

*recenzja spełnia wymagania*  
Przewodniczący Rady Dyscypliny  
Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport *formalne*  
dr hab. inż. Marcin Stankiewicz, prof. PŚ  
Warszawa, dn. 25.01.2023 r.

Prof. dr hab. inż. Mirosław NOWAKOWSKI  
Zakład Samolotów i Śmigłowców  
Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych

## RECENZJA

**rozprawy doktorskiej mgr. inż. Tomasza WOJNARA**

**pt.: „BUDOWA SYSTEMU BEZPIECZEŃSTWA ZWIĄZANEGO  
Z PROCESEM HOLOWANIA SZYBOWCA”**

wykonanej

w Katedrze Transportu Lotniczego na Wydziale Transportu i Inżynierii Lotniczej  
Politechniki Śląskiej  
pod kierownictwem

dr. hab. inż. Jarosława KOZUBY, prof. PŚ

### 1. PODSTAWA WYKONANIA RECENZJI

Recenzję opracowano na podstawie pisma Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Śląskiej, nr rej. RDILGT/329/2022 z dnia 28.11.2022 roku z załączoną rozprawą doktorską mgr. inż. Tomasza WOJNARA pt. „Budowa systemu bezpieczeństwa związanego z procesem holowania szybowca”. Promotorem rozprawy jest dr hab. inż. Jarosław KOZUBA, prof. PŚ, a opiekunem pomocniczym Henryk SŁOWIK.

### 2. TREŚĆ I ZAKRES PRACY

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska zawiera 148 stron. Składa się ze streszczenia, wykazu skrótów i akronimów, czterech ponumerowanych rozdziałów, podsumowania, bibliografii, spisu rysunków, spisu tabel oraz spisu załączników.

W rozdziale pierwszym zatytułowanym „Wprowadzenie do przedmiotu badań”, Doktorant zaprezentował rys historyczny lotnictwa z uwzględnieniem lotnictwa szybowcowego oraz podział na poszczególne kategorie według funkcjonalności wraz z wybranymi przykładami przedstawicieli tych klas tj. szybowce szkoleniowe, treningowe, wyczynowe, akrobacyjne i specjalne. W podrozdziale 1.2 przedstawił wybrane zagadnienia aerodynamiki i mechaniki lotu szybowca oraz analizę numeryczną parametrów aerodynamicznych profilu aerodynamicznego wykorzystywanego w konstrukcji skrzydła

testowanego szybowca PZL KR-03 Puchatek. W pracy wykorzystano profil aerodynamiczny

POLITECHNIKA ŚLĄSKA  
Rada Dyscypliny Inżynieria Lądowa,  
Geodezja i Transport

wpłynęło dnia *31.01.2023*

nr *6* zat. *-*

Wortmann FX S 02/1-158 szybowca PZL KR-03 Puchatek. W wyniku przeprowadzonych obliczeń określono następujące charakterystyki:

- $C_l = f(\alpha)$ ,
- $C_d = f(\alpha)$ ,
- $C_l / C_d = f(\alpha)$ ,
- $C_m = f(\alpha)$ ,
- oderwanie strug na profilu dla obu stron skrzydła w funkcji kąta natarcia,
- współczynnik optymalnego wykorzystania właściwości skrzydła w locie ślizgowym.

Analizy przeprowadzono dla wartości liczb Reynoldsa w zakresie  $750\ 000 \div 3\ 000\ 000$  odpowiadających typowym warunkom lotu szybowca PZL KR-03 Puchatek.

W podrozdziale 1.3 przedstawił wybrane aspekty bezpieczeństwa lotów szybowcowych. Doktorant zwrócił uwagę, że zarządzanie bezpieczeństwem powinno polegać na permanentnym monitoringu oraz pozyskiwaniu informacji wskazujących na potencjalne zagrożenie, bądź problemy istotne z punktu widzenia bezpieczeństwa. Przedstawił główne czynniki mające wpływ na wystąpienie niebezpiecznej sytuacji w lotnictwie tj. człowiek, technika i otoczenie. Wszystkie te czynniki oddziałują wzajemnie na siebie decydując o prawdopodobieństwie zaistnienia niebezpiecznego zdarzenia lotniczego.

Jednym z głównych elementów będących przyczyną powstawania zdarzeń lotniczych jest błąd człowieka, który decyduje o zaistnieniu 60 – 80 % wypadków i katastrof w lotnictwie. Kolejnym czynnikiem wpływającym na bezpieczeństwo wykonywania lotów jest niezawodność statku powietrznego i całej infrastruktury wykorzystywanej podczas przeprowadzanych operacji lotniczych, w przypadku szybowców także urządzeń naziemnych – wyciągarek lotniczych. Do ww. czynników wpływających na bezpieczeństwo należy zaliczyć wpływ czynników wewnętrznych i zewnętrznych działających na statek powietrzny podczas lotu oraz środowiska naturalnego i sztucznego, czyli tzw. otoczenia.

Doktorant przedstawił zestawienie zakończonych postępowań zdarzeń niebezpiecznych w Polsce w latach 2012 – 2017. Wynika z niego, że na 23 opisane zdarzenia, 5 przypadków stanowią wypadki podczas startu za wyciągarką, co stanowi 26 % wszystkich zdarzeń. Autor analizując przyczyny ww. zdarzeń stwierdził, że można byłoby zmniejszyć ich liczbę poprzez prawidłową kontrolę procesu startu szybowca za wyciągarką.

W rozdziale drugim pt. „Rozdział metodologiczny”, omówiono uzasadnienie tematu badań. Zaprezentowany został główny problem badawczy, cel pracy i postawiona została teza pracy.

Doktorant mając na uwadze dużą liczbę zagrożeń, na jakie można się natknąć podczas lotów szybowcowych, a szczególnie podczas startu szybowców za wyciągarką, zdecydował się na podjęcie próby zwiększenia bezpieczeństwa w procesie startu szybowca za wyciągarką, poprzez pomiar krytycznych parametrów lotu szybowca podczas startu za wyciągarką.

W związku z powyższym „głównym problemem badawczym” jest zbudowanie systemu bezpieczeństwa związanego z procesem holowania szybowca w czasie startu, wypracowującego dane w postaci krytycznego kąta natarcia ( $\alpha_{kr}$ ) oraz krytycznej siły naciągu liny holowniczej ( $F_{kr}$ ).

W wyniku sformułowanego celu Doktorant założył wykazanie prawdziwości następującej tezy pracy tj. „Możliwa jest budowa systemu bezpieczeństwa związanego z procesem holowania szybowca w trakcie startu przy wykorzystaniu wyciągarki lotniczej przy zastosowaniu sensorów elektronicznych”.

W części trzeciej rozdziału pt. „Charakterystyki lotów szybowca i towarzyszących im zjawisk”, przedstawiono metody startu szybowców: za wyciągarką, za samolotem, grawitacyjnie, z gum oraz start za samolotem.

W podrozdziale 3.1 przedstawiono poszczególne fazy startu szybowca przy wykorzystaniu wyciągarki lotniczej tj. rozbieg, wytrzymanie oraz lot na małych kątach natarcia szybowca i lot na dużych kątach natarcia szybowca.

W podrozdziale 3.2 zostały przedstawione siły i momenty działające na szybowiec w trakcie startu za wyciągarką lotniczą.

Z kolei zagrożenia związane ze startem za wyciągarką lotniczą zostały opisane w podrozdziale 3.3. W podrozdziale tym Doktorant opisał najczęściej występujące zagrożenia mające miejsce podczas startu szybowców za wyciągarką przy uwzględnieniu czynnika ludzkiego, czynnika technicznego i czynnika środowiskowego.

Tematem czwartego rozdziału jest „Budowa systemu bezpieczeństwa związanego z procesem holowania szybowca”. W rozdziale został przedstawiony zakres badań związanych z pomiarem wybranych parametrów lotu szybowca podczas startu za wyciągarką lotniczą. W podrozdziale 4.1 przedstawiono przebieg procesu wyboru poszczególnych parametrów do pomiarów. W podrozdziale tym został zaprezentowany proces opracowania systemu pomiarowego od postawienia założeń projektowych, poprzez wybór poszczególnych elementów wykonawczych aż po budowę fizycznego egzemplarza i przeprowadzenie testów weryfikujących poszczególne funkcjonalności.

Przeznaczeniem systemu bezpieczeństwa związanego z procesem holowania szybowca jest ostrzeżenie pilota szybowca podczas startu za wyciągarką lotniczą przed:

- przekroczeniem krytycznych wartości sił naciągu liny, chroniąc w ten sposób przed zerwaniem liny holowniczej lub zainstalowanego na niej bezpiecznika mechanicznego,
- zbliżaniem się do wartości krytycznego kąta natarcia szybowca, zapobiegając w ten sposób przed przeciągnięciem.

System ten opiera swoje działanie na pomiarze parametrów lotu takich jak:

- siła naprężenia liny,
- wysokość lotu szybowca,
- pozycje geolokalizacji,
- prędkość aerodynamiczna szybowca,
- kąt natarcia szybowca.

Zadaniem systemu jest analizowanie zebranych informacji, a następnie sygnalizowanie pilotowi przekroczenie zadanych progów poprzez zapalenie się poszczególnej kontrolki sygnalizującej sytuacji niebezpiecznej tj.:

- zbliżanie się do maksymalnej dozwolonej siły napięcia liny,
- zbliżanie się do krytycznego kąta natarcia.

W podrozdziale 4.2 zostały zaprezentowane warunki pomiaru, badany obiekt oraz sposób przeprowadzenia badań.

W celu przeprowadzenia badań Doktorant przeanalizował:

- materiały opisujące loty szybowcowe z wyszczególnieniem różnych metod startu szybowców,
- materiały opisujące zasady startu szybowców i wykorzystania wyciągarek lotniczych,
- materiały szkoleniowe z kursów instruktarzu latania,
- dokumentację techniczną szybowca i wyciągarki lotniczej,

a następnie zaprojektował oraz wykonał system pomiarowy i system akwizycji danych.

Podczas badań analizował podstawowe parametry lotu szybowca w fazie startu tj.:

- siłę naprężenia liny holującej,
- kąt liny holującej,
- kąt natarcia szybowca,
- wysokość lotu szybowca,
- pozycje GPS,
- prędkość aerodynamiczną szybowca.

Wyniki z badań zostały przedstawione w podrozdziale 4.3, w którym zostały zaprezentowane charakterystyki poszczególnych parametrów przebiegu procesu startu

szybowca przy wykorzystaniu wyciągarki lotniczej, istotne ze względu na proces budowy systemu.

Do badań wykorzystano szybowiec szkoleniowy PZL KR-03 Puchatek przy udziale wyciągarki lotniczej WSK 02 JK.

W wyniku przeprowadzonych badań określono:

- a) przebieg siły naciągu liny w czasie trwania holu szybowca za wyciągarką lotniczą tj. podczas: postoju szybowca, rozpoczęcia holowania, rozbiegu, momentu oderwania od ziemi, wytrzymania, lotu na małych kątach natarcia, lotu na dużych kątach natarcia oraz wyczepienia;
- b) trajektorię lotu szybowca;
- c) uśrednioną prędkość aerodynamiczną szybowca;
- d) uśrednioną prędkość wznoszenia szybowca;
- e) uśredniony kąt natarcia szybowca.

W podrozdziale 4.4. przedstawiono wnioski. Z przeprowadzonej analizy wynika, że maksymalne kąty natarcia szybowca oscylują w zakresie kątów  $8 - 9^\circ$  i żeby nie dopuścić do przekroczenia krytycznego kąta natarcia, a w konsekwencji do przeciągnięcia szybowca, Doktorant wprowadził ograniczenie kąta natarcia do poziomu  $6,5^\circ$  z jednoczesnym informowaniem pilota za pomocą kontrolki o zbliżaniu się do krytycznego kąta natarcia. Wprowadzenie informacji o przekroczeniu progu wartości kąta natarcia, korzystnie wpłynęło na przebieg procesu startu szybowca za wyciągarką.

Zaletą tego systemu jest to, że informacje o parametrach lotu tj. siła naciągu liny holowniczej i kąta natarcia szybowca przedstawione w formie zapalających się kontrolki, w przypadku przekroczenia założonej wartości progowej mają informować pilota o zaistniałej sytuacji, a jednocześnie nie wprowadzać nadmiaru informacji do analizy podczas startu szybowca za wyciągarką przez pilota.

### **3. OCENA MERYTORYCZNA PRACY**

Temat rozprawy doktorskiej podjęty i opracowany przez mgr. inż. Tomasza WOJNARA, uważam za dysertabilny i niezwykle istotny pod względem naukowym i utylitarnym.

Doktorant w wyniku obserwacji startujących szybowców przy wykorzystaniu wyciągarki oraz informacji od personelu lotniczego i latającego (pilotów i instruktorów), skupił się na budowie systemu podnoszącego poziom bezpieczeństwa podczas startu szybowca za wyciągarką.

Doktorant obserwując obecne rozwiązania techniczne w dziedzinie techniki lotniczej, w celu poprawy bezpieczeństwa procesu startu szybowców wykorzystał nowoczesne techniki pomiarowe.

W ramach pracy doktorskiej przeprowadził szereg analiz literatury technicznej w zakresie aerodynamiki szybowca jak również pozycje literaturowe o tematyce związanej z procesem startu szybowca przy wykorzystaniu metody holu za wyciągarką oraz zdarzenia lotnicze z udziałem szybowców w trakcie startu za wyciągarką.

W wyniku przeprowadzonej analizy literatury, Doktorant dokonał założeń projektowych, w których zostały wyszczególnione kluczowe parametry lotu szybowca podczas startu szybowca za wyciągarką takie jak:

- a) siła naprężenia liny,
- b) wysokość lotu szybowca,
- c) pozycja geolokalizacji,
- d) prędkość szybowca,
- e) kąt natarcia szybowca.

Następnie Doktorant określił:

- 1) zakresy pomiarowe poszczególnych sensorów,
- 2) zaprojektował i wykonał system pomiarowy składający się z dwóch modułów pomiarowych i modułu informacyjnego (dwie kontrolki w kokpicie pilota),
- 3) wstępnie skalibrował i zweryfikował system pomiarowy w warunkach laboratoryjnych,
- 4) przeprowadził badania w locie polegające na zebraniu danych opisujących parametry lotu szybowca podczas startu przy wykorzystaniu wyciągarki,
- 5) przedstawił wyniki badań w postaci wykresów opisujących parametry przebiegu startu szybowca przy wykorzystaniu wyciągarki,
- 6) przeprowadził serie testów potwierdzających poprawność doboru poszczególnych sensorów i skuteczność systemu w warunkach rzeczywistych oraz zdolność reakcji pilota na pojawiające się sygnały (zapalona kontrolka) na przekroczenie odpowiednich progowych wartości.

Wobec powyższego mogę stwierdzić, że Doktorant zrealizował wyznaczone przez siebie cele, a sformułowana w rozprawie doktorskiej teza pracy tj. „Możliwa jest budowa systemu bezpieczeństwa związanego z procesem holowania szybowca w trakcie startu przy wykorzystaniu wyciągarki lotniczej przy zastosowaniu sensorów elektronicznych”, została wykazana jako możliwa do zrealizowania.

#### 4. UWAGI

Tekst dysertacji napisany jest w sposób zrozumiały i przejrzysty. Przy ogólnej poprawności językowej pracy Doktorant nie ustrzegł się błędów gramatycznych, interpunkcyjnych i niejasności interpretacyjnych m.in.:

- str. 27 – błędne oznaczenie parametrów w tekście pracy w stosunku do rys.13;
- str. 31 – brak gęstości powietrza  $\rho$  we wzorze na siłę nośną (15);
- str. 38 – nieprawidłowe określenie znaku kąta natarcia na rys. 20;
- str. 38 – zapis współczynnika siły nośnej w funkcji współczynnika siły oporu  
 $C_z=f(C_x)$ ;
- str. 39 – analogiczna uwaga co do zapisu  $C_z=f(\alpha)$ ;
- str. 46 – rozbieżne wartości liczby Reynoldsa w stosunku do rys. 29;
- str. 66 – sformułowanie lot na małych kątach „uniesienia” i dużych kątach „uniesienia”;
- str. 67 – nieprecyzyjny rys. 40;
- str. 69 – nieprawidłowy gramatycznie podpis pod rys. 41 oraz różne oznaczenia wektorów prędkości;
- str. 74 – nieprecyzyjny co do oznaczeń rys. 46 oraz do wzoru (24);
- str. 75 – nieprecyzyjny co do oznaczeń rys. 48 oraz do wzoru (25);
- str. 76 – nieprecyzyjny co do oznaczeń rys. 49 oraz do wzoru (26);
- brak odniesienia w tekście pracy doktorskiej do pozycji literatury: [6], [10], [42], [47], [50], [64], [73], [74], [80].

Ponadto proszę Doktoranta o wyjaśnienie poniższych kwestii:

- 1) Dla jakiej wartości siły występującej w linii holowniczej podczas startu szybowca, planowane jest zapalenie się lampki informującej o zbliżaniu się do maksymalnej wartości siły napięcia liny;
- 2) Czym jest podyktowany próg zapalenia kontrolki ustawionej na wartość 75 % wartości zainstalowanego bezpiecznika zrywkowego tj. 750 kg.

W zakończeniu stwierdzam, że wniesione przeze mnie przykładowe zastrzeżenia nie mają wpływu na moją pozytywną ocenę rozprawy jako całości.

## 5. WNIOSEK KOŃCOWY

W podsumowaniu swojej recenzji stwierdzam, że rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego dotyczącego opracowania systemu bezpieczeństwa związanego z procesem startu szybowca przy wykorzystaniu wyciągarki lotniczej.

Uważam, że mgr inż. Tomasz WOJNAR rozwiązał w rozprawie doktorskiej postawione cele pracy, a tym samym tezę pracy.

Doktorant posiada znajomość mechaniki, elektroniki oraz współczesnych technik obliczeń numerycznych.

Doktorant wykazał umiejętność samodzielnej pracy naukowo - badawczej i kierowania badaniami naukowymi.

Biorąc pod uwagę wartości poznawcze i użytkowe uzyskanych rezultatów, dojrzałość merytoryczną mgr. inż. Tomasza WOJNARA, w zakresie opracowania systemu bezpieczeństwa związanego z procesem startu szybowca przy wykorzystaniu wyciągarki lotniczej, recenzowaną rozprawę oceniam jako bardzo dobrą, spełniającą ustawowe wymagania stawiane rozprawom i stawiam wniosek o wyróżnienie pracy.

Ponadto pragnę podkreślić, że opracowana przez Doktoranta praca doktorska posiada aspekt wdrożeniowy.

W związku z powyższym przedstawiam Szanownej Radzie Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Śląskiej, wniosek o przyjęcie rozprawy jako podstawy do nadania stopnia naukowego doktora nauk technicznych i dopuszczenie mgr. inż. Tomasza WOJNARA do publicznej obrony przedłożonej rozprawy doktorskiej.

*M. Nowakowski*