PRACE INSTYTUTU LOTNICTWA ISSN 0509-6669
Nr 2(243), s. 108-119, Warszawa 2016 eISSN 2300-5408
DOI: 10.5604/05096669.1205258

ETAPY I KIERUNKI ROZWOJU OBIEKTÓW LATAJĄCYCH WYKORZYSTUJĄCYCH DO NAPĘDU ENERGIĘ SŁONECZNĄ

Wiesław Zalewski
Centrum Nowych Technologii, Instytut Lotnictwa, al. Krakowska 110/114, 02-256 Warszawa, zalewski@ilot.edu.pl

Streszczenie

W pracy przedstawiono etapy i kierunki rozwoju konstrukcji lotniczych w których wykorzystuje się energię słoneczną jako podstawowe źródło zasilania systemu napędowego. Opisano przykłady programów badawczych o tej tematyce realizowanych na świecie w ciągu ostatnich 40 lat oraz przedstawiono ich efekty. Na podstawie analizy dotychczasowych osiągnięć i ograniczeń technicznych, przedstawiono dalsze prawdopodobne kierunki rozwoju oraz możliwości zastosowania. Szybki postęp w dziedzinie ogniw fotowoltaicznych, ogniw paliwowych i metod magazynowania energii elektrycznej umożliwia już praktyczne wykorzystanie tego rodzaju konstrukcji w takich dziedzinach jak telekomunikacja i monitoring.
Słowa kluczowe: energia słoneczna w lotnictwie, samolot bezzałogowy, samolot wysokościowy, ogniwa fotowoltaiczne.

1. WPROWADZENIE

Ogniwa słoneczne pojawiły się już w połowie lat 50-tych XX wieku. Pierwsze poważne zastosowania związane są z programem lotów kosmicznych NASA. Na skalę przemysłową produkowano je od początku lat 70-tych XX wieku co zbiegło się z kryzysem paliwowym i wzrostem cen ropy naftowej. Znane są pod nazwą ogniw fotoelektrycznych, fotoogniw lub ogniw fotowoltaicznych. Ogniwa, działając na zasadzie złącza półprzewodnikowego, przetwarzają energię światła słonecznego na energię elektryczną. Najczęściej produkowane są z krzemu, germanu lub selenu. Ze względu na zainteresowanie odnawialnymi źródłami energii, w ostatnich latach prowadzi się bardzo wiele prac badawczych nad rozwojem tej technologii [1]. Ich wynikiem jest wzrost efektywności ogniw, która w najbardziej zaawansowanych rozwiązaniach przekracza już 40%. Sprawność typowych, masowo produkowanych ogniw to obecnie około 20%. Bardzo wcześnie pojawiły się próby wykorzystania ogniw do zasilania samolotów elektrycznych. Poniżej przedstawiono etapy i kierunki rozwoju takich konstrukcji lotniczych.

2. OGNIWA SŁONECZNE W LOTNICTWIE

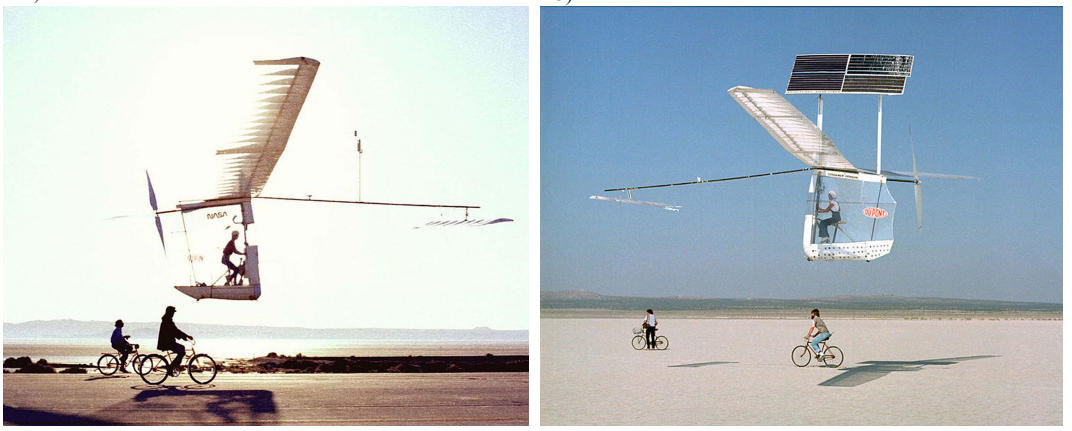
2.1. Samoloty

Pomysł budowy samolotu napędzanego energią słoneczną powstał w latach 70-tych dwudziestego wieku w ramach projektu finansowanego przez agencję ARPA, amerykańską agencję rządową zajmująca się rozwojem technologii wojskowej. Efektem był pierwszy latający samolot zdalnie sterowany o nazwie AstroFlight Sunrise zasilany ogniwami słonecznymi lub akumulatorami, który wykonał pierwsze loty w 1974 roku [2]. Samolot latał z prędkością około 22 km/h. Teoretycznie mógł osiągać pułap lotu do 22000 m. Warto wspomnieć, że samolot został zniszczony w jednym z lotów testowych, kiedy dostał się w strefę powietrza o wysokiej turbulencji w pobliżu chmury. Lekkie konstrukcje późniejszych bezzałogowych samolotów wysokościowych również narażone były na tego typu niebezpieczeństwa i czasem padały ofiarą zbyt burzliwego powietrza.

Idea zasilania samolotu energią słońca szybko zdobywała popularność i już w 1976 roku powstał pierwszy samolot o nazwie Solar Riser zasilany ogniwami słonecznym zdolny unieść człowieka. Był to przerobiony dwupłatowy szybowiec napędzany silnikiem elektrycznym o mocy 2600 W. Górny płat został pokryty ogniwami słonecznymi dostarczającymi 350 W mocy. Dostarczana z ogniw moc nie była wystarczająca do długiego utrzymania maszyny w powietrzu. Dlatego loty odbywały się etapowo. Kiedy samolot stał na ziemi ogniwa ładowały akumulator. Po jego naładowaniu samolot startował zasilany prądem zgromadzonym w baterii. Około 1,5 godziny ładowania akumulatora w słoneczny dzień wystarczało na 3-5 minut lotu na wysokości 12 metrów, co pozwalało na pokonanie 800 metrowego odcinka. Na podobnej zasadzie działał również samolot Solar One, mały eksperymentalny średniopłat, który wykonał kilka lotów w 1979 roku. W tym czasie cena ogniw słonecznych o dobrych parametrach była tak wysoka, że przekraczała cenę samolotu na którym była montowana. Stąd często stosowano rozwiązania polegające na pokryciu ogniwami jedynie niewielkiej części powierzchni skrzydeł. Wysoka cena i mała moc takiego systemu zasilania sprowadzały go raczej do poziomu kosztownej ciekawostki niż alternatywnej metody dostarczania energii. Płatowiec o wymiarach i masie umożliwiający zabranie na pokład pilota miał nadal zbyt duże zapotrzebowanie na moc aby można poprzestać tylko na energii dostarczanej z ogniw słonecznych w czasie lotu. Takich ograniczeń nie miały samoloty bezzałogowe. Jednak z powodu nie najlepiej jeszcze rozwiniętych możliwości zdalnego sterowania (kosztowna, duża i ciężka aparatura o małym zasięgu) nadal koncentrowano się na samolotach załogowych. Istotą rzeczy było zbudowanie płatowca o jak najmniejszej masie. Pod koniec lat 70-tych budowano udane mięśnioloty, czyli bardzo lekkie samoloty napędzane siłą ludzkich mięśni. Człowiek po odpowiednim przygotowaniu kondycyjnym jest w stanie wytworzyć 300-500 W mocy przez kilka godzin co wystarczało do utrzymania się w powietrzu i lotu z małą prędkością. W 1979 roku miał miejsce historyczny przelot mięśniolotu Gossamer Albatros (rys. 1a) nad kanałem La Manche. Samolot przy rozpiętości skrzydeł 29,77 m miał masę własną wynosząca zaledwie 32 kg. Razem z pilotem masa wzrastała do 100 kg. Udział masy pilota dobrze ilustruje problemy jakie stwarzało zbudowanie samolotu załogowego przeznaczonego do tego rodzaju lotów. Do utrzymania się w powietrzu pilot musiał wytworzyć około 300 W mocy. Zapotrzebowanie na moc było silnie uzależnione od poziomu

turbulencji powietrza w którym poruszał się samolot. Wraz z jej wzrostem opory ruchu również wzrastały. Do lotów wymagana była idealna pogoda. Nawet niewielkie podmuchy wiatru mogły doprowadzić do utraty kontroli nad samolotem.

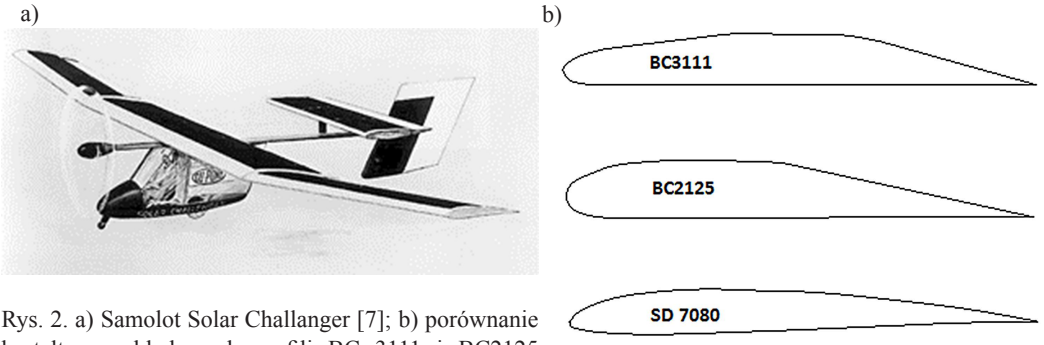
a) b)



Rys. 1. a) Mięśniolot Gossamer Albatros [3]; b) samolot Gossamer Penguin z zestawem ogniw słonecznych nad płatem [4]

Mała moc potrzebna do utrzymaniu się w powietrzu tego specjalnego samolotu szybko zwróciła uwagę specjalistów od energii słonecznej i wykorzystano go jako bazę do wykonania zasilanego całkowicie przez ogniwa słoneczne samolotu o nazwie Gossamer Penguin (rys. 1b). Była to nieco pomniejszona (o 25%) wersja Albatrosa z zestawem paneli słonecznych umieszczonym na wysięgniku nad płatem. Powodem tak nietypowego rozwiązania były problemy odziedziczone po poprzedniku. Samolot był niezwykle wrażliwy na podmuchy wiatru. Z tego powodu loty wykonywano tylko rano przy bezwietrznej pogodzie. Słońce znajdujące się nisko nad horyzontem wymusiło umieszczenie paneli słonecznych na przechylanej podporze, za pomocą której ustawiano je pod odpowiednim kątem. Samolot wykonał kilka udanych przelotów demonstracyjnych. Jego wersją rozwojową była maszyna o nazwie Solar Challenger (rys. 2a). Ten samolot konstruowano już od podstaw pod zasilanie słoneczne. Kształt płata i usterzenia projektowano pod kątem najlepszego wykorzystania powierzchni dla ogniw słonecznych. Dzięki zastosowaniu specjalnych profili lotniczych (np. Lissaman Hibbs 8025 na skrzydle), górna powierzchnia płata i usterzenia była w dużej części płaska. Pozwala to uniknąć obniżenia efektywności paneli słonecznych wskutek ich zakrzywienia na wypukłej powierzchni klasycznego skrzydła. Przykłady kilku profili tego typu, których znaczna część obrysu składa się z linii prostych, wraz z charakterystykami aerodynamicznymi można znaleźć w pracy [5]. Obecnie coraz częściej do projektowania dedykowanych profili lotniczych stosuje się nowoczesne metody wykorzystujące algorytmy genetyczne adoptowane z technologii szybowcowych i śmigłowcowych [6]. Rozpiętość skrzydeł wynosiła 14,3 m a masa własna około 90 kg. Pojedyncze śmigło napędzane było dwoma silnikami elektrycznymi o mocy 2200 W każdy, umieszczonymi jeden za drugim. Maksymalna prędkość lotu dochodziła do 64 km/h. Ponad 16000 ogniw słonecznych zapewniało 3800 W mocy. Warto podkreślić, że samolot nie posiadał żadnych akumulatorów i używał wyłącznie energii

z ogniw słonecznych do startu i lotu. W 1981 roku Solar Challenger wykonał przelot o długości 262 kilometrów z Francji do Wielkiej Brytanii przebywając w powietrzu bez lądowania ponad 5 godzin. Maksymalny pułap lotu to 4360 m.



Rys. 2. a) Samolot Solar Challanger [7]; b) porównanie kształtu przykładowych profili BC 3111 i BC2125 projektowanych pod zastosowanie płaskich paneli słonecznych i klasycznego profilu lotniczego SD 7080 [5]

Analizując historię opisanych konstrukcji zwraca uwagę szybkość rozwoju. Zaledwie 7 lat dzieli pierwszy model RC i pierwszy samolot załogowy z zasilaniem typu solar zdolnym do długich przelotów z pilotem na pokładzie. Jednocześnie łatwo wskazać poważne ograniczenia takiego systemu zasilania. W przypadku braku światła słonecznego (noc, zachmurzenie) samolot nie może kontynuować lotu lub jest zdany na inne źródła energii. Teoretycznie rozwiązanie tego problemu wydaje się proste. Wystarczy na pokładzie samolotu umieścić akumulatory o odpowiedniej pojemności. W słoneczny dzień system ogniw będzie zapewniał zasilanie silnikom elektrycznym i jednocześnie ładował akumulatory. W nocy zasilanie przejmą akumulatory aż do ponownego pojawienia się słońca. Pozwoliłoby to na utrzymanie samolotu w locie dowolnie długo. Problem zachmurzenia również jest łatwy do rozwiązania. Należy latać na wysokości na której chmury już nie występują i nie utrudniają dostępu do światła słonecznego. Przestrzeń powietrzna jest obecnie intensywnie wykorzystywana do wysokości 12000 metrów głównie przez lotnictwo komunikacyjne. Dopiero powyżej wysokości 200000 m latają satelity. Zatem przedział wysokości między 12000-200000 metrów pozostaje do wykorzystania niemal bez ograniczeń. Jedynym problemem jest jak stosunkowo szybko pokonać strefę wysokości używaną przez lotnictwo komunikacyjne. Szybko dostrzeżono potencjalne możliwości praktycznego i komercyjnego zastosowania dla samolotu z systemem zasilania opartym na ogniwach słonecznych latającego na tak dużych wysokościach. Dynamicznie rozwijający się przemysł telekomunikacyjny bazuje na sieci satelitów geostacjonarnych. Mimo ogromnych możliwości techniki satelitarnej ma ona zasadniczą wadę. Jest bardzo kosztowna i dostępna jedynie dla najbardziej zaawansowanych technologicznie państw, które tylko udostępniają usługi innym. Rozwiązaniem dużo tańszym byłoby zbudowanie satelity atmosferycznego, czyli bezzałogowego samolotu wysokościowego z napędem elektrycznym zdolnego do wielomiesięcznego przebywania na wysokościach powyżej 12000 metrów.

W 1983 roku rozpoczął się w Stanach Zjednoczonych program High Altitude Solar (HALSOL) [8], który miał na celu zbudowanie latającej platformy dla celów telekomunikacyjnych i badawczych. Program, początkowo utajniony i sponsorowany przez agencje rządowe, bazował

na doświadczeniach zdobytych przy pracach badawczych nad samolotami Gossamer Penguin i Solar Challanger. W czerwcu 1983 roku powstał pierwszy prototyp samolotu w układzie latające skrzydło o nazwie HALSOL, który wykonał kilka testowych lotów, ale tylko z zasilaniem opartym na akumulatorach. Okazało się, że ówczesna technologia ogniw słonecznych i magazynowania energii w akumulatorach nie jest jeszcze na tyle zaawansowana aby osiągniecie celów programu było możliwe. Program zawieszono po wykonaniu testów aerodynamicznych płatowca. Prototyp zdemontowano i umieszczono w hangarze. Przerwa trwała 10 lat. Tyle było potrzebne aby technologia ogniw słonecznych i magazynowania energii w akumulatorach zostały ulepszone do poziomu rokującego szansę na realizację przyjętych zadań. Do tematu powrócono w 1993 roku. Prototyp, już wyposażony w panele słoneczne, wykonał kilka lotów próbnych na małych wysokościach w celu testowania współpracy systemu ogniw słonecznych i akumulatorów. W 1994 roku prace przeniesiono do programu o nazwie NASA ERAST. Był to program, który stawiał sobie za cel budowę i rozwój tanich bezzałogowych samolotów o małej prędkości lotu, zdolnych do lotów długodystansowych na wysokościach powyżej 18000 metrów. Samoloty miały służyć jako platformy do badań naukowych właściwości górnych warstw atmosfery i monitorowania zmian klimatycznych i pogodowych oraz jako platformy telekomunikacyjne. Samoloty z napędem elektrycznym wykorzystującym energię słoneczną były tylko jedną z gałęzi programu. W jego ramach powstało również kilka śmigłowych samolotów bezzałogowych napędzanych silnikami spalinowymi.

Po przejściu do programu ERAST samolot zmienił nazwę na Pathfinder (rys. 3a). Był stopniowo modernizowany. W 1995 roku ustanowił nieoficjalny rekord wysokości dla samolotów napędzanych energią słoneczną wznosząc się na 15000 metrów. W 1997 roku ustanowił oficjalny rekord wysokości dla samolotów śmigłowych osiągając pułap 21800 metrów.

a) b)

Rys. 3. a) Samolot Pathfinder [9]; b) Pathfinder Plus z zasobnikami ze sprzętem telekomunikacyjnym podwieszonymi pod skrzydłem [10]

W 1998 roku samolot poddano licznym modyfikacjom. Wydłużono skrzydło, na jego części zastosowano inny profil. W pokryciu użyto ulepszonych ogniw słonecznych o sprawności dochodzącej do 19% (w poprzednim samolocie miały 14%). Zwiększono liczbę silników z 6 do 8. Wszystko to miało na celu dostosowanie samolotu nazwanego teraz Pathfinder Plus (rys. 3b) do roli platformy telekomunikacyjnej. Do komercyjnego wykorzystania samolotu w tym celu doszło w 2002 roku. Była to pierwsza udana próba użycia satelity atmosferycznego do przekazywania sygnału telekomunikacyjnego. Samolot wyposażony w dwa zasobniki ze sprzętem latał na wysokości

19000-20000 metrów. Wyniki były bardzo zachęcające. Za względu na mniejszą wysokość lotu niż klasyczny satelita kosmiczny nie występowały opóźnienia czasowe przy transmisji sygnału typowe dla komunikacji satelitarnej. Wielokrotnie mniejsza była też moc potrzebna do nadawania sygnału. Pathfinder Plus nie był jednak w stanie utrzymać się na zadanej wysokości przez 24 godziny na dobę. Ilość energii zmagazynowana w akumulatorach nie pozwalała na przetrwanie nocy. W ramach kontynuacji programu powstawały kolejne samoloty, które miały osiągać coraz większe wysokości i maksymalnie wydłużyć czas przebywania w powietrzu. Trzecią generacją latających skrzydeł był NASA Centurion. Następnie powstał NASA Helios w wariantach HP01 i HP03. HP01 miał zadanie osiągnięcia maksymalnej wysokości lotu, natomiast HP03 maksymalnej długotrwałości. W wersji HP03 po raz pierwszy zastosowano system zasilania wykorzystujący ogniwa słoneczne, akumulatory i wodorowe ogniwa paliwowe [11]. W kwietniu 2001 roku NASA Helios HP01 ustanowił rekord wysokości lotu wynoszący 29524 metry. Była to największa wysokość osiągnięta przez obiekt latający dzięki sile nośnej wytwarzanej przez skrzydła. W roku 2003 podczas lotów testowych uległ rozbiciu Helios HP03. Głównym powodem był przelot przez strefę powietrza o podwyższonej turbulencji oraz błędy projektowe (nieprawidłowy rozkład masy).

Rys. 4. Samolot NASA Helios [12]

Wraz ze stopniowym spadkiem cen i wzrostem efektywności ogniw słonecznych powstawały kolejne udane konstrukcje samolotów załogowych wykorzystujących energię słoneczną jako główne źródło zasilania. Jednym z najbardziej znanych był zbudowany w 1990 roku Sunseeker. Został wyposażony w składane śmigło pchające umieszczone na końcu belki ogonowej i silnik elektryczny o mocy 1,84 kW. Samolot zasłynął przelotem przez całe Stany Zjednoczone w 21 etapach, w sumie 121 godzin lotu. Na ulepszonej wersji o nazwie Sunseeker 2 (rys. 5a) wykonano w 2009 roku przelot nad Alpami.

Tab. 1. Przykładowe dane techniczne samolotów wykorzystujących energię słoneczną [12, 13]

	Sunrise	**Pathfinder-Plus**	**Zephyr**	**Helios HP01**	**Solar Impulse 1**
Typ	bezzałogowy	bezzałogowy	bezzałogowy	bezzałogowy	załogowy
Długość [m]	4,36	3,6		3,6	21,85
Rozpiętość [m]	9,8	36,3	18,2	75,3	63,4
Wydłużenie skrzydła [m]	11,4	15,1	11,6	30,4	
Profil skrzydła	Eppler 387	brak danych	brak danych	brak danych	brak danych
Doskonałość	brak danych	21	brak danych	brak danych	20
Prędkość lotu [km/h]	22	brak danych	83	30.6–43.5	30-70
Maksymalna wysokość lotu [m]	22000	24445	22000	29523	12000
Masa własna [kg]	10	brak danych	30	600	1600
Maksymalna masa startowa [kg]	12	315	50	929	2000
Moc silnika [kW]	0,45	1,5	1,5	1,5	7
Liczba silników	1	8	1	14	4
Zasilanie pomocnicze	akumulatory	akumulatory	akumulatory litowo-siarkowe	akumulatory litowe	akumulatory

Sunseeker 2 po osiągnięciu wysokości przelotowej jest w stanie ją utrzymać w słoneczny dzień wykorzystując tylko system zasilania energią słoneczną. Akumulator służy jedynie do startu i wznoszenia. Energia zgromadzona w akumulatorze wystarcza na około 15 minut ciągłej pracy silnika elektrycznego. Ponowne naładowanie przez system cel słonecznych trwa około 40 minut. Prędkość lotu na wysokości przelotowej wykorzystując tylko energię słoneczną to około 70 km/h. Z wykorzystaniem energii akumulatora może być chwilowo zwiększona dwukrotnie.

a) b)

Rys. 5. a) Samolot Sunseeker 2 [14]; b) samolot Solar Impulse 1 [15]

Obecnie najbardziej znanym na świecie samolotem wykorzystującym energię słoneczną jest Solar Impulse 1 (rys. 5b) oraz jego wersja rozwojowa Solar Impulse 2. Prace projektowe rozpoczęto w 2004 roku. Celem projektu było zbudowanie samolotu, który byłby w stanie wykonać przelot dookoła kuli ziemskiej korzystając tylko z energii słonecznej. Jednoosobowy samolot o rozpiętości ponad 64 metrów był napędzany 4 silnikami elektrycznymi. Na skrzydłach i stateczniku poziomym znajdowało się 11628 monokrystalicznych ogniw słonecznych. Masa ogniw wynosiła 400 kg, co stanowiło około 25% masy własnej samolotu. W 2015 roku zakończono prace nad drugim prototypem oznaczonym jako Solar Impulse 2. W jego konstrukcji wprowadzono szereg modyfikacji będących wynikiem doświadczeń zdobytych podczas eksploatacji pierwszego prototypu. Rozpiętość została zwiększona do 72 metrów, co pozwoliło na rozmieszczenie w sumie około 17250 ogniw słonecznych. Zwiększono moc silników elektrycznych. Samolot został starannie przygotowany do lotu dookoła świata, który rozpoczął się w marcu roku 2015. Po kilku etapach, wskutek uszkodzenia baterii magazynujących energię lot przerwano na około 10 miesięcy. Po usunięciu problemów technicznych lot kontynuowano wykonując między innymi przelot nad Pacyfikiem. Głównym celem przedsięwzięcia jest propagowanie czystej energii i rozwój najnowszych technologii związanych z wykorzystaniem energii odnawialnej [16].

Nadal najtrudniejszym zadaniem jest zbudowanie samolotu wysokościowego zdolnego do pozostania w powietrzu przez czas dłuższy niż 24 godziny bez znaczącej utraty wysokości w czasie nocy i pracy na akumulatorach. Wysokość lotu nie powinna obniżyć się do poziomu korytarzy lotnictwa komunikacyjnego czyli 12000 m. Dopiero w 2010 roku firma QinetiQ zbudowała mały samolot o nazwie Zephyr, który ustanowił rekord długotrwałości lotu. Przebywał na wysokości około 21000 m przez 14 dni korzystając jedynie z energii słonecznej i akumulatorów do jej magazynowania i wykorzystania w nocy. Samolot jest nadal intensywnie rozwijany i obecnie wykorzystywany przez US Navy do zadań obserwacyjnych między innymi w Iraku i Afganistanie.

Możliwość długotrwałego pozostawania w locie wykorzystując jedynie energię słoneczną jest najważniejszą zaletą samolotów bezzałogowych z takim napędem. Ze względu na ograniczenia ilości energii jaką można pozyskać i zmagazynować w akumulatorach na czas nocy, istotne jest zbudowanie samolotu, którego zapotrzebowanie mocy do utrzymania się w powietrzu jest jak najmniejsze. Analizując lot samolotu od strony energetycznej można przedstawić go w formie sumy dwóch funkcji prędkości lotu: zapotrzebowania mocy na pokonanie oporów lotu oraz zapotrzebowanie mocy na wytworzenie siły nośnej.

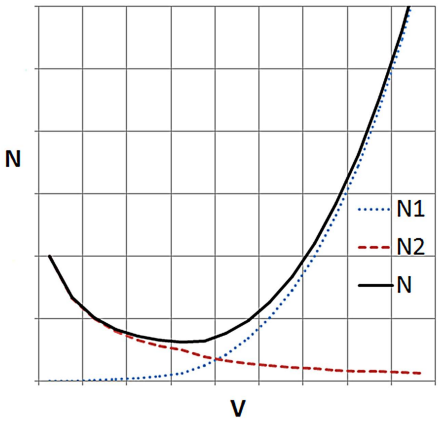
$$N1 = f\left(V^3\right) \tag{1}$$

$$N2 = f\left(\frac{1}{V}\right) \tag{2}$$

$$N = N1 + N2 \tag{3}$$

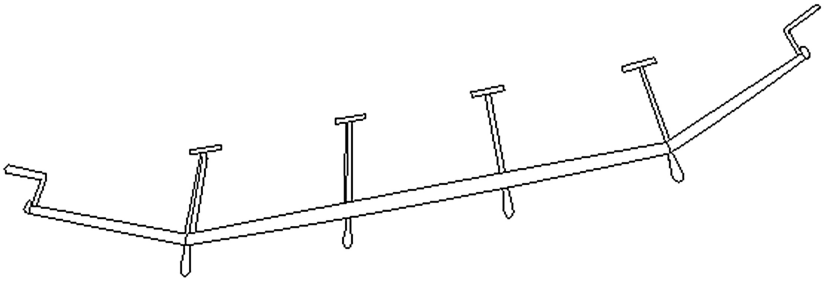
gdzie: N – całkowite zapotrzebowanie mocy w locie, N1 – zapotrzebowanie mocy na pokonanie oporu, N2 – zapotrzebowanie mocy na wytworzenie siły nośnej, V – prędkość lotu

Zapotrzebowanie mocy na pokonanie oporów lotu rośnie proporcjonalnie do trzeciej potęgi prędkości lotu. Stąd oczywisty wniosek, że przy ograniczonych zasobach energii racjonalne jest utrzymywanie jak najmniejszej prędkości lotu. Zapotrzebowanie mocy na wytworzenie siły nośnej jest proporcjonalne do odwrotności prędkości lotu. Zatem ilość mocy napędu niezbędna do wytworzenia siły nośnej maleje ze wzrostem prędkości. Najbardziej efektywną energetycznie prędkość lotu V można wyznaczyć znajdując minimum funkcji N(V) co przedstawiono na rysunku 6. Kluczowym zagadnieniem jest takie dobranie elementów zespołu napędowego śmigło-silnik, aby uzyskiwały jak największą sprawność właśnie dla tej prędkości lotu. Jak przedstawiono w tabeli 1, prędkości lotu samolotów tego typu są małe.



Rys. 6. Zapotrzebowanie mocy napędu N samolotu w funkcji prędkości lotu V [opracowanie własne]

We wrześniu 2010 roku w USA ogłoszono rozpoczęcie programu o nazwie Vulture II. Agencja DARPA zleciła firmie Boeing budowę bezzałogowego samolotu zdolnego do długotrwałych lotów w stratosferze na wysokości powyżej 15000 metrów. Zgodnie z założeniami programu samolot, wykorzystując ogniwa słoneczne i ogniwa paliwowe, będzie mógł pozostawać w locie na wysokości powyżej 15000 m przez co najmniej 5 lat. Koszty programu to 89 milionów dolarów. Prototyp samolotu miał wykonać pierwsze loty testowe już w 2011 roku. Samolot nazwany SolarEagle ma mieć rozpiętość skrzydeł wynoszącą 120 metrów i udźwig do 500 kg. Szkic koncepcyjny samolotu przedstawiono na rysunku 7.



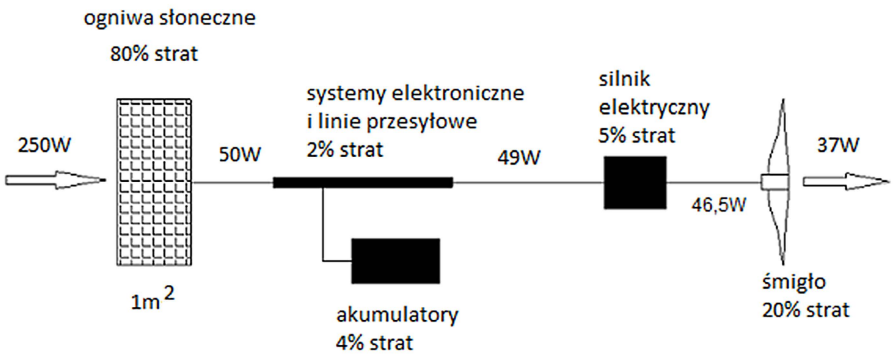
Rys. 7. Szkic koncepcyjny samolotu Solar Eagle [opracowanie własne]

2.2. Balony, sterowce i paralotnie

Efektowne i skomplikowane technicznie samoloty nie są jedyną dziedziną lotnictwa gdzie wykorzystuje się energię słoneczną. Budowane są również balony słoneczne. Czarna powłoka balonu akumulując promieniowanie słoneczne nagrzewa się, a od niej nagrzewa się uwięziony wewnątrz gaz. Taki system pozwala na osiąganie przez balon wysokości nawet do 15000 m. Pojawiają się również pomysły wykorzystania balonów słonecznych na uwięzi, dodatkowo pokrytych klasycznymi, elastycznymi panelami słonecznymi jako elektrowni słonecznych unoszących się nad ziemią lub morzem. Pozwoliłoby to na umieszczanie takich obiektów w rejonach trudno dostępnych. Dzięki elastycznym i lekkim panelom słonecznym zamiast budowy drogich samolotów z kompozytów szklanych i węglowych można zbudować paralotnie z podwieszanym napędem elektrycznym. Doskonałość aerodynamiczna obecnie produkowanych paralotni wynosi około 10. Zaletą paralotni jest niska prędkość lotu, mała masa i duża powierzchnia odbierająca energię słoneczną. Wykorzystanie ogniw słonecznych planuje się również w sterowcach przeznaczonych do obserwacji i długodystansowych przelotów wyczynowych. W zdecydowanej większości są to jednak jedynie prace studialne i koncepcyjne.

3. KIERUNKI ROZWOJU

Z analizy dotychczas zrealizowanych projektów obiektów latających wykorzystujących energię słoneczną do napędu wynika, że największe zainteresowanie konstrukcjami tego typu przypadało na lata 1988-1992. Duże programy badawcze realizowane w USA pokazały możliwości wykorzystania tej technologii w lotnictwie, jednak nie doprowadziły do zbudowania samolotów przydatnych do wykorzystania komercyjnego w telekomunikacji lub w armii na szerszą skalę. Główną barierą rozwoju jest nadal duży ciężar układów magazynowania energii oraz niska sprawność ogniw słonecznych. Warto zauważyć, że obecnie stosowane rozwiązania pozwalają na efektywne wykorzystanie zaledwie około 10-15% energii słońca. Reszta jest tracona w wyniku niskiej sprawności ogniw słonecznych (80% strat), przesyłania i przekształcania w systemach elektrycznych (2% strat), efektywności magazynowania w akumulatorach (4% strat), w silniku elektrycznym (5% strat) oraz ograniczonej sprawności śmigła lotniczego (10-20% start). Typowe ogniwa słoneczne używane obecnie w lotnictwie pozwalają na uzyskanie około 50 W z 1 metra kwadratowego powierzchni.



Rys. 8. Dystrybucja mocy w układzie zasilania samolotu wykorzystującego energię słoneczną [opracowanie własne]

Mimo, że największą uwagą mediów cieszą się obecnie takie projekty jak Solar Impuls o charakterze badawczo-wyczynowym, to największe nakłady płyną w kierunku zastosowania tego typu samolotów bezzałogowych (UAV) w wojsku i telekomunikacji. Właściwie nic nie wiadomo o przebiegu dużych programów badawczych jak opisany wcześniej Vulture II. Jeśli rozwijają się zgodnie z planem, samoloty projektowane w tym programie powinny już latać. Brak jednak doniesień czy publikacji na ten temat. Podobna sytuacja ma miejsce z pracami firmy Qinetiq nad samolotem Zephyr. Wraz z wykorzystaniem tych samolotów w celach militarnych ilość informacji o rozwoju tej konstrukcji spadła niemal do zera. Stosunkowo wolny transfer technologii do zastosowań cywilnych jest wynikiem obostrzeń dotyczących samolotów bezzałogowych. Jest to obecnie najbardziej dynamicznie rozwijająca się dziedzina w lotnictwie wojskowym. O osiągnięciach programów takich jak Vulture II pierwsze informacje pojawią się prawdopodobnie dopiero za 4-5 lat.

Jak dotąd bezkonkurencyjnym systemem napędowym dla samolotów zasilanych energią słoneczną pozostaje napęd śmigłowy. Duże możliwości regulacji parametrów pracy silnika elektrycznego i brak spadku mocy z wysokością lotu umożliwiają dobrą współpracę ze śmigłem lotniczym. Sprawność silników elektrycznych dochodzi do 95%. Prawidłowo dobrane i zaprojektowane śmigło przy niewielkich prędkościach lotu może osiągać sprawność nawet do 90% [17]. Razem tworzy to bardzo wydajny układ napędowy w którym tracone jest jedynie 15-20% energii. W opracowaniach dotyczących rozwoju tego rodzaju lotnictwa [18] wskazuje się również na alternatywę dla napędu śmigłowego jaką może stać się w przyszłości napęd elektrohydrodynamiczny (EHD) działający na zasadzie jonizacji powietrza między dwoma elektrodami pod wpływem przepływającego prądu.

Wydaje się pewne, że samoloty bezzałogowe wykorzystujące energię słoneczną znajdą szersze zastosowanie jako platformy telekomunikacyjne i obserwacyjne [19]. Na pewno nie zastąpią satelitów, ale będą służyć jako pomocnicze przekaźniki wspomagające przepływ danych. Ich skuteczność w tej roli została już udowodniona. Rosnące zainteresowanie fizyką górnych warstw atmosfery powoduje, że powstaje duże zapotrzebowanie na tanie latające platformy do badań. Meteorologia i ochrona środowiska również należą do grona dziedzin gdzie takie samoloty mogą oddać nieocenione usługi. Innym potencjalnie dużym rynkiem komercyjnym są szkoły lotnicze szukające metod na obniżenie kosztów szkolenia pilotów. Analizując postępy, koszty i komercyjne zapotrzebowanie na tego typu technologie lotnicze wydaje się, że ich użycie na szerszą skalę nastąpi nie wcześniej niż za 10-15 lat.

BIBLIOGRAFIA

[1] National Renewable Energy Laboratory, http://www.nrel.gov.
[2] http://www.projectsunrise.info/First_Solar_Powered_Aircraft.html.
[3] http://pl.wikipedia.org/wiki/Plik:Gossamer_Albertross_II_in_flight.jpg.
[4] http://en.wikipedia.org/wiki/File:Gossamer_penguin.jpg.
[5] Chen, W., Berbal, L., 2008, „Design and Performance of Low Reynolds Number Airfoils for Solar Powered Flight," 46th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, Reno, Nevada.

[6] Stalewski, W., 2006, „Numeryczna optymalizacja profili śmigłowcowych oparta na algorytmie genetycznym z uwzględnieniem kryteriów bazujących na niestacjonarnych charakterystykach aerodynamicznych", Prace Instytutu Lotnictwa nr 1-2/2006, Warszawa, s. 54-64.
[7] http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b5/Solar_Challenger_drawing.jpg.
[8] Ehernberger, L. J., Donohue, C., Teets, E., 2004, „A Review of Solar-Powered Aircraft Flight Activity at the Pacific Missile Range Test Facility, Kauai, Hawaii," 11h AMS Conference on Aviation, Range, and Aerospace Meteorology; Hyannis, MA; 4-8 Oct. 2004; United States.
[9] http://en.wikipedia.org/wiki/File:Pathfinder_solar_aircraft_over_Hawaii.jpg.
[10] http://en.wikipedia.org/wiki/File:Pathfinder_Plus_solar_aircraft_over_Hawaii.jpg.
[11] Jankowski, A., 2012, „Wybrane zagadnienia funkcjonalne i aplikacyjne ogniw paliwowych," Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych.
[12] http://en.wikipedia.org/wiki/NASA_Helios.
[13] http://en.wikipedia.org/wiki/Flight_altitude_recor.
[14] http://en.wikipedia.org/wiki/File:SunseekerFlying.jpg.
[15] https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_Impulse#/media/File:Flea_Hop_HB-SIA_-_Solar_Impulse.jpg.
[16] http://www.solarimpulse.com.
[17] Strzelczyk, P., 2008, „Wybrane zagadnienia aerodynamiki śmigieł," Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów.
[18] Young, M., Keith, S., Anthony Pancotti, A., 2009, „An Overview of Advanced Concepts for Near-Space Systems," 45th AIAA Joint Propulsion Conference & Exhibit, Denver, CO, 2-5 August 2009.
[19] Hoffborn, M., 2009, ''A historical survey of solar powered airplanes and evaluation of its potential market," Malarden University Sweden.

STAGES AND DIRECTIONS OF DEVELOPMENT OF SOLAR POWERED AERIAL VEHICLES

Abstract

The paper presents the stages and directions of development of manned and unmanned aerial vehicles which use solar energy as the primary power source for the propulsion system. Examples of research programs on this subject accomplished in the world over the last 40 years and their results were described. Based on the analysis of the achievements and technical limitations further, the most likely trends and possibilities are presented. Rapid progress in the field of photovoltaic cells, fuel cells and methods of storage of electricity already allows the practical use of such structures in areas like telecommunications and monitoring.
Keywords: solar energy in aviation, unmanned aerial vehicle, high altitude flight, photovoltaic cells.