

# METODA FOTOGRAMETRYCZNA W OCENIE PRZEMIESZCZEŃ KONSTRUKCJI WIELKOGABARYTOWYCH - NA PRZYKŁADZIE SIŁOSU ZBOŻOWEGO

## Streszczenie

*W artykule przedstawiono zastosowanie metody fotogrametrycznej w badaniach silosów służących do przechowywania ziarna. Omówiono kolejność czynności wykonywanych podczas badań przemieszczeń. Do badań zastosowano oprogramowanie Photo Modeler Scanner. Wyniki zmierzonych przemieszczeń poszycia silosu obciążonego ziarnem porównano z wynikami symulacji komputerowych przeprowadzonych metodami elementów skończonych (MES). Przemieszczenia uzyskane obu metodami są podobne.*

**Słowa kluczowe:** fotogrametria, pomiar przemieszczeń, magazynowanie żywności, silosy zbożowe

## Wprowadzenie

Fotogrametria jest dziedziną nauki i techniki zajmującą się odtwarzaniem kształtów, rozmiarów i wzajemnego położenia punktów na obiekcie na podstawie zdjęć fotograficznych (fotogrametrycznych). Fotogrametria jest najczęściej wykorzystywana w geodezji jako pomoc przy pomiarach dużych obszarów i odległości, a także wysokości obiektów. Jest też często stosowana w architekturze, inwentaryzacji zabytków, archeologii, geologii, biologii i medycynie.

Rozwój fotogrametrii nastąpił po wprowadzeniu fotografii cyfrowej [1]. Obecnie w fotogrametrii cyfrowej stosowane jest komputerowe przetwarzanie obrazów fotogrametrycznych uzyskiwanych zazwyczaj bezpośrednio za pomocą kamer cyfrowych. Obecnie systemy fotogrametryczne to najczęściej mobilne narzędzia pomiarowe 3D, wykorzystujące wysokiej rozdzielczości kamerę cyfrową do akwizycji obrazów. Do fotografowanego obiektu zwykle dodawane są kodowane markery (punkty referencyjne), aby zwiększyć dokładność pomiaru i wyskalować skanowany obiekt. Zarejestrowane zdjęcia cyfrowe są przetwarzane w cyklu automatycznym lub półautomatycznym i wymagają znacznej mocy obliczeniowej komputera.

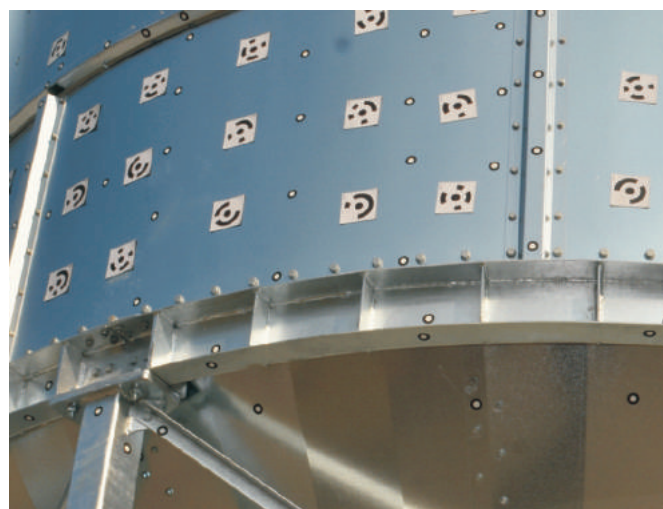
## Badanie przemieszczeń silosu metodami fotogrametrii

Przedmiotem badań był prototyp silosu o pojemności 104 m<sup>3</sup>. Celem badań było wyznaczenie wyężenia konstrukcji silosu w czasie eksploatacji. Czas napełniania i opróżniania silosu, wynoszący około 3 h był limitowany wydajnością używanych przenośników. Do pomiaru przemieszczenia konstrukcji silosu wykorzystywano metodę fotogrametryczną. Pomiary przeprowadzono na podstawie serii precyzyjnych fotografii silosu z naklejonymi na jego konstrukcji markerami.

Opracowanie modelu geometrycznego silosu na podstawie pomiarów i ocena przemieszczeń na skutek oddziaływania obciążeń przebiegały w następujących etapach [1, 2]:

- przygotowanie prototypu silosu do wykonania zdjęć metodą fotogrametryczną poprzez naniesienie w odpowiednich miejscach (wynikających z instrukcji wykorzystywanego oprogramowania) określonej liczby markerów pomiarowych (rys. 1), w tym markerów kodowanych, ułatwiających

orientację wykonanych zdjęć, a w późniejszym etapie także trójwymiarowych modeli konstrukcji,



Źródło: opracowanie własne / Source: own study

Rys. 1. Markery pomiarowe naklejone na badany silos (markery kodowane i niekodowane)

Fig. 1. Measuring markers glued onto the test silo (markers coded and uncoded)

- wykonanie wysokiej jakości zdjęć (16,2-megapikselowy sensor CMOS) konstrukcji przed załadunkiem, na których oznaczono punkty pomiarowe definiujące trójwymiarowy model obiektu, oraz zdefiniowano skalę obiektu i układ współrzędnych stanowiący odniesienie dla współrzędnych punktów pomiarowych,
- wykonanie wysokiej jakości zdjęć silosu po obciążeniu (rys. 2).

Przetwarzanie zdjęć w programie Photomodeler Motion obejmuje [3, 4]:

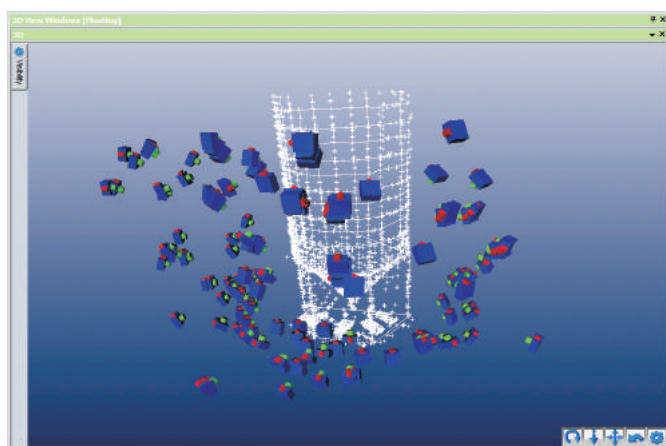
- określenie położenia poszczególnych markerów pomiarowych,
- wygenerowanie trójwymiarowych modeli obiektu, na podstawie wyznaczonych współrzędnych poszczególnych markerów pomiarowych (rys. 3),
- połączenie modelu obiektu obciążonego i nieobciążonego.



Źródło: opracowanie własne / Source: own study

Rys. 2. Interfejs programu PhotoModeler Scanner ze zdjęciami silosu

Fig. 2. Program PhotoModeler Scanner Interface with photo of silo



Źródło: opracowanie własne / Source: own study

Rys. 3. Model geometryczny silosu

Fig. 3. Geometric model of silo

Przetwarzanie zdjęć w programie Photomodeler Motion wymaga zdefiniowania wspólnego układu odniesienia dla pustego silosu i silosu po napełnieniu ziarnem. Układ ten zdefiniowano poprzez wybranie trzech punktów wspólnych dwóch modeli, które nie przemieściły się względem siebie po napełnieniu silosu; na podstawie tego układu współrzędnych możliwe było wyznaczenie przemieszczeń poszczególnych węzłów modeli.

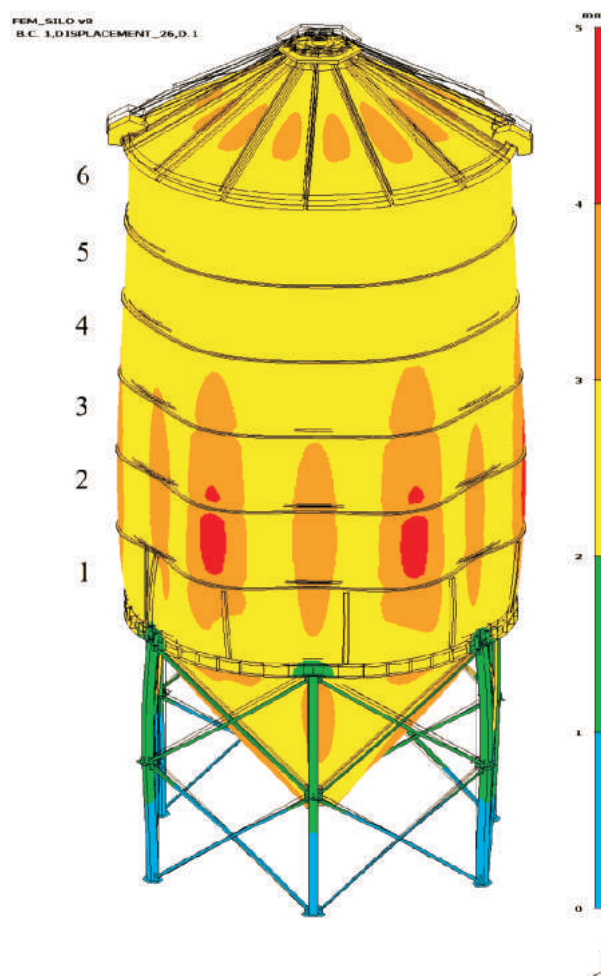
### Model obliczeniowy silosu

W modelu obliczeniowym MES silosu, do zamodelowania poszycia i słupów nośnych wykorzystano elementy skończone płytowo-powłokowe, o średnim rozmiarze ok. 40 mm. W miejscach nakładania się blach poszycia zastosowano elementy o grubościach zastępczych. Przy modelowaniu powłok pominięto małe otwory, zgodnie z PN-EN 1993-1-6.

Na rys. 4 pokazano charakter przemieszczenia w poszczególnych cargach konstrukcji silosu, uzyskanego w wyniku analizy MES konstrukcji, po napełnieniu silosu ziarnem. Na podstawie pomiarów przemieszczeń punktów na ścianach silosu można stwierdzić, że konstrukcja silosu, zgodnie z przewidywaniami odkształca się w niewielkim stopniu.

Na rys. 4 zamieszczono przykładowe przemieszczenia obciążonej konstrukcji uzyskane z obliczeń MES. Wyniki pomiaru rzeczywistych przemieszczeń dokonane metodami fotogrametrycznymi (rys. 5) świadczą o tym, że deformacje

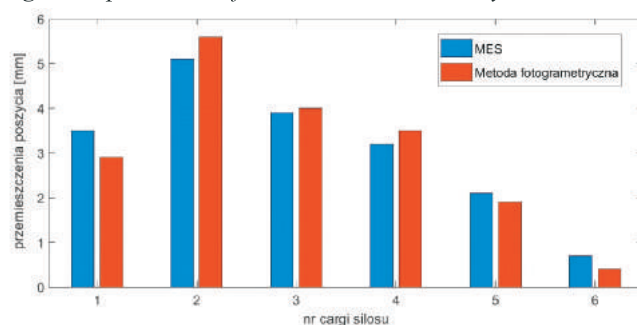
ścian po obciążeniu konstrukcji ładunkiem dobrze korespondują z wynikami przemieszczeń silosu uzyskanymi z MES.



Źródło: opracowanie własne / Source: own study

Rys. 4. Przemieszczenia obciążonej konstrukcji - analiza MES

Fig. 4. Displacement of loaded structures - analysis FEM



Źródło: opracowanie własne / Source: own study

Rys. 5. Porównanie przemieszczeń maksymalnych w kolejnych cargach silosu

Fig. 5. Comparison of the maximum displacements in successive layers of the silo

Przeprowadzone pomiary odkształceń konstrukcji silosu pozwalają stwierdzić, że przyjęte obciążenia w modelu obliczeniowym zostały wyznaczone poprawnie. Nie zaobserwowano przemieszczeń świadczących o wystąpieniu uszkodzeń lub naruszenia struktury konstrukcji nośnej silosu.

### Podsumowanie

Przedstawione przykłady wskazują na przydatność zastosowania metody fotogrametrycznej do badania przemieszczeń



występujących w silosach pod wpływem obciążeń statycznych po wypełnieniu silosu ziarnem. Ważną zaletą tej metody jest to, że pozwala ona na jednoczesną rejestrację przemieszczeń w wielu punktach konstrukcji. Zastosowanie innych metod pomiaru, zapewniających odpowiednią dokładność, w tym przypadku byłoby trudne i czasochłonne. Występuje duża zgodność amplitud przemieszczeń uzyskanych w wybranych punktach metodą fotogrametryczną oraz z obliczeń z modelu elementów skończonych (MES).

## Bibliografia

[1] Kurczyński Z., Preuss R.: Podstawy Fotogrametrii. Oficyna

Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2002.

- [2] Grzechowiak R., Mac J.: Zastosowanie metod fotogrametrycznych w badaniach pojazdów rolniczych. Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna, 2014, 3.
- [3] Pesce M., Galantucci L.M., Percoco G., Lavecchia F.: A low-cost multi camera 3D scanning system for quality measurement of non-static subjects. Procedia CIRP, 2015, 28, 88-93.
- [4] Sanz-Ablanedo E., Rodríguez-Pérez J.R., Arias-Sánchez P., Armesto J.: Metric potential of a 3D measurement system based on digital compact cameras. Sensors, 2009, 9(6), 4178-4194.

*Badania silosu były finansowane przez PARP w ramach Programu „Wsparcie w ramach dużego bonu - edycja 2015”. Wsparcie otrzymała firma Radosław Kisielewski F.P.U. RADSTAL na podstawie umowy nr 97/WDB/DPP/15.*

## THE APPLICATION OF PHOTOGRAMMETRIC METHOD IN THE TEST OF DISPLACEMENT OF LARGE STRUCTURES - FOR EXAMPLE GRAIN SILO

### Summary

*The article presents the application of photogrammetric method in the study of silos designed to store grain. Discusses the sequence of activities performed during testing movements. In the study the PhotoModeler Scanner software was used. The results of the measured displacements of the shell loaded with grain silo were compared with the results of computer simulations performed finite element method (FEM). Displacements obtained by both methods are similar.*

**Keywords:** photogrammetry, measurement of displacement, food storage, grain silos

### AUTOMAT DO SKARYFIKACJI ŻOŁĘDZI WRAZ Z IDENTYFIKACJĄ ZMIAN CHOROBOWYCH

Florian Adamczyk, Paweł Frąckowiak,  
Mirosław Jabłoński, Tadeusz Juliszewski, Paweł Kielbasa,  
Adam Pilat, Michał Szaroleta, Jan Szczepaniak,  
Ryszard Tadeusiewicz, Paweł Tylek, Józef Walczyk

### AUTOMAT DO SKARYFIKACJI ŻOŁĘDZI WRAZ Z IDENTYFIKACJĄ ZMIAN CHOROBOWYCH



PRZEMYSŁOWY INSTYTUT MASZYN ROLNICZYCH  
POZNAŃ 2018

ISBN 978-83-950733-0-4

Monografia powstała na bazie prac badawczych i konstrukcyjnych prowadzonych w ramach realizacji projektu z III konkursu Programu NCBiR Badań Stosowanych z roku 2015.

Zaprojektowano i wytworzono model automatu do skaryfikacji żołądki wraz z komputerowym systemem wizyjnym przeznaczonym do identyfikacji zmian chorobowych i sortowania żołądki.

Prace wykonał zespół realizatorów z Uniwersytetu Rolniczego im. H. Kołłątaja w Krakowie, Przemysłowego Instytutu Maszyn Rolniczych w Poznaniu, Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie oraz firmy P.W. PROMAR Sp. z o.o. w Poznaniu. Automat spełnia założenia badawcze, posiada potencjał aplikacyjny i w przypadku jego wdrożenia do produkcji pozwoli na rozwiązanie, uciążliwej dla szkółek kontenerowych, ręcznej skaryfikacji żołądki oraz ich wizualnej oceny.

Zaproponowana ocena wizualna w automacie oparta jest o opracowany odpowiedni algorytm komputerowej analizy i rozpoznawania obrazów, który został wstępnie zoptymalizowany metodami uczenia maszynowego, ale może być modyfikowany w zależności od postawionych kryteriów oceny. Komputerowo prowadzona analiza i klasyfikacja żołądki jest w pełni powtarzalna.

Automat służy do przygotowania materiału siewnego dla szkółek kontenerowych, ale możliwe są też inne jego zastosowanie, na przykład do oceny żywotności żołądki w Stacjach Oceny Nasion Lasów Państwowych. Automat jest pierwszym tego typu urządzeniem nie tylko w Polsce, ale również na świecie. Jest on chroniony patentem Urzędu Patentowego Rzeczypospolitej Polskiej P.414969 oraz Europejskiego Urzędu Patentowego EP3172954A1..

Wydawnictwo: PIMR Poznań, 2018