

Optymalizacja topologiczna konstrukcji nośnej drona

Bartłomiej Galek¹, Dariusz Skibicki^{2*}

¹ Politechnika Bydgoska im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich, Al. prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz, Polska; e-mail: bargal000@utp.edu.pl

² Politechnika Bydgoska im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich, Al. prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz, Polska; e-mail: dariusz.skibicki@pbs.edu.pl

* Autor korespondencyjny: dariusz.skibicki@pbs.edu.pl

Streszczenie: Drony to bezzałogowe statki powietrzne, sterowane zdalnie lub autonomiczne. Urządzenia te mają coraz więcej zastosowań, przez co stają się bardziej powszechne. W pracy podjęto się rozwiązanie zadania optymalizacji topologicznej konstrukcji nośnej drona. W tym celu wykorzystano zintegrowany system CAD-CAE programu Fusion, zawierający moduł metody elementów skończonych oraz specjalny topologiczny moduł optymalizacyjny. W rezultacie optymalizacji uzyskano znaczną redukcję masy konstrukcji drona przy zachowaniu wszystkich kryteriów mechanicznych dotyczących wytrzymałości i sztywności. Wykazano, że dzięki zastosowaniu metod numerycznych zaimplementowanych w programie CAD optymalizacja jest dziś dostępna dla każdego inżyniera konstruktora.

Słowa kluczowe: CAD, CAE, drony, optymalizacja topologiczna, metoda elementów skończonych

Topological optimization of the drone's supporting structure

Bartłomiej Galek¹, Dariusz Skibicki^{2*}

¹ Bydgoszcz University of Science and Technology, Al. prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz, Poland; e-mail: bargal000@utp.edu.pl

² Bydgoszcz University of Science and Technology, Al. prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz, Poland; e-mail: dariusz.skibicki@pbs.edu.pl

* Correspondent author: dariusz.skibicki@pbs.edu.pl

Summary: Drones are unmanned aerial vehicles, remote-controlled or autonomous. These devices have more and more applications, which is why they are becoming more and more common. The work deals with the solution of the topological optimization of the supporting structure of the drone. For this purpose, the integrated CAD-CAE system in the Fusion program was used, containing the finite element method module and a special topological optimization module. As a result of the optimization, a significant reduction in the weight of the drone structure was achieved while maintaining all mechanical properties such as strength and stiffness. The work shows that thanks to the use of numerical methods implemented in CAD programs, optimization is nowadays available to every design engineer.

Key words: CAD, CAE, drones, topological optimization, finite element method

1. Wstęp

Obenie bezzałogowe statki powietrzne, zwane dronami, stają się coraz bardziej dostępne i powszechne [2, 4]. Wykorzystywane są do zastosowań cywilnych oraz wojskowych. Niezwykle ważnymi cechami tych rozwiązań technologicznych, pozwalającymi na tak szerokie zastosowanie dronów, są ułatwienie operatorowi drona wykonywania pracy w odległości zapewniającej mu bezpieczeństwo, pracy w miejscach trudno dostępnych oraz w warunkach ograniczonego dostępu. Najczęstszymi dotychczasowymi obszarami zastosowań dronów były geodezja i kartografia. Aktualnie coraz częściej drony wykorzystuje się w marketingu, medycynie albo mediach.

Drony można ciągle jeszcze uznawać za nowe rozwiązania techniczne, dlatego ich nazewnictwo nie jest do końca ustalone. W Polsce drony nazywa się bezzałogowymi statkami latającymi, w skrócie BSL. Za granicą najczęściej używa się pojęcia Unmanned Aerial Vehicle (UAV) albo Unmanned Aircraft System (UAS).

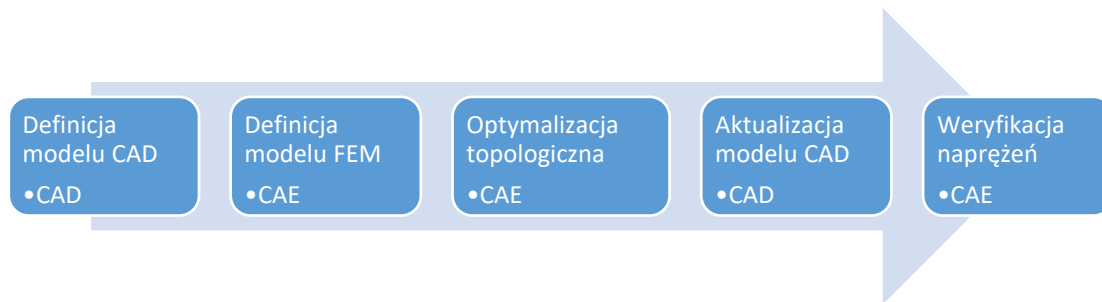
W artykule przedstawiono optymalizację topologiczną konstrukcji nośnej drona. Zadaniem optymalizacji jest takie rozmieszczenie masy, aby optymalizowana konstrukcja poddana obciążeniu eksploatacyjnemu, spełniając jednocześnie wszelkie kryteria wytrzymałościowe i eksploatacyjne, była jak najlżejsza [1]. Obniżanie masy statku powietrznego jest bowiem z oczywistych względów niezmiernie ważnym celem procesu konstrukcyjnego. Warto również zwrócić uwagę na to, że wykorzystanie w pracy nowatorskiego narzędzia stanowi jednocześnie pewnego rodzaju laboratorium doświadczalne pozwalające przetestować jego funkcjonalność na konkretnym i trudnym przykładzie zadania inżynierskiego.

Publikacja powstała na podstawie wyników pracy dyplomowej studenta Bartłomieja Galka [3].

2. Metoda badawcza

2.1. Optymalizacja topologiczna

Realizacja pełnego procesu optymalizacji topologicznej, będącego częścią procesu konstrukcyjnego, polega na wykonaniu zadań cząstkowych przedstawionych schematycznie na rys. 1 [6]. Wszystkie etapy tego procesu zostały zrealizowane w edukacyjnej licencji programu Autodesk Fusion 360. Program ten, oprócz tradycyjnego modułu CAD, pozwala na przygotowanie modelu i analizę MES oraz optymalizację topologiczną na tym samym modelu geometrycznym. Brak konieczności transportu modelu do różnych środowisk inżynierskich CAx znacznie upraszcza realizację etapów projektowych przedstawionych na rys. 1. Uwalnia też konstruktora od badania poprawności eksportowanego modelu, a niekiedy od konieczności jego pełnego odtwarzania.



Rys. 1. Etapy procesu optymalizacji topologicznej zrealizowanej za pomocą programu Fusion [6]

Fig. 1. Stages of topological optimization performed with Fusion [6]

Optymalizacja topologiczna sprowadza się do wykonania następujących kroków:

1. Wczytanie modelu geometrycznego optymalizowanego obiektu lub utworzenie go od nowa w module CAD.
2. Wybór polecenia „Material” pozwala na zdefiniowanie rodzaju materiału. Materiał wybieramy z listy dostępnych, predefiniowanych materiałów metalowych lub polimerowych.
3. Za pomocą polecenia „Coinstraints” definiujemy rodzaj więzów nałożonych na model oraz ich punkty przyłożenia.
4. Następnie definiujemy siły i momenty działające na model. Służy do tego polecenie „Loads”. W oknie dialogowym definiuje się dane dotyczące wektora siły lub momentu, takie jak wartość i kąt (kierunek i zwrot).
5. W celu zapobieżenia ingerencji algorytmu w materiał (usuwania materiału) w miejscach zabronionych używa się funkcji „Preserve Region”. Program pozwala na wskazanie objętości. Najczęściej odbywa się to przez przeciągnięcie wskazanych płaszczyzn (powierzchni) elementów.
6. Wybierając funkcję „Mesh”, określamy nastawy siatki podziału na elementy skończone, takie jak średnia wielkość oraz minimalny rozmiar elementu. Siatka generowana jest przez program automatycznie.
7. Następnie w zakładce „Shape Generator Settings” określa się nastawy procesu optymalizacji, w tym przede wszystkim masę docelową procesu optymalizacji.
8. Ostatecznie uruchamiamy proces optymalizacji topologicznej. Warto zauważyć, że można wybrać opcję, która pozwoli na przeprowadzenie wszelkich obliczeń w chmurze. Dzięki temu można optymalizacji poddać duże i złożone elementy, nie obciążając komputera użytkownika.
9. Na podstawie zaproponowanego przez program rozwiązania użytkownik może utworzyć nowe rozwiązanie spełniające warunki technologiczne.
10. Zgodnie z algorytmem przedstawionym na rys. 1 zoptymalizowany element można poddać dalszej analizie MES w celu sprawdzenia jego wytrzymałości po zakończeniu procesu optymalizacji.

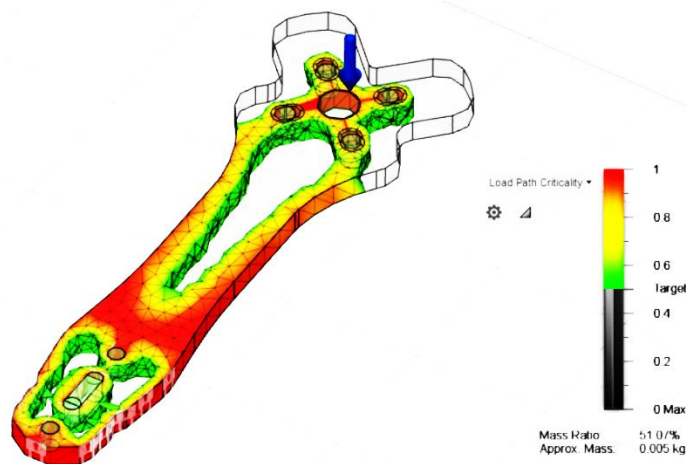
2.2. Przyjęta procedura optymalizacyjna

W pracy zrealizowano dwa warianty postępowania. W pierwszym wariantcie zoptymalizowano już istniejącą konstrukcję drona, zaś w drugim za rozwiązanie początkowe przyjęto prostokątną płytę, definiując jedynie punkty mocowania napędów. Ostatecznie oba uzyskane rozwiązania porównano, aby wykazać, czy i w jaki sposób ograniczenia istniejącej konstrukcji wpłynęły na możliwość osiągnięcia optymalnego rozwiązania.

3. Wyniki

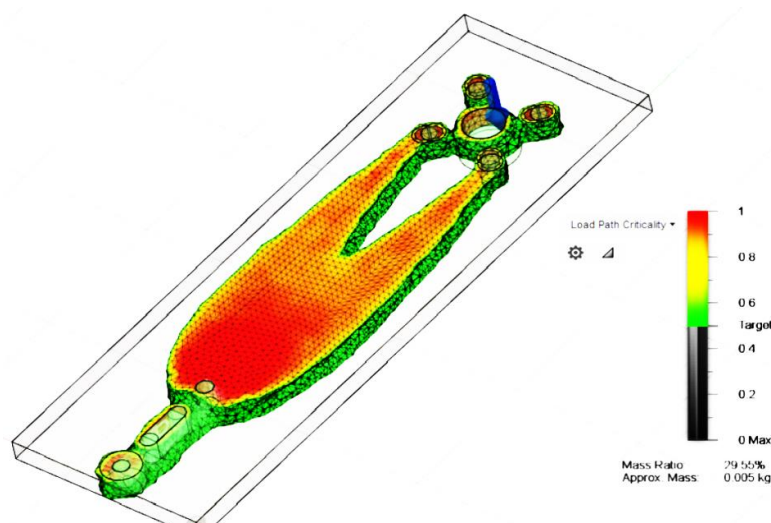
3.1. Optymalizacja ramienia drona

Wyniki optymalizacji topologicznej ramienia drona przedstawiono na rysunkach 2 i 3. Na rys. 2 widoczny jest zarys części oraz wynik optymalizacji w postaci kolorowej mapy reprezentującej wartość współczynnika bezpieczeństwa. Na rys. 3 widoczny jest zarys prostokątnej płyty będącej rozwiązaniem początkowym procesu optymalizacji.



Rys. 2. Ramię drona zoptymalizowane do 50% masy początkowej [3]

Fig. 2. Drone arm optimized to 50% of the initial weight [3]

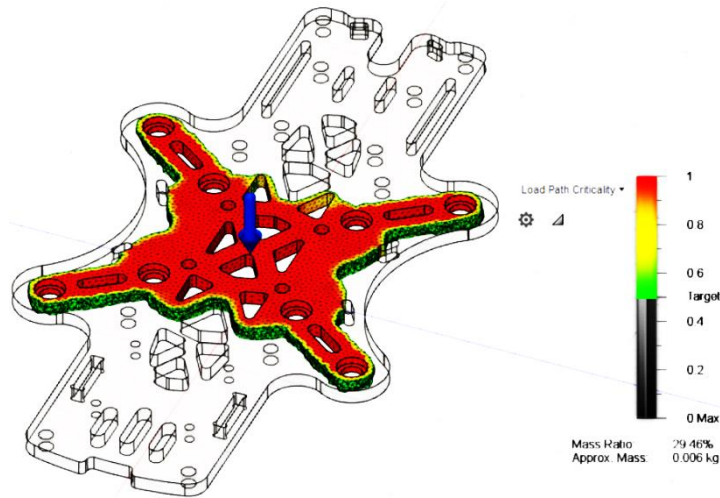


Rys. 3. Początkowe ramię drona z płyty zoptymalizowane do 40% masy początkowej [3]

Fig. 3. Drone arm made of a plate optimized to 40% of the initial weight [3]

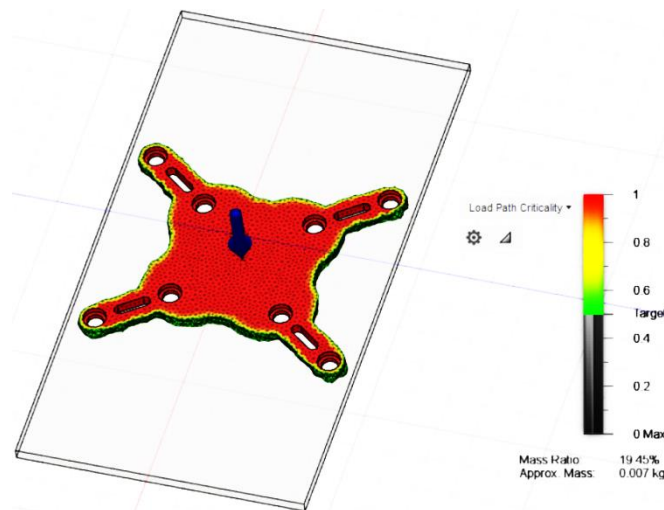
3.2. Optymalizacja korpusu drona

Wyniki optymalizacji korpusu przedstawiono na rysunkach 4 i 5. Rys. 4 ilustruje wynik osiągnięty z rozwiązania początkowego w postaci części oryginalnej, zaś rys. 5 – wynik, którego rozwiązaniem początkowym była płyta prostokątna.



Rys. 4. Korpus drona zoptymalizowany do 35% masy początkowej [3]

Fig. 4. Drone corps optimized to 35% of the initial weight [3]

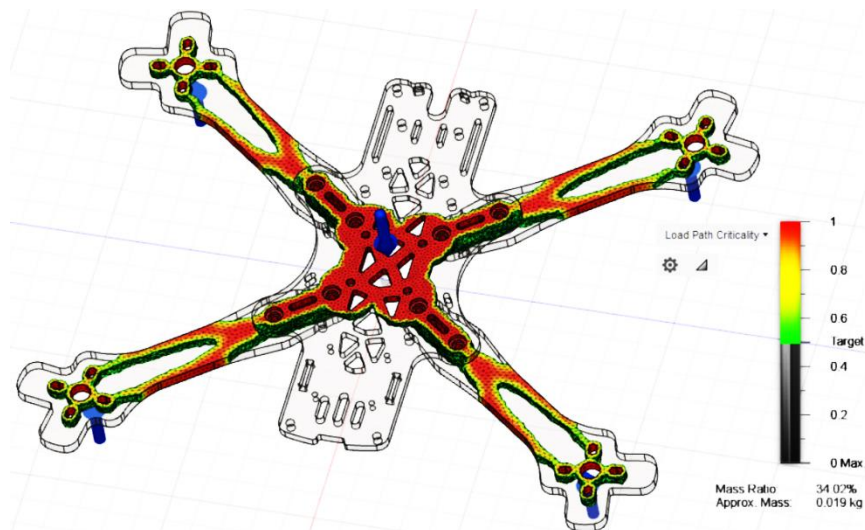


Rys. 5. Korpus drona zoptymalizowany z płyty do 35% masy początkowej [3]

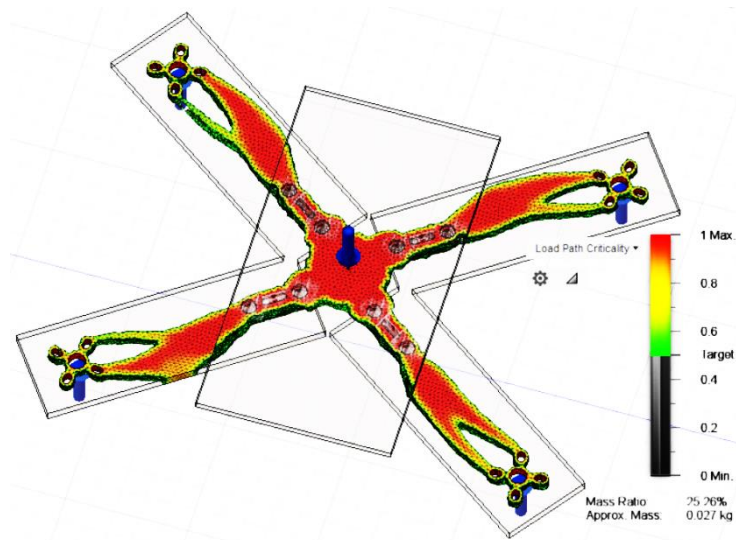
Fig. 5. Drone corps optimized from a plate to 35% of the initial weight [3]

3.3. Optymalizacja jednoczesna całej konstrukcji drona

Wyniki optymalizacji całego korpusu przedstawiono na rysunkach 6 i 7. Podobnie jak poprzednim punkcie pierwszy z rysunków przedstawia wynik optymalizacji osiągnięty z rozwiązania początkowego w postaci oryginalnych elementów, zaś drugi ilustruje wynik, który uzyskano z płyt prostokątnych.



Rys. 6. Konstrukcja drona zoptymalizowana do 35% masy początkowej [3]
Fig. 6. Drone optimized to 35% of the initial weight [3]

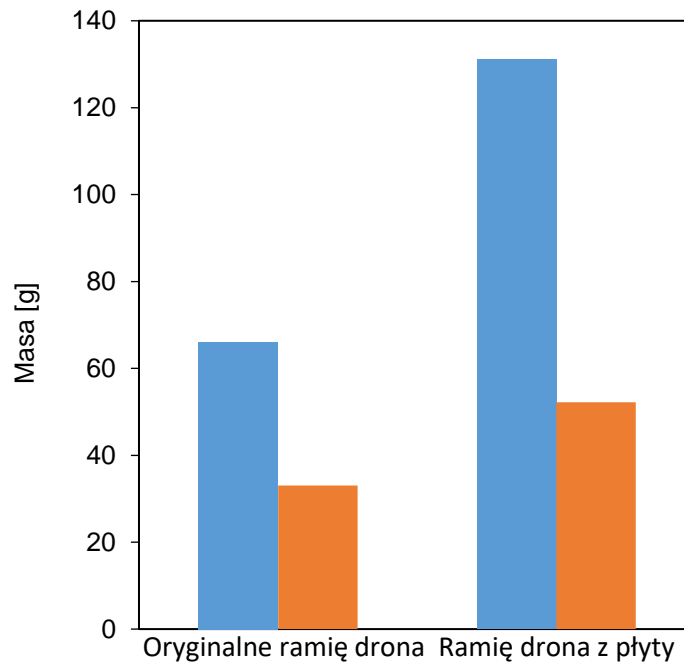


Rys. 7. Konstrukcja drona zoptymalizowana z płyty do 35% masy początkowej [3]
Fig. 7. Drone optimized from a plate to 35% of the initial weight [3]

4. Analiza wyników

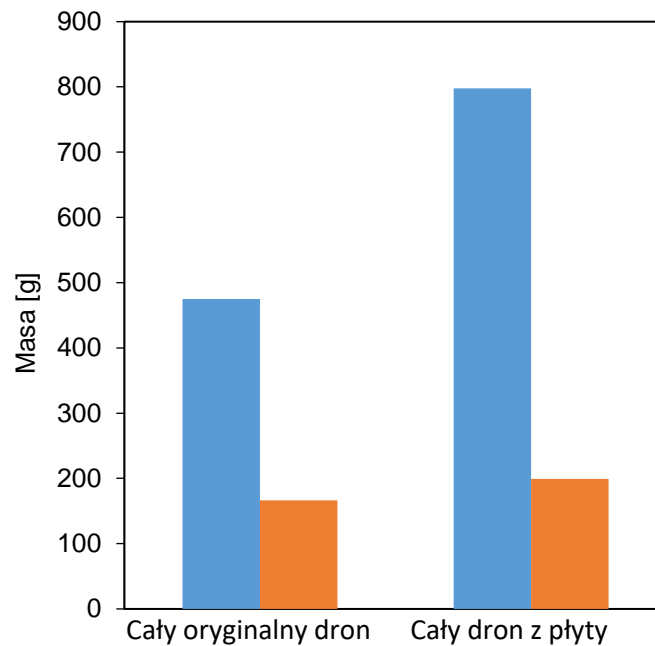
Na rysunkach 8 i 9 przedstawiono porównanie rezultatów optymalizacji. Każdorazowo optymalizacja topologiczna pozwoliła na znaczną redukcję masy. Na uwagę zwraca fakt, że najlepsze rezultaty osiągnięto przyjmując za wstępne rozwiązanie rzeczywistą postać geometryczną konstrukcji. Jest to szczególnie widoczne w przypadku optymalizacji ramienia. W pierwszym przypadku osiągnięto masę 33 g, a w drugim aż 52 g.

Optymalizacja topologiczna konstrukcji nośnej drona



Rys. 8. Porównanie optymalizacji ramienia drona; konstrukcja wstępna – kolor niebieski, konstrukcja zoptymalizowana – kolor pomarańczowy [3]

Fig. 8. Drone arm optimization comparison; pre-construction – blue, optimized design – orange [3]



Rys. 9. Porównanie optymalizacji konstrukcji drona; konstrukcja wstępna – kolor niebieski, konstrukcja zoptymalizowana – kolor pomarańczowy [3]

Fig. 9. Drone optimization comparison; pre-construction – blue, optimized design – orange [3]

5. Wnioski

Realizacja optymalizacji topologicznej w programie Autodesk Fusion 360 pozwoliła na znaczne obniżenie masy konstrukcji drona. Najlepszym rezultatem, który udało się uzyskać, była redukcja masy nawet do 35% jej początkowej wartości. Jednocześnie zbiór ograniczeń zdefiniowany w procesie optymalizacji nie po-

zwoił na taką zmianę cech konstrukcyjnych, która wpłynęłaby na bezpieczeństwo i funkcjonalność konstrukcji. Ciekawym wnioskiem z analizy jest spostrzeżenie, że optymalizacja, w której za punkt startu przyjęto oryginalne części drona, doprowadziła do lepszych rezultatów niż optymalizacja części wykonanych początkowo z prostokątnych płyt. Potwierdza to regułę optymalizacji jako metody numerycznej, według której za rozwiązanie początkowe należy przyjmować rozwiązanie możliwe najbliższe przewidywanemu rozwiązaniu optymalnemu [5].

Bibliografia

- [1] Bici, M., Broggiato, G.B., Campana, F., "Topological Optimization in Concept Design: starting approach and a validation case study", in: B. Eynard, V. Nigrelli, S. Oliveri, G. Peris-Fajarnes, S. Rizzuti (eds), *Advances on Mechanics, Design Engineering and Manufacturing. Lecture Notes in Mechanical Engineering*, Springer, Cham, https://doi.org/10.1007/978-3-319-45781-9_30 (2017).
- [2] dron.edu.pl, https://dron.edu.pl/hobby/najciekawsze-zastosowania-dronow?fbclid=IwAR3cXWrYfm_cPx4drtiCBm-shtRU1DREZ7Mem2kuVt9756-eVdzA8khtXjg (dostęp: 24.10.2020)
- [3] Galek, B., „Optymalizacja topologiczna konstrukcji nośnej drona”, praca inżynierska, Wydział Inżynierii Mechanicznej Politechniki Bydgoskiej, Bydgoszcz 2021.
- [4] gisplay.pl, drony, <https://gisplay.pl/drony.html> (dostęp: 24.10.2020)
- [5] Skibicki, D., Nowicki, K., „Metody numeryczne w budowie maszyn”, Wydawnictwa Uczelniane Akademii Techniczno-Rolniczej, Bydgoszcz 2006.
- [6] Węlyczko, A., artykuł pochodzi z wydania 7/8 (118/119) lipiec/sierpień 2017, *Alternatywa dla „klasycznego” modelowania CAD*, <http://www.konstrukcjeinzynierskie.pl/fragmenty/175-fragmenty2017/sierpien-2017/2067-alternatywa-dla-klasycznego-modelowania-cad-cz-1> (dostęp: 04.01.2021).



© 2022 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).