



Piotr Palmąka

Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki

ZASTOSOWANIE DRONÓW W EKSPLOARACJI PRZESTRZENI KOSMICZNEJ – MOŻLIWOŚCI ORAZ POTENCJALNE KIERUNKI ROZWOJU

Streszczenie (abstrakt): Artykuł ma na celu zaprezentowanie wizji oraz własnych spostrzeżeń, a także potencjalne kierunki rozwoju bezzałogowych statków kosmicznych (BSK) obejmujące zwiększenie autonomii dzięki sztucznej inteligencji, rozwój napędów umożliwiających szybsze podróże oraz miniaturyzację sprzętu. W przyszłości mogą one odegrać kluczową rolę w poszukiwaniu życia pozaziemskiego, eksploracji dalszych obszarów kosmosu oraz przygotowaniu misji załogowych. Drony kosmiczne mogą stanowić fundament współczesnej i przyszłej eksploracji kosmosu, otwierając nowe możliwości poznawcze i technologiczne dla ludzkości.

Słowa kluczowe: bezzałogowe statki kosmiczne, sztuczna inteligencja, miniaturyzacja sprzętu, przyszła eksploracja kosmosu, możliwości poznawcze

THE USE OF DRONES IN SPACE EXPLORATION – POSSIBILITIES AND POTENTIAL DIRECTIONS OF DEVELOPMENT

Abstract: This article aims to present a vision and my own observations, as well as potential directions for the development of unmanned space vehicles (UAVs), including increased autonomy through artificial intelligence, the development of propulsion systems enabling faster travel, and the miniaturization of equipment. In the future, UAVs could play a key role in the search for extraterrestrial life, the exploration of deeper spaces, and the preparation of manned missions. Space drones could form the foundation of contemporary and future space exploration, opening up new cognitive and technological possibilities for humanity.

Keywords: unmanned spacecraft, artificial intelligence, hardware miniaturization, future space exploration, cognitive capabilities

Wstęp

Eksploatacja przestrzeni kosmicznej stanowi jedno z największych wyzwań technologicznych współczesnej cywilizacji. Od momentu wystrzelenia pierwszego sztucznego satelity w 1957 roku działalność kosmiczna była domeną wysoko wyspecjalizowanych, kosztownych i nielicznych misji, realizowanych przez państwowe agencje kosmiczne. Przez wiele dekad dominowało podejście oparte na masywnych satelitach, jednorazowych sondach badawczych oraz załogowych stacjach orbitalnych, których funkcjonowanie wiązało się z ogromnymi nakładami finansowymi i znacznym ryzykiem operacyjnym. Sytuacja uległa jednak zmianie w momencie wkroczenia do branży firm prywatnych, takich jak SpaceX

Elona Muska czy Blue Origin Jeffa Bezosa, którzy stawiają na wielozadaniowość oraz obniżenie całkowitych kosztów.

Wraz z postępem miniaturyzacji elektroniki, rozwojem systemów autonomicznych oraz gwałtownym wzrostem możliwości obliczeniowych pojawiła się nowa koncepcja prowadzenia misji kosmicznych, oparta na mniejszych, tańszych i bardziej elastycznych platformach robotycznych. W tym kontekście szczególne znaczenie zyskały drony kosmiczne, które mogą pełnić funkcję mobilnych jednostek badawczych, inspekcyjnych oraz serwisowych. Ich zastosowanie wpisuje się w szerszy trend automatyzacji i robotyzacji działań kosmicznych, którego celem jest zwiększenie efektywności misji przy jednoczesnym ograniczeniu kosztów i ryzyka dla życia ludzkiego.

Drony, w przeciwieństwie do klasycznych statków kosmicznych, oferują wysoki stopień mobilności oraz zdolność do wykonywania zadań w sposób zdecentralizowany. Pozwoliłyby to na prowadzenie badań w środowiskach dotychczas trudno dostępnych, takich jak wnętrza stacji orbitalnych, powierzchnie ciał niebieskich o skomplikowanej topografii czy obszary o podwyższonym ryzyku kolizji orbitalnych.

Praktycznym przykładem zastosowania dronów w eksploracji kosmicznej jest misja Ingenuity, zrealizowana przez NASA. Bezzałogowy śmigłowiec wykonał serię lotów w atmosferze Marsa, udowadniając możliwość prowadzenia badań z powietrza w warunkach pozaziemskich. Misja ta stanowi przełom w projektowaniu przyszłych systemów eksploracyjnych.

Rola dronów w obecnej i przyszłej eksploatacji przestrzeni kosmicznej

Jednym z najbardziej rozwiniętych obszarów wykorzystania dronów kosmicznych są operacje realizowane w bezpośrednim sąsiedztwie infrastruktury orbitalnej. W środowisku mikrogravitacji, charakterystycznym dla stacji kosmicznych, drony mogą swobodnie poruszać się wewnątrz modułów, wykonując zadania pomocnicze, które w innym przypadku wymagałyby zaangażowania astronautów. Obejmuje to m.in. monitorowanie stanu technicznego urządzeń, dokumentację eksperymentów naukowych, transport drobnych ładunków oraz kontrolę warunków środowiskowych. Znaczenie takich systemów rośnie wraz ze wzrostem złożoności infrastruktury orbitalnej. Planowane stacje kosmiczne nowej generacji, dążące do zastąpienia Międzynarodowej Stacji Kosmicznej (ISS¹), takie jak Gateway², będą wymagały stałego nadzoru technicznego oraz szybkiego reagowania na awarie. Drony, wyposażone w kamery wysokiej rozdzielczości, czujniki termiczne i systemy diagnostyczne, mogą pełnić rolę autonomicznych „inspektorów”, ograniczając konieczność przeprowadzania ryzykownych spacerów kosmicznych.

Równie istotnym obszarem zastosowań dronów jest działalność na orbicie okołoziemskiej, w tym inspekcja satelitów oraz zarządzanie rosnącym problemem kosmicznych śmieci. Autonomiczne platformy dronowe mogą zbliżać się do obiektów orbitalnych, ana-

¹ ISS- International Space Station.

² Pierwsza stacja kosmiczna umieszczona wokół Księżyca, <https://www.nasa.gov/mission/gateway/> [dostęp: 09.02.2026].

lizować ich stan techniczny, a w przyszłości również wykonywać proste operacje serwisowe, takie jak korekta położenia, wymiana modułów czy usuwanie nieaktywnych elementów z orbit kolizyjnych. Takie podejście wpisuje się w koncepcję zrównoważonej eksploatacji przestrzeni kosmicznej, której celem jest ograniczenie ryzyka katastrofalnych kolizji i zachowanie bezpieczeństwa orbitalnego.

Różnice pomiędzy dronami a innymi statkami kosmicznymi będącymi w użytku

Dynamiczny rozwój technologii kosmicznych w ostatnich dekadach doprowadził do wyraźnego zróżnicowania platform wykorzystywanych w eksploracji i eksploatacji przestrzeni kosmicznej. Obok klasycznych statków kosmicznych, takich jak kapsuły załogowe, sondy międzyplanetarne czy lądowniki, coraz większą rolę będą odgrywać autonomiczne drony kosmiczne. Pojęcie dronów kosmicznych odnosi się do bezzałogowych, zrobotyzowanych systemów zdolnych do samodzielnego wykonywania zadań na orbicie lub poza nią, często z wykorzystaniem zaawansowanych algorytmów sztucznej inteligencji i systemów decyzyjnych działających w czasie rzeczywistym. W przeciwieństwie do tradycyjnych statków kosmicznych, które zazwyczaj realizują ściśle zaplanowane misje i pozostają w dużym stopniu zależne od kontroli naziemnej, drony kosmiczne projektowane są z myślą o wysokim poziomie autonomii oraz elastyczności operacyjnej.

Tabela 1. Porównanie cech dronów oraz aktualnie używanych statków

Cecha	Drony	Aktualnie używane statki
Autonomia działania	Półautonomiczna, jedynie częściowo pod nadzorem operatora ze względów bezpieczeństwa	Silnie zależna od kontroli naziemnej,
Zastosowanie	Inspekcja, serwis, badania rozproszone, mapowanie, pobieranie próbek	Transport, długoterminowe misje badawcze
Rozmiar i masa	Małe lub średnie, konstrukcje lekkie	Duże, masywne
Możliwość korekcji celów	Możliwość zmiany zadań w trakcie misji	Cele zdefiniowane przed startem
Koszt jednostkowy	Relatywnie niski, dzięki masowości produkcji	Wysoki, niewielka ilość jednostek
Ingerencja człowieka	Brak bezpośredniej obecności	Często załogowe lub z silnym nadzorem

Źródło: opracowanie własne

Klasyczne statki kosmiczne, takie jak Crew Dragon³, Orion czy historyczne sondy Voyager, stanowią konstrukcje o znacznych rozmiarach i masie, przystosowane do transportu ludzi, dużych ładunków lub realizacji długoterminowych misji badawczych. Ich architektura jest zoptymalizowana pod kątem niezawodności i bezpieczeństwa, jednak kosztem ograniczonej zdolności adaptacji do zmiennych warunków misji, co w kosmosie jest bardzo istotne. Drony kosmiczne, przeciwnie, będą zazwyczaj mniejsze, lżejsze i modułarne, co pozwoli na ich masowe wdrażanie oraz pracę w formie rojów lub konstelacji. Nie jest to już jedynie wizja *science fiction*, lecz realna wizja dalszego rozwoju eksploracji. Dzięki temu możliwe będzie prowadzenie badań rozproszonych, inspekcja infrastruktury orbitalnej czy serwisowanie satelitów bez konieczności wysyłania kosztownych misji załogowych.



Rysunek 1. SpaceX Crew Dragon

Źródło: <https://android.com.pl/news/473664-koniec-spacex-crew-dragon/> [dostęp: 07.02.2026]

Drony w eksploracji planetarnej i badaniach naukowych

Jednym z najbardziej perspektywicznych kierunków rozwoju dronów kosmicznych jest ich zastosowanie w eksploracji planetarnej. Tradycyjne łaziki planetarne, choć niezwykle zaawansowane technologicznie, są ograniczone przez warunki terenowe, niską prędkość przemieszczania się oraz brak możliwości szybkiej zmiany lokalizacji. Drony, zwłaszcza te przystosowane do lotu w rozrzedzonej atmosferze lub poruszania się przy użyciu napędu reakcyjnego, mogą znacząco zwiększyć zakres i tempo prowadzonych badań. Mobilność dronów umożliwia prowadzenie obserwacji z różnych wysokości i perspektyw, co ma klu-

³ Statek kosmiczny mogący przewieźć do 7 pasażerów na orbitę okołoziemską i z powrotem, <https://www.spacex.com/vehicles/dragon> [dostęp: 09.02.2026].

czowe znaczenie dla mapowania geologicznego, analizy struktur powierzchniowych oraz badań procesów atmosferycznych. Drony mogą docierać do obszarów niedostępnych dla łązików, takich jak strome zbocza, głębokie kratery czy regiony o niestabilnym podłożu. Dzięki temu możliwe jest pozyskiwanie danych o znacznie większej różnorodności przestrzennej i naukowej.

W kontekście astrobiologii drony mogą odgrywać istotną rolę w poszukiwaniu śladów życia pozaziemskiego. Wyposażone w zaawansowane sensory chemiczne i biologiczne platformy dronowe mogą analizować skład atmosfery, badać obecność związków organicznych oraz monitorować zmienne warunki środowiskowe. Tego rodzaju badania są szczególnie istotne w przypadku ciał niebieskich takich jak Mars, Europa czy Tytan, które są uznawane za potencjalnie sprzyjające istnieniu prostych form życia. Również koncepcja wykorzystania wielu autonomicznych jednostek znajduje odzwierciedlenie w projektach takich jak Starlink firmy SpaceX, gdzie duża liczba satelitów współpracuje w ramach jednej infrastruktury. Podejście to może zostać rozszerzone na systemy dronów kosmicznych działających w formie rojów.

Wyzwania technologiczne i operacyjne

Pomimo ogromnego potencjału, rozwój dronów kosmicznych napotyka na liczne bariery technologiczne. Jednym z kluczowych wyzwań jest zapewnienie skutecznego napędu adaptacyjnego i stabilizacji w środowisku próżni lub mikrogravitacji. Systemy te muszą charakteryzować się wysoką precyzją działania, minimalnym zużyciem energii oraz niezawodnością przez długie okresy eksploatacji. Kolejnym istotnym problemem jest autonomia decyzyjna. Opóźnienia w komunikacji z Ziemią, sięgające od kilku minut do kilku godzin, uniemożliwiają bezpośrednie sterowanie dronami w czasie rzeczywistym. W związku z tym systemy te muszą być zdolne do samodzielnego planowania działań, analizy danych sensorycznych oraz reagowania na nieprzewidziane sytuacje. Rozwój sztucznej inteligencji i algorytmów uczenia maszynowego stanowi w tym zakresie jeden z kluczowych obszarów badań. Nie mniej istotnym aspektem jest odporność na ekstremalne warunki środowiskowe. Promieniowanie kosmiczne, skrajne temperatury oraz mikrometeoroidy stanowią poważne zagrożenie dla integralności systemów elektronicznych i mechanicznych. Projektowanie dronów kosmicznych wymaga więc zastosowania specjalistycznych materiałów, systemów adaptacji oraz strategii minimalizacji ryzyka awarii.

Podsumowanie

Podsumowując wszystkie aspekty tematu, drony kosmiczne stanowią przełomowe rozwiązanie w kontekście eksploatacji i eksploracji przestrzeni kosmicznej. Ich wysoka mobilność, autonomia oraz zdolność do działania w ekstremalnych warunkach czynią je niezwykle wartościowym narzędziem przyszłych misji. Pomimo licznych wyzwań technologicznych, intensywny rozwój sztucznej inteligencji, systemów napędowych oraz materiałów odpornych na warunki kosmiczne pozwala przewidywać, że rola dronów w działalności kosmicznej będzie systematycznie rosła, kształtując nowy paradygmat eksploracji poza Ziemią.

Bibliografia

1. Długosz D., *NASA poleci na księżyc Saturna szukać życia. Misja wchodzi w ważny etap*, GeekWeek Interia, 2026, <https://geekweek.interia.pl/nauka/news-nasa-poleci-na-ksiezyc-satur-na-szukac-zycia-misja-wchodzi-w,nId,21398042> [dostęp: 09.02.2026].
2. European Space Agency. *Artificial intelligence in space*, https://www.esa.int/Enabling_Support/Preparing_for_the_Future/Discovery_and_Preparation/Artificial_intellige [dostęp: 09.02.2026].
3. Grochowalski P.Z., *CAMK i CBK PAN uczestnikami projektów MSCA RISE Urania 2026*, <https://www.uranian.edu.pl/wiadomosci/camk-i-cbk-pan-uczestnikami-projektow-msca-rise> [dostęp: 09.02.2026].
4. Lorenz R.D., *Dragonfly: A Rotorcraft Lander Concept for Titan*, Johns Hopkins APL 2024, https://dragonfly.jhuapl.edu/News-and-Resources/docs/34_03-Lorenz.pdf. [dostęp: 09.12.2024].
5. NASA. *NASA Tests Drones in Death Valley, Preps for Martian Sands and Skies 2026*, <https://www.nasa.gov/solar-system/planets/mars/nasa-tests-drones-in-death-valley-preps-for-martian-sands-and-skies/> [dostęp: 09.02.2026].
6. Pilecki S., *Lotnictwo i kosmonautyka*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1984.
7. Spotkanie z przedstawicielami Polskiej Agencji Kosmicznej.

Dane kontaktowe

Piotr Palmąka, pp321359@student.polsl.pl