

Kontrola stanu technicznego rusztowań budowlanych z wykorzystaniem bezzałogowych statków powietrznych

Inspection of the technical condition of scaffolding using unmanned aerial



Tomasz Nowobilski

Mgr inż.

Katedra Inżynierii Materiałów i Procesów Budowlanych, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego, Politechnika Wroclawska

tomasz.nowobilski@pwr.edu.pl



Mariusz Szóstak

Dr inż.

Katedra Budownictwa Ogólnego, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego, Politechnika Wroclawska

mariusz.szostak@pwr.edu.pl

Streszczenie: Bezzałogowe statki powietrzne są urządzeniami powszechnie wykorzystywanymi w różnych gałęziach przemysłu. Ich dostępność sprawia, że stają się również pomocnym narzędziem inżyniera na nowoczesnej budowie. W artykule przedstawiono możliwość wykorzystania bezzałogowych statków powietrznych na potrzeby przeprowadzenia kontroli stanu technicznego rusztowania budowlanego o powierzchni ok. 1 500 m². Rusztowanie usytuowane było na terenie budowy budynku wielorodzinnego. W wyniku przeprowadzonego nalotu BSP uzyskano szereg cennych informacji, które następnie zostały poddane szczegółowej analizie w celu zidentyfikowania newralgicznych elementów konstrukcji rusztowań, które stwarzały zagrożenie dla bezpieczeństwa pracy. Dodatkowym efektem przeprowadzonej analizy jest opracowana chmura punktów, która przedstawia szczegółową geometrię rusztowania i umożliwia analizę odkształceń konstrukcji.

Słowa kluczowe: Bezzałogowy statek powietrzny; Dron, rusztowanie budowlane; Budownictwo; Bezpieczeństwo pracy

Abstract: Unmanned aerial vehicles (UAVs) are devices that are commonly used in various industries. Their availability makes them also a helpful tool for an engineer on a modern construction site. The article presents the possibility of using unmanned aerial vehicles for the inspection of the technical condition of the scaffolding with an area of approx. 1.500 m². As a result of the conducted UAV trials, a lot of valuable information was obtained, which was then subjected to a detailed analysis in order to identify critical elements of the scaffolding that posed a threat to work safety. An additional effect of the analysis is the developed point cloud, which shows the detailed geometry of the scaffolding and enables the analysis of the deformation of the structure

Keywords: Unmanned aerial vehicle; Drone, Scaffolding; Construction industry; Occupational health and safety

Wprowadzenie

Rusztowania budowlane stanowią konstrukcję tymczasową, powszechnie stosowaną w branży budowlanej, których głównym zadaniem jest zapewnienie bezpiecznego dostępu do miejsc usytuowanych na wysokości w trakcie prowadzenia prac budowlanych [1].

Wszystkie rusztowania budowlane muszą spełniać szereg wymagań formalno-prawnych, niezbędnych do zapewnienia bezpieczeństwa konstrukcji. Obecnie w Polsce obowiązują kilkadziesiąt norm, a także około 30

aktów prawnych związanych z rusztowaniami budowlanymi [1], [2]. Z powyższych przepisów wynika m.in., że wszystkie rusztowania budowlane powinny być: wykonywane, montowane, eksploatowane i demontowane zgodnie z dokumentacją lub instrukcją producenta (w przypadku typowych konfiguracji rusztowań systemowych) albo według indywidualnego projektu (w pozostałych przypadkach) [3]. Do użytkowania dopuszczone może być tylko kompletnie i poprawnie zmontowane rusztowanie, posiadające odpowiednie oznakowanie i uzie-

kierownika budowy lub uprawnioną osobę. Przepisy [4] nakazują również wykonanie dodatkowego przeglądu rusztowania m.in. po: wystąpieniu opadów atmosferycznych lub silnego wiatru, przerwach roboczych dłuższych niż 10 dni oraz minimum raz w miesiącu. Prawidłowo przeprowadzony przegląd rusztowania powinien w szczególności pozwolić na identyfikację nieprawidłowości konstrukcji, które mogą wpłynąć na prawidłowy i bezpieczny przebieg dalszych prac budowlanych.

Dotychczas dostępna i możliwa forma przeprowadzenia kontroli sta-

Tab. 1. Parametry techniczne urządzenia zastosowanego w trakcie kontroli

Parametr	Wartość
Masa urządzenia (MTOM)	1,4 kg
Maksymalny czas lotu	do 30 min (teoretyczny) do 20-25 min (praktyczny)
Maksymalna rozdzielczość zdjęć	20 Mpix
Maksymalna rozdzielczość materiału wideo	4K (60 kl./s.)

nu technicznego rusztowania wiązała się z koniecznością wejścia osoby sprawdzającej na rusztowanie. Wraz z rozwojem bezzałogowych statków powietrznych możliwe staje się wykorzystanie nowych technologii w procesie kontroli. Celem przedstawionych w artykule badań i analiz jest wskazanie możliwych obszarów zastosowania bezzałogowych statków powietrznych w trakcie oceny stanu technicznego rusztowań w budownictwie.

Przedmiot badań i stosowane narzędzia

Badania i analizę wykorzystania dronów na potrzeby przeprowadzenia kontroli stanu technicznego rusztowań budowlanych przeprowadzono we Wrocławiu, na terenie kilku budowli wielorodzinnych. Każdorazowo w trakcie kontroli wykorzystano bezzałogowy statek powietrzny firmy DJI model Phantom 4 PRO V2.0. Podstawowe parametry urządzenia przedstawiono w tabeli 1.

Wykonanie operacji lotniczej z użyciem bezzałogowego statku powietrzego wiąże się z koniecznością spełniania szeregu wymagań, które regulują odpowiednie przepisy prawne [5]. Zgodnie z obowiązującymi przepisami wykonanie operacji lotniczej dronem w pobliżu zabudowań możliwe jest wyłącznie w kategorii „szczegól-

nej”, według „scenariusza standardowego” (STS), w którym to przedstawione zostały wymagania dotyczące dronów oraz maksymalnych parametrów lotu, m.in. wysokości i odległości. Dodatkowo pilot bezzałogowego statku powietrzego wykonujący operację w kategorii „szczególnej” zobowiązany jest posiadać odpowiednie uprawnienia i powinien być zarejestrowany w systemie operatorów systemów bezzałogowych statków powietrznych.

Należy zwrócić również uwagę, że jednym z ważniejszych elementów, które w dużym stopniu mogą wpływać na możliwość wykonania operacji lotniczej i jej bezpieczeństwo, są ograniczenia wynikające z budowy struktury przestrzeni powietrznej.



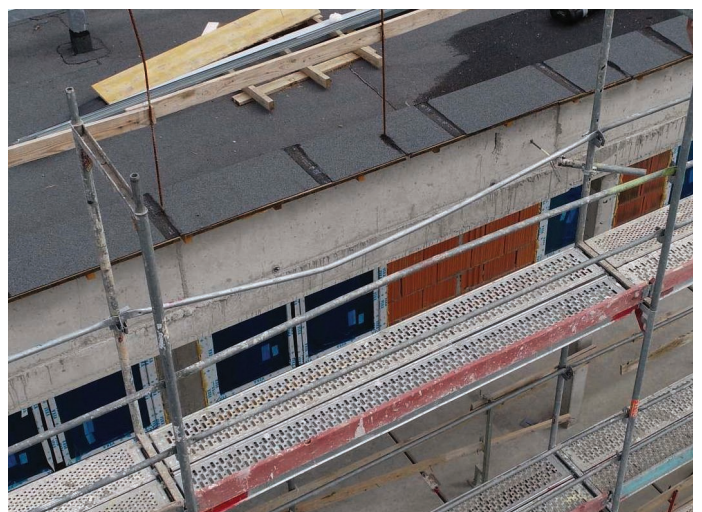
1. Widok na szczegół konstrukcyjny rusztowania – połączenie



2. Widok na pion stępujący rusztowanie



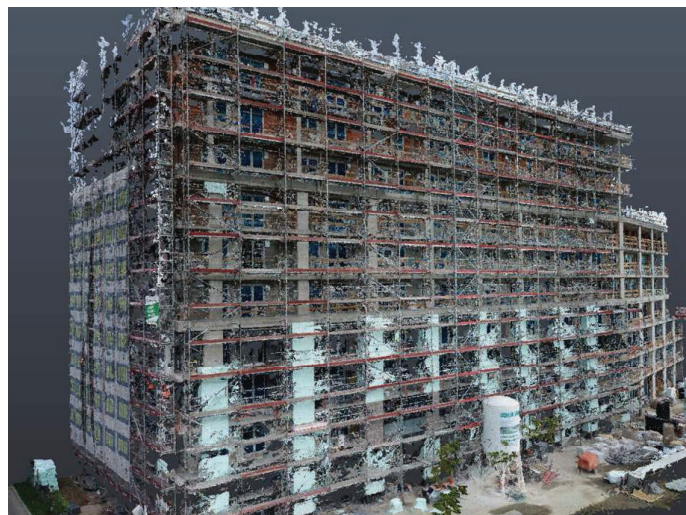
3. Widok na wciągarkę



4. Widok na uszkodzoną poręcz



5. Widok na uszkodzoną deskę krawężnikową



6. Widok ogólny na opracowaną chmurę punktów

Ocena stanu technicznego rusztowania budowlanego – studium przypadku

Poniżej przedstawiono przykładowy przebieg kontroli stanu technicznego jednego z wrocławskich rusztowań budowlanych. Powierzchnia analizowanego rusztowania systemowego wynosiła ok. 1 500 m². Inspekcji poddano wszystkie newralgiczne elementy konstrukcji rusztowania, takie jak: połączenia, stężenia, elementy zabezpieczające i inne. Wykonanie inspekcji rusztowania z wykorzystaniem drona znacząco skróciło czas jej trwania do około 30 minut i pozwoliło uzyskać, w sposób bezpieczny, bez zagrożeń i sytuacji potencjalnie wypadkowych, obszerny materiał fotograficzny oraz filmowy.

Przykładowo na rysunku 1 przedstawiono zdjęcie wykonane za pomocą kamery drona szczegół, na którym można zaobserwować połączenie pomostu roboczego i stężeń z ramą główną.

Pozyskany obszerny materiał zdjęciowy oraz filmowy pozwolił wykonać szczegółową ocenę geometrii rusztowania i analizę składowych elementów rusztowania bez konieczności wejścia na badane rusztowanie. Ocena geometrii i stanu technicznego rusztowań za pomocą zgromadzonego materiału badawczego może być wykonana zarówno w aspekcie ilościowym (np.

Tab. 2. Zalety i ograniczenia wynikające z zastosowanie bezzałogowego statku powietrznego na potrzeby kontroli rusztowań budowlanych

Zalety	Ograniczenia
<ul style="list-style-type: none"> • Szybkie pozyskanie materiału fotograficznego i filmowego w wysokiej rozdzielczości, 	<ul style="list-style-type: none"> • Utrudniony dostęp do elementów rusztowania zlokalizowanych od strony elewacji budynku,
<ul style="list-style-type: none"> • Znaczące skrócenie czasu niezbędnego na przeprowadzenie kontroli stanu technicznego rusztowania w porównaniu do metod tradycyjnych, 	<ul style="list-style-type: none"> • Konieczność posiadania odpowiednich kwalifikacji umożliwiających wykonywanie operacji lotniczych z użyciem dronów,
<ul style="list-style-type: none"> • Możliwość dotarcia do trudnodostępnych części rusztowania – m.in. usytuowanych na wysokości, 	<ul style="list-style-type: none"> • Uzależnienie możliwości wykonania lotów od warunków terenowych i atmosferycznych (m.in. opady atmosferyczne lub prędkość wiatru powyżej 10 m/s w większości BSP znacząco utrudnia lub uniemożliwia wykonanie lotu),
<ul style="list-style-type: none"> • Ograniczenie ryzyka dla osób wchodzących na rusztowanie w sytuacji braku pewności co do stateczności rusztowania, 	<ul style="list-style-type: none"> • Konieczność stosowania się do ograniczeń występujących w przestrzeni powietrznej,
<ul style="list-style-type: none"> • Zlokalizowanie drobnych uszkodzeń w konstrukcji rusztowania, mogących stwarzać zagrożenia dla bezpieczeństwa pracy. 	

weryfikacja kompletności elementów składowych konstrukcji) jak i jakościowym (np. identyfikacja uszkodzeń) w zakresie m.in.: poprawności montażu stężeń, balustrad i desek krawężnikowych (rys. 2) oraz elementów wyposażenia rusztowania, np. wciągarek (rys. 3).

Wykorzystany w trakcie kontroli dron umożliwił również sprawne zlokalizowanie uszkodzeń konstrukcji, które mogą stanowić źródło zagrożeń dla użytkowników rusztowania. Przykładem takiego uszkodzenia może być wygięta poręcz (rys. 4) lub pęknięta deska krawężnikowa (rys. 5).

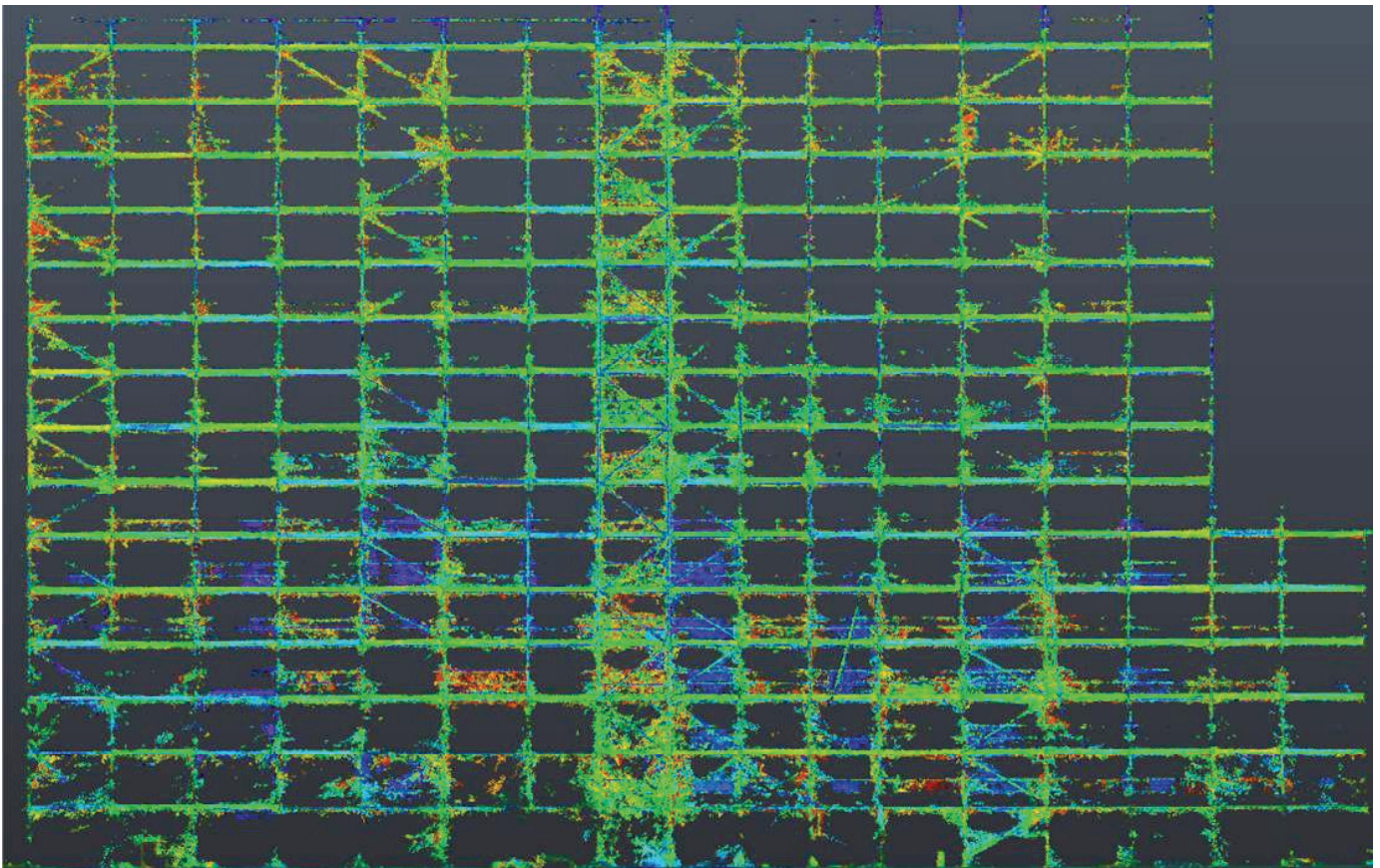
Wykonane w trakcie nalotu zdjęcia, w odległości ok. 10-15 m od rusztowania, pozwoliły na opracowanie chmury punktów konstrukcji. Do jej opracowania wykorzystano technikę fotogrametrii, pozwalającą na uzyskanie przestrzennego odzwierciedlenia

rzeczywistych obiektów na podstawie zdjęć [6] oraz oprogramowaniu ReCap firmy Autodesk. Opracowana chmura punktów (rys. 6) charakteryzuje się wysokim zagęszczeniem punktów (łącznie liczba punktów: 104 306 967), gdzie każdy punkt posiada przypisane współrzędne w przestrzeni 3-wymiarowej (X, Y, Z) oraz barwę (opisaną współrzędnymi RGB).

Analiza opracowanej chmury punktów pozwala m.in. na identyfikację schematu statycznego konstrukcji oraz pomiar ewentualnych odkształceń (rys. 7).

Podsumowanie

Analiza zastosowania bezzałogowego statku powietrznego w trakcie oceny stanu technicznego rusztowania budowlanego pozwoliła na wskazanie najważniejszych korzyści i ograniczeń,



7. Widok na zewnętrzną połąć rusztowania – chmura punktów

wynikających z zastosowania bezzałogowych statków powietrznych jako narzędzia wspomagającego kontrolę. Najważniejsze z nich zestawiono w tab. 2.

Wnioski

Obowiązek przeprowadzenia kontroli stanu technicznego rusztowania budowlanego jest wymogiem niezbędnym do bezpiecznego jego użytkowania. Jak wykazano w artykule narzędziem wspomagającym kontrolę oraz przyczyniającym się do znacznego ograniczenia czasu niezbędnego na jej przeprowadzenie są bezzałogowe statki powietrzne. Drony umożliwiają szybkie i bezpieczne gromadzenie szczegółowego materiału fotograficznego oraz filmowego w wysokiej rozdzielczości bez konieczności wchodzenia na rusztowanie. Taka funkcjonalność dronów przyczynia się to do znacznego ograniczenia narażenia pracowników wykonujących kontrolę na czynniki ryzyka, występujące na terenie budowy, w szczególności

na rusztowaniach budowlanych.

Ponadto, poprawnie zgromadzony materiał fotograficzny umożliwia wizualną ocenę stanu technicznego rusztowania, sprawdzenie kompletności wszystkich elementów składowych oraz wczesne wykrycie uszkodzeń, które mogą powodować zagrożenia dla bezpiecznej pracy. Dodatkowo, wykorzystując odpowiednie oprogramowanie komputerowe możliwe jest dalsze przetwarzanie zgromadzonego materiału. Umożliwia to m.in. opracowanie tzw. chmury punktów badanego rusztowania, która przedstawienie rzeczywistą geometrię rusztowania w przestrzeni trójwymiarowej (3D).

Należy jednak pamiętać, że operacje z wykorzystaniem dronów mogą być wykonywane przez osoby posiadające odpowiednie uprawnienia, a na prawidłowy i bezpieczny przebieg operacji wpływ ma szereg czynników związanych m.in. z uwarunkowaniami terenowymi i atmosferycznymi. ◀

Materiały źródłowe

- [1] P. Kmieciak, D. Gnot, R. Jurkiewicz, E. Nowicka-Słowik, and M. Brajza, Rusztowania robocze ochronne. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN, 2018
- [2] E. Błazik-Borowa and M. Pieńko, Scaffoldings. Lublin: Politechnika Lubelska, 2017
- [3] P. Kmieciak and D. Gnot, Budownictwo. Bezpieczne rusztowania. Warszawa: Państwowa Inspekcja Pracy, 2016
- [4] 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. 401)
- [5] Urząd Lotnictwa Cywilnego, "Bezzałogowe statki powietrzne," <https://ulc.gov.pl/pl/drony>, Mar. 2022
- [6] Kurczyński Zdzisław, Fotogrametria. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN, 2014