

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr. inż. Gabriela Brachy

Badania równoległego manipulatora z serwonapędami pneumatycznymi sterowanymi z wykorzystaniem metod inteligentnych

PROMOTOR: dr hab. Jakub Takosoglu, prof. PŚk

PODSTAWA PRAWNA: Pismo MAA-510/67/2023 Dyrektora Naukowego dyscypliny INŻYNIERIA MECHANICZNA
dr. hab. inż. Sławomira Błasiaka, prof. PŚk.

TEMATYKA I ZAKRES ROZPRAWY

Manipulator o strukturze równoległej to urządzenie, którego człony tworzą zamknięty łańcuch kinematyczny. Jest ono najczęściej trójczłonowe (tripod) lub sześcioczłonowe (hexapod). Istnieją też modele złożone z czterech członów. W manipulatorach tych stosowane są wszystkie typowe rodzaje napędów, które można znaleźć w innych maszynach i urządzeniach: elektryczne, hydrauliczne, pneumatyczne. Poszczególne człony manipulatora równoległego są zazwyczaj krótkie i dzięki temu sztywne, a błędy pozycjonowania w pojedynczym łańcuchu kinematycznym są uśredniane w połączeniu z innymi łańcuchami (przy strukturze szerekowej są kumulowane). Sterowanie tymi manipulatorami nie jest jednak łatwe (obiekty silnie nieliniowe), szczególnie gdy napęd jest pneumatyczny.

Manipulatory (i roboty) równoległe najczęściej stosowane są w symulatorach lotniczych i samochodowych. Równie często znajdują zastosowanie w przemyśle spożywczym, farmaceutycznym oraz elektronicznym do operacji transporty bliskiego i pozycjonowania. Coraz częściej można zaobserwować ich zastosowanie w urządzeniach medycznych (np. manipulatory operacyjne) i układach haptycznych (głównie te z napędem pneumatycznym).

Nie zaskakuje więc znaczna liczba prac projektowych oraz naukowych związanych z projektowaniem i sterowaniem manipulatorami o strukturze równoległej.

Rozprawa doktorska mgr. inż. Gabriela Brachy pt. „Badania równoległego manipulatora z serwonapędami pneumatycznymi sterowanymi z wykorzystaniem metod inteligentnych” składa się z 10 rozdziałów (w tym dwa pierwsze nienumerowane), bibliografii, spisu treści, spisu rysunków, spisu tablic, wykazu oznaczeń oraz streszczeń w języku polskim i angielskim. Całość została zaprezentowana na 162 stronach. Bibliografia obejmuje 59 pozycji, w tym 6 z udziałem Doktoranta.

W ramach prac nad rozprawą Doktorant:

- przeanalizował i zamodelował tarcie w napędzie pneumatycznym,
- wyznaczył charakterystyki przepływowe i ciśnieniowe zaworu sterującego,
- opracował model matematyczny zaworu sterującego,
- opracował model matematyczny siłownika beztłoczkowego,
- zaprojektował i zrealizował manipulator równoległy,

- dokonał syntezy układu regulacji dla tego manipulatora,
- określił kształt przestrzeni roboczej i dokładność pozycjonowania tego manipulatora.

Uwzględniając powyższe uważam, że wybór tematyki rozprawy doktorskiej jest trafny, aktualny naukowo i ważny z technicznego punktu widzenia, i że mieści się w zakresie zainteresowań dyscypliny *inżynieria mechaniczna*.

OCENA MERYTORYCZNA ROZPRAWY

Wprowadzenie

Celem wprowadzenia powinno być wykazanie, że tematyka manipulatorów równoległych z napędem pneumatycznym jest aktualna naukowo i interesująca utylitarnie. Niestety to wprowadzenie nie spełnia tego wymogu. Nie jest numerowane i nie zostało nawet ujęte w spisie treści. Składa się z komunałów, na przykład: „Trwają ciągle procesy automatyzacji produkcji ... co prowadzi do coraz bardziej wydajnych procesów przetwarzania ...”. Pojawiają się w nim niezrozumiałe wtręty o sortowaniu oraz wyrażenia dalekie od języka naukowego czy technicznego: „wykonywać złożone trajektorie”, „dużej dynamiki ruchów”. Brak jest jakichkolwiek argumentów ilościowych i odwołań do literatury przedmiotu.

Cel i zakres pracy

Według Doktoranta „Głównym celem pracy było opracowanie i wykonanie badań manipulatora z zamkniętym łańcuchem kinematycznym ...”. Opracowanie badań (cokolwiek to znaczy) i ich wykonanie nie może być celem ani naukowym, ani utylitarnym pracy doktorskiej. Mogą nim być, przykładowo: nowa metodyka badawcza lub projektowa, porównanie pewnych cech lub osiągnięć różnych rozwiązań technicznych, stworzenie nowych lub modyfikacja istniejących modeli zjawisk. Zaskakujące jest, że w ogóle cele i zakres rozprawy pojawiają się przed przeglądem literaturowym i analizą stanu zagadnienia.

Podany w tym rozdziale zakres pracy jest pełny i poprawny. Budzić wątpliwość może jedynie określenie „cele szczegółowe”, które opisuje w rzeczywistości poszczególne zadania do realizacji. Minimalne rozszerzenie opisu zakresu pracy umożliwiłoby pominięcie podrozdziału *Struktura pracy*. Tenże podrozdział bardziej przypomina podsumowanie pracy (w istocie niewiele się od *Podsumowania* różni) i jest w wielu miejscach trudny do zrozumienia przed zapoznaniem się z rozprawą

Analiza dostępnych rozwiązań dotyczących tematu pracy

W ramach czterech punktów Doktorant dokonuje przeglądu stanu zagadnienia.

W punkcie pierwszym prezentuje „modele matematyczne siłownikowego napędu pneumatycznego”. W rzeczywistości wymienia klasyczną pracę [18] i kilka innych bardziej współczesnych, które poruszają problematykę modelowania napędu pneumatycznego. Na podstawie tego skromnego przeglądu Doktorant nie wyciąga żadnych wniosków ani nie tworzy żadnych zaleceń co do modelowania napędu pneumatycznego.

W punkcie drugim prezentuje najpopularniejsze modele matematyczne siły tarcia mogące mieć zastosowanie w modelowaniu napędu pneumatycznego. Całość można uznać za poprawną, pomijając kilka nieporadności terminologicznych i edytorskich (np. utożsamianie kierunku i zwrotu wektora).

W punkcie trzecim prezentuje 3 modele matematyczne przepływu powietrza przez opornik pneumatyczny. Pierwszy (Saint-Venanta i Wantzela) został wyprowadzony z rozszerzonego równania Bernoulliego, a dwa pozostałe (Miatluka i Awtuszki oraz jeden z wariantów modelu Woelkego) przedstawiono jedynie w postaci funkcji ekspansji (zwanej przez Doktoranta funkcją przepływu).

Całość trudno uznać za udaną. Samo wyprowadzenie modelu Saint-Venanta i Wantzela dla przepływu rzeczywistego, chociaż odtwórcze i niepotrzebne, nie jest spójne i do końca poprawne:

- nie podano założeń i uproszczeń do równania (1.8),
- nie określono poprawnie stałej R ,
- nie wyjaśniono przejścia z (1.26) na (1.27) – skąd się wziął krytyczny stosunek ciśnień,
- ostateczna postać modelu jest „niekompatybilna” z innymi dostępnymi w literaturze funkcjami ekspansji.

To tym bardziej zastanawiające, że wszystkie te zagadnienia są wyjaśnione w znajdującej się w bibliografii monografii prof. Iwaszko [26]. Kolejnym problemem są funkcje ekspansji modeli Miatluka i Awtuszki oraz Woelkego, które podano w sposób nietypowy z już wyliczonymi stałymi. Nie ma możliwości sprawdzenia w jakiej postaci modelu były używane, gdyż nie podano źródeł. To, że są „niekompatybilne” widać już z rysunku 1.1. Dla zerowego stosunku ciśnień dają wartości 0,57869 i 0,57876 (które można uznać za równe) oraz (dla modelu Woelkego) 0,45. W punkcie tym rodzi się też pytanie dlaczego ograniczono się jedynie do przedstawienia tylko tych modeli.

W punkcie czwartym Doktorant prezentuje kilkanaście rozwiązań konstrukcyjnych manipulatorów o strukturze równoległej. Punkt ma charakter odtwórczy i informacyjny, gdyż nie jest prowadzona żadna analiza porównawcza i nie są wyciągnięte żadne wnioski.

Badania eksperymentalne elementów siłownikowego napędu pneumatycznego

Rozdział (nr 2) rozpoczyna wstęp zawierający ogólne informacje na temat napędu pneumatycznego z siłownikiem beztłoczkowym. Tylko jedno stwierdzenie we wstępie budzi zaskoczenie: „Wszystkie wartości ciśnienia są podawane względem ciśnienia atmosferycznego.” Przecież we wszystkich zależnościach matematycznych posługujemy się ciśnieniem absolutnym.

W punkcie 2.1 omówiono badania siły tarcia w siłowniku beztłoczkowym. Wykonano dwa typy eksperymentów: pomiar siły tarcia przy stałej prędkości ruchu tłoka oraz pomiar siły zerwania wynikającej ze zjawiska *stick-slip*. W obu przypadkach budowa stanowiska pomiarowego oraz metodyka pomiarów nie budzą zastrzeżeń. Jedynie stwierdzenie: „siły działające na tłok wynikają tylko ze zjawiska tarcia i siły generowanej przez serwonapęd” jest zbyt stanowcze. To, że inne siły są pomijalnie małe nie znaczy że ich nie ma. Trochę słabiej wygląda analiza wyników pomiarów: (1) nie podano skąd postać funkcji (2.2), nie opisano procedury identyfikacji parametrów funkcji (2.1) i (2.2), nie napisano o błędach pomiarowych.

W punkcie 2.2 opisano badania proporcjonalnego zaworu sterującego MPYE-5-1/8-HF-010-B firmy Festo. Wyznaczono jego charakterystyki przepływowe, ciśnieniowe i dynamiczne. W wszystkich przypadkach budowa stanowiska pomiarowego oraz metodyka pomiarów nie budzą zastrzeżeń. Jednak ponownie nic nie napisano o błędach pomiarowych, nie podano klasy czujnika laserowego (Tab. 2.3), nie ma w tekście odniesienia do wykresu 2.9.

Modelowanie siłownikowego napędu pneumatycznego

Rozdział (nr 3) o modelowaniu liniowego beztłoczkowego napędu pneumatycznego składa się z trzech punktów.

W punkcie 3.1 opisano modelowanie zaworu sterującego. Ciekawe i wielowariantowe podejście do modelowania, zawierające dokładną analizę budowy zaworu i skutkujące uzyskaniem modelu przepływu przez zawór w funkcji napięcia sterującego o wysokim stopniu zgodności z rzeczywistym obiektem. Dwie usterki terminologiczne (oznaczone w tabeli usterek językowych jako 15 i 17) nie pomniejszają mojej wysokiej oceny tego punktu.

W pierwszej części punktu 3.2 wyprowadzono model matematyczny siłownika beztłoczkowego. Model taki jest znany z literatury i to działania uważam za bezcelowe. Następnie dochodzi do uproszczenia modelu polegającego na pominięciu wymiany ciepła z otoczeniem (choć nie wspo-

mniano o tym w tekście) i zaniedbaniu zmian temperatury w komorach siłownika. To drugie uproszczenie bez próby oceny jego wpływu na dokładność modelu uważam za usterkę metodyczną.

W punkcie 3.3 opisano wybór struktury i identyfikację parametrów modelu siły tarcia działającej na tłok siłownika. Sposobem na to było porównanie wyników badań stanowiskowych i symulacyjnych. Sam problem jest twórczy i ciekawy, ale jego skąpy i zawyły opis bardzo utrudnia zrozumienie całości. Nie podano też procedury identyfikacji parametrów modelu sił tarcia. Za to pojawiło się tajemnicze, niezrozumiałe pojęcie „pętla otwarta”.

Analiza porównawcza badań symulacyjnych z badaniami eksperymentalnymi napędu pneumatycznego

Kolejny rozdział (nr 4) poświęcony jest weryfikacji doświadczalnej uzyskanych wcześniej modeli. Testy polegały na porównaniu trajektorii ruchu przy nadążnym sterowaniu napędem pneumatycznym z wykorzystaniem obiektu rzeczywistego i jego modelu symulacyjnego. Porównano również zmiany ciśnienia w komorach siłownika świadczące o jakości modelu zaworu sterującego. Niestety, ciekawe i poprawnie przeprowadzone badania kolejny raz nie zostały właściwie zaprezentowane. Opis eksperymentów jest więcej jak skromny, podpisy pod rysunkami 4.1 do 4.7 są nieadekwatne, rysunki 4.5 do 4.7 nie mają odniesienia w tekście. Ostatni podpunkt *Działanie funkcji symetryzującej* jest w ogóle niezrozumiały – odwołuje się do niewystępującego dotychczas w treści pracy pojęcia „funkcja symetryzująca”, a rysunki 4.10 i 4.11 są nieczytelne.

Badania układu sterowania napędem pneumatycznym

Rozdział nr 5 rozpoczyna króciutki wstęp, którego kwintesencją jest stwierdzenie że zastosowanie platformy dSPACE wraz z oprogramowaniem ControlDesk „stanowi znaczną przewagę na innymi sposobami prowadzenia badań”. Nie wydaje się ono uprawnione.

W punkcie 5.1 opisano bardzo ciekawy, autorski pomysł odwrotnego modelu siłownika pneumatycznego. Zaproponowano również kilka wariantów jego uproszczenia. Korzystając z niego można określić przybliżone strumienie masy kierowane do komór siłownika, a następnie wymaganą nastawę zaworu sterującego. Rozwiązując to oryginalne zadanie nie ustrzeżono się pewnych usterek. Uproszczenie wynikające ze stwierdzenia „Przyjmując, że charakterystyka przepływu dla zaworu na drogach 1-2 oraz 4-5 jest taka sama, a różnica przepływów wynika tylko z różnicy ciśnień...” wymagałoby szerszego komentarza, gdyż różnica strumieni masy zależy też od stosunku ciśnień (punktu na charakterystyce przepływowej). Błędny jest komentarz do równania (5.5) – określa ono strumień masy, a nie masę powietrza. Najpoważniejszą usterką jest niepodanie postaci i procedury wyznaczenia aproksymowanej funkcji odwrotnej przepływu przez zawór. Czytelnik odsyłany jest do punktu 5.1 ... kiedy właśnie czyta tekst w tym punkcie.

W punkcie 5.2 zaprezentowano testy 8 układów sterowania napędem pneumatycznym. W jednym występował jedynie regulator PID, w pozostałych korzystano z różnych wariantów modelu odwrotnego jako regulatora bądź korektora. Po poprawnie przeprowadzonych testach wyciągnięto wnioski z badań i wskazano wariant UAR8 (PID + korektor na bazie uproszczonego modelu odwrotnego) jako najbardziej obiecujące rozwiązanie.

Budowa i modelowanie manipulatora

We wstępie i punkcie 6.1 tego rozdziału (nr 6) omówiono, w sposób poprawny choć skrótowy, budowę modelowanego manipulatora.

W punkcie 6.2 w sposób właściwy określono równania kinematyki tego manipulatora, a w kolejnym punkcie (6.3) przeprowadzono liczne symulacje komputerowe mające na celu głównie określenie jego przestrzeni roboczej.

Bardzo ciekawy i oryginalny jest problem przedstawiony w punkcie 6.4 – aproksymacja kinematyki prostej manipulatora z wykorzystaniem sztucznej sieci neuronowej. Ostateczne rozwiązanie uważam za duży sukces Doktoranta, zarówno naukowy jak i użyteczny, chociaż po drodze nie uniknął wielu potknięć. Już we wstępie twierdzi: „Brak jednoznacznego rozwiązania analitycznego wymusza skorzystanie z rozwiązań numerycznych” – jeżeli zadanie nie ma jednoznacznego rozwiązania, to zmiana metody nie pomoże. Cały podpunkt 6.4.1 (wyprowadzenie formuły modyfikacji wag pojedynczego neuronu typu *adaline*) jest trywialny, odtwórczy i tym samym niepotrzebny. Podpunkt 6.4.2 omawia zbiór danych uczących. Ma on postać właściwą dla aproksymatora neuronowego. Oryginalnie zawiera 5 343 482 równomiernie rozmieszczonych punktów. Z nieznanymi jeszcze w tym miejscu przyczyn wyodrębniono z niego dwa podzbiory liczące jedynie 17 812 oraz 53 435 punktów. W punkcie 6.4.3 poruszono problem doboru algorytmu uczącego. Jako jedyne kryterium przyjęto spadek MSE po określonej (lecz niepodanej) liczbie epok uczących. W efekcie uznano algorytm Levenberga-Marquardta za najskuteczniejszy. Jak wynika z dalszej treści rozdziału, wybór kryterium i, co za tym idzie, metody nie były najszcześniejsze. Jest to metoda szybka i stabilna, ale niezwykle zasobożerna. W punkcie 6.4.4 opisano dobór struktury jednokierunkowej sieci neuronowej. Rozważano sieci z jedną i dwoma warstwami ukrytymi, z różną liczbą neuronów w warstwach krytych. Generalnie problem został rozwiązany w sposób prawidłowy, chociaż można wskazać przynajmniej jeden poważny błąd: dla sieci z dwoma warstwami ukrytymi (6i 6i) dla $i = 30$ zbiór 17 812 jest za mały, gdyż jego liczebność jest mniejsza od liczby wag w sieci. Ostatecznie zdecydowano o zastosowaniu dwóch ANN, osobno dla wyznaczania wartości pozycji i wartości orientacji, o dwóch warstwach ukrytych odpowiednio (6i 6i) i (6i 3i). Zapomniano niestety podać ILE WY-NOSI i. W punkcie 6.4.5 przedstawiono już gotowy aproksymator neuronowy kinematyki prostej manipulatora o bardzo zadowalającej dokładności (trenowany na zbiorze 53 435 punktów).

Badania eksperymentalne manipulatora

W rozdziale tym (nr 7) zaprezentowano badania eksperymentalne jakości pozycjonowania manipulatora mające na celu weryfikację dokładności pozycjonowania urządzenia przy sterowaniu nadążnym. Całość pracochłonnych badań została przeprowadzona prawidłowo. Niestety, ich opis kolejny raz jest na niskim poziomie. Nie podkreślono, że położenie masy na efektorze jest tożsame z obciążeniem masowym (3 kg) i SIŁOWYM (3 kG). Rozmiary i brak opisu krzywych na rysunkach 7.1 do 7.7 czynią je prawie nieczytelnymi. Obliczona średnia długość wektora błędu pozycjonowania (MAE) dla manipulatora z obciążeniem okazała się mniejsza od tej bez obciążenia. Nie wzbudziło to zainteresowania Doktoranta. Najpoważniejszym problemem jest, że uzyskane wskaźniki jakości (wzór 7.1) nie zostały porównane ze wskaźnikami uzyskanymi dla innych manipulatorów – to stawia celowość tych badań pod znakiem zapytania.

Podsumowanie

W podsumowaniu rozprawy (rozdział nr 8) odniesiono się do zakresu pracy potwierdzając, że wszystkie zadania zostały zrealizowane. Niestety nie odniesiono się do celów naukowych i użytecznych, gdyż takowych na wstępie nie zdefiniowano. Konkludując stwierdzono że „niniejsza dysertacja prezentuje analizę równoległego manipulatora pneumatycznego, obejmującą innowacyjne metody oraz wyniki badań eksperymentalnych i symulacyjnych”. Można się z tym zgodzić. Ale praca naukowa ma prezentować nie wyniki badań, lecz wnioski z nich płynące.

Na zakończenie wskazano kierunki dalszych prac badawczych nad manipulatorem, które można uznać za słuszne.

Pozostałe elementy rozprawy

W wykazie ważniejszych oznaczeń chyba zbyt wiele wielkości nie znalazło dla siebie miejsca. Za to niektóre wielkości (np. strumień masy) są oznaczane na różne sposoby. Niektóre wielkości są źle opisane – ciśnienia p , p_1 , p_2 występujące w licznych wzorach są na pewno ciśnieniami absolutnymi,

a nie względny. Brak też trzymania się pewnych standardów: oznaczanie masy jako M , czy podawanie jednostek w nawiasach okrągłych, a nie kwadratowych.

Bibliografia obejmuje zaledwie 59 pozycji, w tym ponad 30% pozycji pochodzi z rodzimego ośrodka Doktoranta. Odwołania do bibliografii w treści pracy są rzadkie, często ewidentnie ich brak. Brak w bibliografii pozycji, z których ewidentnie korzystano: instrukcje programu Matlab, karty katalogowe elementów pneumatycznych i czujników pomiarowych.

Streszczenia po polsku i po angielsku są zgodne z treścią pracy.

PODSUMOWANIE PROBLEMÓW WYMAGAJĄCYCH WYJAŚNIENIA

Problem (1)

Jakie cele naukowe i użyteczne zostały zrealizowane dzięki badaniom opisanym w Pana rozprawie?

Problem (2)

Jakie są założenia i uproszczenia przy wyprowadzaniu modelu Saint-Venanta i Wantzela? Przecież powietrze w ogólnym przypadku nie jest barotropowe.

Problem (3)

Jaką faktycznie postać mają modele strumienia masy według Miatluka i Awtuszki oraz Woelkego?

Problem (4)

Co oznaczają pojęcia „opór pneumatyczny”, „oporność pneumatyczna”, „opornik pneumatyczny”?

Problem (5)

Na jakiej podstawie przyjęto postać funkcji (2.2)? Jaka była procedura (w tym metody numeryczne) identyfikacji parametrów funkcji (2.1) i (2.2)?

Problem (6)

Jaka była procedura identyfikacji parametrów modelu sił tarcia (punkt 3.3)?

Problem (7)

Jak ma się jakość pozycjonowania zaprojektowanego manipulatora do osiągnięć innych manipulatorów równoległych, w tym też z niepneumatycznym napędem?

Problem (8)

Jaką ma postać i jak została uzyskana funkcja odwrotna przepływu przez zawór z przyłączami (punkt 5.1)?

Problem (9)

Według jakich kryteriów możemy oceniać algorytmy uczenia sztucznych sieci neuronowych?

OCENA EDYTORSKA I JĘZYKOWA ROZPRAWY

Struktura przedstawionej do oceny rozprawy nie przypomina struktury typowej pracy naukowej czy badawczo – rozwojowej. Przez to jest dość trudna w odbiorze.

Liczba usterek terminologicznych, edytorskich i językowych w głównym tekście pracy nie jest duża. Ważniejsze zauważone zebrałem w postaci tabeli.

Irytujące są małe (i przez to nieczytelne) wykresy, na których często brakuje też opisu krzywych.

Słabo prezentuje się spis bibliografii – wykonany bardzo niestarannie, nie trzyma się żadnego standardu, z licznymi usterkami w opisie poszczególnych pozycji.

Jakość językową i edytorską całości rozprawy uznaję za przeciętną.

NR	STRONA	JEST	POWINNO BYĆ
1	11	różnicy prędkości	prędkości względnej
2	11	Coulomba (1.3)	Coulomba (1.1)
3	11	zmian kierunku	zmian zwrotu
4	12	F_c - współczynnik tarcia Coulomba	F_c - siła tarcia Coulomba
5	12	F_c - tarcie Coulomba	F_c - siła tarcia Coulomba
6	12	negatywnego zjawisko	negatywnego zjawiska
7	13 oraz inne	opór pneumatyczny	opornik pneumatyczny
8	18	dźwiganie ich masy	obciążenie ich ciężarem
9	20	konstrukcja zaczyna funkcjonować	urządzenie zaczyna funkcjonować
10	22	zaawansowane czujniki	precyzyjne czujniki
11	22	konstrukcja oparta na kinematyce równoległej,	konstrukcja,
12	24	manipulator o trzech stopniach swobody Pawła Ł.	manipulator o trzech stopniach swobody zaprojektowany przez Pawła Ł.
13	26	Valášek	Valášek
14	43	Bar	bar
15	49	sprężystość	współczynnik sztywności
16	52	wielosokowego	wieloskokowego
17	55	Tłumienie	współczynnik tłumienia względnego
18	59	współczynnik adiabaty	wykładnik adiabaty
19	60	prawa Newtona	II zasady dynamiki Newtona
20	140	nr.	nr
21	87	budowa	struktura
22	115	Levnberg - Marquardt	Levenberga-Marquardta
23	124 oraz inne	ilości	liczby

PODSUMOWANIE RECENZJI

Rozprawa doktorska jest nietypową pracą naukową – jest pracą kwalifikacyjną. Głównym zadaniem recenzenta jest ocena czy przedstawiona rozprawa spełnia ustawowe przesłanki. A są one trzy: oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, wykazanie się ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w danej dyscyplinie naukowej oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Poddana ocenie rozprawa jest pracą bardzo słabą, głównie ze względu na jej strukturę i formę prezentacji wyników badań. Nie potrafiąco uwypuklić ważności podjętej tematyki badań i istotności uzyskanych wyników oraz sformułować przekonujących wniosków. Wskazuje to, że **umiejętności**

samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez Doktoranta można ocenić co najwyżej jako **akceptowalne**.

Analizując tenże rozprawę zwróciłem uwagę na trzy zagadnienia mające znamiona **rozwiązania oryginalnego problemu naukowego**:

1. Doktorant, analizując strukturę i zasadę działania, **stworzył** w innowacyjny sposób bardzo dokładny model pneumatycznego zaworu sterującego,
2. Doktorant **zapropozował** oryginalny model odwrotny siłownika pneumatycznego (i liczne warianty uproszczonego modelu), który z powodzeniem wykorzystał przy sterowaniu napędem pneumatycznym,
3. Doktorant **dowiodł**, że sztuczna sieć neuronowa model być efektywnym symulatorem kinematyki prostej manipulatora o strukturze równoległej.

Rozwiązując powyższe problemy korzystał z metod teoretycznych i doświadczalnych charakterystycznych dla dyscypliny *inżynieria mechaniczna*. Jednocześnie wykazał się **dostateczną wiedzą** i umiejętnościami w zakresie: teorii maszyn i mechanizmów, teorii sterowania i techniki regulacji, termodynamiki i mechaniki płynów, techniki pomiarowej, technik komputerowych, sztucznych sieci neuronowych i innych.

Mimo fatalnej struktury pracy i innych trudności udało się odtworzyć zakres działań i tok rozumowania Doktoranta. Wymagało to jednak dużego wysiłku oraz cierpliwości. Jeżeli w przyszłości Doktorant nie udoskonali techniki pisania prac naukowych, to swój niewątpliwý potencjał naukowy może zaprzepaścić.

WNIOSEK KOŃCOWY

Po zapoznaniu się z przedstawioną mi do recenzji rozprawą doktorską oceniam, że Doktorant mgr inż. Gabriel Bracha w stopniu ledwie akceptowalnym **spełnia wymagania** stawiane w *ustawie z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. Nr 65, poz. 595 ze zm. Dz. U. z 2005 r. nr 164, poz. 1365 z późn. zm.)* i **wnioskuje o dopuszczenie** Doktoranta do dalszych etapów przewodu doktorskiego, a w szczególności do publicznej obrony.

