

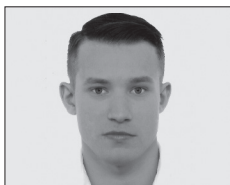
Analiza rusztowań budowlanych z wykorzystaniem nowych technologii



mgr inż.
TOMASZ NOWOBILSKI
Politechnika Wrocławska
Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego
Katedra Budownictwa Ogólnego
ORCID: 0000-0002-0599-7108



dr inż.
MAREK SAWICKI
Politechnika Wrocławska
Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego
Katedra Budownictwa Ogólnego
ORCID: 0000-0002-1220-0494



dr inż.
MARIUSZ SZÓSTAK
Politechnika Wrocławska
Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego
Katedra Budownictwa Ogólnego
ORCID: 0000-0003-4439-6599

Wraz z rozwojem nowych technologii w branży budowlanej, w szczególności technologii BIM, powstają innowacyjne metody zbierania informacji i analizy konstrukcji, w tym rusztowań budowlanych.

Zgodnie z definicją zawartą w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 6 lutego 2003 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy podczas wykonywania robót budowlanych [1] rusztowania robocze (budowlane) pełnią funkcję tymczasowych konstrukcji budowlanych umożliwiających prowadzenie prac na wysokości, służących do utrzymywania osób, materiałów oraz sprzętu. Rusztowania wykorzystywane są przy budowie nowo wznoszonych obiektów i budynków, przy remontach obiektów istniejących, a także jako tymczasowe konstrukcje nośne (np. jako element podpierający konstrukcję pomostów, deskowań itp.). Rusztowania zazwyczaj stanowią przestrzenną (ramową) konstrukcję, wykonaną z elementów prętowych, takich jak [2]: ramy, stężenia, poręcze, a także z elementów płaskich, takich jak: pomosty, deski krawędziowe itp.

Najważniejsze zalecenia

Każde rusztowanie, przed dopuszczeniem do użytkowania, wg [1] musi być: odpowiednio zmontowane przez wyspecjalizowaną brygadę roboczą (posiadającą uprawnienia montażysty rusztowań budowlano-montażowych metalowych nadane przez Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego w Warszawie), odebrane przez kierownika budowy lub uprawnioną osobę i potwierdzone wpisem do dziennika budowy lub w protokole odbioru technicznego. Montaż

rusztowania powinien odbywać się na podstawie dokumentacji technicznej producenta (DTR) lub na podstawie indywidualnego projektu, gdy charakter montowanego rusztowania nie odpowiada dokumentacji. Każde rusztowanie podlega obowiązkowym przeglądom: codziennym, okresowym oraz doraźnym. Przegląd doraźny przeprowadzany jest m.in.: po silnym wietrze, opadach atmosferycznych, ale nie rzadziej niż raz w miesiącu. Ponadto każde rusztowanie budowlane powinno zostać poddane dodatkowej kontroli, w trakcie której sprawdzane są kluczowe

dla bezpieczeństwa pracy i stateczności konstrukcji elementy [3], [4].

W trakcie takiej kontroli z pomocą przychodzi najnowsze technologie, w tym technologia BIM oraz wspierające ją narzędzia. Jak wynika z badań [5], [6], wykorzystanie technologii BIM i jej narzędzi umożliwia szybsze, dokładniejsze oraz co najważniejsze – bardziej efektywne wykonanie różnych analiz w porównaniu do metod tradycyjnych.

Celem artykułu jest przedstawienie możliwości analizy wybranych elementów konstrukcji rusztowania budowlanego z wyko-



Rys. 1. Widok ogólny na analizowane rusztowanie [5]

Z dużą pomocą w czynnościach odbiorowo-kontrolnych rusztowań przychodzą nowe technologie, w tym technologia BIM oraz wspierające ją narzędzia, takie jak: bezzałogowe statki powietrzne, chmury punktów i specjalistyczne oprogramowanie.

rzysaniem narzędzi technologii BIM. Dzięki przeprowadzonej analizie wybranego rusztowania budowlanego możliwe było wskazanie zalet oraz ograniczeń wynikających z ich zastosowania.

Przedmiot badań i stosowane narzędzia

Przedmiotem analizy było 15-kondygnacyjne, systemowe rusztowanie budowlane zlokalizowane na południowej ścianie nowo budowanego obiektu wielorodzinnego we Wrocławiu [5] – rys. 1.

Do zgromadzenia materiału badawczego wykorzystano bezzałogowy statek powietrzny (BSP, ang. UAV, potocznie nazywany dronem) firmy DJI model Phantom 4 PRO V2.0. Dron ten posłużył do wykonania szczegółowej dokumentacji fotograficznej konstrukcji rusztowania, którą następnie wykorzystano do opracowania chmury punktów. Chmura punktów to wielomilionowy zbiór punktów stanowiący geometryczną reprezentację skanowanego obiektu, uzyskany w sposób pośredni (fotogrametria) lub bezpośredni (skaning laserowy 3D) [7]. W przeprowadzonych badaniach do opracowania chmury punktów zastosowano technikę fotogrametrii. Główną przewagą tej techniki nad skanowaniem laserowym jest niższy koszt sprzętu oraz krótszy czas, który jest niezbędny do zgromadzenia materiału badawczego. Tak opracowana chmura punktów została poddana szczegółowej analizie w oprogramowaniu ReCap firmy Autodesk.

Opracowanie i analiza chmury punktów

Do opracowania chmury punktów wykorzystano technikę fotogrametrii [8], pozwalającą na uzyskanie przestrzennego odwzwiedlenia rzeczywistych obiektów na podstawie zdjęć. Jako materiał służący do analizy wykorzystano ok. 350 szczegółowych zdjęć konstrukcji rusztowania, pozyskanych przy pomocy drona poruszającego się prostopadle do płaszczyzny konstrukcji w odległości ok. 10–15 m. Opracowana w ten sposób chmura punktów (rys. 2.) charakteryzuje się dużym zagęszczeniem punktów (łącznie liczba punktów: 104 306 967), gdzie każ-

dy punkt posiada przypisane współrzędne w przestrzeni 3-wymiarowej (X, Y, Z) oraz barwę (opisaną współrzędnymi RGB).

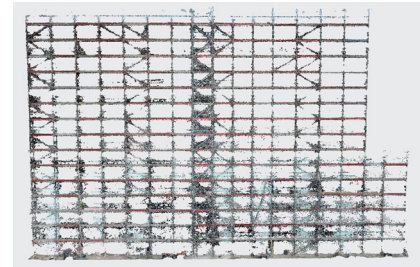
Aby przystąpić do właściwej analizy chmury punktów, w pierwszej kolejności należy oczyścić ją z szumów i zbędnych elementów. I tak dla analizowanego rusztowania przedstawiono efekt tych działań – widok na zewnętrzną połąć rusztowania (rys. 3.). Na rysunku 3. łatwo można zidentyfikować geometrię rusztowania, a w szczególności: schemat konstrukcji, rozmieszczenie stężeń i pionów komunikacyjnych, a także określić podstawowe wymiary rusztowania. Tak przygotowany widok może stanowić podstawę np. do sprawdzenia szczegółowej geometrii rusztowania i weryfikacji występujących odchyłek.

Szczegółowa analiza opracowanej chmury punktów umożliwia dostęp do trudno dostępnych lub słabo widocznych miejsc na konstrukcji badanego elementu, a także identyfikację występujących braków i nieprawidłowości, np. brak elementów konstrukcyjnych i zabezpieczających, takich jak belki krawężnikowe. Na rys. 4. przedstawiono fragment chmury punktów oraz rzeczywiste zdjęcie tego samego fragmentu konstrukcji rusztowania. Analizując widoki a) i b) przedstawione na rys. 4., można jednoznacznie stwierdzić, że na dwóch sąsiadujących polach rusztowania brakuje belek krawężnikowych (bortnic).

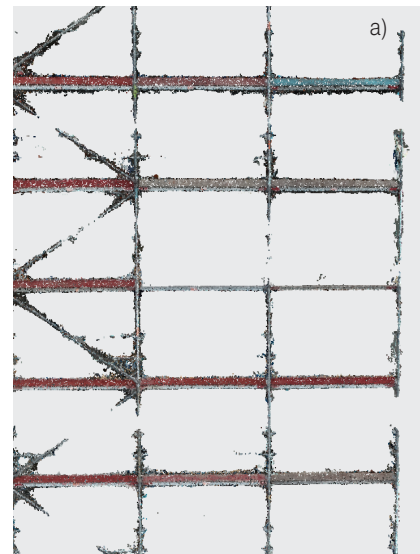
Analizując dalej przedstawiony na rys. 3. fragment chmury punktów, można również uzyskać informacje o rozmieszczeniu oraz relacji pomiędzy innymi elementami konstrukcji, takimi jak: poręcze, stężenia, zakotwienie i inne. Dodatkowo analiza chmury punktów w oprogramowaniu komputerowym pozwala m.in. na wyznaczenie odległości pomiędzy poszczególnymi elementami – rys. 5. Uzyskane w ten sposób informacje umożliwiają we-



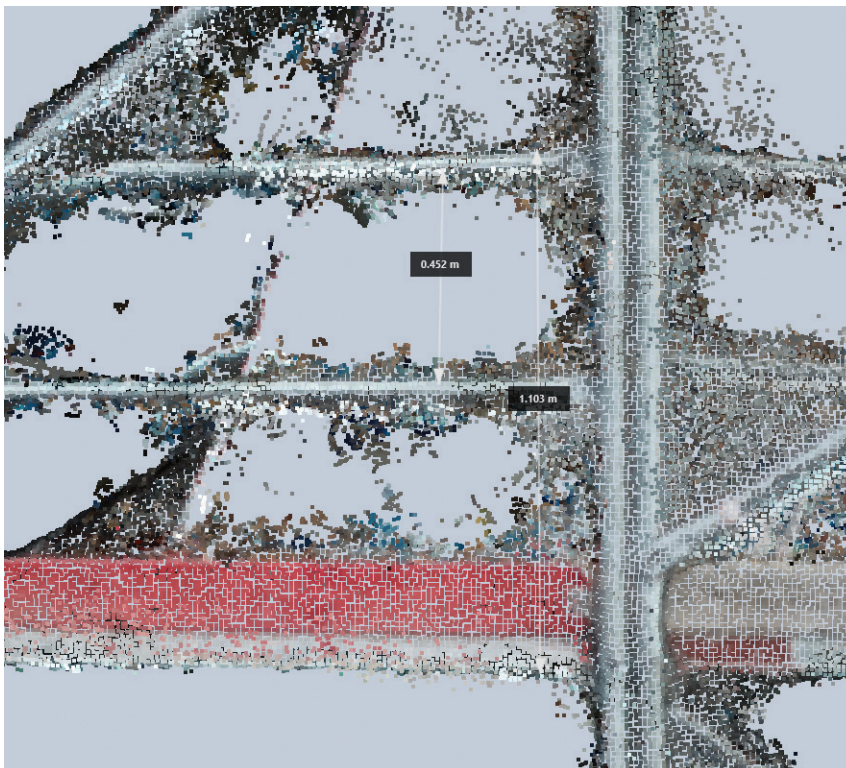
Rys. 2. Widok ogólny na opracowaną chmurę punktów



Rys. 3. Widok na zewnętrzną połąć rusztowania – chmura punktów



Rys. 4. Widok na brakujące elementy konstrukcji rusztowania (belki krawężnikowe): a) chmura punktów; b) rzeczywiste zdjęcie na rusztowanie



Rys. 5. Widok na fragment balustrady rusztowania wraz z naniesionymi odległościami pomiędzy elementami – chmura punktów

ryfikację rozmieszczenia i odległości pomiędzy elementami w kontekście obowiązujących przepisów BHP.

Wnioski

Rusztowania budowlane stanowią bardzo ważny element, bez którego budowa lub remont obiektów budowlanych byłyby w znacznym stopniu utrudnione lub wręcz niewykonalne. Należy zawsze pamiętać, że poprawna eksploatacja rusztowań wiąże się ze zrealizowaniem szeregu wymagań, jakie musi spełniać ich konstrukcja. Dopuszczenie rusztowania do użytkowania może nastąpić jedynie po dokonaniu jego kontroli i pozytywnie zakończonym odbiorze. Z dużą pomocą w czynnościach odbiorowo-kontrolnych przychodzą nowe technologie, w tym technologia BIM oraz wspierające ją narzędzia, takie jak: bezzałogowe statki powietrzne, chmury punktów i specjalistyczne oprogramowanie.

Jak wykazano w artykule, narzędzia te wspomagają kontrolę oraz przyczyniają się do:

- 1) znacznego ograniczenia czasu niezbędnego na jej przeprowadzenie,
- 2) bezpieczniejszego zebrania danych – brak konieczności poruszania się po rusztowaniu,
- 3) szybszego dostępu do poszczególnych pól rusztowania,
- 4) możliwości częstszego wykonywania badań kontrolnych.

Wykorzystywany w badaniach bezzałogowy statek powietrzny umożliwia szybkie i bezpieczne gromadzenie szczegółowego mate-

riału fotograficznego, ograniczając w ten sposób ryzyko przebywania osób na wysokości. Zgromadzony materiał zdjęciowy przekształcony w chmurę punktów umożliwia przedstawienie rzeczywistej geometrii rusztowania w przestrzeni trójwymiarowej (3D). Analiza opracowanej chmury punktów pozwala m.in. na identyfikację braków i nieprawidłowości w konstrukcji rusztowania, które mogą powodować zagrożenia dla pracowników na rusztowaniach. W tym miejscu należy podkreślić, że kluczowym etapem jest poprawne opracowanie chmury punktów, aby w sposób prawidłowy oddawała ona geometrię analizowanego obiektu oraz charakteryzowała się wystarczającą na potrzeby analizy dokładnością.

Zdaniem autorów zaproponowana w artykule metoda analizy rusztowań budowlanych pozwala na wykonanie analizy ilościowej poszczególnych elementów konstrukcji. Należy jednak zaznaczyć, że wszystkie elementy konstrukcyjne powinny również spełniać odpowiednie wymagania jakościowe. W przyszłości przedstawiona metoda może zostać wykorzystana m.in. do zautomatyzowania procesu modelowania konstrukcji rusztowania oraz procesu obliczeń statycznych konstrukcji.

Literatura

- [1] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 lutego 2003 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy podczas wykonywania robót budowlanych (Dz.U.2003, Nr 47, poz. 140).
- [2] P. Kmiecik, D. Gnot, R. Jurkiewicz, E. Nowicka-Słowik, M. Brajza, Rusztowania robocze i ochronne, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2018.
- [3] M. Sawicki, M. Śliwowski, M. Szóstak, T. Stachór, A. Czarnigowska, P. Kmiecik, Rusztowania budowlane – rozwiązania, wy-

- magania i praca na wysokości, „Builder”, 21 (8), 2017, s. 116–119.
- [4] P. Kmiecik Błędy w montażu rusztowań cz. 9 – przeglądy i odbiory rusztowań, „Rusztowania”, 14, 2008, s. 18–22.
- [5] Nowobilski T., Sawicki M., Szóstak M., Drony w ocenie stanu rusztowań, „Builder”, nr 1 (270) 2020, s. 40–41, DOI: 10.5604/01.3001.0013.6481.
- [6] Nowobilski T., Bezzałogowe statki powietrzne w kontroli obiektów budowlanych, „Builder”, nr 2 (271), 2020, s. 18–20, DOI: 10.5604/01.3001.0013.7500.
- [7] D. Kasznia, J. Magiera, P. Wierzowiecki, BIM w praktyce, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2018.
- [8] Z. Kurczyński, Fotogrametria, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2014.

DOI: 10.5604/01.3001.0014.1600

PRAWIDŁOWY SPOSÓB CYTOWANIA

Nowobilski Tomasz, Sawicki Marek, Szóstak Mariusz, 2020, Analiza rusztowań budowlanych wykorzystaniem nowych technologii, „Builder” 07 (276). DOI: 10.5604/01.3001.0014.1600

Streszczenie: Wraz z rozwojem nowych technologii w branży budowlanej, w szczególności technologii BIM, powstają innowacyjne metody zbierania informacji i analizy konstrukcji, w tym rusztowań budowlanych. Kierując się tym spostrzeżeniem, autorzy artykułu zaproponowali metodykę oceny wybranych elementów konstrukcji rusztowania budowlanego z wykorzystaniem narzędzi technologii BIM. Analizie poddano rusztowanie budowlane o powierzchni ok. 1500 m². Zgromadzony przy pomocy bezzałogowego statku powietrznego materiał zdjęciowy posłużył do opracowania chmury punktów, której analiza pozwoliła na szczegółową ocenę elementów konstrukcji. Na podstawie przeprowadzonych badań wskazano zalety i ograniczenia wynikające z zastosowania tej technologii do analiz konstrukcji rusztowań budowlanych.

Słowa kluczowe: technologia BIM, rusztowanie, chmura punktów, dron, budownictwo, fotogrametria

Abstract. ANALYSIS OF SCAFFOLDINGS USING NEW TECHNOLOGIES. Along with the development of new technologies in the construction industry, in particular BIM technology, innovative methods of collecting and analyzing structures, including construction scaffolding are created. Based on this observation, the authors of the article proposed a methodology for assessing selected elements of the construction scaffolding structure using BIM technology tools. A building scaffolding with an area of approximately 1500 m² was analyzed. The photographic material collected with the help of an unmanned aerial vehicle was used to develop a point cloud, the analysis of which allowed for a detailed assessment of structural elements. The research allowed to indicate advantages and limitations resulting from the application of this technology for the analysis of construction projections.

Keywords: BIM technology, scaffolding, point cloud, drone, construction, photogrammetry