

Dr hab. inż. Dariusz Sykutera, prof.
Wydział Inżynierii Mechanicznej
Politechnika Bydgoska

WPŁYNEŁO DNIA	
.....18.08.2022.....	
data	
Kierownik administracyjny	
nr pisma	podpis

Bydgoszcz 01.08.2022 r.

mgr Kamila Czerniak

Recenzja rozprawy doktorskiej

mgr. inż. **Przemysław Poszwy**

pt. „Ocena zależności skurczu i deformacji wyprasek
od ich konstrukcji oraz parametrów procesu wtryskiwania”

Promotor rozprawy:

dr hab. inż. **Marek Szostak**, prof. PP

Promotor pomocniczy:

dr hab. inż. **Mateusz Barczewski**, prof. PP

1. Podstawa formalna opracowania recenzji

Recenzja została opracowana na podstawie uchwały Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Poznańskiej z dnia 03 czerwca 2022 r. oraz na podstawie zlecenia Dziekana Wydziału Inżynierii Mechanicznej dr hab. inż. Olafa Ciszaka, prof. PP (pismo nr DIM.075.279.2022z dnia 7.06.2022 r.).

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

2. Znaczenie podjętej tematyki

Wtryskiwanie jest jedną z dwóch najważniejszych metod przetwarzania tworzyw polimerowych. Swoją popularność zawdzięcza możliwości wytwarzania wyrobów użytkowych w skali masowej, przy niskim zużyciu energii. Otrzymywane produkty charakteryzują się powtarzalnymi cechami geometrycznymi, wysoką jakością powierzchni oraz oczekiwanymi przez odbiorców właściwościami, również mechanicznymi. Wypraski wtryskowe to między innymi elementy konstrukcyjne samochodów, sprzętu medycznego, urządzeń elektrycznych i elektronicznych oraz opakowania cienkościennie. Jednym z obserwowanych trendów w gospodarce jest wytwarzanie złożonych strukturalnie wytworów (materiał, geometria, struktura, warstwa wierzchnia), o zagwarantowanych na etapie wytwarzania wielu funkcjach użytkowych (technologie, właściwości), co daje przewagę konkurencyjną na globalnym rynku. W projektowaniu wyrobów ważna jest także ocena oddziaływania ich na środowisko w całym cyklu życia oraz podatność na recykling. Zdolność do wielokrotnych zmian stanu skupienia materiałów stosowanych w procesie wtryskiwania pozwala na ich wielokrotne przetwórstwo, co jest zgodne z zasadami gospodarki o obiegu zamkniętym GOZ (ang. Circular economy). Z punktu widzenia projektowania i wytwarzania wyprasek, tworzywa termoplastyczne charakteryzują się także niekorzystnymi cechami fizykochemicznymi, a do najważniejszych z nich można zaliczyć między innymi: lepkosprężystość, bardzo znacząca rozszerzalność i ściśliwość materiału w stanie lepkopłynnym, zależność lepkości pozornej stopu od szybkości ścinania (płyn nieniuutonowski), skurcz pierwotny i wtórny materiału podczas krzepnięcia, mały i zmienny co do wartości moduł Younga oraz istotny wpływ parametrów procesowych na tworzenie struktury wyrobu. Uwzględnienie tych wszystkich uwarunkowań w połączeniu ze wzrostem skomplikowania konstrukcji wyprasek, stanowi niewątpliwe wyzwanie dla projektantów wyrobów i konstruktorów form wtryskowych.

Forma wtryskowa jest najbardziej istotnym elementem technologii wtryskiwania, ponieważ w jej gniazdach następuje ostateczne formowanie wypraski i finalnie konstytuują się jej cechy geometryczne i użytkowe. Dynamika przejścia stopu polimerowego ze stanu lepkopłynnego do stanu twardego/kruchej wymuszonej elastyczności zależy od intensywności odbioru ciepła przez układ chłodzenia narzędzia. Jest to jedno z istotnych ograniczeń dynamicznego rozwoju technologii wtryskiwania. Nie można uzyskać oczekiwanej wypraski bez dobrze zaprojektowanej i wykonanej formy wtryskowej oraz wtryskarki, gwarantującej powtarzalność realizacji nastaw procesowych.

Przedmiotem recenzowanej rozprawy jest ocena zależności skurczu i deformacji wyprasek z polipropylenu *PP* od ich cech geometrycznych i skomplikowania konstrukcji. Analiza ta została dodatkowo pogłębiona o wpływ parametrów standardowego procesu wtryskiwania, przede wszystkim czas i ciśnienie, z jakimi realizowana jest faza docisku. Podczas przebiegu tego etapu cyklu wtryskiwania, kształtują się ostateczne cechy geometryczne, dokładność wymiarowa, masa i stan powierzchni oraz właściwości mechaniczne wyprasek.

Bardzo pozytywnie oceniam zakres podjętej problematyki, jej aktualność i istotność ze względu na aspekty naukowe i praktyczne. Jednocześnie gratuluję Autorowi odważnej decyzji o realizacji rozprawy w takim właśnie zakresie. Trzeba mieć bowiem świadomość, że polipropylen jest tworzywem częściowo krystalicznym, który charakteryzuje się bardzo dużą rozszerzalnością cieplną i skurczem przetwórczym. Do jego stopienia w układzie uplastyczniającym maszyny przetwórczej wymagana jest znacząca wartość energii cieplnej (największa w przeliczeniu na kg masy spośród znanych tworzyw termoplastycznych z grupy I i II), która następnie musi zostać odebrana z gniazd formujących przez układ chłodzenia formy wtryskowej. Zatem projektowanie wyrobów z *PP* o zmiennej grubości i złożonej konstrukcji (np. z żebrami, otworami etc.) jest szczególnie trudne, ponieważ może być źródłem anizotropii skurczowej, co w efekcie prowadzi do deformacji wypraski. Poznanie i opisanie wpływu bardzo wielu czynników w obszarze materiał – forma wtryskowa – proces wtryskiwania – wtryskarka stanowi duże wyzwanie dla realizacji celów rozprawy doktorskiej i wymagało od jej Autora bardzo dobrego przygotowania merytorycznego w zakresie technologii procesowej, konstrukcji narzędzi, metrologii oraz znajomości struktury i właściwości fizykomechanicznych polipropylenu.

3. Charakterystyka formalna i ocena merytoryczna rozprawy

Recenzowana praca doktorska została napisana łącznie na 156 stronach maszynopisu w formacie A4. W przyjętej przez Autora konwencji numeracji, nie uwzględniono czternastu początkowych stron pracy (tytuł, podziękowania, spis treści, streszczenia w języku polskim i angielskim oraz wykaz stosowanych w pracy oznaczeń i skrótów). Rozprawa składa się z 11 rozdziałów, podsumowania, streszczeń w języku polskim i angielskim, wykazu oznaczeń oraz bibliografii, w skład której wchodzi 233 pozycje literaturowe. Tytuły poszczególnych rozdziałów są następujące: (1) Technologia wtryskiwania i właściwości fizyczne tworzyw sztucznych; (2) Skurcz i deformacje wyprasek - wprowadzenie; (3) Modelowanie zagadnienia skurczu i deformacji; (4) Ocena stanu literatury dotycząca problematyki deformacji wyprasek;

(5) Czynniki wpływające na skurcz i deformacje uwzględnione w symulacjach komputerowych; (6) Budowa prototypów wybranych elementów układu chłodzenia; (7) Oprogramowanie; (8) Opis eksperymentu; (9) Skrypty do automatyzacji pracy oraz analizy wyników; (10) Wyniki symulacji; (11) Walidacja eksperymentalna opracowanych modeli analitycznych; Podsumowanie.

Struktura pracy jest logiczna i spójna. W początkowych dwóch rozdziałach opisano zachowanie się tworzyw termoplastycznych na skutek zmian temperatury i ciśnienia procesowego oraz ich właściwości reologiczne. W rozdziale 3 przedstawiono zagadnienie modelowania skurczu i deformacji z użyciem modeli naprężeń własnych, generowanych w materiale w trakcie procesu wtryskiwania. Trzy początkowe rozdziały stały się podstawą do sformułowania krytycznej oceny stanu literatury naukowej, podejmującej tematykę skurczu i deformacji wyprasek (rozdział 4). Bardzo dobrze oceniam wnioski z przeglądu literatury. Świadczą one o odpowiednim przygotowaniu Autora do sformułowania hipotezy, celów rozprawy i jej zakresu oraz dają solidną podstawę do programowania symulacji numerycznych. Potwierdza to bardzo obszernie przygotowany rozdział 5, w którym wskazano czynniki wpływające na skurcz i deformacje wyprasek termoplastycznych, a które zostały uwzględnione w badaniach symulacyjnych. Rozważania te zostały podsumowane w rozdziale 6, gdzie wskazano wzajemne oddziaływanie pomiędzy czynnikami, decydującymi o rozkładzie i poziomie wartości skurczu i deformacji w wypraskach wtryskowych.

W badaniach i analizach eksperymentalnych zastosowano współczesne narzędzia wsparcia inżynierskiego takie jak: program do symulacji procesu wtryskiwania, oparty o metodę elementów skończonych MES oraz oprogramowanie CAD. Na podstawie wyników około 5000 analiz symulacyjnych zaproponowano modele analityczne, umożliwiające prognozowanie poziomu wartości i rozkładu skurczu oraz deformacji w wypraskach typu *belka, łuk, uźebrowany łuk*, a także *krawędź i uźebrowana krawędź*. Doktorant wykazał się dojrzałością w zakresie doboru i analizy cytowanej w pracy literatury oraz w przyjęciu na tej podstawie, obszernego programu badań własnych. W ostatnim rozdziale Autor poddał walidacji uzyskane wyniki symulacji procesu wtryskiwania w eksperymencie badawczym, z użyciem formy wtryskowej, którą samodzielnie zaprojektował. Rozprawa w swoim zamyśle jest oryginalna pod względem naukowym, jej zrealizowanie wymagało doświadczenia praktycznego w zakresie konstruowania form wtryskowych dla tworzyw częściowo krystalicznych i było czasochłonne. **Uważam, że rozprawa spełnia zapisy ustawy obowiązujące dla prac doktorskich, jest poprawna merytorycznie i mieści się w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.**

Spis cytowanej literatury naukowej jest reprezentatywny dla problematyki rozprawy. To duży zbiór piśmiennictwa naukowego obejmujący 233 pozycje, w tym 230 w języku angielskim. Ponad 25% stanowią pozycje literaturowe nie starsze niż 6 lat (licząc od 2017 r.). W spisie literatury odnotowano także 6 prac, w których Doktorant jest współautorem. Autor rozprawy gruntownie zapoznał się z treściami pozycji przywołanych w spisie literatury. Są one bardzo ściśle związane z tematyką rozprawy.

Podsumowując merytoryczny wkład rozprawy w aktualny stan wiedzy w zakresie wpływu cech konstrukcyjnych oraz parametrów procesu wtryskiwania na ostateczny poziom wartości i rozkład skurczu w wypraskach oraz ich deformacje, na uwagę zasługują następujące osiągnięcia naukowe Autora rozprawy:

- a) próba oceny istotności wpływu czynników na poziom wartości skurczu i deformacji wyprasek termoplastycznych, otrzymywanych w procesie wtryskiwania w formie wtryskowej (rozdział 5),
- b) opracowanie konstrukcji pięciu obiektów badań symulacyjnych (wyprasek), których cechy geometryczne w reprezentatywny sposób odzwierciedlają fragmenty typowych wytworów, wytwarzanych metodą wtryskiwania,
- c) opracowanie oryginalnej metodyki badań symulacyjnych,
- d) opracowanie modeli analitycznych dla użytych w symulacjach obiektów badań z polipropylenu, opisujących przewidywane poziomy wartości skurczu liniowego w zależności od parametrów fazy docisku, grubości wypraski, właściwości termicznych tworzywa oraz od wartości temperatury: uplastyczniana, rozformowania oraz formy wtryskowej,
- e) pozytywna walidacja wyników symulacyjnych w warunkach eksperymentu laboratoryjnego,
- f) określenie empirycznych zależności pomiędzy skurczem liniowym, a czasem zestalenia wypraski, w relacji do wartości czasu i ciśnienia docisku (t_p , p_p).

Recenzowana rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę Kandydata w dyscyplinie inżynieria mechaniczna oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Na wyróżnienie zasługuje fakt, że Autor zaproponował sposób dochodzenia do empirycznej zależności skurczu przetwórczego wyprasek z polipropylenu, w odniesieniu do najważniejszych parametrów procesowych wpływających na jego rozkład i wartość. Zbiór wykonanych symulacji stał się podstawą do analitycznego wyznaczenia odpowiednich zależności matematycznych, w czym dostrzegam znaczącą wartość użyteczną. Moim

zdaniem, zaprezentowane treści są bardzo interesujące zwłaszcza dla tych narzędziowni, które specjalizują się w produkcji form wtryskowych przeznaczonych do wytwarzania wyrobów konstrukcyjnych z polipropylenu.

4. Uwagi krytyczne oraz o charakterze dyskusyjnym

W trakcie lektury rozprawy sformułowano pewne uwagi krytyczne i wątpliwości natury merytorycznej, z których najistotniejsze przedstawiono poniżej:

- 1) Dyskusyjne jest stwierdzenie Autora, że standardowy proces wtryskiwania (ang. CIM – *Conventional Injection Moulding*) cyt. „obejmuje przede wszystkim zakres małych oraz pośrednich wartości szybkości ścinania” (str. 3. W15↓). Jakie procesy przetwórstwa polimerów są prowadzone z większymi wartościami wspomnianej wielkości, mającej istotny wpływ na lepkość pozorną stopu?
- 2) W podrozdziale 1.4.2 na podstawie diagramu zamieszczonego na rys. 6 omówiono zagadnienie zmian objętości właściwej poliwęglanu na wykresach PVT i dokonano porównania do wykresów jego rozszerzalności termicznej CTE. Dlaczego w tym punkcie nie zamieszczono znacznie bardziej reprezentatywnych wykresów PVT i CTE dla polipropylenu lub innego tworzywa częściowo krystalicznego? Na usprawiedliwienie można zaznaczyć, że wykresy PVT lub ich fragmenty będą prezentowane na kolejnych stronach rozprawy (np. str. 14 – wykres 12b dla PBT, ale przedstawiony w kontekście wyznaczania temperatury krystalizacji i topnienia). Ponadto Autor stwierdził w tym podpunkcie, że cyt. „diagramy PVT dają podobną informację jak wykres skurczu termicznego..”. Wydaje się, że informatywność wykresów PVT jest znacznie większa niż CTE, ponieważ polimery są ściśliwe (co słusznie zauważył Autor) i diagramy te uwzględniają wpływ ciśnienia procesu na zmiany objętości właściwej materiału.
- 3) Rozdział 2 (str. 16) rozpoczyna się od zdania cyt. „Skurcz oraz deformacje nie są właściwościami materiału poddanego przetwórstwu są właściwościami zależnymi od historii przetwórstwa”. Mam wrażenie, że w kolejnym zdaniu Autor sam sobie częściowo zaprzecza, ponieważ możemy przeczytać, że cyt. „Skurcz i deformacje będą zależeć od właściwości materiału (m.in. PVT, właściwości termicznych), geometrii wypraski oraz geometrii formy wtryskowej (...) oraz parametrów procesu (...)”. Proszę o komentarz Autora w tej ważnej kwestii. Ponadto, czy można mówić o geometrii formy wtryskowej. Współczesne narzędzie przetwórcze to często złożone konstrukcyjnie urządzenie ze skomplikowanymi układami grzania i chłodzenia,

wyposażone w ruchome suwaki, rdzenie, zamykane dysze itp. Czy na poziom wartości i rozkład skurczu wyprasek z PP, w pierwszej kolejności nie wpływa istotnie intensywność odbioru ciepła z gniazd formujących przez układ chłodzenia?

- 4) Zaletą pracy jest czytelne przedstawienie celów poznawczych i celu użytkowego pracy (str. 43), które jednak według mojej opinii powinna poprzedzać hipoteza badawcza (jest po celach). W moim odczuciu zapisy te powinny być ograniczone do polipropylenu nienapełnionego.
- 5) Wydaje się, że rys. 8a (str. 11) oraz rys. 16 (str. 19) mogą prowadzić do mylnych wniosków, że w czasie realizacji faz wtrysku i docisku, dochodzi do bardzo znaczącego spadku ciśnienia na drodze płynięcia stopu co powoduje, że krzywe zmian tej wielkości wyznaczone za pomocą czujników w gnieździe formującym blisko i daleko od punktu wtrysku, tak znacząco się różnią. Przebiegi te zależą podobnie jak rozkład skurczu, od bardzo wielu czynników, między innymi od grubości ścian wypraski czy lepkości pozornej stopu polimerowego.
- 6) Dyskusyjne wydaje się stwierdzenie Autora, że wykresy PVT mogą służyć do oceny deformacji, ale jest to bardzo trudne, a najdokładniejsze rezultaty w tym względzie można uzyskać wykonując analizy symulacyjne. Określenie zmian objętości właściwej tworzywa polimerowego na skutek zmian ciśnienia i temperatury jest nieodzowne do realizacji badań symulacyjnych, ale o poprawności uzyskanych wyników decyduje wprowadzenie odpowiednich danych wejściowych i bardzo staranne odzwierciedlenie w symulacji warunków rzeczywistych, w jakich przebiega proces wtryskiwania. Dotyczy to między innymi kwestii materiałowych, zamodelowania rzeczywistego układu chłodzenia, przyjęcia odpowiedniego wariantu i gęstości siatki MES, odwzorowania rzeczywistego profilu prędkości wtrysku, przyjęcia właściwego punktu przełączenia z fazy wtrysku na docisk etc.
- 7) Na stronie 37 została przedstawiona krytyczna ocena stanu literatury, która dotyczy problematyki deformacji wyprasek termoplastycznych. Z wieloma wnioskami w pełni się zgadzam i oceniam bardzo wysoko poziom merytorycznego przygotowania Autora, w zakresie postrzegania osiągnięć naukowych przez pryzmat ich użytkowego wdrożenia w przemyśle. Proszę jednak o wyjaśnienie, dlaczego mając świadomość znaczenia sposobu chłodzenia wyprasek na ich deformacje (dwa ostatnie wnioski na str. 37), Autor rozprawy dokonał uproszczenia założeń symulacyjnych w tym zakresie, przyjmując stałą temperaturę ścian gniazda formującego formy wtryskowej?

- 8) W rozdziale 4.1 Doktorant bardzo krytycznie ocenił stosowanie, jako narzędzi optymalizacyjnych i statystycznych, takich metod jak: Anova, Tagueuchi, DoE itp. Czy rzeczywiście próba zmniejszenia liczby prób doświadczalnych poprzez wskazanie kryteriów optymalizacyjnych nie nadaje się do oceny wpływu czynników materiałowych, konstrukcyjnych czy procesowych na skurcz i deformacje wyprasek? Mam tu wątpliwości w kontekście wykonanych na potrzeby rozprawy licznych symulacji (około 5000 str. 67). Badania prowadzono z użyciem nienapełnionego polipropylenu Moplen HP 500N (Basell Orlen Polyolefins[®]). Zmniejszenie liczby prób dla wskazanego w rozprawie PP, dałoby szansę na rozszerzenie analiz numerycznych o ten sam materiał wzmocniony włóknem szklanym, co z punktu widzenia poznawczego byłoby bardzo interesujące. Proszę potraktować tę uwagę jako impuls do dalszych badań.
- 9) W rozdziale 8 przedstawiono metodyczne podstawy realizacji symulacji procesu wtryskiwania, wytypowanych przez Autora pięciu elementów konstrukcyjnych, będących fragmentem geometrycznym powszechnie wytwarzanych wyprasek z polipropylenu. Moje wątpliwości dotyczą:
- a) przyjęcia do analiz symulacyjnych przewężki punktowej o średnicy 5 mm (wartość ta jest znacznie większa niż analizowane w pracy grubości ścianki wypraski), która jest stosowana jedynie w procesach wytwarzania wyprasek wielkogabarytowych,
 - b) określenia stałej temperatury formy na poziomie 35 °C,
 - c) przyjęcia w programie realizacji prób symulacyjnych bardzo znaczących wartości ciśnienia docisku (powyżej 100 MPa) oraz bardzo małych wartości czasu jego trwania (1, 2, 2,5 sekundy) – tab. 5 str. 68. Jaki jest sens fizyczny (w kontekście entalpii właściwej PP) stosowania takiego czasu docisku w przypadku formowania wypraski o powierzchni około 4000 mm²? Warto dodać, że Autor przyznaje w dyskusji wyników, że w przypadkach zastosowania dużych wartości ciśnienia docisku, obliczenia są niewiarygodne lub wręcz niemożliwe do realizacji. Mowa jest także o niestabilności modelu obliczeniowego (np. str. 83, 84 czy też 88 w20↓) – co oznacza to określenie w zakresie realizacji symulacji? Co ważne, Autor dochodzi do wniosku, że najkorzystniejsze jest przyjęcie w ramach nastawnych parametrów procesu wtryskiwania, minimalnego ciśnienia docisku i dłuższego czasu docisku (str. 88 od w20↓ do w13↓). Te stwierdzenia są słuszne i znane z wcześniejszych pozycji literaturowych. Proszę Autora o odpowiedź w świetle przytoczonych faktów,



- d) dyskusję na temat przyjęcia określonych modeli geometrycznych wyprasek (rys. 38, str. 67) przedstawiono dopiero w rozdziale 10, w którym omówiono przede wszystkim wyniki symulacji (na przykład dla elementu typu „belka” początek podrozdziału 10.1 str. 74w8↑, a dla elementu typu „uźebrowany łuk” dopiero na str. 107 w9↓). Jest to bardzo ciekawy i ważny metodycznie wątek rozprawy, ale ginie on w otoczeniu szczegółowej dyskusji nad uzyskanymi wynikami (str. 74-112). W moim odczuciu dyskusja wyboru modeli do badań powinna mieć miejsce w podrozdziale opisującym założenia badań symulacyjnych,
- e) nie znalazłem informacji o grubości żebra w modelach wyprasek „uźebrowana krawędź” (strona 88, rys. 55) oraz „uźebrowany łuk”.
- 10) Dyskusja uzyskanych wyników jest obszerna i merytoryczna, co jest niewątpliwym atutem rozprawy. Jednak przedstawione wykresy mogłyby być nieco większe, a wartości opisujące oś rzędną lub grubość próbki h (np. rys. 52) powinny być wyrażone w jednostkach stosowanych w Polsce (wartość dziesiętna po przecinku a nie po kropce). Rozumiem, że jest to wynik wcześniejszego opublikowania wyników w literaturze anglojęzycznej. Proszę Autora rozprawy o wyjaśnienie, w jaki sposób uzyskał punkty pomiarowe 50 i 150 na osi odciętych (np. rys. 42, 43, 50 itp.), biorąc pod uwagę zaznaczone na modelu wypraski typu „belka” węzły pomiarowe (rys. 39, str. 74).
- 11) Jakie jest fizyczne znaczenie stosowania tak dużej dokładności w wyrażeniu wartości dla współczynników a_w , a_R oraz b_{rh} , zamieszczonych w tabeli 8 oraz dlaczego powielono wyniki z tabeli 8 na wykresie zamieszczonym na rys. 61?
- 12) Według mojej oceny, zawarte na końcu rozprawy podsumowanie, w jego początkowym fragmencie jest streszczeniem treści zawartych w rozprawie. Stwierdzenia dotyczące wpływu czasu i ciśnienia docisku (str. 127 w15↓) są powszechnie znane z literatury. Mam świadomość, że to dodatkowa trudność i wyzwanie dla Autora rozprawy, ale wartość zwłaszcza użyteczna pracy wzrosłaby, gdyby podsumowujące wnioski z badań symulacyjnych zostały przekazane w postaci czytelnego schematu graficznego. Dla konstruktora form wtryskowych byłoby to duże ułatwienie w rozumieniu znaczenia parametrów fazy docisku na poziom skurczu i deformacji w przyjętych modelach wyprasek z polipropylenu.
- 13) Doktorant opracował modele analityczne na podstawie badań symulacyjnych, które pozytywnie zweryfikował w ramach badań doświadczalnych z użyciem uchwytu przyłbicy ochronnej. Proszę Autora rozprawy o wypowiedź na temat użyteczności

(możliwości stosowania) przyjętych zależności matematycznych w przypadku wtryskiwania innych, nienapełnionych, termoplastycznych tworzyw częściowo krystalicznych lub/i amorficznych.

Praca jest napisana na dobrym poziomie edytorskim, część rysunków zamieszczonych w rozdziałach 2-4 zostało przez Autora wykonanych samodzielnie z uwzględnieniem cytowanego źródła literaturowego. Można jednak dostrzec pewne niedociągnięcia redakcyjne, dotyczące formułowania zdań, interpunkcji czy też powtarzania tych samych słów w jednym lub w zdaniach sąsiednich. Autor rozprawy nagminnie nie stosuje oznaczeń (a, b, c, d,...) dla wykresów i grafiki sąsiadującej ze sobą w ramach jednego rysunku (powyżej grafiki, wykresu cząstkowego – np. rys. 9, 11,12, 15, 20, 21, 26, 32, 38, 42-44, 46-48, 50-54, 56-60, 63-67, 69-74, 78-81).

W celu eliminacji w przyszłości drobnych uchybień merytorycznych i redakcyjnych, przedstawiono najważniejsze z nich w kolejnych podpunktach:

- 1) zauważono błędy interpunkcyjne lub redakcyjne, zwykle brak przecinków – str. 7 w7↑; str.11 w7↓; str. 13 w1↓; brak spacji np. tytuł podrozdziału 1.4.4. (str. 11); str. 20 w21↓ jest – *sztucznycho* – brak spacji między *h* i *o*, brak spacji pomiędzy *zjawisko[48-52]* - str. 22 w12↑; str. 30 w1↓ - brak spacji między tekstem a numer cytowanej pozycji literatury; str. 47 w4↓ - jest „robi żny”; str. 62 w3↑ brak przecinka po cyt. „...produkcyjnych...”; str. 62 w4↑ - jest cyt. „...schemat zaprezentowany na *Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania*”. Po prostu brakuje odwołania; str. 63 w4↓ - brak przecinka po „...na powyższe...”; str. 66 18w↓ – brakuje kropki na końcu zdania; str. 69 w8↑ - brak przecinka po cyt. „...koniecznych do przeprowadzenia...”; str. 72 w18↑ - brak spacji pomiędzy słowami *wyznaczył* i *skurcz*; str. 72 w22↑ - brakuje litery „w” pomiędzy słowami „...zawarte poszczególnych..”; str. 73 w5↓ brakuje przecinka po słowie cyt. „...przypadkach, gdzie..”; str. 92 w6↓ jest- cyt. „...korzystając metodę regresji liniowej..”, powinno być *korzystając z metody regresji liniowej*.
- 2) Autor nie stosuje w podpisach pod rysunkiem kropki oddzielającej numer rysunku od podpisu tekstowego np. cyt. „Rys. 13 Porównanie zależności PVT.....”
- 3) stwierdzono błędy tekstowe, np. str. w5↑ cyt. „...mają wystarczającą ruchliwość, płynąc ażeby wystąpiło...”; str.14 w15↓ - cyt. „...przez do przewidzenia kąta nachylenia..”; str. 18 w22↓ jest *Rozdziale 1.4* powinno być *rozdziale 1.4*; ta sama strona 18 w20↓ jest: cyt. „...Sytuację komplikuje fakt, że proces zestalenia ten silnie zależy.....”; str. 18 w9↓ jest cyt. „w przypadku w płaskich elementów” – niepotrzebna

- litera „w”; na tej samej stronie w7↓ jest cyt. „*np. w otwartych, prostopadłościennych opakowań*” – powinno być *opakowaniach*; str. 19 w2↑ jest cyt. „*wykres będzie przybierać jak na Rys. 15b.*” – niefortunnie dobrane słowo przybierać; str. 21 w3↓ - jest cyt. „*wypraski kształcie*” - brakuje „w” pomiędzy wypraski kształcie; str. 22 w11↓ - zdanie stylistycznie niepoprawne;
- 4) str. 11 – ciśnienie nie może być kierowane, ciśnienie może oddziaływać,
 - 5) zauważono powtórzenia tych samych słów w jednym zdaniu lub w sąsiednich: str. 12 w2↑ (temperatura); str. 18 w.20-18w↓ (zestalenia, zestalania); str. 44 od w20 do w.13↓ - trzykrotnie powtarza się określenie „*w niniejszej pracy*”; str. 47 w16↑ - powtarzające się w jednym zdaniu obok siebie cyt. „*...tworzyw napelnianych włóknem wpływ włókna...*”; str. 60 w4↑ - powtarza się określenie *analiza* w dwóch sąsiednich zdaniach; str. 60 w12↑ - słowo *wpływ* powtarza się dwukrotnie w jednym zdaniu; str. 74 w8↑ - w jednym zdaniu powtarza się określenie *kształt*; str. 114 w5↑ - w jednym zdaniu cyt. „*Porównanie obejmowało porównanie deformacji...*”; str. 114 w6↑ w dwóch sąsiednich zdaniach użyto słowo „*z wykorzystaniem*”;
 - 6) str. 14 w2↑ zamiast w mniejszej temperaturze powinno być w temperaturze o mniejszej wartości,
 - 7) w podpisie pod rys. 12 obok nazwy handlowej powinna pojawić się chemiczna nazwa tworzywa lub jej skrót, w tym przypadku PBT,
 - 8) str. 14. w4↓ jest struktury wewnętrznej, powinno być struktury (określenie to jest jednoznaczne i dotyczy próbki materiału w całej objętości),
 - 9) sugeruję odejście od redagowania treści podrozdziałów o objętości 1/3 strony (podrozdział 2.2 str. 18).
 - 10) str. 18. w15↓ - jest dociskiem, powinno być ciśnieniem docisku,
 - 11) rys. 15b – nie ma opisu wykresów, można się tylko domyślać, który odpowiada wartościom skurczu, a który masie względnej,
 - 12) str. 20 w15↓ - cal/cal – w pracach naukowych powinno stosować się wyłącznie jednostki SI,
 - 13) str. 20 w22↓ - cyt. „*Zbyt duża objętość wtrysku będzie skutkowała wpływem historii cieplnej na wyniki*” – zdanie źle sformułowane,
 - 14) str. 20 w24↓ - jest cyt. „*50-75% objętości wtrysku wykorzystywanej wtryskarki*” – bardziej precyzyjne określenie *maksymalnej objętości wtrysku*,
 - 15) str. 21 w1↑ - użyto potoczne słowo „*wygnie ją*” – lepiej *zdeformuje ją*,
 - 16) rys. 21 – brak cytowania pozycji literaturowej,

- 17) str. 26 - pierwsze zdanie na stronie niezrozumiałe, wymaga doprecyzowania merytorycznego,
- 18) str. 29 w2↑ - jest cyt. „*Na dzień dzisiejszy*”, sugeruję *Obecnie lub Współcześnie*;
- 19) str. 48 w2↓ - jest cyt. „...*później niż 16 h od wyformowania..*” – powinno być *później niż po 16 h od wyformowania* (usunięcia wypraski w formy wtryskowej),
- 20) rys. 28 – nieproporcjonalne do pozostałych fragmentów graficznych opisy osi wykresu,
- 21) str. 60 w4↑- jest „*wpływ temperatur*” - sugeruję *wpływ temperatury*, albo *różnych wartości temperatury*,
- 22) str. 63 w14↓ - zbyteczne w zadaniu słowo „*zmian*”,
- 23) str. 66 – jest cyt. „*8.3. Zmienne badawcze*”, sugeruję *8.3. Zmienne niezależne lub wejściowe*,
- 24) str. 66 w12↓. – zamiast „ *płaski front*” sugeruję zastąpienie określeniem *przepływ laminarny*,
- 25) str. 66 – w podpisie pod rys. 38 jest- cyt. „*Typy elementów uwzględnionych w pracy*”, powinno być *Typy elementów uwzględnione w pracy*,
- 26) str. 74 w3↑- jest cyt. „*reszta wyników*” – określenie potoczne, sugeruję zamianę na *pozostałe wyniki*,
- 27) str. 75 w8↓ - jest cyt. „*raczej mniejsze fluktuacje*”, jeśli rozumieć fluktuacje jako wahania wartości,
- 28) str. 75 w8↑- sugerowałbym zamianę, użytego w tekście określenia *zanik ciśnienia w gnieździe na brak oddziaływania ciśnienia na tworzywo w gnieździe*,
- 29) str. 78 w1↑ - zdanie niezrozumiałe, potrzebna jest korekta merytoryczna,
- 30) str. 78 w21↓ - jest cyt. „...*od gładkiej zależności..*” – gładkie – pojęcie potoczne,
- 31) str. 78 w13↓ - czas i ciśnienie to pojęcia fizyczne w liczbie pojedynczej, rozróżniamy różne wartości czasu i ciśnienia lub różne rodzaje czasu i ciśnienia,
- 32) str. 79 w8↑ - jest cyt. „...*skurcz zmienił się liniowo od docisku..*” – docisk to faza procesu wtryskiwania, raczej powinno być *ciśnienia docisku*,
- 33) str. 80 – w podpisie nad tab. 7 powinno być z równania (9),
- 34) często zauważono, że tekst opisujący dane zawarte na rysunku pojawia się później od prezentacji rysunku np. opis rys. 57, rys. 58, rys. 80, rys. 81, rys. 82,
- 35) str. 88 w9↓ - nie zgadzam się z twierdzeniem, że nie ma wytycznych dotyczących projektowania uźebrowania w wypraskach. Takie dane podaje np. firma DSM,

- 36) str. 89 rys. 56b oraz 57b, 57d, 57f 57h oraz 64b – na osi odciętych złe oznaczenie ciśnienia docisku,
- 37) str. 93 tab. 8 - jakie znaczenie fizyczne ma duża dokładność (6 miejsc znaczących po przecinku) podanych współczynników?
- 38) spis literatury na str. 130 zawiera błędy w pozycjach 3, 9, 28 (publikacja współautorska!), 32, 37, 42, 57, 83, 202. Niedociągnięcia dotyczą braku roku wydania, nazwy wydawnictwa i miejsca wydania, podania tytułu czasopisma etc.

5. Podsumowanie

Przestawioną do recenzji rozprawę doktorską pt.: „*Ocena zależności skurczu i deformacji wyprasek od ich konstrukcji oraz parametrów procesu wtryskiwania*”, niezależnie od przedstawionych w formie dyskusyjnej uwag, oceniam pozytywnie. Określenie rozkładu i poziomu wartości skurczu i deformacji w wypraskach jest istotnym i trudnym zagadnieniem w zakresie badań stosowanych i podstawowych.

Praca ma charakter doświadczalny, ale swoim spektrum obejmuje również w dużej części naukowe zagadnienia: modelowania, konstrukcji oraz wytwarzania wyprasek metodą wtryskiwania. Do zrealizowania postawionych celów Autor musiał wykazać się znajomością wybranych zagadnień reologii płynów nienewtonowskich, fizykochemii polimerów, pomiarów metodami bezstykowymi oraz przetwórstwa tworzyw polimerowych. Poziom merytorycznego przygotowania symulacji numerycznych z użyciem oprogramowania Autodesk Moldflow[®] Insight 2019[®], przyjęcie kluczowych zmiennych niezależnych i ich wartości, poziom analiz numerycznych, opracowanie modeli analitycznych zmian skurczu wyprasek w zależności od nastaw fazy docisku i grubości wyprasek oraz realizacja eksperymentu doświadczalnego, świadczą o **umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowo-badawczej**.

Stwierdzam, że Autor pozytywnie zweryfikował postawioną hipotezę naukową, osiągnął postawione cele, a przedmiotem rozprawy doktorskiej **jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego**. Zaprezentowane wyniki mają znaczenie nie tylko poznawcze, ale także użyteczne, istotne z punktu widzenia praktyki przemysłowej w zakresie projektowania wytworów, wytwarzania form wtryskowych i przetwórstwa tworzyw polimerowych metodą wtryskiwania, zwłaszcza w obszarze wytwarzania wyprasek z polipropylenu.

Biorąc pod uwagę wszystkie wymienione wyżej uwagi stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska mgr. inż. Przemysława Poszwy pt.: „*Ocena zależności skurczu i deformacji wyprasek od ich konstrukcji oraz parametrów procesu wtryskiwania*”, 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 Inżynierii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej o dopuszczenie mgr. inż. Przemysława Poszwy do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.

Bydgoszcz, 01.08.2022 r.

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized initial 'P' followed by a series of loops and a long horizontal stroke extending to the right.