

ZASTOSOWANIE METOD FOTOGRAMETRYCZNYCH W BADANIACH POJAZDÓW ROLNICZYCH

Streszczenie

W artykule przedstawiono zastosowanie metody fotogrametrycznej w badaniach pojazdów rolniczych na przykładzie pojazdów z zabudową termoizolacyjną, służących do przewozu żywności. Omówiono kolejność czynności wykonywanych podczas badań przemieszczeń. Do badań zastosowano oprogramowanie *PhotoModeler Scanner*.

Słowa kluczowe: fotogrametria, pojazdy rolnicze, przewóz żywności, pomiar przemieszczeń

Wprowadzenie

Fotogrametria to technika, która jest stosowana do odtwarzania kształtów, rozmiarów i wzajemnego położenia obiektów w terenie na podstawie zdjęć fotogrametrycznych [1]. Fotogrametria była w przeszłości najczęściej wykorzystywana w geodezji jako pomoc przy pomiarach dużych obszarów i odległości, także wysokości obiektów. Jest też stosowana w architekturze, inwentaryzacji zabytków, archeologii, geologii, biologii i medycynie.

Dzięki rozwojowi fotogrametrii cyfrowej na przestrzeni ostatnich dwudziestu lat w fotogrametrii dokonał się ogromny skok technologiczny. Stosowane jest w niej komputerowe przetwarzanie obrazów fotogrametrycznych uzyskiwanych przez skanowanie zdjęć fotogrametrycznych lub bezpośrednio za pomocą kamer cyfrowych. W fotogrametrii cyfrowej z dużym powodzeniem wykorzystuje się techniki komputerowe.

Obecnie systemy fotogrametryczne to najczęściej mobilne narzędzia pomiarowe 3D wykorzystujące wysokiej rozdzielczości kamerę cyfrową do zbierania informacji. Do fotografowanego obiektu zwykle dodawane są kodowane markery (punkty referencyjne), aby zwiększyć dokładność pomiaru i wyskalować skanowany obiekt. Rejestracja zdjęć wymaga doświadczenia oraz jest procesem wymagającym uwagi. Zarejestrowane zdjęcia są przetwarzane w cyklu automatycznym lub częściej w procesie półautomatycznym i wymagają znacznej mocy obliczeniowej komputera.

Możliwości oprogramowania *PhotoModeler*

PhotoModeler jest przykładem oprogramowania umożliwiającego uzyskanie trójwymiarowych modeli obiektów fotografowanych aparatem fotograficznym średniej klasy [4]. Mimo stosunkowo niskiej ceny i nieskomplikowanego wyposażenia umożliwia ono osiągnięcie dokładności wystarczającej dla wielu profesjonalnych zastosowań.

PhotoModeler w wersji podstawowej przeznaczony jest do tworzenia modeli 3D i wykonywania pomiarów na podstawie zbioru fotografii. Może znaleźć zastosowanie przy:

- tworzeniu modeli typu CAD szerokiej gamy obiektów,
- tworzeniu modeli z użyciem punktów, linii, krawędzi, powierzchni (zdjęcia teksturowane lub zacięzione) i innych obiektów,
- automatycznym wykrywaniu obiektów.

Bardziej rozbudowane oprogramowanie - *PhotoModeler Scanner* - posiada wszystkie możliwości *PhotoModelera* w wersji podstawowej, a poza tym posiada rozbudowane funkcje automatycznego wykrywania obiektów (*SmartMatch*) oraz posiada zdolność tworzenia chmur punktów o dużej gęstości (*DSM Dense Surface Modeling*), co umożliwia szczegółową triangulację powierzchni i pokrywanie ich teksturą. Można uzyskiwać dzięki temu skany 3D bez stosowania specjalistycznych skanujących urządzeń laserowych.

PhotoModeler Motion, poza funkcjami *PhotoModeler Scanner*, umożliwia pomiary obiektów zmieniających się w czasie (zmieniają kształt lub poruszają się). Fotografie wykonywane są w pewnych odstępach czasu, zwanych epokami. Dla każdej epoki tworzony jest oddzielny zestaw zdjęć, tak jak dla podstawowej. Oprogramowanie automatyzuje przenoszenie informacji między kolejnymi epokami. Umożliwia to śledzenie zmian w zachowaniu obiektów między epokami.

Przykłady zastosowania badań fotogrametrycznych

W dalszej części artykułu przedstawiono wykorzystanie metod fotogrametrycznych i oprogramowania *PhotoModeler* do pomiaru przemieszczeń podczas opracowywania i badań konstrukcji zabudów termoizolacyjnych w pojazdach przeznaczonych do transportu żywności.

Dokładność pomiaru za pomocą systemu *PhotoModeler* zależy od wielu czynników, takich jak rozdzielczość oraz ilość zdjęć, liczba punktów odniesienia, jakość obiektywu oraz aparatu. Dokładność pomiaru waha się od 1:200 dla niskiej rozdzielczości zdjęć do 1:8000 w wysokiej rozdzielczości zdjęć. Dla projektów wymagających dużej dokładności jest możliwość uzyskania dokładności do 1:25000, a nawet wyższej. Można to osiągnąć za pomocą markerów pomiarowych oraz aparatu o wysokiej rozdzielczości. Dokładność szacowana jest na bieżąco w trakcie opracowywania modelu. Producent podaje, że dla zdjęć o rozdzielczości 4500x3000 i wykorzystaniu markerów pomiarowych możliwe jest uzyskanie dokładności 1:30000, co dla obiektu o wymiarach 15 m daje teoretyczną dokładność 0,5 mm [4].

Pomiary przemieszczeń przebiegały w następujących etapach:

- przygotowanie badanych obiektów do wykonania zdjęć metodą fotogrametryczną przez naniesienie w odpowiednich miejscach określonej liczby markerów pomiarowych, w tym markerów kodowanych, ułatwiających orientację wykonanych zdjęć,
- wykonanie wysokiej jakości zdjęć badanych obiektów przed ich obciążeniem,
- wykonanie wysokiej jakości zdjęć badanych obiektów po obciążeniu,
- obróbka zdjęć w programie *Photomodeler Scanner*,
- określenie położenia poszczególnych markerów pomiarowych,
- wygenerowanie trójwymiarowych modeli obiektów, na podstawie wyznaczonych współrzędnych poszczególnych markerów pomiarowych,
- połączenie modelu obiektu obciążonego i nieobciążonego; przeprowadzenie tej operacji możliwe jest po zdefiniowaniu wspólnego układu odniesienia obu modeli; układ ten zdefiniowano poprzez wybranie trzech punktów wspólnych dwóch modeli, które nie przemieściły się

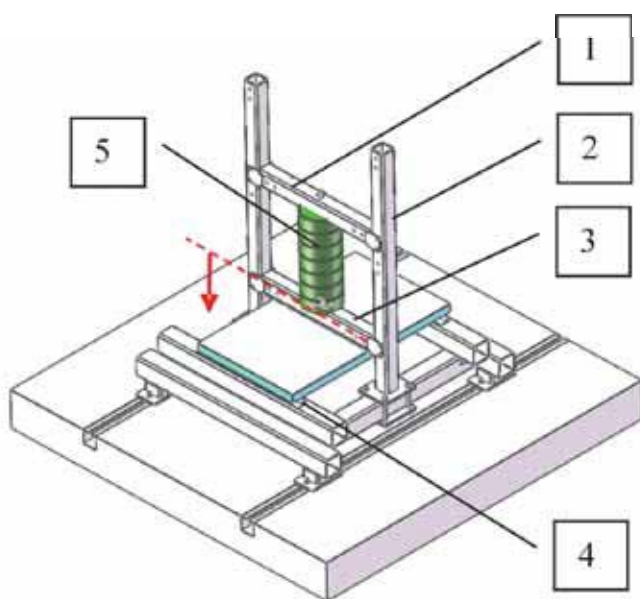
względem siebie po obciążeniu obiektu badań; w tym układzie wyznaczono przemieszczenia poszczególnych węzłów modeli,

- wyznaczenie wzajemnych przemieszczeń poszczególnych markerów pomiarowych modelu obciążonego, a tym samym określenie przemieszczenia badanych obiektów oraz wizualizacja wyników w odrębnym postprocesorze - w darmowym programie *GOM Inspect*.

W kolejnych rozdziałach przedstawiono badanie materiałów ścian zabudów oraz badania przemieszczeń gotowych zabudów umieszczonych na podwoziu.

Badanie parametrów wytrzymałościowych materiałów ścian zabudów

W trakcie prac projektowych zabudów przewidziano, że przeprowadzone zostaną obliczenia wytrzymałościowe konstrukcji za pomocą systemu metody elementów skończonych (MES), co pozwoli przeanalizować ich zachowanie podczas eksploatacji i dobrać odpowiednią sztywność poszczególnych elementów konstrukcji. Do uzyskania wiarygodnych wyników niezbędna była m.in. znajomość parametrów wytrzymałościowych materiałów, z których zbudowano ściany zabudów. Zbudowane są one z zespolonych ze sobą paneli płyty warstwowej (poszycie zewnętrzne i wewnętrzne jest z laminatu poliestrowego, wewnątrz panelu wypełnione jest materiałem izolacyjnym).



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego z płytą zginaną: 1 - belka górna poprzeczna; 2 - belka pionowa; 3 - dolna belka poprzeczna; 4 - podpora; 5 - obciążniki [3]

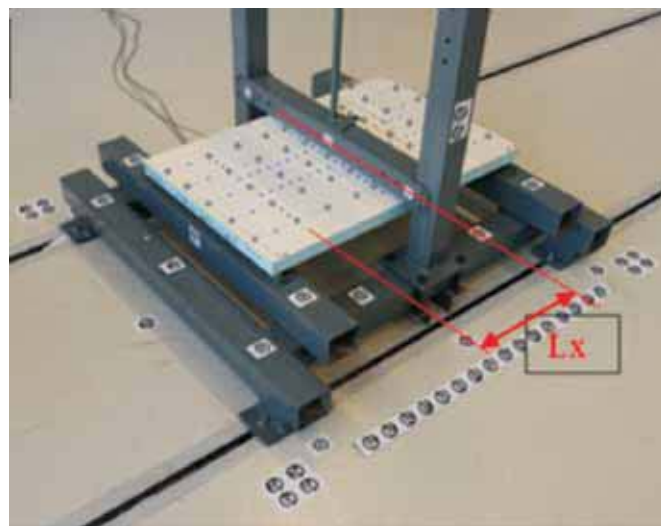
Fig. 1. Scheme of the test stand with bending plate: 1 - upper transverse beam, 2 - vertical beam, 3 - lower crossmember, 4 - support; 5 - loads [3]

W celu uzyskania odpowiednich danych (m.in. przemieszczeń odpowiednio obciążonej płyty) przeprowadzono badania na specjalnie przygotowanym stanowisku (rys. 1), a do wykonania pomiarów wykorzystano oprogramowanie *PhotoModeler Scanner 2012* i aparat fotograficzny Nikon 7000. Badania wykonano dla próbki ściany poddanej zginaniu oraz (oddzielnie) rozrywaniu [3]. Ponieważ z punktu widzenia opisu badań fotogrametrycznych oba te przypadki nie różniły się, dalszy opis dotyczył będzie badania tylko płyty zginanej.

W celu uzyskania odpowiednich danych (m.in. przemieszczeń odpowiednio obciążonej płyty) przeprowadzono badania na specjalnie przygotowanym stanowisku (rys. 1), a do wykonania pomiarów wykorzystano oprogramowanie *PhotoModeler Scanner 2012* i aparat fotograficzny Nikon 7000. Badania wykonano dla próbki ściany poddanej zginaniu oraz (oddzielnie) rozrywaniu [3]. Ponieważ z punktu widzenia opisu badań fotogrametrycznych oba te przypadki nie różniły się, dalszy opis dotyczył będzie badania tylko płyty zginanej.

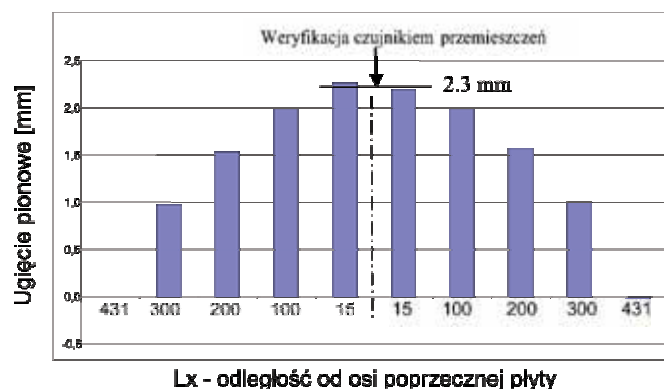
Przygotowując próbki do badań naniesiono na płyty siatkę o wymiarach 100 x 100 mm. W punktach węzłowych naklejone zostały markery pomiarowe w postaci kółek o średnicy 9 mm. Dodatkowe markery znajdujące się pomiędzy węzłami spełniają rolę kontrolną (rys. 2).

W celu automatyzacji pomiaru w projekcie zastosowano dodatkowo markery kodowane. Uzyskanie odpowiedniej dokładności pomiaru uzależnione jest od liczby poprawnie zidentyfikowanych punktów biorących udział w obliczeniach. Część z nich została naklejona na posadzce wokół badanego obiektu. Wykorzystano także listwy z dodatkowymi markerami. Nieruchome punkty kodowane stanowią również wspólne węzły przy porównywaniu położenia punktów w modelach, obciążonym i nieobciążonym.



Rys. 2. Stanowisko przygotowane do badań płyty zginanej - widoczne markery pomiarowe (L_x - odległość markerów od osi płyty) [3]

Fig. 2. Test stand prepared to study the bending plates - visible measuring markers (L_x - distance from the plate axis to markers) [3]



Rys. 3. Przemieszczenia pionowe płyty zginanej w różnych odległościach od osi płyty [mm] [3]

Fig. 3. Vertical displacements of the bending plate in various distances from the axis of the plate [mm] [3]

Pomiary przeprowadzono zgodnie ze schematem opisanym na początku rozdziału *Przykłady zastosowania badań fotogrametrycznych*.

Na rys. 3 pokazano uzyskane wartości przemieszczeń płyty. Kreska w górnej części rysunku reprezentuje wynik pomiaru ugięcia płyty uzyskany w pojedynczym punkcie za pomocą czujnika linkowego. Szacowana dokładność pomiaru położenia punktów w czasie pomiarów nie przekraczała 0,2 mm. Średni błąd w modelu nie przekraczał 0,1 mm.

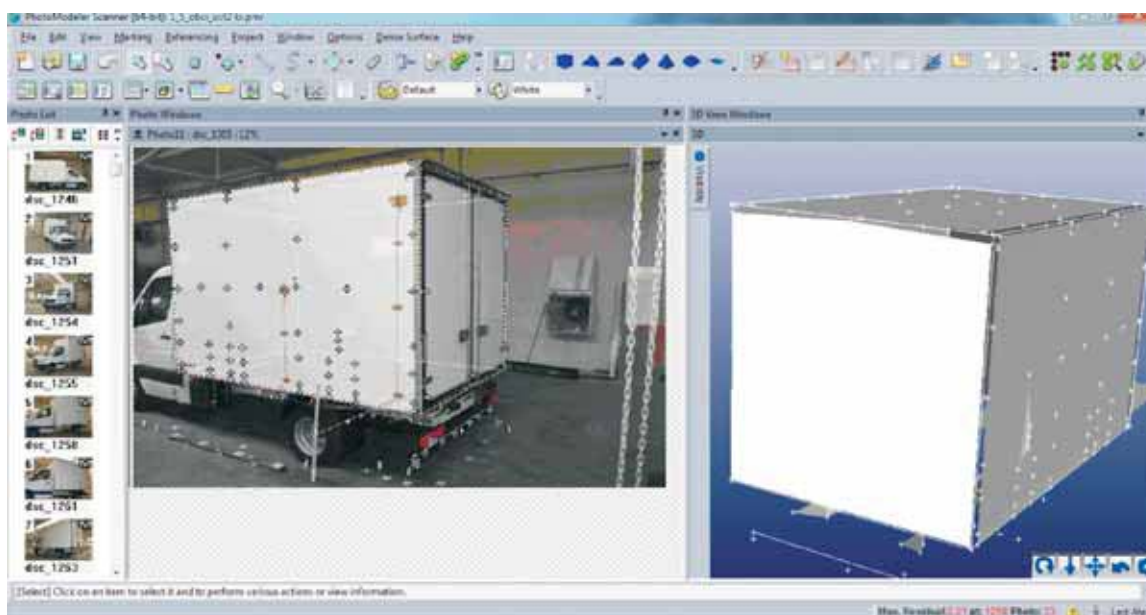
Badanie przemieszczeń pojazdu do transportu żywności pod obciążeniem statycznym

Badanie fotogrametryczne przemieszczeń występujących w pojazdach z zabudowami termoizolacyjnymi wykonano dla potrzeb analizy ich parametrów sztywności. Przebieg i wyniki wykorzystania metody fotogrametrycznej pokazano na przykładzie badań pojazdu o DMC 3,5 t [2].

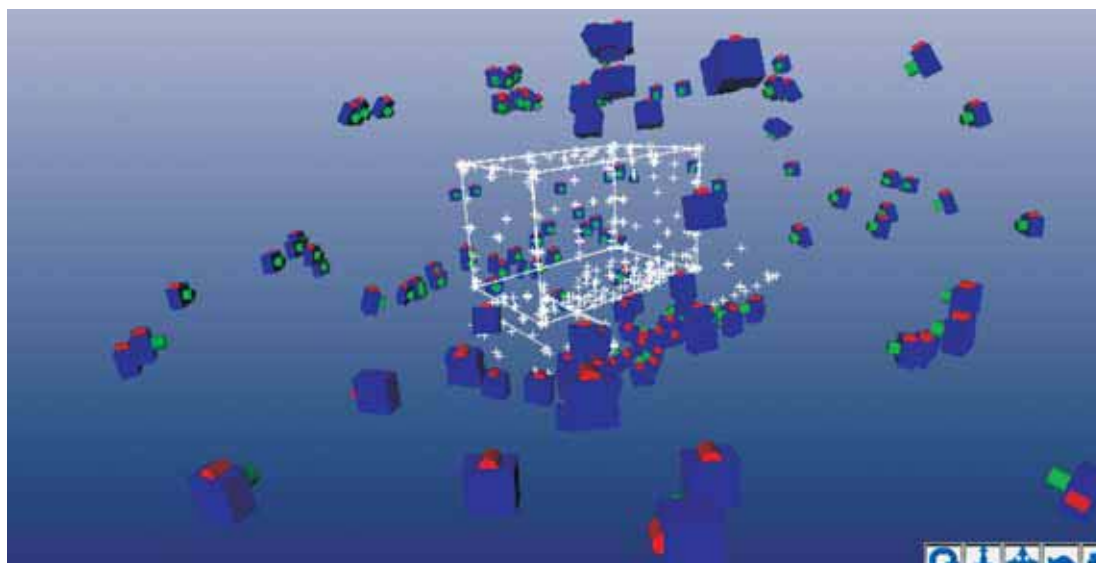
Postępując zgodnie ze schematem podanym na początku rozdziału *Przykłady zastosowania badań fotogrametrycznych*, przygotowując obiekty do badań, naniesiono na pojazd marke-

ry pomiarowe w postaci kółek o średnicy 9 mm. W celu częściowej automatyzacji pomiaru zastosowano markery kodowane, ułatwiające wzajemną orientację poszczególnych zdjęć obiektów (rys. 4 - prawa strona). Podobnie, jak w przypadku badania płyt warstwowych, część z kodowanych markerów została umieszczona na posadzce wokół badanego obiektu oraz na ramach pojazdów, na podwoziu których umieszczono badane zabudowy izotermiczne. Wykorzystano także listwy z dodatkowymi markerami pomiarowymi, służącymi do prawidłowego przeskalowania modeli.

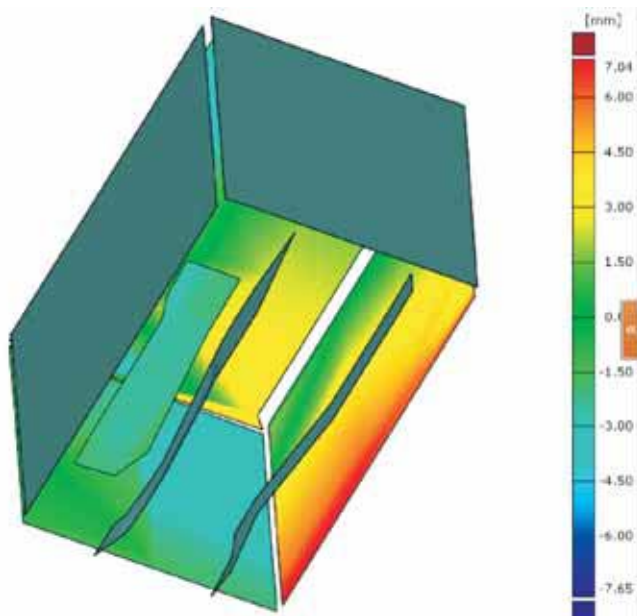
Do wykonania zdjęć wykorzystano aparat Nikon 7000. Na rys. 5 przedstawiono punkty, w których znajdował się aparat podczas wykonywania zdjęć. W czasie badań wykonano około 250 zdjęć, z czego do dalszej obróbki - za pośrednictwem programu *PhotoModeler Scanner* wykorzystano około 80. Za pomocą tego programu, opracowując model (rys. 4), wyznaczono współrzędne wszystkich punktów pomiarowych, wyskalowano model i zdefiniowano układ odniesienia modelu - umożliwiając w dalszym etapie porównanie modelu pojazdu obciążonego i nieobciążonego.



Rys. 4. Interfejs programu PhotoModeler Scanner [2]
Fig. 4. Program PhotoModeler Scanner Interface [2]



Rys. 5. Połączone modele pojazdu obciążonego i nieobciążonego wraz z pozycjami, z których wykonywano zdjęcia [2]
Fig. 5. The combined models of loaded and unloaded vehicle with the positions of taking photos [2]



Rys. 6. Zbiorcze zestawienie przemieszczeń badanych powierzchni zabudowy pojazdu [2]

Fig. 6. Summary of the displacements of the tested surface of the vehicle trailer [2]

Podsumowanie

Przedstawione przykłady wskazują na przydatność zastosowania metody fotogrametrycznej do badania prze-

mieszczeń występujących w maszynach i pojazdach rolniczych pod wpływem obciążeń statycznych. Ważną zaletą tej metody jest to, że pozwala ona na jednoczesną rejestrację przemieszczeń wielu punktów modelu. Zastosowanie innych metod pomiaru, zapewniających odpowiednią dokładność, było by w tym przypadku trudne i czasochłonne.

Na podstawie porównania wartości przemieszczeń uzyskanych w wybranych punktach metodą fotogrametryczną oraz za pomocą linkowego czujnika przemieszczeń można stwierdzić, że przemieszczenia zarejestrowane metodą fotogrametryczną zostały zarejestrowane z wystarczającą dokładnością. Różnica wartości pomiarów nie przekroczyła 6%.

Bibliografia

- [1] Kurczyński Z.: Preuss R.: Podstawy Fotogrametrii. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2002.
- [2] Rogacki R. i in.: Opracowanie i wdrożenie do produkcji zabudów izolowanych przeznaczonych dla rolnictwa. Zad. 20. Badania i identyfikacja parametrów sztywności zabudów. PIMR, 2013.
- [3] Szczepaniak J., Rogacki R., Mac J., Wojciechowski J., Kromulski J., Grzechowiak R.: Opracowanie i wdrożenie do produkcji zabudów izolowanych przeznaczonych dla rolnictwa. Zad. 6. Parametryzacja naprężeń i przemieszczeń czterowzłowego elementu powłokowego w aspekcie określenia liniowości zachowania obiektu w zakresie przyjętych obciążeń. PIMR, 2012.
- [4] <http://www.photomodeler.com> - Metric Potential of a 3D Measurement System Based on Digital Compact Cameras.

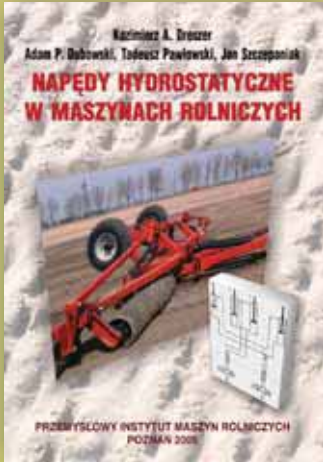
THE APPLICATION OF PHOTOGRAMMETRIC METHODS IN THE TEST OF AGRICULTURAL VEHICLES

Summary

The article presents the application of photogrammetric methods in the study of agricultural vehicles with the use of example of vehicles with thermal insulation, used for the transport of food. The sequence of activities performed during the study of displacements is discussed. In the study the PhotoModeler Scanner software was used.

Key words: photogrammetry, agricultural vehicles, food transportation, displacement measurement

Pracę wykonano w ramach projektu celowego ROW - III-156/2011, finansowanego przez NOT



NAPĘDY HYDROSTATYCZNE W MASZYNACH ROLNICZYCH

ISBN 83-921598-2-9

Książka adresowana jest do studentów uczelni rolniczych oraz użytkowników maszyn rolniczych. Zawiera wybrane zagadnienia z mechaniki płynów i właściwości cieczy roboczych, opis budowy oraz działania poszczególnych maszyn hydraulicznych. Ponadto przedstawia przykładowe urządzenia hydrauliczne w wybranych maszynach rolniczych, a także diagnostykę układów hydraulicznych.

Wydawca: Przemysłowy Instytut Maszyn Rolniczych
60-963 Poznań, ul. Starołęcka 31
tel. +48 61 87 12 200; fax + 48 61 879 32 62;