

Dr hab. inż. Grzegorz Milewski, prof. PK
Katedra Mechaniki Stosowanej i Biomechaniki
Politechnika Krakowska

Kraków, 29.09.2022 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. **Łukasza Muchy**
pt. „Opracowanie i badania robotycznego narzędzia laparoskopowego z siłowym sprzężeniem
zwrotnym”

**Podstawa opracowania: Pismo Przewodniczącej Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria
Mechaniczna Politechniki Śląskiej Prof. dr hab. inż. Ewy Majchrzak,
nr RDIMe.512.80.2022 z dnia 13.07.2022 r.**

1. Zasadność podjęcia tematu rozprawy doktorskiej i jej zakres

Postęp w zakresie małoinwazyjnych, czy autonomicznych lub semi-autonomicznych procedur chirurgicznych jest ciągłym stymulatorem w poszukiwaniu nowych rozwiązań projektowych i prototypów narzędzi chirurgicznych wykorzystujących nowoczesne materiały, oryginalne rozwiązania konstrukcyjne, czy coraz bardziej złożone systemy sterowania. Operacje z zastosowaniem robotów chirurgicznych i złożonych kontrolerów w systemach sterowania wygenerowały nowe podejście do zabiegów, tzw. haptkę, czyli procedury umożliwiające operatorowi, głównie poprzez siłowe sprzężenie zwrotne, subiektywną ocenę kontaktu pomiędzy narzędziem chirurgicznym a tkankami gospodarza.

Analiza aktualnych trendów w haptycznym podejściu do projektowania i zastosowań w praktyce chirurgicznej rozwiązań konstrukcyjnych efektorów narzędzi laparoskopowych, wskazuje, że zawierają one głównie czujniki wrażliwe na ruch umożliwiające pomiar siły wywieranej na część czołową narzędzia, co umożliwia operatorowi subiektywną ocenę kontaktu narzędzia z otoczeniem.

Projektowanie i wykonawstwo narzędzi minimalnie inwazyjnych umożliwiających dostarczenie dodatkowych informacji z pola operacyjnego w postaci bodźców dotykowych niezbędnych do sterowania robotem z realizacją siłowego sprzężenia zwrotnego stanowi niezwykle złożoną tematykę badawczą z zakresu inżynierii mechanicznej, inżynierii materiałowej i tkankowej, elektroniki, automatyki, teorii sygnałów i sterowania.

Biuro Dziekana
10 PAZ 2022

wpłynęło dnia
RDIMe 179/512/2022
nr zał.

Przedstawiona do recenzji praca doktorska zawiera wszystkie powyższe wielowątkowe interdyscyplinarnie zadania badawcze.

Mgr inż. Łukasz Mucha w swojej rozprawie doktorskiej podjął się trudnego zadania opracowania konstrukcji efektora narzędzia laparoskopowego umożliwiającej pomiar parametrów dynamicznych w kontakcie z otoczeniem. Konceptyjnie umieszczone w części wykonawczej narzędzia czujniki zakładają bezpośredni pomiar w polu operacyjnym wektora siły z jaką czoło narzędzia oddziałuje (naciska) na organ, jak również pomiar siły zacisku szczęk instrumentu na trzymanej tkance gospodarza lub przedmiocie. Stanowi to istotne rozszerzenie funkcjonalne dotychczas stosowanych laparoskopowych końcówek haptycznych.

Pracę rozpoczyna bardzo szeroki i wyczerpujący przegląd literaturowy współcześnie stosowanych chirurgicznych narzędzi laparoskopowych. Rozdział 2 zawiera sformułowanie celu i zakresy pracy, które bardzo dobrze ilustruje załączony schemat blokowy poszczególnych zadań badawczych. Założenia konstrukcyjne narzędzia, wstępne badania, analiza kinematyki narzędzia oraz dobór czujników sił to kolejno rozdziały 3 -5. Rozdział 6 przedstawia badania symulacyjne narzędzia metodą elementów skończonych, których wynikiem jest oszacowanie przemieszczeń i sił w strefach kontaktu czołowego i zacisku. Najważniejsze dla pracy to rozdziały 7 – 10, w których Doktorant przedstawia etapy wykonawcze prototypu zaprojektowanego efektora instrumentu chirurgicznego, jego badania eksperymentalne na specjalnie zaprojektowanym dla tego celu stanowisku badawczym, oraz testy praktyczne a wykorzystaniem robota chirurgicznego Robin Heart PVA.

Autor swoje opracowanie przedstawił łącznie na 174 stronach maszynopisu zawierającego tekst, tabele, rysunki, wykaz 233 cytowanych pozycji literaturowych oraz Aneks składający się z dziesięciu załączników.

2. Ocena merytoryczna rozprawy

W swojej rozprawie mgr inż. Łukasz Mucha przedstawił własne, oryginalne i nietrywialne opracowanie konstrukcyjne części wykonawczej narzędzia laparoskopowego umożliwiającej pomiar parametrów dynamicznych w kontakcie z organem gospodarza, zarówno w kontakcie czołowym jak i w zacisku szczęk narzędzia na tkance. Wykonał prototyp efektora narzędzia oraz przeprowadził jego kompleksowe badania doświadczalne, zarówno w warunkach laboratoryjnych jak i klinicznych testach z wykorzystaniem robota Robin Heart obsługiwanego przez przeszkolonych operatorów.

Bardzo szeroki i reprezentatywny przegląd literaturowy przedmiotowego zagadnienia wykazuje, że Doktorant posiada już rozległą i ugruntowaną wiedzę z zakresu projektowania zminiaturyzowanych laparoskopowych narzędzi chirurgicznych, instrumentalnych metod badań doświadczalnych, metod numerycznych oraz elektroniki pomiarowej wykorzystującej technologię zintegrowanych struktur układów elektromechanicznych. Prawidłowo potrafi ocenić podjęty przez siebie problem, właściwie sformułować tezę i cele badawcze, do realizacji których stosuje nowoczesne metody pomiarowe. Biegłe porusza się w podjętej tematyce badawczej i właściwie potrafi skomentować otrzymane wyniki swoich badań na tle osiągnięć badawczych publikowanych przez innych autorów. Do najważniejszych osiągnięć Doktoranta moim zdaniem należy zaliczyć:

- zaprojektowanie własnego, oryginalnego rozwiązania konstrukcyjnego części wykonawczej narzędzia laparoskopowego pracującego w technologii wykorzystującej sprzężenie zwrotne umożliwiające pomiar zarówno siły nacisku jak i zacisku na tkance miękkiej, a tym samym zapewniające operatorowi subiektywne odczucie funkcjonalności dynamicznej procedury zabiegowej,
- wykonanie prototypu lekkiego (0,7 kg) efektora instrumentu chirurgicznego z wykorzystaniem współczesnych metod projektowych (CAD), druku 3D (spiekania laserowego DMLS) oraz mikroczujników wykonanych w technologii MEMS,
- wykonanie badań eksperymentalnych na specjalnie wykonanym wieloosiowym stanowisku badawczym wyposażonym w dedykowany elektroniczny półprzewodnikowy tor pomiarowy,
- weryfikacja parametrów dynamicznych efektora w oparciu o własny model numeryczny MES,
- implementacja własnego rozwiązania konstrukcyjnego efektora narzędzia laparoskopowego do polskiego robota chirurgicznego Robin Heart,
- obszerny, merytoryczny wstęp do rozprawy doktorskiej może wręcz stanowić wyczerpujące, praktyczne opracowanie literaturowe z zakresu współcześnie stosowanego instrumentarium chirurgicznego tkanki miękkiej przydatne dla studentów/absolwentów inżynierii biomedycznej i wydziałów lekarskich.

3. Uwagi krytyczne

W punkcie tym przedstawiam nieliczne uwagi krytyczne, głównie związane z badaniami symulacyjnymi (rozdział 6 rozprawy), które nasunęły mi się po zapoznaniu się z recenzowaną pracą:

- w badaniach modelowych i analizie MES części zaciskowej efektora narzędzia laparoskopowego (moduł 1) nie jest jasno zdefiniowany rodzaj kontaktu; wątpliwości może rodzić jakość siatki w strefie kontaktu, głównie w aspekcie braku zagęszczenia siatki w obrębie kontaktu (Rys. 90); zastosowanie kontaktu beztarciowego z pewnością również nie oddaje rzeczywistych warunków zaciskania tkanki przez 'griper',
- przyjęcie w modelu czujnika umieszczonego w korpusie narzędzia jednoelementowej po grubości warstwy silikonu połączonego z nim na wspólnych węzłach może skutkować problemami iteracyjnymi wpływającymi na jakość wyników (Rys. 92),
- Rys. 95 i 103 przedstawiają rozkłady przemieszczeń całkowitych (U_{sum}) a nie odkształceń jak podano w podpisach pod rysunkami,
- narzędzie wykonawcze urządzenia laparoskopowego będące przedmiotem rozprawy generuje zwrotny pomiar siły; powstaje zatem pytanie czy zarówno w kalibracyjnych badaniach prototypowych, jak i symulacjach numerycznych nie należało zastosować wymuszenia kinematycznego (przemieszczeniowego) i do tego mierzyć/obliczyć parametry dynamiczne (siły); Autor zastosował podejście odwrotne,
- praca jest napisana bardzo starannie edycyjnie więc moje uwagi szczegółowe odnoszą się tylko do nielicznych zauważonych nieścisłości:
 - występujące błędy w wykazie niektórych cytowanych pozycji literaturowych (braki wydawcy, roku wydania, czy stron),
 - brak numeracji wzorów (rozdział 4.2).

4. Wniosek końcowy

Podsumowując stwierdzam, że przedstawiona do oceny rozprawa zawiera cenne aspekty praktyczne i poznawcze w obszarze projektowania chirurgicznego instrumentarium laparoskopowego z wykorzystaniem metod inżynierii mechanicznej. W moim przekonaniu praca jest merytorycznie poprawna, a jej podstawowy cel został zrealizowany, tzn.

opracowano prototyp innowacyjnego efektora narzędzia laparoskopowego przeznaczonego dla polskiego robota chirurgicznego Robin Heart ze sprzężeniem zwrotnym umożliwiającym pomiar zarówno siły nacisku jak i zacisku jego części wykonawczej na tkance miękkiej. Praca jest oryginalnym rozwiązaniem postawionego zadania badawczego i niewątpliwie stanowi Jego autorski przyczynek naukowy w zakresie konstrukcji i badań doświadczalnych w bioinżynierii.

Rozprawę doktorską mgr inż. Łukasza Muchy można sklasyfikować w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna (dawnej Budowa i Eksploatacja Maszyn).

Opiniowana praca odpowiada wymaganiom stawianym rozprawom doktorskim i, w nawiązaniu do przepisów Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2017 r. poz. 1789) oraz w związku z § 179 ust. 1 Ustawy z dn. 3 lipca 2018 r. (Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce - Dz. U. z 2018r., poz. 1669) i jej nowelizacją (Dz. U. poz. 1669 z 2019 r. poz. 39 i 534 oraz z 2020 r. poz. 695), wnoszę o jej przyjęcie i dopuszczenie Autora do publicznej obrony przed Radą Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Politechniki Śląskiej.

Równocześnie ze względu na bardzo szeroki program badań zrealizowany w rozprawie oraz imponujący dorobek Doktoranta, szczególnie w obszarze patentowym oraz zrealizowanych projektów badawczych, stawiam formalny wniosek o wyróżnienie tej pracy.

