

Tomasz Łusiak, Radosław Witczak, Arkadiusz Małek

## Analiza osiągnięć nowego typu wiroplatu

JEL: L93 DOI: 10.24136/atest.2019.152

Data zgłoszenia: 05.04.2019 Data akceptacji: 26.06.2019

*W artykule dokonano analizy osiągnięć nowo projektowanego wiroplatu. Przedstawiono także nową koncepcję wyposażenia i użycia wiroplatów w celach transportowych. Praca skupia się na zastosowaniu w tych celach wiatrakowców jako szczególnego rodzaju wiroplatów o specyficznych własnościach. Opracowany i opisany wstępny projekt statku powietrznego obejmuje założenia konstrukcyjne, rozwiązania technologiczne, ergonomię kabiny/ładowni, ekonomię i bezpieczeństwo eksploatacji. Szczególną uwagę zwrócono na wyposażenie wiroplatu w zależności od tego do jakiej wersji ma być docelowo skonfigurowany. Praca zawiera także projekt wstępnej geometrii wiroplatu. Przedstawiono bryłę uwzględniającą sformułowane założenia, które posłużą do analizy numerycznej. Na jej podstawie została dokonana przybliżona analiza wyznaczenia podstawowych osiągnięć i rozkładu mas w zależności od wersji wyposażenia. Ponadto przedstawiono sposób przeprowadzenia analizy numerycznej bryły wiroplatu oraz jej wyniki wraz z ich opracowaniem. Dokonano analizy wyników symulacji numerycznej i sformułowano wnioski dotyczące słuszności zastosowania wiatrakowców do celów transportowych.*

**Słowa kluczowe:** wiroplatu, wiatrakowiec, wyposażenie statku powietrznego, własności aerodynamiczne.

### Wstęp

Szybki rozwój transportu lotniczego pasażerskiego i towarowego generuje wiele potrzeb. Należą do nich kształcenie kadr dla całego sektora a także rozwój i produkcja środków transportu lotniczego. Wiatrakowce stanowią dobrze znane, bo starsze od śmigłowców, konstrukcje latające. Wiatrakowiec jest szczególnym rodzajem wiroplatu, który zyskuje na popularności dzięki nieskomplikowanej budowie i obsłudze przy okazji łącząc w sobie zalety samolotu i śmigłowca [20]. Ostatnimi laty, zarówno w Polsce jak i na świecie cieszą się ogromnym zainteresowaniem.

Wiatrakowiec jest statkiem powietrznym z rodziny wiroplatów, wyposażony w wirnik nośny oraz śmigło typu pchającego lub ciągnącego. Wirnik nośny nie jest napędzany silnikiem, lecz obraca się wyłącznie dzięki posłużeniu się zjawiskiem autorotacji, powstającym poprzez ruch postępowy wiroplatu względem powietrza. Ruch ten odbywa się dzięki sile napędowej śmigła. Przez wzgląd na konieczność zapewnienia bezustannego nadmuchu powietrza na wirnik nośny, w przeciwieństwie do innych wiroplatów, wiatrakowiec nie może dokonywać zawisu. W rzeczywistości, jeżeli prędkość poruszania się do przodu spadnie w trakcie wznoszenia, to zaniknie obieg powietrza wokół wirnika oraz prędkość obrotów wirnika znacznie powolnie, lecz stale się zmniejsza, co będzie powodowało zmniejszenie siły nośnej. W chwili, gdy obroty wirnika opadną poniżej pewnej wartości, zależnej od warunków atmosferycznych oraz masy pojazdu, wiatrakowiec zacznie opadać lotem ślizgowym, a

nawet pionowo w przypadku gdy prędkość ruchu postępowego spadła do zera. Prędkość opadania przy działającym silniku wynosi ok. 2÷4 m/s, a przy silniku wyłączonym może osiągnąć nawet 10 m/s [19].

W historii rozwoju wiatrakowców można wyodrębnić cztery okresy [19]:

- Okres pionierski przypada mniej więcej na lata 1920 - 1943. Pierwszy udany wiatrakowiec zbudował hiszpański konstruktor lotniczy Juan de la Cierva w 1923 roku. Wiatrakowce były szczególnie popularne w okresie międzywojennym, a produkcja wiatrakowców w stosunku do produkcji samolotów zajmowała wówczas zdecydowanie elitarną pozycję. Były uznawane za bezpieczne i użyteczne maszyny latające.
- Lata 1943 do ok. 1950 to okres kiedy zaczynają dość burzliwie rozwijać się śmigłowce i wielki przemysł lotniczy traci zainteresowanie wiatrakowcami.
- Lata 1950 - do połowy lat 80-tych. zostały zdominowane produkcją tysięcy sztuk wiatrakowców przez zakłady Igora Bense-na, prowadzącego prace własne nad wiatrakowcami. Niestety, ze względu na dużą ilość wypadków konstrukcji niestatecznych dynamicznie i pilotowanych przez niedoświadczonych pilotów ukształtowała się o nich negatywna opinia.
- Koniec XX wieku. Poprzez nowoczesne podejście do projektowania następuje powrót dobrze opracowanych konstrukcji wiatrakowców, które zyskały opinię bezpiecznego, łatwego w pilotażu, powszechnie używanego na świecie sprzętu latającego, zysującego popularność szczególnie wobec silnie rozwijającego się lotnictwa lekkiego i ultralekkiego. Jednocześnie w tej dziedzinie upatruje się dalszego trendu rozwoju wiroplatów

Wiatrakowce cechują się dużo prostszą konstrukcją niż śmigłowce i płatowce. To przekłada się na niższe koszty konstrukcji, rozwoju oraz produkcji różnych typów i rodzajów wiatrakowców. Kolejną barierą rozwoju śmigłowców i samolotów przez mniejsze podmioty są skomplikowane i bardzo drogie procedury homologacyjne. Mogą sobie na nie pozwolić jedynie duże koncerny posiadające duży kapitał inwestycyjny. W przypadku wiatrakowców kapitał wejścia w ten nowy biznes jest znacznie mniejszy.

We wstępie artykułu przedstawiono obecne kierunki badań i rozwoju wiroplatów. Następnie przedstawiono krótką historię oraz różne formy zastosowania szeroko pojętych wiroplatów w lotnictwie cywilnym, wojskowym oraz służbach porządku publicznego. Nawiązano zarówno do śmigłowców, wiatrakowców jak i mało znanych wirozbybowców. Ukazano podziały ze względu na rodzaje wykonywanych działań oraz charakterystyczne rozwiązania konstrukcyjne i wyposażenie.

Oprócz wymagającego krótkiego rozbiegu podczas startu wiatrakowce są ponadto łatwe w transporcie drogowym, co przedstawiono na rysunku 1. Lekka konstrukcja oraz kompaktowa budowa sprawiają, że wiatrakowiec mieści się na lekkiej naczepie, którą może ciągnąć nawet małe auto.



Rys. 1. Transport drogowy wiatrakowca produkcji Trixy Aviation z Austrii [27]

### 1. Obecne kierunki badań i rozwoju wiroplątów

Do głównych kierunków badań nad tym rodzajem statków powietrznych należy zaliczyć poprawę własności lotniczych [2][21]. Badaniom oraz rozwojowi podlega konstrukcja podwozia [20], wirnika głównego [21], geometria profilu lotniczego łopaty [17]. Naukowcy badają zagadnienia bezrozbiegowego (pionowego) startu wiatrakowców [9][16]. Wiele prac poświęconych prerotacji [6][8].

Duża część badań ma charakter symulacji komputerowych mających na celu przyspieszenie i zmniejszenie kosztów rozwoju komponentów [3][4][14][24]. Zaawansowane oprogramowanie do analizy konstrukcji MES czy przepływów CFD jest szeroko stosowane jako niezbędny element szybkiego prototypowania komponentów oraz całych statków powietrznych.

Wiele artykułów poświęconych jest nowemu wyposażeniu statków powietrznych [11][12] oraz nowym ich zastosowaniom [1]. Niektóre badania mają charakter eksperymentalny podczas wykonywania lotów z analizą rzeczywistych sygnałów [7].

Oprócz badań rzeczywistych obiektów i symulacji komputerowych coraz częściej badane są modele wiatrakowców wykonane w technologii druku 3D [19]. Technologia ta znajduje coraz szersze zastosowanie w pracach badawczo-rozwojowych w branży lotniczej, przykładowo do produkcji elementów silników turbinowych, a także w branży energetycznej. Wybrane technologie druku 3D (FDM, SLA, PolyJet) są atrakcyjne ze względu na łatwe i tanie wykonanie modelu oraz możliwość sprawdzenia nowej technologii produkcji modeli w badaniach w tunelu aerodynamicznym.

Duże zainteresowanie tematyką wiatrakowców ze strony naukowców pobudziło również rynek produkcji tego rodzaju wiroplątu. Rozwój kilku ciekawych i obiecujących konstrukcji został wsparty finansowo ze środków krajowych i unijnych, dzięki czemu mogły doczekać się komercjalizacji rynkowej [28].

### 2. Przykłady wiroplątów wykorzystywanych w celach militarnych

Chińska Republika Ludowa jako pierwsza zaczęła wykorzystywać wiatrakowce w celach militarnych [25]. Są to dwu lub trzy miejscowe płatowce (rysunek 2). Z bardzo skromnych źródeł internetowych, dowiedzieć się można, że raczej nie posiadają stałego uzbrojenia, ani innego pokładowego wyposażenia specjalnego. Otwarty kokpit wystawia załogę na działanie warunków atmosferycznych pomimo tego, że Chiny są dużym krajem o bardzo zróżnicowanym klimacie. Loty tego rodzaju wiatrakowcami w warunkach zimowych, nawet przy dobrej pogodzie, mogą być bardzo uciążliwe. Nie ma

mowy również o miejscu na zainstalowanie specjalistycznego wyposażenia takiego jak nosze do ewakuacji rannych, zasobnika medycznego z ratownikiem lub dodatkowego wewnętrznego zbiornika paliwa, itp. Wartość bojowa tych maszyn jest dyskusyjna i w zasadzie ogranicza się do zadań łącznikowych, transportowych i patrolowych/bliskiego rozpoznania. Szczególnie dotyczy to wersji trzyosobowej, gdzie występuje jeden pilot i dwóch żołnierzy desantu. Teoretycznie mają oni razić cele za pomocą osobistej broni ręcznej w postaci karabinów szturmowych lub granatników rewolwerowych. Jest to w chwili obecnej półśrodek w drodze do stworzenia w przyszłości w pełni wartościowego wojskowego wiatrakowca wielozadaniowego. Nie mniej jednak takie rozwiązanie jest bardzo prowizoryczne w wyniku krótkiego zasięgu skutecznego ognia takiej broni, zmuszając załogę do skracania dystansu do celu, jednocześnie zwiększając ryzyko zestrzelenia. Paleta używanych środków bojowych nie zapewnia również dostatecznie dużego wachlarza celów jakie taki wiropląt mógłby eliminować. W zasadzie ograniczałoby się to tylko do eliminowania siły żywej i nieopancerzonych pojazdów na bardzo krótkich dystansach rzędu 100-500 m.



Rys. 2. Trzymiejscowy wiatrakowiec konsorcjum Hunting Eagle [25]

Szczególnie ciekawe jest minimalistyczne podejście do aerodynamiki kadłubów Chińskich maszyn latających. Otwarta kratowniowa struktura od przodu osłonięta jest dość dużą owiewką chroniącą pilota przed naporem mas powietrza. Skuteczność tego rozwiązania dla pasażerów z tyłu na pewno nie jest wystarczająca. Brak łagodnych przejść, duża ilość wystających elementów powoduje duże opory aerodynamiczne i spadek osiągniętych w postaci zasięgu, prędkości maksymalnej i optymalnej, a w efekcie nawet pułapu użytkownego.

Chińskiej armii należą się wyrazy uznania, że mimo wszystkich opisanych wyżej niedociągnięć wdrożyły wiatrakowce do służby. W chwili obecnej należy uznać to za służbę badawczo-eksperymentalną ze względu na niewielką skalę wdrożenia. W praktyce chińskie wojsko próbuje znaleźć dla nich najlepsze zastosowanie oraz stworzyć odpowiednią taktykę, zaplecze logistyczne oraz wyszkolić kadrę. Może się stać ona w ten sposób stać załóżką by w przyszłości uczyć kolejne pokolenia pilotów jak skutecznie używać nowych, bardziej zaawansowanych i doskonalszych wiatrakowców. Rozwój takich statków powietrznych może pójść także bardziej w kierunku ogólnie wiroplątów, gdyż nie wiemy czy kolejne konstrukcje będą hybrydami kilku rozwiązań jak na przykład Fairey Rotodyne [28].

Europejskim przykładem militarnego wykorzystania wiatrakowców jest model TrixyEye produkcji Trixy Aviation [27]. TrixyEye to wiatrakowiec zaprojektowany w oparciu o udany model G 4-2 i ulepszony do użytku profesjonalnego w kilku dziedzinach, takich jak fotografia lotnicza, nadawanie mediów, policyjne wsparcie lotnicze, obserwacja ruchu, kontrola graniczna, ochrona wybrzeża, wyszuki-

wanie i ratunek, nadzór linii rurociągów, nadzór linii wysokiego napięcia, obserwacja ognia w szerokim obszarze, walka z przetrznięciem narkotyków, zejścia lawin, ochrona zwierząt, opryskiwanie w rolnictwie i wiele innych dziedzin (rysunek 3).

TrixyEye został zaprojektowany do latania w różnych strefach klimatycznych ze zdejmowaną w razie potrzeby osłoną i efektywnym systemem ogrzewania kabiny. Kompaktowa, lekka konstrukcja wymaga minimalnej przestrzeni w hangarze i umożliwia łatwy transport wiatrakowca na przyczepach lub w zamkniętych hangarach mobilnych. Sprawdzone i certyfikowane urządzenie Camera Fixture umożliwia korzystanie z prawie każdej kamery lub czujnika. Położenie systemu przesuwu w pobliżu środka ciężkości wiatrakowca pozwala na przenoszenie cięższych i większych systemów kamer. Standardowy Glass Cockpit (Nesis III) został zaprojektowany do wyświetlania widoku kamery wraz z lotem, nawigacją i danymi silnika. Zintegrowany wizualny i dźwiękowy system ostrzegawczy zmniejsza uwagę pilota i przyczynia się do zwiększenia bezpieczeństwa lotu podczas wykonywania prac powietrznych. TrixyEye jest przystosowany do przenoszenia opcjonalnej skrzynki zrzutowej lub pomocniczego zbiornika paliwa pod kabiną. Skrzynia może być wyposażona w spadochron, aby bezpiecznie zrzucić sprzęt ratunkowy i towary. TrixyEye jest łatwy i niedrogi podczas eksploatacji. Został zaprojektowany z dbałością o łatwość konserwacji.



Rys. 3. Wiatrakowiec produkcji Trixy Aviation z Austrii [27]

### 3. Założenia konstrukcyjne i taktyczno-techniczne projektu lekkiego wiatrakowca do celów militarnych

#### 3.1. Wymagania ogólne

Aby poprawnie zdefiniować geometrię płatowca należy w pierwszej kolejności określić cele do jakich wykorzystywana będzie konstrukcja. Projektowany wiatrakowiec powinien mieć wszechstronne zastosowanie, od transportu cywilnego począwszy po szerokie wykorzystanie w celach militarnych. Modułowa konstrukcja powinna umożliwiać szybką i łatwą wymianę podstawowego wyposażenia.

#### 3.2. Kadłub

W umiarkowanej strefie klimatycznej kabina wiatrakowca musi być zakryta w celu osłony załogi przed oddziaływaniem niekorzystnych zjawisk atmosferycznych. Kabina załogi powinna zabezpieczyć miejsce dla trzech osób (czterech bez dodatkowego wyposażenia i bagażu). Drzwi powinny być usytuowane tak, by możliwe było wprowadzanie noszy z poszkodowanym w pozycji leżącej. Aby jego służba miała większy sens, powinien legitymować się ładownością około 250 kg z 80 l (45 kg) paliwa na pokładzie. Przy założeniu konsumpcji paliwa na poziomie 20 l/h będzie to oznaczało długość lotu rzędu 4 h. Silnik powinien być zabudowany z tyłu kadłuba ze śmigłem pchającym w celu zabezpieczenia dobrej wi-

działności w przód i do dołu. Śmigło z przodu dodatkowo mogło by zaburzać pracę głowicy obserwacyjno- celowniczej.

#### 3.3. Podwozie

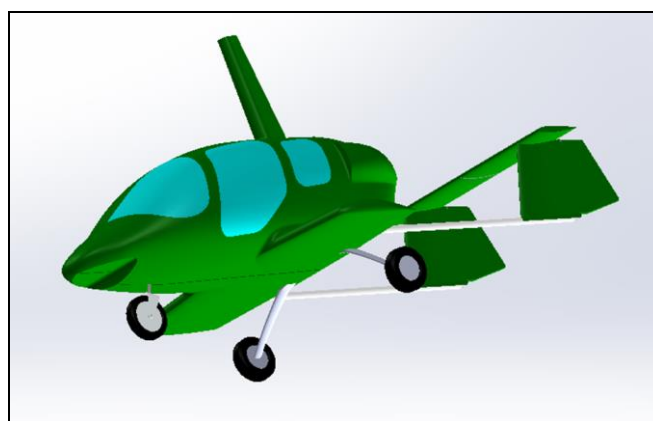
Trójkołowe podwozie z kołem przednim pozwoli na operowanie z nieutwardzonych lądowisk. Koło przednie swobodnie wodzone ustalające się w położeniu na wprost po zdjęciu obciążenia (np. w locie). Goleń przednia powinna być amortyzowana elastomerowo. Koła podwozia głównego zaś hamowane różnicowo. Golenie podwozia głównego powinny być wykonane z profili stalowych, amortyzowane na łożach elastomerowych, bez dodatkowych amortyzatorów powietrzno-olejowych. Powinna być zastosowana płoza tylna zabezpieczająca przed uszkodzeniem usterzenia oraz łopat śmigła podczas startów i lądowań na dużych kątach zadarcia kadłuba.

#### 3.4. Silnik

Jednostka napędowa tłokowa, benzynowa, zapewniająca moc na zakresie startowym 140 KM powinna być wystarczająca do przedmiotowych zastosowań. Przy założeniu, że konstrukcja ma być stosunkowo lekka, moc jednostkowa silnika powinna być duża i winna przewyższać 1290 W/kg. Konsumpcja paliwa powinna utrzymywać się w granicach  $20 \pm 2$  l/h. Koszt utrzymania i niezawodność zależą w dużej mierze od dostępności części zamiennych oraz wykwalifikowanych specjalistów. Zatem powinna być to jednostka napędowa powszechnie stosowana w tego typu konstrukcjach.

#### 3.5. Geometria wiroplatu do analizy numerycznej

Po przeanalizowaniu wymagań stawianym wiroplatom w użyciu wojskowym najlepiej prezentuje się konstrukcja wiatrakowca Celier Aviation C-44 [28]. Jest to powiększona wersja wiatrakowców z serii Xenon 2, w znacznym stopniu bazująca na ich podzespołach. Cechą charakterystyczną C-44 jest przestronna 3 osobowa kabina (rysunek 4). Unikalne rozwiązanie konstrukcji prawych drzwi kabinowych pozwala na wprowadzanie do wnętrza dużych objętościowo ładunków, w tym noszy z poszkodowanym. Przestronność kabiny stanowi istotną zaletę podczas zabudowy specjalistycznego wyposażenia charakterystycznego dla wersji wymienionych i opisanych w podrozdziale poświęconym założeniom i wymaganiom stawianym przed płatowcem.



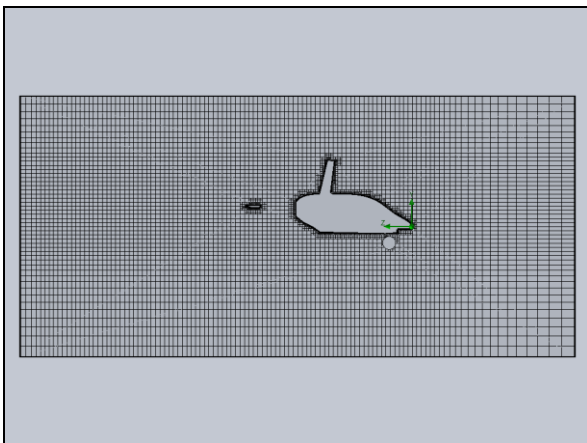
Rys. 4. Celier Aviation Xenon C-44 [opr.wł.]

Jednostka napędowa użyta w tym wiatrakowcu to Rotax 912 ULS-T o mocy startowej 145 KM wywodzący się z rodziny szeroko stosowanych silników lotniczych w lotnictwie ultralekkim. Jest to znaczna zaleta dla przyszłego użytkownika, który mógłby serwisować taki silnik w wielu wykwalifikowanych organizacjach obsługowych w kraju lub za granicą.

#### 4. Przygotowanie modelu do analizy numerycznej

Gotowy projekt wiatrakowca wykonany jako grafika powierzchniowa zazwyczaj nie nadaje się do analizy numerycznej. Podczas przeprowadzania wstępnych analiz przy rzadkiej siatce, mogą ukazywały się liczne błędy blokujące cały proces. Wylimitowanie grafiki powierzchniowej i dodanie głębi elementów pozwala wylimitować znaczną większość pojawiających się błędów. Największymi elementami o otwartej strukturze, wykonanymi jako grafika powierzchniowa są zazwyczaj pokrywy silnika. Po uporaniu się z powyższymi problemami konieczne było zdefiniowanie docelowej siatki. Program Solid Works Flow Simulation oblicza właściwości przepływającego płynu za pomocą analizy elementów skończonych, Siatka oznacza podział przestrzeni na pojedyncze (skończone) sześciany, w których krok po kroku liczone są właściwości symulowanego przepływu. Jak było wspomniane wcześniej, były już przeprowadzane symulacje wstępne z rzadką siatką. Oznacza to, że ograniczone przestrzenie siatki były stosunkowo duże. W takim przypadku nie są uwzględniane zaburzenia przepływu, które względem takiego podziału są niewielkie i w całości mieszczą się w takim sześcianie. Rzadka siatka sprawia, że wyniki uzyskane podczas symulacji są bardzo niedokładne. Aby uzyskiwane wyniki były bardziej wiarygodne należy zastosować siatkę o znacznie większym zagęszczeniu. Zagęszczenie siatki znacznie obciąża pamięć obliczeniową przez kilkukrotne pomnożenie elementów do przeanalizowania. Wpływa to bezpośrednio na czas przeprowadzania symulacji, który w zależności od mocy obliczeniowej komputera i stopnia skomplikowania projektu, może być bardzo długi (od kilku godzin do kilku dni). Aby zmniejszyć czas oczekiwania na wyniki można wykorzystać symetrię bryły kadłuba. Badana jest tylko jedna strona, jako że zakładamy, iż wyniki na drugiej stronie będą identyczne.

Podczas projektowania siatki należy również uwzględnić przestrzenie znacznie oddalone od badanego obiektu. W dużej odległości od badanej powierzchni struga jest praktycznie niezaburzona lub posiada właściwości niewiele zmienione względem przepływu niezaburzonego. W celu zaoszczędzenia czasu nie zagęszcza się mocno siatki w takich miejscach. Różnice wynikające z tego tytułu są pomijalnie małe i nieistotne. Siatka zostaje zagęszczona w okolicy badanych powierzchni bardzo wyraźnie. Wynika to ze znacznych różnic w rozkładzie ciśnień i prędkości badanej strugi. Aby wyniki były jeszcze dokładniejsze, lokalnie przy powierzchniach badanego obiektu siatka jest najbardziej zagęszczona (rysunek 5). Spowodowane jest to występowaniem największych zaburzeń w warstwie przyściennej. Warstwa przyścienna jest to obszar, w którym prędkość płynu zmienia się od zera, przy powierzchni, do prędkości opływu w pewnej odległości od powierzchni badanej. W zależności jaki gradient ciśnienia rozłożony jest wzdłuż strugi, występują dwa rodzaje opływu: laminarny i turbulentny.



Rys. 5. Rzut boczny z naniesioną gotową siatką [opr.wł.]

#### 5. Analiza wyników symulacji

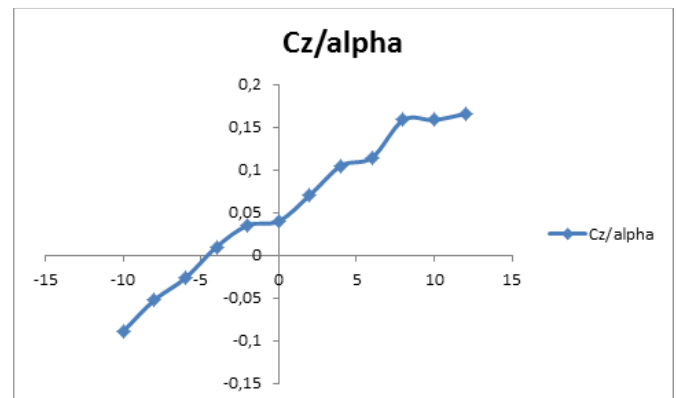
Dzięki odpowiedniemu przygotowaniu wirtualnego modelu trójwymiarowego do przeprowadzenia analizy numerycznej przepływu, symulacja przebiegła sprawnie i bez komunikatów o nieścisłościach związanych z budową modelu. Rozpatrywany był przepływ, który charakteryzował się zmiennymi przedstawionymi w tabeli 1.

Tab. 1. Zmienne charakterystyczne przepływu w obliczeniach MES

Zmienna	Wartość i jednostka
Prędkość	50 m/s
Temperatura	288 K
Ciśnienie	101325 Pa
Gęstość	1,2255 kg/m <sup>3</sup>

Podczas przeprowadzania symulacji wyznaczona została siła oporu i siła nośna. Ze względu na wstępne zdefiniowanie modelu względem osi układu współrzędnych niezgodne z ogólnie przyjętymi praktykami, siła nośna jest definiowana jako  $F_y$  zamiast  $F_z$ , a siła oporu  $F_z$  zamiast  $F_x$ . Pomiary zostały wykonane dla dodatnich kątów natarcia kadłuba od  $0^\circ$  do  $12^\circ$  mierząc co  $2^\circ$ . Podobnie dla ujemnych kątów natarcia od  $-2^\circ$  do  $-10^\circ$ , również mierząc co  $2^\circ$ . Przy prędkości zadanej 50 m/s w symulacji wiatrakowiec najprawdopodobniej będzie latał osiągając kąty natarcia kadłuba w przedziale  $-2^\circ$  do  $4^\circ$ , gdyż jest to prędkość dość znaczna. Powiększenie przedziału pomiarów ma na celu zobrazowanie możliwości jakie daje operowanie kątem natarcia kadłuba. Pozwala zobrazować rozkład sił oraz przybliżyć do odpowiedzi na pytanie, czy kadłub ze skrzydłem szczytkowym jest w stanie zwiększyć osiągi wiatrakowca przy prędkości przelotowej. Dotyczy to odciążenia wirnika nośnego przez zespół skrzydło-kadłub.

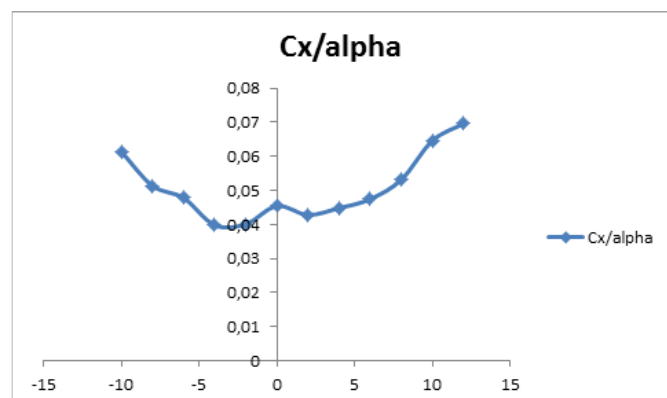
Na podstawie obliczonych współczynników siły nośnej i siły oporu można wykonać wykresy zależności pomiędzy nimi a kątem natarcia. Wykres charakterystyki współczynnika siły nośnej w zależności od kąta natarcia przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 6. Wykres charakterystyki współczynnika siły nośnej w zależności od kąta natarcia [opr.wł.]

Analizując wykres charakterystyki współczynnika siły nośnej w zależności od kąta natarcia (przedstawiony na rys. 5) można zauważyć, że z drobnymi odchyłkami przypomina modelowy wykres tej charakterystyki dla profilu. Należy pamiętać, że zespół skrzydło-kadłub jest znacznie bardziej skomplikowanym układem. Przy takich samych kątach natarcia kadłuba względem skrzydła posiadać może odmienne właściwości. Wzajemna interferencja opływów tych zespołów na siebie sprawia, że występują odchyłki od bardziej gładkiego wykresy, jaki byśmy otrzymali badając czysty profil. Obserwowany spadek wartości współczynnika dla kąta natarcia rzędu  $10^\circ$  może sugerować załamanie się charakterystyki, świadczące o przeciągnięciu zespołu kadłub-skrzydło. Jednakże przy kącie natarcia równym  $12^\circ$  dalej ulega wzrostowi. Spowodowane może to być

lokalnym zaburzeniem opływu przy kącie natarcia  $10^\circ$ . Po przekroczeniu tego kąta charakterystyka dalej zwiększa swoją wartość. Świadczy to o tym, iż zespół nie jest jeszcze przeciągnięty, jednak znacznie mniejszy przyrost wartości współczynnika siły nośnej sugeruje, że granica przeciągnięcia znajduje się już blisko. Dobrze widocznym jest również punkt zerowej siły nośnej, którego wartość przypada na wartość kąta natarcia równą  $-4,5^\circ$ , co przedstawiono na rysunku 7.



**Rys. 7.** Wykres charakterystyki współczynnika siły oporu w zależności od kąta natarcia [opr.wł.]

Na wykresie charakterystyki współczynnika siły oporu w zależności od kąta natarcia (przedstawionym na rys. 6) można zaobserwować nagły wzrost wartości współczynnika przy zerowym kącie natarcia. Spowodowany może być charakterystycznym wcięciem pod dziobem stanowiącym bazę na zamontowanie jarzma głowicy optoelektronicznej. Wycięcie to powoduje gwałtowne zaburzenie przepływającej strugi generując silny wzrost ciśnienia śpiętrzeniowego i dużą siłę oporu. Pochylenie kadłuba na ujemne kąty powoduje zaślonienie tego obszaru i mniej intensywny jego opływ przez co zmniejszają się siły oporu. Podobnie lecz mniej intensywnie obserwowane jest to zjawisko przy dodatnich kątach natarcia. Warto wspomnieć, iż charakterystyka ta może ulec dalszemu pogorszeniu po dodaniu zespołu głowicy obserwacyjnej. Odczytać z wykresu również możemy, że zespół kadłub-skrzydło stawia najmniejszy opór przy kącie natarcia równym  $-4^\circ$ , a największy zgodnie z przewidywaniami podczas zbliżania się do granicy przeciągnięcia, po osiągnięciu  $12^\circ$ .

## Podsumowanie

Pomimo niewielkiego rozmiaru, skrzydełka wraz z odpowiednio wyprofilowanym kadłubem wpływają pozytywnie na właściwości lotne badanego modelu. Przy prędkości przelotowej wynoszącej 50 m/s, czyli 180 km/h, siła oporu czołowego kadłuba wynosząca 487 N jest stosunkowo niewielka. Oczywiście należy pamiętać o oporze jaki będzie generował wirnik nośny oraz dodatkowe elementy wyposażenia. Na zespole kadłub-skrzydło powstaje niewielka siła o wartościach od 428 [N] (przy zerowym kącie natarcia) do 1697 [N] (dla kąta natarcia równego  $8^\circ$ ). Spowodowane to może być przez niewielką powierzchnię w rzucie górnym zespołu oraz niewielką rozpiętość, która sprzyja powstaniu dużego oporu indukowanego. Zakładane polepszenie właściwości aerodynamicznych zespołu kadłub-skrzydło mogło być zostać osiągnięte przez powiększenie rozpiętości skrzydeł, które w badanym modelu są zaledwie szczałkowe i w praktyce mogą służyć jako baza do zamontowania dodatkowego zewnętrznego wyposażenia (głośników, reflektorów, głowic obserwacyjnych, zasobników podwieszanych: z paliwem, uzbrojeniem lub bagażowych). Powiększenie rozpiętości spowoduje zwiększenie wydłużenia płata, które w połączeniu z odpowiednio wyko-

nanymi wingletami spowoduje odsunięcie oddziaływania wirów indukowanych na końcówki skrzydełek oraz ich częściowe wyhamowanie. Większe skrzydła mogłyby posłużyć jako dodatkowe integralne zbiorniki paliwa. Siła nośna wytwarzająca się na nich pozytywnie płynie na masę zabieranego wyposażenia. Większa masa będzie jednocześnie powodem wydłużenia rozbiegu w celu nabrania prędkości, przy której skrzydła staną się efektywne. Nie jest konieczna ich mechanizacja, gdyż wystarczającą zwrotność zapewnia sterowanie wirnikiem nośnym. Dodatkowe komplikowanie konstrukcji układem mechanizacji płata jest zbędne. Istotnym jest dobór profilu i kąta zaklinowania przyszłych skrzydełek.

Zwiększenie oporów związanych z oporem profilowym skrzydła przy różnych kątach natarcia oraz zwiększenie masy powinno być zrekompensowane zwiększeniem mocy jednostki napędowej. Należy pamiętać, że skrzydła mają pełnić funkcję pomocniczą w celu zwiększenia osiągnięć wiatrakowca w postaci zasięgu, udźwigu i długości lotu.

Zastosowanie kadłuba z zamkniętą kabiną pozytywnie wpływa na właściwości aerodynamiczne wiatrakowca. Płynne przejścia kształtów stawiają niewielki opór aerodynamiczny i podwyższają walory eksploatacyjno-użytkowe wiroplata. Potencjał konstrukcji w zakresie użycia do celów militarnych jest bardzo duży, jednak wymaga dalszego rozwoju. W obecnej formie możliwości wiatrakowca są mocno ograniczone przede wszystkim masą startową i mocą jednostki napędowej, które są za małe.

## Bibliografia:

1. Bzowska-Bakalarza M., Trendak A., Marszałek D.: Aerial method of plant protection with the use of an autogyro for sustainable agriculture, *Agriculture and Agricultural Science Procedia* 7 (2015), s. 54 – 58
2. Cieślak S.: Analiza możliwości zwiększenia prędkości przelotowej i zmniejszenia poziomu hałasu wiatrakowca, *Prace Instytutu Lotnictwa* (219) 2011, s. 31-38,
3. Czyż, Z. İlhan, I. Akcay, M. Czarnigowski, J.: Air flow analysis around the autogyro fuselage, *Journal of Technology and Exploitation in Mechanical Engineering*, Vol. 3, nr 1 2017, s. 13-20
4. Czyż, Z. Łusiak, T. Magryta, P.: Badania numeryczne CFD wpływu usterzenia na charakterystyki aerodynamiczne wiatrakowca, *Prace Instytutu Lotnictwa*, Nr 5-6 (232-233) 2013, s. 5-16
5. Czyż, Z. Magryta, P. Szlachetka, M.: Experimental investigation of the impact of flight speed on drag force in the autogyro model, *Advances in Science and Technology Research Journal*, Vol. 9, nr 26 2015, s. 89-95
6. Czyż, Z. Łusiak, T. Czyż, D. Kasperek, D.: Analysis of the pre-rotation engine loads in the autogyro, *Advances in Science and Technology Research Journal*, Vol. 10, nr 31 2016, s. 169-176
7. Dąbrowski, W. Popowski, S. Rybaniec, R.: System do pomiaru i rejestracji wybranych parametrów pilotażowo nawigacyjnych wiatrakowca, *Prace Instytutu Lotnictwa*, Nr 10 (219) 2011, s. 47-58
8. Delega, M. Krzymień, W.: Weryfikacja rozwiązań prerotacji wirnika wiatrakowca, *Prace Instytutu Lotnictwa*, Nr 3 (236) September 2014, s. 35-40
9. Delega, M.: Głowica wiatrakowca IL-28 umożliwiająca pionowy start, *Prace Instytutu Lotnictwa*, Nr 7 (202) 2009, s. 18-23
10. Department of Transportation, Federal Aviation Administration: *Rotorcraft Flying Handbook*, 2000.
11. Głowacki B.: Modułowe uzbrojenie dla śmigłowców, *Skrzydła Polska* Nr 9 (2443)/2016, s. 30-34.
12. Grzesik N., Picher S.: Wyposażenie specjalne wybranych statków powietrznych, *WSOSP*, Dęblin 2013.

13. Gunston B., Spick M.: Ilustrowana encyklopedia, Współczesne śmigłowce bojowe, Espadon, 1993.
14. Houston S., Thomson D.: On the modelling of gyroplane flight dynamics, Progress in Aerospace Sciences, Volume 88, January 2017, Pages 43-58
15. Instrukcja użytkowania w locie śmigłowca SW-4, Wytwórnia Sprzętu Komunikacyjnego „PZL Świdnik”, Świdnik 2005.
16. Krzymień, W.: Zagadnienia bezrozbiegowego startu wiatrakowca, Prace Instytutu Lotnictwa, Nr 4 (241) 2015, s. 54-61
17. Pietrosiński, M.: Wpływ geometrii profilu lotniczego łopaty wirnika głównego na osiągi wiatrakowca, Prace Instytutu Lotnictwa, Nr 4 (241) 2015, s. 62-72
18. Pietrzak W. B.: Śmigłowce szturmowe, Przegląd techniki wojskowej XXI cz. 4, E-bookowo, 2016.
19. Ruchała P., Stryczniewicz W., Czyż Z., Łusiak T.: Charakterystyki aerodynamiczne kadłuba wiatrakowca, dla różnych kątów zaklinowania usterzenia poziomego, Prace Instytutu Lotnictwa, Nr 4(241), s. 96-107
20. Skorupka Z., Tywoniuk A.: Wybrane zagadnienia konstrukcji podwozia do wiatrakowca I28, Prace Instytutu Lotnictwa (232) 2013, s. 32-38,
21. Stalewski, W.: Aerodynamic design of modern gyroplane main rotors, Prace Instytutu Lotnictwa, Nr 1 (242) 2016, s. 80-93
22. Stalewski, W.: Improvement and optimisation of gyroplane performance, Prace Instytutu Lotnictwa, Nr 4 (249) 2017, s. 103-122
23. Stalewski, W.: Symulacja startu wiatrakowca w oparciu o program fluent z modułem VBM, Prace Instytutu Lotnictwa, Nr 2 (211) 2011, s. 155-170
24. van Veenendaal J.: Amerykańskie śmigłowce Apache w Europie, Lotnictwo 6/2016, s. 64-67.
25. <https://defence-blog.com/news/photos-of-chinese-military-gyrocopter.html> (dostępne w dniu 17.09.2018)
26. <https://www.helis.com/50s/rotodyne.php> (dostępne w dniu 17.09.2018)
27. <http://trixyaviation.com/trixy-eye.html> (dostępne w dniu 17.09.2018)
28. <https://innpoland.pl/133467.polacy-wymyslili-statek-powietrzny-w-cenie-dobrego-samochodu-nad-morze-doleci-w-dwie-godziny> (dostępne w dniu 17.09.2018)
29. <http://celieraviation.com.pl/c-44.html> (dostępne w dniu 17.09.2018)

---

#### Analysis of the performance of a new type of rotorcraft

The article analyses the performance of the newly designed rotorcraft. A new concept for the equipment and use of rotorcraft for transport purposes was also presented. The work focuses on the use of gyroplanes for these purposes as a special type of rotorcraft with specific properties. The initial aircraft design developed and described includes structural assumptions, technological solutions, cabin / cargo ergonomics, economy and operational safety. Particular attention has been paid to rotorcraft equipment depending on which version it is to be configured to. The work also includes the design of the initial geometry of the rotorcraft. A solid showing the formulated assumptions that will be used for numerical analysis is presented. On its basis, an approximate analysis was made of the determination of basic performance and mass distribution depending on the equipment version. In addition, the method of numerical analysis of rotorcraft body and its results together with their development is presented. The results of numerical simulation were analyzed and conclusions regarding the correctness of gyroplanes for transport purposes were formulated.

---

**Keywords:** rotorcraft, gyroplane, aircraft equipment, aerodynamic properties.

#### Autorzy:

dr inż. **Tomasz Łusiak** - Lotnicza Akademia Wojskowa, Wydział Lotnictwa, ul. Dywizjonu 303 nr 35, 08-521 Dęblin, t.lusiak@law.mil.pl

ppor. **Radosław Witczak** - Lotnicza Akademia Wojskowa, Wydział Lotnictwa, ul. Dywizjonu 303 nr 35, 08-521 Dęblin, r.witczak@wsosp.pl

dr inż. **Arkadiusz Małek** - Wyższa Szkoła Ekonomii i Innowacji w Lublinie, Wydział Transportu i Informatyki ul. Projektowa 4 20-209 Lublin; arkadiusz.malek@wsei.lublin.pl