

Kielce, dnia 01.09.2021 r.

prof. dr hab. inż. Zbigniew Koruba
Politechnika Świętokrzyska
Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn
Katedra Technik Komputerowych i Uzbrojenia

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgra inż. Sławomira ŁUNIEWSKIEGO
pt. „**Konstrukcja i oprogramowanie LED-owego wyświetlacza kulistego do zobrazowania rzeczywistości wirtualnej**”

Podstawa wykonania recenzji: pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej „Inżynieria Mechaniczna” prof. dr hab. inż. Jerzego Małachowskiego z prośbą o opracowanie recenzji zgodnie z uchwałą nr 34/RDN IM2021 podjętą w dniu 23 czerwca 2021 r.

1. Sylwetka Doktoranta

Mgr inż. Sławomir Łuniewski urodził się 27 września 1989 r. w Wysokim Mazowieckim. Studiował na Wydziale Mechatroniki i Lotnictwa Wojskowej Akademii Technicznej w latach 2008-2013. Uzyskał tytuł zawodowy magistra inżyniera broniąc pracę pt. "Kulisty wyświetlacz z wirującą kolorową linijką diodową i sterowaniem bezprzewodowym".

Rok po zakończeniu studiów drugiego stopnia w 2014 r. rozpoczął studia doktoranckie na Wydziale Mechatroniki i Lotnictwa WAT w dyscyplinie budowa i eksploatacja maszyn. W 2017 r. otworzył przewód doktorski pt. "Konstrukcja i oprogramowanie LED-owego wyświetlacza kulistego do zobrazowania rzeczywistości wirtualnej". Promotorem doktoranta jest prof. dr hab. inż. Bogdan Zygmunt, natomiast promotorem pomocniczym - dr inż. Waldemar Śmietanski. Studia doktorancie zakończył w 2019 r. zaś zamknięcie przewodu doktorskiego w dyscyplinie inżynieria mechaniczna nastąpiło w 2021 r. W trakcie studiów III stopnia kierował projektem badawczym w ramach konkursu Rozwój Młodych Naukowców nr RMN759/2015, którego tematyka związana była z charakterem podjętej rozprawy doktorskiej.

Równolegle z pracą naukową rozpoczął działalność zawodową w sektorze prywatnym. W latach 2013-2016 pracował w firmie Elester-PKP Sp. z o.o. na stanowisku inżyniera elektronika-programisty. Był m.in. konstruktorem sterownika programowalnego "CZAT 7" wdrożonego na rynek energetyki trakcyjnej. W 2016 roku rozpoczął pracę w Centrum Rozwojowo-Wdrożeniowym Telesystem Mesko Sp. z o.o. gdzie pracuje do chwili obecnej na stanowisku



inż. elektronika w dziale Amunicji Precyzyjnego Rażenia. Brał aktywny udział w opracowaniach w ramach projektów badawczo rozwojowych wnosząc autorski wkład w rozwiązania elektroniczno-programistyczne. Członek zespołu w ramach CRW Telesystem Mesko w latach 2018-2021 w projekcie obronnym finansowanym przez Agencję Rozwoju Przemysłu dotyczącym ppk PIRAT.

Doktorant jest współautorem lub autorem 4 artykułów w czasopismach naukowych, do których należą: „*3-D Spherical POV Display with Rotating Semicircular Line of LEDs*”, Intern. J. of Electronic Communication and Computer Engineering, 2017; „*Analiza drgań oraz wyważanie urządzeń wirnikowych metodą amplitudowo-fazową z wykorzystaniem czujników i oscyloskopu cyfrowego*”, Mechanik nr 7/2016; „*Komputerowe wspomaganie projektowanie, symulacji i badań układów chłodzenia w urządzeniach elektronicznych*”, Mechanik nr 7/2015; „*Kulisty, kolorowy wyświetlacz widmowy*”, Elektronika Praktyczna nr 8/2014.

Należy podkreślić, że Doktorant w ramach realizacji pracy magisterskiej brał udział w wystawach i konkursach prezentując model opracowanego urządzenia. Jako doktorant WAT aktywnie prezentował ideę i model wyświetlacza na zagranicznych i krajowych wystawach zdobywając nagrody. Otrzymał srebrne medale na IX Międzynarodowej Warszawskiej Wystawie Wynalazców IWIS 2015 oraz na 63. Międzynarodowych Targach Wynalazczości, Badań Naukowych i Nowych Technologii - BRUSSELS INOVA 2014 w konkursie Eureka za LED-owy wyświetlacz kulisty. Ponadto, dokonywał ekspozycji modelu wyświetlacza w ramach stoiska WAT na krajowych wystawach wynalazczości, MSPO i targach nauki (Warszawa, Kielce – łącznie udział w pięciu imprezach 2015-2020).

2. Krótka charakterystyka rozprawy

Rozprawa doktorska pt. „*Konstrukcja i oprogramowanie LED-owego wyświetlacza kulistego do zobrazowania rzeczywistości wirtualnej*” została napisana na 125 stronach wraz ze spisem 67 pozycji literatury (z czego 2 są pracami dyplomowymi i 2 są artykułami (autorski oraz współautorski) Doktoranta uporządkowanych w kolejności odwołań; Spisu treści; Wykazu ważniejszych skrótów, oznaczeń i indeksów; (brak jest wykazu rysunków, fotografii i tabel); 9 Rozdziałów; Wprowadzenia i Podsumowania. W rozprawie brak jest streszczeń zarówno w języku polskim, jak i angielskim.

W Rozdziale 1 przedstawione zostało uzasadnienie wyboru tematu rozprawy, a także jej skrótową zawartość cel i tezę. Jako cel główny rozprawy Doktorant określił opracowanie konstrukcji i oprogramowanie LED-owego wyświetlacza kulistego do zobrazowania rzeczywistości wirtualnej. Jednocześnie tezę sformułował następująco: „*możliwe jest zrealizowanie*



celu wykorzystując skanowanie mechaniczne ze wspomaganie zaawansowanych technologii elektronicznych oraz informatycznych”.

Rozdział 2 opisuje funkcjonujące technologie tworzenia wirtualnych obrazów przestrzennych. W formie graficznej przedstawiona jest klasyfikacja kilkunastu metod wyświetlania obrazów przy czym dokładniej poświęcona jest uwaga jednej z nich, tj. metodzie wolumetrycznej jako obiektu dalszych badań i rozwoju. Doktorant krótko dokonuje opisu na podstawie dostępnych źródeł literaturowych i internetowych – grafikę komputerową (metodę śledzenia promieni, renderowanie objętości), stereoskopię binokularną (metody: anaglifową, polaryzacyjną, migawkową; wyświetlacze nahełowe HMD), autostereoskopię (wielowidokowe wyświetlacze 3D, metody oparte na zjawisku: okluzji, refrakcji, odbicia, projekcji, dyfrakcji; wyświetlacze holograficzne – system „Mark”, system wyświetlania pola światła „Holografic”; wolumetryczne wyświetlacze 3D – układy statyczne z ekranem pasywnym i aktywnym, układy dynamiczne z ekranem pasywnym i aktywnym, konstrukcje dynamiczne z ekranem aktywnym). Najciekawsze informacje nawiązujące bezpośrednio do tematu rozprawy zawiera opis sferycznego wyświetlacza z wirującą linijką LED-ową w wersji 1.0. Z przeprowadzonej analizy wynika, że w literaturze światowej pojawiły się nieliczne informacje o takim rozwiązaniu. Na zakończenie Rozdziału 2 Doktorant wyznaczył cel i sformułował tezę rozprawy.

W Rozdziale 3 Doktorant przedstawił podstawowe założenia wyświetlania wirtualnego obrazu, koncepcję konstrukcyjną, istotę rzeczywistości wirtualnej oraz właściwości wyświetlacza. Krótko podsumował dotychczasowe własne osiągnięcia w wybranej tematyce badawczej. Podkreślił, że innowacyjnym rozwiązaniem jego modelu w porównaniu do istniejących już wyświetlaczy jest zastosowanie kilku linii LED-owych umieszczonych w różnych odległościach od osi obrotu układu projekcyjnego.

W Rozdziale 4 zaprezentowana została koncepcja i założenia konstrukcyjne oraz podstawowe parametry charakteryzujące wielowarstwowy LED-owy wyświetlacz kulisty. Zaprojektowane także zostały moduły składowe, pełna struktura i funkcjonalność wyświetlacza, w którym realizowana jest obsługa modułu elektronicznego przez moduł informatyczny.

Rozdział 5 przedstawia i opisuje model matematyczny wyświetlacza kulistego. Wyjaśnia na czym polega wyświetlanie obrazu na kulistym wyświetlaczu i podaje metody akwizycji danych trójwymiarowych, opisuje proces przetwarzania danych obrazu trójwymiarowego, wyprowadza model matematyczny wizualizacji jednej warstwy obrazu oraz wizualizacji trójwymiarowej kulistego wyświetlacza. Dodatkowo wyprowadza równania dynamiki ruchomej części konstrukcji kulistego wyświetlacza. Ze względu na brak modeli matematycznych pod-



stawowych modułów wyświetlacza, tj.: akwizycji danych, przetwarzania i wyświetlania obrazu oraz układu napędu elektrycznego, Doktorant poddał je identyfikacji, wykorzystując nowoczesne narzędzie informatyczne jakimi są aplikacje programu Matlab – System Identification Toolbox. W wyniku tych prac powstał oryginalny model matematyczny, który został poddany symulacjom komputerowym odwzorowującym realną pracę wyświetlacza. Istotnym elementem systemu okazał się zainstalowany wielofunkcyjny regulator cyfrowy (PID), co okazało się warunkiem spełnienia wymagań podstawowych, np. czasu regulacji poniżej 3 sekund. Rozdział ten można uznać jako istotny wkład naukowy rozprawy Doktoranta.

W Rozdziale 6 opisano wykonane prace projektowe i konstrukcyjne oraz montaż i mechaniczne uruchomienie modelu wyświetlacza. Inżynierskim problemem jaki poprawnie rozwiązał Doktorant było precyzyjne wyważenie niesymetrycznego wirującego elementu wyświetlacza, odpowiedzialnego za projekcję przestrzennych obrazów. Projekt konstrukcji mechanicznej, budowa modelu LED-owego wyświetlacza kulistego oraz uruchomienie i wyważenie opracowanego modułu stanowią jeden z głównych celów pracy Doktoranta.

Rozdział 7 (największy objętościowo) poświęcony został opracowaniu obwodów elektronicznych i oprogramowaniu mikrokontrolerów. Doktorant przedstawił prace projektowe dotyczące modułu elektronicznego wyświetlacza, opisał i uzasadnił dobór elementów elektronicznych takie jak diody LED RGB, sterowniki czy też mikrokontrolery. Za oryginalne opracowanie Doktoranta można uznać przeprowadzone badania „bezwładności” działania wybranej diody LED w każdym zakresie koloru RGB. Opóźnienie działania diod LED wyznaczył na poziomie kilkudziesięciu nanosekund, co wystarcza do zapewnienia ostrości wyświetlanych obrazów. Z dużym uznaniem należy także się odnieść do opracowania mikrokontrolera sterującego napędem oraz graficznym interfejsem użytkownika oraz wykonał projekty obwodów drukowanych (PCB) w specjalistycznej aplikacji. Należy podkreślić, że Doktorant po integracji płytek drukowanych z elementami elektronicznymi, uruchomił obwody i zainstalo- wał oprogramowanie mikrokontrolerów.

W Rozdział 8 przedstawione zostało opracowanie i uruchomienie oprogramowania narzędziowego i zarządzającego kulistym wyświetlaczem LED-owym (opisane są środowisko programistyczne Visual Studio, biblioteka Open CV oraz aplikacje narzędziowe i zarządzającego urządzeniem). Doktorant przedstawił skrótowo funkcje i własności oprogramowania do zarządzania pracą wyświetlacza kulistego oraz interfejsem użytkownika.

Rozdział 9 stanowi podsumowanie rozprawy – Doktorant wymienił w nim wykonane prace projektowe, konstrukcyjne i teoretyczne, w wyniku których powstał działający model wyświetlacza do projekcji obrazów 3D. Podkreślił przydatność przeprowadzonych badań sy-



mulacyjnych na opracowanym modelu matematycznym urządzenia. Oceniał jakość wyświetlanych obrazów przestrzennych i przedstawił perspektywę zastosowań i zarys dalszych prac badawczych nad rozwojem wyświetlacza kulistego. Podkreślił, że celem naukowym rozprawy było opracowanie wydajnego narzędzia do wizualizacji 3D oraz zrozumienia projekcji wirtualnych obrazów z użyciem nowoczesnych źródeł światła jakimi są diody LED, wykorzystując strumień złożonych, wielowymiarowych danych cyfrowych.

Należy stwierdzić, że układ i struktura rozprawy są poprawne a źródła literaturowe są dobrane właściwie i w wystarczającej liczbie. Dokonany jest przegląd literatury, przedstawione są teza i cel pracy oraz obiekt badań. Naświetlone zostało także uzasadnienie wyboru tematu i określenie jego szerokiej problematyki, obejmującego przeprowadzenie wielu badań i analiz. Przytoczone w przejrzysty sposób wyniki badań występują zarówno w wersji graficznej, jak i tabelarycznej. Na zakończenie rozprawy Doktorant dokonuje podsumowania i wyciąga trafne wnioski końcowe.

3. Rozważania dotyczące rozprawy

Technologie wyświetlania trójwymiarowych obrazów są obszarem badań wynalazców oraz naukowców od czasu wynalezienia urządzeń do statycznej (aparat fotograficzny) i ruchomej projekcji (kinematograf). W ciągu półtora wieku zmieniały się techniki tworzenia i rejestracji obrazów zaczynając od metod opartych na efektach fotochemicznych i urządzeniach mechanicznych (fotografia), poprzez próżniowe monitory elektronowe i zapis na taśmach magnetycznych (telewizja), a w ostatnich dziesięcioleciach na elektronicznym cyfrowym tworzeniu i rejestracji obrazów z wykorzystaniem matryc ciekłokrystalicznych i zapisu na pojemnych nośnikach cyfrowych. Najnowszymi trendami są techniki obrazowania wykorzystujące nowoczesne źródła światła jakimi są lasery (holografia) oraz energooszczędne diody LED, wyróżnione Nagrodą Nobla w 2014 r. (trzej japońscy uczeni za niebieską diodę LED).

Doktorant zastosował diody LED (RGB – trójbarwne) do opracowania koncepcji, zaprojektowania, wykonania i uruchomienia LED-owego kulistego wyświetlacza obrazów imitującego przestrzenność wytworzonego obrazu. Z dokumentów wynika, że jeszcze jako magister, pierwszy jednopowłokowy model LED-owego wyświetlacza kulistego, opracował w 2014 r. jako efekt dyplomu magisterskiego.

Tematyka rozprawy dotyczy problemu technicznego jakim jest nowatorska mechaniczno-elektroniczno-informatyczna (czyli mechatroniczna) metoda tworzenia widmowych obrazów 3D z użyciem kilkudziesięciu diod LED (RGB) umieszczonych na wirującym półokręgu.



Cykliczne włączanie i wyłączenie diod LED przez odpowiednio zaprogramowany mikrokontroler wytwarza wirtualny kulisty obraz widoczny dla obserwatora dzięki naturalnej „bezwładności” ludzkiego zmysłu wzroku. Nowością w skali międzynarodowej zrealizowaną w rozprawie jest rozszerzenie skali wytwarzania wirtualnych obrazów wyświetlanych jednocześnie na czterech kulistych powierzchniach (wortalach). Stopień komplikacji urządzenia i synchronizacji jego modułów narasta wykładniczo z każdym kolejnym dodanym wortalem.

Doktorant opracował oryginalną koncepcję czteropowłokowego kulistego wyświetlacza widmowego, wykonał moduły składowe urządzenia: mechaniczny z napędem elektrycznym, elektroniczny oraz informatyczny. Dokonał integracji modułów i uruchomienia urządzenia, które wyświetla zaprogramowane do pamięci widmowe obrazy, zarówno statyczne jak i ruchome. Należy przyznać, że rozprawa napisana przez Doktoranta ma charakter pionierski w skali międzynarodowej.

Za oryginalne osiągnięcie mgr, inż. S. Łuniewskiego należy uznać:

1. Zaproponowanie modelu funkcjonalnego struktury LED-owego wyświetlacza kulistego 3D.
2. Opracowanie modelu matematycznego projekcji wirtualnych obrazów przez wyświetlacz;
3. Zaprojektowanie i wykonanie modułów wyświetlacza: mechanicznego, elektronicznego oraz informatycznego.
4. Opracowanie oprogramowania komputerowego do sterowania wielopowłokowym wyświetlaczem oraz jego integracja z interfejsem użytkownika.
5. Integracja modułów, uruchomienie i eksperymentalna weryfikacja działania LED-owego wyświetlacza kulistego 3D.
6. Możliwość prowadzenia dalszych prac rozwojowych dotyczących wizualizacji bieżącej sytuacji powietrznej oraz kosmicznej w zastosowaniach wojskowych i cywilnych prezentując ruch samolotów, pocisków raketowych, satelitów i innych obiektów.

Godnym podkreślenia jest fakt uzyskania przez Doktoranta zaawansowanego kulistego wyświetlacza w którym nadbudowana została warstwa elektroniczna z optoelektronicznymi źródłami światła, sterowanymi opracowanym oprogramowaniem integrującym z bezprzewodową transmisją sygnałów sterujących do ponad 150 diod LED. W wyniku zsynchronizowanej pracy urządzenia, na jego wirtualnych sferach powstają przenikające się przestrzenne statyczne obrazy, z możliwością ich animacji.

Zatem opiniowana rozprawa doktorska, łączy osiągnięcia mechaniki z elektroniką, informatyką i automatyką, ma zatem charakter mechatroniczny. Niewątpliwie można ją umieścić w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.



Rozprawa ma charakter projektowo-konstrukcyjny i doświadczalny z dużym wkładem teoretycznym w postaci symulacji komputerowych na zbudowanym modelu matematycznym. Umiejętność Doktoranta w kompetentnym łączeniu badań teoretycznych i projektowych oraz prac doświadczalnych zasługuje na podkreślenie i wyróżnienie.

Cel główny rozprawy doktorskiej – „opracowanie konstrukcji i oprogramowanie LED-owego wyświetlacza kulistego oraz eksperymentalne zweryfikowanie możliwości zobrazowania rzeczywistości wirtualnej 3D poprzez wizualizację informacji przestrzennej z zastosowaniem mechatronicznego układu wyświetlania kulistego” – został osiągnięty, a teza, która brzmi: „możliwe jest opracowanie urządzenia prezentującego obraz wirtualnej rzeczywistości stworzony na zasadzie połączenia technologii informatycznej oraz skanowania mechanicznego” – została udowodniona.

Podjęcie zadania opracowania niestosowanej dotąd techniki polegającej na budowie wielowarstwowego LED-owego wyświetlacza kulistego, było zadaniem pionierskim i jest oryginalne w skali światowej.

Uważam, że Doktorant podjął się bardzo ważnego i trudnego zadania opracowania kulistego wyświetlacza LED-owego do wizualizacji rzeczywistości wirtualnej.

Zagadnienia poruszane w rozprawie są zatem aktualne, a wiele z nich przez Autora rozwiązanych stanowić może nieocenioną pomoc w opracowaniu wydajnego narzędzia do wizualizacji 3D oraz zrozumienia projekcji wirtualnych obrazów z użyciem nowoczesnych źródeł światła jakimi są diody LED, wykorzystując strumień złożonych, wielowymiarowych danych cyfrowych.

Wobec powyższego, wybór tematu rozprawy uważam za trafnie dobrany zarówno z teoretyczno-poznawczego jak i przede wszystkim użytecznego punktu widzenia, bowiem w opracowanej technologii tkwi potencjał rozwojowy.

Uwzględniając szeroki zakres wykonanych prac teoretycznych i projektowych oraz fizyczną realizację konstrukcji i uruchomienia LED-owego wyświetlacza oraz pozytywne wyniki badań eksperymentalnych, wysoko oceniam przedłożoną rozprawę.

4. Uwagi ogólne i szczegółowe dotyczące rozprawy

Najogólniej mogę stwierdzić, że rozprawa doktorska mgr inż. Sławomira Łuniewskiego napisana została na bardzo wysokim poziomie merytorycznym, redakcyjnym i stylistycznym.

Doktorant wykazał się umiejętnością naukowego podejścia do rozwiązywanych zagadnień praktycznych, czego wyrazem są samodzielne i współautorskie publikacje w czasopiśmie naukowych notowanych na liście B Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego.



Z uwag ogólnych i pytań, inspirujących dysputę naukową, miałbym następujące trzy:

1. Dlaczego Doktorant nie uwzględnił wpływu losowego oddziaływania zakłóceń oraz kinematycznego oddziaływania podłoża na LED-owy wyświetlacz kulisty?
2. Czy w rozprawie zapewniona została stabilność pracy LED-owego wyświetlacza kulistego? Jeśli tak, to jaka metoda stabilności została zastosowana i czy były wyznaczone obszary stabilnej pracy?
3. Z jakiego powodu Doktorant wybrał regulator PID, a nie np. LQR czy też SMC? Czy dokonał porównania otrzymanych wyników z innym regulatorem?
4. W jaki sposób w modelu ruchu kulistego wyświetlacza zostało uwzględnione tarcie? Jakiego rodzaju ono było? Czy udało się zidentyfikować jego parametry? W przypadku długotrwałej pracy układ może nie tylko stać się nieliniowy, ale także nawet niestacjonarny.
5. Czy w ramach perspektywy dalszych badań Doktorant mógłby przedstawić zastosowanie opracowanego Led-owego urządzenia w technice uzbrojenia? W rozprawie brakuje wyraźnego wyeksponowania kierunków dalszych badań. Czy mógłby je Doktorant wyartykułować i krótko omówić?

Natomiast do uwag szczegółowych wymieniłbym następujące:

1. Brak w rozprawie streszczeń zarówno w języku polskim, jak i angielskim utrudnia Czytelnikowi szybkie zapoznanie się z nią. Ponadto brak jest wykazu rysunków, fotografii i tabel.
2. Z jakiego powodu Doktorant we Wprowadzeniu przedstawił tezę rozprawy, podczas gdy uczynił to powtórnie na koniec Rozdziału 2? Wystarczające było i właściwsze, ukazanie tezy i celu rozprawy po dokonaniu przeglądu literatury.
3. Jak rozumiane jest przez Doktoranta pojęcie modelu fizycznego? Na str. 47 napisane jest, że w pierw opracowany został model matematyczny, dopiero w ślad za nim model fizyczny. Czy nie pomyłone tu zostały model fizyczny z obiektem rzeczywistym?
4. Na schematach blokowych brak jest symbolu zakończenia działania algorytmu (no. Rys. 67 i 68). Nie jest tym samym podany warunek zakończenia jego działania.

Podczas recenzji rozprawy odnotowałem kilka usterek redakcyjnych, nazewniczych i stylistycznych, m.in.

- ✓ niewłaściwe użycie słowa „określić” zamiast „wyznaczyć” (np. str. 9₉, 24₂₂, 39¹¹, 41¹⁴, 43₁₁, 57⁷, 73₄, 90₁₀, 120₄);
- ✓ niewłaściwe użycie słowa „wielkość” zamiast „wartość” lub „rozmiar” (np. str., 24₄, 29⁴, 29₂, 37₆, 45₉, 75₁₁, 82⁶, 86₇);



- ✓ niewłaściwe użycie słowa „stworzony” zamiast „opracowany” (np. użyte w tezie rozprawy na str. 11, 40 i 121 oraz na str. 42³, 42⁵, 88², 117¹⁵, 117₄, 121₁₄);
- ✓ niewłaściwe użycie słowa „moment” zamiast „chwila” (np. str. 113¹⁹);
- ✓ stylistycznie zagmatwane zdanie zaczynające się od słów: „Głównym elementem...”(str. 37);
- ✓ jest „wraz opisem” zamiast „wraz z opisem” (str. 12);
- ✓ jest „która” zamiast „które” (str. 17);
- ✓ jest „w odróżnieniu do” zamiast „w odróżnieniu od” (str. 26);
- ✓ jest „mechaniczne” zamiast „mechanicznie” (str. 40);
- ✓ jest „sterującego” zamiast „sterujące” (str. 40);
- ✓ jest „otaczającym do planie” zamiast „otaczającym do planie” (str. 42);
- ✓ jest „TLC5922 układzie” zamiast „TLC5922 w układzie” (str. 96);
- ✓ jest „wyposażono sprzętowa” zamiast „wyposażono w sprzętowa” (str. 97);
- ✓ jest „wraz dołączoną” zamiast „wraz z dołączoną” (str. 103);
- ✓ jest „zrozumienia” zamiast „zrozumienie” (str. 119);
- ✓ błąd ortograficzny: nie „z pod” lecz powinno być „spod” (str. 119);
- ✓ jest „przez odbiorę” zamiast „odbiorcę” (str. 121).

Wszystkie powyższe usterki odnotowane są bezpośrednio na stronach recenzowanego egzemplarza rozprawy. Zaznaczam jednak, że powyższe uwagi mają charakter dyskusyjny lub redakcyjny i w żadnej mierze nie wpływają na jakość ocenianej rozprawy.

5. Podsumowanie

W ramach realizacji pracy doktorskiej Doktorant wykonał szereg wyznaczonych zadań oraz rozwiązał zaistniałe problemy techniczne. Kluczowym osiągnięciem było opracowanie oryginalnej metody tworzenia obrazów 3D wykorzystującej dynamiczny układ skanowania mechanicznego z zastosowaniem kilku linijek LED-owych tworzących niezależne widoki. Opracował model matematyczny wizualizacji obrazów 3D na powierzchniach sferycznych, którego poprawność została zweryfikowana zarówno w symulacji komputerowej, jak również w fizycznym modelu skonstruowanego wyświetlacza. Wyznaczył również model matematyczny ruchomej części urządzenia, co umożliwiło zaprojektowanie regulatora PID oraz dobranie optymalnych nastaw. Skuteczność zaimplementowanego regulatora w jednostce sterowania napędem potwierdzona została badaniami eksperymentalnymi.

Podsumowując rozprawę mogę stwierdzić, że jej temat jest aktualny i rozwojowy, teza została udowodniona, a postawiony cel został osiągnięty. Zagadnienie naukowe, którego rozwiązania podjął się Doktorant zostało zbadane dosyć wnikliwie i wszechstronnie. Analizy



wyników teoretycznych, symulacyjnych i eksperymentalnych zostały przeprowadzone należyście i nie budzą zastrzeżeń, a ich interpretacja i sformułowane wnioski są prawidłowe.

Chciałbym ponadto podkreślić następujące aspekty rozprawy:

- ✓ Zagadnienie naukowe zostało jasno sformułowane i rozwiązane, a cel naukowy został osiągnięty.
- ✓ Rozprawa ma charakter zarówno projektowo-konstrukcyjny, jak i teoretyczno-doświadczalny.
- ✓ Rozprawę można jednoznacznie zaliczyć do dyscypliny „*inżynieria mechaniczna*”.
- ✓ Doktorant wykazał się wysokim poziomem wiedzy we wspomnianej dyscyplinie oraz wykazał umiejętność i cechy do samodzielnego prowadzenia badań naukowych.
- ✓ Doktorant właściwie przeprowadził analizę piśmiennictwa i stan wiedzy zagadnienia naukowego.

6. Ocena końcowa rozprawy

Rozprawę doktorską mgr. inż. Sławomira Łuniewskiego oceniam bardzo wysoko, gdyż przedstawia oryginalne własne osiągnięcie naukowe. Ma ona poważne walory poznawcze i przede wszystkim użyteczne. Praca świadczy o bardzo dobrym przygotowaniu merytorycznym Autora. Doktorant bowiem wykazał nie tylko obszerną wiedzę z mechatroniki, elektroniki, automatyki, metod symulacyjnych i numerycznych oraz programowania, ale również dużą dojrzałość naukową w formułowaniu zagadnień i realizacji rozwiązań. Stanowi to podstawę do stwierdzenia, że mgr inż. Sławomir Łuniewski ma bardzo dobre przygotowanie teoretyczne i warsztatowe do twórczej pracy naukowej.

Ponadto stwierdzam, że niniejsza rozprawa spełnia wszystkie wymagania stawiane pracom doktorskim przez aktualnie obowiązującą Ustawę o tytule i stopniach naukowych. Wysoki poziom naukowy, redaktorski i stylistyczny rozprawy sprawia, że zasługuje ona na dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Biorąc pod uwagę zakres rozprawy, sposób podejścia do problemu naukowego i uzyskane wyniki, a przede wszystkim, możliwość ich zastosowania do skonstruowania innowacyjnego kulistego wyświetlacza LED-owego, moim zdaniem nie mający równego sobie w skali światowej – wnoszę aby Rada Dyscypliny Naukowej „Inżynierii Mechanicznej” Wojskowej Akademii Technicznej rozważyła możliwość **wyróżnienia** niniejszej dysertacji.

