



WPLYNĘŁO DNIA	
.....15.06.2022.....	
data	
nr pisma	Kierownik administracyjny podpis

mgr *Krzysztof Czerniak*  
dr hab. inż. Michał Bembenek, prof. AGH  
Akademia Górniczo-Hutnicza  
im. Stanisława Staszica w Krakowie  
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki  
Katedra Systemów Wytwarzania

Kraków, 2 czerwca 2022r.

## RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgra inż. Krzysztofa Wałęsy  
pt. „Analiza zautomatyzowanego procesu doczołowego łączenia termozgrzewalnych pasów napędowych i transportujących”

### 1. Podstawa opracowania recenzji

Podstawą wykonania recenzji jest pismo dra hab. inż. Olafa Ciszaka, prof. PP – Dziekana Wydziału Inżynierii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej z dnia 25.04.2022.

### 2. Celowość podjęcia tematu

Istotnym etapem procesu wytwarzania termozgrzewalnych pasów napędowych i transportujących o przekroju kołowym, wykonanych z elastomerów termoplastycznych jest ich łączenie doczołowe na etapie półproduktu do postaci zamkniętego obwodu o żądanej długości. Obecnie podstawową technologią łączenia pasów stosowaną przy ich produkcji jest ich ręczne zgrzewanie przy pomocy nieskomplikowanych narzędzi najczęściej gorącej płyty. Jest to rozwiązanie tanie i proste, jednak jego niewątpliwą wadą jest brak powtarzalności procesu zgrzewania, a także rozrzut jakości pasów związany przede wszystkim z problemem otrzymania jednakowych parametrów połączenia w danej serii. Wiąże się to z manualną obsługą procesu

zgrzewania przez operatora, a także brakiem jednoznacznych wytycznych co do przebiegu procesu w zależności od cech materiałowych i geometrycznych pasa.

Biorąc pod uwagę znaczące wykorzystanie pasów o przekroju okrągłym w różnych gałęziach przemysłu, oczywistym więc jest, że podjęcie prac badawczo rozwojowych mających na celu poprawę powtarzalności cech otrzymywanych pasów przez zautomatyzowanie procesu pozwalające również na polepszenie efektywności ich produkcji według recenzenta jest tematem aktualnym, potrzebnym do rozwiązania oraz podjętym właściwie.

### **3. Charakterystyka rozprawy**

Recenzowana rozprawa doktorska składa się z 308 stron. Zawiera siedem rozdziałów dopełnionych streszczeniem w języku polskim oraz w języku angielskim, wykaz ważniejszych oznaczeń, wykaz oznaczeń ważniejszych części urządzenia do zgrzewania pasów, spis literatury oraz spis tabel i spis rysunków. W skład pracy wchodzi 231 pozycji literatury, 44 tablice oraz 162 rysunki. Dysertacja składa się z części teoretycznej, badawczej oraz projektowej. Rozdział pierwszy to część teoretyczna w której przedstawiono ogólne informacje dotyczące pasów, przekładni i przenośników cięgnowych z wyszczególnieniem pasów o przekroju okrągłym. Przedstawiono wymagania i problemy przy produkcji pasów bezkońcowych używanych do napędów i w urządzeniach transportowych oraz problemy pojawiające się przy wykonywaniu złączy polimerowych podczas wytwarzania pasów cięgnowych. Rozdział zakończony jest podsumowaniem. Kontynuacją pracy jest rozdział drugi, gdzie uzasadniono podjętą tematykę. Z tego rozdziału bezpośrednio wynika rozdział trzeci tj. Teza i zadania badawcze. Rozdział czwarty zatytułowany „Właściwości termomechaniczne elastomerowych pasów cięgnowych” zapoczątkowany jest przeglądem stanu wiedzy. Kolejno przedstawiona jest metodologia badań właściwości termomechanicznych pasów zgrzewanych, ich badanie w warunkach stałej oraz zmiennej temperatury oraz dyskusja nad wnioskami. W zaprezentowany zakres testów wchodzi: identyfikacja próbek pobranych z pasów okrągłych o średnicy 4, 12, 18 mm oraz próbek prostopadłościennych o wymiarach 5x30 mm pobranych z pasa płaskiego we wszystkich przypadkach wykonanych z elastomeru termoplastycznego TPU C85A. W trakcie badań wykonano pomiary gęstości, twardości Shore'a, jednoosiowego rozciągania, ściskania oraz ścinania w temperaturze otoczenia. Kolejno wykonano również próby ściskania w podwyższonej

temperaturze. Następnie wykonano różnicową kalorymetrię skaningową DSC, wyznaczono ciepło właściwe, dynamiczną analizę termomechaniczną DMTA oraz pomiar współczynnika dyfuzyjności cieplnej  $a_{dc}$ . Kolejnym etapem była analiza wyników badań mająca na celu przede wszystkim porównanie właściwości próbek o przekroju kołowym oraz prostokątnym oraz wyznaczenie podstawowych i pochodnych cech opisujących materiał z którego wykonane są pasy. Ogólnym wnioskiem uzyskanym z tej części badań jest to, że przy zachowaniu pewnych uproszczeń próbki pobrane z pasa o przekroju kołowym i płaskim, z fizycznego jak i chemicznego punktu widzenia są tożsame. Kolejny rozdział opisuje proces technologiczny zgrzewania doczołowego pasów. Autor przedstawił w nim aktualny stan wiedzy na temat doczołowego zgrzewania pasów oraz prezentuje obecnie prowadzone badania technologiczne. Na podstawie tego przeglądu autor proponuje własne rozwiązanie w którym pas zgrzewany jest za pomocą gorącej płyty w układzie w którym jeden z uchwyty końca pasa jest nieruchomy, gorąca płyta porusza się z prędkością uplastycznienia, a druga końcówka pasa porusza się prędkością dwa razy większą od prędkości uplastycznienia. Kolejno prezentowane są wstępne i finalne badania empiryczne procesu uplastyczniania pasa, a następnie model oraz optymalizacja parametrów technologicznych. W tym rozdziale przedstawiono również prace nad modelowaniem rozkładu temperatury podczas uplastyczniania materiału. Przy pomocy oprogramowania Simulia Isight i arkusza kalkulacyjnego MS Excel dokonano estymacji parametrów uplastyczniania efektywnego. Rozdział piąty kończą badania nad ścinaniem wypływką oraz podsumowanie rozdziału. W rozdziale szóstym przedstawiono projekt konstrukcji zautomatyzowanego urządzenia do zgrzewania pasów ciągłych. W skład opisu wchodzi: założenia, przegląd aktualnego stanu techniki, koncepcja rozwiązania konstrukcyjnego, projekt i budowa, przykład wdrożenia wyników wykonanych prac badawczych oraz podsumowanie rozdziału. Pracę kończy podsumowanie zawierające opis wykonanych prac oraz plan dalszych badań.

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

Przedstawiona do recenzji rozprawa stanowi spójną i logiczną całość w której krok po kroku realizowane są zadania prowadzące do rozwiązania postawionego problemu. Efektem końcowym tych działań jest konstrukcja zautomatyzowanego urządzenia zgrzewającego okrągłe pasy

polimerowe, a także metodologia doboru parametrów technologicznych zapewniających efektywne zgrzewanie. Dysertacja stanowi przykład rozwiązania złożonego problemu, którego wyniki są istotne z punktu widzenia praktyki przemysłowej. Wykazana bogata jak na pracę doktorską analiza literatury, pomimo podzielenia jej na tematyczne fragmenty wpisuje się w narrację pracy w której problemy rozwiązywano etapowo. Formułowane tezy, spostrzeżenia i cele badawcze oraz dobór odpowiednich metod i narzędzi do rozwiązania zadań naukowych w ocenie recenzenta są poprawne. Analiza wyników badań naukowych oraz ich komunikatywne prezentowanie w formie graficznej, tabelarycznej, oraz pisemnej spełniają ogólnie przyjęte wymogi stawiane rozprawom doktorskim. Postawiona w pracy teza *„Wykorzystując wyniki analizy procesu zgrzewania doczołowego metodą gorącej płyty oraz rezultaty rozpoznania właściwości termomechanicznych pasów napędowych i transportujących o przekroju kołowym, które są wykonane z elastomerów termoplastycznych, możliwe jest opracowanie metodologii przeprowadzania operacji zgrzewania takich pasów w sposób efektywny oraz zaproponowanie metodyki wyznaczania parametrów technologicznych, na potrzeby projektowania zautomatyzowanego urządzenia zgrzewającego.”* została zweryfikowana pozytywnie zarówno pod kątem, teoretycznym, eksperymentalnym jak i wdrożeniowym. Na uwagę zasługuje fakt, że końcowym efektem rozprawy jest urządzenie, które wykorzystano do przeprowadzenia pilotażowych badań eksperymentalnych zautomatyzowanego zgrzewania, w warunkach przemysłowej produkcji pasów w firmie Wilhelm Herm Müller Polska Sp. z o.o. w Bydgoszczy.

## 5. Uwagi krytyczne

1. Zdaniem recenzenta Doktorant w pracy poświęcił zbyt wiele uwagi na badanie właściwości próbek o przekroju prostokątnym, choć wnioski z nich płynące nie są bezpośrednio wykorzystane w pracy. Jednym z postawionych celów badawczych jest wykazanie pokrewności mechaniczno-chemicznej pasów okrągłych i płaskich. Bardzo proszę o wyjaśnienie celowości prowadzenia badań na próbkach pobranych z pasów płaskich skoro celem badań było zautomatyzowanie stanowiska do zgrzewania pasów o przekroju okrągłym.

2. Na stronach 83-84 przedstawiono próby ściskania oraz rozciągania. Nie ma unifikacji dotyczącej rozmiaru próbek w odniesieniu do poszczególnych badań, a w tekście nie dopatrzone się wyjaśnienia takiego stanu rzeczy.
3. W przedstawionych na str. 84 badaniach ściskania brakuje konkretnych informacji o zastosowanym środku smarnym.
4. Brak dokładnego opisu systemu akwizycji danych maszyny wytrzymałościowej MTS, m. in. na stronie 162.
5. Nie zgadzam się z modelem przedstawionym w rozdziale piątym dotyczącym wyznaczenia siły niezbędnej do ścięcia wyływki przedstawionym wzorem 5.98

$$F_T = F_{Tr} + F_{T1} + F_{T2},$$

gdzie:  $F_T$  – siła technologiczna ścinania wyływki,  $F_{Tr}$  – składowa siły ścinania pochodząca od rozciągania wyływki na powierzchni stożkowej ostrza,  $F_{T1}$  – składowa siły ścinania pochodząca od tarcia wyływki na powierzchni stożkowej ostrza,  $F_{T2}$  – składowa pochodząca od tarcia pasa wewnątrz otworu ostrza.

Zgodnie z wiedzą recenzenta prezentowany model opisuje tylko zjawisko rozszerzania poprzez stożek z otworem (w tym przypadku nóż) pasowanej na okrągłym pasie elastycznej, w przybliżeniu toroidalnej uszczelki. W niniejszym modelu nie uwzględniono siły pochodzącej od technicznego ścinania, którą wartość powinno się obliczyć przy pomocy naprężeń ścinających dla danej temperatury wyływki oraz pola powierzchni ścinania powstającego po odcięciu wyływki – w tym przypadku poboczniczy walca. Ta część pracy w opinii recenzenta wymaga poprawienia, jeśli model miałby służyć w przyszłości celom naukowym.

6. W ocenie recenzenta zgodnie ze sztuką projektowania inżynierskiego obliczenia zapotrzebowania mocy silnika głównego stanowiska powinny być przeprowadzone podczas projektowania urządzenia, a nie na etapie badania jego prototypu jak to jest zaprezentowane w pracy.
7. Przedstawiony na stronach 233-269 opis stanowiska jest zbyt szczegółowy, opisane są elementy które nie mają cech funkcyjnych. Jest on przez to zawiły i trudny do zrozumienia. Opis ten powinien znaleźć się ewentualnie w tzw. dodatku, a w tym miejscu powinien się znaleźć kilku stronicowy opis przedstawiający podstawowe elementy funkcyjne z zasadą ich działania.

8. W pracy brakuje komentarza dotyczącego dobranego silnika napędu głównego oraz wyników teoretycznych obliczeń.

Pod względem edytorskim praca opracowana jest niezwykle starannie. Autor nie ustrzegł się jednak kilku błędów edytorskich lub stylistycznych np.:

- str. 33 – „Informacja na temat wartości współczynnika tarcia, podawana przez producenta pasów jest bardzo ważna, ponieważ wpływa to bezpośrednio na moment obrotowy przenoszony przez taki mechanizm.”
- str. 36, Rys. 16 – „ $D_0$  – średnica pętli utworzona przez zamknięty obwód pasa” – zdaniem recenzenta na rysunku  $D_0$  jest przedstawiona średnica podziałowa,
- str. 38 „długość obwodu gotowego pasa, która powinna wynosić  $L_0$ , co należy skontrolować po wykonaniu połączenia, mierząc średnicę  $D_0$  utworzonego przez niego okręgu (Rys. 16c).” – w tym przypadku byłbym skłonny użyć raczej określenia „oszacowując” – bo dokładne mierzenie średnicy podziałowej tak wykonanego pasa jest praktycznie niemożliwe,
- str. 39 „Klejenie jest powszechnie stosowaną metodą łączenia różnych materiałów inżynierskich np.: materiałów metalicznych, ceramik oraz tworzyw sztucznych.” powinno być ceramiki,
- str. 45, Rys. 16 – brak oznaczenia a), b), c) na rysunku,
- str. 74 „Wiele opublikowanych dzieł dotyczy” – raczej prac lub artykułów,
- str. 80 – „prostopadłościenną typu B, o wymiarach nominalnych  $b_g = 5$  mm oraz  $g_g = 30$  mm.” – brakuje trzeciego wymiaru próbki prostopadłościennej,
- str. 98, Rys. 45. rysunek nie jest intuicyjny przez brak zachowania proporcji osi w obu układach współrzędnych, stąd kąty nachylenia wykresów do osi na obydwu wykresach są różne, a w praktyce są jednakowe.
- str. 124 – błędnie oznaczony przedział temperatury „w przedziale od około  $-25^{\circ}\text{C}$  do około  $-50^{\circ}\text{C}$ ” powinno być „w przedziale od około  $-50^{\circ}\text{C}$  do około  $-25^{\circ}\text{C}$ ”,
- str. 133 – „W ogólnym ujęciu więc, analiza spektrofotometryczna” – spójnik więc jest zbędny,
- str. 136 – „Taki zachowanie”,

- str. 157 – „uproszczenie konstrukcji urządzenia, ze względu na to że układ napędowy odpowiedzialny za przemieszczeniowe sterowanie jego zespołami roboczymi”,
- str. 204 – „aktualną współrzędną”,
- str. 204 – „mogły by być”,
- str. 214 – „przebiegu tej operacji, co pozwoli to na rozszerzenie zakresu”,
- str. 239 – „z kolejny mechanizmem”.

## **6. Wniosek końcowy**

Usterki wymienione w powyższej recenzji nie obniżają w istotny sposób poziomu rozprawy. Jej pozytywne aspekty i znaczące w tym zakresie osiągnięcia Doktoranta pozwalają na stwierdzenie, że przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgra inż. Krzysztofa Wałęsy pod tytułem „Analiza zautomatyzowanego procesu doczołowego łączenia termozgrzewalnych pasów napędowych i transportujących” prezentuje wymaganą ogólną wiedzę teoretyczną Kandydata w dyscyplinie „Inżynieria mechaniczna” oraz dowodzi umiejętności prowadzenia pracy naukowej. Przedmiotem rozprawy doktorskiej mgra inż. Krzysztofa Wałęsy jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego oraz oryginalne rozwiązanie w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze komercyjnej, co spełnia wymagania formalne określone w art. 187. Ust. 1 Ustawy z dnia 20.07.2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018 poz. 1668) przez co uzasadnia nadanie Kandydatowi stopnia naukowego doktora w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.

### **Wnoszę więc o dopuszczenie rozprawy do publicznej obrony.**

Ponadto biorąc pod uwagę:

- syntetyczne i bardzo wieloaspektowe rozwiązanie złożonego problemu szczególnie w odniesieniu do współczesnego stanu techniki,
- multidyscyplinarność przeprowadzonych badań z zakresu wytrzymałości materiałów, chemii fizycznej oraz przeróbki materiałów polimerowych,
- użyteczny charakter badań zakończony przez Doktoranta zbudowaniem i wdrożeniem stanowiska przemysłowego,

- obszerne i staranne przygotowanie rozprawy doktorskiej,

**wniosuję o wyróżnienie rozprawy** „Analiza zautomatyzowanego procesu doczołowego łączenia termozgrzewalnych pasów napędowych i transportujących” w przypadku spełnienia przez mgra inż. Krzysztof Wałęsa kryteriów formalnych zawartych w „Regulaminie wyróżnień rozpraw doktorskich prowadzonych na wydziale Inżynierii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej”.

