



Zbigniew SKORUPKA, Rafał KAJKA, Ryszard HARLA, Rafał JAKUBOWSKI

# WYBRANE ZAGADNIENIA KONSTRUKCJI PODWOZIA PŁOZOWEGO NA PRZYKŁADZIE PODWOZIA WIROPLATOWEJ PLATFORMY UŻYTKOWEJ ILX-27

### *Streszczenie*

*Podwozia wiroplatonowych statków powietrznych muszą spełnić szereg zadań stawianych przez warunki operacyjno/użytkowe przewidziane w założeniach eksploatacyjnych. Podwozie płozowe jest najbardziej rozpowszechnionym typem podwozia stosowanego w wiroplatach dzięki swojej odporności mechanicznej, możliwościom użytkowym oraz stosunkowo niewysokim kosztom budowy i eksploatacji w odniesieniu do równoważnych podwozi innych typów. W przypadku wiroplatonów operujących w trudnych warunkach terenowych podwozie takie jest jedynym rozwiązaniem konstrukcyjnym pozwalającym na wykonanie stawianych przed nimi zadań. Podwozie płozowe pomimo pozornego nieskomplikowania, w trakcie procesu projektowego wymaga od konstruktorów dogłębnej wiedzy inżynierskiej w celu osiągnięcia zakładanego efektu w postaci bezpiecznego produktu, chroniącego nie tylko samą konstrukcję a także przewożoną aparaturę a co najważniejsze ludzi znajdujących się na pokładzie. W artykule autorzy postarają się przybliżyć złożoność zagadnień związanych z konstrukcją podwozia płozowego na przykładzie konstrukcji wykonanej na potrzeby projektu „Bezzałogowy śmigłowiec – robot do zadań specjalnych” realizowanego w Instytucie Lotnictwa we współpracy z Instytutem Technicznym Wojsk Lotniczych oraz WZL-1.*

## 1. WIROPLATOWY STATEK POWIETRZNY

Wiroplatonowy statek powietrzny lub wiroplaton jest to rodzaj pojazdu latającego, w którym siła nośna powstaje na wirujących powierzchniach nośnych. W przeciwieństwie do klasycznego układu samolotu gdzie rolę powierzchni nośnych spełniają na stałe zamocowane skrzydła, w przypadku wiroplatonu wirujące powierzchnie nośne mogą być jednocześnie napędem pojazdu. Wiroplatony dzielimy na trzy podstawowe rodzaje:

- śmigłowiec
- wiatrakowiec
- wiroszybowiec

We wszystkich trzech rodzajach pojazdów podstawowym ustrojem nośnym jest wirnik składający się z obrotowej głowicy uzbrojonej w łopaty nośne, których wirowanie wytwarza siłę nośną zdolną do uzyskania własności lotnych obiektu. Wirnik może być napędzany jak to ma miejsce w przypadku śmigłowców gdzie jest jednocześnie źródłem napędu obiektu. W przypadku wiatrakowców oraz wiroszybowców wirnik jest nienapędzany, a właściwości nośne uzyskuje w wyniku autorotacji uzyskiwanej pod wpływem oddziaływań wywołanych ruchem postępowym pojazdu.

W przypadku większości wiatrakowców źródłem ruchu postępowego jest śmigło pchające lub ciągnące a wirnik służy jedynie do wytworzenia siły nośnej. Od tego schematu konstrukcji są jednak odstępstwa i istnieją wiatrakowce, w których wirnik jest napędzany niezależnie z napędu głównego bądź to przez dodatkowy silnik. Pojazd ten zaliczany do grupy wiatrakowców łączy w sobie cechy samolotu i śmigłowca, przez co tak naprawdę jest trudny do sklasyfikowania.

Trzecia grupa wiroplątów, czyli wiroszybowce są obiektami pozbawionymi jakiegokolwiek napędu. Ich użycie wymaga startu z katapulty lub za samolotem ciągnącym wiropląt podczas startu. Jako przykład takiego rozwiązania może służyć wiroszybowiec Focke-Achgelis Fa 330 Bachstelze (rys.1) będący na wyposażeniu Kriegsmarine podczas II wojny światowej.



**Rys. 1.** Wiroszybowiec Focke-Achgelis Fa 330 Bachstelze na pokładzie niemieckiego okrętu podwodnego czasie II wojny światowej

**Źródło:** Internet

Mimo, że wiropląty powstały w tym samym czasie co samoloty klasyczne, jednak ze względu na skomplikowanie konstrukcji na szersze zastosowanie musiały poczekać aż do lat 40 XX wieku. Pierwszym seryjnie produkowanym śmigłowcem był Flettner FL 282 (rys.2) służący do wykonywania zadań obserwacyjno-zwiadowczych.



**Rys. 2.** Śmigłowiec Flettner FL 282.

**Źródło:** Internet

W latach 40 XX wieku Igor Sikorski opracował śmigłowiec jednowirnikowy z wirnikiem ogonowym równoważącym moment reakcyjny od napędzanego wirnika, co umożliwiło budowę coraz to doskonalszych konstrukcji, które w niezmienionej konfiguracji użytkowane są z powodzeniem do dzisiaj.

Wiatrakowce popularność zyskały w dwudziestoleciu międzywojennym, w czasie II wojny światowej służyły, jako pojazdy patrolowe i obserwacyjne np. Kayaba Ka-1 (rys.3).



**Rys. 3.** Wiatrakowiec Kayaba Ka-1 w locie podczas II wojny światowej.

**Źródło:** Internet

Po wojnie wiatrakowce ustąpiły pola dużo sprawniejszym śmigłowcom i samolotom. Wiatrakowiec, jako pojazd łączący w sobie cechy samolotu i beznapedowego śmigłowca, nie był rozwiązaniem, które mogłoby posłużyć za alternatywę dla dwóch powyższych rozwiązań. Ze względu na posiadanie skomplikowanego wirnika zamiast skrzydeł i nie mogąc wykonywać pionowego startu i lądowania, wiatrakowiec stał się zabawką dla bogatych bez znaczenia w transporcie.

Pod koniec XX wieku zaczęto widzieć w wiatrakowcach potencjał, jako małego pojazdu dla lotów rekreacyjnych lub do przemieszczania jednej do dwóch osób na niewielkie odległości. Ponadto rozwój elektroniki i lotnictwa w ogóle, pozwolił na skonstruowanie wiatrakowców z napędzanym wirnikiem pozwalając na uzyskanie pojazdu małego, lekkiego i łatwego w prowadzeniu a ponadto dość taniego w produkcji. Dodanie napędu do wirnika dało wiatrakowcom możliwość pionowego startu, a posiadanie zwykłego śmigła do napędu poziomego pozwala na łatwiejsze pilotowanie obiektu ze względu na brak konieczności pochylania maszyny w celu nadania jej prędkości poziomej.

## **2. PODWOZIE W WIROPLATACH**

Tak samo jak w samolotach, w wiroplatach podwozie odgrywa kluczową rolę, jako układ odpowiedzialny za najniebezpieczniejsze fazy lotu: start i lądowanie. Ponadto w przypadku wiroplątów z napędzanym wirnikiem podwozie wpływa na zmniejszenie zjawiska nazywanego rezonansem przyziemnym. Rezonans przyziemny wiroplątu jest to niestateczność śmigłowca na ziemi spowodowana obracającym się wirnikiem nośnym. Inaczej mówiąc jest to wejście konstrukcji w rezonans pod wpływem drgań wywołanych przez wirujące łopaty, w czasie gdy wiropląt jest w kontakcie z ziemią, która w tym czasie zaczyna działać jako wzmacniacz tych drgań. Zjawisko to występuje przy bardzo konkretnej wartości drgań innej dla każdego obiektu. Rezonans przyziemny może spowodować zniszczenie pojazdu poprzez wprowadzenie w konstrukcję znacznych energii pochodzących od drgań. Poniżej zdjęcie uszkodzeń śmigłowca Lotniczego Pogotowia Ratunkowego z wypadku w 2009 roku na warszawskim lotnisku (rys.4).



**Rys. 4.** Skutki rezonansu przyziemnego śmigłowca Agusta A 109 Power należącego do LPR.

**Źródło:** Internet

Najbardziej klasycznym sposobem uniknięcia zjawiska jest „przeskoczenie” drgań wywołujących rezonans, przez nagłe zwiększenie prędkości obrotowej wirnika ponad tę, przy której występuje zjawisko. Aby taki manewr się powiódł, wiropląt musi posiadać jeszcze układ redukujący drgania przenoszone na podłoże tak, aby nie nastąpiło nagłe ich wzmocnienie, i tu właśnie przychodzi z pomocą podwozie, które zaprojektowane musi być tak, aby amortyzatory działały jednocześnie jako amortyzatory główne rozpraszające energię lądowania, oraz tłumiki redukujące drgania konstrukcji przekazywane na podłoże.

Podwozia wiroplątów mogą być skonstruowane jako podwozia kołowe, tak jak w samolotach, lub płozowe. Podwozia płozowe przeznaczone są do obiektów posiadających w trakcie lądowania niską (praktycznie zerową w porównaniu z podwoziami kołowymi) prędkość postępową ponadto mogą służyć jako dodatkowa belka do użycia w trakcie misji wiroplątu. Przykładem na takie zastosowanie podwozia płozowego jest chociażby użycie płozy, jako dodatkowego stopnia podczas desantów wojskowych (rys.5). Ponadto podwozie płozowe jest dużo tańsze w produkcji i mniej skomplikowane w utrzymaniu niż podwozie kołowe, dzięki czemu można znacznie obniżyć koszty budowy i eksploatacji obiektu..

Podwozie kołowe (rys.6) w stosunku do płozowego daje możliwość lądowania z prędkością postępową, pochłanianie energii lądowania realizowane jest nie tylko przez amortyzator ale także przez koło (dokładniej pneumatyk, czyli oponę lub oponę i dętkę wypełnioną gazem), co znacznie zmniejsza gabaryty amortyzatora. Podwozie takie może być całkowicie chowane do kadłuba, przez co nie wpływa na własności aerodynamiczne obiektu (istnieją podwozia płozowe składane i „przytulane” do kadłuba – jednakże takie rozwiązania powszechnie się nie przyjęły)



**Rys. 5.** Żołnierze Japońskich Sił Samoobrony podczas przygotowania do desantu

**Źródło:** Internet



**Rys. 6.** Śmigłowiec W-3 Sokół z widocznym podwoziem kołowym.

**Źródło:** Internet

Nowoczesne podwozia niezależnie od typu wyposaża się niejednokrotnie w odkształcalne struktury pochłaniające energię nadmiarową powstającą w wyniku lądowania, powyżej parametrów przewidzianych dla obiektu, występujące podczas awarii lub wypadków. Struktury takie (zwane crashowymi) odkształcają się trwale w sposób kontrolowany zapobiegając poważniejszemu uszkodzeniu struktury obiektu a przez to zapewniając wysoki poziom bezpieczeństwa załogi i pasażerów wiroplatu.

### 3. PODWOZIE ŚMIGŁOWCA ILX-27

Śmigłowiec ILX-27 powstający w Instytucie Lotnictwa w ramach projektu „Bezzałogowy śmigłowiec – robot do zadań specjalnych” –w konsorcjum z Instytutem Technicznym Wojsk Lotniczych oraz WZL-1, pod kierownictwem prof. dra hab. inż. Kazimierza Szumańskiego. Jest jednostką bezzałogową o planowanym szerokim wachlarzu zastosowań cywilnych i wojskowych. Maksymalna masa startowa ILX-27 to 1100 kg. Helikopter może udźwignąć osprzęt o masie do 300 kg osiągając prędkość maksymalną 215 km/h przy zasięgu 441 km.



Rys. 7. Makieta śmigłowca ILX-27 na targach ILA 2012

Źródło: materiały własne ILOT

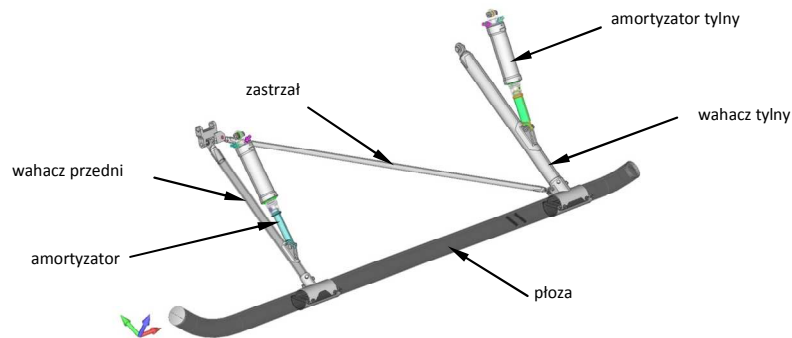
Pracownia Podwozi ILOT jest odpowiedzialna za projekt, konstrukcję, badania oraz wdrożenie gotowego zestawu podwoziowego. W wyniku przeprowadzonych analiz użytkowych zdecydowano się na zastosowanie podwozia płozowego zapewniającego dostateczny poziom bezpieczeństwa przy stosunkowo niskiej cenie jednostkowej podwozia oraz nieskomplikowanej budowie, ważnej w przypadku czynności obsługowych poza lotniskami posiadającymi specjalistyczny sprzęt. Aby zapewnić maksymalny poziom bezpieczeństwa śmigłowca oraz podwieszeń zdecydowano się odejść od klasycznej konstrukcji podwozia płozowego opartego na łukach sprężystych (najczęściej w formie pałaków umieszczonych pod kadłubem śmigłowca - rys.5.) na rzecz układu amortyzowanego przy pomocy klasycznych amortyzatorów hydraulicznych.

Jednocześnie aby uniknąć opisanego wcześniej zjawiska rezonansu przyziemnego zdecydowano się tak skonstruować amortyzator aby był jednocześnie tłumikiem drgań. Taka dwufunkcyjność pozwoliła na dodatkowe uproszczenie konstrukcji podwozia oraz stworzenie dużo lżejszej konstrukcji w stosunku do zastosowania podwójnego układu amortyzator podwoziowy plus tłumik rezonansu (bez dodatkowych tłumików można stosować podwozie wyłącznie sprężyste jeśli śmigłowiec ma wirnik z łopatami „sztywno” zamocowanymi w płaszczyźnie obrotów. Taki wirnik sprawia, że układ jest odporny na rezonans naziemny).

Po wykonaniu analizy funkcjonalnej przyszłej konstrukcji, przeprowadzona została analiza konstrukcyjna uwzględniająca wymagania przepisów. Nadmienić należy, że w tym przypadku można zastosować przepisy do analiz wytrzymałościowych w opisanych przez regulatora przypadkach jednak ze względu na charakterystykę obiektu nie wymaga się zastosowania tych przepisów gdyż odnoszą się one do obiektów pilotowanych i przeznaczonych do przewozu ludzi. Latające pojazdy bezpilotowe nie są w Polsce objęte

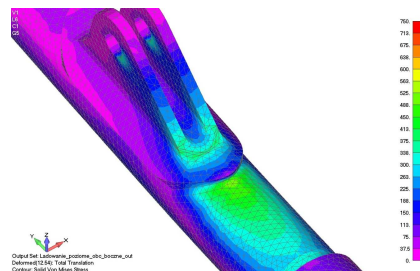
przepisami lotniczymi w zagadnieniach bezpieczeństwa. Zalecane jest jednak zastosowanie się do zapisów wymaganych przez przepisy z racji bezpieczeństwa konstrukcji oraz dlatego, że tworzone są one z myślą o wysokim współczynniku bezpieczeństwa także potrzebnym ze względu na ochronę cennego wyposażenia podwieszanego lub zamontowanego bezpośrednio na obiekcie.

Wyniki uzyskane na skutek zastosowania odpowiednich algorytmów obliczeniowych zawartych w przepisach zostały wykorzystane przy konstrukcji mechanicznej podwozia, która wspomagana jest przy użyciu metod modelowania 3D (rys. 8) oraz na bieżąco jest weryfikowana przez użycie oprogramowania typu MES (rys. 9). Dzięki dużemu doświadczeniu kadry inżynierskiej Pracowni Podwozi proces projektowy przebiegał sprawnie a ilość iteracji w fazie projektowej została zmniejszona do absolutnego minimum.



**Rys. 8.** Model CAD podwozia śmigłowca ILX-27

**Źródło:** materiały własne ILOT



**Rys. 9.** Przykładowy widok wybranego węzła konstrukcji z oprogramowania MES

**Źródło:** materiały własne ILOT

Zaprojektowane detale wykonano w zakładach mechanicznych WZL-1 gdzie dokonano wstępnej integracji zgodnie z dostarczoną przez Pracownię Podwozi dokumentacją. Ostateczna integracja układu oraz sprawdzenie poprawności montażu i działania amortyzatorów zostało przeprowadzone w Laboratorium Podwozi Lotniczych ILOT.

Podwozie zmontowane na obiekcie docelowym zostało wykorzystane przy próbach prototypu śmigłowca. Duży skok podwozia pozwolił na przetestowanie na stoisku badawczym szerokiego zakresu parametrów pracy wirnika bez konieczności podrywania obiektu z ziemi. W trakcie tych prób podwozie wykazało wysokie własności tłumienia drgań pochodzących od napędu dzięki czemu problem rezonansu nie zaistniał. Wszelkie próby naziemne zostały wykonane na stanowiskach badawczych należących do Instytutu Lotnictwa

**Tab.1.** Wybrane parametry techniczne podwozia śmigłowca ILX-27

Masa podwozia	64 [kg]
Ugięcie maksymalne	390 [mm]
Typ amortyzatora przedniego	Oleo-pneumatyczny, dwustopniowy
Masa amortyzatora przedniego	4,8 [kg]
Typ amortyzatora tylnego	Oleo-pneumatyczny, dwustopniowy
Masa amortyzatora tylnego	4,8 [kg]
Tłumik rezonansu	Zintegrowany z amortyzatorem

**Źródło:** materiały własne ILOT

Po wykonaniu wstępnych prób naziemnych obiekt został przetransportowany na poligon doświadczalny gdzie przeszedł próby lotu (rys. 10, 11). Próby te oprócz sprawdzenia konstrukcji i napędu śmigłowca miały na celu przeszkolenie operatora śmigłowca. Praca podwozia podczas starto-ładowań jest wzorcowa a sam obiekt nie zarejestrował nadmiarowych przeciążeń związanych z interakcjami podwozia z ziemią. Generowane siły w podwoziu nie powodowały nadmiernych przeciążeń konstrukcji co wykazało prawidłowość wykonanego projektu oraz prototypu. Starty i lądowania śmigłowca nie wykazywały żadnych cech niewłaściwego funkcjonowania podwozi a skuteczność tłumienia rezonansu przyziemnego eliminowała całkowicie to zjawisko.



**Rys. 10.** Śmigłowiec ILX-27 w locie testowym.

**Źródło:** materiały własne ILOT



**Rys. 11.** Śmigłowiec ILX-27 w locie testowym.

**Źródło:** materiały własne ILOT

## PODSUMOWANIE

W wyniku przeprowadzonych prac inżynierowie Pracowni Podwozi ILOT stworzyli skuteczne rozwiązanie podwoziowe mogące znaleźć zastosowanie wielu przyszłych konstrukcjach. Dzięki udanemu zaimplementowaniu tłumika rezonansu w konstrukcji amortyzatora udało się uzyskać wysokie walory użytkowe oraz zwiększyć bezpieczeństwo konstrukcji.

## SELECTED ISSUES OF ILX-27 ROTORCRAFT LANDING GEAR DESIGN

### *Abstract*

*Aircraft landing gear is one of essential functional system of the aircraft without which it would be impossible to use one. Landing gears can be in built in different forms in order to meet design assumptions. Rotorcrafts are the aircrafts requiring specific functionality from the landing gears which will be described in this article using as an example multipurpose unmanned platform ILX-27 as reference for modern design of skid type landing gear.*

## BIBLIOGRAFIA

1. Z. Wołęjsza, W. Kowalski, i inni: *State of the art in landing gear shock absorbers*. Transactions of the Institute of Aviation, No 181, Warszawa 2005
2. N. Currey: *Aircraft Landing Gear Design: Principles and Practicess* AIAA Education Series, 1989.
3. Raport 25/BZ/2011/RAP: *Optymalizacja wytrzymałościowo-masowa podwozia płozowego bezpilotowego śmigłowca ILX*. Instytut Lotnictwa, Warszawa 2011
4. Raport 58/BZ/2010/RAP: *Projekt wstępny podwozia płozowego do bezzałogowego śmigłowca – robot do zadań specjalnych*. Instytut Lotnictwa, Warszawa 2010

### *Autorzy:*

**mgr inż. Zbigniew SKORUPKA** – Instytut Lotnictwa w Warszawie  
**dr inż. Rafał KAJKA** – Instytut Lotnictwa w Warszawie  
**mgr inż. Ryszard HARLA** – Instytut Lotnictwa w Warszawie  
**mgr inż. Rafał JAKUBOWSKI** – Instytut Lotnictwa w Warszawie