

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Damiana Macieja Gołosia pt.: „Konstrukcja, synteza i badania autopilota ppk typu SALH z funkcją Top Attack”.

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgr inż. Damiana Macieja Gołosia pt.: „Konstrukcja, synteza i badania autopilota ppk typu SALH z funkcją Top Attack”. Funkcję promotora doktoratu pełnił dr hab. inż. Krzysztof Kopczyński, prof. WAT, a promotora pomocniczego dr inż. Konrad Sienicki. Recenzja została opracowana na prośbę Rady Dyscypliny Naukowej Automatyki, Elektroniki, Elektrotechniki i Technologii Kosmicznych Wojskowej Akademii Technicznej im. Jarosława Dąbrowskiego w Warszawie.

1. Wstęp i tematyka pracy

Rozwój w zakresie optoelektroniki i algorytmów sterowania leży u podstaw dynamicznego postępu współczesnych systemów. Przeznaczenie systemu nakłada na układy sterowania różne wymagania optymalizacyjne, odmienne dla jednostek stacjonarnych, a inne dla autonomicznych. Ostatnie pracują zwykle w środowisku wielu zmiennych, które pozyskują w drodze komunikacji z jednostkami zewnętrznymi lub w ramach własnych czujników pokładowych. Istotny jest w tym obszarze poziom integracji, często wymuszony limitowaną pojemnością energii bądź krótkim czasem reakcji. Do takich zaliczamy m.in. drony czy pociski militarne o funkcjonalności zmiany kursu podczas lotu. Nadto, te ostatnie muszą spełniać określone parametry bojowe przy równoczesnym uwzględnianiu aspektów bezpieczeństwa i ekonomiki. W tym obszarze lokalizuje się rozprawa doktorska mgr inż. Damiana Gołosia, dotycząca opracowania algorytmu autopilota przeciwpancernego pocisku kierowanego (ppk).

2. Aktualność i cel rozprawy doktorskiej

Aktualność tematyki wynika z kilku aspektów zarówno badawczych jak i użytecznych. Aplikacyjność jest związana z zapewnieniem bezpieczeństwa wymuszającego w obecnym czasie posiadanie własnych systemów wyposażonych w technologię możliwie skuteczną jakim jest np. niszczenie celów w wyniku uderzenia z górnej półsfery (Top Attack) przy zastosowaniu optymalnej konstrukcji w rozumieniu dostępności komponentów optoelektronicznych. Aspekt badawczy dotyczy implementacji oprogramowania autopilota ppk na podstawie nowego algorytmu kierowania powstałego w wyniku opracowania modelu matematyczno-fizycznego wraz z modelami głowicy samonaprowadzającej i czujników wewnętrznych pocisku. Modele budowane były w oparciu o badania symulacyjne i poligonowe parametrów lotu, badania symulacyjne i laboratoryjne nowego algorytmu i ostatecznie badania laboratoryjne i poligonowe autopilota ppk. Aktualność prowadzenia badań Autor uzasadnia koniecznością modyfikacji parametrów lotu ppk poprzez zmniejszenie kątów pochylenia pocisku i trajektorii lotu w ostatniej fazie lotu, co w efekcie zwiększa zdolność do realizacji uderzenia celu z górnej półsfery. Ponadto, w części literaturowej znajduje się opis obecnie stosowanych konstrukcji oraz ich modernizacji dokonywanych na przestrzeni wielu lat wraz z dokładnym wskazaniem ich zalet oraz uwypukleniem układów naprowadzanych laserowo tj. kierujących się na odbitą wiązkę lasera (SALH – ang. Semi-Active Laser Homing).

Na tej podstawie Autor stawia tezę rozprawy, tj.: „Zmniejszenie kąta pochylenia trajektorii lotu w momencie uderzenia w cel możliwe jest przez opracowanie i implementację oprogramowania autopilota realizującego nowy algorytm kierowania wirującego przeciwpancerne pocisku kierowanego typu SALH”.

Kolejno przedstawia cel pracy doktorskiej jako: „Opracowanie algorytmu kierowania ppk, zwiększającego bazową zdolność do uderzenia z górnej półsfery”, określając etapy realizacji celów szczegółowych obejmujących: 1) opracowanie modelu numerycznego, pozwalającego na symulację lotu pocisku kierowanego w zadanych warunkach; 2) opracowanie oprogramowania autopilota, pozwalającego na implementację nowego algorytmu kierowania sterującego lotem pocisku według trajektorii zapewniającej zmniejszenie kąta pochylenia pocisku w momencie uderzenia w cel; 3) syntezę i oprogramowanie elektronicznego modułu kierowania (autopilota); 4) opracowanie nowego algorytmu kierowania lotem ppk oraz przeprowadzenie badań laboratoryjnych i poligonowych realizującego bazowy algorytm kierowania”.

Cel i teza pracy wskazują na rozwiązanie problemu naukowego w ramach aktualnego kierunku rozwoju pocisków naprowadzanych laserowo. Silnym aspektem jest użyteczna strona badań związana z całościowym opracowaniem układu sterowania wraz z modyfikacją elementów elektronicznych. Stwierdzam, że przyjęte przez Autora założenia są słuszne, a cel i teza pracy zostały sformułowane prawidłowo.

3. Układ pracy

Praca doktorska obejmująca 175 stron zawiera 12 rozdziałów, przy czym w rozdziale 1 przedstawiono tezę, cel i zakres pracy, a w 12 literaturę. Rozdział drugi stanowi przegląd systemów kierowania i generacji pocisków ppk, obecnie istotnych z punktu widzenia zastosowań bojowych. Autor wskazuje tu na nowe systemy z samonaprowadzaniem pasywnym wykorzystującym promieniowanie z zakresu widzialnego i podczerwonego. W rozdziale 3 opisano funkcjonalność i parametry elementów układu. Wyjaśniono aspekty związane z przeprowadzeniem prób poligonowych i ich wpływu na prace laboratoryjne i w efekcie produkcyjne. Zanim jednak do tego doszło Autor krok po kroku wyjaśnił poszczególne etapy modernizacji układu ppk, rozpoczynając od opracowania numerycznego modelu symulacyjnego (rozd. 4), który składał się z modelu matematycznego i fizycznego. Następnie, wykorzystując zaimplementowany w środowisku MATLAB/Simulink model, zaprezentował wyniki symulacyjne pocisku dla przypadku lotu balistycznego i kierowanego (rozd. 5.), uzyskując w ten sposób wyniki zasięgu lotu, wartości przeciążeń i prędkości oraz stabilności aerodynamicznej dla obu typów lotu. Na tej podstawie w rozdz. 6, Doktorant przedstawia prace nad modelem funkcjonalnym i konstrukcją autopilota ppk. W tej części znajdują się istotne z punktu widzenia oryginalności pracy informacje dotyczące wprowadzonych przez Autora zmian w oprogramowaniu i układzie elektronicznym. W efekcie uzyskana zostaje zwiększona funkcjonalność układu i przejście do dalszych prac nad algorytmem sterowania (rozd. 7) oraz przeprowadzeniem symulacji nowego algorytmu kierowania ppk ukierunkowane na uzyskanie większego przewyższenia toru lotu pocisku, a więc uderzenia w cel z górnej półsfery. W rozdziale 8 Autor przedstawia i porównuje parametry lotu pocisku dla bazowego i nowego algorytmu, a osiągnięte wartości uznaje za poprawne w kontekście postawionej tezy pracy. W ten sposób logicznie przechodzi do kolejnego etapu polegającego na badaniach

laboratoryjnych autopilota w rozdziale 9. Poprawność działania modułów elektronicznych oraz realizacji bazowego i nowego algorytmu umożliwiają ostatecznie przeprowadzenie badań poligonowych (rozd. 10).

Stwierdzam, że układ pracy jest poprawny, dostosowany do celu i zakresu pracy, co prowadzi do udowodnienia postawionej tezy. Przeprowadzone w pracy badania zostały właściwie umiejscowione w obecnym stanie wiedzy. W efekcie badania zostały zaplanowane poprawnie, a osiągnięte wyniki prezentowane w każdym z rozdziałów opatrzone są podsumowaniem. Uważam, że tak przedstawiony układ rozprawy jednoznacznie pozwala na ocenę osiągnięć mgr inż. Damiana Gołosia.

4. Ocena pracy

4.1 Oryginalność i zdolności doktoranta do formułowania zadań i prowadzenia dyskusji naukowej

Mgr inż. Damian Gołoś od początku rozprawy wyraźnie wskazuje na zagadnienia badawcze jakie należy rozwiązać w odniesieniu do obecnego stanu wiedzy naukowo-technicznej. Proponuje całościową modyfikację układu sterowania ppk, począwszy od opracowania modelu matematyczno-fizycznego wraz z modelem głowicy samonaprowadzającej, modelami czujników pocisku i autopilota, przez badania symulacyjne i poligonowe parametrów lotu, opracowanie nowego algorytmu kierowania, jego model funkcjonalny, po opracowanie oprogramowania nowego autopilota i jego badania poligonowe. W tym aspekcie należy wysoko ocenić zdolności Doktoranta do formułowania zadań. Podobnie nie widzę zastrzeżeń odnośnie do oryginalności przeprowadzanych badań, co motywuję opisanymi niżej, wybranymi zagadnieniami badawczymi.

Autor wykazał, że tylko dla kątów pelengu poniżej 3° nie występuje spadek mocy odbieranego przez fotodetektor sygnału (rys. 3.8). Natomiast spadek mocy docierającego sygnału dla większych kątów pelengu musi być uwzględniany przez algorytm sterujący ppk. Ponadto stwierdził, że zmiany konstrukcyjne owiewki GSN dają możliwość zwiększenia mocy odbieranego sygnału. Autor analizuje poszczególne przedziały, poszukując ewentualnych możliwości modernizacyjnych jak np. stosowanie dwukanałowego sterowania, wyjaśniając wynikające z tego rozwiązania zalety (wzrost efektywności sterowania $>61\%$), ale również dodatkowe wymagania konstrukcyjne przedziału sterowania.

Kluczowym elementem pracy jest procedura opracowania modelu symulacyjnego ppk, która weryfikowana była w odniesieniu do badań laboratoryjnych i poligonowych. Autor prowadził rozbudowaną dyskusję na temat poszczególnych modeli fizycznego i matematycznego. Przedstawił charakterystyki pocisku, w tym geometryczne, masowo-bezwładnościowe, składowe sił zewnętrznych i momenty sił, aerodynamiczne i ośrodka ruchu. W modelu matematycznym uwzględnił równania ruchu, współrzędne położenia liniowego i kąтового, prędkości liniowe i kątowe dla założonych układów odniesienia. Na tej podstawie wyznaczył trajektorie lotu pocisku z uwzględnieniem parametrów prędkości, kątów pochylenia i odchyłeń w trakcie lotu oraz wartości przeciążeń działających na pocisk i jego położenia względem celu. Doktorant zauważył konieczność uwzględniania w modelu zakłóceń obecnych w czasie lotu rzeczywistego, ruchu celu i wiatru, a także wprowadzenia parametrów korygujących na podstawie późniejszych prób eksperymentalnych. Analizując wykonane badania symulacyjne

zwrócił uwagę na przeciążenia wypadkowe (rys. 5.9), oceniając je jako niezagrożające komponentom optoelektronicznym. Istotnym aspektem poznawczym była dyskusja nad stabilnością dynamiczną ppk, której zadaniem jest redukcja drgań pocisku poprzez wypracowanie komendy sterującej dodawanej do sygnału wysyłanego z układu naprowadzania. Zmiana kąta pochylenia pocisku, w tym uwzględniając ruch obrotowy (~ 10 Hz), symulowana była dla różnych wartości wychylenia sterów i prędkości lotu przy zastosowaniu układu stabilizacji. Autor wykazał konieczność wprowadzenia liniowej charakterystyki narastania amplitudy komendy sterującej (rys. 5.18 i 5.19) dla przypadku skokowej zmiany wychylenia sterów również ze względu na wzrost efektywności działania układu stabilizacji.

Oryginalną częścią pracy jest powstanie nowego autopilota, który posiada większą funkcjonalność wynikającą ze zmodyfikowanego oprogramowania oraz zmiany architektury i elementów płytki PCB. Należy podkreślić opracowanie schematu funkcjonalnego systemu kierowania (rys. 6.2) i analizę parametrów działania sposobu sterowania oraz układu stabilizacji. Autor zastosował inny mikrokontroler wymagający napisania nowego oprogramowania, w którym zaimplementowano np. zmiany w sposobie obliczania sygnału obwiedni pelengu, eliminując dotychczas występujące opóźnienie, dynamikę układu naprowadzania - reakcji na szybkie zmiany amplitudy pelengu (rys. 6.6). Doktorant napisał własne oprogramowanie w oparciu o jeden mikrokontroler zmniejszając liczbę linii kodu z 7751 do 5805, a także zwiększył wydajność sprzętową sterownika (rys. 6.8). W efekcie program ma funkcjonalność bazowego i nowego oprogramowania, przy czym program jest wykonywany z częstotliwością 2 kHz w czasie jednostkowym 100 ms. Wykorzystanie procesora wynoszące 20% daje swobodę na przyszłe możliwości modernizacyjne.

Kluczowym co do osiągnięć doktoratu jest opracowanie nowego algorytmu kierowania. Doktorant na podstawie analizy działania bazowego algorytmu dzielącego lot na 4 fazy oraz trajektorii lotu pocisku uzyskanej w trakcie prób poligonowych (rys. 7.1) wskazał na konieczność uniezależnienia faz lotu od energii sygnału optycznego odbieranego przez czujnik GSN. Głównym powodem była wspomniana wcześniej silna zależność konstrukcji owiewki i koordynatora głowicy samonaprowadzającej i z tego też względu podkreślił, że parametrem w przybliżeniu stałym jest kąt namiaru podczas fazy wznoszenia wynoszący ok. 20 stopni. Autor również stwierdza, że wartość tego kąta można w dalszych rozważaniach utożsamić z amplitudą pelengu. Ponadto wskazuje na inne ograniczenia mające wpływ na kształtowanie wartości kąta uderzenia pocisku wynikające z jego manewrowości tj. kształtu, parametrów geometrycznych-masowych i atmosferycznych. Autor dyskutuje dokładność określenia odległości między pociskiem a celem, co prowadzi do badań symulacyjnych na bazie uzyskanych prób poligonowych. Na ich podstawie proponuje wykorzystanie czujników MEMS w dwóch wariantach danych pochodzących z i) czujników prędkości kątowych i przyspieszeń oraz ii) tylko czujników prędkości kątowych. W tym celu Doktorant opracował pomiarowy moduł inercyjny (IMU), zawierający wspomniane czujniki pozwalające na pomiary wzdłuż trzech osi układu oraz zaprojektował układ elektroniczny (rys. 7.5). W ramach pierwszej metody wykazał możliwość wyznaczenia położenia pocisku w czasie wzdłuż osi O_0x_g , na podstawie danych z wspomnianych czujników. Pomimo zadawalającej precyzji zgodności algorytmu z pomiarem radaru Dopplera (rys. 7.9), Doktorant wskazuje na konieczność wprowadzenia dodatkowego elementu w metodzie drugiej tj. namiaru wyznaczanego na podstawie danych pochodzących z głowicy samonaprowadzającej. Prezentuje analizę zmian

kata pochylenia linii obserwacji celu w czasie lotu ppk pochodzącą z danych czujników wewnętrznych oraz radaru Dopplera (rys. 7.11). To oryginalna część pracy, w której Autor dowodzi, że opracowany algorytm spełnia założenia i zapewnia dobrą dokładność w odniesieniu do danych z prób poligonowych.

Kolejno w logiczny sposób następuje przejście do etapu symulacji lotu kierowanego ppk na podstawie opracowanego programu symulacyjnego w środowisku MATLAB/Simulink. Model współpracuje w szerokim zakresie pozwalającym na uwzględnienie w algorytmie parametrów zewnętrznych jak ruch celu, obecność wiatru i zmiany temperatury oraz gęstości atmosfery. Istotne jest, że wykonane symulacje prędkości lotu, kąta pochylenia pocisku, trajektorii lotu zweryfikowano w oparciu o wyniki badań poligonowych i dokonano korekt dotyczących współczynników aerodynamicznych ppk. Wykazano ich zgodność przechodząc do symulacji nowego algorytmu analizując takie parametry jak: trajektoria lotu, prędkość lotu, pochylenie wektora prędkości lotu, składowa pionowa kąta namiaru, kąt pochylenia linii obserwacji celu i wartości przeciążeń działających na pocisk. Na tym etapie w celu realizacji uderzenia w strop wieży pojazdu, Doktorant wprowadza w algorytmie sterującym (3 i 4 faza) przesunięcie punktu trafienia względem punktu oświetlania, co pozwoliło na modyfikację kąta uderzenia pocisku. Badania przeprowadzono dla odległości w zakresie 500 m – 2500 m w temperaturze 15 °C i gęstości atmosfery 1,225 kg/m³, a następnie uwzględniono ruch celu (30 km/h), prędkość wiatru (10 m/s) i temperatury (od -40 °C do 50 °C), tłumacząc niewielkie zmiany trajektorii lotu i kąta pochylenia ppk różnicami manewrowości zależnymi od temperatury.

Ciekawe z punktu widzenia osiągnięć pracy są symulacje porównawcze lotu ppk kierowanego bazowym i nowym algorytmem. Uzyskano znacznie mniejsze kąta uderzenia pocisku w cel porównując z algorytmem bazowym. Przykładowo dla odległości 2500 m kąt ten wyniósł 40,8°, podczas gdy 70,8° dla algorytmu bazowego. Uzyskano ten efekt poprzez zwiększenie pułapu lotu z 127,8 m do 320, 6 m oraz zmniejszenie kąta pochylenia pocisku z -19,2° do -49,4° w 4 fazie lotu, co zgodnie z założeniem zwiększa prawdopodobieństwo trafienia w strop pojazdu. Doktorant wykazał szczególną staranność w zakresie badań laboratoryjnych nowego autopilota, który był wykonywany na stanowisku testowym zbudowanym przez firmę CRW Telesystem-Mesko, wyposażonym w obrotowy stół imitujący zmianę kąta pochylenia oraz prędkość śledzenia celu. Pocisk znajdował się na obrotowym wrzecionie z regulacją obrotów do 20 Hz, a jego położenie katowe ustawiane było za pomocą ruchomego ramienia. Promieniowanie odbite od celu było imitowane przez kolimator z możliwością zmiany natężenia promieniowania sygnału laserowego. Doktorant analizował parametry częstotliwości obrotów, mocy sygnału odczytanej z fotodetektora GSN, poprawność wyznaczenia kątów pochylenia i odchylenia pocisku (rys. 9.3-9.5), a także zmiany kąta wychylenia sterów (zgodnie z komendą sterującą) i kąta przechylenia pocisku (żyroskop mechaniczny). Autor na tej podstawie stwierdził gotowość poszczególnych przedziałów ppk w zakresie nawigacji i sterowania lotem, proponując testowanie nowego algorytmu kierowania w autopilocie. Początkowo analizowane były wychylenia sterów i kąt namiaru w funkcji czasu dla poszczególnych faz lotu, kiedy pocisk się nie obracał. Następnie analizę tych parametrów dokonano w trakcie ruchu obrotowego (10 Hz), wskazując na występowanie istotnej stabilizacji lotu pocisku przy zadaniu liniowej zmiany współczynnika komendy sterującej (rys. 9.8-9.10). Sprawdzono również odpowiedź sterów na cykliczną zmianę kąta namiaru pocisku

wywoływanym ruchem ramienia na stanowisku testowym. Pozytywna ocena wszystkich etapów testów autopilota dotyczyła właściwej realizacji zarówno bazowego jak i nowego algorytmu kierowania.

Ostatnim etapem były badania poligonowe ppk wyposażonego w nową wersję autopilota zrealizowane na dystansie 1230 m. W szczególności zadbano o zebranie możliwie dużej ilości danych zarówno z radaru Dopplera, jak i czujników wewnętrznych ppk, przy czym dane z czujników były zapisywane wewnętrznie jak i wysyłane przez wbudowany moduł telemetrii i rejestrowane zewnętrznie. W ten sposób możliwa była szczegółowa analiza wyników badania poligonowego. Zarejestrowano wartości częstotliwości obrotów ppk i moc sygnału odbieranego przez GSN w funkcji czasu stwierdzając właściwe wartości dla funkcjonowania i sterowania układem. Poddano analizie obliczone przez autopilota wartości kątów pochylenia i odchylenia ppk, a także kąt przechylenia, reakcję sterów na komendę sterującą oraz prędkość lotu, stwierdzając poprawność uzyskanych parametrów. Zastosowano szybkie kamery, które pozwoliły na rejestrację momentów wyjścia ppk z wyrzutni, oddzielenie silnika startowego, a także przejścia przez tarczę. Dokładny monitoring wszystkich parametrów eksperymentu okazał się zasadny. Uzyskano poprawne trafienie (kąt pochylenia – rys. 10.18) w tarczę, ale ppk wzniósł się na wysokość 35 m, tj. o 15 m niższą, niż wynikało to z symulacji. Wyjaśniono zaistniałą sytuację w oparciu o analizę danych z szybkiej kamery w zestawieniu z informacją o nadaniu pociskowi prędkości kątowej 54° w osi pionowej przez ruch pojemnika startowego. Istotne jest, że pomimo tego faktu algorytm skompensował tą zmianę doprowadzając do względnej zgodności próby poligonowej z symulacją w dalszych przedziałach czasowych lotu ppk.

Uważam, że aspekt oryginalności oceny pracy doktorskiej i prowadzenia badań przez Doktoranta nie budzi zastrzeżeń.

4.2 Znaczenie i osiągnięcia pracy doktorskiej

Najważniejsze osiągnięcia pracy są w obszarze Dyscypliny Naukowej Automatyki, Elektroniki, Elektrotechniki i Technologii Kosmicznych i dotyczą następujących zagadnień:

- opracowania nowego algorytmu pozwalającego na modyfikację lotu ppk, spełniającego założenia: i) wzrostu zdolności do uderzenia z górnej półsfery; ii) redukcji wpływu zakłóceń wewnętrznych i zewnętrznych na tor lotu; iii) uniezależnienia czasu przełączania faz lotu od poziomu sygnału optycznego odbieranego przez fotodetektor GSN;
- opracowanie i wykonanie nowego układu elektronicznego autopilota z nowym mikrokontrolerem, uzyskując wzrost wydajności pracy autopilota;
- wskazania konieczności i wykonanie prac nad metodami wyznaczania położenia pocisku na zakładanej trajektorii lotu w związku z niezadowalającą dokładnością czujników wewnętrznych pocisku;
- wykorzystania sygnałów pochodzących z czujników prędkości kątowych i przyspieszeń (IMU) w algorytmie kierowania pociskiem;
- wyznaczenia charakterystyk modelu fizycznego pocisku w oparciu o pomiary laboratoryjne i poligonowe;
- wykazania i realizacji konieczności stabilizacji redukcji drgań pocisku wokół jego osi;
- uwzględnienia w modelu numerycznym modelu głowicy samonaprowadzającej, czujników wewnętrznych i autopilota;

- porównania parametrów lotu uzyskanych z symulacji numerycznej z pomiarami poligonowymi i uwzględnienie charakterystyk aerodynamicznych;
- potwierdzenia osiągnięcia zmniejszenia kąta pochylenia pocisku dla nowego algorytmu kierowania ppk mp. z $-19,3^\circ$ do $-49,2^\circ$ dla dystansu 2500 m.

Osiągnięte wyniki zostały zweryfikowane i przedyskutowane przez Autora. Na tej podstawie stwierdzam, że cel pracy został osiągnięty, a jej teza udowodniona.

5. Uwagi wynikające z lektury rozprawy

Rozprawa doktorska mgr inż. mgr inż. Damiana Gołosia została zrealizowana poprawnie, a wykazane osiągnięcia wynikają z przeprowadzonych badań. Prozę o komentarz do następujących zagadnień:

1. Jaki jest wpływ zmiany szybkości wyznaczania obwiedni pelengu na dynamikę układu naprowadzania.
2. Autor proponuje zastosowanie metod 1 i 2 w autopilocie w zależności od odległości strzału i ruchu celu. Jaka jest szacowana dokładność trafienia celu obu metod dla celu stacjonarnego celu? Czy można odnieść te szacunkowe wartości do prób poligonowych z wykorzystaniem algorytmu bazowego.

Powyższe uwagi podnoszę z racji obowiązku recenzenta, przy czym nie wpływają one na moją pozytywną ocenę wartości badań zaprezentowanych w dysertacji.

Konkluzja

Osiągnięcia poznawcze zaprezentowane w pracy mgr inż. mgr inż. Damiana Macieja Gołosia pt. „Konstrukcja, synteza i badania autopilota ppk typu SALH z funkcją Top Attack” pozwalają mi stwierdzić, że zgodnie z art. 13 Ustawy o stopniach i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14.03.2024 r. (Dz. U. nr 65, poz. 595) spełnia ona wymagania stawiane rozprawom doktorskim i wnioskuję o jej dopuszczenie do publicznej obrony.

Kraków, 13.06.2025 r.



