

XVII Konferencja Naukowo-Techniczna

TKI2024

TECHNIKI KOMPUTEROWE W INŻYNIERII

15–18 października 2024

Cyfrowa analiza zdjęć w ocenie charakterystyk geometrycznych zdegradowanych przekroi drewnianych

Piotr Bilko¹, Joanna A. Pawłowicz¹, Piotr Knyziak², Monika Mackiewicz³, Kamil Zimiński³, Adam Glema⁴, Anees Ahmed Vighio⁵

¹ Instytut Geodezji i Budownictwa, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie,

² Instytut Inżynierii Budowlanej, Politechnika Warszawska

³ Wydział Budownictwa i Nauk o Środowisku, Politechnika Białostocka

⁴ Instytut Analizy Konstrukcji, Politechnika Poznańska

⁵ Faculty of Civil Engineering, Universiti Teknologi Malaysia, Skudai, Johor, Malaysia

email: piotr.bilko@uwm.edu.pl, joanna.pawlowicz@uwm.edu.pl, piotr.knyziak@pw.edu.pl, m.mackiewicz@pb.edu.pl,

kamilziminski@op.pl, adam.glema@put.poznan.pl, anees@graduate.utm.my

STRESZCZENIE: Badania nad stanem technicznym obiektów zabytkowych, zwłaszcza drewnianych, wymagają szczególnej uwagi ze względu na unikalny charakter tych konstrukcji oraz konieczność minimalizacji ryzyka ich uszkodzenia. Tradycyjne metody diagnostyczne, oparte na inwazyjnych technikach, mogą prowadzić do nieodwracalnych zmian w zabytkowych elementach. W ostatnich latach rozwój technologii cyfrowych, takich jak skanowanie laserowe 3D i analiza cyfrowych zdjęć, otworzył nowe możliwości rozpoznawania geometrii i badania stanu technicznego konstrukcji bez konieczności ingerencji fizycznej. Techniki te umożliwiają szczegółowe odwzorowanie przekrojów elementów konstrukcyjnych wraz z ich degradacją w wyniku działania czynników organicznych, co ma kluczowe znaczenie w kontekście oceny ich nośności oraz planowania zabiegów konserwacyjnych. Celem niniejszej pracy jest zaprezentowanie zintegrowanego podejścia łączącego cyfrową analizę zdjęć z numerycznymi metodami oceny stanu technicznego drewnianych elementów konstrukcyjnych. Polega ono na zautomatyzowaniu procesu rozpoznawania kształtu i wyznaczania jego charakterystyk geometrycznych.

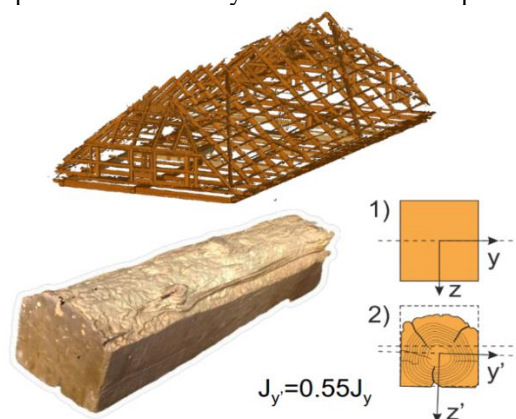
SŁOWA KLUCZOWE: budynek zabytkowy, konstrukcja drewniana, metody numeryczne, bezpieczeństwo i niezawodność konstrukcji, skaning laserowy

1. Wprowadzenie

Przeprowadzenie oceny stanu technicznego zabytkowych konstrukcji drewnianych bywa wyzwaniem ze względu na konieczność ochrony ich historycznej wartości i minimalizację skutków fizycznej ingerencji. Tradycyjne, inwazyjne metody badawcze mogą prowadzić do nieodwracalnych uszkodzeń elementów konstrukcyjnych, co czyni je niewłaściwymi dla obiektów o dużym znaczeniu kulturowym. Dynamiczny rozwój technologii cyfrowych, takich jak skanowanie laserowe 3D i zaawansowane techniki analizy obrazów, umożliwia nowatorskie podejście do oceny geometrii i stopnia degradacji konstrukcji bez naruszania ich integralności. Zastosowanie tych nieinwazyjnych technik pozwala na precyzyjne odwzorowanie przekrojów elementów drewnianych oraz na analizę wpływu czynników degradacyjnych, takich jak wilgoć i organizmy biologiczne.

Techniki fotograficzne stanowią jedną z najbardziej dostępnych metod pozyskiwania danych o kolorze, kształcie i teksturze obiektów. Cyfrowa fotografia umożliwia dokładną detekcję krawędzi elementów, szczególnie w przypadku obiektów o regularnych kształtach [1]. W przypadku form nieregularnych, złożonych, o poszarpanych krawędziach lub ubytkach, bardziej odpowiednią metodą jest skanowanie laserowe 3D.

Technologia ta umożliwia generowanie trójwymiarowych odwzorowań obiektów w postaci chmury punktów (Rys. 1), co pozwala na łatwe uzyskiwanie widoków i przekrojów [2].



Rys. 1. Skan 3D drewnianej więźby dachowej i przykład pojedynczego zdegradowanego biologicznie elementu konstrukcyjnego

Na podstawie danych uzyskanych ze zdjęć cyfrowych oraz chmury punktów można przeprowadzać analizy numeryczne, które pozwalają na wyznaczenie kluczowych parametrów geometrycznych przekrojów konstrukcyjnych oraz określenie środka ciężkości elementów. W przypadku konstrukcji drewnianych często spotykamy się z zmianą

ich kształtu i przekroju (Rys. 1). Zmniejszenie przekroju na skutek degradacji, wpływa na sposób pracy elementu nośnego. Może to powodować zmniejszenie sztywności elementu, ale również zmianę schematu pracy z prostego na złożony stan naprężenia wskutek asymetrycznej korozji przekroju. Zachodzi wówczas konieczność wyznaczenia nowego położenia środka ciężkości, jak i znalezienia nowych osi głównych.

Celem niniejszego opracowania jest przedstawienie zintegrowanego podejścia, łączącego cyfrową analizę obrazów i dane z chmur punktów ze skanowania laserowego, w celu dokładnego określenia parametrów geometrycznych oraz degradacji przekrojów drewnianych elementów zabytkowych. Zamierzeniem jest zautomatyzowanie procesu analizy obrazu w kierunku, rozpoznawania konturów, dzielenie kształtu na siatkę kwadratów oraz automatycznego obliczenia środka ciężkości za pomocą wbudowanych funkcji.

2. Zabytkowe obiekty drewniane

Zabytkowe budynki o konstrukcji drewnianej lub z elementami drewnianymi charakteryzują się często złożonymi detalami architektonicznymi, zdobieniami oraz nietypową, rozbudowaną konstrukcją. Często występują w nich bogate elementy dekoracyjne i architektoniczne (rys. 2).

Niestety, drewno jest materiałem wrażliwym na działanie warunków atmosferycznych, czynników biologicznych oraz obciążeń mechanicznych i fizycznych, co prowadzi do zmian w wyglądzie, przekrojach oraz parametrach konstrukcyjnych tych elementów. W przypadku obiektów zabytkowych, aby je bezpiecznie użytkować, zaleca się przeprowadzanie dokładnej oceny stanu technicznego, w tym każdorazowo ekspertyzy technicznej. Ocena nośności zabytkowej konstrukcji drewnianej opiera się zazwyczaj na wizualnych oględzinach *in situ* oraz badaniach nieniszczących, mających na celu precyzyjną ocenę właściwości mechanicznych i fizycznych materiału. Proces ten powinien być prowadzony zgodnie z zasadą minimalizacji ingerencji, aby ograniczyć ryzyko uszkodzeń.



Rys. 2. Chmura punktów drewnianej chaty z bogatym detalem

3. Przeprowadzone badania

Prezentowany w pracy algorytm przetwarzania obrazów może zostać zaimplementowany w dowolnym środowisku obliczeń symbolicznych, z których najczęściej wykorzystywane w zastosowaniach naukowych są *MATLAB* oraz *Mathematica*. W pierwszym etapie procesu wczytuje się obraz oraz dokonuje jego konwersji do postaci binarnej (czarno-białej), co stanowi procedurę binaryzacji obrazu. Kolejnym krokiem jest ekstrakcja konturów, co można

zrealizować w *Mathematica* za pomocą funkcji takich jak *MorphologicalPerimeter* lub *EdgeDetect*. Po wyznaczeniu konturów, obraz zostaje pokryty siatką, np. kwadratowych elementów, co można osiągnąć poprzez podział obrazu na mniejsze fragmenty. Proces ten może być wykonany za pomocą funkcji *Grid* lub poprzez ręczne podzielenie obrazu. Kluczowym aspektem tego etapu jest identyfikacja zbioru małych pól o znanych położeniach ich środków ciężkości, co umożliwia automatyczne określenie parametrów przekroju.

Obrazy przekrojów uzyskane z aparatów fotograficznych, w przeciwieństwie do skanów 3D, wymagają dodatkowej operacji przeskalowania. Skalowanie to można przeprowadzić przy użyciu wzorca o znanych wymiarach, umieszczonego na obrazie jako punkt odniesienia. Znając rozdzielczość wzorca w pikselach oraz jego rzeczywiste wymiary, możliwe jest obliczenie współczynnika skali, który pozwala na określenie rzeczywistych wymiarów badanego obiektu.

4. Podsumowanie i wnioski

W artykule przedstawiono metodologię łączącą techniki cyfrowe oraz numeryczne do analizy zabytkowych konstrukcji drewnianych, w celu zapewnienia ich bezpiecznej eksploatacji. Dane dotyczące geometrii i właściwości przekrojów konstrukcyjnych zostały uzyskane za pomocą analizy zdjęć cyfrowych oraz chmur punktów generowanych podczas skanowania laserowego 3D. Na podstawie przeprowadzonych analiz sformułowano następujące wnioski:

1. Drewno, będące jednym z najczęściej stosowanych materiałów w konstrukcjach historycznych, wymaga opracowania kompleksowej, nieniszczącej metody oceny parametrów konstrukcyjnych elementów, która jednocześnie pozwala na zachowanie integralności badanych struktur.
2. Dokładne odwzorowanie powierzchni przekrojów elementów drewnianych poddanych degradacji umożliwia trafną ocenę stabilności konstrukcji oraz zapobieganie nierównomiernemu rozkładowi sił, który mógłby prowadzić do awarii strukturalnych.
3. W obliczeniach środka ciężkości należy uwzględnić naturalne właściwości drewna, w tym zjawisko anizotropii, które wpływa na rozkład obciążeń i możliwe deformacje w obrębie przekroju [5].

Wykazano, że zastosowanie zaprezentowanej w pracy, zintegrowanej metody pozwala na precyzyjne odwzorowanie nieregularnych przekrojów oraz na określenie parametrów drewnianych, zdegradowanych elementów konstrukcyjnych, co wpływa na bezpieczeństwo użytkowania i ich niezawodność.

Literatura

- [1] Solomon Ch., Breckon T. *Fundamentals of Digital Image Processing: A practical approach with examples in Matlab*. John Wiley & Sons, 2011.
- [2] Pawłowicz, J. A., Knyziak, P., Krentowski, J. R., Mackiewicz, M., Skotnicka-Siepsiak, A., Serrat, C. *Reverse engineering as a non-invasive examining method of the water tower brick structure condition*. *Engineering Failure Analysis*, 161, 108280., 2024.
- [3] Pawłowicz, J. A. *3D modelling of historic buildings using data from a laser scanner measurements*. *Journal of International Scientific Publications: Materials, Methods and Technologies*, 8(2014), 340.
- [4] Lei, T., Nandi, A. K. *Image Segmentation: Principles, Techniques, and Applications*. John Wiley & Sons, 2022.
- [5] Krzysik, F. *Wpływ wilgoci i wody na podstawowe własności drewna*. *Ochrona Zabytków 1-2 (1961): 50-65*.