria to dziedzina nauk technicznych zajmująca się pozyskiwaniem informacji o obiektach fizycznych i ich otoczeniu drogą rejestracji, pomiaru i interpretacji zdalnie pozyskiwanych obrazów. Pomiar fotogrametryczny daje informacje o kształcie obiektu, jego usytuowaniu względem innych obiektów w przestrzeni, ewentualnie przemieszczeniu lub odkształceniu [7]. Obrazy, jakimi posługuje się fotogrametria, mogą być rejestrowane w różnych zakresach długości fal promieniowania elektromagnetycznego [1, 6]:

- w zakresie widzialnym (kamery fotograficzne i skanery),
- w podczerwieni (kamery specjalne i termowizyjne),
- w zakresie mikrofal (specjalne odbiorniki i radary),
- w paśmie promieniowania rentgenowskiego (kamery rentgenowskie) [8].

W zależności od sposobu wykorzystania zdjęć rozróżnia się:

- fotogrametrię płaską (1-obrazową),
- fotogrametrię przestrzenną (2-obrazową), zw. również stereofotogrametrią, w której uzyskuje się przestrzenny model sfotografowanego przedmiotu lub terenu na podstawie stereogramu, tj. pary zdjęć wykonanych z dwóch różnych punktów przestrzeni.

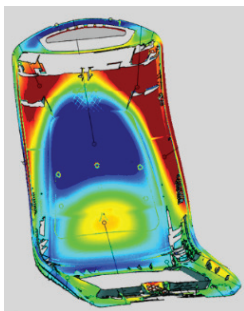
Fotogrametria jest technologią bazująca na standardowej fotografii i jest szczególnie przydatna do digitalizacji dużych obiektów. Opiera się na wykonaniu wielu zdjęć określonego obszaru bądź obiektu, a następnie automatycznym lub ręcznym wskazaniu wspólnych punktów na każdej fotografii [3–5, 9]. Fotogrametrię często wykorzystuje się razem z innymi technikami skanowania 3D do zapewnienia pomiarów całej powierzchni części i do utrzymania wąskiej tolerancji na dużych obszarach. Punktami współrzędnymi są tylko te punkty, które da się określić na mierzonej płaszczyźnie obiektu. Punkty są jednoznacznie rozpoznawane przez system, dzięki czemu można określić bezpośrednie ich położenie w przestrzeni pomiarowej [2, 10].

Wyróżniamy fotogrametrię statyczną, kiedy obiekt jest w stanie spoczynku, wykorzystywaną do digitalizacji obiektu, kontroli jakości wykonania, itp., oraz dynamiczną – obiekt w stanie dynamicznym – kiedy występują przemieszczenia, stosowaną do analizy przemieszczeń, prędkości, przyspieszeń, drgań, odkształceń, itp.

## Procedura badawcza

Z punktu widzenia producenta foteli, jakim jest STER, wysoce pożądane jest zastosowanie urządzenia pomiarowego pozwalającego na rejestrację danych wymaganych przez uregulowania prawne, ale również jednocześnie pozwalającego na pełną analizę zmian geometrii fotela i jego wyposażenia w trakcie prowadzonego testu. Równie ważną jest rzeczywista geometria fotela przed przeprowadzeniem testu i potwierdzenie jego zgodności wymiarowej z dokumentacją, jak i ocena geometrii całości fotela po przeprowadzonym teście. Do przeprowadzenia badań nad zastosowaniem metod fotogrametrycznych do badań statycznych i identyfikacji deformacji konstrukcji fotela w testach dynamicznych użyto odrębnych systemów fotogrametrycznych. Oba urządzenia pozwalają na pomiar dzięki stereoskopowemu układowi optycznemu zawierającemu dwie kamery wyposażone w matryce CCD oraz projektor oświetlenia. W przypadku pomiaru geometrii foteli zastosowano kilka układów optycznych pozwalających na uzyskanie różnych objętości pomiarowych – uwarunkowane to było wymaganą dokładnością pomiaru. Dla testów dynamicznych zastosowano jedną wielkość przestrzeni pomiarowej – był to sześcian o boku 2 m, a pomiary były realizowane z częstotliwością 500 Hz. W przypadku tego urządzenia rejestrowana była jedynie zmiana położenia w czasie specjalnych znaczników umieszczonych na mierzonym obiekcie. Dla zastosowanej objętości pomiarowej niepewność identyfikacji poszczególnych punktów jest nie gorsza niż 0,05 mm, co należy uznać za wartość w pełni wystarczającą.

W trakcie zrealizowanych badań przeprowadzono pomiary geometrii foteli produkowanych w STER. Przykładową mapę odchyłek geometrycznych dla korpusu fotela pokazano na rys. 2.

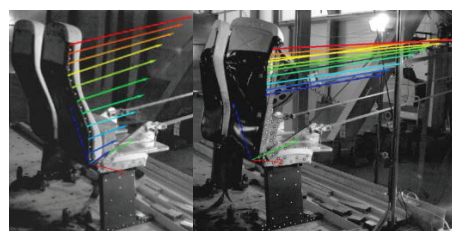


Rys. 2. Mapa odchyłek geometrycznych

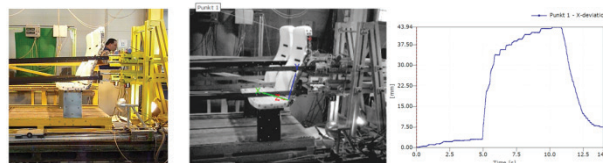
Zgodnie z wymaganiami stosownych regulaminów przeprowadzono próby obciążenia fotela z pasem symulujące efekt zderzenia. Uzyskane w trakcie próby wyniki pozwoliły na określenie przemieszczenia się poszczególnych punktów struktury fotela, jak i systemu mocowania.

W badaniach statycznych siła przykładana jest do nieruchomego fotela w celu określenia, czy osoba siedząca jest odpowiednio zatrzymywana przez siedzenie znajdujące się przed nią i nie dozna poważnych obrażeń oraz czy siedzenie oraz jego zamocowania są wystarczająco wytrzymałe. Badanie uznaje się za spełnione, jeśli po przyłożeniu sił przemieszczenie powierzchni fotela nie przekroczy wymaganego zakresu, po zaprzestaniu działania siły fotel pozostanie odkształcony plastycznie, co świadczy o przejęciu części energii występującej w trakcie kolizji. Przykład analizy takiego zjawiska przedstawiono na rys. 3.

Stanowisko do badania odkształceń statycznych – obciążenie oparcia fotela. Zdefiniowany punkt pomiarowy



Rys. 3. Odkształcenia ramy fotela w trakcie prób dla pasa 2- i 3-punktowego



Rys. 4. Stanowisko do badania odkształceń statycznych – obciążenie oparcia fotela

w miejscu górnego punktu kotwiczenia pasów bezpieczeństwa. Przebieg odkształcenia oparcia fotela w zdefiniowanym punkcie pomiarowym pokazano na rys. 4.

## Podsumowanie

Przeprowadzone badania w pełni potwierdziły przydatność metod fotogrametrycznych do analiz deformacji konstrukcji. Dynamiczne systemy fotogrametryczne pozwalają analizować przemieszczenia obiektów, a także prędkości i przyspieszenia. Jest to bardzo pomocne przy projektowaniu zarówno części składowych urządzeń, jak i całych struktur.

## Podziękowania

Prezentowane wyniki badań, zrealizowane w ramach tematu nr 02/22/DSPB/1318, zostały sfinansowane z dotacji na naukę przyznanej przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego oraz w ramach projektu: Opracowanie technologii wytwarzania nowej generacji ultralekkich foteli do komunikacji zbiorowej spełniających wymagania dyrektywy UE, regulaminów ONZ oraz Białej Księgi Amerykańskiej, Innotech In-Tech K2/IN2/58/182896/NCBR/12.

## LITERATURA

1. Bradshaw G. "Non-Contact Surface Geometry Measurement Techniques". Trinity College, Dublin, 1998/1999.
2. Brajlith T. et al. "Possibilities of using three-dimensional optical scanning in complex geometrical inspection". *Journal of Mechanical Engineering*. Vol. 57 (2011): pp. 826–833.
3. Campbell R.J., Flynn P.J. "A survey of free-form object representation and recognition techniques". *Comput Vision Image Understanding*. Vol. 81, No. 2 (2001): pp. 166–210.
4. Caspi D. et al. "Range imaging with adaptive color structured light". *IEEE T Pattern Anal*. Vol. 20, No. 5 (1998): pp. 470–480.
5. Chen C. et al. "Range data acquisition using colour structured lighting and stereo vision". *Image Vision Comput*. Vol. 15 (1997): pp. 445–456.
6. Gapinski B., Wieczorowski M. et al. "Comparison of Different Methods of Measurement Geometry Using CMM, Optical Scanner and Computed Tomography 3D". *Procedia Engineering*. Vol. 69 (2014): pp. 255–262.
7. Koprowski R., Wróbel Z. "Image processing in optical coherence tomography using Matlab". University of Silesia, 2011.
8. Kruth J.P. et al. "Computed tomography for dimensional metrology". *CIRP Annals*. Vol. 60 (2011): pp. 821–842.
9. Majchrowski R., Wieczorowski M. et al. "Large area concrete surface topography measurements using optical 3D scanner". *Metrology and Measurement Systems*. Vol. XXII, No. 4 (2015): pp. 565–576.
10. Reich C. et al. "3D-shape measurement of complex objects by combining photogrammetry and fringe projection". *Optical Engineering*. Vol. 39 (2000): pp. 224–231.