



Materiały konstrukcyjne i technologie wytwarzania multikopterów

Karta opisu przedmiotu

Informacje podstawowe

Kierunek studiów Inżynieria multikopterów Edycja Wszystkie Jednostka organizacyjna Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej Poziom kształcenia Studia podyplomowe Forma studiów Stacjonarne Profil studiów Podyplomowe		Cykl dydaktyczny 2026/2027 Kod przedmiotu MIMSPS.P1.20164.26 Języki wykładowe polski Obligatoryjność Obowiązkowy Blok zajęciowy Studia podyplomowe Przedmiot powiązany z badaniami naukowymi Nie
Koordynator przedmiotu	Andriy Milenin	
Prowadzący zajęcia	Piotr Kustra	
Okres Semestr 1	Forma zaliczenia Zaliczenie Forma prowadzenia i godziny zajęć Wykład: 10 Ćwiczenia projektowe: 10	Liczba punktów ECTS 3

Cele kształcenia dla przedmiotu

C1	Zapoznanie studentów z właściwościami mechanicznymi i technologicznymi aluminium oraz kompozytów węglowych (CFRP) w kontekście budowy ram BSP.
C2	Przekazanie wiedzy na temat procesów wytwórczych (odlewnictwo, obróbka plastyczna, laminowanie), które determinują wytrzymałość i masę konstrukcji.
C3	Wykształcenie praktycznych umiejętności projektowania i druku 3D (FDM) elementów pomocniczych, które są niezbędnym komponentem każdego współczesnego multikoptera.

Efekty uczenia się dla przedmiotu

Kod	Efekty w zakresie	Kierunkowe efekty uczenia się	Metody weryfikacji
Wiedzy - Student zna i rozumie:			
W1	procesy technologiczne obróbki stopów aluminium oraz techniki wytwarzania struktur kompozytowych (CF), rozumiejąc ich wpływ na charakterystykę wytrzymałościową ramy.	IMSP_W02	Kolokwium
W2	zasady doboru termoplastów w technologii FDM oraz specyfikę projektowania części drukowanych, które pełnią funkcję ochronną i montażową w dronach.	IMSP_W02	Kolokwium
Umiejętności - Student potrafi:			
U1	dobierać odpowiednią technologię wytwarzania dla konkretnego elementu konstrukcyjnego oraz samodzielnie przygotować i zrealizować wydruk 3D elementów wyposażenia drona, optymalizując parametry procesu pod kątem wytrzymałości.	IMSP_U01	Projekt
Kompetencji społecznych - Student jest gotów do:			
K1	krytycznej analizy cyklu życia produktu i wyboru technologii, która zapewnia optymalny kompromis między wydajnością inżynierską a kosztami i bezpieczeństwem eksploatacji.	IMSP_K02	Projekt

Treści programowe zapewniające uzyskanie efektów uczenia się dla modułu zajęć

Przedmiot „Materiały konstrukcyjne i technologie wytwarzania multikopterów” stanowi kompleksowe wprowadzenie w proces inżynierskiego doboru surowców oraz metod produkcji niezbędnych do budowy multikopterów. Program został skonstruowany tak, aby przeprowadzić studenta od teoretycznej analizy właściwości metali i kompozytów, aż po praktyczne wykorzystanie technologii przyrostowych w procesie prototypowania i finalnego montażu.

Fundamenty materiałowe i procesy przemysłowe Część teoretyczna przedmiotu koncentruje się na dwóch filarach konstrukcyjnych: stopach aluminium oraz kompozytach węglowych (CFRP). Studenci poznają specyfikę stopów aluminiowych serii 2xxx, 6xxx oraz 7xxx, analizując procesy ich odlewania oraz przeróbki plastycznej, takiej jak walcowanie czy ekstruzja, które są kluczowe przy produkcji ram dronów. Równolegle wykłady szczegółowo omawiają technologię produkcji wyrobów z włókna węglowego. Analizowane są różne rodzaje splotów oraz metody laminowania, w tym prasowanie wysokociśnieniowe i obróbka w autoklawie, co pozwala na zrozumienie anizotropii materiału i optymalną orientację włókien względem naprężeń działających na ramę drona.

Rola druku 3D (FDM) jako standardu integracji Kluczowym założeniem przedmiotu jest uświadomienie słuchaczom, że współczesny multikopter, niezależnie od skali, zawsze integruje elementy wykonane w technologii FDM (Fused Deposition Modeling). Druk 3D jest tu prezentowany nie tylko jako narzędzie szybkiego prototypowania, ale jako docelowa metoda produkcji osłon elektroniki, uchwytów kamer, czy wibroizolatorów. Studenci zgłębiają termodynamikę procesu wytłaczania polimerów, ucząc się doboru materiałów o specyficznych właściwościach – od sztywnych poliamidów zbrojonych włóknem węglowym (PA+CF), po elastyczne poliuretany (TPU) służące do tłumienia drgań o wysokiej częstotliwości.

Praktyka inżynierska i optymalizacja topologiczna Zajęcia praktyczne koncentrują się na projektowaniu zorientowanym na druk 3D (Design for FDM), gdzie studenci muszą uwzględnić zjawiska skurczu materiałowego, tolerancji pasowań oraz wpływ kierunku nakładania warstw na wytrzymałość mechaniczną części.

Proces projektowy wieńczy optymalizacja topologiczna, podczas której słuchacze wykorzystują struktury ażurowe (np. wypełnienie typu Gyroid) w celu drastycznej redukcji masy drukowanej części przy zachowaniu wymaganej sztywności strukturalnej.

Nakład pracy studenta

Rodzaje zajęć studenta	Średnia liczba godzin* przeznaczonych na zrealizowane aktywności
Wykład	10
Ćwiczenia projektowe	10
Przygotowanie do zajęć	30
Samodzielne studiowanie tematyki zajęć	30
Łączny nakład pracy studenta	Liczba godzin 80
Liczba godzin kontaktowych	Liczba godzin 20

* godzina (lekcyjna) oznacza 45 minut

Treści programowe

Lp.	Treści programowe	Efekty uczenia się dla przedmiotu	Formy prowadzenia zajęć
1.	1. Wprowadzenie. Materiały i technologie, stosowane w produkcji mechanicznych elementów multikopterów. Stopy aluminium w lotnictwie bezzałogowym. Klasyfikacja stopów aluminium (seria 6xxx, 7xxx). Technologia odlewania. Przeróbka plastyczna: walcowanie blach, wyciskanie profili (ekstruzja). 2. Kompozyty węglowe (CFRP) – Technologia "Black Gold". Budowa włókna węglowego i rodzaje splotów (Plain, Twill). Rola żywicy (matrycy). Technologie produkcji: autoklaw, infuzja, prasowanie wysokociśnieniowe płyt. Orientacja włókien a sztywność kierunkowa ramy. 3. Metale vs Kompozyty – Analiza porównawcza. Różnica mechanicznych i cieplnych własności. Zmęczenie materiału w warunkach wibracji generowanych przez silniki BLDC. Technologia cięcia CNC płyt węglowych – chłodzenie, pylenie i tolerancje pasowań. Recykling CFRP. 4. Wytwarzanie przyrostowe (FDM) w BSP. Analiza materiałowa: PLA (prototypowanie), TPU (tłumienie drgań), Nylon/Carbon (wytrzymałość). Dlaczego każdy dron ma elementy drukowane? (uchwyty kamer, osłony anten, "skidasy"). Adhezja międzywarstwowa i anizotropia właściwości wydruków. 5. Hybrydowe systemy konstrukcyjne. Metody łączenia: klejenie strukturalne, nitowanie, połączenia gwintowane w aluminium. Korozja elektrochemiczna na styku aluminium-węgiel. Projektowanie zorientowane na serwisowalność (Design for Maintenance).	W1, W2	Wykład

Lp.	Treści programowe	Efekty uczenia się dla przedmiotu	Formy prowadzenia zajęć
2.	1. Projektowanie pod druk 3D (Design for FDM). Projektowanie wybranego elementu FPV drona (trzymacz anteny vtx, trzymacz anteny RC, uchwyty do kamery, serva). Uwzględnienie skurczu materiału i tolerancji otworów pod śruby. Objętość materiału vs. czas druku i masa końcowa. 2. Praca z materiałami elastycznymi (TPU). Produkcja wibroizolatorów (typu soft-mount) pod kamerę HD. Dobór parametrów wypełnienia (infill) i ich wpływ na właściwości mechaniczne oraz tłumienie drgań o wysokiej częstotliwości. Eksperymentalna analiza wpływu wstawek z TPU na wibracje rejestrowane przez kontroler lotu (FC). Lot próbny na stanowisku do testów uwięziowych (Gimbal Test Stand) połączony z analizą wibracji na podstawie plików logów. 3. Wytrzymałość osiowa a kierunek druku. Testy niszczące (próba rozciągania) próbek drukowanych w różnych orientacjach względem płaszczyzny stołu (X-Y vs Z). Wykorzystanie do badań specjalistycznej maszyny wytrzymałościowej autorskiej konstrukcji. Analiza przyczyn niskiej udarności elementów drukowanych w orientacji pionowej i zrozumienie zjawiska anizotropii właściwości mechanicznych w technologii FDM. 4. Badania wytrzymałości i sztywności próbek z różnych materiałów drukowanych w technologii FDM. Analiza porównawcza parametrów fizycznych popularnych materiałów stosowanych w budowie ram multikopterów. Podczas zajęć studenci obliczają sztywność właściwą, aby wyłonić najlepszy materiał na ramiona drona. 5. Optymalizacja topologiczna i redukcja masy. Redukcja masy trzymacza anteny vtx przy zachowaniu sztywności. Zastosowanie struktur ażurowych i organicznych (Gyroid infill). Procentowy zysk na masie (m) względem utraty sztywności (k).	U1, K1	Ćwiczenia projektowe

Informacje rozszerzone

Metody i techniki kształcenia :

Wykład, Metoda warsztatowa (ang. workshop), Dyskusja

Rodzaj zajęć	Metody zaliczenia	Warunki zaliczenia przedmiotu
Wykład	Kolokwium	Pozytywne zaliczenie kolokwium
Ćwiczenia projektowe	Projekt	Pozytywne zaliczenie projektu

Dodatkowy opis

Przedmiot koncentruje się na inżynierskich aspektach doboru materiałów oraz nowoczesnych metodach produkcji struktur bezzałogowych. Program łączy wiedzę o tradycyjnych materiałach lotniczych, takich jak stopy aluminium i kompozyty węglowe (CFRP), z zaawansowanym wykorzystaniem technologii druku 3D (FDM).

Słuchacze zgłębiają procesy obróbki plastycznej metali oraz mechanikę laminatów węglowych, ucząc się optymalizacji ram

pod kątem sztywności i masy. Kluczowym elementem kursu jest praktyczne wykorzystanie druku 3D do tworzenia elementów hybrydowych. Szczególny nacisk położono na:

Analizę anizotropii wydruków: Zrozumienie wpływu orientacji warstw na wytrzymałość konstrukcyjną. Wykorzystanie polimerów elastycznych (TPU): Projektowanie wibroizolatorów (soft-mounts) służących do mechanicznej filtracji drgań ramy. Testy niszczące: Eksperymentalna weryfikacja sztywności i uderzalności różnych filamentów (PLA, PETG, Nylon+CF) przy użyciu maszyn wytrzymałościowych. Kurs przygotowuje do samodzielnego projektowania profesjonalnych platform BSP, w których geometria drukowana w 3D wspiera i uzupełnia wytrzymałość szkieletu z włókna węglowego.

Warunki i sposób zaliczenia poszczególnych form zajęć, w tym zasady zaliczeń poprawkowych, a także warunki dopuszczenia do egzaminu

Warunki i sposób zaliczenia poszczególnych form zajęć, w tym zasady zaliczeń poprawkowych, a także warunki dopuszczenia do kolokwium podaje Prowadzący na pierwszych zajęciach w semestrze.

Sposób obliczania oceny końcowej

$OK = 0.5 \text{ Ocena z kolokwium} + 0.5 \text{ Ocena projektu}$

Sposób i tryb wyrównywania zaległości powstałych wskutek nieobecności studenta na zajęciach

Sposób i tryb wyrównywania zaległości powstałych wskutek nieobecności studenta na zajęciach podaje Prowadzący na pierwszych zajęciach w semestrze

Wymagania wstępne i dodatkowe

Podstawy inżynierii materiałowej, fizyki, mechaniki.

Zasady udziału w poszczególnych zajęciach, ze wskazaniem, czy obecność studenta na zajęciach jest obowiązkowa

Wykład: Studenci uczestniczą w zajęciach poznając kolejne treści nauczania zgodnie z sylabusem przedmiotu. Studenci winni na bieżąco zadawać pytania i wyjaśniać wątpliwości. Rejestracja audiowizualna wykładu wymaga zgody prowadzącego.

Ćwiczenia projektowe: Studenci wykonują ćwiczenia projektowe zgodnie z materiałami udostępnionymi przez prowadzącego. Student jest zobowiązany do przygotowania się w przedmiocie wykonywanego ćwiczenia, co może zostać zweryfikowane kolokwium w formie ustnej lub pisemnej. Zaliczenie zajęć odbywa się na podstawie zaprezentowania rozwiązania postawionego problemu. Zaliczenie modułu jest możliwe po zaliczeniu wszystkich zajęć projektowych.

Literatura

Obowiązkowa

1. Ian Gibson, David Rosen, Brent Stucker Additive Manufacturing Technologies 3D Printing, Rapid Prototyping and Direct Digital Manufacturing. 2015. DOI 10.1007/978-1-4939-2113-3. Springer New York Heidelberg Dordrecht London

Dodatkowa

1. Milenin, A. Effects of FPV Drone Frame Materials on Thermal Conditions of Motors Under Extreme Payloads: Experimental and Numerical Analysis. Processes 2025, 13, 3034. <https://doi.org/10.3390/pr13103034>
2. Milenin, A. Experimental Analysis of an AZ31 Magnesium Alloy Structural FPV Drone Frame: Comparison with Aluminum and Carbon Fiber. Processes 2026, 14, 1361. <https://doi.org/10.3390/pr14091361>

Kierunkowe efekty uczenia się

Kod	Treść
IMSP_K02	Jest gotów do pracy w interdyscyplinarnych zespołach technicznych, skutecznie komunikując się z ekspertami z zakresu mechaniki, elektroniki i informatyki.
IMSP_U01	Potrafi zaprojektować i wykonać elementy strukturalne multikoptera, wykorzystując oprogramowanie CAD oraz techniki druku 3D.
IMSP_W02	Zna i rozumie właściwości materiałów konstrukcyjnych (kompozytów, metali lekkich) oraz potencjał i ograniczenia technologii wytwarzania przyrostowego (druku 3D) w prototypowaniu multikopterów.