



dr hab. inż. Janusz Ćwiklak, prof. LAW  
Dyrektor Instytutu Nawigacji  
Lotnicza Akademia Wojskowa



Dęblin, dn. 17.02.2025 r.

## RECENZJA

rozprawy doktorskiej Pani mgr. inż. Pauliny Zenowicz  
pt. **„Comparative analysis of the drone configuration in terms of stability criteria”**  
wykonanej pod opieką naukową:  
prof. dr. hab. inż. Wojciecha Moczulskiego – promotora,  
wykonana na podstawie uchwały Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Śląskiej z dnia 18.12.2024 r. pismo nr RDIMe.512.22.2024 z dn. 18.12.2024 r.

### 1. Wprowadzenie

Bezzałogowe statki powietrzne znajdują coraz szersze zastosowanie w wielu dziedzinach naszego życia. Gwałtowny rozwój technologii materiałowej, elektroniki, sprzyja projektowaniu i konstruowaniu szerokiej gamy BSP, które wykonują różnorodne zadania w zróżnicowanym środowisku. Wiele czynników takich jak wysokość operowania, temperatura, ciśnienie i zjawiska atmosferyczne warunkują wybór odpowiedniego rodzaju płatowca, napędu, systemu sterowania oraz nawigacji. Ponadto przeznaczenie BSP implikuje dobór parametrów technicznych i osiągowych, takich jak udźwig, długotrwałość lotu, prędkość i wysokość operowania, sposób startu i lądowania. Powyższe uwarunkowania wymagają szerokiej wiedzy i umiejętności od projektantów i konstruktorów BSP. Jednym z obszarów mających istotne znaczenie jest opracowanie lub adaptacja istniejących, odpowiednich charakterystyk aerodynamicznych BSP, które pozwolą na optymalne i efektywne wykonywanie zadań w powietrzu. Projektowany BSP powinien spełniać warunki odnośnie aerodynamiki, mechaniki lotu związanej z zapewnieniem przez płatowiec i napęd odpowiedniej siły nośnej, minimalnego oporu przy zachowaniu odpowiedniej sterowności i stateczności w szerokim zakresie prędkości i wysokości użytkowych. W niniejszej dysertacji Autorka skupiła się na analizie stateczności BSP w układzie samolotowym w zależności od zastosowanego usterzenia ogonowego. Jak wynika z analizy literatury przedmiotu badań przeprowadzonej przez Autorkę, istnieje wiele rozwiązań w tym zakresie, jednakże brakuje

jednego rozwiązania, które byłoby optymalne i efektywne do zastosowania w platformach wielokadłubowych. Dlatego, zasadne jest prowadzenie badań zmierzających do opracowania propozycji projektu odpowiedniego kształtu usterzenia ogonowego BSP.

Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że podjęta przez Autorkę problematyka rozprawy dotycząca badania stateczności BSP w aspekcie zastosowania różnych rozwiązań usterzenia ogonowego jest aktualna i uzasadniona zarówno pod względem naukowym, jak i aplikacyjnym. Jednym z wymiernych efektów dysertacji jest zdobycie nowej wiedzy i tym samym uzupełnienie dotychczasowych, istniejących rozwiązań w zakresie projektowania i konstruowania BSP. Zatem, temat recenzowanej dysertacji został właściwie sformułowany, jest aktualny i wpisujący się w nurt dynamicznego rozwoju różnorodnych konstrukcji BSP.

## **2. Omówienie treści rozprawy**

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska jest opracowaniem jednotomowym, składającym się z siedmiu rozdziałów i bibliografii. Całość została opracowana w języku angielskim, liczy 119 stron, jest uzupełniona streszczeniem w języku angielskim i polskim. Zasadnicza treść zawarta jest w rozdziałach zawierających zarówno wstęp, jak i wnioski podsumowujące. W opracowaniu zmieszczono 114 rysunków, 33 tabele oraz 39 ponumerowanych wzorów matematycznych. Autorka odwołała się do 101 pozycji bibliograficznych, w tym do licznych książek i artykułów autorów zagranicznych, 11 publikacji autorów polskich oraz 21 opracowań o innym charakterze, takich jak dokumenty normatywne czy źródła internetowe. Spośród wszystkich cytowanych pozycji 15 zostało opublikowanych w ciągu ostatnich pięciu lat. Wszystkie odniesienia bibliograficzne zostały poprawnie przywołane w treści rozprawy.

**Rozdział pierwszy** będący wprowadzeniem do dysertacji podkreśla rosnącą popularność bezzałogowych statków powietrznych w różnych obszarach działalności ludzkiej, takich jak nauka, przemysł, wojsko, wymieniając możliwości zastosowań BSP, między innymi w systemach nadzoru, telekomunikacji, operacjach ratunkowych i transporcie. Przedstawiono klasyfikację BSP biorąc pod uwagę takie kryteria jak, wysokość operowania, rodzaj konstrukcji (samolot, wirnikowiec) oraz masę. Omówiono także kluczowe cechy projektowe różnych rodzajów usterzenia ogonowego oraz wyzwania związane z optymalizacją ich konstrukcji, w tym aerodynamiki w aspek-

cie stateczności. Rozdział porusza także przepisy dotyczące BSP, podkreślając znaczenie regulacji w Polsce i Unii Europejskiej. Ponadto zaprezentowano charakterystykę reprezentatywnych dla przedmiotu badań kilku BSP. W niniejszej charakterystyce skupiono się na prezentacji przeznaczenia, rodzaju konstrukcji i danych technicznych. Ponadto rozdział zawiera cel badań, tezę oraz zakres pracy.

Cel badań w moim tłumaczeniu brzmi następująco: *Niniejsza rozprawa doktorska ma na celu wykorzystanie zaawansowanych metod obliczeniowych do przeprowadzania symulacji różnych konfiguracji usterzenia drona i zrozumienia, w jaki sposób wpływają one na jego stateczność. Upraszczając, głównym celem rozprawy doktorskiej jest analiza i symulacja różnych konfiguracji usterzenia ogonowego BSP w celu zbadania ich wpływu na zachowanie odpowiedniej stateczności w locie.*

Ponadto Autorka sformułowała następującą tezę pracy: *Możliwe jest dobranie konfiguracji usterzenia pionowego danego bezzałogowego statku powietrznego (BSP) optymalnego pod względem spełniania kryteriów stateczności. Wybór ten uwzględnia typowe profile lotu i warunki operacyjne określone przez planowane zastosowanie BSP. W procesie optymalizacji można wykorzystywać wyniki pochodzące zarówno z podejścia symulacyjnego, jak i analitycznego.*

#### **Uwagi**

Niniejszy rozdział należy uznać za rozdział metodologiczny zawierający przesłanki do opracowania metodyki badań. Analiza piśmiennictwa oraz własne doświadczenia wynikające z pracy zawodowej pozwoliły Doktorantce na określenie celu rozprawy oraz postawienia odpowiedniej tezy. Przedstawiony przegląd literatury w ujęciu ogólnym jest odpowiedni do problematyki rozprawy. Doktorantka odniosła się do publikacji prezentujących problematykę przedmiotu badań, zarówno zawartą w różnego rodzaju dokumentach normatywnych krajowych i międzynarodowych oraz artykułach i wydawnictwach zwartych. Należy podkreślić, że Doktorantka dokonując przeglądu literatury przedmiotu badań zarówno polskiej, jak i zagranicznej określiła stan wiedzy oraz sformułowała sytuację problemową, z której wynikały dalsze kierunki badań. Rozdział ten jest bogato ilustrowany, co pozwala czytelnikowi łatwiej zrozumieć problematykę badań. Dzięki analizom Autorka pozyskała nową wiedzę dotyczącą przedmiotu badań. Na tej podstawie możliwe było określenie założeń badawczych do opracowania koncepcji dalszych badań. Generalnie, rozważania Autorki mają odniesienie do odpowiednich pozycji zawartych w bibliografii.

**W rozdziale drugim** określono przedmiot badań, którym jest bezzałogowy statek powietrzny Twin Stratos, zaprojektowany przez SkyTech eLab. Następnie przedstawiono jego charakterystykę, podkreślając że Twin Stratos został opracowany w ramach projektu LEADER. Jednym z celów projektu była analiza różnych konfiguracji usterzenia ogonowego w aspekcie zachowania odpowiedniej stateczności w locie. W rozdziale opisano różne modele Twin Stratos w skalach od 1:10 do 1:1, wskazując na ich zastosowania testowe i możliwości lotu na dużych wysokościach. Do dalszych badań wybrano model w skali 1:7 (TS17). Przedstawiono jego kluczowe parametry, takie jak masa startowa (9,8 kg), rozpiętość skrzydeł (3,6 m) oraz maksymalny czas lotu (24 godziny). Omówiono prognozę potencjalnych zastosowań Twin Stratos, takich jak: służby ratunkowe, telekomunikacja, meteorologia oraz badania środowiska, podkreślając możliwości Twin Stratos w długotrwałym i efektywnym wykonywaniu misji na dużych wysokościach.

#### **Uwagi**

Reasumując, należy podkreślić, że przedmiot badań został właściwie opisany. Wymieniono parametry techniczne Twin Stratos, istotne z perspektywy dalszych badań, przedstawiono możliwe scenariusze lotu w celu zbadania osiągnięć BSP.

**Rozdział trzeci** zawiera teoretyczne podstawy badań dotyczące stateczności BSP oparte na przeglądzie literatury. Zdefiniowano pojęcie stateczności i jej rodzaje. Podkreślono, że stateczność lotu zależy od wielu parametrów aerodynamicznych, takich jak: położenie środka ciężkości, wielkość powierzchni sterowych, kształt usterzenia ogonowego i prędkości lotu. Przeanalizowano również różne konfiguracje usterzenia ogonowego w aspekcie ich zalet i wad, w zależności od fazy lotu. Ponadto opisano metody badania stateczności wyróżniając metody analityczne, numeryczne i eksperymentalne, które są stosowane w projektowaniu BSP.

#### **Uwagi**

Przedstawione teoretyczne podstawy badań odnośnie stateczności zostały ujęte w sposób adekwatny do dalszych badań zarówno analitycznych, numerycznych, jak i eksperymentalnych. Zaprezentowany aparat matematyczny jest odpowiedni do planowanych badań analitycznych. Literatura została właściwie dobrana i można ją uznać jako część analizy piśmiennictwa przedmiotu badań.

**Rozdział czwarty** przedstawia metodykę przeprowadzania analiz aerodynamicznych stateczności BSP Twin Stratos. Niniejsza metodyka uwzględnia wiele aspektów założeń projektowych, skupiając się na określeniu optymalnej konfiguracji usterzenia ogonowego pod względem stateczności statycznej. Zaprezentowany schemat procedury badawczej obejmuje określenie geometrii BSP, w tym konfiguracji usterzenia ogonowego, parametrów lotu, identyfikację sił i momentów aerodynamicznych wpływających na zachowanie odpowiedniej stateczności w locie. Ponadto Autorka dokonała doboru kryteriów oceny stateczności na podstawie przeglądu literatury oraz określiła odpowiednią wartość wagi do każdego kryterium.

#### **Uwagi**

Rozdział czwarty należy uznać jako istotny w odniesieniu do przygotowania odpowiednich modeli, określenia parametrów BSP do badań właściwych. Z punktu widzenia realizacji celu pracy istotnym jest uwzględnienie przez Autorkę analizy różnych typów usterzenia ogonowego oraz ich wpływ na parametry lotu.

**W rozdziale piątym** Autorka prezentuje przygotowanie środowiska obliczeniowego do weryfikacji opracowanej metodyki badań. W tym celu opisano metodykę wykonania symulacji numerycznych przy użyciu oprogramowania ANSYS i XFLR5. Wspominane narzędzia dedykowane są między innymi do wyznaczania i analizy charakterystyk aerodynamicznych, zarówno pojedynczych elementów samolotu (BSP), jak i całości konstrukcji. Procedura badawcza obejmuje opracowanie modeli numerycznych, w tym dyskretyzację siatki obliczeniowej, wybór parametrów symulacji oraz interpretację wyników. Opracowana metodyka umożliwia przeprowadzenie badań porównawczych konfiguracji części ogonowej, oszacowanie błędu statystycznego analiz oraz numeryczne wyznaczenie optymalnej konfiguracji usterzenia ogonowego. Analiza polegała na porównaniu wyników uzyskanych w XFLR5 i ANSYS dla krytycznych warunków lotu oraz ocenie rozbieżności wyników w zależności od zastosowanego środowiska obliczeniowego. Wybór odpowiedniego środowiska dokonano na podstawie wyników dla tych samych parametrów lotu, określonych dla trzech krytycznych stanów wyznaczonych przez konstruktorów BSP Twin Stratos na podstawie jego obwiedni obciążeń oraz wybranego testowego lotu poziomego. Uwzględniono również ocenę stateczności na podstawie opinii pilota i testu Coopera-Harpera oraz porównanie wyników z rzeczywistym demonstratorem obiektu. Doktorantka podkreśla, że uzyskane wyniki pozwalają na ocenę poprawności i zbieżności przeprowadzonych analiz.

Przeprowadzono iteracyjne analizy stateczności BSP i rozkładu sił aerodynamicznych. Do weryfikacji wyników badań numerycznych, przeprowadzono testy w locie, mierząc parametry takie jak prędkość, kąty natarcia i siły aerodynamiczne. Na podstawie tych badań oceniono zgodność obliczeń numerycznych z rzeczywistymi wynikami. Rozdział kończy się zestawieniem wyników z ANSYS CFX i XFLR5, które porównano z danymi uzyskanymi w czasie lotów testowym w kolejnym rozdziale.

**Rozdział szósty** koncentruje się na wynikach badań w kontekście oceny stateczności aerodynamicznej różnych konfiguracji usterzenia ogonowego demonstratora technologii Twin Stratos. Na podstawie przeprowadzonych analiz numerycznych z wykorzystaniem oprogramowania ANSYS CFX i XFLR5 oraz obliczeń analitycznych dokonano oceny pięciu różnych wariantów usterzenia. Przedmiotową ocenę wykonano na podstawie porównania uzyskanych w sposób pośredni następujących parametrów aerodynamicznych: siła nośna, siła oporu, moment pochylający, przechylający i odchylający. Ostatecznie wybrano konfigurację w kształcie odwróconego V, jako najbardziej optymalną dla badanego BSP. Wyniki badań przedstawiono w formie zestawień tabelarycznych oraz wykresów. Autorka podkreśla, że narzędzie ANSYS CFX zapewnia bardziej precyzyjne modelowanie turbulencji przepływu i efektów nieliniowych, szczególnie przy ekstremalnych kątach natarcia. Natomiast zaletą oprogramowania XFLR5 są szybsze obliczenia, a wadą uproszczone modelowanie przepływu powietrza, co może prowadzić do niedokładności w bardziej złożonych warunkach.

### **Uwagi**

Niniejsze uwagi dotyczą rozdziału piątego i szóstego, które zawierają merytoryczny wkład autorski Doktorantki, stanowiąc nowatorskie podejście do projektowania BSP w obniesieniu do uzyskania pożądanых charakterystyk aerodynamicznych. Podkreślenia wymagają opracowane algorytmy dotyczące procedury badawczej, które pozwalają zaplanować i przeprowadzić badania w sposób przemyślany i metodyczny. Jednym z istotnych elementów modelowania numerycznego jest dyskretyzacja siatki obliczeniowej. Parametry siatki takie jak, w szczególności kształt, wielkość elementów kończonych, gęstość siatki może wpływać na wyniki. Dlatego znaczącym jest fakt przeprowadzenia przez Autorkę analiz różnych parametrów dyskretyzacji i wybór odpowiednich dla przedmiotu badań. Ponadto należy podkreślić wykorzystanie do analiz numerycznych dwóch niezależnych programów.

**W rozdziale siódmym** zawarto wnioski podsumowujące, stanowiące syntetyczny opis oceny realizacji celu dysertacji, najważniejsze osiągnięcia Autorki wynikające z toku pracy. Rozdział kończą perspektywy dalszych badań.

### **3. Ocena merytoryczna rozprawy**

W mojej ocenie podjęcie prowadzenia badań w zakresie innowacyjnych metod optymalizacji projektowania BSP jest jak najbardziej aktualne i uzasadnione. Recenzowana dysertacja nawiązuje do aktualnej wiedzy i praktyki związanej z obszarem techniki BSP, wnosząc do niej nowe treści. Przyjęty przez Doktorantkę cel pracy, jej zakres został sformułowany poprawnie, zarówno pod względem merytorycznym, jak i proponowanych rozwiązań. Z punktu widzenia określonych celów zastosowane narzędzia i metody badawcze są adekwatne do przyjętych założeń. W rozprawie zawarto odpowiedni materiał rozważań teoretycznych do problematyki pracy. Z przedstawionej powyżej charakterystyki poszczególnych rozdziałów pracy wynika, iż rozprawa cechuje się elementami oryginalności. Treści ocenianej rozprawy są zgodne ze spisem treści, oznaczeniami i kolejnymi rozdziałami, które są w większości poprawnie nazwane i dają obraz wiedzy w nich zawartej. Rozdziały te są logicznie ułożone z dobrym, spełniającym zasadę wynikania, powiązaniem ich treści. Analizując treści rozprawy daje się zauważyć ponadprzeciętny wkład pracy Doktorantki. Świadczy o tym szeroki zakres przeprowadzonych badań, ich wielowątkowość i wieloaspektowość prezentacji wyników.

Doktorantka zrealizowała cel dysertacji opracowując autorską spójną metodę badawczą umożliwiającą porównanie różnych konfiguracji usterzenia ogonowego i wybranie optymalnej w aspekcie zachowania stateczności w locie. Takie rozwiązania nie są powszechne w istniejącej literaturze, co stanowi wartościowy wkład do przedmiotu badań. Niezwykle cennym w dysertacji jest zwrócenie uwagi na problematykę braku odpowiednich regulacji prawnych dotyczących lotów bezzałogowych statków powietrznych typu HALE. Obecne przepisy, zarówno europejskie, jak i polskie, nie uwzględniają specyficznych wymagań i możliwości tych konstrukcji, co znacząco ogranicza ich pełny potencjał operacyjny. W rezultacie projektanci muszą opierać się na normach dla samolotów załogowych i szybowców, co prowadzi do nadmiernego zwiększenia parametrów bezpieczeństwa.

Należy podkreślić inwencję twórczą doktorantki polegającą na profesjonalnym wykorzystaniu dwóch programów XFLR5 i ANSYS CFX w celu przeprowadzenia porównawczych analiz numerycznych przedmiotu badań. Powyższe oznacza, że Autorka posiada umiejętność wykorzystania specjalistycznych oprogramowań jako narzędzi badawczych. Istotnym jest również dokonanie, w sposób pośredni, weryfikacji uzyskanych wyników w oparciu o wyniki przeprowadzonego eksperymentu w locie.

Oprócz wartości poznawczych, naukowych przejawiających się w szczególności w autorskim opracowaniu innowacyjnej metodyki optymalizacji projektowania BSP klasy HALE, uwzględniającej specyficzne wymagania i ograniczenia operacyjne, praca ma charakter użytkowy o dużym potencjale aplikacyjnym. Uzyskane wyniki i opracowana metodyka stanowią cenny wkład w rozwój przedmiotu badań stanowiąc podstawę dla przyszłych badań w obszarze bezzałogowych statków powietrznych. Równie istotnym jest możliwość zastosowania proponowanych rozwiązań w projektowaniu nowych bezzałogowych statków powietrznych klasy HALE. Autorka skutecznie połączyła elementy teorii aerodynamiki oraz modelowania numerycznego w jedną spójną metodykę optymalizacji projektowania konstrukcji BSP w aspekcie doboru usterzenia ogonowego. Biorąc powyższe wnioski pod uwagę uważam, że teza postawiona w pracy została udowodniona. Na podkreślenie zasługuje bogata ikonografia zawarta w rozprawie, która czyni pracę bardziej przyciągającą i zrozumiałą dla czytelnika.

Reasumując, oryginalne osiągnięcie naukowe Pani mgr inż. Pauliny Zenowicz, w głównej mierze polega na opracowaniu metodyki optymalizacji projektowania BSP w zakresie doboru usterzenia ogonowego, które spełnia kryteria stateczności w locie. Powyższe uwagi są przesłanką do stwierdzenia, że Doktorantka zdobyła kompetencje do samodzielnej pracy naukowej. Ponadto do najważniejszych rezultatów pracy zawierających potencjał nowości zaliczam:

- opracowanie algorytmów procedury badawczej;
- przygotowanie środowiska obliczeniowego;
- wykonanie analiz numerycznych z wykorzystaniem dwóch programów;
- weryfikacja wyników badań analitycznych i numerycznych na podstawie danych uzyskanych w lotach eksperymentalnych przedmiotowego BSP.

Te mocne strony czynią pracę istotnym i wartościowym źródłem wiedzy oraz potencjalnie użytecznym narzędziem dla dalszych badań i praktycznego zastosowania w projektowaniu i zastosowaniu BSP w praktyce.

#### 4. Uwagi do rozprawy

Poza przedstawionymi ewidentnymi, pozytywnymi cechami dysertacji należy zwrócić uwagę, że praca posiada pewne mankamenty i niedoskonałości. Ogólnie praca spełnia kryteria, rekomendacje odnośnie struktury pracy naukowej. Jednak w mojej ocenie streszczenia w języku polskim i angielskim powinny znajdować się na początku dysertacji. W opracowaniu brak jest spisu akronimów, oznaczeń, tabel i rysunków. W analizie literatury przedmiotu badań Doktorantka ograniczyła się do krótkiej charakterystyki przeznaczenia i parametrów sześciu BSP, nie wspominając o konfiguracji usterzenia pionowego, co jest przedmiotem badań. We wprowadzeniu, w podrozdziale 1.6 Autorka określiła cel, tezę i zakres pracy oraz enigmatyczną wzmiankę dotyczącą metod prowadzenia badań. W mojej ocenie korzystnym dla dysertacji byłoby w tym miejscu zawrzeć szerszą informację odnośnie zastosowanych programów numerycznych, ogólny algorytm przeprowadzenia badań oraz jakie przesłanki skłoniły Doktorantkę do wyboru takich, a nie innych metod, w tym oprogramowania. Ponadto we Wprowadzeniu zabrakło określenia zawartości poszczególnych rozdziałów. Przeważnie studiując Wprowadzenie staramy się uzyskać informację dotyczącą problematyki zawartej w rozdziałach oraz znaleźć ich krótką charakterystykę. Podrozdział 3.4.3. na str. 40 zawiera krótki opis metod eksperymentalnych przedmiotu badań. W mojej opinii wskazane byłoby zamieścić komentarz, która metoda została wybrana przez Doktorantkę i jej uzasadnienie. Uwzględnienie powyższych uwarunkowań ułatwiłoby śledzenie wyводу Autorki w dalszej części rozprawy.

Ponadto praca zawiera kilka drobnych potknięć merytorycznych. W mojej opinii na rysunku 21, str. 26, krzywe współczynnika momentu pochylenia w funkcji kąta natarcia mają niewłaściwy przebieg. Z wykresu wynika, że dla zerowego kąta natarcia współczynnik momentu ma również wartość zero, z czym się nie zgadzam. Ponadto na wykresie brakuje krzywej *Neutral Point*. Natomiast pod nim jest jej opis. Z kolei rys. 28 na str. 38 zawiera niezdefiniowane oznaczenia sił i momentów, w tekście jest wątpliwe odniesienie do rysunku. W tabeli 17 na str. 85 z porównania kąta natarcia z prędkością wynikałoby, że większej prędkości odpowiada większy kąt natarcia, co jest ra-

czej wątpliwe. Na str. 92 z opisu kątów  $\Phi$ ,  $\Theta$ ,  $\Psi$  wynika, że są to kąty pochylenia, przechylenia i odchylenia. Natomiast wykresy 96-100, sądząc po kształcie krzywych, dotyczą siły nośnej, oporu i momentów w funkcji kąta natarcia. Ponadto potwierdzeniem tego jest informacja zawarta na str. 93. Z kolei przed rysunkiem 96 jest opis, że będą to wykresy siły, oporu i momentów w funkcji kąta pochylenia. Pod rysunkiem jest jeszcze wprowadzony kąt inklinacji. Jak widać z powyższego Doktorantka wprowadziła trochę chaosu w swoich rozważaniach.

W rozprawie brak jest dyskusji, to jest odniesienia, porównania osiągniętych wyników z wynikami innych autorów. Na tej podstawie istniałaby możliwość określenia ewidentnych zalet proponowanej autorskiej metodyki badań stateczności usterzeń ogonowych BSP. Bibliografia zamieszczona w rozprawie jest bogata i dobrana odpowiednio do tematu i zakresu poruszanych problemów, aczkolwiek zbiór liczy tylko 15 pozycji z ostatnich 5 lat, nie licząc źródeł internetowych.

Nie wypowiadam się na temat poprawności użycia języka angielskiego, aczkolwiek pewne terminy, pojęcia budzą moje wątpliwości. Postanowiłem jednak pominąć je w recenzji. Ikoniczna strona dysertacji w zasadzie nie budzi moich zastrzeżeń. Wykresy, rysunki, schematy zostały opracowane w większości starannie, są czytelne i zrozumiałe, może poza niektórymi.

Szczegółowe uwagi zamieściłem poniżej:

- str. 7, rys. 2 jest skanem, powinien być wykonany przez Doktorantkę;
- str. 10, rys. 6, trudno czytelny opis wymiarów;
- str. 19, tab. 6, brak zakresu prędkości;
- str. 15, rys. 15, słaba jakość, mało przydatny w pracy;
- str. 31, 32, rys. 25, 26, 27, słaba jakość prezentacji osi współrzędnych;
- str. 42, jest tylko wzmianka o teście Coopera-Harpera, brak interpretacji testu umieszczonego na rys. 29. Interpretacja powinna być zawarta pod rysunkiem. Zakończenie rozdziału rysunkiem jest niewłaściwe;
- str. 73, rys. 65, trudno czytelny opis jednostek na osiach współrzędnych;
- str. 74, 75 rys. 73, 74, słaba jakość;
- str. 87, tab. 18, w kolumnie 3 ujemna prędkość (-5 m/s);
- str. 92 rys. 95, układ współrzędnych inny od pozostałych, oś y jest osią podłużną, powinna być oś x;

Wymienione niedociągnięcia nie mają zasadniczego wpływu na wartość merytoryczną rozprawy, jednak sędzę, że Doktorantka powinna wziąć je pod uwagę celem wyciągnięcia wniosków na przyszłość i pamiętać o zasadzie, że każdy rysunek, tabela, wzór matematyczny zamieszczony w pracy naukowej musi mieć odniesienie, interpretację w tekście.

### **5. Pytania do Autorki**

1. Dlaczego Pani przeprowadzała badania na wysokości 1000 m?, skoro badany BSP jest przeznaczony do lotów na dużej wysokości. Uważam, że wykorzystywane oprogramowania umożliwiają symulacje parametrów atmosfery na dużej wysokości. Ponadto jakie przesłanki merytoryczne skłoniły Panią do wyboru takich warunków lotów. Dlaczego nie wybrała Pani parametrów atmosfery wzorcowej dla wysokości 1000 m.
2. Na str. 64 w tabeli 15 zamieściła Pani krytyczne warunki lotu, podając informację, że zostały one określone na podstawie obwiedni obciążeń. Czy mogłaby Pani przedstawić nam obwiednię obciążeń przedmiotowego BSP i zaprezentować sposób wyznaczania poszczególnych parametrów. Czy te parametry odpowiadają prędkości minimalnej optymalnej i maksymalnej? Jakim warunkom lotu odpowiada kąt natarcia  $-5^\circ$ ?
3. W jaki sposób uzyskała Pani dane do tabeli 10? W treści jest tylko wzmianka o podrozdziałach 4.1-4.4.
4. Czy Opracowana przez Panią metoda uwzględnia warunki brzegowe, jeśli tak to jakie? Czy wykorzystywane programy CFD umożliwiają analizy stateczności wprost czy w sposób pośredni w pełnym zakresie operacyjnym (prędkość, wysokość)?
5. W jaki sposób Pani metoda może być zastosowana w praktyce?
6. Czy w opracowanej metodzie Autorka przewidziała jej ograniczenia, niedoskończoności w aspekcie funkcjonalności?

### **6. Wniosek końcowy**

W podsumowaniu należy stwierdzić, że treść i struktura dysertacji, użyte do badań metody, osiągnięte wyniki wskazują, że Doktorantka osiągnęła odpowiedni poziom wiedzy i warsztatu badawczego w zakresie dyscypliny inżynierii mechanicznej.

Zawartość rozprawy świadczy o wystarczającym przygotowaniu Doktorantki do samodzielnego prowadzenia badań naukowych.

Stwierdzam zatem, że praca spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim zawarte w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (Dz.U. z 2023r., poz. 742 z dnia 20.04.2023r.z póź. zm.). W związku z powyższym wnoszę do Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Śląskiej o przyjęcie dysertacji Pani mgr. inż. Pauliny Zenowicz jako rozprawy doktorskiej i dopuszczenie jej Autorki do dalszych etapów realizacji przewodu doktorskiego.

Prof. J. Ćwiklak

/podpis odręczny/

\*wyłączenie jawności w zakresie danych osobowych oraz ochrony prywatności osoby fizycznej na podstawie art. 5 ust. 2 ustawy z dnia 6 września 2001 r. o dostępie do informacji publicznej (tj. Dz.U. z 2016 r., poz. 1764)