
Rzeszów 02.08.2021 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Konrada Kozaczuka
**p.t. "Techniczne i technologiczne aspekty projektowania kompozytowych łopat
wirników nośnych śmigłowców"**

wykonanej pod kierunkiem prof. dr. hab. inż. Witolda Wiśniowskiego

Podstawa: *Pismo Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Warszawskiej nr RNDIM/III/5/2021 - decyzja RNDNIM z dnia 7 kwietnia 2021 r. (pismo z dnia 18.05.21).*

Wprowadzenie

Łopaty wirnika nośnego śmigłowców pomimo tego, że są jego częścią, są również samodzielnym produktem. Można je przekładać pomiędzy śmigłowcami lub wymieniać w ramach jednego śmigłowca. Dotychczasowe konstrukcje łopat stosowane na śmigłowcach użytkowanych w Polsce (pochodzących z produkcji rodzimej lub z rodziny Mi) wymagały stosowania pełnych kompletów łopat. Łopaty cechowały się znaczną niepowtarzalnością ich cech sztywnościowo - masowych i aerodynamicznych, a do prawidłowego ich stosowania konieczne było dobieranie łopat wspólnie i wymiana całymi kompletami.

Główne problemy jakie stoją przed producentami łopat wirników nośnych śmigłowców i ich konstruktorami to:

- Opracowanie technologii wytwarzania łopat dających powtarzalność ich cech aerodynamicznych i sztywnościowo - masowych;
- Opracowanie konstrukcji łopat umożliwiające wymianę pojedynczej łopaty w wirniku bez konieczności dobierania jej do pozostałych łopat zabudowanych na śmigłowcu;
- Dobór materiałów kompozytowych pod względem spójnych ze sobą cykliów utwardzania.

Główne problemy napotymane podczas projektowania łopat to:

- Zapewnienie wymaganej odporności na flutter, poprzez odpowiednie dobranie dodatkowych mas przeciwflutterowych oraz ich położenia wewnątrz struktury łopaty;
- Zapewnienie wymaganej wytrzymałości zmęczeniowej i statycznej poszczególnych sekcji łopaty (nasada, część sphywowa, końcówka łopaty);
- Dobór materiałów z uwzględnieniem ograniczeń z REACH¹ (rozporządzenie EU w zakresie ochrony środowiska i stosowania materiałów chemicznych);
- Dobór współpracujących ze sobą materiałów metalowych pod względem trybologicznym i korozyjnym: złącze łopata - głowica;
- Dobór i analiza profilu oraz geometrii łopaty w celu zapewnienia przez konstrukcję wymaganych własności aerodynamicznych i aeroelastycznych.

Wirnik nośny jest jednym z głównych generatorów hałasu w śmigłowcach stąd nowe technologie ich wytwarzania powinny ten aspekt uwzględniać i zmniejszać sygnaturę emitowanego hałasu. Jest to też ważne wyzwanie dla projektantów śmigłowców.

W świetle powyższego podjęta przez Doktoranta tematyka pracy wpisuje się w trendy rozwoju techniki śmigłowcowej niezależnie czy są to śmigłowce pilotowane czy też bezzałogowe.

1. Ogólna charakterystyka rozprawy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Konrada Kozaczuka liczy 118 stron. Zawiera spis treści, streszczenie (w języku polskim i angielskim), wykaz ważniejszych oznaczeń i skrótów oraz jedenaście rozdziałów zawierających wstęp, tezę pracy, opis przeprowadzonych prac i podsumowanie. Całość zakończona jest spisem literatury.

We wstępie Autor dokonuje przeglądu technologii i konstrukcji wirników nośnych śmigłowców. Przedstawiony został krótki rys historyczny obejmujący opis rozwoju konstrukcji śmigłowców w Polsce. Następnie Autor opisuje podstawowe

¹ Registration, Evaluation and Authorisation of Chemicals – rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1907/2006

elementy konstrukcji łopat wirników nośnych. Rozdział zakończony jest krótką charakterystyką kilku komercyjnych rozwiązań konstrukcyjnych oferowanych przez wiodących światowych producentów.

Rozdział drugi zawiera tezę pracy, jej cel oraz opis metody realizacji pracy. Szerszy opis i uwagi do tego rozdziału podane zostaną na kolejnych stronach recenzji.

Kolejne rozdziały zawierają informacje sprawozdawcze z przeprowadzonych prac. Autor opisuje kolejno założenia do projektu wstępnego i technicznego łopaty wynikające z wymagań określonych poprzez konstrukcję śmigłowca ILX-27, do którego przeznaczona jest łopata będąca przedmiotem pracy. Wskazane wymagania podyktowane są również przepisami budowy statków powietrznych i dostępną technologią wykonania. Opisy te obejmują projekt aerodynamiczny, kryteria doboru materiałów kompozytowych oraz informacje o projekcie wstępnym, wytwarzaniu elementów prototypowych i przeprowadzonych badaniach doświadczalnych.

Merytoryczną część pracy kończy rozdział zawierający podsumowanie i wnioski z przeprowadzonych prac.

Na końcu pracy zamieszczono spis literatury, zawierający **jedynie 39 pozycji**, wśród których znaleźć można **tylko jeden artykuł w czasopiśmie recenzowanym**. Pozostałe pozycje to odwołania do podręczników i książek popularno-naukowych, sprawozdań, przepisów lub źródeł internetowych. W spisie literatury nie uwzględniono także żadnej pozycji autorstwa Doktoranta.

2. Ocena rozprawy

Przedstawiona do recenzji rozprawa jest szczegółowym sprawozdaniem z przeprowadzonych prac inżynierskich obejmujących czynności związane z projektowaniem, wytwarzaniem i badaniami kompozytowej łopaty wirnika nośnego śmigłowca. **Zdaniem recenzenta praca ta jednak nie stanowi rozprawy naukowej w myśl stosownej ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018 poz. 1668 ustawa z dnia 20 lipca 2018 r.)**. Autor nie zastosował aparatu naukowego, a jedynie sprawozdawczo poinformował o przeprowadzonych czynnościach. Brak jest również krytycznego przeglądu literatury naukowej świadczącej o zidentyfikowaniu

rozważanego zagadnienia jako aktualnej i oryginalnej (art.187 pkt. 3 wzmiankowanej ustawy) tematyki badawczej w **dyscyplinie inżynieria mechaniczna**².

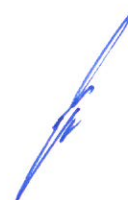
Jako tezę pracy Autor podaje możliwość uzyskania optymalnych parametrów konstrukcyjnych projektowanego rozwiązania technicznego dzięki zastosowaniu odpowiednio dobranych, ukierunkowanych i wytworzonych materiałów kompozytowych. Stwierdzenie takie nie może stanowić tezy pracy naukowej, ponieważ ma charakter zbyt ogólny i nie wskazuje jakim zagadnieniem badawczym zajmować się będzie Autor i jaki problem naukowy zamierza rozwiązać. Nigdzie w tekście nie określono też kryteriów optymalizacji, jej metod i narzędzi, które pozwoliłyby na jej przeprowadzenie.

Cel pracy opisany jest jako „*opracowanie i wdrożenie kompleksowej metody projektowania oraz opracowanie technologii wykonania kompozytowych łopat wirnika nośnego*”. Jednakże z tekstu pracy nie wynika, że Autor opracował metodę projektowania łopat. Autor podaje jedynie kolejne kroki, które zostały podjęte w celu realizacji prac projektowych. Opracowanie technologii wykonania łopat w tym przypadku jest działalnością typowo inżynierską, ponieważ Autor nie proponuje nowej technologii, ani żadnego udoskonalenia, a jedynie wybiera technologię ze zbioru już znanych rozwiązań.

W rozdziale 5, który zatytułowany jest jako *Projekt aerodynamiczny łopaty* Autor podaje jedynie ograniczenia geometrii wynikające z przyjętych założeń konstrukcyjnych i zamieszcza krótki opis przeprowadzonych obliczeń. Podano nazwy wykorzystanego oprogramowania, ale nie wskazano nawet jakie metody numeryczne zaimplementowano w tym oprogramowaniu. Brak jest szczegółowych informacji o sposobie przeprowadzenia obliczeń, dyskretyzacji modelu i warunkach brzegowych. Autor przedstawia wyniki w formie jednego rysunku (rys. 30) nie komentując co on przedstawia. Brak jest jakiegokolwiek dyskusji otrzymanych wyników. Autor jedynie stwierdza, że wybrano docelową geometrię, ale nie podaje jakie było kryterium wyboru i jak wyglądał proces projektowania.

Rozdział 6 poświęcony został na opis wyboru materiałów kompozytowych, które miały zostać wykorzystane do budowy prototypu łopaty i sposobu ich kwalifikacji.

² Dawniej budowa i eksploatacja maszyn



Rozdział ten również stanowi opis typowych zadań inżynierskich. Jedynie podrozdział 6.2.3 dotyczący obliczeniowych danych materiałowych dla preimpregnatów i rowingu szklanego ma charakter dyskusji naukowej. Oparty jest jednak tylko na jednej pozycji literaturowej, którą stanowi opracowanie organizacji SAE³ dotyczące stosowania materiałów kompozytowych.

W rozdziale 7 zatytułowanym *Projekt konstrukcyjny łopaty* Autor stwierdza jedynie, że „*W ramach każdego etapu wykonano prace projektowe, obliczenia wytrzymałościowe,...*”. W rozdziale tym nie ma jednak opisu tych działań. Zamieszczono głównie fotografie i rysunki dokumentujące kolejne etapy wytwarzania prototypowych egzemplarzy łopaty. W kilku miejscach podano informacje, że „*wykonano analizy wytrzymałościowe*” lub „*opracowano model MES*”. Autor nie zawarł jednak żadnych opisów tych analiz. W podrozdziale 7.2 nie podano nawet wyników analiz wytrzymałościowych. Autor zawarł jedynie informację, że „*... wykonano analizy wytrzymałościowe, na podstawie których zwymiarowano przekroje dźwigara...*”. Podobnie w rozdziale 7.3.8 podano jedynie informację, że wykonano analizy drgań własnych łopaty, ale nie podano sposobu ich przeprowadzenia, ani ich wyników. Podrozdział 7.3.7 zatytułowano „*Optymalizacja struktury łopaty i wyważenia...*”. W tekście Autor stwierdza jedynie, że prace miały charakter iteracyjny i w kilku słowach opisuje, że uzyskano wymagane parametry konstrukcyjne!!!. Brak jest dyskusji wyników pośrednich i opisu wykorzystanej metody optymalizacyjnej. Podsumowanie rozdziału stanowią dwa zdania, które wskazują, że osiągnięto wymaganą sztywność łopaty, zapewniono bezpieczeństwo pracy konstrukcji i przygotowano dokumentację techniczną. Brak jest dyskusji nad otrzymanymi rezultatami i wykorzystanymi metodami projektowania, a zaznaczyć należy, iż Autor jako jeden z celów pracy podaje „*opracowanie i wdrożenie kompleksowej metody projektowania...*”.

Podobny charakter mają pozostałe rozdziały. W rozdziale 8 opisano budowę docelowego prototypu łopaty, a w rozdziałach 9 i 10 przedstawiono wyniki badań doświadczalnych w zakresie statycznych pomiarów sztywności i sprawdzenia

³ SAE International, pierwotnie Society of Automotive Engineers – zawodowa organizacja skupiająca inżynierów zajmujących się motoryzacją, lotnictwem i maszynami wykorzystywanymi w przemyśle. Organizacja ta standaryzuje urządzenia takie jak samochody, ciężarówki, łodzie, samoloty, sprzęt budowlany itp.

poprawności pracy wirnika w warunkach dynamicznych. Rozdziały te również stanowią sprawozdawczy opis przeprowadzonych prac inżynierskich.

W podsumowaniu Autor stwierdza, że „*W pracy zaprezentowano metodykę projektowania opartą o szczegółowe badania materiałów kompozytowych, projekt CAD oraz analizy numeryczne*”. Tekst pracy jednak tego nie potwierdza. W pracy nie opisano w zadowalający sposób żadnej analizy numerycznej. Podawane były tylko ich wyniki lub zaznaczono jedynie, że zostały przeprowadzone, ale nie komentowano w żaden sposób ich rezultatów. Nie przedstawiono również metody projektowania łopaty, a opisano jedynie w pobieżny sposób kolejne etapy wyboru ich geometrii. Autor sformułował również osiem wniosków z przeprowadzonych prac, ale żaden z nich nie ma charakteru naukowego. Stwierdzono jedynie, że przyjęte metody projektowania i technologia wykonania są poprawne.

Krytycznie odnieść się należy również do spisu literatury, który zawiera tylko jedną pozycję z czasopisma naukowego (Prace Instytutu Lotnictwa). Pozostałe pozycje w głównej mierze obejmują sprawozdania dotyczące realizacji projektu śmigłowca ILX-27. Tym samym nie ma publikacji, które zostały pozytywnie zweryfikowane przez naukowców zajmujących się podobną problematyką. To jest karygodne uchybienie metodologiczne w pracy naukowej.

Podsumowując, w przedstawionej do recenzji rozprawie nie wskazano żadnego problemu naukowego, którego rozwiązania podjął się Autor. Praca stanowi ciekawe i wartościowe opracowanie inżynierskie, ale nie można w przedstawionej formie jej uznać za rozprawę naukową.

W wielu miejscach rozprawy Autor wprost nazywa swoje działania projektem (str. 40 *Główne wyzwania projektu*), a poszczególne etapy jego realizacji zadaniami, które jak zaznaczono w tekście, wykonywały różne zespoły. Praca jest sprawozdaniem z działalności inżynierskiej jaką było zaprojektowanie, wyprodukowanie i badania **kompozytowych łopat wirnika nośnego do konkretnej konstrukcji** - śmigłowca bezzałogowego ILX-27.

Z uwagi na brak jakiegokolwiek krytycznej interpretacji uzyskanych i przedstawionych w pracy wyników badań, Autor nie daje szans na podjęcie merytorycznej dyskusji naukowej nad zaprezentowaną problematyką. Przedstawione badania mają charakter badań dowodowych (technicznych) dla potrzeb np. Urzędu

Lotnictwa Cywilnego w celu np. uzyskania dopuszczenia śmigłowca do lotów. Jak wspomniano wcześniej jedynym fragmentem w przedstawionej pracy mającym znamiona dyskusji naukowej, który jest godny szczególnego zainteresowania, jest ten poświęcony obliczeniu danych materiałowych dla preimpregnatu MTM-44-1 oraz rowingu szklanego (podrozdział 6.2.3 str. 57...60).

3. Uwagi edycyjne i szczegółowe

- W pracy występują liczne błędy składu tekstu (sierotki i bękarty) oraz dość znaczna liczba błędów interpunkcyjnych;
- Nie odnosząc się do konkretnych stron, stwierdzam, że w całości tekstu pracy jest brak konsekwencji Autora w stosowaniu układu SI.
- Na str. 12 ostatni wiersz - brak jednostki w okresach między remontowych;
- Na str. 14 jest stwierdzenie „...w śmigłowcu PZL Kania zamontowano kompozytowe łopaty wirnika nośnego i śmigło ogonowe.” To wcześniej tego śmigła nie było?
- Str. 18 jest „Rozrzut gęstość...”, chyba gęstości;
- Str. 20 „Wytrzymałość na rozciąganie...w warunkach pokojowych będzie wynosić około 1 GPa.” – skąd to wiadomo? Dodatkowo chyba chodzi o warunki standardowe (zgodne z atmosferą wzorcową wg Międzynarodowej Organizacji Normalizacyjnej ISO) a nie pokojowe? Lepiej byłoby jasno określić dla potrzeb prowadzonych rozważań co to są te warunki pokojowe.
- Str. 21 jest „Na rys. 12 widać pasy dźwigara...” – raczej przedstawiono;
- Str. 22 jest „...konstrukcja oparta o ideę skrzydła szybowcowego” – co oznacza ta idea? A może chodzi o konstrukcję półskorupową lub skorupową? No nie wiem.
- Str. 23 ostatnie zdanie „W konstrukcjach części spływowej przekładkowych...” – o co Autorowi chodziło?
- Str. 24 „Gęstość użytego materiału...*i dalej* ...a wytrzymałość wystarczająca.” Co to jest ta wytrzymałość wystarczająca?
- Str. 25 pierwsze zdanie „Blacha stalowa była dość gruba zaburzając geometrie (chyba powinno być - ę) profilu i jednocześnie dość sztywna”. Co jest tą miarą „dość”?

- Str. 45 rys. 29 – czy Autor nie uważa, że podpisanie tego rysunku „Projekt aerodynamiczny łopaty...” jest nadużyciem. Przecież na nim niczego nie przedstawiono, nic nie zwymiarowano i nie określono np. profilu aerodynamicznego, zwichrzenia aerodynamicznego i geometrycznego łopaty itp.
- Str. 46 rys. 30 – a co z tego rysunku wynika, jakie wnioski płyną, jaka jest interpretacja uzyskanych wyników rozkładu ciśnienia na łopacie wirnika nośnego?
- Str. 41 „Prędkość obrotowa wału wirnika...” – powinno być prędkość kątowna.
- Str. 88 Trzecie zdanie od dołu „...aby środek ciężkości znajdował się przed osią przekręceń.” Czy Autor miał na myśli oś środków sił poprzecznych? To samo znajduje się na rysunku 47.
- Str. 91 brak opisu osi na rysunku 48 i 49 oraz brak legendy, pewne wartości na nich przedstawione są niewidoczne.

4. Wniosek końcowy

Na podstawie powyżej przedstawionej krytycznej analizie uważam, że rozprawa doktorska mgr. inż. Konrada Kozaczuka p.t. *"Techniczne i technologiczne aspekty projektowania kompozytowych łopat wirników nośnych śmigłowców"*, w przedstawionej postaci, **nie spełnia** warunków określonych w art. 187, ust. 2, 3. Ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018 poz. 1668 ustawa z dnia 20 lipca 2018 r.). Autor nie dowiódł pracą, że rozwiązał **samodzielnie** wyodrębniony problem naukowy w **dyscyplinie inżynieria mechaniczna**, i że przedmiotem rozprawy jest oryginalne rozwiązanie w zakresie zastosowania wyników **własnych badań naukowych** w sferze gospodarczej, projektowej, konstrukcyjnej czy też technologicznej. Świadczą też o tym sformułowania Autora zawarte na następujących stronach pracy:

- Od str. 41 – „Rozdział 4 *Definicja wymagań konstrukcyjnych dla łopaty*” – Cyt.: Zadanie zostało wykonane przez zespół biura konstrukcyjnego Centrum Nowych Technologii ILOT;
- Od str. 45 – „Rozdział 5 *Projekt aerodynamiczny łopaty*” – Cyt.: Zadanie zostało zrealizowane przez Zakład Aerodynamiki ILOT;



- Od str. 95 – „Rozdział 7.3.8 Wykonanie analizy drgań własnych łopaty” –
Cyt.: Zadanie zrealizował dr Jarosław Stanisławski z Centrum Technologii
Lotniczych ILot.

W związku z powyższym, **nie rekomenduję** Szanownej Radzie Naukowej
Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Warszawskiej wniosku o przyjęcie ww.
pracy doktorskiej i dopuszczenie Pana mgra inż. Konrada Kozaczuka do jej publicznej
obrony jako podstawy do nadania stopnia naukowego **doktora nauk technicznych**
w dyscyplinie „inżynieria mechaniczna⁴”.

Mark Orlowski

⁴ Dawniej „budowa i eksploatacja maszyn”

