

WERYFIKACJA ROZWIĄZAŃ PREROTACJI WIRNIKA WIATRAKOWCA

MIROSŁAW DELEGA*, WIESŁAW KRZYMIEN**

*Centrum Nowych Technologii, Zakład Konstrukcji Lotniczych, Instytut Lotnictwa,
al. Krakowska 110/114, 02-256 Warszawa, Polska, delega@ilot.edu.pl

**Centrum Nowych Technologii, Zakład Kompozytów, Instytut Lotnictwa,
al. Krakowska 110/114, 02-256 Warszawa, Polska, wkrz@ilot.edu.pl

Streszczenie

Wstępne rozpędzanie wirnika wiatrakowca od zerowej prędkości kątowej do prędkości umożliwiającej start, nazywane prerotacją, może być realizowane na różne sposoby. Moc wykorzystana do prerotacji wirnika, a także wartość uzyskanej prędkości kątowej łopat mają zasadniczy wpływ na czas i długość drogi startu wiatrakowca.

W pracy przedstawiono przegląd rozwiązań konstrukcyjnych układów napędowych wirników wiatrakowców i analizę ich działania. Przedstawiono również doświadczenia w zakresie rozpędzania (prerotacji) wirnika zdobyte w trakcie prób wiatrakowca I-28 skonstruowanego i przebadanego w Instytucie Lotnictwa.

Słowa kluczowe: wiatrakowiec, prerotacja, badania funkcjonalne.

WPROWADZENIE

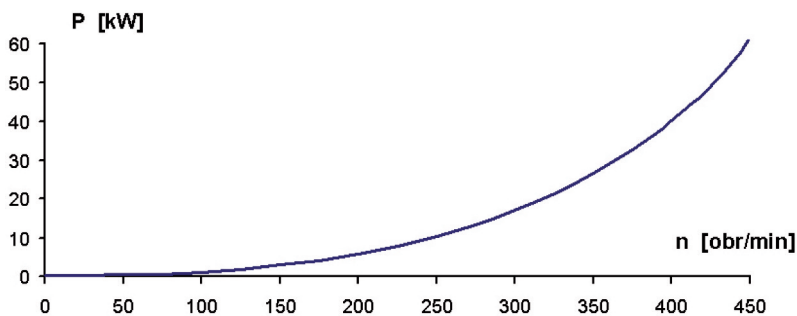
Prerotacja wirnika nośnego wiatrakowca może być realizowana w rozmaity sposób. Zarówno czas wstępnego rozkręcenia wirnika jak i osiągnięta prędkość obrotowa mają zasadniczy wpływ na czas i długość drogi startu wiatrakowca [4]. W ramach realizowanego projektu rozważano i przeanalizowano kilka rodzajów rozwiązań prerotacji z czego trzy zostały praktycznie przebadane na demonstratorze – wiatrakowcu I-28.

Najprostszym sposobem prerotacji wirnika nośnego wiatrakowca jest stosowane w konstrukcjach amatorskich ręczne wstępne rozkręcenie. Bezpieczne rozkręcenie wirnika pozwala osiągnąć prędkość obrotową ok. 4-10 obr/min. Prędkość ta wymaga długiej drogi startu wiatrakowca, podczas której wirnik musi być ustawiony na dużym kącie natarcia, by osiągnąć parametry odpowiadające warunkom startu. Inne efektywniejsze sposoby prerotacji to:

- poprzez wałek giętki,
- silnikiem hydraulicznym lub pneumatycznym,
- silnikiem elektrycznym,
- napędem reakcyjnym,
- poprzez sztywny wał.

Optymalną wielkością prędkości obrotowej prerotacji wirnika wiatrakowca jest osiągnięcie ok. 40-60% obrotów nominalnych, co oznacza rozkręcenie wirnika od 0 obr/min do ok. 150-200 obr/min.

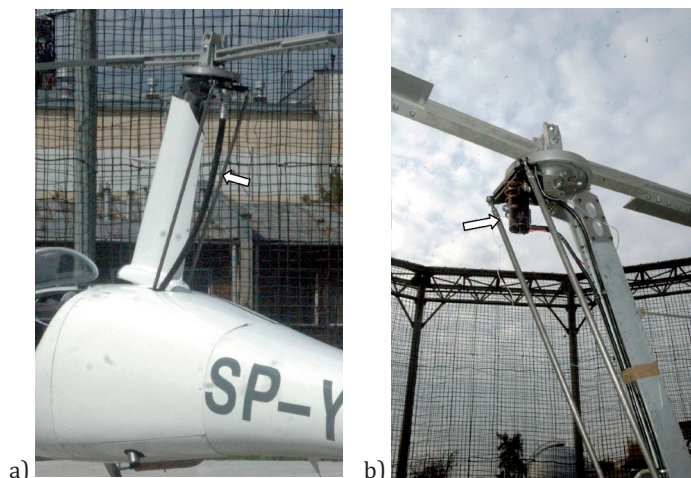
Od układu prerotacji wymaga się przeniesienia na wirnik odpowiedniej mocy w zależności od osiąganych obrotów. Wielkość mocy niezbędnej do utrzymania określonej prędkości obrotowej wirnika (czyli mocy oporu aerodynamicznego łopat) wiatrakowca I-28 ilustruje wykres na rys. 1. Wiatrakowiec posiada wirnik dwułopatowy o średnicy 9,4 m. Rzeczywista moc napędu prerotacji musi być odpowiednio większa, by czas do osiągnięcia niezbędnych prędkości obrotowej nie był za długi.



Rys. 1. Zależność oszacowanej mocy niezbędnej dla utrzymania określonej prędkości obrotów wirnika wiatrakowca I-28 od wielkości częstotliwości obrotów [W. Krzymień 2013]

UKŁAD PREROTACJI POPRZEZ WAŁEK GIĘTKI

Typowym rozwiązaniem konstrukcyjnym prerotacji wirnika nośnego wiatrakowca jest układ składający się ze sprzęgła ciernego, wałka giętkiego oraz sprzęgła jednokierunkowego. Sprzęgłem ciernym jest zwykle przekładnia pasowa lub rolkowa o regulowanym nacisku (moc napędu jest regulowana siłą tarcia) oraz wałek giętki przenoszący odpowiednią moc do napędu wirnika. Wirnik napędzany jest z wałka giętkiego poprzez bendiks (sprzęgło jednokierunkowe) i zazębienie stanowiące przekładnię redukującą obroty. Cechą charakterystyczną takiego rozwiązania jest to, że wałek giętki przenosi moment napędowy przy dowolnym ustawieniu osi wirnika wiatrakowca. Rozwiązanie takie stosowane jest w wielu konstrukcjach, także amatorskich o niewielkiej średnicy wirnika, jak np. Xenon, MTOsport czy SparrowHawk.



Rys. 2. Układ prerotacji na wiatrakowcu I-28: a) wałkiem giętkim (poprowadzonym wzdłuż układu sterowania), b) elektryczny [W. Krzymień 2013]

Zaletą jest prostota konstrukcja i duży zakres osiąganych obrotów wirnika, wadą jest mała moc przenoszona przez układ oraz szybkie zużywanie się pasów albo rolek ciernych.

Układ napędowy z wałkiem giętkim oraz z rolką cierną został pierwotnie zastosowany w wiatrakowcu I-28 (rys. 2a) jednak szybkie ścieranie się rolki oraz duże drgania skrętne wałka wzbudzające drgania masztu wymusiły potrzebę szukania innego rozwiązania.

UKŁAD PREROTACJI Z SILNIKIEM PNEUMATYCZNYM LUB HYDRAULICZNYM

Ten rodzaj realizacji prerotacji był stosowany w kilku konstrukcjach wiatrakowców (np. Darokopter2 czy AM-Cruiser), jednak jego realizacja wymaga dodatkowej instalacji hydraulicznej lub pneumatycznej.

Instalacje te powinny być napędzane silnikiem głównym i wymagają sprężarki lub pompy z chłodnicą czynnika, instalacji hydraulicznej lub pneumatycznej (przewody, zawory redukcyjne, zawory bezpieczeństwa, filtr), zbiornika wyrównawczego oraz układu sterowania. Silniki pneumatyczne lub hydrauliczne odznaczają się małymi gabarytami i małą masą lecz masa pozostałych części układów jest duża. Przeniesienie napędu na wirnik jest zwykle podobne: bendiks i przekładnia zębata przy głowicy wirnika.

Niewątpliwą zaletą tego rodzaju napędu jest jego duża elastyczność, pozwalająca łagodnie rozkręcić wirnik i uzyskać wysokie obroty wirnika: ok. 250 obr/min w czasie ok. 1,5 min. Wstępna analiza masy elementów instalacji (oszacowano na ponad 30 kg) oraz problemy z ich dobozem i zabudową na wiatrakowcu spowodowały, że zrezygnowano z realizacji tego rodzaju prerotacji wirnika.

UKŁAD PREROTACJI Z SILNIKIEM ELEKTRYCZNYM

Rozwiązanie to jest popularne i proste w montażu oraz użyciu, bowiem korzysta z instalacji elektrycznej wiatrakowca. Silnikiem jest zwykle rozrusznik samochodowy – podzespół praktycznie gotowy do użycia. Elementem sprzęgającym jest bendiks stanowiący integralną część typowego rozrusznika.

Zastosowany w wiatrakowcu I-28 rozrusznik ma moc ok. 1,7 kW (rys. 2b).

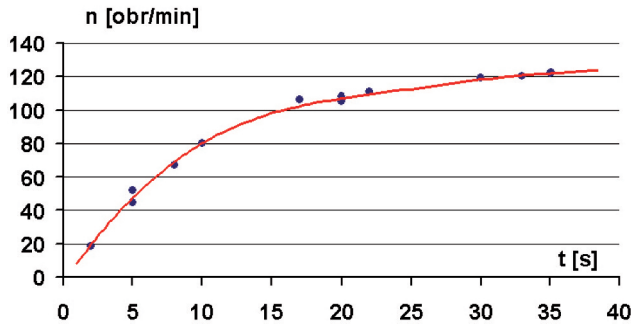
Masa wszystkich urządzeń i instalacji dla układów prerotacji z silnikiem elektrycznym oraz poprzez wałek giętki i sprzęgło cierne jest porównywalna. W przypadku wiatrakowca I-28 zastosowanie takiego układu prerotacji spowodowało niewielki spadek masy (o ok. 0,3 kg) ze względu na duży ciężar wałka giętkiego.

Wielokrotne próby i pomiary prerotacji wirnika silnikiem elektrycznym wykazały:

- potrzebę zastosowania zabezpieczenia przed przeciążeniem alternatora,
- nieprzeciążania rozrusznika zbyt długim czasem prerotacji,
- ograniczenie prędkości obrotowej wirnika wynikające z przekładni i obrotów rozrusznika odpowiadającym jego maksymalnej mocy.

Za typową uznano procedurę prerotacji polegającą na cyklicznym załączaniu rozrusznika na ok. 5 s oraz 3-5 s przerwy na schłodzenie jego szczotek. Prędkość obrotową wirnika ok. 120 obr/min uzyskiwano w ciągu 30-40 s (rys. 3). Osiągnięcie większej prędkości obrotowej wymagałoby zastosowania mocniejszego, ale i cięższego rozrusznika, co dodatkowo przesunęło środek ciężkości wiatrakowca do góry i obniżyło częstotliwość zginania masztu (możliwość wystąpienia drgań rezonansowych).

Sprawdzono praktycznie, że bendiks nie zajął się przy obrotach wirnika większych jak osiągnięte podczas prerotacji – oznacza to spełnienie warunku wymagań przepisów [1], by system prerotacji nie oddziaływał na pracę wirnika, szczególnie podczas lotu.



Rys. 3. Zmiana w czasie częstości obrotów wirnika wiatrakowca napędzanego rozrusznikiem samochodowym [W. Krzymień 2013]

PREROTACJA WIRNIKA NAPĘDEM REAKCYJNYM

Ten rodzaj prerotacji był rozważany na wstępnym etapie konstruowania wiatrakowca i został przedstawiony w [2] także pod kątem podwyższenia bezpieczeństwa lotu wiatrakowca oraz maksymalnego skrócenia drogi startu, w tym także do realizacji tzw. "jump-startu".

Rozwiązanie to wymaga:

- głowicy wirnika o konstrukcji umożliwiającej przeprowadzenie sprężonego gazu (powietrza) do łopat,
- specjalnych łopat posiadających kanał oraz zakończonych dyszami,
- zabudowy (podobnie jak przy prerotacji z silnikiem pneumatycznym) wysokowydajnej pompy (turbiny),
- instalacji pneumatycznej,
- realizacji napędu pompy/turbiny mocą ok. 20-30 kW.

Rozwiązanie to było zastosowane jako napęd kilku śmigłowców, (np. Do132, Doblhoff WNF 342 czy Dragonfly DF-1), jednak nie zyskało dotychczas popularności.

Ten rodzaj prerotacji wirnika wiatrakowca umożliwia także wykonanie tzw "jump-startu" czyli startu „z miejsca” (bez rozbiegu). Polega on na: rozkręceniu wirnika do prędkości obrotowej większej niż potrzebnej do zawisu (przy małym kącie skoku ogólnego wirnika), odłączenie napędu i szybkie zwiększenie skoku ogólnego wirnika powodując pionowe wzniesienie się wiatrakowca do bezpiecznej wysokości a następnie przejście do lotu w autorotacji po rozpędzeniu się powyżej prędkości minimalnej.

Można spodziewać się wzrostu zainteresowania tego rodzaju układem wraz z dalszym rozwojem techniki wiatrakowcowej opartej na doświadczeniach śmigłowcowych oraz popularyzacją wiatrakowców jako środka transportu bezpieczniejszego od śmigłowców.

UKŁAD PREROTACJI POPRZEZ WAŁ

Drogę startu można istotnie skrócić rozkręcając wirnik wiatrakowca do prędkości powyżej 70% obrotów nominalnych, jednak wymaga to przeniesienia na wirnik nośny istotnie większej mocy (w przypadku wiatrakowca I-28 ok. 10-15 kW).

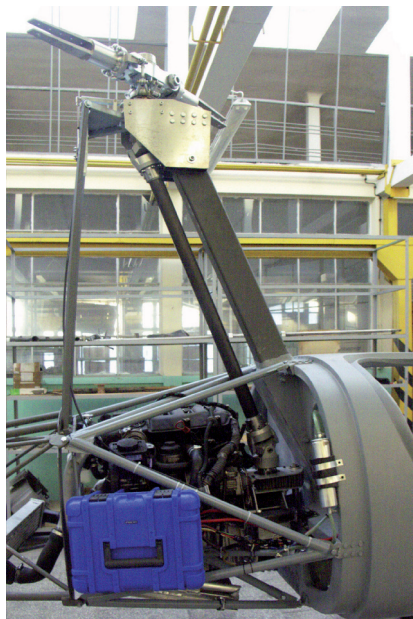
Zaprojektowane rozwiązanie miało umożliwić uzyskanie nawet 100% obrotów wirnika odpowiadającym minimalnej prędkości lotu - przy tych obrotach wiatrakowiec jeszcze się nie podniesie (jak śmigłowiec) a długość drogi startowej będzie taka, jaka jest potrzebna do rozpędzenia wiatrakowca do prędkości minimalnej względem wiatru (w przypadku I-28 to ok. 57 km/h a droga startu to mniej jak 30 m). Należy nadmienić, iż zgodnie z obowiązującymi przepisami lotniczymi dotyczącymi wiatrakowców z typowymi rozwiązaniami konstrukcyjnymi

prerotacja nie może mieć miejsca podczas lotu, jak również nie może następować zmiana skoku wirnika podczas lotu (np. [1]). Taki rodzaj startu wymaga w przypadku wirnika wiatrakowca I-28 przeniesienia mocy ok. 25-30 kW.

Układ przeniesienia napędu składa się z następujących elementów:

- specjalnie zaprojektowanej przekładni zębatej (kątowej) ze sprzęgłem ciernym i kłowym,
- wyprowadzeniem na wał przez przegub Cardana,
- wprowadzenie napędu poprzez drugi przegub Cardana na sprzęgło jednokierunkowe, zabudowane na specjalnie zaprojektowanej głowicy wirnika nośnego [3].

Układ ten ilustruje rys. 4.



Rys. 4. Układ prerotacji wirnika ze sztywnym wałem zamontowany na demonstratorze wiatrakowca I-28 wariant A [W. Krzymień 2013]

Zasprzęglenie napędu prerotacji jest dwustopniowe, realizowane dźwignią poprzez linkę Bowdena: wstępne rozkręcenie wirnika poprzez sprzęgło cierne a następnie, po zasprzęgleniu stałym (kłowym), dalsze jego rozkręcenie. Obroty wirnika wiatrakowca rzędu 100 obr/min osiągnęto w ok. 1-1,5 min a rozkręcenie do ok. 300 obr/min po następnej 1 min. Po próbach nie stwierdzono nadmiernego zużycia sprzęgła ciernego.

WNIOSKI

Przedstawione w pracy rozważania wskazują na istotne znaczenie sposobu działania i budowy układu napędowego wstępnego rozpędzania wirnika nośnego na bezpieczeństwo użytkownika i ekonomikę eksploatacji wiatrakowców oraz jego walory użytkowe.

Na etapie konstruowania wiatrakowca decyzję o zastosowaniu określonego rodzaju napędu wirnika nośnego należy podejmować po wnikliwej analizie przeprowadzanej na podstawie szeregu przesłanek, m in.:

- wielkość mocy przenoszonej przez układ w celu uzyskania wymaganej prędkości obrotowej wirnika,
- wielkość masy układu napędowego oraz jej rozkład, głównie w strefie masztu wirnika nośnego,

- złożoność układu i jego niezawodność, a także łatwość montażu i obsługi,
 - zabezpieczenie przed włączeniem się układu prerotacji w trakcie lotu wiatrakowca.
- Popularyzacja wiatrakowców jako indywidualnego środka transportu oraz nowe technologie pozwolą wkrótce na dobór lub wykonanie podzespołów o mniejszej masie i dużej sprawności.

Projekt „Technologia wdrożenia do praktyki gospodarczej nowego typu wiroplátowego statku powietrznego” jest finansowany ze środków UE: umowa UDA-POIG.01.03.01-14-074/09-00.

LITERATURA

- [1] Przepisy ASTM 2352-09. Standard Specification for Design and Performance of Light Sport Gyroplane Aircraft.
- [2] Krzymień, W. (2010). Zastosowanie napędu reakcyjnego do prerotacji wirnika wiatrakowca. XIV Konferencja „Mechanika w Lotnictwie”, Kazimierz n. W.
- [3] Delega, M. (2013). Głowica wiatrakowca. Zgłoszenie patentowe do UPRP.
- [4] Krzymień, W. (2014). Aspekty krótkiego startu wiatrakowca. XVI Konferencja „Mechanika w Lotnictwie”.
- [5] Delega, M., Krzymień, W. (2014). Próby konstruktorskie wiatrakowca I-28 budowanego w kategorii „Specjalny”, *Prace Instytutu Lotnictwa*, Nr 2(235), s. 38-48.
- [6] Harris, F. D. (2011). Introduction to Autogyros, Helicopters, and other V/STOL Aircraft Vol. 1. NASA.
- [7] Sprawozdania wewnętrzne ILot powstałe w wyniku realizacji Projektu. Strony internetowe producentów wymienionych wiatrakowców.

VERIFICATION OF ROTOR PREROTATION SYSTEMS OF THE AUTOGIRO

Abstract

Prerotation of the main rotor of the autogiro is necessary and is a typical part of the take-off procedure. It can be realized in many ways. The power used to prerotation and the achieved speed of rotation of the main rotor has an important influence on the distance of ground roll and time of the take off.

The paper presents some experiences achieved by the tests of some kinds of prerotation, realized on autogiro I-28, which was designed and tested in the Institute of Aviation in Warsaw.

Keywords: autogyro, prerotation, functional tests.