

Prof. dr hab. inż. Andrzej Burghardt
Katedra Mechaniki Stosowanej i Robotyki
Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa
Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza

Rzeszów 06.01.2026 r.

Recenzja rozprawy doktorskiej

mgr. inż. Jonasza Hartwicha pod tytułem:

Zastosowanie stopu NiTi w aktuatorach oraz układach sensorycznych wykonanych z kompozytów polimerowych

Podstawą opracowania recenzji rozprawy doktorskiej mgr. inż. Jonasza Hartwicha było pismo Przewodniczącej Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna dr hab. inż. Alicji Piaseckiej-Belkhat, prof. Politechniki Śląskiej, o sygnaturze RDIME.512.792025, z dnia 19.11.2025 r.

1. Ocena aktualności wybranego tematu

Dynamiczny rozwój współczesnej inżynierii materiałowej oraz rosnące wymagania sektorów wysokich technologii, takich jak przemysł lotniczy, kosmiczny, medyczny czy nowoczesna robotyka, wymuszają poszukiwanie rozwiązań wykraczających poza tradycyjne materiały konstrukcyjne. Centralnym punktem tych poszukiwań stały się materiały inteligentne (ang. smart materials), a w szczególności stopy z pamięcią kształtu (ang. Shape Memory Alloys – SMA), wśród których kluczową rolę odgrywa stop niklu z tytanem (NiTi). Niniejsza rozprawa doktorska wpisuje się w jeden z najbardziej perspektywicznych nurtów badawczych – budowy wielofunkcyjnych kompozytów hybrydowych, łączących lekkość osnowy polimerowej z unikalnymi właściwościami funkcyjnymi.

Aktualność podjętej tematyki wynika przede wszystkim z postępującego trendu miniaturyzacji oraz dążenia do redukcji masy układów wykonawczych. Tradycyjne aktulatory (elektromagnetyczne, hydrauliczne czy pneumatyczne) charakteryzują się dużą złożonością konstrukcyjną i znacznym ciężarem. Zastosowanie drutów NiTi jako elementów napędowych wewnątrz struktur kompozytowych pozwala na konstruowanie układów o rekordowo wysokim

Biuro Dziekana

stosunku generowanej siły do masy aktuatora, co ma znaczenie krytyczne w budowie bezzałogowych statków powietrznych (UAV) oraz systemów adaptacyjnych w lotnictwie (np. zmiennokształtne płaty skrzydeł – morphing wings).

Równie istotnym i aktualnym zagadnieniem poruszonym w pracy jest wykorzystanie stopu NiTi w charakterze zintegrowanego sensora odkształceń. W dobie koncepcji Przemysłu 4.0 oraz systemów monitorowania stanu konstrukcji w czasie rzeczywistym (ang. Structural Health Monitoring – SHM), poszukiwanie materiałów typu „self-sensing” jest priorytetem. Wykazanie w rozprawie korelacji między zmianami fazowymi, a właściwościami elektrycznymi stopu NiTi wpisuje się w globalny paradygmat budowy struktur autonomicznych, zdolnych nie tylko do przenoszenia obciążeń i wykonywania ruchu, ale także do autodiagnostyki bez konieczności stosowania zewnętrznych czujników.

Aktualność badań Jonasza Hartwicha podkreśla również kontekst nowoczesnych metod wytwarzania, w tym technologii przyrostowych (druku 3D). Integracja drutów NiTi z polimerami w procesach takich jak FDM (ang. Fused Deposition Modeling) otwiera drogę do rozwoju tzw. druku 4D, gdzie czwartym wymiarem jest kontrolowana zmiana kształtu obiektu w czasie pod wpływem bodźca termicznego. Praca ta wypełnia istotną lukę poznawczą w zakresie analizy interakcji mechanicznych na granicy faz metal-polimer oraz stabilności właściwości funkcyjnych w cyklach pracy termomechanicznej.

Podsumowując, podjęta tematyka jest wysoce aktualna i odpowiada na zapotrzebowanie współczesnego przemysłu na lekkie, inteligentne struktury kompozytowe. Połączenie funkcji sensorycznych i aktuacyjnych w jednym materiale, oparte na zaawansowanych badaniach przemian fazowych w stopach NiTi, stanowi istotny wkład w rozwój inżynierii mechanicznej i materiałowej oraz otwiera nowe perspektywy dla przyszłych konstrukcji.

2. Przegląd treści pracy

Treść opiniowanej rozprawy doktorskiej mgr. inż. Jonasza Hartwicha pt. „Zastosowanie stopu NiTi w aktuatorach oraz układach sensorycznych wykonanych z kompozytów polimerowych” została zawarta na 163 stronach maszynopisu. Układ pracy obejmuje 10 rozdziałów, zilustrowanych 117 rysunkami oraz zawiera 10 tabel, bibliografię zawierającą 169 pozycji literaturowych, w tym znaczącą liczbę źródeł obcojęzycznych, co świadczy o dobrym rozeznaniu Autora w światowym stanie wiedzy.

Rozdział 1 i 2 zawiera wstęp oraz wprowadzenie do tematyki możliwości wykorzystania i implementacji stopów NiTi. Rozprawa rozpoczyna się od nakreślenia możliwości aplikacji przemysłowych, wskazując na dynamiczny rozwój sektora „inteligentnych rozwiązań” w ramach czwartej rewolucji przemysłowej (Industry 4.0) i Internetu Rzeczy (IoT). Autor definiuje inteligentne materiały jako te, które łączą cechy elementów wykonawczych, sensorycznych i sterujących. Wśród nich kluczowe miejsce zajmują stopy niklu i tytanu (NiTi), odkryte w 1962 roku, które obecnie dominują na rynku materiałów z pamięcią kształtu. Szczegółowo opisano podstawy fizyczne zmian struktury krystalicznej i zasady przemian materiałów z pamięcią kształtu, w tym efekt pamięci kształtu (SME), czyli zdolność materiału do powrotu do pierwotnej formy pod wpływem temperatury, co wynika z przemiany martenzytu w austenit. Dalej pseudosprężystość (SE), efekt polegający na przemianie struktury

martenzytycznej stopu do struktury martenzytu zbliżniaczonego wskutek oddziaływania na stop określonego granicznego naprężenia. Po ustąpieniu obciążenia następuje powolny powrót materiału do swojej pierwotnej postaci. Doktorant wskazuje też na istnienie niszy w badaniach dotyczących opisu przemiany romboedrycznej polegającej na wydzielaniu się w strukturze krystalicznej stopu fazy pośredniej, powstającej podczas przemiany sześciennego austenitu w monokliczny martenzyt. Faza ta pojawia się najczęściej w stopach NiTi poddanych obróbce cieplnej w niższej temperaturze.

Rozdział 3 rozprawy, zatytułowany „Przegląd istniejącego stanu wiedzy i aplikacji z zakresu stopów NiTi”, stanowi fundament teoretyczny pracy i krytyczną analizę dotychczasowych osiągnięć naukowych oraz technicznych. Autor podzielił go na cztery części. W pierwszej sekcji analizuje publikacje naukowe pod kątem właściwości fizycznych i metod wytwarzania stopów NiTi. Przytacza prace dotyczące wpływu procesów wytwórczych na jakość i powtarzalność wytwarzanych elementów, wpływu zmiany w stężeniu niklu (Ni) na przesunięcie temperatury przemian fazowych i szerokość histerezy termicznej. Przytacza wyniki prac dotyczące trwałości i zmęczenia, pomiarów temperatury i rezystancji, metod i algorytmów sterowania w tym klasycznych regulatorów PID oraz układów wykorzystujących logikę rozmytą oraz sieci neuronowe czy filtr Kalmana. Autor analizuje również stan wiedzy dotyczący wykorzystania druku 3D (FDM) do zatapiania drutów NiTi w osnowie z PLA lub nylonu, łączenia NiTi z polimerami (SMP) i wzmacniania ich nanorurkami węglowymi (CNT) lub grafenem w celu zwiększenia tzw. naprężeń odzyskiwania.

W ramach praktycznych implementacji w pierwszym kroku analizuje aktuatorzy wykorzystujące stopy NiTi, w tym sztuczne mięśnie i robotykę miękką, mikromechanizmy, w szczególności pompy, aplikacje lotnicze do korekcji toru lotu pocisku.

Jako przykłady sensorów wykorzystujących NiTi podaje czujniki wysokich ciśnień, mikroukłady MEMS.

Podsumowując przegląd literatury Doktorant podaje konkluzje, że o ile stopy NiTi jako aktuatorzy są dobrze opisane, o tyle ich wykorzystanie w monitorowaniu stanu konstrukcji (Structural Health Monitoring), zwłaszcza wewnątrz kompozytów polimerowych, stanowi wyraźną lukę badawczą. Podkreśla również potencjał technik druku 3D jako metody integrowania tych inteligentnych materiałów z nowoczesnymi strukturami konstrukcyjnymi.

Na podstawie kwerendy literatury Autor identyfikuje lukę badawczą jako brak prac łączących wykorzystanie NiTi w monitorowaniu stanu konstrukcji (Structural Health Monitoring) z ich rolą jako aktuatorów w nowoczesnych kompozytach. Jest to inspiracja sformułowania celu i określenia zakresu pracy, co zawiera w rozdziale 4. Jako główny cel sformułowano zaproponowanie nowych metod badawczych i autorskiego stanowiska do wyznaczania właściwości elektromechanicznych NiTi co zaowocuje poszerzeniem wiedzy o możliwościach aplikacyjnych w układach sensorycznych i aktuatorach typu „self-sensing”.

Rozdział 5 zawiera opis stanowisk pomiarowych, narzędzi oraz oprogramowania wykorzystanego do przeprowadzenia badań eksperymentalnych opisanych w pracy. Stanowi on techniczny fundament pracy, szczegółowo opisując infrastrukturę badawczą niezbędną do analizy właściwości stopu NiTi oraz kompozytów wytworzonych z jego udziałem. Jako moduły podstawowe wskazano urządzenia pomiarowe, karty pomiarowe (np. firmy National Instruments) oraz sensory (czujniki siły, przemieszczenia), które umożliwiły precyzyjne śledzenie parametrów fizycznych podczas testów. Stanowisko do badania właściwości

elektrycznych służy do rejestracji zmian rezystancji stopu NiTi w zależności od temperatury oraz odkształcenia. Jest to kluczowy element pracy w kontekście wykorzystania NiTi jako sensora. Kolejne stanowisko do badania aktuatorów liniowych umożliwia pomiar siły oraz zakresu ruchu drutów NiTi pracujących jako siłowniki. Stanowisko do badania próbek kompozytowych dedykowane jest testom kompozytów polimerowych z wtopionymi elementami NiTi. Opisano metody mocowania próbek oraz sposób wymuszania ich odkształceń. Za rejestrację parametrów i sposób wymuszania odpowiedzialne było oprogramowanie sterująco-pomiarowe wykonane w środowisku LabVIEW. Rozdział kończy opis procesu przygotowania materiałów do badań, w tym wykorzystanie technologii druku 3D (FDM) do wytworzenia matryc kompozytowych oraz narzędzi i sposobu precyzyjnego pozycjonowania drutów NiTi wewnątrz kompozytu.

Lektura rozdziału 5 pozwala na stwierdzenia, że Autor samodzielnie zaprojektował i skonstruował znaczną część aparatury badawczej, co pozwoliło na przeprowadzenie unikalnych testów właściwości elektromechanicznych stopów z pamięcią kształtu w specyficznych warunkach pracy (jako zintegrowane elementy kompozytowe).

Rozdział 6 dotyczy badań eksperymentalnych wpływu obciążenia na właściwości elektryczne prowadzone pod kątem możliwości jego zastosowania jako czujnika (sensora) odkształceń i naprężeń w strukturach kompozytowych. Opisano procedurę testową mającą na celu wykazanie korelacji między stanem mechanicznym drutu NiTi, a jego parametrami elektrycznymi. Autor wyjaśnia, w jaki sposób przygotowano próbki do testów rozciągania i jakie warunki brzegowe (temperatura otoczenia, prędkość odkształcania) zostały przyjęte, aby wyniki były powtarzalne. Następnie opisano badanie wpływu odkształcenia na rezystancję elektryczną. Przedstawiono wyniki pomiarów zmiany oporu elektrycznego w funkcji wydłużenia względnego. Autor analizuje zjawisko wzrostu rezystancji wynikające zarówno ze zmian geometrycznych drutu (zwężenie przekroju), jak i z procesów zachodzących wewnątrz struktury krystalicznej stopu podczas przemian fazowych wywołanych naprężeniem. Następnie wyznacza i porównuje współczynnik czułości drutów NiTi z tradycyjnymi tensometrami oporowymi. Wykazuje, że stopy z pamięcią kształtu charakteryzują się znacznie wyższą czułością w pewnych zakresach odkształceń, co predysponuje je do roli sensorów o dużej rozpiętości pomiarowej. Poświęca jeden podrozdział badaniom trwałości zmęczeniowej funkcji sensorycznej. Analizuje, jak wielokrotne cykle obciążania i odciażania wpływają na tzw. "dryf" rezystancji bazowej oraz czy sygnał elektryczny pozostaje stabilny w długofalowej eksploatacji struktury. Kluczowym elementem analizy jest opis zjawiska histerezy sygnału elektrycznego podczas cyklu obciążania i odciażania, w jakim stopniu powrót do pierwotnej rezystancji jest opóźniony względem powrotu do pierwotnego kształtu i jak można to zjawisko kompensować w przyszłych układach sterowania. Ponieważ NiTi jest materiałem termoczułym, Autor sprawdza jak zmiany temperatury otoczenia wpływają na błąd pomiaru odkształcenia.

W rozdziale przytoczono dane dowodzące że stop NiTi może pełnić funkcję "inteligentnego" sensora zintegrowanego z kompozytem. Wykazano, że monitorowanie parametrów elektrycznych drutu pozwala na precyzyjne określenie stanu wyężenia całej struktury, co otwiera drogę do budowy systemów typu Structural Health Monitoring (SHM) bez konieczności stosowania zewnętrznych czujników.

Zmiany właściwości wynikających z przemian fazowych Doktorant zamieścił w rozdziale 7. Zawarł w nim analizę właściwości aktuacyjnych stopu NiTi, czyli jego zdolności

do wykonywania pracy mechanicznej (generowania siły i przemieszczenia) w wyniku zmian temperatury, wywołujących przemiany fazowe. Przedstawione badania dotyczyły cienkich drutów ze stopu NiTi pracujących w układzie szeregowym ze sprężyną. Pozwoliło to na określenie zmian właściwości mechanicznych w trakcie przemiany oraz przy niepełnej przemianie martenzytu w austenit. Wykazał, że istotna zmiana generowanych przez próbkę wartości obserwowana jest tylko w bardzo wąskim zakresie prądów grzania.

Dalsze rozważania przeprowadził dla próbek kompozytowych o osnowie z PLA z zatopionym wewnątrz drutem ze stopu NiTi. Wykazał, że dla próbki wzmocnionej drutami o średnicy 375 μm , można uzyskać pełną kompensację przemieszczenia, co implikuje stwierdzenie, że taki kompozyt może być łatwo dostosowany do różnych aplikacji. W ramach prac testowych zaproponowano też metodę testowania kompozytów z wykorzystaniem optycznej analizy ruchu. Rozdział stanowi fundament dla praktycznych zastosowań. Autor udowodnił w nim, że poprzez precyzyjne sterowanie prądem grzania można kontrolować siłę i zakres ruchu aktuatorów NiTi.

Rozdział 8 to symulacje numeryczne, których przeznaczeniem jest opracowanie metody projektowania kolejnych próbek i struktur. Symulacje przeprowadzono w oprogramowaniu Ansys.

W pierwszym kroku przeprowadzono kalibrację modelu materiałowego SMA wykonaną na podstawie danych z własnych prób rozciągania, finalnie uzyskując bardzo dobrą zbieżność z eksperymentem (błąd na poziomie kilku procent).

W dalszej części rozdziału przeprowadzono symulacje kompozytów. Modelowano trójpunktowe zginanie struktur sensorycznych i aktuacyjnych. Walidacja numeryczna również wykazała dobrą zbieżność wyników symulacji z rzeczywistym eksperymentem.

Zwinięcie pracy to rozdział 9 i 10, stanowiący podsumowanie i wnioski końcowe. Autor konkluduje, że stopy NiTi o małych średnicach są doskonałym materiałem do integracji z polimerami w technikach przyrostowych (druk 3D). Najważniejszym wnioskiem jest potwierdzenie, że mierzalny spadek rezystancji w kolejnych cyklach pracy może służyć jako precyzyjne narzędzie do oceny stopnia degradacji (monitorowania stanu) struktur kompozytowych. Praca udowadnia również, że możliwe jest projektowanie aktuatorów kompozytowych o pełnej zdolności do kompensacji odkształceń poprzez właściwy dobór średnicy drutu NiTi.

Pracę kończy wykaz publikacji powiązanych tematycznie z pracą doktorską, zestawienie referatów, bibliografia i streszczenie w języku polskim i angielskim.

3. Wyniki pracy i ich ocena

Recenzowana rozprawa doktorska dotyczy nowatorskiej tematyki integracji stopu NiTi z osnową polimerową w celu wytworzenia struktur o właściwościach sensorycznych i aktuacyjnych. Autor podczas przygotowywania dysertacji wykazał się bardzo dobrym rozeznaniem w rozpatrywanej problematyce naukowej, szczególnie w zakresie fizyki przemian fazowych w stopach z pamięcią kształtu oraz technologii wytwarzania kompozytów hybrydowych. Na szczególne podkreślenie zasługuje sprawność w organizacji warsztatu

badawczego oraz umiejętność samodzielnego projektowania i budowy unikatowej aparatury pomiarowej.

Poszczególne etapy pracy świadczą o dobrym przygotowaniu merytorycznym Autora do prowadzenia badań oraz o jego rzetelności w prowadzeniu prac eksperymentalnych. Warto tu zwrócić uwagę na wielorakość stosowanych narzędzi badawczych, od pomiarów termowizyjnych, przez precyzyjne pomiary elektromechaniczne, aż po zaawansowane modelowanie numeryczne metodą elementów skończonych (MES). Właściwe posługiwanie się tymi metodami wymaga solidnej podbudowy teoretycznej i dużego doświadczenia.

Praca dotyczy zagadnień z obszaru inżynierii materiałowej, mechaniki oraz elektrotechniki, co nadaje jej wyraźny charakter interdyscyplinarny. Jest to niewątpliwie mocna strona dysertacji. Autor wykazał umiejętność sprawnego poruszania się w zagadnieniach z różnych dyscyplin, takich jak: inżynieria mechaniczna (analiza naprężeń i odkształceń w strukturach kompozytowych), inżynieria materiałowa (charakterystyka przemian fazowych i struktury stopów SMA), automatyka elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne (opracowanie autorskiego oprogramowania sterująco-pomiarowego w środowisku LabVIEW).

Do najważniejszych osiągnięć Doktoranta przedstawionych w pracy należą:

- Opracowanie autorskiej konstrukcji kompozytu hybrydowego, w którym druty NiTi pełnią podwójną rolę: elementu wykonawczego (aktuatora) oraz czujnika stanu wytężenia (sensora).
- Zaprojektowanie i wykonanie unikatowego stanowiska badawczego, umożliwiającego synchronizację pomiarów siły, skurczu termicznego oraz zmian rezystancji elektrycznej w czasie rzeczywistym.
- Wykazanie wysokiej czułości sensorycznej stopu NiTi co pozwala na monitorowanie stanu konstrukcji bez stosowania zewnętrznych tensometrów.
- Zbudowanie i walidacja modelu numerycznego, który z dużą dokładnością odwzorowuje zachowanie struktur aktuacyjnych podczas trójpunktowego zginania, co posiada istotne walory aplikacyjne.

Dysertacja zawiera również treści, które wymagają doszczegółowienia lub stały się podstawą do sformułowania następujących uwag i pytań:

- Problem adhezji: Autor w rozdziale 6 analizuje wpływ odkształcenia na rezystancję, jednak brakuje ilościowej oceny wpływu tarcia i poślizgu drutu wewnątrz kanału polimerowego na dokładność odczytu sensorycznego. W jaki sposób Doktorant zweryfikował trwałość połączenia na granicy faz metal-polimer po wykonaniu znacznej liczby cykli pracy?
- Uproszczenia modelu numerycznego: W Rozdziale 8, dotyczącym symulacji MES, przyjęto model materiałowy o stałych parametrach cieplnych. Biorąc pod uwagę silną nieliniowość stopów NiTi, w jaki sposób to uproszczenie wpłynęło na błąd odwzorowania rzeczywistych przemieszczeń? Brak w pracy ilościowej oceny błędu (np. błędu średniokwadratowego RMSE) dla porównań wyników symulacji z eksperymentem.
- Histereza i stabilność sygnału: W badaniach cyklicznych można zauważyć dryf rezystancji bazowej. Czy zdaniem Autora zjawisko to wynika z degradacji materiału polimerowego (lokalne przegrzania), czy z kumulacji odkształceń trwałych w strukturze krystalicznej NiTi.

- Dokładność pomiarowa: W pracy brakuje oszacowania błędów pomiarowych dla prezentowanych wykresów charakterystyk. Dla użytych narzędzi pomiarowych i metod należy podać dokładności pomiarowe.

Zaprezentowane uwagi nie deprecjonują wysokiej wartości merytorycznej dysertacji, a jedynie wskazują pola do dyskusji naukowej podczas obrony. Świadczą one o tym, że praca pobudza do refleksji i dotyka nietrywialnych problemów inżynierskich

Poniżej zawarłem uwagi o „mniejszym ciężarze gatunkowym” dzieląc je na uwagi ogólne i uwagi szczegółowe.

Uwagi ogólne:

Autor nader często zaczyna zdania od „aby”, nie jest to eleganckie, proponuję unikać.

W pracy mamy często opis charakterystyk jak to Doktorant nazywa „charakterystyka czegoś do czegoś” lepiej stosować nazewnictwo jedna wartość w funkcji innej wartości.

Formułowanie wniosków badawczych często ma formę przypuszczenia nie jest to właściwe.

Praca pełna jest tabel i rysunków wiszących, nie kończymy tekstu rysunkiem, tabelą, wypunktowaniem.

W pracy jest szereg rysunków w których podpisy z powodu zbyt małej czcionki są nieczytelne. Str. 16² – „... nasmarowaną olejem silnikowym ...”, w pracach badawczych wymaga się precyzji nazewnictwa, bez sloganów.

W pracy właściwości nazywane są własności, bardzo często.

Niezrozumiałym jest szczegółowe podawanie siedziby producenta lub sprzedawcy sprzętu czy materiału, ta informacja patrząc przez pryzmat treści pracy nie wnosi.

Str. 111 „Badania numeryczne” raczej symulacje numeryczne.

Str. 116 podrozdział 8.3.1 ma 2 zdania, str. 127 podrozdział 8.4.2 ma 3 zdania. Podrozdziały powinny mieć wstęp, część zasadniczą i posumowanie. Nie należy stosować tak rozbudowanych podziałów.

Kilkukrotnie w pracy znajdujemy sformułowanie „fluktuacja powietrza” z tekstu można się domyślać że Autor miał na myśli fluktuację temperatury wynikającą z losowego przepływu medium w tym przypadku powietrza. Proszę o wyjaśnienie.

Uwagi szczegółowe:

Str. 7¹² – „... używany jest..” błąd stylistyczny.

Str. 12⁶ – nie własności, a właściwości analogicznie na str. 20, 38, 39, 44, 63, 75, 89, 111, 113, 140.

Str. 14¹² – „...badając też wpływu obróbki...”, błąd stylistyczny.

Str. 16² – „... nasmarowaną olejem silnikowym..” błąd stylistyczny.

Str. 19¹⁴ – brak kropki.

Str. 21⁷ – brak spacji,

Str. 22⁹ – „... dużej liczbie publikacji...”, błąd stylistyczny.

Str. 27⁷ – zbędna kropka.

Str. 38¹³ – prace nie mogą zajmować się.

Str. 42 – rysunek 5.1 wiszący, opisy nieczytelne.

Str. 43₁ – „na Rysunku..”, powinno być z małej litery.

Str. 48 – tabela 5.1 skleja się z tekstem.

Str. 48₁₃ – „...używane w mniejszych ...”, błędne sformułowanie.

Str. 48₂ – „...zwracający napięcie...”, slogan.

Str. 49¹ – „... czteroprzewodowy pomiarami rezystancji...”, błąd stylistyczny.

Str. 50 – „...hardware...” wyraz obcojęzyczny.

Str. 52¹² – „...była realizowana...”, błąd stylistyczny.

Str. 53⁵ – „częstotliwość próbkowania stanowiska”, stanowisko nie może próbować, błędne sformułowanie.

Str. 54³ – nie ma znaczenia siedziba producenta urządzenia, po co ta informacja.

Str. 55⁶ – „...konkretne parametry...” parametrów nie dzielimy na konkretne i niekonkretne.

Str. 56² – nie ma znaczenia siedziba producenta urządzenia, po co ta informacja.

Str. 56⁵ – co oznacza sformułowanie „mniejsza działka odczytu”.

Str. 56₁₀ – nie ma znaczenia siedziba producenta urządzenia, po co ta informacja.

Str. 56₈ – co oznacza sformułowanie „dokładność nastaw napięcia”.

Str. 57³ – nie ma znaczenia siedziba producenta urządzenia, po co ta informacja.

Str. 57⁵ – nie ma znaczenia siedziba producenta urządzenia, po co ta informacja.

Str. 57¹⁰ – „... danych zwróconych...” slogan.

Str. 57₇ – nie ma znaczenia siedziba producenta urządzenia, po co ta informacja.

Str. 57₅ – „... bardzo precyzyjny miernik...” sformułowanie niewłaściwe.

Str. 58 – rysunek 5.14, opisy w języku angielskim.

Str. 58 – tabela 5.3, wisząca.

Str. 59² – nie ma znaczenia siedziba producenta urządzenia, po co ta informacja.

Str. 59 – tabela 5.4 jest informacją katalogową przepisana w pracy, w jakim celu.

Str. 59 – tekst (tytuł podrozdziału) skleiony z tabelą 5.4.

Str. 59 – tabela 5.4 wisząca.

Str. 59₄ – nie ma znaczenia siedziba producenta urządzenia, po co ta informacja.

Str. 60 – tabela 5.5 wisząca.

Str. 60₁₂ – nie ma znaczenia siedziba producenta urządzenia, po co ta informacja.

Str. 60₁₁ – nie ma znaczenia siedziba producenta urządzenia, po co ta informacja.

Str. 60₉ – nie ma znaczenia siedziba producenta urządzenia, po co ta informacja.

Str. 62¹⁰ – „...konkretne parametry...” niepoprawne sformułowanie.

Str. 62 – nie kończymy podrozdziału podsumowaniem.

Str. 63 – w rozdziale 6 oraz podrozdziale 6.1 powinno być nie własności lecz właściwości.

Str. 70 – rysunek 6.9 wiszący.

Str. 74 – tytuł podrozdziału 6.2 „Ocena możliwości wykorzystanie zmian...” powinno być wykorzystania.

Str. 75¹ – nie własność osnowy, a właściwość.

Str. 87¹ – „Związku z” błąd.

Str. 92⁵ – nie ma znaczenia siedziba producenta urządzenia, po co ta informacja.

Str.102₃ – „.... konieczność trzymania się konkretnych zapisów tej normy...”, możemy stosować regulacje zawarte w normach, a nie ich się trzymać, ponadto zapisy normy nie dzielimy na konkretne i niekonkretne.

Str. 104⁵ – nie ma znaczenia siedziba producenta urządzenia, po co ta informacja.

Str. 105⁴ – „.... w na” błąd.

Str.125 – rysunek 8.18 wiszący.

Str. 128 – rysunek 8.21 wiszący.

Str. 134 – rysunek 8.30 wiszący.

Podsumowując, praca napisana jest poprawnym językiem, a nieliczne błędy stylistyczne i językowe nie wpływają znacząco na jakość przekazywanych treści.

4. Wnioski końcowe

Recenzowana rozprawa doktorska mgr. inż. Jonasza Hartwicha, dotyczy istotnego i aktualnego problemu badawczego, jakim jest możliwość aplikacji stopów NiTi w aktuatorach oraz układach sensorycznych wykonanych z kompozytów polimerowych. Stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego w obszarze materiałów inteligentnych i nowoczesnych struktur kompozytowych.

Kandydat wykazał się gruntowną wiedzą teoretyczną oraz biegłością w prowadzeniu samodzielnych prac badawczych o charakterze interdyscyplinarnym.

Wskazane w recenzji uchybienia, dotyczące głównie sformułowań, pewnych niekonsekwencji terminologicznych oraz sposobu opisu wyników eksperymentu należy traktować jako polemikę naukową oraz wskazówki do uwzględnienia w przyszłej działalności publikacyjnej i badawczej.

Stwierdzam, że opiniowana rozprawa doktorska mgr. inż. Jonasza Hartwicha, stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, wykazuje ogólną wiedzę teoretyczną Kandydata w danej dyscyplinie oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Uważam, że dysertacja spełnia wymagania stawiane pracom zgodnie z Prawem o szkolnictwie wyższym i nauce, z dnia 20.07.2018 r. (j.t. Dz.U. z 2024 r. poz.1571) Art. 187) i wnoszę do Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Śląskiej o dopuszczenie do dalszych etapów postępowania.

Prof. Andrzej Burghardt

/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)