

dr hab. inż. Przemysław Postawa prof. PCz  
Politechnika Częstochowska  
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Informatyki

Częstochowa 05.09.2023

## RECENZJA

pracy doktorskiej mgr inż. Jakuba Franka  
**"Opracowanie nowej metody wtrysku biokompozytów  
zwiększającej wydajność produkcji"**

### Podstawa opracowania:

Recenzję opracowano na zlecenie Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Śląskiej (pismo z dnia 28 czerwca 2023 r). W ocenie rozprawy zostały przyjęte kryteria wynikające z obowiązującej Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce stawiane pracom doktorskim z późniejszymi zmianami.

### Ogólna charakterystyka rozprawy

Do oceny przedstawiono pracę doktorską, która obejmuje:

- 125 stron, 45 tabel, 29 rysunków, 89 poz. literatury takich jak artykuły w czasopismach naukowych, pozycje książkowe opublikowane w latach 1973-2022.
- streszczenia pracy w języku polskim i angielskim,
- wstęp i wykaz ważniejszych oznaczeń i symboli,
- podział na 10 rozdziałów.

Pracę podzielono wyraźnie na dwie części stanowiące przegląd literatury oraz opis realizowanych badań własnych.

W rozdziałach 1-3 dokonano analizy obecnie stosowanych procesów technologicznych przetwórstwa tworzyw polimerowych z podziałem na wtryskiwanie, odlewanie, prasowanie, walcowanie, kalandrowanie technologie addytywne i wyłaczanie. W część przeglądu literatury zacytowano 45 z 89 pozycji literaturowych.

W rozdziale 3 sprecyzowano cel i zakres pracy oraz sformułowano tezę: *„Możliwe jest zwiększenie wydajności produkcji, poprzez zastosowanie formy wtryskowej o teoretycznie (obliczeniowo) zbyt dużej liczbie gniazd formujących, bez zwiększania rozmiaru wtryskarki”*

Wskazany przez doktoranta zakres pracy obejmował:

- analizę problemu wydajności produkcji oraz współczesnych metod przetwarzania materiałów polimerowych metodą wtryskiwania (rozdział 1 i 2)
- opracowanie innowacyjnej metody przetwórstwa polimerów, która została opisana w rozdziale 4,
- rozdział 5 definiuje matematyczne wskaźniki opłacalności zastosowania innowacyjnej metody oraz pokazuje algorytm decyzyjny, który ułatwia proces weryfikacji celowości implementacji tego procesu,
- weryfikację możliwości zastosowania autorskiego procesu produkcyjnego w specjalistycznych odmianach procesu wtryskiwania tworzyw polimerowych, wraz z opracowaniem algorytmów

i wskaźników decyzyjnych, a także zaprojektowaniem oraz wykonaniem formy wtryskowej, która posłuży do weryfikacji tezy pracy; analiza możliwości została opisana w rozdziale 6,

- doświadczalne sprawdzenie poprawności procesu wtryskiwania, przy założeniu dokonanych w nim modyfikacji oraz przy użyciu wykonanej formy wtryskowej przedstawiono w rozdziale 7, omówiono również przygotowania do badań oraz plan eksperymentu,
- rozdziale 8 analizie poddano otrzymane wyniki testów z wykorzystaniem eksperymentalnej formy wtryskowej,
- wykonanie porównawczej analizy ekonomiczności produkcji, opracowane w rozdziale 9 wraz z komentarzem dotyczącym możliwości i potencjału komercjalizacji opracowanego rozwiązania.
- w rozdziale 10 dokonano podsumowania całego zakresu prac badawczych, na podstawie których wyciągnięto wnioski końcowe. Ostatnia część rozprawy zawiera spis literatury oraz 20 stron załączników, którymi są tabele z uzyskanymi wartościami podczas prowadzonego eksperymentu.

Doktorant sformułował dwa cele, naukowy, który dotyczy opracowania nowej metody wtryskiwania biokompozytów, zwiększająca wydajność produkcji oraz użytkarny, którym jest wykorzystanie materiału o mniejszym śladzie węglowym niż tradycyjne materiały polimerowe.

**Stwierdzam, że przedłożona do recenzji rozprawa doktorska mieści się w dyscyplinie naukowej Inżynieria Mechaniczna, ponieważ zawarte w niej treści obejmują technologię przetwórstwa tworzyw sztucznych metodą wtryskiwania wysokociśnieniowego oraz oceny efektywności tego procesu po zastosowaniu nowej metody wtryskiwania wieloetapowego nazwanego przez doktoranta TwinShot.**

### **Znaczenie i ocena rozprawy**

Tworzywa sztuczne zdominowały otaczający nas świat, co przyczyniło się do rozwoju nauki i technologii w tym obszarze. Produkcja tworzyw sztucznych w ujęciu objętościowym już 1989 roku przekroczyła światową produkcję metali. Popularność tworzyw jest głównie spowodowana ich unikalnymi właściwościami fizycznymi, jak stosunkowo mała gęstość, łatwość przetwórstwa i różnorodność metod przetwórstwa. Ich łatwa modyfikacja fizyczna, która może być realizowana bezpośrednio w procesie przetwórstwa oraz bardzo szeroki zakres właściwości jakie reprezentują tworzywa sztuczne obecnie produkowane na świecie, stawiają tą grupę materiałów jako jedną z najszybciej się rozwijających gałęzi gospodarki w wielu krajach.

Również technologie przetwórstwa muszą nadążyć za tak szybką ekspansją tworzyw sztucznych w różnych obszarach życia. Opakowania, dobra konsumpcyjne, branża AGD, automotive, medycyna, budownictwo i rolnictwo to branże, które najbardziej potrzebują wyrobów i części wykonanych z tworzyw. Zauważalne osiągnięcia w zakresie konstruowania wytworów i ich wytwarzania są efektem realizacji zaawansowanych badań naukowych, dotyczących procesów przetwórczych, modyfikacji tworzyw polimerowych, a także sukcesów inżynierskich w zakresie rozwoju konstrukcji maszyn i narzędzi.

Wdrażanie nowych zaawansowanych metod przetwórstwa, takich jak etykietowanie w formie, wtryskiwanie wielokomponentowe, otryskiwanie elementów wykonanych z innych materiałów w tym metali, coraz bardziej zaawansowane formy wtryskowe i ciągłe dążenie do tego by produkować szybko i tanio, a jednocześnie przy spełnieniu wysokich wymagań jakościowych determinuje ciągły rozwój w zakresie technologii, budowy form wtryskowych, stosowani nowych materiałów o zaawansowanych



właściwościach, stosowanie zaawansowanych systemów sterowania i kontroli procesu. Obsługa nie jest w stanie już nad wszystkim zapanować, bo przy procesach, w których czas cyklu wtryskiwania kilkudziesięciu wyprasek mieści się w kilku sekundach tylko elektroniczne systemy nadzoru i kontroli są w stanie analizować zmiany on-line.

Z drugiej strony tworzywa sztuczne jako innowacyjny i niezbędny w naszym codziennym życiu materiał stoi przed poważnymi wyzwaniami do których należy zanieczyszczenie środowiska naturalnego tworzywami pochodzącymi głównie z branży opakowaniowej ale również mikro drobinami z tworzyw zwanych mikro plastikiem, który powstaje podczas użytkowania poprzez zużywanie się części tworzyw. Są to wyzwania, które będą nam towarzyszyć przez cały czas.

Konieczne są prace, badania naukowe, testy nad nowymi materiałami bardziej przyjaznymi środowisku, nad ciągłym udoskonalaniem technologii wytwarzania w taki sposób aby procesy konsumowały możliwie najmniej energii. W nowoczesnych maszynach wprowadza się odzysk energii z hamowania formy wtryskowej podczas ruchów procesowych.

Technologia wtryskiwania obok wytłaczania stanowi najczęściej stosowana metodą przetwórstwa tworzyw termoplastycznych. Wiele ośrodków naukowych krajowych i światowych prowadzi szereg prac nad jego optymalizacją i poprawą kontroli i stabilności, ponieważ z racji swojego cyklicznego charakteru oraz udziału w nim wielu elementów wykonawczych maszyny nie należy do łatwych w optymalizacji i zapewnieniu powtarzalności.

Podjęta tematyka w pracy doktoranta Jakuba Franka jest jak najbardziej aktualna i wybiega poza klasyczny proces wtryskiwania, w którym występują następujące po sobie fazy procesu, w konsekwencji których powstaje wypraska wtryskowa o określonych właściwościach fizycznych i użytkowych. W czasach ciągłej pogoni za jak najkrótszym czasem cyklu przy zapewnieniu jednoczesnej jakości wytwarzanych przedmiotów z tworzyw sztucznych podjęcie się trudu opracowania nowego procesu, który w odmienny sposób podchodzi do klasycznego wtryskiwania jest godne uznania i stanowi w pracy największą wartość poznawczą.

W wielu przypadkach produkcji wielkoseryjnej istnieje potrzeba wytwarzania przedmiotów, które są montowane w jednym urządzeniu. Zgodnie ze sztuką powinny być wytwarzane w oddzielnych narzędziach (formach wtryskowych) i oddzielnych maszynach. W budowie form wtryskowych istnieją rozwiązania tak zwanych form wtryskowych rodzinnych (familijnych), w których wytwarza się w jednym cyklu wtryskiwania kilka różnych kształtów wyprasek. Najlepszym rozwiązaniem, nie powodującym występowania żadnych problemów natury technologicznej, jest wytwarzanie wyprasek o tej samej objętości (np. wypraska prawa i lewa) lub nieznacznie się różniącej. W takich przypadkach czas wypełniania jest zbliżony i w przypadku zastosowania form z systemami zimno kanałowymi, da się z mniejszym lub większym błędem w sposób optymalny przejść z fazy wtrysku na fazę docisku bez przeladowania gniazd formy nadwyżką ciśnienia wynikającą z zbyt późnej przejścia na fazę docisku.

Problem pojawia się gdy objętości i grubości ścianek się różnią w znacznym stopniu (powyżej 5%). W takich przypadkach balansowanie przepływów tworzywa do gniazd staje się wyzwaniem i często nie ma szans na zapewnienie stabilnego procesu i jakości wyprasek.

Pewnym ułatwieniem jest zastosowanie systemów GK (gorąco kanałowych) z dyszami zamykanymi iglicami, które pozwalają na opóźnienie otwarcia lub zamknięcia gniazd o mniejszej objętości w taki sposób aby można było wypełnić wszystkie w zbliżonym czasie.

Doktorant w swoich rozważaniach poszedł o krok dalej. Zaproponował rozwiązanie, w którym dzięki systemowi GK i dyszom można realizować dwa oddzielne podprocesy wtryskiwania w jednym cyklu i przy jednej dozie przygotowanego tworzywa. W pierwszym podprocesie wypełniana jest jedna część formy z jedną grupą wyprasek, realizowana jest faza docisku a następnie iglice zamykają przewężki oddzielając gniazda od możliwości ruchu wstecznego tworzywa. W klasycznym procesie wtryskiwania po zamknięciu przewężek, biegło by ochładzanie tworzywa w formie i rozpoczęła by się faza uplastyczniania. Jednak doktorant w swej metodzie zaproponował kolejny podproces, w czasie którego wypełniana jest druga grupa gniazd (np. o innej, znacząco różnej objętości), po wypełnieniu zaczyna się faza docisku 2 po której pneumatyczne lub hydrauliczne iglice zamykają gniazda. Zaczyna się faza ochładzania, która powinna być tak zoptymalizowana czasowo aby zakończyć się do zakończenia fazy chłodzenia pierwszej grupy wyprasek. Taki rozwiązanie daje wiele oszczędności, ale niesie również wiele ryzyk związanych z eksploatacją formy wtryskowej, ale i maszyny a w szczególności układu zamykania formy.

Doktorant przewidział problemy jakie mogą wiązać się z implementacją nowej metody, dlatego główny nacisk w części badawczej przeniósł na analizę zmiany naprężenia w kolumnach układu zamykania formy w różnych konfiguracjach obciążenia narzędzia i ta część pracy posiada największą wartość jako nowość i wkład w naukę. Niestety badania, które wybrał i wykonał, dla potwierdzenia stawianych tez nie są już tak imponujące i bardzo mocno zaniżają całość pomysłu innowacyjnego procesu.

Wybrane tworzywo, jakim jest bardzo skromnie opisany w pracy biokompozyt, który stanowi kompozyt polipropylenu i mączki drzewnej, pojawiający się w temacie rozprawy sugerowałby, że będzie obok nowego procesu zwiększającego wydajność obiektem rozległych badań ginie gdzieś na kartach dysertacji.

Znaczenie rozprawy polega przede wszystkim, na poszerzeniu wiedzy w zakresie:

- a) Nowego, innowacyjnego (w tym przypadku nie jest to na wyrost) procesu, który de facto łączy w jednym cyklu dwa zachodzące częściowo na siebie podprocesy, gwarantujące wytwarzanie w sposób poprawny technologicznie wyprasek przy pełnej kontroli wszystkich faz procesu wtryskiwania,
- b) Możliwość wykorzystania do wtryskiwania maszyn o znacznie mniejszych wartości siły zwarcia formy, ze względu na rozdzielenie siły działającej podczas fazy wtrysku na (w której następuje spiętrzenie ciśnienia i gwałtowny wzrost siły rozpierającej połówkę formy, która przenoszona jest na kolumny maszyny) na dwa następujące po sobie podprocesy.
- c) Wskazaniu producentom maszyn możliwości adaptacji rozwiązania do maszyn. Nie zakładam, że będzie to rozwiązanie nagminnie wykorzystywane jednak posiadanie maszyny z taką funkcjonalności daje znacznie szersze możliwości jej wykorzystania i uzyskania przewagi konkurencyjnej w przypadku specyficznych projektów.
- d) Przedstawienia wytycznych do projektowania form wtryskowych, w taki sposób, aby przewidzieć symetrię i zrównoważenie działania sił na całą powierzchnię formy w celu uniknięcia znacznego zróżnicowania napięcia w kolumnach maszyny podczas całości cyklu wtryskiwania.

Należy również podkreślić interdyscyplinarny charakter zrealizowanych przez Doktoranta prac badawczych pomimo niezbyt dobrego zgłębienia postawionej i zasygnalizowanej problematyki. Przenikanie doświadczeń i rozważań z różnych obszarów jest konieczne w tworzeniu rozwiązań,



wychodzących poza przyjęte w technice klasyczne metody i procesy. Zaproponowana metoda wymaga dość dużych nakładów inwestycyjnych, ponieważ forma wtryskowa musi być zaprojektowana jako dedykowane narzędzie do tego procesu, co wprowadza ryzyko inwestycyjne.

Teza postawiona na stronie 22 pracy mówiąca o *Możliwości zwiększenia wydajności produkcji, poprzez zastosowanie formy wtryskowej o teoretycznie (obliczeniowo) zbyt dużej liczbie gniazd formujących, bez zwiększenia rozmiaru wtryskarki* została potwierdzona i udowodniona. Choć szkoda, że wybór metoda badawczych ograniczył się do minimum, które nie oddaje wszystkich, bardzo ciekawym moim zdaniem aspektów, które mogły by przyczynić się do kompletności rozważań naukowych i dały by możliwość większej i obszerniejszej dyskusji poprzez naukowe argumenty.

Praca jest źródłem wiedzy praktycznej, choć dla naukowca budzi pewien niedosyt pełnego uargumentowania postawionej tezy. Z pewnością pomysł rozwiązania, układu sterowania może, o ile już nie jest, podstawą zgłoszenia patentowego. Jestem przekonany, że producenci maszyn będą zainteresowani zaimplementowaniem rozwiązania w swoich maszynach i układach sterowania, ponieważ oprócz samej maszyny ważny jest jeszcze projekt formy wtryskowej.

### **Uwagi krytyczne i dyskusyjne**

1. Tytuł rozprawy *Opracowanie nowej metody wtrysku biokompozytów zwiększającej wydajność produkcji* sugeruje, że jest to nowa metoda opracowana specjalnie na potrzeby wtryskiwania biokompozytów, co nie jest prawdą ponieważ z jej wykorzystaniem można wtryskiwać dowolne materiały termoplastyczne. Ponadto w tytule użyto liczby mnogiej „biokompozytów” co sugerowałoby, że w eksperymencie badawczym zostaną wykorzystane co najmniej 2 różne rodzaje biokompozytów. W ostateczności w badaniach posłużono się tylko jednym.
2. Niepotrzebnie w pierwszym rozdziale pracy autor podejmuje polemikę nazewnictwa polimerów. Ponadto w samej nazwie biokompozytu nie kryje się pochodzenie poszczególnych składników, które go tworzą stąd stwierdzenie, że biokompozyty nie mogą być nazywane materiałami syntetycznymi nie do końca jest prawdą.
3. Doktorant używa skrótów myślowych np. w zdaniu *Wszystkie rozważane w pracy materiały to termoplasty, co zezwala na ich przetwórstwo za pomocą wtryskarek.* – co nie jest prawdą ponieważ tworzywa termoutwardzalne też przetwarzane są z wykorzystaniem wtryskarek. Różnicę stanowi jedynie zróżnicowanie temperatury pomiędzy układem uplastyczniającym a formą wtryskową.
4. Ponieważ praca dotyczy metody wtryskiwania i jej rozwinięcia/zmodyfikowania, niepotrzebnie autor podjął się opisywania wszystkich pozostałych metod. Przegląd literatury powinien pokazać czytającemu rozprawę jaki jest stan wiedzy w danym zakresie, a doktorantowi co chce przebadać i dlaczego czego jeszcze nikt tego nie analizował i jak przyczyni się to do zgłębienia wiedzy w danym zakresie.
5. Nagminne jest stosowanie przez doktoranta różnego nazewnictwa np. technika wtrysku, metoda wtrysku, metoda wtryskiwania, technologia wtrysku, czy jednostka plastyfikująca, układ plastyfikujący lub co gorsza agregat wtryskowy lub stwierdzenie, że jednostka plastyfikująca składa się agregatu wtryskowego. Wtrysk i wtryskiwanie używa zamiennie co jest poważnym błędem. Wtrysk to jedna z faz procesu wtryskiwania. Od doktoranta i rozprawy doktorskiej

wymagane jest precyzyjne używanie nazewnictwa w szczególności kiedy dotyczy to opisu maszyn, urządzeń czy procesów.

6. Na stronie 16 autor wskazuje, że jednym z komponentów wtryskarki jest forma wtryskowa. Z pewnością chodziło o układy występujące we wtryskarce do których należą: układ uplastyczniający, układ zamykania formy oraz układ sterowania i napędu. Na stronie 19 autor ponownie wskazuje, że forma wtryskowa jest ważnym komponentem wtryskarki. Forma wtryskowa nie jest integralną częścią, czy podzespołem wtryskarki tylko narzędziem, które jest demontowane i które nigdy nie jest oferowane przez producenta maszyny, a wytwarzane w narzędziowni.
7. Szkoda, że autor nie wybrał jakiegokolwiek tworzywa z grupy najczęściej przetwarzanych PP, ABS, PS. Moim zdaniem przedmiotem pracy jest jednak metoda twin-shot a nie to jaki materiał będzie z jej udziałem przetwarzany. W przypadku drugiego materiału można było ograniczyć się do wycinka realizowanych dla biokompozytu prac i porównać jej tylko w określonych obszarach.
8. Na większości zaprezentowanych cyklogramów procesów wtryskiwania faza docisku jest 2 do 3 razy krótsza od fazy wtrysku. Powinno być odwrotnie ponieważ faza docisku powoduje kompensację skurczu objętościowego zazwyczaj jest dłuższa od fazy wypełniania, nawet gdy zamknięcie przewężki jest wymuszone iglicą.
9. Nie do końca można się zgodzić ze stwierdzeniem, że stratą w korzystaniu z metody Twin-Shot będzie wydłużenie czasu cyklu o czas trwania drugiego podprocesu wtrysku i docisku, ponieważ można tak konstruować formy, aby czas chłodzenia elementów kształtowanych w drugim podprocesie był krótszy, co pozwoli na realizację drugiego podprocesu w czasie trwania fazy chłodzenia pierwszego.
10. O jakie koszty automatyzacji ( $I_A$ ) chodziło autorowi w analizując całkowity nakład inwestycyjny?
11. We wzorach zastosowano do opisu czasu wielką literę T zamiast t, co w przypadku parametrów procesu wtryskiwania jest stosowane dla oznaczania temperatury wtrysku lub formy.
12. Rozdział 6 można było pominąć ponieważ niewiele wnosi do całej pracy merytorycznie póki założenia metody nie zostaną sprawdzone.
13. W tytule rozdziału 6.1 jest *Wtryskiwanie z doprasowaniem* a pierwsze zdanie rozpoczęło od *W przypadku wtrysku z doprasowaniem*. To samo powtórzono w rozdziale 6.4 *Wtrysk wielokomponentowy* – a w treści dalej zastosowano wtrysk wieloskładnikowy oraz w rozdziale 6.7 *Wtrysk z asystą gazu lub wody* a dalej w tekście *wtrysk z przetryskiem wody*.
14. W przypadku opisu w rozdziale 6.11 *Wtrysku z rozdmuchem* (powinno być *Wtryskiwanie z rozdmuchiowaniem*) opisano proces produkcji preform co należy do klasycznej metody wtryskiwania. Tak otrzymana preforma jest rozdmuchiwana zazwyczaj w innym zakładzie produkcyjnym (rozlewnia wody, czy napoi). Doktorantowi chyba chodziło o metodę IBM (Injection Blow Moulding), która dotyczy wytwarzania małych opakowań w jednocześnie trwającym na jednej maszynie fazie wtrysku i rozdmuchiwania jeszcze plastycznej części opakowania (butelki). Metoda zwykle stosowana do małych i średniej wielkości opakowań dla branży kosmetycznej i medycznej.
15. Z czego wynika tak duża różnica temperatury w środkowej części wyprasek prezentowana na wynikach symulacji na rysunku 7.14 na str. 65 – proszę o dyskusję.



16. W części poświęconej symulacjom komputerowym zabrakło podstawowych informacji dotyczących prowadzonych analiz poza informacji o zastosowanym oprogramowaniu i kształcie elementów skończonych wybranych do analiz. Nie ma żadnych informacji o przyjętych parametrach wtryskiwania oraz na jakim tworzywie symulacja była wykonywana.
17. Szkoda, że w rozdziale 7.3.6 *Konstrukcja sterownika dysz wtryskowych* nie pokazano więcej szczegółów, bo akurat ta część pracy i podjęcie się trudu skonstruowania sterowania, które przejmie część zadań maszyny należy uważać za cenny wkład. Ograniczono się jedynie do schematu blokowego połączenia poszczególnych elementów wykonawczych i nastawczych (zaprezentowany schemat nie jest schematem ideowym instalacji elektrycznej) oraz jednego zdjęcia panelu czołowego.
18. W całym rozdziale 8.1 na wykresach przebiegów wartości pomiarowych siły zamykania nie opisano prawidłowo osi wykresów. Wielu rzeczy trzeba się domyślać.
19. Na wszystkich zaprezentowanych w pracy wykresach punkty pomiarowe połączono w taki sposób jak by to było pomiary ciągłe. Doktorantowi chodziło o prezentację pewnego trendu zmian, ale powinien wspomnieć o tym w tekście ponieważ wszystkie pomiary (nawet te z czujników siły) są pomiarami dyskretnymi. Jednak w przypadku prezentacji wyników z różnej konfiguracji gniazd nie dopuszczalne jest łączenie punktów.
20. Na wykresach prezentujących zmiany mas zabrakło uzupełnienia, że są to masy średnie dla poszczególnych gniazd co wyjaśniałoby wartości tysięczne grama dla pomiarów z wykorzystaniem wagi o dokładności do 0,01g.
21. Nagminnie w całej treści pracy pojawiają się sformułowania potoczne jak gabaryt zamiast wymiar, agregat, zamiast układ uplastyczniający, geometria zamiast kształt geometryczny, stop polimeru zamiast uplastycznione tworzywo,
22. Doktorant stwierdził, że przy zastosowaniu siły zamykania formy 2400 – 2200 kN powstają przypalenia co świadczy o zwiększaniu prędkości wtrysku. Prędkości wtrysku nie jest wielkością wprost zależną od siły zamykania formy. Wyższe wartości zamykania powodują uszczelnienie płaszczyzny podziału i trudniejsza ewakuację powietrza, co przyczynia się do powstawania przypaleń.
23. Tablica 8.7 z parametrami procesu wtryskiwania powinna się pojawić, gdzieś w rozdziale 7, a nie po zakończeniu opisu realizowanych badań. Ponadto podano jako parametr ciśnienie przełączania wtrysku na docisk jako wartość stałą, co chyba nie do końca może zostać osiągnięte gdy zmieniamy liczbę gniazd podczas eksperymentu.  
To samo dotyczy Cyklogramu procesu TwinShot.
24. Z czego wynika tak krótki czas docisku – zaledwie 0,5s, czy jest to czas zamknięcia iglic dysz GK? Co ze skurczem i powstawaniem zapadnięć?
25. W pracy nie pokazano ani jednego zdjęcia badanego materiału, biokompozytu z 40% zawartością mączki drewnianej ani jednej wypraski uzyskanej w toku realizacji badań. Każda dokumentacja fotograficzna uwiarygadnia realizowany proces badawczy i uwiarygadnia umiejętności doktoranta w jego prezentowaniu, dlatego jest tak ważna.
26. Tabele 9.1 i 9.2 wykonano w dwóch różnych systemach walutowych w PLN i Euro.

### Szczegółowe uwagi edycyjne i językowe

- Str. 7<sup>10</sup> – pomiędzy atomami w cząsteczkach polimerów występują wiązania chemiczne a nie fizyczne
- Rys. 1.1 i 1.2 – brak źródła danych
- Str. 16<sup>6</sup> – autor użył skomplikowanej geometrii – geometria to dział matematyki dlatego powinno używać się skomplikowanego kształtu geometrycznego
- Str. 19<sup>3</sup> – po zasadniczej fazie wtrysku następuje okres docisku - po fazie wtrysku następuje faza docisku pomiędzy którymi jest punkt przełączenia.
- Str. 19<sub>10</sub> – zdolność polimeru do wypełniania szczelin zależy od jego reologii – zdolność polimeru do przepływu zależy od właściwości reologicznych (z definicji Reologia to dział mechaniki ośrodków ciągłych zajmujący się plastycznymi deformacjami oraz płynięciem substancji.)
- Str. 19<sub>12</sub> - .... Weryfikację dwóch następujących po sobie procesów wtrysku w trakcie jednego cyklu pracy układu zamykania formy. Należy zmienić na faz wtrysku albo cykli wtryskiwania.
- Str. 24<sup>11</sup> - .... Forma znajdowała się na granicy wystarczalności dostępnej siły zamykania – usunąć wystarczalności
- Str. 25<sup>11</sup> – ciepłego polimeru – zastąpić płynnego .....
- Str. 58<sup>1</sup> – odpowiednie uplastycznienie zimnych granulek – odpowiednie uplastycznienie przetwarzanego materiału
- Str. 61<sup>5</sup> – rysunek 7.9 nie przedstawia projektu formy tylko rysunek poglądowy części stemplowej i matrycowej. Nie widać na nim żadnych szczegółów konstrukcyjnych. Projekt to bardziej obszerny dokument.
- Str. 62<sup>5</sup> – rysunek 7.10 – nie zaznaczono w przekroju kanału w rozdzielaczu systemu GK
- Str. 63<sup>4</sup> – działań (takich jak symulacje) nie wykonuje się w środowisku Autoresk Inventor a z wykorzystaniem oprogramowania
- Str. 64 – czym różnią się rysunki 7.12 i 7.13? Opisy są jednakowe wyniki różnią się tylko orientacją
- Str. 71<sup>8</sup> – doktorant stosuje ..... w okolicy momentu przełączenia pomiędzy fazą wtrysku a etapem docisku – prawidłowo w chwili osiągnięcia punktu przełączenia pomiędzy fazą wtrysku a fazą docisku.
- Str. 72<sup>5</sup> – stosuje .... Zatrzymano na chwilę maszynę, aby dostosować niezbędne parametry do techniki TwinShot. Określenie zatrzymano na chwilę jest mało precyzyjne w kontekście rozprawy doktorskiej. TwinShot doktorant nazywa zamiennie techniką, metodą lub procesem.
- Str. 73<sup>4</sup> – podano ..... w okresie do około 4000ms – milisekunda jest jednostką czasu a nie okresu
- Str. 85<sup>5</sup> – na rysunkach zbiorczych zmiany masy 8.15 i 8.16 koniecznie należało przedstawić wyniki raczej w postaci nieciągłej ze słupkami błędów, co pokazałoby stabilność masy w poszczególnych gniazdach podczas realizowania poszczególnych procesów.

Wymienione uwagi i uzupełnienia pomimo bardzo słabej strony części naukowego dowodu postawionej tezy, nie zmieniają faktu, że praca spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim. Podjęcie trudnej tematyki wiążącej w sobie bardzo różne obszary modyfikacji procesu wtryskiwania, budowy i modyfikacji układu sterowania maszyny, wytycznych do konstrukcji formy wtryskowej oraz przeprowadzenie (w ograniczonym zakresie, ale jednak), badań potwierdzających założoną tezę przedstawioną w rozprawie, uważam za duże wyzwanie. Pomimo licznych uwag krytycznych i słabej




części argumentacji od strony materiałowej analizowanego procesu (zastosowanego biokompozytu), pozytywnie oceniam osiągnięcia niniejszej rozprawy w zakresie dyscypliny Inżynieria mechaniczna. Chciałbym podkreślić jej dużą przydatność w obszarze użytecznego wykorzystania pomysłu przedstawionego w rozprawie w praktyce przemysłowej producentów maszyn i narzędzi do przetwórstwa.

### **Wnioski końcowe:**

W oparciu o przeprowadzoną ocenę pracy doktorskiej stwierdzam, że:

1. Rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną doktoranta w dyscyplinie na poziomie akceptowalnym. Zagadnienia poruszone w rozprawie należą do dyscypliny Inżynieria mechaniczna i dotyczą procesu wytwarzania wyprasek metodą wtryskiwania z wykorzystaniem maszyn ze zmodyfikowanym układem sterowania, który wprowadza dodatkowy podproces. Przeprowadzone analizy numeryczne przygotowują do skonstruowania eksperymentalnej formy wtryskowej.
2. W przedłożonej rozprawie doktorskiej bardzo słabo oceniam umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej doktoranta. Brak jest wykorzystania metod analitycznych, które dały by pole do dyskusji naukowej, tak ważnej w dysertacji w obszarze nauk technicznych.
3. Wysoko oceniam oryginalność rozwiązania w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej. Przedstawione rozwiązanie może być z pewnością komercyjnie wykorzystane w maszynach przemysłowych przez światowych producentów wtryskarek.

W związku z powyższym uważam, że przedstawiona mi do oceny rozprawa doktorska Pana mgr inż. Jakuba Franek pt.: „*Opracowanie nowej metody wtrysku biokompozytów zwiększającej wydajność produkcji*” w minimalnym stopniu spełnia kryteria stawiane pracom doktorskim, zgodnie z artykułem 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, dlatego wnioskuję do Rady Dyscypliny Wydziału Mechanicznego Technologicznego Politechniki Śląskiej o dopuszczenie Doktoranta do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

  
05.09.2023