

dr hab. inż. Mariusz ZIEJA, prof. ITWL
Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych
tel.: 261-851-332
e-mail: mariusz.zieja@itwl.pl

Warszawa, 03.04.2025

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Tomasza KABALI, pt. „Opracowanie inteligentnych bezprzewodowych czujników i układów pomiarowych dedykowanych Internetowi Rzeczy w laboratoriach testów komponentów lotniczych”

1. Podstawa opracowania

Recenzję wykonano na podstawie uchwały Rady Naukowej Dyscypliny „Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne” Politechniki Warszawskiej nr 806/II/2024 z dnia 17.09.2024 w sprawie wyznaczenia recenzentów rozprawy doktorskiej mgr. inż. Tomasza KABALI, pt. „Opracowanie inteligentnych bezprzewodowych czujników i układów pomiarowych dedykowanych Internetowi Rzeczy w laboratoriach testów komponentów lotniczych”.

Przekazana do recenzji rozprawa została opublikowana przez Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej w 2024 roku.

Promotorem rozprawy doktorskiej jest dr hab. inż. Jerzy WEREMCZUK.

2. Ocena doboru tematu rozprawy

Tematyka podjęta przez Doktoranta dotyczy analizy możliwości usprawnienia procesu testowania oraz uzyskania nowych możliwości badawczych w laboratoriach lotniczych poprzez wdrożenie inteligentnych bezprzewodowych czujników i układów pomiarowych dedykowanych Internetowi Rzeczy. Przedmiotem rozprawy jest wykorzystanie potencjału inteligentnych czujników i układów pomiarowych poprzez ich wdrożenie w obszarze laboratoriów testujących komponenty lotnicze i integrację z istniejącą infrastrukturą stanowisk badawczych.

Tematyka wdrożenia inteligentnych bezprzewodowych czujników i układów pomiarowych w laboratoriach lotniczych jest kwestią doskonale wpisującą się



w założenia czwartej rewolucji przemysłowej (Przemysł 4.0), w której dominuje automatyzacja i cyfryzacja procesów przemysłowych. Charakteryzuje się ona wzajemnym połączeniem systemów, takich jak chmura obliczeniowa czy Internet Rzeczy (IoT), z wykorzystaniem danych do podejmowania decyzji oraz podniesienia wydajności. Jest to etap, w którym technologia i maszyny zaczęły odgrywać kluczową rolę w produkcji, minimalizując udział czynnika ludzkiego w rutynowych procesach. W ostatnich latach obserwowany jest znaczny rozwój elektroniki w kierunku ułatwienia wdrażania technologii Internetu Rzeczy w kolejnych obszarach gospodarki. Nowoczesne protokoły komunikacyjne pozwalają na rezygnację z dedykowanych standardów dotychczas stosowanych przez producentów urządzeń i zwiększenie ich wzajemnej kompatybilności. Mikroporocesorowe moduły komunikacyjne dzięki wysokiej wydajności pełnią często funkcję głównego elementu zarządzającego pracą urządzenia. Równolegle rozwijają się metody przetwarzania danych, a w szczególności metody analizy obrazu pozwalające na dokładniejsze autonomiczne monitorowanie pracy maszyn i urządzeń przy wykorzystaniu czujników inteligentnych.

Uważam, że na podstawie analizy piśmiennictwa krajowego i zagranicznego, Doktorant podjął się niezwykle ważnego i jednocześnie trudnego zadania polegającego na opracowaniu autorskiej metody usprawnienia procesu testowania w laboratoriach lotniczych poprzez wdrożenie inteligentnych bezprzewodowych czujników i układów pomiarowych dedykowanych Internetowi Rzeczy. Doktorant trafnie zdefiniował zagadnienia najbardziej istotne dla zespołów przygotowujących oraz obsługujących krótkoterminowe i długoterminowe testy komponentów lotniczych. Całkowicie zgadzam się z wnioskiem Autora, że wykorzystanie przetworników inteligentnych dedykowanych pracy w sieci IoT może w znacznym stopniu usprawnić proces testowania w laboratoriach lotniczych.

Uważam, że podjęcie przez mgr. inż. Tomasza KABALĘ problematyki opracowania inteligentnych bezprzewodowych czujników i układów pomiarowych dedykowanych Internetowi Rzeczy w laboratoriach testów komponentów lotniczych w rozprawie doktorskiej o charakterze wdrożeniowym z istotnymi elementami naukowo-badawczymi należy uznać za uzasadnione, zarówno pod względem poznawczym jak i użytecznym. Sformułowanie tematu rozprawy doktorskiej uważam za właściwe, ponieważ w sposób prawidłowy



oddaje jej tematykę, która jest aktualna w świetle wymagań dotyczących niezawodności i bezpieczeństwa stawianych systemom diagnostyczno-pomiarowym we współczesnych laboratoriach lotniczych.

3. Struktura pracy

Przedłożona do oceny rozprawa doktorska obejmuje:

- 167 stron maszynopisu (w tym stronę tytułową, streszczenia w języku polskim i angielskim, spis treści, spis rysunków, spis tabel oraz spis załączników);
- 120 ponumerowanych rysunków;
- 14 ponumerowanych tabel;
- bibliografię liczącą 149 pozycji krajowych i zagranicznych (w tym 3 pozycje współautorskie Doktoranta);
- 12 załączników przedstawiających głównie schematy techniczne i projektowe.

Zasadnicza treść rozprawy zawarta jest w rozdziałach 1÷5. Przedstawiona do recenzji rozprawa składa się z pięciu części ułożonych w sposób odpowiadający kolejnym etapom badań i prac projektowych:

- część wprowadzająca - rozdział 1 (p. 1.1)
- część metodyczna - rozdział 1 (p. 1.2 i 1.3),
- część teoretyczna - rozdział 2 i 3,
- część projektowo-badawcza - rozdział 4,,
- część podsumowującą – rozdział 5.

Część wprowadzająca rozprawy stanowi genezę problemu badawczego. W części metodycznej zostało postawione pytanie badawcze, na podstawie którego sformułowano tezę rozprawy doktorskiej oraz przedstawiono cel i zakres pracy. Część teoretyczna oraz część projektowo-badawcza stanowią zasadniczą część rozprawy i zostały opatrzone podsumowaniem wysiłku badawczego podjętego przez Doktoranta, wnioskami wynikającymi z przeprowadzonych w pracy badań oraz propozycjami potencjalnych obszarów dalszych badań i prac wdrożeniowych.

Rozprawa została napisana poprawnym językiem i spełnia standardy edytorskie stawiane rozprawom doktorskim. Układ pracy jest przejrzysty, a podział treści rozprawy na rozdziały i podrozdziały nie budzi większych zastrzeżeń. Tytuły



poszczególnych rozdziałów odpowiadają ich zawartości. Terminologia naukowa używana w pracy jest właściwa, a stosowane pojęcia są w większości poprawnie zdefiniowane. Materiały ilustracyjne oraz tabele zamieszczone w pracy w sposób właściwy przedstawiają rozważania Doktoranta.

Pod względem redakcyjnym rozprawa przygotowana jest starannie. Wprawdzie zawiera drobne błędy redakcyjne i stylistyczne, ale nie mają one wydatnego wpływu na wartość merytoryczną pracy.

4. Analiza zakresu, celu i treści rozprawy

W przedstawionej do recenzji rozprawie Autor podjął się opracowania inteligentnych czujników i układów pomiarowych dedykowanych Internetowi Rzeczy w laboratoriach testowych komponentów lotniczych.

W rozdziale pierwszym (11 stron) Doktorant w sposób syntetyczny przedstawił tematykę testów wykonywanych w laboratoriach lotniczych oraz uzasadnienie potrzeby wdrożenia w tym obszarze inteligentnych przetworników dedykowanych IoT. Wyjaśniono znaczenie poznawcze oraz użytkowe pracy. Dalsza część rozdziału poświęcona została zagadnieniom metodycznym. Sformułowano w nim uzasadnienie powstania pracy, nakreślono jej cel oraz przedstawiono tezę i koncepcję rozprawy doktorskiej. Na zakończenie rozdziału przedstawiono zakres pracy w postaci logicznie spójnego układu poszczególnych jej rozdziałów.

Na podstawie krytycznej analizy literatury przedmiotu oraz doświadczenia ponad dziesięciu lat pracy w laboratoriach lotniczych Doktorant trafnie zdefiniował problematykę badawczą stwierdzając, że dla testów krótkoterminowych, charakteryzujących się dużą zmiennością infrastruktury pomiędzy kolejnymi kampaniami testowymi będzie to uproszczenie sposobu przygotowania instrumentacji poprzez redukcję liczby przewodów oraz uproszczenie procedur zapewniających zachowanie spójności pomiarowej przez skrócenie torów pomiarowych i zwiększenie ich mobilności pomiędzy laboratoriami. Zredukowanie kosztów telemetrii obrotowej zdaniem Doktoranta może również znacznie zmniejszyć całkowity koszt przygotowania testów komponentów wirujących. W przypadku testów długoterminowych największym problemem są ograniczone możliwości monitorowania stanowisk badawczych. Skrajne warunki pracy sprzyjają powstawaniu



trudnych do wykrycia wycieków, które mogą zakłócać pomiary przepływu i generować straty oraz uszkodzenia elementów składowych stanowiska badawczego lub testowanego obiektu. **Problem badawczy nakreślony przez Doktoranta uważam za trafny i aktualny w świetle światowej literatury przedmiotu.**

Na podstawie zidentyfikowanych problemów badawczych Doktorant zdefiniował cel i postawił tezę rozprawy doktorskiej. Celem prowadzonych przez Doktoranta prac badawczych była analiza możliwości wdrożenia inteligentnych rozwiązań dedykowanych IoT w laboratoriach testujących komponenty lotnicze oraz zaproponowanie innowacyjnych rozwiązań zintegrowanych z istniejącą infrastrukturą stanowisk badawczych. W ten sposób postawiony cel prac badawczych bezpośrednio determinował tezę rozprawy doktorskiej, którą mgr inż. Tomasz KABALA postawił w następujący sposób:

„Możliwe jest usprawnienie procesu przygotowywania badań komponentów lotniczych i uzyskanie nowych możliwości badawczych poprzez wprowadzenie w laboratoriach bezprzewodowych inteligentnych przetworników i układów pomiarowych projektowanych z uwzględnieniem wymagań technicznych i specyfiki badań komponentów lotniczych. Nowe podejście do projektowania tych przetworników ukierunkowane na wydłużenie czasu pracy przy zasilaniu bateryjnym, zwiększenie możliwości zasilania bezprzewodowego oraz opracowanie dedykowanych metod sterowania ustawnikami pozycyjnymi i metod detekcji wycieków pozwala zbudować konfigurowalny system Internetu Rzeczy o parametrach niedostępnych w obecnie stosowanych rozwiązaniach”.

Mając na uwadze osiągnięcie celu pracy oraz weryfikację postawionej tezy badawczej Doktorant zaproponował następującą koncepcję pracy badawczej obejmującej:

- wdrożenie inteligentnych bezprzewodowych przetworników o niskim zużyciu energii współpracujących ze standardowymi czujnikami stosowanymi w laboratoriach lotniczych;
- wdrożenie inteligentnych bezprzewodowych wysokoobrotowych przetworników pomiarowych;



- wdrożenie inteligentnych bezprzewodowych ustawników pozycyjnych o niskim zużyciu energii współpracujących z zaworami regulacyjnymi;
- wdrożenie inteligentnych bezprzewodowych układów wykrywających wycieki.

Urządzenia, reprezentujące każdą z grup rozwiązań w koncepcji Doktoranta, powinny pracować w strukturze sieciowej, komunikując się z punktem centralnym udostępniającym dane pomiarowe głównemu systemowi pomiarowemu w laboratorium.

Cel pracy zdefiniowany przez Doktoranta uważam za właściwy, a zaproponowana koncepcja prac badawczych w mojej ocenie wyczerpuje tematykę rozprawy doktorskiej. Teza rozprawy doktorskiej została sformułowana w sposób poprawny.

W rozdziale drugim (13 stron) mgr inż. Tomasz KABALA dokonał analizy potencjalnych obszarów wdrożenia inteligentnych rozwiązań kontrolno-pomiarowych w laboratoriach lotniczych. Doktorant zastosował metodę analizy i krytyki piśmiennictwa w celu przedstawienia aktualnego stanu wiedzy w następujących obszarach: bezprzewodowe przetworniki pomiarowe, ustawniki pozycyjne oraz systemy monitorowania stanowisk badawczych. Dokonany przegląd literatury pozwolił Doktorantowi na jednoznacznie zidentyfikowanie luki badawczej. Pomimo dużego znaczenia badań komponentów lotniczych trudno znaleźć publikacje naukowe na temat wdrożenia inteligentnych rozwiązań Internetu Rzeczy w laboratoriach lotniczych. Jednocześnie całkowicie zgadzam się ze stwierdzeniem Doktoranta, że z punktu widzenia laboratoriów lotniczych szczególnie ciekawe wydaje się zastosowanie metod związanych z analizą obrazu. Szersze wprowadzenie inteligentnych układów pomiarowych posiadających funkcjonalności analizy obrazu daje perspektywę poprawy efektywności monitorowania stanowisk badawczych.

Rozdział trzeci (26 stron) Autor poświęcił szczegółowej analizie literaturowej z zakresu inteligentnych czujników i układów pomiarowych. Analiza została przeprowadzona w celu identyfikacji rozwiązań spełniających wymagania laboratoriów lotniczych, pod kątem wykorzystania w obszarach zdefiniowanych w rozdziale 2. Doktorant w syntetyczny sposób przedstawił podstawowe charakterystyki i strukturę przetworników inteligentnych, metody zasilania i metody

komunikacji. Rozdział jest zakończony analizą metod mogących posłużyć do budowy inteligentnego układu monitorowania pracy stanowiska na podstawie analizy obrazu.

Rozdział czwarty (78 stron) stanowi w mojej opinii najważniejszą część rozprawy doktorskiej, ponieważ przedstawia innowacyjne prace projektowo-badawcze realizowane przez Doktoranta. Mgr inż. Tomasz KABALA przedstawił cztery przykłady wdrożenia bezprzewodowych przetworników inteligentnych. W pierwszym etapie prac zaprojektował uniwersalny przetwornik pomiarowy o zasilaniu bateryjnym z opcjonalnym zasilaniem radiowo-bateryjnym, który może pracować z czujnikami powszechnie wykorzystywanymi w laboratoriach lotniczych. Zaprojektowany przetwornik może pracować przez wiele miesięcy, przy zasilaniu z niewielkiej baterii pastylkowej lub być zasilany drogą radiową z odległości kilkudziesięciu centymetrów. Wyniki prac Doktoranta w drugim z prowadzonych projektów jednoznacznie pokazują, że wykorzystanie inteligentnych przetworników pomiarowych stwarza również szerokie możliwości w obszarze pomiarów wykonywanych na komponentach o wysokich prędkościach obrotowych. Doktorantowi udało się skonstruować wielokanałowy moduł telemetryczny dedykowany pomiarom temperatur, zasilany indukcyjnie, mogący pracować z prędkością obrotową 20 000 obr./min. Wdrożenie obrotowego przetwornika pomiarowego umożliwiło wykonywanie pomiarów telemetrycznych w długoterminowych badaniach elementów obrotowych. Trzeci etap prac projektowo-badawczych obejmował skonstruowanie sterownika kontrolującego pracę ustawnika zaworu używanego podczas testów komponentów lotniczych, obsługującego zasilanie poprzez baterie i komunikację bezprzewodową. Zaproponowane przez Doktoranta rozwiązanie może być z powodzeniem stosowane zarówno w testach krótkoterminowych jak i długoterminowych. Ostatni projekt demonstruje, że wprowadzenie inteligentnych układów w obszarze pomiarowym może przynieść korzyści w zakresie poprawy efektywności monitorowania przebiegu badań. Zaproponowane przez Doktoranta algorytmy bazujące na metodach analizy obrazu pozwalają poprawić efektywność monitorowania wycieków przy niskim koszcie wdrożenia.

Biorąc pod uwagę innowacyjny aspekt rozprawy doktorskiej rozdział czwarty uważam za najbardziej wartościowy, ponieważ Doktorant w wyniku realizacji prac projektowo-badawczych dokonał usprawnienia procesu



przygotowywania badań komponentów lotniczych i uzyskać nowe możliwości badawcze poprzez wprowadzenie w laboratoriach bezprzewodowych inteligentnych przewodników i układów pomiarowych projektowanych z uwzględnieniem specyfiki testów komponentów lotniczych.

Rozprawa doktorska mgr. inż. Tomasza KABALI zakończona jest **rozdziałem piątym** (3 strony) zawierającym podsumowanie przeprowadzonych badań wraz z oceną stopnia realizacji założonych celów badawczych oraz wnioskami wynikającymi z przeprowadzonych w pracy rozważań. Rozdział zakończono zdefiniowaniem kierunków dalszych działań naukowych w obszarze badawczym związanym z tematyką rozprawy doktorskiej

Ostatnim elementem pracy jest bibliografia licząca 149 pozycji krajowych i zagranicznych. **Dobór literatury uważam za niezwykle aktualny i poprawny pod względem zakresu poruszanej tematyki.**

5. Ocena merytoryczna rozprawy

Uważam, że zasadniczym i najważniejszym osiągnięciem mgr. inż. Tomasza KABALI jest opracowanie i wdrożenie innowacyjnych rozwiązań w obszarze inteligentnych czujników i układów pomiarowych dedykowanych Internetowi Rzeczy w laboratoriach testów komponentów lotniczych.

W aspekcie użytkowym do najważniejszych osiągnięć Doktoranta zawartych w dysertacji zaliczam:

- skonstruowanie i wdrożenie bezprzewodowego inteligentnego czujnika pomiarowego, mogącego pracować ze standardowymi czujnikami wykorzystywanymi w lotniczych laboratoriach badawczych;
- skonstruowanie i wdrożenie wielokanałowego inteligentnego przetwornika dedykowanego pomiarom temperatur podczas testów obrotowych komponentów lotniczych, np. łożysk;
- skonstruowanie i wdrożenie sterownika kontrolującego pracę ustawnika zaworu używanego podczas testów komponentów lotniczych, obsługującego zasilanie poprzez baterie i komunikację bezprzewodową;



- zaprojektowanie i badania inteligentnego bezprzewodowego układu detekcji wycieków dedykowanego zastosowaniu na stanowiskach komponentów lotniczych.

Podsumowując dokonania Doktoranta przedstawione w dysertacji oraz uwzględniając jej efekty naukowe i użyteczne mogę jednoznacznie stwierdzić, że teza rozprawy doktorskiej została udowodniona.

Rozprawa spełnia również wymagania stawiane przed doktoratem wdrożeniowym odnośnie wykorzystania wyników badań w miejscu zatrudnienia. Wszystkie rozwiązania zaprezentowane przez Doktoranta mają potencjał wdrożeniowy, a niektóre z nich zostały już wykorzystane podczas prowadzonych badań w Sieci Badawczej Łukasiewicz – Instytucie Lotnictwa. Wymagania postawione we wniosku o rozpoczęcie doktoratu wdrożeniowego zostały wypełnione w całości i rozszerzone o analizę sposobów monitorowania stanowisk z wykorzystaniem analizy obrazu.

Dokonując oceny układu rozprawy, należy podkreślić, że jej ogólna forma i zakres wynikają z realizacji celów rozprawy. Podjęte przez Doktoranta problemy badawcze zostały sformułowane poprawnie, tak pod względem obszaru merytorycznego, jak i głębi prowadzonych rozważań. Z punktu widzenia postawionych celów oraz zdefiniowanych problemów badawczych przyjęta koncepcja badań jest właściwie uzasadniona, a zastosowane narzędzia i metody badawcze są do niej adekwatne.

Uważam, że zarówno konstrukcja dysertacji mgr. inż. Tomasza KABALI jak i sposób opracowania materiału empirycznego, a także forma przeprowadzonej analizy i przyjęta metodyka badań pozwalają stwierdzić, że cele rozprawy zostały osiągnięte, a postawiony problem badawczy rozwiązany w sposób właściwy.

Stwierdzam, że zarówno materiał badawczy jak i literaturowy został przez Autora rozprawy wykorzystany poprawnie. Doktorant wykazała się głęboką wiedzą teoretyczną i bogatym doświadczeniem w obszarze projektowania inteligentnych bezprzewodowych czujników i układów pomiarowych dedykowanych Internetowi Rzeczy, umiejętnością analitycznego ujęcia rozpatrywanego problemu oraz jego rozwiązania. Omówiona konstrukcja rozprawy oraz sposób opracowania materiału empirycznego, a także forma przeprowadzonej analizy i przyjęta metodyka badań są właściwe dla tego rodzaju prac.



6. Uwagi szczegółowe

Zawartość merytoryczną rozprawy oceniam bardzo dobrze. Mimo pozytywnej oceny podczas czytania rozprawy nasunęły mi się pewne wątpliwości:

1. W algorytmie detekcji wycieków na podstawie wykrywania konturów zmian przedstawionym na rys. 4.72 na s. 123 Doktorant wykorzystał algorytm Canny'ego. Optymalna funkcja w detektorze Canny'ego opisana jest przez sumę czterech wykładniczych warunków, ale może być przybliżona pierwszą pochodną funkcji Gaussa. Detektor krawędzi Canny'ego wykorzystuje filtr bazujący na pierwszej pochodnej funkcji Gaussa, ponieważ jest czuły na obecność szumu w surowym nieobrobionym obrazie. W tym celu należy dokonać splotu obrazu z filtrem Gaussa. Proszę Doktoranta o zdefiniowanie zastosowanego filtru Gaussa w opracowanym bezprzewodowym układzie wykrywania detekcji wycieków.
2. Pomiar temperatury przedstawiony w p. 4.1. jest wykonywany z wykorzystaniem termopar i polega na pomiarze napięcia powstającego na skutek różnicy temperatur końca termopary ze spoiną łączącą dwa przewody z różnych materiałów i końca na którym wykonywany jest pomiar. Do obliczenia poszukiwanej temperatury T_k w miejscu instalacji spoiny pomiarowej jest wykorzystywany wielomian 4.3 na s. 67. Proszę Doktoranta o przedstawienie sposobu wyznaczenia współczynników tego wielomianu.
3. W p. 4.1.7. na s. 74 Doktorant przedstawił optymalizację zużycia energii. Proszę o przedstawienie matematycznego modelu (np. funkcji celu), który został zastosowany do procesu optymalizacji.

Powyższe uwagi nie wpływają na moją pozytywną ocenę merytoryczną rozprawy, a jedynie utrudniają zrozumienie jej fragmentów.

7. Wniosek końcowy oceny rozprawy

Przedstawioną do recenzji pracę oceniam pozytywnie, ponieważ została ona wykonana na bardzo dobrym poziomie merytorycznym. Zawarte w niej treści dotyczą złożonych problemów opracowywania inteligentnych bezprzewodowych czujników i układów pomiarowych dedykowanych Internetowi Rzeczy w laboratoriach



komponentów lotniczych. Treści merytoryczne zawarte w pracy świadczą o dużej dojrzałości naukowej i szerokiej wiedzy merytorycznej Doktoranta.

Zaprezentowane w rozprawie wyniki prac są oryginalnym dorobkiem konstrukcyjnym Doktoranta, a rezultaty pracy zostały bezpośrednio wykorzystane w praktyce. Pozwalają one stwierdzić, że wdrożenie opracowanych rozwiązań pozytywnie wpłynęło na usprawnienie procesu przygotowania badań komponentów lotniczych oraz pozwoliło na uzyskanie nowych możliwości badawczych.

Zawarte w rozprawie badania i analizy zostały przeprowadzone na wysokim poziomie merytorycznym, a ich wyniki rozszerzają wiedzę z zakresu nauk inżynieryjno-technicznych w obszarze projektowania inteligentnych czujników i układów pomiarowych dedykowanych Internetowi Rzeczy w laboratoriach lotniczych.

Reasumując stwierdzam, że rozprawa przedstawiona do recenzji spełnia warunki przewidziane w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 roku – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2023 r., poz. 742).

Stawiam wniosek o przyjęcie opracowania przedstawionego do recenzji jako rozprawy doktorskiej mgr. inż. Tomasza KABALI w postępowaniu o nadanie stopnia doktora w dziedzinie nauk – Nauki Inżynieryjno-Techniczne w dyscyplinie naukowej – Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne oraz dopuszczenie jej do publicznej obrony.

KIEROWNIK ZAKŁADU
INFORMATYCZNEGO WSPARCIA LOGISTYKI
Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych
ptk dr hab. inż. Mariusz ZIEJA, prof. ITWL

