

Badanie wytrzymałości popychacza układu sterowania wirnika głównego śmigłowca

Stanisław Baryła

Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Chełmie



Ryc. 1. Głowica śmigłowca Mi-2

Fot. S. Baryła



Ryc. 2. Głowica śmigłowca Robinson R44

Fot. S. Baryła

Streszczenie

Artykuł dotyczy stanowiskowych badań wytrzymałości na rozciąganie popychacza w układzie sterowania wirnika głównego śmigłowca Robinson R44. Opisano typowe rozwiązania sterowania wirnika głównego śmigłowców. Przygotowano i przeprowadzono badania własne, polegające na próbie rozciągania czterech popychaczy układu sterowania śmigłowca R44 na maszynie wytrzymałościowej. Uzyskano wyniki w formie zależności siła – odkształcenie. Stwierdzono, że wytrzymałość na rozciąganie badanych popychaczy jest ponad 4-krotnie wyższa od obciążenia równoważnego ciężarowi śmigłowca w locie. Artykuł powstał na podstawie pracy magisterskiej autora, zatytułowanej „Wytrzymałość popychacza wirnika głównego śmigłowca Robinson R44”, obronionej w Państwowej Akademii Nauk Stosowanych w Chełmie w czerwcu 2024 r.

Słowa kluczowe: śmigłowiec, głowica wirnika, popychacz, próba rozciągania

Wprowadzenie

W śmigłowcach siła nośna wytwarzana jest poprzez jeden lub więcej wirników, zbudowanych z osadzonych w głowicy łopatek, które obracają się wokół osi pionowej. Obrót łopatek posiadających profil aerodynamiczny skutkuje powstaniem nierównoważonej siły aerodynamicznej, która unosi śmigłowca [3].

Powstające wskutek ruchu obrotowego łopatek wirnika momenty sił skutkują tym, że śmigłowca jest niestacynny statycznie oraz dynamicznie w każdej fazie lotu. Oznacza to konieczność ciągłego sterowania, ponieważ każdy czynnik

zaburzający położenie równowagi pozostawiony bez reakcji pilota skutkowałby niemożnością kontynuowania lotu ze względu na niewłaściwe położenie statku powietrznego [3].

Zmiana położenia śmigłowca realizowana jest poprzez sterowanie wirnikiem głównym oraz wirnikiem ogonowym. W typowym układzie konstrukcyjnym śmigłowca posiada jeden wirnik główny oraz dodatkowo śmigło ogonowe. Śmigło ogonowe odpowiedzialne jest za przeciwdziałanie obrotowi maszyny wokół osi pionowej wskutek reakcji na moment obrotowy wirnika nośnego, ponadto umożliwia obrót śmigłowca wokół osi pionowej. Wirnik główny odpowiada za obrót wokół osi podłużnej oraz poprzecznej, jak również ruch wzdłuż osi pionowej.

Manewry przechylania, pochylania oraz odchylenia realizowane są za pomocą trzech sterownic wykorzystywanych jednocześnie przez pilota. Pierwszą z nich jest drążek skoku ogólnego i mocy (ang. *collective*). Ruch tą dźwignią powoduje zmianę kątów natarcia wszystkich łopatek w sposób kolektywny, czyli o tę samą wartość. W przypadku ruchu dźwigni do góry następuje zwiększenie kątów natarcia wszystkich łopatek, a ruch do dołu daje odwrotny efekt. Należy pamiętać, że prędkość obrotowa wirnika musi być stała ze względu na ryzyko utraty siły nośnej w wyniku przeciągnięcia. Podczas zwiększania kątów natarcia łopatek, naturalnym jest występowanie większego oporu aerodynamicznego, a co za tym idzie, zwiększa się zapotrzebowanie na moc. Przy użyciu jednej sterownicy, wykonując jeden ruch, pilot steruje zarówno skokiem ogólnym wirnika głównego oraz mocą silnika, która ulega zwiększeniu wraz ze zwiększaniem skoku. Sterowanie tego typu w zawisie skutkuje ruchem pionowym, wzdłuż osi pionowej śmigłowca, ponieważ łopaty wirnika pracujące przy zwiększonych kątach natarcia wytwarzają większą siłę

nośną, czyli generują większy ciąg, co w efekcie powoduje wznoszenie śmigłowca [2].

Na skutek ruchu obrotowego wirnika występuje reakcja, siła odchylająca. Rozważmy śmigłowiec wyposażony w wirnik lewoobrotowy. Obracające się łopaty w lewą stronę będą powodować powstawanie reakcji w postaci odchylania kadłuba w prawo. Aby zapobiec temu, jak również aby móc w pełni sterować śmigłowcem w każdej fazie lotu, klasyczny układ śmigłowca zawiera wirnik ogonowy. Wytwarza on ciąg zapobiegający odchylaniu kadłuba oraz umożliwiający sterowanie kierunkowe, czyli obrót wokół osi pionowej. Sterowanie kierunkowe realizowane jest za pomocą pedałów.

Trzecią sterownicą jest drążek skoku okresowego (ang. *cyclic*). Ruch drążka skoku okresowego powoduje różnicowe zmiany kątów natarcia łopat, co jest konieczne, aby odpowiednio pochylić tarczę wirnika w celu uzyskania składowej poziomej siły ciągu, która będzie powodować ruch śmigłowca w płaszczyźnie poziomej. Dla przykładu rozważmy lot na wprost dla śmigłowca z wirnikiem dwułopatowym, lewoobrotowym. Aby przemieszczać się do przodu, należy doprowadzić do pochylenia wirnika również do przodu. Możliwe jest to poprzez zmniejszenie siły nośnej na łopacie będącej z przodu śmigłowca, przed kabiną oraz zwiększenie siły nośnej na łopacie będącej z tyłu, nad belką ogonową. Siła nośna na łopatach wirnika regulowana jest poprzez zmiany kątów natarcia, które w tym przypadku będą ulegać zmniejszeniu oraz zwiększeniu, w zależności od pozycji łopaty. Należy pamiętać, że wirnik obraca się, dla-



Ryc. 3. Głowica śmigłowca Bell 206

Fot. S. Baryła

tego zmiana kąta natarcia musi nastąpić z wyprzedzeniem o określony kąt (na tarczy wirnika) zwany kątem wyprzedzenia, który w śmigłowcach z wirnikiem dwułopatowym jest równy w przybliżeniu wartości 90° . W ten sposób pilot, pchając drążek od siebie, inicjuje impuls, który skutkuje zwiększeniem kąta natarcia na łopacie będącej z jego lewej strony oraz zmniejszeniem na łopacie po jego prawej stronie (dla wirnika dwułopatowego, lewoobrotowego) [6].

W przypadku dźwigni skoku ogólnego i mocy oraz drążka skoku okresowego, elementem wykonawczym zmieniającym kąt natarcia łopaty są popychacze, które łączą wspomnianą łopatę z tarczą sterującą.

Konstrukcja głowicy wirnika nośnego śmigłowca

W konstrukcji śmigłowców wyróżnia się trzy rodzaje głowic wirnika nośnego:

- głowica wahliwa;
- głowica przegubowa;
- głowica bezprzegubowa.

Głowice te różnią się między sobą układem konstrukcyjnym, co zauważalne jest w miejscach łączenia nasady łopaty z głowicą/piastą. Niemniej jednak, każda głowica wykorzystuje tarczę sterującą oraz popychacze łączące ten element z łopatami. Najczęściej stosowanymi materiałami konstrukcyjnymi popychaczy są stopy aluminium, tytanu oraz magnezu. Przykładem zastosowania popychaczy wirnika głównego wykonanych ze stopu magnezu jest głowica przegubowa śmigłowca Mi-2 przedstawiona na rycinie 1.

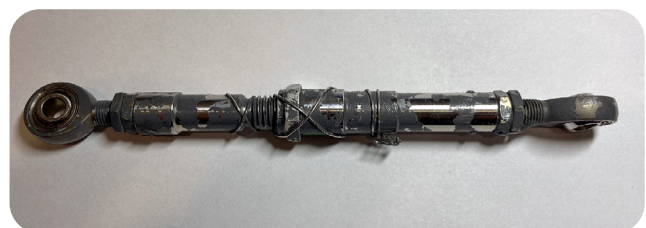
Kolejna rycina (ryc. 2) przedstawia głowicę wahliwą śmigłowca Robinson R44. Wyraźnie widać popychacz innej budowy w stosunku do tego, który jest zamontowany w śmigłowcu Mi-2, głównie ze względu na możliwość regulacji długości w różnych punktach. Popychacz śmigłowca R44 wykonany jest ze stopu aluminium.

Przykładem znacznie prostszego rozwiązania jest głowica śmigłowca Bell 206, w której zastosowano nieskomplikowany popychacz regulowany jedynie na końcach (ryc. 3).

Badania stanowiskowe popychacza śmigłowca R44

Przedmiot badań

Przedmiotem badań był popychacz układu sterowania śmigłowca Robinson R44 (ryc. 4). Element ten jest zabudowany w głowicy, łącząc tarczę sterującą z łopatą wir-



Ryc. 4. Przedmiot badań, popychacz wirnika głównego śmigłowca Robinson R44

Fot. S. Baryła



Ryc. 5. Uchwyty mocujące wraz z zamontowanym popychaczem do prób
Fot. S. Baryła



Ryc. 6. Schemat stanowiska: 1. Maszyna wytrzymałościowa, 2. Szczęki mocujące, 3. Uchwyty, 4. Śruba mocująca, 5. Popychacz
Źródło: opracowanie własne S. Baryła

nika, umożliwiając pilotowi sterowanie ogólne oraz okresowe.

W ramach badań niszczących przeprowadzono próby jednoosiowego rozciągania przedmiotowego popychacza. Badania miały na celu wyznaczenie sił działających w warunkach jednoosiowego rozciągania oraz odkształcenia popychacza, a także identyfikację newralgicznych punktów, w których występują pęknięcia [4, 5].

Stanowisko pomiarowo-badawcze

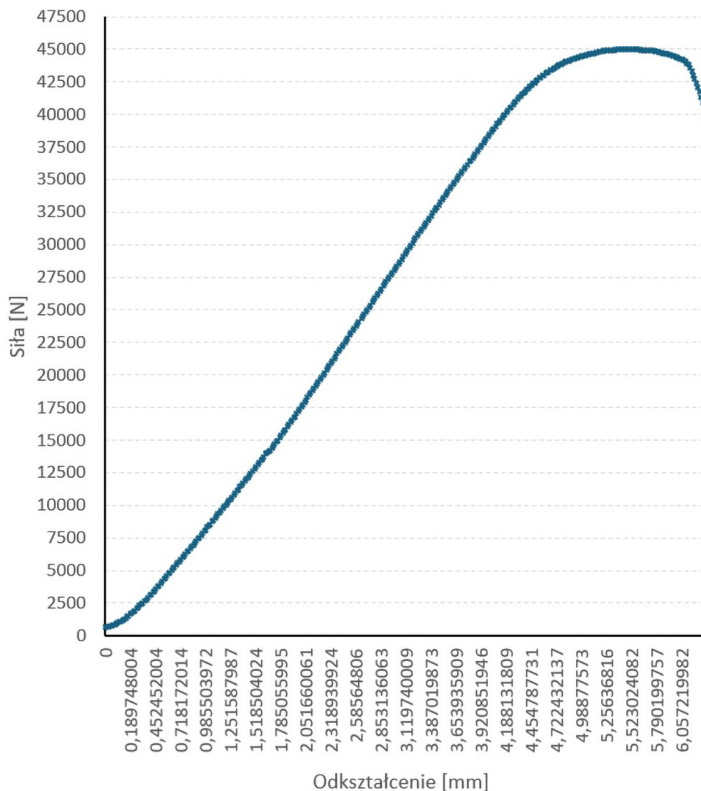
Do prób rozciągania wykorzystano maszynę wytrzymałościową Hung Ta Instrument Co., Ltd. HT-2402s. Jest to uniwersalne urządzenie umożliwiające przeprowadzanie prób statycznego rozciągania i ściskania, z maksymalnym obciążeniem wynoszącym 100 kN.

Ze względu na budowę popychacza nie było możliwości zamontowania elementu bezpośrednio w szczękach maszyny wytrzymałościowej. Rozwiązaniem tego problemu było wykonanie uchwytów mocujących, które umożliwiły montaż popychacza w szczękach maszyny. Uchwyty zaprojektowano i wykonano z płaskownika 40 × 12, z którego wycięto elementy uchwytu, które następnie zespawano. Gotowe uchwyty pokazano na rycinie 5, natomiast rycina 6 przedstawia schemat stanowiska pomiarowo-badawczego.

Do testów użyto łącznie 5 popychaczy. Wszystkie były poddawane jednakowym obciążeniom, podczas których rejestrowano siłę i wydłużenie. Wyjątek stanowi popychacz nr 1, dla którego wykonano cztery próby ze względu na konieczność dobrania śrub mocujących. W trakcie prób możliwe było kontrolowanie tempa obciążania oraz monitorowanie wszelkich nieprawidłowości w zachowaniu badanego elementu. Standardowe warunki testowe gwarantowały jednolite i porównywalne wyniki, co jest istotne przy ocenie jakości oraz właściwości badanego przedmiotu [1]. Parametrem, jaki został ustalony przed rozpoczęciem prób, była prędkość rozciągania popychacza, która wynosiła 10 mm/min.

Wyniki

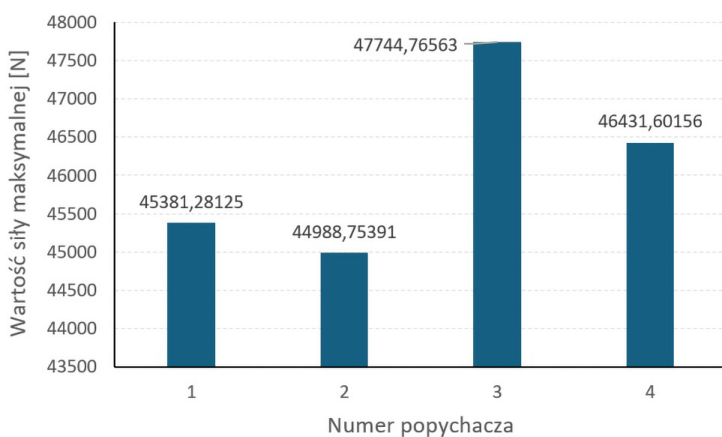
W wyniku przeprowadzonych prób wszystkie cztery popychacze poddano próbom jednoosiowego rozciągania aż do momentu zniszczenia. W każdym przypadku uszkodzenie badanego elementu nastąpiło w tym samym miejscu, czyli na jednym z końców, gdzie zamontowana jest tuleja. Miejsce to uległo rozciągnięciu aż do momentu pęknięcia materiału. Co warto podkreślić, tylko ta część popychacza uległa wydłużeniu, natomiast w pozostałych obszarach nie stwierdzono zauważalnych uszkodzeń, bądź też samego wydłużenia. Przykładowy wykres siła – odkształcenie dla popychacza nr 4 przedstawiono na rycinie 7.



Ryc. 7. Wykres siła – odkształcenie dla próby rozciągania popychacza nr 4
Źródło: opracowanie własne S. Baryły



Ryc. 8. Popychacz po próbie jednoosiowego rozciągania.
Fot. S. Baryły



Badania miały na celu zobrazować wytrzymałość danej części układu sterowania. Średnia siła maksymalna, przy której nastąpiło przerwanie ciągłości materiału, wyniosła 46388,37 N (46136,60 N z uwzględnieniem badania popychacza nr 1). Siła ta odpowiada ciężarowi, jaki wywarłaby masa 4728,68 kg, co przekracza czterokrotność maksymalnej masy startowej śmigłowca Robinson R44 (maksymalna masa do startu – 1134 kg). Zestawienie sił maksymalnych odnotowanych w trakcie każdej próby przedstawiono na wykresie (ryc. 9).

Podsumowanie

Zarówno wykonanie stanowiska badawczego, jak i przebieg prób okazały się pomyślne w celu uzyskania informacji na temat siły powodującej zniszczenie popychacza. Uzyskane wartości można porównać z ciężarem śmigłowca, czyli tą samą siłą ciągu wirnika potrzebną do utrzymania maszyny w zawisie, ponieważ siła ciągu/ siła nośna powinna równoważyć siłę ciężkości maszyny. Siła powodująca zniszczenie popychacza była czterokrotnie większa niż ciężar śmigłowca. W rzeczywistości siła nośna wytwarzana przez wirnik główny nie jest przyłożona do tego elementu, a oddziałuje na niego pośrednio z mniejszą wartością. Ponadto konstrukcja badanego elementu zapewniła jego trwałość, czego potwierdzeniem jest wąski obszar uszkodzeń. Co warto nadmienić, odnotowano powtarzalność uzyskanych wyników, w szczególności zaobserwowano niemal identyczne uszkodzenia wszystkich badanych popychaczy. W żadnej z prób nie zaobserwowano uszkodzeń w innych obszarach.

Bibliografia

- [1] Blicharski, M. (2003). Wstęp do inżynierii materiałowej. WNT.
- [2] Croucher, P. (2011). Professional Helicopter Pilot Studies JAA Version. Electrocution Technical Publishers.
- [3] Domański, J. (1974). 1000 słów o samolocie i lotnictwie. Wydawnictwo MON.
- [4] Gawęcki, A. (1985). Podstawy mechaniki konstrukcji prętowych. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej.
- [5] Piechnik, S. (1980). Wytrzymałość materiałów. PWN.
- [6] R44 Pilot's operating handbook and FAA approved rotorcraft flight manual RTR 461, Robinson Helicopter Company, Torrance, California, USA.

Ryc. 9. Wykres słupkowy przedstawiający siłę maksymalną dla każdego popychacza w próbach rozciągania

Źródło: opracowanie własne S. Baryły