

Piotr MAZUR

## ALTERNATYWNE ŹRÓDŁA ZASILANIA BEZZAŁOGOWYCH STATKÓW POWIETRZNYCH

DOI: 10.24136/atest.2018.304

Data zgłoszenia: 30.08.2018. Data akceptacji: 25.09.2018.

*W artykule przedstawiono wymagania i problemy związane z zasilaniem małych bezzałogowych statków latających (MTO (maksymalna masa startowa) < 25 kg) znajdujących zastosowanie w rozmaitych zastosowaniach cywilnych jak geodezja, rolnictwo, monitoring i inne. Przedstawiono dostępne rozwiązania oraz kierunki rozwojowe związane z efektywnym zasilaniem pojazdów*

### WSTĘP

Bezzałogowe statki powietrzne (BSP) - drony stale zyskują nowe zastosowania w różnorodnych dziedzinach gospodarki. Geodezja, rolnictwo, monitoring, to branże w których pojazdy te zadomowiły się na dobre i są używane z powodzeniem, zapewniając pozyskiwanie danych o jakości i wydajności upraw, które nieosiągalne są przez standardowe technologie czy procedury [1, 4, 9, 10]. Drony wielowirnikowe mogą być stosowane również jako "zdalnie sterowane roboty powietrzne" do wykonywania prac w miejscach trudno dostępnych, na wysokościach lub przy pracach polowych [2, 8]. Ogromną barierą, która ogranicza wykorzystanie BSP w różnych dziedzinach, jest źródło energii niezbędne do zasilania pojazdu.

Ze względu na specyfikę bezzałogowych statków powietrznych, montowane w nich źródła zasilania muszą oferować kompromis polegający z jednej strony na jak najmniejszej wadze zarówno instalacji służącej do wytwarzania siły ciągu jak i źródła energii, a z drugiej strony na możliwości zapewnienia jak największej ilości energii i wysokiej wartości mocy uzyskiwanej z jednostki wagi źródła zasilania (W/kg).

### 1. SILNIKI SPALINOWE

Silniki spalinowe jako bezpośredni napęd miały dotychczas powszechne zastosowanie w zdalnie sterowanych modelach płatowców. Rozwój elektrycznych systemów napędowych spowodował, że obecnie głównie te systemy stosowane są do napędu bezzałogowych statków powietrznych, zarówno płatowców jak i wirnikowców.

Jednym z nielicznych produktów znajdujących się na rynku jest przedstawiony na rysunku 1 helikopter *Fazer* firmy Yamaha, który jest sukcesorem obecnego przez 20 lat na rynku modelu *RMAX* [18]. Śmigłowiec napędzany jest dwucylindrowym, czterosuwowym silnikiem o pojemności 390 cm<sup>3</sup> co pozwala na wyniesienie w powietrze ładunku do 24 kg. Yamacha *Fazer* jest głównie wykorzystywany w rolnictwie do aplikacji zarówno płynnych jak i granulowanych środków chemicznych.



Rys. 1. Helikopter o napędzie spalinowym Yamaha Fazer [18]

Najważniejszą zaletą wykorzystania silników spalinowych jako bezpośredniego napędu dronów, w porównaniu do napędu elektrycznego, jest znacznie dłuższy czas lotu, dochodzący nawet do 3 godzin (płatowiec) i 60 min - helikopter Yamaha RMAX [4]. Jest to wynik większej gęstości energii - ilości pozyskiwanej energii z jednostki ciężaru układu: paliwo płynne + silnik spalinowy niż w przypadku nawet najbardziej pojemnej baterii elektrycznej. Wadą silnikowego napędu jest brak skutecznych i trwałych rozwiązań sterowania, pozwalających na stabilizację pojazdu w przypadku wielowirnikowców.

### 2. BATERIE AKUMULATORÓW

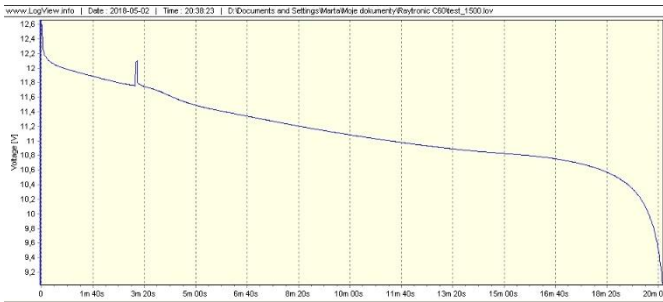
Powszechnie stosowanym źródłem zasilania dronów multikopterów są baterie akumulatorów, pozwalające na wielokrotny cykl ładowania i rozładowania, bez znacznej utraty parametrów takich jak: pojemność i wydajność prądowa. Ważną cechą baterijnych napędów elektrycznych jest zdolność utrzymania nominalnego napięcia przy dużym obciążeniu i szerokim zakresie rozładowania, a także w miarę niska masa instalacji w stosunku do oferowanej wydajności energetycznej.

#### 2.1. Akumulatory Litowo-Polimerowe (Li-Poly)

Ogniwa baterii pracują w zakresie napięć od 3,5 V (krytyczna wartość napięcia, poniżej której następuje nieodwracalna degradacja ogniwa) do 4,2 V. Cechuje je wysoka wydajność prądowa przy zachowaniu nominalnego napięcia w szerokim zakresie pojemności (charakterystyka bliska liniowej do napięcia ok. 3,6-3,8V).

Wydajność prądowa określana jest w specyfikacji jako wielokrotność pojemności ogniwa, np. wydajność 75C dla akumulatora o pojemności 1000 mAh oznacza możliwość ciągłego pobierania prądu o natężeniu 75A.

Ogniwa łączone są w baterie, najczęściej szeregowo (rzadziej szeregowo-równolegle) w zależności od wymagania pojazdu. Dla mniejszych pojazdów są to wartości od 4S do 6S (odpowiednio 4 do 6 ogniw łączonych szeregowo), a dla dużych pojazdów, w celu zmniejszenia strat cieplnych do 12S (12 ogniw).



**Rys. 1** Charakterystyka rozładowania baterii ogniwi Li-Poly 3S 1500mAh- rozładowanie testowe ładowarki Raytronic C-60. Źródło własne.

Ze względu na dużą wrażliwość baterii litowo-polimerowych na zbyt głębokie rozładowanie, zbyt wysokie napięcie czy konieczność ich przechowywania w stanie częściowego rozładowania coraz powszechniejsze staje się zastosowanie w nich mikroprocesorowych modułów kontrolno-sterujących, zapobiegających nadmiernej wyladowaniu baterii i informujących użytkownika o aktualnym stanie zasobów energii znajdującej się w baterii (Rys. 2).



**Rys. 2** Inteligentna bateria akumulatorów Li-Poly o napięciu znamionowym 22,2 V (6S) o pojemności 12 000 mAh z modułem kontrolnym.

## 2.2 Akumulatory Litowo-Polimerowe HV (Li-Poly HV)

Są to baterie zbudowane na bazie ogniw litowo-polimerowych o zwiększonym, dopuszczalnym napięciu znamionowym (do 4,6 V) co umożliwia na zapewnienie nominalnego napięcia baterii w większym przedziale pojemności (pozwala na głębsze rozładowanie ogniw).

## 1.3 Akumulatory Litowo-Jonowe (Li-Ion)

Akumulatory litowo-jonowe, powszechnie stosowane do zasilania komputerów przenośnych, ze względu na wysoką gęstość gromadzenia energii oferują wysokie pojemności przy niskiej masie akumulatora. Jednak ich cecha stosunkowo niskiej wydajności prądowej, ogranicza ich stosowanie do napędu dronów wielowirnikowych, gdzie wymagane jest uzyskiwanie prądu o wysokim natężeniu. Nadają się za to do zasilania stacji nadawczych sterujących pracą drona.

## 3. OGNIWA PALIWOWE

Wadą baterii elektrycznych jest ich znaczny ciężar i zbyt mała pojemność elektryczna, ograniczającą czas lotu drona do kilkadziesiąt minut. Prowadzone są prace nad zastosowaniem do napędu bezzałogowych statków latających ogniw paliwowych, jako głównego źródła energii. Ogniwa paliwowe, na skutek reakcji utleniania

paliwa, głównie wodoru, generują energię elektryczną zasilającą pojazd [5, 7]. Kompletne instalacje zawierające ogniwa paliwowe są znacznie droższe w stosunku do ceny baterii, kłopotliwe i niebezpieczne, ale ich zastosowanie w bezzałogowych statkach latających może zwielokrotnić czas ich lotu. Pierwsze badania, w których stosowano baterię i ogniwo paliwowe do zasilania dronów rozpoczęto z bezzałogowymi, zdalnie sterowanymi płatowcami a następnie prowadzono z multikopterami, [3, 6].

Modyfikacja klasycznego drona zasilanego z baterii do drona zasilanego wspólnie z baterii i z ogniwa paliwowego polega głównie na wprowadzeniu do układu zasilania zbiornika na wodór i ogniwa polimerowego lub alkaicznego. Zwiększenie ciężaru drona na skutek dodatkowych urządzeń kompensuje się lżejszą, o mniejszej pojemności baterią. Przykładem zastosowania takiej instalacji jest kwadrokopter firmy Intelligent Energy (Rys. 3).



**Rys. 3.** Wielowirnikowiec Intelligent Energy [16]

Singapurska firma H<sup>3</sup>DYNAMICS opracowała model drona wielowirnikowego z ogniwem wodorowym HYCOPTER (rys. 4), w którym zbiorniki na wodór stanowią element ramy drona [12]. Zmagazynowany w zbiornikach gaz sprężony został do ciśnienia 300 barów. Ilość energii elektrycznej wytworzonej w ogniwie ze zgromadzonego wodoru pozwala na lot drona trwający nawet do 4 godzin. Drony z ogniwem wodorowym produkowane przez H<sup>3</sup>DYNAMICS są dostępne komercyjnie.



**Rys. 4** Wielowirnikowiec HYCOPTER [13].

Jednym z projektów finansowanym ze środków UE poświęconych wykorzystaniu ogniw paliwowych do napędu dronów jest projekt SUAV (Microtubular solid oxide fuel cell power system development and integration into a mini-UAV). Celem projektu jest zaprojektowanie, optymalizacja i zbudowanie instalacji do zasilania małych bezzałogowych statków latających w oparciu o ogniwa mSOFC o mocy 100-200 W wraz z zintegrowaniem ich w hybrydowy system zasilania składający się ze ogniw mSOFC i baterii. Dodatkowymi elementami systemu będą procesory paliwowe do generowania gazu reformowanego z propanu oraz systemy do elektrycznego i mechanicznego sterowania instalacją. Projektowane ogniwa mają



za zadanie zwielfokrotnienie czasu lotu pojazdów bezzałogowych co najmniej trzykrotnie, przyrównując do obecnie stosowanego zasilania bateryjnego.

Prace nad napędem wodorowym (HYDROGEN) prowadzi również polska firma UAVS Sp. z o.o. [13]

#### 4. OGNIWA FOTOWOLTAICZNE

Prowadzone są również prace badawcze nad wykorzystaniem paneli fotowoltaicznych jako źródłem zasilania bezzałogowych statków powietrznych [5]. Dobrze zbilansowany system obejmujący masę statku powietrznego, zapotrzebowanie na energię oraz powierzchnię i wydajność energetyczną ogniw fotowoltaicznych może pozwolić na teoretycznie nieograniczone w czasie dnia przebywanie drona w powietrzu. Jest to możliwe dla konstrukcji stalopłatów, o wysokiej sprawności, w których konstrukcja skrzydeł pozwala na rozmieszczenie ogniw o wymaganej powierzchni. Pojazdy te mają jednak bardzo ograniczone możliwości przenoszenia dodatkowego wyposażenia. Projekt finansowany przez Europejską Agencję Kosmiczną SOLAR<sup>3</sup> opracowuje BSP napędzany energią słoneczną przeznaczony głównie do wykonywania długotrwałych lotów obserwacyjnych dla potrzeb rolnictwa i leśnictwa [11, 14].

#### 5. UKŁADY HYBRYDOWE

Zalety napędu spalinowego z pominięciem jego wad i napędu elektrycznego udało się wykorzystać w napędach hybrydowych. Napędy te umożliwiły duży postęp w przedłużeniu czasu pracy bezzałogowego statku latającego. Jednostki napędowe składają się z miniaturowego modułu - spalinowego agregatu prądowłórczego, będącego głównym źródłem zasilania, oraz akumulatora Li-Poly, stanowiącego awaryjne źródło zasilania oraz magazyn energii elektrycznej. W sytuacjach awaryjnych (np. zatrzymanie pracy agregatu) energia potrzebna do awaryjnego lądowania pobierana jest z akumulatora. Napędy hybrydowe stosowane są w większych dronach (MTO - masa startowa powyżej 10 kg).

Do napędu agregatu prądowłórczego proponowany jest spalinowy silnik dwusuwowy napędzany mieszanką benzyny z olejem. Konstrukcja ta ze względu na prostotę wykonania umożliwia na mniejszą masę niż masa porównywalnego mocą silnika czterosuwowego (rys.6) [17].

Generator może osiągać maksymalną moc 2000 W, co przy napięciu wyjściowym 48 V zapewnia maksymalną wydajność prądową rzędu 40 A. Zbiornik paliwa mieści 4 litry mieszanki paliwowej zapewniającej czas lotu rzędu 3-5 godzin (w zależności od masy pojazdu i zainstalowanego wyposażenia).

Możliwość równoległej pracy agregatu prądowłórczego i akumulatora pozwala na dostarczenie prawie 5 KW energii. Gwałtowny wzrost zapotrzebowania na energię w dronie może wystąpić przy padku gwałtownego manewru, szybkiego wznoszenia się czy poruszanie się z wysoką prędkością.



**Rys. 6** Agregat prądowłórczy dla zastosowań w BSP; 1-generator, 2-gaźnik, 3- dwusuwowy silnik spalinowy, 4-tłumik wydechowy, 5-mikroprocesorowy układ kontrolno-sterujący, 6-antywibracyjne mocowanie do ramy BSP[17]



**Rys. 7** Hexacopter wyposażony w hybrydowy układ zasilania. Foxtech FPV [15]

#### PODSUMOWANIE

Szeroko rozpowszechnione baterie akumulatorów Li-Poly, mimo swoich wad i ograniczeń, na długo pozostaną najbardziej popularnym źródłem zasilania BSP- ich cena, wydajności i trwałość, sprawiają, że na dzień dzisiejszy są najbardziej efektywnym i ekonomicznym źródłem zasilania.

Alternatywne źródła zasilania jak baterie paliwowe czy napęd wodorowy, po usunięciu ich wad, zwiększeniu bezpieczeństwa i obniżeniu ceny, mogą stanowić interesujące rozwiązanie dla zastosowań profesjonalnych.

Rozwiązanie hybrydowe (agregat prądowłórczy), obecnie dostępne komercyjnie, w przypadku większych pojazdów (powyżej 15 MTO) jest kompromisem pomiędzy prostotą systemu (akumulatory Li-Poly) a złożonością i ceną źródła zasilania (ogniwa paliwowe).

#### BIBLIOGRAFIA

1. Berner B., Chojnacki J. „Wykorzystanie dronów w rolnictwie precyzyjnym”, Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna, t. 6, ss. 19–21, 2016.
2. Berner B., Chojnacki J. Zastosowanie bezzałogowych statków powietrznych do nawożenia siewu i sadzenia. Technika Rolnicza Leśna Ogrodnicza. 2018, 2, s. 17-19
3. Bradley TH, Moffitt BA, Mavris DN, Parekh DE. Development and experimental characterization of a fuel cell powered aircraft. J Power Sources 2007, 171, 793-801

4. Chojnacki J., Berner B. „Zastosowanie bezzałogowych statków powietrznych do opryskiwania upraw rolniczych”, ss. 23–25, 2017.
5. Dutcak J. „Nonconventional propulsion sources of drones”, *Logistyka*, t. 3, ss. 1148–1157, 2015.
6. Gadalla M, Zafer S. Analysis of a hydrogen fuel cell-PV power system for small UAV. *Int J Hydrogen Energy* 2016, 41, 6422-32
7. Jerzy K. „Fuel Cells as Alternative Power for Unmanned Aircraft Systems – Current Situation and Development Trends”, *Prace Instytutu Lotnictwa*, t. 4, ss. 49–62, 2014.
8. Mazur P., Chojnacki J. Metody aplikacji biologicznego środka ochrony roślin do zwalczania omacnicy prosowianki. *Technika Rolnicza Leśna Ogrodnicza*. 2018, 2, s. 20-22
9. Mazur P., Chojnacki J. „Wykorzystanie dronów do teledetekcji”, *Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna*, nr 1, ss. 25–28, 2017.
10. Mazur P., Chojnacki J. „Wykorzystanie dronów do rekonstrukcji wypadków komunikacyjnych”, nr October, ss. 381–384, 2017.
11. Oettershagen P., Melzer A., Mantel T., Rudin K., Stastny T., Wawrzacz B., Hinzmann T., Leutenegger S., Alexis K., Siegwart R., „Design of small hand-launched solar-powered UAVs: From concept study to a multi-day world endurance record flight”, *Journal of Field Robotics*, t. 34, nr 7, ss. 1352–1377, 2017.
12. H3Dynamics, „Hycopter-First Hydrogen powered UAV”. [Online]. Dostępne na: <https://www.h3dynamics.com/products/hycopter/>. [Udostępniono: 01-maj-2018].
13. UAVS, „Hydrogen-projekt”. [Online]. Dostępne na: <http://www.hydrogenuavs.pl/>. [Udostępniono: 01-maj-2018].
14. „SOLAR3 - Solar-powered space-augmented UAS platform for large-scale diagnostics and decision support in precision farming | ESA Business Applications”. [Online]. Dostępne na: <https://business.esa.int/projects/solar3>. [Udostępniono: 02-maj-2018].
15. <https://www.foxtechfpv.com/>
16. <http://www.intelligent-energy.com/our-products/uavs/>
17. <http://richenpower.com/>
18. <https://www.yamahamotorsports.com/motorsports/pages/precision-agriculture-fazer>. [Udostępniono: 04-maj-2018].

---

## Alternative power source for Small Unmanned Aerial Vehicles (UAV)

*The article discusses problems of current and development of new, alternative sources of power used for small unmanned aerial vehicles.*

---

Autor:  
mgr inż. **Piotr Mazur** – Politechnika Koszalińska, Wydział Mechaniczny, Katedra Automatyki Mechaniki i Konstrukcji, [pmazur@agrotechnology.pl](mailto:pmazur@agrotechnology.pl)