

Recenzja rozprawy doktorskiej

mgr inż. Agnieszki Nowackiej

pt. „Efektywność obróbki przetłoczno-ściernej wyrobów
z tworzyw polimerowych”

Promotor rozprawy:

dr hab. inż. **Tomasz Klepka**, prof. PL

1. Podstawa formalna opracowania recenzji

Recenzja została opracowana na podstawie uchwały Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Lubelskiej z dnia 18 maja 2022 r. oraz umowy z dnia 3 czerwca 2022 r. nr RDN/IM/32/2022.

Stwierdzam, że tematyka recenzowanej pracy jest zgodna z obszarem moich zainteresowań naukowych. Oświadczam jednocześnie, że nie prowadziłem i nie prowadzę z Doktorantką żadnych wspólnych badań naukowych oraz że nie jesteśmy wspólnie autorami jakiegokolwiek publikacji naukowej.



2. Znaczenie podjętej tematyki

Przetwórstwo tworzyw polimerowych jest ważnym obszarem technik wytwarzania. Swoją popularność zawdzięcza możliwości produkcji wyrobów użytkowych w skali masowej, przy niskim zużyciu energii. Wytwory charakteryzują się powtarzalnymi cechami geometrycznymi, wysoką jakością powierzchni oraz oczekiwanymi przed odbiorców właściwościami. Współczesne wyroby polimerowe są skomplikowane pod względem konstrukcji i struktury, o zagwarantowanych na etapie wytwarzania wielu funkcjach użytkowych, co daje im przewagę konkurencyjną na rynku globalnym. W ostatnim dziesięcioleciu istotne miejsce w obszarze wytwarzania zajęły techniki przyrostowe. Dzięki tym technologiom, możliwości wytwarzania skomplikowanych geometrycznie wyrobów zostały istotnie zwiększone. Wadą tych elementów jest jakość struktury geometrycznej powierzchni, zwłaszcza duża chropowatość. Technologie przyrostowe pozwalają na wytwarzanie wytworów polimerowych, które są niemożliwe do otrzymania w standardowych technologiach. Dlatego podejmowanie działań, zmierzających do poprawy ich jakości są uzasadnione. Jest to trudne, ponieważ tworzywa termoplastyczne charakteryzują się wieloma niekorzystnymi cechami, a do najważniejszych z nich można zaliczyć: lepkosprężystość, bardzo znacząca rozszerzalność i ściśliwość materiału, zależność lepkości dynamicznej stopu od szybkości ścinania (płyn nieniuonowski), skurcz pierwotny i wtórny materiału podczas krzepnięcia, mały i zmienny co do wartości moduł Younga oraz istotny wpływ parametrów procesowych na strukturę i właściwości wyrobu.

Przedmiotem recenzowanej rozprawy jest ocena wpływu wybranych parametrów technologicznych i materiałowych na efektywność obróbki przetłoczno-ścierniej wyrobów z tworzyw termoplastycznych, otrzymanych w technologii osadzania topionego materiału FDM (ang. fused deposition modeling). Pozytywnie oceniam zakres podjętej problematyki, jej aktualność i istotność ze względu na aspekty naukowe i praktyczne. Wzajemne oddziaływanie bardzo wielu zmiennych w obszarach: technologia wytwarzania past ściernych – proces obróbki powierzchni – konstrukcja urządzenia - materiał obrabiany, stanowiło duże wyzwanie dla realizacji celów tej rozprawy doktorskiej. Wymagało to od Autorki przygotowania merytorycznego w zakresie technologii chemicznej, inżynierii materiałowej, planowania eksperymentu, statystycznej obróbce danych pomiarowych oraz znajomości właściwości fizykomechanicznych tworzyw termoplastycznych.

3. Charakterystyka formalna i ocena merytoryczna rozprawy

Recenzowana praca doktorska została napisana łącznie na 196 stronach maszynopisu w formacie A4. Składa się z 9 rozdziałów, wykazu ważnych oznaczeń i skrótów oraz bibliografii, składającej się z 248. pozycji literaturowych, dwunastu patentów, w tym 2 współautorskich zgłoszeń patentowych Doktorantki. Streszczenia w języku polskim i angielskim zamieszczono na końcu rozprawy (str. 2019-222). Tytuły poszczególnych rozdziałów są następujące: (1) Wprowadzenie; (2) Charakterystyka procesu obróbki powierzchni; (3) Przegląd metod obróbki wewnętrznych powierzchni wyrobów; (4) Charakterystyka procesu obróbki przetłoczno-ścierniej wraz z krytycznym podsumowaniem aktualnego stanu wiedzy w tym zakresie; (5) Teza, cel i zakres rozprawy; (6) Badania doświadczalne, metodyka i zakres badań; (7) Proces obróbki przetłoczno-ścierniej; (8) Badania i ocena efektywności obróbki przetłoczno-ścierniej; (9) Podsumowanie i wnioski końcowe. Praca zawiera także 6 załączników (str. 193-218). Wydaje się, że bardziej czytelne byłoby przesunięcie streszczeń po spisie literatury, a załączniki powinny zostać numerowane niezależnie od stron rozprawy.

Struktura analizowanej pracy jest logiczna. Po wprowadzeniu (rozdział 1), w dalszych trzech rozdziałach scharakteryzowano proces obróbki powierzchni, dokonano przeglądu metod obróbki wewnętrznych powierzchni wyrobów oraz dokonano krytycznego przeglądu procesu obróbki przetłoczno-ścierniej. Moim zdaniem, biorąc pod uwagę obszerność całej rozprawy i postawione cele, można było ograniczyć zakres treści drugiego i trzeciego rozdziału, tym bardziej, że dużo informacji w nich zawartych dotyczy obróbki materiałów metalowych. Bardzo dobrze oceniam treści rozdziału 4, a zwłaszcza opracowania własne Autorki, będące syntezą dostępnej literatury (np. diagram na rys. 4.4; tabela 4.1; rys. 4.5 oraz tabela 4.2). Brakuje mi jednak w tym rozdziale odniesienia się Autorki do znanych, innych metod obróbki powierzchni wyrobów polimerowych, wytwarzanych technikami przyrostowymi. W podsumowaniu na stronie 65 jednoznacznie stwierdzono, że nie ma na rynku past ściernych dostosowanych do termoplastycznych wyrobów, otrzymanych technikami przyrostowym. To stało się podstawą do przedstawienia w rozdziale 5 tezy, celów i zakresu rozprawy. Moim zdaniem przedstawione cele rozprawy są czytelnie sformułowane, a ich realizacja wymaga przeprowadzenia poważnego eksperymentu naukowego. Uważam natomiast, że teza jest zbyt ogólnie sformułowana, w stosunku do dobrze postawionego celu naukowego rozprawy. Moja ocena wynika z faktu, że biorąc pod uwagę współczesne osiągnięcia w zakresie obróbki powierzchni materiałów, usunięcie nierówności

geometrycznych z wewnętrznych powierzchni wytworów z tworzyw polimerowych jest stosunkowo proste, również możliwe bez opracowania oryginalnego składu pasty ścierniej.

Dalsze rozdziały pracy to opis metodyki, zakres oraz wyniki badań wstępnych (rozdziały 6 i 7), na podstawie których zrealizowano badania główne, w tym dotyczące określenia efektywności obróbki przetłoczno-ścierniej wyrobów polimerowych, otrzymanych technikami przyrostowymi. Ten sposób dochodzenia do ostatecznych, korzystnych efektów tej obróbki na powierzchniach wewnętrznych wyrobów z poliamidu 12 (PA 12) oraz terpolimeru akrylonitrylowo-butadienowo-styrenowego (ABS) został bardzo dobrze zaplanowany. Zrealizowano eksperyment naukowy z dużą liczbą zmiennych niezależnych, a każdy jego etap odnosi się do wcześniejszych, dobrze opracowanych statystycznie wyników. Zastosowane testy różnic wartości średnich pomiarowych umożliwiły bardzo precyzyjne wskazanie czynników mających wpływ na przebieg obróbki przetłoczno-ścierniej oraz na jakość powierzchni wyrobów otrzymanych metodą przyrostową FDM. Bardzo pozytywnie oceniam użycie znaczników do określenia efektywności obróbki przetłoczno-ścierniej (rozdział 8), dostrzegając jednak jako niedogodność, brak opisu sposobu ich nałożenia na analizowane powierzchnie próbek.

Rozprawa w swoim zamyśle jest oryginalna pod względem naukowym, jej zrealizowanie wymagało wielu umiejętności w zakresie: a) planowania eksperymentu z udziałem wielu zmiennych niezależnych, b) skutecznego przeprowadzenia badań doświadczalnych, c) analizy uzyskanych wyników, d) skondensowanego sformułowania wniosków. Doktorantka wykazała się także interdyscyplinarną wiedzą praktyczną w zakresie chemicznego syntetyzowania polimerowej osnowy past ściernych. **Uważam, że rozprawa spełnia zapisy ustawy obowiązujące dla prac doktorskich, jest poprawna merytorycznie i mieści się w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.**

Cytowana w rozprawie literatura jest reprezentatywna dla przedstawionej w niej problematyki. To zbiór piśmiennictwa obejmujący 248 pozycje literaturowe (w tym około 230 w języku angielskim), 12 patentów i zgłoszeń patentowych oraz 6 pozycji, dostępnych na stronach internetowych. Ponad 40% stanowią pozycje literaturowe nie starsze niż 6 lat (licząc od 2017 r.). W spisie literatury odnotowano także 6 artykułów naukowych, w których Doktorantka jest współautorką.

Podsumowując merytoryczny wkład rozprawy w aktualny stan wiedzy w zakresie badania efektywności obróbki przetłoczno-ścierniej wyrobów z tworzyw polimerowych, na uwagę zasługują przede wszystkim następujące osiągnięcia naukowe Autorki rozprawy:

- a) opracowanie oryginalnych składów past ściernych do obróbki przetłoczno-ścierniej wewnętrznych powierzchni otworów w wyrobach otrzymanych metodą FDM, z uwzględnieniem właściwości terpolimeru ABS i poliamidu 12,
- b) uzyskanie efektu zagęszczenia objętości pasty ścierniej w trakcie realizacji obróbki przetłoczno-ścierniej, na skutek zmian zachowania się lepkosprężystej osnowy polimerowej,
- c) sformułowanie konkretnych założeń w zakresie pożądanej lepkości pozornej dla osnowy past ściernych, przeznaczonych do obróbki przetłoczno-ścierniej wyrobów warstwowych z ABS i PA 12,
- d) określenie zmian stanu wewnętrznej powierzchni próbek z PA 12 oraz ABS w oparciu o znane parametry chropowatości R_a , R_z oraz R_{ku} , na podstawie których obliczano współczynnik względnej zmiany chropowatości wewnętrznej powierzchni wyrobu RIR,
- e) opracowanie oryginalnej metodyki badań doświadczalnych, z uwzględnieniem synergicznego oddziaływania wielu zmiennych niezależnych,
- f) wskazanie konkretnych składów past ściernych oraz parametrów obróbki przetłoczno-ścierniej, gwarantujących efektywną obróbkę wewnętrznych powierzchni próbek z ABS i PA 12,
- g) opracowanie modelu matematycznego, pozwalającego na prognozowanie zmian parametru chropowatości R_a wewnętrznych powierzchni wyrobów warstwowych, w zależności od ciśnienia, ilości cykli oraz częstotliwości przetłaczania pasty ścierniej przez kanały wyrobów otrzymanych metodą FDM (załącznik 4),
- h) opracowanie zaleceń dla przemysłu w zakresie efektywnego prowadzenia obróbki przetłoczno-ścierniej dla wyrobów warstwowych z ABS i PA 12 (załącznik 6),
- i) określenie empirycznych zależności pomiędzy współczynnikiem RIR, a ciśnieniem obróbki ciśnieniowo-ścierniej, w odniesieniu do składów past ściernych i rodzaju materiału obrabianych powierzchni wewnętrznych.

Recenzowana rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę Kandydatki w dyscyplinie inżynieria mechaniczna oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Na wyróżnienie zasługuje fakt, że Autorka zaproponowała sposób dochodzenia do empirycznej zależności zmian parametrów chropowatości powierzchni, w relacji do najważniejszych parametrów procesowych oraz składów past ściernych. Moim zdaniem, zaprezentowane treści mają także bardzo duże znaczenie użytkowe, zwłaszcza dla

tych producentów, którzy specjalizują się w wytwarzaniu wyrobów konstrukcyjnych metodami FDM oraz SLS (ang. Selective Laser Sintering), a którym zależy na poprawie jakości produkowanych elementów.

4. Uwagi krytyczne oraz o charakterze dyskusyjnym

W trakcie lektury rozprawy sformułowano uwagi krytyczne, które przedstawiono poniżej:

- 1) Autorka rozprawy używa pojęcia „*medium*”, jako określenia polimerowej osnowy pasty ścierniej. Zgadzam się, że wśród wielu znaczeń tego słowa można znaleźć także pojęcie nośnik, ale w moim przekonaniu dla porządku pojęć stosowanych w inżynierii mechanicznej i chemicznej, dobrym i jednoznacznym określeniem w tym przypadku jest osnowa lub osnowa polimerowa.
- 2) W próbach doświadczalnych użyto próbek typu pierścieni, które wykonano metodą FDM z terpolimeru ABS oraz poliamidu 12. Właściwości tych materiałów opisano w tab. 7 (str. 96 i 97). Z uwagi na znaczenie tych danych zwracam uwagę, że moduł Younga dla ABS jest zbyt mały (60 MPa), a zamiast wytrzymałości na rozciąganie lub maksymalnych naprężeń rozciągających użyto w obu częściach tab. 7, błędnego pojęcia cyt. „*moduł rozciągania przed zerwaniem*”. Jakimi przesłankami kierowała się Autorka w zakresie wyboru materiałów?
- 3) Próby laboratoryjne przeprowadzono z użyciem obiektów wykonanych w technologii FDM słusznie uznając, że stan powierzchni tych próbek wymaga poprawy. Powszechnie jednak wiadomo, że również wyroby uzyskiwane metodą SLS mają chropowatą powierzchnię. Czy opracowane składy past ściernych, model matematyczny i szereg cennych wniosków zamieszczonych w rozprawie, można bezpośrednio zastosować do obróbki zewnętrznych i wewnętrznych powierzchni wyrobów uzyskanych metodą spiekania proszków polimerowych SLS? To samo pytanie odnosi się do bardzo popularnej i wysokowydajnej metody HP MULTI JET FUSION 3D (Hewlett Packard). Byłby to bardzo interesujący wątek rozprawy, ponieważ tego typu wyroby są stosowane jako elementy konstrukcyjne w medycynie, lotnictwie i motoryzacji.
- 4) Drukarka 3D Anycubic Mega Zero jest zaliczana do stosunkowo prostych pod względem budowy. Urządzenie charakteryzuje się maksymalną temperaturą pracy głowicy 255 °C, minimalną wielkością nakładanej warstwy tworzywa 100 µm oraz nie jest wyposażone w zamkniętą komorę roboczą. Czy w trakcie wytwarzania

elementów z PA 12 nie zaobserwowano trudności z uplastycznianiem tego filamentu i procesem tworzenia kolejnych warstw? Czy uzyskiwane właściwości powierzchni wewnętrznych dla analizowanych próbek są reprezentatywne, również w odniesieniu dla wyrobów wytwarzanych w urządzeniach FDM bardziej zaawansowanych technicznie, wyposażonych w komorę ciepłą?

- 5) Pokazany na rys. 7.2 widok 3D badanego obiektu może być nieco mylący dla czytelnika z uwagi na fakt, że w metodzie FDM nie otrzymuje się tak ostrych wierzchołków zarówno na powierzchniach zewnętrznych jak i wewnętrznych próbek. W jaki sposób nanoszono trzy rodzaje znaczników, uzyskując tak precyzyjne ich wysokości podane tab. 7.1? Mając do dyspozycji dobrej klasy mikroskop Keyence VR-5000 można było pokazać rzeczywisty widok powierzchni wewnętrznej próbki FDM, np. jak przebiegały nałożone ścieżki uplastycznionego materiału?
- 6) Nie podano średniego wymiaru średnicy wewnętrznej obiektu badań. Można oczywiście wyliczyć tę wartość, ale przy założeniu, że wspomniana na str. 97 grubość to różnica między wymiarami zewnętrznym i wewnętrznym. Ponadto, kontur próbek FDM to nie jednolita powierzchnia, zatem w metodyce powinien się znaleźć wątek dotyczący sposobu pomiaru chropowatości (wzdłuż czy w poprzek roboczej osi „z”). Czy można traktować, że wysokość pierścienia formowano wzdłuż osi „z”?
- 7) W mojej ocenie zamieszczone zdjęcia mikroskopowe są mało informatywne (np. tab. 7.5a, 7.6, rys. 7.15 i 7.16, 7.17a), bardzo często są pozbawione informacji tekstowej i graficznej o zastosowanym powiększeniu.
- 8) Wskazanie współczynnika względnej zmiany chropowatości RIR uważam za poprawne i ułatwiające analizę efektywności obróbki przetłoczno-ściernej. Czy ma jakąkolwiek wartość poznawczą podawanie krzywych regresji opartych zaledwie na trzech punktach pomiarowych? Funkcja wykładnicza $y=e^x$ jest bardzo czuła na zmiany x , ponieważ liczba Eulera ma w przybliżeniu wartość 2,718. Zakładając liczbę cykli 20, otrzymamy bardzo duże wartości RIR, prawdopodobnie daleko przewyższające te rzeczywiste. Nie dostrzegam zatem znaczenia naukowego podawania matematycznego opisu równań regresji (rys. 7.30, 7.31, 7.32, 7.36, 7.37, 7.38 i dalsze). Przy okazji stwierdzono powtórzenie numeracji rysunków 7.30, 7.31, 7.32 (str. 134-136) na stronach 138-140. W przypadku większości wykresów nie został podany współczynnik korelacji.
- 9) Analiza zmian parametru R_a chropowatości powierzchni w zależności od parametrów obróbki (załącznik 4), w wyniku której opracowano model matematyczny, jest

ważnym naukowym elementem rozprawy. Dlaczego nie została włączona w treść rozprawy? Załącznik stanowi dokument niższej rangi.

- 10) W rozdziale 8 przedstawiono próbę wykorzystania znaczników, jako elementów oceny efektywności obróbki przetłoczno-ściernej. W tej części pracy posłużono się wnioskami z poprzedniego, bardzo obszernego rozdziału badań doświadczalnych, dobierając odpowiedni skład pasty ścierniej i parametry procesu obróbczego. Jest to bardzo cenny wątek naukowy badań doświadczalnych, w pewnym sensie zwieńczenie zrealizowanych wcześniej prac. Opisana w rozprawie metodyka pomiaru zmian wysokości znaczników jest niejednoznaczna i nie pozwala na odtworzenie eksperymentu (np. brak dobrego opisu, w jaki sposób na podstawie analizy obrazu oceniano wysokość znacznika przed i po obróbce z tak znaczącą dokładnością). Jak obrazowano (rys. 8.2 i tab. 8.3, tab. 8.4) obecność lub usunięcie znacznika w próbce (nie ma tam żadnych odnośników na obrazach, gdzie znajduje się znacznik) ?
- 11) Jak mają się zaobserwowane na obrazach (tab. 8.3 i 8.4) ślady obróbki przetłoczno-ściernej do pierwotnie oczekiwanej poprawy parametrów chropowatości powierzchni?
- 12) Z uwagi na specyficzny sposób budowania modelu warstwowego metodą FDM (kontur - raster), wyroby uzyskane tym sposobem charakteryzują się, bardzo charakterystycznym obrazem warstwy wierzchniej, na której widać nałożone warstwy i ścieżki. Według mnie jest to najistotniejsza niedogodność w konstytuowaniu oczekiwanego stanu powierzchni zewnętrznych i wewnętrznych. Dlatego w tym przypadku powinniśmy analizować właściwości powierzchni znacznie szerzej, a nie tylko przez podstawowe parametry chropowatości takiej jak R_a , R_z czy R_{ku} i w kontekście potencjalnego zastosowania (odporność zmęczeniowa, przepływ cieczy przez kanały, zużycie ściernie, dopasowanie obrabianych powierzchni etc). W pracy nie znalazłem informacji, jaką wartość miał elementarny odcinek pomiarowy analizowanej powierzchni oraz w jakim kierunku realizowano pomiary (oś x, y, z). Na stronie 32 Autorka słusznie wskazuje, że wysokość nierówności powierzchni wewnętrznych kanałów oraz błędy kołowości przekroju kanału są przyczyną spadku ciśnienia i prędkości na drodze płynięcia cieczy. Nie podano jednak błędów kołowości obiektów badań (jestem przekonany, że takie wystąpiły). Na stronie 33 stwierdzono, że ze względu na wytrzymałość zmęczeniową ważne są przede wszystkim parametry R_z i R_t , ale także R_a i R_{ku} . Nie przekonuje mnie jednak powołanie się w tym miejscu na publikacje, w których badano zjawisko zużycia

powierzchni metalowych. Wyroby z tworzyw termoplastycznych charakteryzują się między innymi znacznie mniejszą wartością twardości od materiałów metalowych oraz odmienną strukturą. Wydaje się, że te aspekty związane z wyborem kryteriów oceny efektywności obróbki wymagają dodatkowych wyjaśnień.

- 13) Duża część przywołanej literatury dotyczy obróbki ścierniej materiałów metalowych. Zabrakło mi odniesienia zastosowanej metody przetłoczno-ścierniej do innych sposobów poprawy stanu powierzchni elementów polimerowych, otrzymanych technikami przyrostowymi np. waporyzacja acetonowa dla wytworów 3D z ABS.

Praca jest napisana na dobrym poziomie edytorskim. Na wyróżnienie zasługuje samodzielne wykonanie części rysunków zamieszczonych w rozdziałach 2-4, z uwzględnieniem cytowanego źródła literaturowego. Stanowi to przykład dobrej praktyki w zakresie analizy dostępnych prac naukowych. W rozprawie można jednak również dostrzec pewne niedociągnięcia redakcyjne, błędy stylistyczne, interpunkcyjne, a także drobne błędy merytoryczne.

W celu eliminacji w przyszłości tych drobnych uchybień merytorycznych i językowych, przedstawiono najważniejsze z nich:

- 1) Nylon jest nazwą handlową i potocznie używaną. W pracy doktorskiej nie powinno się posługiwać tym określeniem, lecz nazwą chemiczną tego materiału poliamid 12 lub skrótem PA 12,
- 2) Schemat zamieszczony na rys. 7.14 można było odwrócić o 90° w prawo,
- 3) Czytelność wykresów radarowych wzrosłaby, gdyby procentowe wartości współczynnika RIR pozbawiono dziesiętnych i setnych części. Ich znaczenie w analizie jest nieistotne (str. 118-128),
- 4) Str. 96 cyt. „*Próbki wydrukowano z materiałów filamentowych najczęściej stosowanych do FDM*”. Według mnie w przypadku PA 12 jest to zbyt optymistyczne podejście, oprócz ABS największą popularnością cieszą się filamenty z poliaktydu, lub inaczej z poli(kwasu mlekowego) PLA,
- 5) Zauważono błędy na poziomie redakcji pracy, między innymi:
 - a) brak przecinków i inne błędy interpunkcyjne : – str. 14 przed zaimkiem „gdy” (w12↑; w6↓); str. 15 w7↓; str. 49 w7↑ po słowie *dwukierunkowej*; str. 65 w16↓ po cyt. „*druku 3D*”; str. 77 w7↓ oraz w6↓; str. 80 w3↑ (*reakcji, syntezę*); str. 94 w6↑ - przecinek postawiony w złym miejscu; str. 96 w11↑ (*przetłoczno-ścierniej, ...*); str. 107 w1↓ nadmiarowy przecinek i kropka po *tabeli* i jednocześnie brak

- kropki na końcu zdania; str. 159 w2↑ - *większe zużycie, a w efekcie....*; str. 162 w3↓ brak przecinka po słowie *mała*; str. 163 w3↑ oraz w4 ↑ brak przecinka po słowie *pasty* oraz przed słowem *jakie*;
- b) błędy edycyjne: brak litery „w” w słowie *tworzyw* w tytule podrozdziału 2.3 spisu treści (str. 5 i 29), brakuje łącznika „i” (str. 20 w12↑) pomiędzy słowami „...*powierzchni opisano..*”, str. 21 w11↑ jest *inna* – powinno być *inną*; str. 30 w8↑ jedna kropka za dużo cyt. „*Na rysunku 2.5...*”; str. 76 w3↓ cyt. „*jest kwas borowy wyprodukowany (Chempur)*” – powinno być *kwas borowy wyprodukowany przez firmę Chempur*; str. 77 w3↓ oraz w2↓ jest cyt. „...*przy temperaturze..*”, powinno być *w temperaturze*; str. 87 w7↓ jest cyt. „*lepkość dynamiczna*” powinno być *lepkości dynamicznej*; str. 91 w10↑ - zdanie wymaga przeredagowania; str.98 w1↑ - jest cyt. „*w raz*” powinno być *wraz*; str. 130 w9↑ jest *wartość* powinno być *wartości*; str. 130 w14↑ jest *niż pasty* powinno być *niż dla pasty*; str. 130 str. w14↓ jest *do obróbkę pastą z ziarnami* powinno być *obróbkę ~~de~~ pastą*; 130 w11↓ jest cyt. „...*od parametry chropowatości Rz powierzchni tworzywa.*” powinno być *od parametrów chropowatości Rz powierzchni próbki.*; ↓str. 130 w1↓ jest cyt. „*Następnie dalszy*” powinno być *Dalszy wzrost zawartości...*; str. 132 w5↑ jest *ze względu na czas reakcje* powinno być *ze względu na czas reakcji*; str. 132 w8↑ cyt. „*jest powinna być na powyżej 1%*” powinno być ~~*na*~~ *powyżej 1%*; str. 147 w7↑ jest *uzyskaną wartości zagęszczenia* powinno być *uzyskaną wartością zagęszczenia*; str. 149 w8↓ jest *z wysokości* powinno być *z wysokością*;
- c) błędy stylistyczne polegające na powtarzaniu tych samych słów w jednym albo sąsiednich zdaniach – np. str. 49 w2-1↓ (*powierzchni*); str. 69 w12↓ (*schemat*); str. 75 w13↓ (*ziaren*); str. 77 w3↓ oraz w2↓ (*przy temperaturze*); str. 166 w5-4↓ (*powierzchni*),
- d) błędy fleksyjne, polegające na użyciu niewłaściwej formy wyrazu, np. str. 50 w12↓ cyt. „*Lepkość medium w zakresieprowadzą do zwiększenia szybkości usuwania materiału....*”; str. 80 jest cyt. „*egzogeniczny charakter reakcji*”- powinno być *egzotermiczny charakter reakcji*,
- e) błędy składnikowe np. str. 99 w4↓ - zdanie bez czasownika wymaga korekty redakcyjnej,
- 6) Str. 53 w w11↓ - jest *wzrost zawartości (% wag.)*, powinno być *(% mas.)*, podobnie str. 159 w5↑ oraz w9 i w11↑; str. 163 opisy tab. 8.3 (prawa strona),

- 7) Str. 61 – we wzorze 4.12 w liczniku zamiast symbolu naprężeń ścinających τ powinien widnieć symbol naprężenia σ , w konsekwencji błąd jest powielany w dalszych wzorach,
- 8) Str. 74 – trzy wiersze od końca – pomiar nie może obejmować wpływu,
- 9) Str. 99 w3↑ - zdanie wymaga przeredagowania fragment cyt. „...na podstawie wizualnej poprzez pomiary wysokości...”,
- 10) Opis str. 100 oraz str. 103 podpis rys. 7.8 – brakuje doprecyzowania, o jakie cząstki chodzi (może makrocząsteczki osnowy?),
- 11) Strony 105 oraz 106 – w sąsiadujących zdaniach powtórzono informację, w jaki sposób przeprowadzono pomiary chropowatości powierzchni,
- 12) Str. 106 w6↑ - jest cyt. „urządzenie pomiarowe...nie powoduje zmiany powierzchni próbki”. Proponuję bardziej precyzyjny zapis: *miar chropowatości metodą optyczną jest bezstykowy i z tego powodu nie ma wpływu na zmianę stanu mierzonej powierzchni*,
- 13) Str. 115 – ostatnie zdanie na tej stronie wymaga przeredagowania,
- 14) Str. 131 w17↓ - jest *ziarenkami*, poprawniej powinno być *ziarnami*,
- 15) Str. 142 - podpis pod rys. 7.33 powinien być umieszczony na stronie 141,
- 16) Str. 147 w7↓ - zdanie wymaga przeredagowania, proces nie może mieć najniższych wartości, a jedynie parametry bądź wskaźniki określające obróbkę AFM,
- 17) str. 149 w3↑ - zdanie do korekty, poza tym badania bezstykowe i analiza obrazu są powszechnie stosowane do oznaczania parametrów chropowatości powierzchni,
- 18) Str. 149 w8↓ - jest cyt. „...porównania z wysokości znaczników po procesie zmierzonych z wykorzystaniem” - zdanie wymaga przeredagowania,
- 19) Str. 152 w2↓ - raczej chodzi o przedstawienie na rys. 8.3 wpływu ciśnienia przetłaczania pasty ścierniej na zmianę wysokości wartości wysokości znaczników,
- 20) Str. 154 w6↑ - rażąco niepoprawnie, jak na rozprawę doktorską, sformułowane zdanie, które zawiera liczne błędy językowe cyt. „*Natomiast po obróbce AFM znacznik numer 2 przy ciśnieniu przetłaczania wyniosła! 0,625 MPa wartość zmianie! wysokości znacznika wyniosła! 173±12 μm*”,
- 21) Str. 156 w8↑ oraz w11↑ - jest *metodą kappa* powinno być *metodą Kappa*,
- 22) Str. 156 w11↑ - kolejny błąd fleksyjny - jest cyt. „*przedstawił analizę statystyczną...dotyczącę...AFM*”, powinno być *dotyczącą*,
- 23) Na tej samej stronie 156 w wierszu w7↓ - jest cyt. „*Określenia wpływu...było możliwe...*”, powinno być *Określenie.....*,

- 24) Str. 159 w3↓ - podobne jak w uwadze 19 odwrócenie znaczenia zmiennej niezależnej i zależnej w tekście (zmienia się wysokość w funkcji wielkości ziaren),
- 25) Str. 166 w4↓ – nie ma tab. 8.6.

26) Podsumowanie

Przestawioną do recenzji rozprawę doktorską pt.: „*Efektywność obróbki przetłoczno-ścierniej wyrobów z tworzyw polimerowych*”, niezależnie od przedstawionych w formie dyskusyjnej uwag, oceniam pozytywnie.

Praca ma charakter doświadczalny, sporządzono nowe receptury pasty ścierniej, które w 2021 roku finalnie potwierdzono dwoma zgłoszeniami do Urzędu Patentowego Rzeczypospolitej Polskiej o numerach P.438220i P.438221.

Poziom merytoryczny w zakresie: przygotowania programu badań, przyjęcia kluczowych zmiennych niezależnych i ich wartości, opracowania modelu matematycznego zmian parametru chropowatości R_a w zależności od nastaw procesowych oraz opracowania innych analiz sporządzonych w rozprawie, świadczy o **umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowo-badawczej**.

Stwierdzam, że Autorka osiągnęła cele postawione w rozprawie, a **przedmiotem rozprawy doktorskiej jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego**. Zaprezentowane wyniki mają znaczenie nie tylko poznawcze, ale także są istotne z punktu widzenia praktyki przemysłowej w zakresie poprawy jakości polimerowych wyrobów wytwarzanych technikami przyrostowymi.

Biorąc pod uwagę wszystkie wymienione wyżej uwagi stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Agnieszki Nowackiej pt.: „*Efektywność obróbki przetłoczno-ścierniej wyrobów z tworzyw polimerowych*”, spełnia wymagania określone w obowiązującej Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki. Na tej podstawie stawiam wniosek do Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Lubelskiej o dopuszczenie mgr inż. Agnieszki Nowackiej do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.



Bydgoszcz, 06.08.2022 r.