

*Prof. zw. dr hab. inż. Andrzej Świętoniowski  
Katedra Systemów Wytwarzania  
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki  
AGH Kraków*

*Kraków 08. 09. 2020*

## **OPINIA O ROZPRAWIE DOKTORSKIEJ**

**mgr inż. Marty Żyłki**

### **Synchronizacja ruchu dwóch siłowników pneumatycznych w urządzeniach rehabilitacyjnych**

Rozprawa sytuuje się w dziedzinie Nauk inżynieryjno-technicznych, w skład której jest zaliczana jest dyscyplina Inżynieria Mechaniczna.

#### ***1. Podstawa prawna***

Recenzję wykonano na zlecenie Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza dr hab. inż. Aleksandra Mazurkow, prof. PRz.

Pismo z dnia 26 czerwca 2020 r.

## *2. Strona formalna rozprawy*

Przedstawiona mi do recenzji praca liczy 174 strony tekstu podzielonego na osiem rozdziałów. W rozdziałach tych zamieszczono 84 rysunki oraz 41 tablic. Do pracy dołączono indeks literatury zawierający 87<sup>1</sup> pozycje oraz dwa streszczenia w języku polskim i angielskim.

## *3. Tematyka, zakres i cel rozprawy*

Dysfunkcja narządów ruchu mająca swe źródło zarówno w zaburzeniach o charakterze neurologicznym jak i urazach doznanych w trakcie wypadków jest dziś - obok schorzeń układu krążenia - najczęstszą przyczyną niepełnosprawności w naszym kraju. Rehabilitacja medyczna i zawodowa, a także aktywność życiowa dotkniętych nią osób ma istotny wpływ na jakość ich życia oraz szeroko rozumianą integrację społeczną. Uwarunkowania te przekładają się na intensywne badania prowadzone w licznych ośrodkach, a mające na celu zarówno rozwój samych metod rehabilitacji jak i wspomagających te metody urządzeń terapeutycznych. Wyniki tych badań – opublikowane w literaturze polskiej i światowej – koncentrują się przy tym na problemach rehabilitacji kończyn górnych, których funkcje są dla człowieka funkcjami podstawowymi, a ich brak lub ograniczenie (stałe lub czasowe) jest postrzegany jako jedna z najbardziej dokuczliwych konsekwencji wielu zmian patologicznych. Relatywnie mniej liczne są natomiast badania odnoszące się do dysfunkcji i rehabilitacji kończyn dolnych. Stąd też podjęcie tej problematyki przez Panią mgr inż. Martę Żyłkę należy uznać za ze wszech miar słuszne i celowe zarówno w aspekcie ogólnoludzkim jak i społecznym oraz gospodarczym, a to poprzez przywrócenie osoby z dysfunkcją ruchową do pełnej - bądź choćby tylko częściowej - sprawności zawodowej. Uzyskane rezultaty badawcze przedstawiła Doktorantka w klasycznym układzie treści, w którym pierwszy rozdział został poświęcony genezie, celowi i zakresowi pracy oraz sformułowaniu hipotezy badawczej. Hipoteza ta stwierdza, że w urządzeniu rehabilitacyjnym do ćwiczeń biernych kończyn

<sup>1</sup> W tym pięć będących autorstwa bądź współautorstwa Doktorantki, co świadczy o konsekwentnym zainteresowaniu i jej dorobku naukowym w zakresie przedmiotowej problematyki

dolnych można wykorzystać innowacyjny układ pary siłowników pneumatycznych sterowanych specjalnie zaprojektowanym elementem (zaworem) synchronizującym ich ruch. Projekt takiego elementu o nazwie MZ\_SYNCH - zgłoszony co warto podkreślić jako wzór użytkowy do Urzędu Patentowego RP nr W. 126971 - został przedstawiony w rozdziale drugim. W ślad za tym w rozdziale trzecim - wykorzystując w tym celu zakres obciążeń biologicznych kończyny dolnej człowieka - wyznaczono wartości parametrów projektowanego układu sprzężonych z sobą poprzez zawór MZ\_SYNCH siłowników pneumatycznych.

Celem sprawdzenia czy zaprojektowany układ można zastosować w urządzeniach rehabilitacyjnych, Doktorantka wykonała trzy obszernie cykle eksperymentów, celem których było wyznaczenie charakterystyk przemieszczeń oraz prędkości tłoczków obu siłowników.

W każdym z cykli zastosowano siłowniki pneumatyczne produkcji różnych firm i o różnych parametrach, a uzyskane wyniki przedstawione zostały w rozdziałach cztery, pięć i sześć.

Logicznym zwieńczeniem pracy jest przedstawienie w rozdziale siódmym opisu dwóch urządzeń rehabilitacyjnych do kończyn dolnych :MZ\_REHAB\_1 oraz MZ\_REHAB\_2 , w których zastosowano omawiany element synchronizacyjny.

Wyniki badań podsumowała Doktorantka w rozdziale ósmym przedstawiając tam również zamierzone kierunki dalszych badań.

Treść rozprawy została ponadto uzupełniona przez dołączenie ośmiu załączników.

#### **4. Ocena merytoryczna**

Przedstawione przez Doktorantkę na początku swej pracy cele poznawcze sprowadzają się w istocie do skonstruowania pneumatycznego urządzenia rehabilitacyjnego wyposażonego w dwa siłowniki pneumatyczne, w którym synchronizacja ruchu obu tłoczków jest realizowana oryginalnym - będącym jej dziełem - zaworem dławiącym. Potrzeba zapewnienia takiej synchronizacji wynika z cytowanych obserwacji klinicznych wskazujących, iż najbardziej efektywne wyniki rehabilitacji uzyskuje się podczas równoczesnych ćwiczeń obu kończyn (zdrowej i porażonej dysfunkcją)<sup>2</sup>.

Synchronizacja działania zespołu siłowników pneumatycznych może być realizowana

<sup>2</sup> Uzasadnia się to faktem, iż ruchy kończyny zdrowej przyczyniają się do zwiększenia potencjału mięśni kończyny z porażeniem

zarówno poprzez zastosowanie zaworów różnych typów jak i układu serwonapędu elektropneumatycznego, lecz zdaniem Doktorantki są to rozwiązania relatywnie drogie i skomplikowane. Przekłada się to bezpośrednio i na koszt wykorzystujących je urządzeń rehabilitacyjnych. Obniżenie tego kosztu mogłoby natomiast w istotny sposób przyczynić się do ich szerszego rozpowszechnienia, a w ślad za tym i do skrócenia czasu oczekiwania na zabiegi, aż do wykorzystywania ich w domu pacjenta.

Owo odniesienie się Doktorantki do społecznych skutków prowadzonych badań uważam za istotny walor rozprawy.

Zaproponowane rozwiązanie w postaci symetrycznego zaworu dławiącego należy uznać za poprawne. Zastrzeżenia budzi natomiast dołączona w Dodatku A dokumentacja techniczna tego zaworu niezgodna po części z zasadami rysunku technicznego. Dotyczy to zwłaszcza złożeniowego rysunku 6A – wartość podziałki, rozmieszczenie rzutów, tabliczka znamionowa.

Określenia parametrów badanego układu zdecydowała się Doktorantka poszukiwać na drodze czysto eksperymentalnej. W istocie w badaniach zjawisk przepływowych – wobec złożoności i ich wzajemnego uwarunkowania - posłużenie się eksperymentem okazuje się często niezbędne. Z reguły jednak eksperyment ten oparty jest o wcześniejsze rozważania teoretyczne, których wyniki ostatecznie weryfikuje. Czy zatem rezygnacja z sformułowania choćby bardzo uproszczonego modelu matematycznego i wyznaczenia na jego podstawie charakterystyk zaworu dławiącego jest w pełni uzasadniona. Pozbawia nas to bowiem tak istotnych informacji jak charakter występującego w nim przepływu (laminarny lub turbulentny), a także wrażliwości na zmianę czynników zewnętrznych.

Aby to rozstrzygnąć koniecznym byłoby jednak dokonanie analizy wymaganej dokładności sterowania wynikającej z zapewnienia niezbędnych warunków rehabilitacji kończyn, co wykracza poza zakres pracy w jej dotychczasowej formie

Wychodząc z poczucia odpowiedzialności za efekty rehabilitacji Doktorantka zrealizowała trzy obszerne cykle badań – dla różniących się sobą par siłowników- których celem było wyznaczenie charakterystyk przemieszczeń – przy wysuwie i ruchu powrotnym - oraz prędkości tłoczyk obu siłowników wchodzących w skład urządzenia. W każdym z cykli przyjęto te same zakresy parametrów ciśnienia obciążającego tłoczyska siłowników. Równe ich wartości  $p_1 = p_2$  odpowiadały sytuacji rehabilitowania obu kończyn, różne zaś  $p_1 \neq p_2$  sytuacji gdy rehabilitacji wymaga jedynie jedna kończyna.

Wyrażając się z uznaniem o bardzo obszernym zakresie przeprowadzonej analizy problemu i wkładzie pracy Doktorantki trudno wszakże nie zwrócić uwagi na fakt, iż przy prezentacji jej wyników w miejsce trzykrotnego powtórzenia praktycznie tego samego tekstu – jedynie ze zmianą wartości liczbowych – można było posłużyć się zbiorczymi tabelami.

Wyniki badań potwierdziły poprawność i skuteczność zastosowania w urządzeniach rehabilitacyjnych układu dwu siłowników pneumatycznych synchronizowanych autorskim zaworem dławiącym oraz wskazały możliwe do zastosowania przedziały obciążeń związane z ruchem kończyn dolnych. Zawór zapewnia synchroniczny ruch obu tłoczków w całym zakresie ich przemieszczania się oraz wykazuje odporność na możliwość powstawania blokady.

Istotnym jest też wykazanie bezpiecznej pracy układu w warunkach nagłego skurczu kończyny

Szkoda wszakże, iż Doktorantka nie podjęła próby uogólnienia uzyskanych wyników poza badane obiekty, nie wskazując choćby zalecanych do zastosowania parametrów siłowników nie mówiąc już o ich optymalizacji.

Wysoko oceniam natomiast fakt wykorzystania wyników pracy w konstrukcji konkretnych urządzeń do rehabilitacji kończyn dolnych. Postępowanie takie można uznać za modelowe.

Dobre świadectwo wystawia też Doktorantce oparcie się przy projektowaniu o konsultacje z specjalistami w zakresie rehabilitacji.

### ***5. Uwagi szczegółowe***

Recenzowana rozprawa wyróżnia się starannością edytorską i poprawną polszczyzną.

Z drobnych błędów – prawie nie do uniknięcia w tak obszernej pracy - pozwolę sobie wymienić następujące:

Str. 1 (Wykaz ważniejszych oznaczeń)

Jest : pole powierzchni siłownika → powinno być pole powierzchni tłoka siłownika

Jest: natężenie przepływu powietrza → powinno być natężenie przepływu strumienia powietrza

Str. 9 (Tabela 1.1); Jest: hałaśliwość powietrza → powinno być natężenie hałasu wywołane przepływem strumienia powietrza

Str.22 Wiersz 7 od góry; Jest: ciężar kończyny → powinno być : masa kończyny

Str.162 (Literatura); Celowość umieszczenia pozycji 15 i 66 jest wątpliwa

Str.172 (Wykaz tabel); Brak w wykazie tabeli z Dodatku F

Powyższe uwagi, acz krytyczne nie mogą wszakże wpłynąć na ogólnie bardzo pozytywny obraz pracy i uznanie dla przedstawionych w niej dokonań

Decyduje o tym podjęcie trudnego, a przy tym ważkiego tak ze względów społecznych jak i gospodarczych problemu konstrukcji urządzeń do rehabilitacji kończyn dolnych człowieka.

Uzyskane przez Doktorantkę oryginalne wyniki badań wnoszą wkład w rozwój Inżynierii Mechanicznej, a pozostając w bliskim związku z rzeczywistymi problemami występującymi w rehabilitacji medycznej mogą służyć do ich efektywnego rozwiązywania. Co równie istotne może być one podstawą dla dalszych prac tak teoretycznych jak i eksperymentalnych.

### **6.Ocena końcowa**

Podsumowując stwierdzam, iż przedstawiona mi do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Marty Żyłki p.t. " Synchronizacja ruchu dwóch siłowników pneumatycznych w urządzeniach rehabilitacyjnych" stanowi istotne i nowatorskie osiągnięcie naukowe jej Autorki dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna.

Podjęte w rozprawie problemy zostały rozwiązane przy użyciu poprawnie wybranych i odpowiadających bieżącemu stanowi wiedzy metod i narzędzi badawczych.

Rozprawa przedstawia sobą spójną i logiczną całość, a uzyskane wyniki zostały przedstawione w klarowny i jednoznaczny sposób.

Potwierdzają one poprawność hipotezy badawczej postawionej przez Doktorantkę na początku pracy.

Stwierdzam zatem, iż w mojej opinii rozprawa mgr inż. Marty Żyłki sytuująca się w dziedzinie Nauk inżynieryjno - technicznych i dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna

spełnia wymagania formalne określone w Ustawie z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2003 r. Nr 65, poz. 595 z późn. zmianami) w brzmieniu po wejściu w życie ustawy z dnia 23.06.2016 roku o zmianie ustawy - Prawo o szkolnictwie wyższym oraz niektórych innych ustaw (Dz. U. z dnia 23.08.2016 r., poz. 1311) oraz w Rozporządzeniu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 26 września 2016 r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz

w postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz. U. z 2016 r. poz. 1852), obowiązujące od dnia 01.10.2016 roku.

**Upoważnia mnie to do postawienia wniosku o dopuszczenie rozprawy autorstwa mgr inż. Marty Żyłki p.t.: " Synchronizacja ruchu dwóch siłowników pneumatycznych w urządzeniach rehabilitacyjnych" do publicznej obrony przed komisją Rady Dyscypliny Inżynierii Mechanicznej Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza**

