

WYBRANE ZAGADNIENIA KONSTRUKCJI PODWOZIA PŁOZOWEGO PRZEZNACZONEGO DO WIROPŁATOWEJ PLATFORMY UŻYTKOWEJ ILX-27

ZBIGNIEW SKORUPKA
RAFAŁ JAKUBOWSKI

Instytut Lotnictwa

Streszczenie

Podwozia wiropłatowych statków powietrznych muszą spełnić szereg zadań stawianych przez warunki operacyjno/użytkowe przewidziane w założeniach eksploatacyjnych. Podwozie płozowe dzięki swojej odporności mechanicznej, możliwościom użytkowym oraz stosunkowo niewysokim kosztom budowy i eksploatacji, jest najbardziej rozpowszechnionym typem podwozia stosowanego w wiropłatach, w odniesieniu do równoważnych podwozi innych typów. W przypadku wiropłatów operujących w trudnych warunkach terenowych podwozie takie jest jedynym rozwiązaniem konstrukcyjnym pozwalającym na wykonanie stawianych przed nimi zadań. Podwozie płozowe pomimo pozornego nieskomplikowania, 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 pokażą 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. PODWOZIA W ŚMIGŁOWCACH

Wiropłatowy statek powietrzny lub wiropłat 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 śmigłowcach rolę skrzydła spełniają wirujące powierzchnie nośne (łopatki zamocowane na wirniku nośnym), będąc jednocześnie jego napędem generując ciąg.

Koncepcje śmigłowca pojawiły się już w dobie wczesnego renesansu włoskiego (XV wiek) w pracach Leonardo da Vinci, jednakże ich opracowanie i realizacja nastąpiły dużo później ze względu na ograniczenia ówczesnej techniki.

Pierwsze działające konstrukcje wiropłatów powstały w tym samym czasie, co samoloty klasyczne, czyli na początku XX wieku, jednak ze względu na stopień skomplikowania obiektów (szczególnie w zakresie sterowania lotem) na szersze zastosowanie musiały poczekać aż do

lat 40 XX wieku. Pierwszym seryjnie produkowanym śmigłowcem był Flettner FL 282 (rys. 1) służący do wykonywania zadań obserwacyjno-zwiadowczych. Śmigłowiec ten posiadał dwa przeciwbieżne wirniki nośne w celu zniesienia momentu reakcyjnego powodującego niekontrolowany obrót wiropłatu wokół osi wirnika nośnego. Układ z przeciwbieżnymi wirnikami nośnymi jest stosowany do dzisiaj jednak nie cieszy się on popularnością ze względu na skomplikowanie głowicy sterującej.



Rys. 1. Śmigłowiec Flettner FL 282 (fot. Internet)

W latach 40. XX wieku Igor Sikorski opracował śmigłowiec jednowirnikowy ze śmigłem ogonowym (rys. 2) równoważącym moment reakcyjny od napędzanego wirnika głównego. Umożliwiło to budowę doskonalszych konstrukcji, które w niezmienionej konfiguracji używane są do dzisiaj.



Rys. 2. Śmigłowiec Sikorskiego (fot. Internet)

Podobnie jak w samolotach, w śmigłowcach podwozie odgrywa kluczową rolę, będąc układem bezpośrednio odpowiedzialnym za najniebezpieczniejsze fazy lotu, czyli start i lądowanie. Ponadto w śmigłowcach podwozie wpływa na zmniejszenie zjawiska nazywanego rezonansem przyziemnym lub naziemnym. Rezonans przyziemny jest to niestateczność śmigłowca na ziemi spowodowana obracającym się wirnikiem nośnym. Jest to wprowadzenie do

konstrukcji drgań mechanicznych wywołanych przez wirujące łopaty, podczas gdy śmigłowiec jest w kontakcie z lądowiskiem, które działa, jako wzmacniacz drgań. Zjawisko rezonansu występuje przy określonej wartości częstotliwości drgań wymuszających, przy czym jest ona inna 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. 3).



Rys. 3. Skutki rezonansu przyziemnego śmigłowca Agusta A 109 Power należącego do LPR (fot. internet)

Najbardziej klasycznym sposobem uniknięcia zjawiska jest „przeskoczenie” drgań wywołujących rezonans przez nagłe zwiększenie prędkości obrotowej wirnika nośnego ponad tę, przy której występuje zjawisko. Aby zwiększyć odporność układu na rezonans stosuje się układy będące częścią integralną podwozia a mające za zadanie redukcję drgań przenoszonych na podłoże tak, aby nie nastąpiło nagłe ich wzmocnienie. Jednym z rozwiązań jest skonstruowanie podwozia w taki sposób, aby amortyzatory jednocześnie rozpraszały energię lądowania oraz redukowały drgania konstrukcji przekazywane na podłoże.

Najczęściej spotykane podwozia wiroplątów to kołowe (podobnie 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. Mogą one równocześnie służyć jako dodatkowa belka lub podest do użycia w trakcie misji śmigłowca (rys. 4). Podwozie płozowe jest dużo tańsze w produkcji i mniej skomplikowane w utrzymaniu niż podwozie kołowe, dzięki czemu można znacznie obniżyć koszty budowy i eksploatacji śmigłowca.

Podwozie kołowe (rys. 5) 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. 4. Żołnierze Japońskich Sił Samoobrony podczas przygotowania do desantu (fot. Internet)



Rys. 5. Śmigłowiec W-3 Sokół z widocznym podwoziem kołowym (fot. Internet)

Nowoczesne podwozia wyposaża się w struktury pochłaniające energię nadmiarową powstającą podczas lądowań awaryjnych lub w wyniku wypadku wiroplątu.

2. 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 unieść sprzęt o masie do 300 kg osiągając prędkość maksymalną 215 km/h przy zasięgu 441 km.

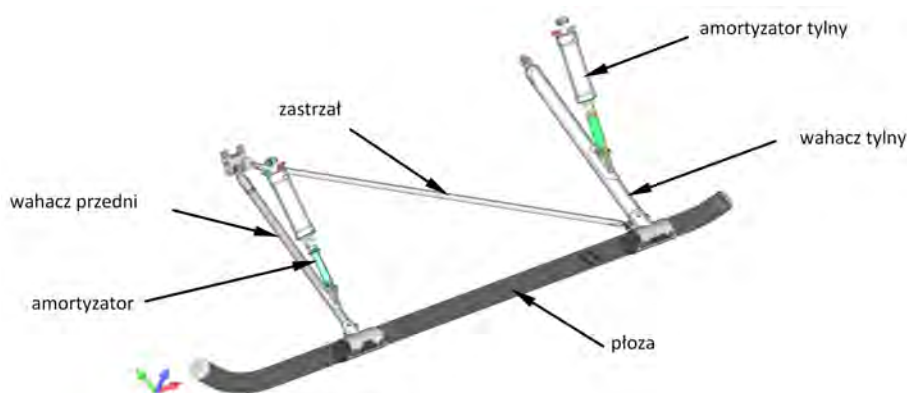


Rys. 6. Makietka śmigłowca ILX-27 na targach ILA 2012 (fot. materiały własne ILOT)

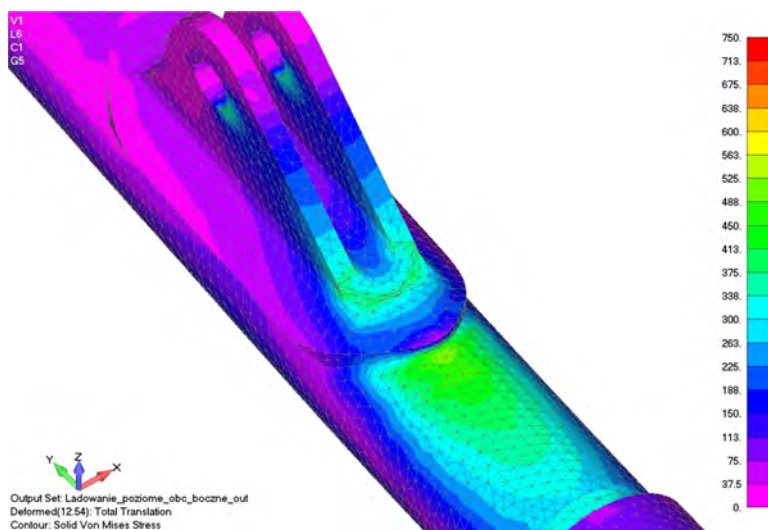
W wyniku przeprowadzonych analiz w Pracowni Podwozi ILot (w ramach projektu zespół pracowni odpowiedzialny był również za projekt, konstrukcję, badania oraz wdrożenie gotowego zestawu podwoziowego), zdecydowano się na zastosowanie podwozia płozowego. Wybrany typ podwozia zapewnia oczekiwany poziom bezpieczeństwa, jest nieskomplikowane w budowie i obsłudze, ważnej w przypadku operowania poza lotniskami posiadającymi specjalistyczny sprzęt. Niska cena jednostkowa wytworzenia podwozia również zaważyła na wyborze koncepcji projektu. Aby zapewnić maksymalny poziom bezpieczeństwa śmigłowca oraz podwieszonych zdecydowano się odejść od klasycznej konstrukcji podwozia płozowego opartego na łukach sprężystych (najczęściej w formie pałaków umieszczonych pod kadłubem śmigłowca – rys. 4.) na rzecz układu amortyzowanego przy pomocy klasycznych amortyzatorów hydraulicznych [1, 2].

W celu uniknięcia rezonansu przyziemnego zdecydowano się na konstrukcję amortyzatorów, które jednocześnie pełnią rolę tłumików drgań. Dwufunkcyjność amortyzatorów pozwoliła na uproszczenie konstrukcji podwozia oraz zmniejszenie jego masy w stosunku do podwójnego układu amortyzator plus tłumik rezonansu (bez dodatkowych tłumików można stosować podwozie wyłącznie sprężyste, jeśli śmigłowiec ma wirnik nośny z łopatom „sztywno” zamocowanymi w płaszczyźnie obrotów. Taki wirnik sprawia, że układ jest odporny na rezonans naziemny).

W kolejnym etapie projektowym przeprowadzona została analiza konstrukcyjna uwzględniająca zapisy zawarte w odpowiednich przepisach i do wymagań odnoszących się do obiektów pilotowanych i przeznaczonych do przewozu ludzi. W przypadku bezpilotowych statków powietrznych nie ma w Polsce wymogu stosowania się do przepisów lotniczych. Tworzone są one z myślą o wysokim współczynniku bezpieczeństwa konstrukcji lotniczych (ze względu na ochronę ludzi przebywających na pokładzie). Z tego powodu zalecane jest zastosowanie się do przepisów ze względu na ochronę cennego wyposażenia podwieszanego lub zamontowanego bezpośrednio na obiekcie. Wyniki uzyskane po zastosowaniu algorytmów obliczeniowych zawartych w przepisach zostały wykorzystane przy konstrukcji mechanicznej podwozia. Poprzez algorytm rozumiane jest zastosowanie zaleceń zawartych w przepisach CS-27 [5]. Dla projektowanego podwozia zostały na podstawie przepisów CS-27 określone przypadki obciążeń, które następnie zostały sprawdzone w wirtualnym modelu przy zastosowaniu oprogramowania MES [3] (rys. 8). Przeprowadzono optymalizację wybranych elementów podwozia tak, aby dla obciążeń dopuszczalnych wynikających z przepisów lotniczych naprężenia w konstrukcji nie przekroczyły wartości $\sigma = R_m/1,5$. Proces projektowania podwozia wspomagany jest przy użyciu metod modelowania 3D (rys. 7). Ogólną konfigurację podwozia przedstawiono na rysunku 7.



Rys. 7. Model CAD podwozia śmigłowca ILX-27 (fot. materiały własne ILot)



Rys. 8. Przykładowy widok wybranego węzła konstrukcji z oprogramowania MES (fot. materiały własne ILot)

Podwozie (rys. 7.) składa się z płóz wykonanych z rur stalowych zakończonych laminatowymi nakładkami. Amortyzacja całości opiera się na czterech amortyzatorach, po dwa dla każdej płozy. Wszystkie zastosowane amortyzatory wyposażone są w funkcję tłumienia rezonansu przyziemnego. Dla zapewnienia właściwej sztywności i przeniesienia zakładanych sił i momentów zdecydowano się na użycie układu wahaczowego ze skośnym zastrzałem [4].

Zaprojektowane detale wykonano w zakładach mechanicznych WZL-1, następnie wykonana została wstępna integracja według dokumentacji przygotowanej przez Pracownię Podwozi. 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 nośnego 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.

Obliczenia podwozi oraz amortyzatorów weryfikowane są podczas prób laboratoryjnych oraz badań lotniskowych obiektów dla warunków zawartych w przepisach CS-27 w zakresie określonym przez zamawiającego badania.

W ramach badań laboratoryjnych w Laboratorium Podwozi ILot przeprowadzono próby statyczne oraz dynamiczne (zrzuty) wyizolowanych amortyzatorów w celu potwierdzenia skuteczności rozpraszania energii lądowania.

Zmontowane podwozie zostało poddane badaniom rezonansowym, które potwierdziły skuteczność tłumienia drgań przez dwufunkcyjne amortyzatory podwoziowe (rys. 10.)



Rys. 9. Śmigłowiec ILX-27 w trakcie badań rezonansowych (fot. materiały własne ILOT)

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 przeszedł próby lotu (rys. 10) na poligonie doświadczalnym. Próby te niezbędne były do przeszkolenia operatora śmigłowca a także sprawdzenia konstrukcji i napędu śmigłowca. Praca podwozia podczas starto-ładowań była zgodna z założeniami teoretycznymi i wynikami badań laboratoryjnych a sam obiekt nie zarejestrował nadmiarowych przeciążeń przy interakcjach podwozia z ziemią. Siły generowane w podwoziu nie powodowały nadmiernych przeciążeń konstrukcji. Starty i lądowania śmigłowca nie wykazywały żadnych cech niewłaściwego funkcjonowania podwozia a skuteczność tłumienia rezonansu przyziemnego eliminowała całkowicie to zjawisko, co było zgodne z wykonanymi badaniami.

Rys. 10. Śmigłowiec ILX-27 w locie testowym (fot. materiały własne ILot)



3. 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 przy jednoczesnym zapewnieniu niskiej masy układu. Innowacyjne rozwiązanie amortyzatoro-tłumika pozwoli wpłynąć na kształt i funkcjonalność przyszłych konstrukcji podwozi do śmigłowców projektowanych i badanych w Pracowni i Laboratorium Podwozi Lotniczych ILot.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Wołęjsza Z., Kowalski W. i in. (2005). *State of the art in landing gear shock absorbers*. Transactions of the Institute of Aviation, No 181, Warszawa 2005.
- [2] Currey N. (1989). *Aircraft Landing Gear Design: Principles and Practicess*. AIAA Education Series, 1989.
- [3] Raport 25/BZ/2011/RAP (2011). *Optymalizacja wytrzymałościowo-masowa podwozia płozowego bezpilotowego śmigłowca ILX*. Instytut Lotnictwa, Warszawa 2011.
- [4] Raport 58/BZ/2010/RAP (2010). *Projekt wstępny podwozia płozowego do bezzałogowego śmigłowca – robot do zadań specjalnych*. Instytut Lotnictwa, Warszawa 2010.
- [5] Certification Specifications for Small Rotorcraft, CS-27, European Aviation Safety Agency (EASA)

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. Helicopters are the aircrafts requiring specific functionality from the landing gears what requires different design approach. Skid landing gear used for described project was designed and optimized in order to withstand difficult operation conditions expected for unmanned helicopter. In this article there is a number of the design issues described using as an example ILX-27 UAV as reference for modern design of skid type landing gear.