



Prof. dr hab inż. Gabriel Wróbel
Katedra Mechaniki Technicznej i Stosowanej
ul. Konarskiego 18a, 44-100 Gliwice
Politechnika Śląska



SEKRETARIAT DZIEKANA W.M.
Wpłynęło dnia 18.04.2016
L.dz. 75/WM/2016

Gliwice, 06.04.2016 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Pawła, Wawrzyniaka

pt.: „Wpływ wybranych parametrów procesu rozdmuchiwania z jednoczesnym rozciąganiem na właściwości wytwarzanych pojemników PET”

Podstawą formalną opracowania niniejszej recenzji jest zlecenie Dziekana Wydziału Mechanicznego Politechniki Gdańskiej dra hab. inż. Marka Szkodo Prodziekana ds. Nauki (pismo l.dz. 45/WM/2016 z dnia 21.03.2016 r.). Wstępna analiza treści rozprawy przesłanej przez Pana Dziekana w wersji elektronicznej, na płycie CD, pozwala mi stwierdzić, że jej tematyka oraz metodyka odpowiada moim zainteresowaniom naukowym i że ze względów merytorycznych mogę podjąć się opracowania recenzji tej rozprawy. Jednocześnie oświadczam, że nie prowadziłem i nie prowadzę z Doktorantem żadnych wspólnych badań naukowych.

1. Znaczenie tematyki, zakres i dyscyplina naukowa rozprawy

Przedmiotem pracy są badania procesu SBM w jego częstym zastosowaniu w produkcji opakowań. Autor wyznaczył granice obszaru badań deklarując skupienie uwagi na klasie pojemników, jakimi są butelki z tworzywa PET. Założenie to było wynikiem zakresu zainteresowania wynikami pracy współpracującej gdańskiej firmy TES Sp. z o.o., zajmującej się projektowaniem i budową maszyn rozdmuchowych wykorzystywanych w procesie

rozdmuchu z jednoczesnym rozciąganiem, który to proces w ramach pracy poddano szczegółowym badaniom. Uzasadnieniem podjętej problematyki, sformułowanym na podstawie dokonanego przeglądu literatury i oceny aktualnego stanu wiedzy, jest stwierdzony przez Autora brak odpowiedniego modelu procesu wytwarzania pojemników z PET, w szczególności odniesionego do stanowiska produkcyjnego badanej klasy.

Jednocześnie w pracy został sformułowany cel poboczny, który w skrócie można zinterpretować jako optymalizacja procesu formowania butelek w aspekcie wybranych kryteriów, dających się sprowadzić do kryteriów ekonomicznych – zmniejszenie gramatury opakowań oraz skrócenie cyklu formowania.

Rozwiązanie tak postawionego zadania wymaga szczegółowej identyfikacji podstawowych procesów materiałowych w rozumieniu ich modelowych charakterystyk i parametrów dotyczących kształtowanego tworzywa, w postaci preformy, w ich niezwykle złożonej naturze fizykochemicznej. Podstaw modelowych dostarczają nauki podstawowe – inżynieria materiałów polimerowych, reologia, termodynamika. Efektywność budowanych modeli zależy od poprawności identyfikacji w drodze eksperymentu i opracowania statystycznego.

Autor pracy podejmuje tę metodykę postępowania mając na uwadze rozszerzenie wiedzy podstawowej o badanym procesie oraz ocenę możliwości jego optymalizacji. Mając na uwadze problematykę pracy, sformułowany cel oraz metodykę badawczą, według podziału przedstawionego w *Uchwale Centralnej Komisji do Spraw Stopni i Tytułów* z dnia 23 czerwca 2003 r. w sprawie określenia dziedzin nauki i dziedzin sztuki oraz dyscyplin naukowych i artystycznych (M.P. z dnia 14 sierpnia 2003 r., nr 40, poz. 586) rozprawa ta kwalifikuje się do dziedziny nauki: **14. Nauki Techniczne**, dyscyplina naukowa: **14.4. Budowa i Eksploatacja Maszyn**, w zakresie związanym z technikami przetwórstwa oraz szeroko pojętymi metodami badań materiałów polimerowych.

2. Cele i teza rozprawy

Użyteczne cele rozprawy i, jak by należało oczekiwać, dokonanego przeglądu literaturowego oraz opracowanego planu badań, związane są ściśle z wskaźnikami ekonomicznymi procesu SBM. Sformułowanie celu odwołuje się do:

- zmniejszania gramatury opakowań bez zmniejszenia ich aspektów estetycznych, wytrzymałościowych i użytkowych,
- skrócenie czasu cyklu wytwarzania opakowań,

wskazując na obszar poszukiwań wyznaczony przez aspekty mechaniczne, takie jak czasy przemieszczania poszczególnych elementów mechanicznych, zamykania i otwierania formy, transportowania preform i butelek, pręta rozciągającego, ale również przez zmniejszanie czasów składowych samego procesu rozdmuchu - czasu rozdmuchu wstępnego i zasadniczego, czasu-usuwania powietrza z form rozdmuchowych.

Sformułowane cele zostały przełożone na tezę pracy, która postuluje możliwość skrócenia czasu cyklu pracy maszyny rozdmuchowej dla dowolnego kształtu butelki, o porównywalnych współczynnikach kształtu, poprzez zmniejszenie czasu rozdmuchu wstępnego i zwiększenie prędkości pręta rozciągającego oraz zmniejszenie parametru WSR.

Takie sformułowanie tezy wyznacza obszar rozszerzając go na dowolny kształt butelki, z drugiej strony precyzuje jego wymiar ograniczając do uznanych i możliwych do uwzględnienia w planie badań na założonym stanowisku produkcyjnym parametrów procesu: ciśnienia i czasu rozdmuchu wstępnego, prędkości pręta rozciągającego, tzw. wysokości startu rozdmuchu WSR oraz sposobu ogrzania preform.

3. Układ i zawartość merytoryczna rozprawy

Praca liczy 280 str, 319 rysunków, 47 tabel, podzielona została na 9 rozdziałów, z których pierwszy stanowi wprowadzenie, a ostatni podsumowanie osiągnięć i wkładu Doktoranta w rozwój nauki. Ponadto praca zawiera złożony z 144 anglo- i polskojęzycznych pozycji spis cytowanej literatury, spis rysunków i spis tabel zamieszczonych w pracy. Właściwy tekst pracy został poprzedzony wyjaśnieniem wprowadzonych w tekście oznaczeń i skrótów.

Podjęcie, sformułowanego w sposób ogólny we Wstępie pracy, problemu badawczego wyznaczyło zakres dokonanego przeglądu literatury. Omówiona została zasada formowania badaną metodą. Przedstawione zostały podstawowe własności cieplne i mechaniczne, przebieg procesów przemian strukturalnych, charakterystyki rozciągania jedno i dwuosiowego. Ogólnie omówiono znaczenie przebiegu deformacji dla struktury tworzywa, w szczególności jego wpływ na stopień krystalizacji i znaczenie tych procesów dla własności

butelek w procesie formowania. Przedstawiono podstawowe rodzaje badań, jakim poddawany jest proces formowania przez rozdmuch w warunkach swobodnych oraz w połączeniu z rozciąganiem. Opis procesu przyjęto za podstawę identyfikacji listy podstawowych parametrów mających wpływ na jego przebieg. Tę ogólną wiedzę Doktorant wykorzystał do sformułowania zamieszczonych w Rozdziale 3 celów i tezy pracy oraz ustalenia szczegółów planu badań własnych, opisanych na wstępie Rozdziału 4. Sformułowane cele nadają przedmiotowi pracy charakter zadania poszukiwania sposobu wytwarzania butelek z preform PET, techniką wyznaczoną dostępnymi charakterystykami mechanicznymi, materiałowymi, termodynamicznymi, wykorzystującą wyspecjalizowane stanowisko wytwórcze stwarzające możliwości realizacji złożonych procesów produkcyjnych.

Możliwości techniczne stanowiska badawczego dały podstawę do wyodrębnienia w planie badań takich parametrów technologicznych jak PP – prędkość pręta rozciągającego, $\dot{C}RW$ – ciśnienie rozdmuchu wstępnego, WSR – wysokość startu rozdmuchu. Parametry te wykorzystano do wstępnego nakreślenia planu badań, co przełożyło się na określenie 3 przekrojowych serii badawczych, charakteryzujących się zmiennością tylko jednego z parametrów każda, odpowiednio seria A - parametru PP, B - parametru $\dot{C}RW$, C - parametru WSR. Ponadto badaniami objęto serię oznaczoną jako D, o tabelarycznie zdefiniowanych kombinacjach parametrów PP, WSR i dodatkowo czasów rozdmuchu wstępnego T1 i zasadniczego T2 oraz serię E, w ramach której objęto wybranymi trzema kombinacjami parametrów procesy z zastosowaniem form butelki o odmiennym kształcie. Dodatkowo w seriach D i E badań zastosowano równolegle dwa, różniące się rozkładem mocy lamp grzewczych preform układy grzewcze, odmienne dla każdej serii. W serii D analizowano efekty krzyżowe wpływu parametrów T1 oraz WSR na profil grubości butelki.

Prowadzone badania miały charakter obiektywny oraz subiektywny.

Badania obiektywne to badania własności mechanicznych (próba rozciągania), strukturalnych tworzywa (średniej masy cząsteczkowej metodą lepkości istotnej, stopnia krystaliczności metodą DSC), składu chemicznego (metodą ^{13}C NMR), stopnia zorientowania krystalitów (metodą TEM). Wykonane zostały również pomiary rozkładu grubości badanych butelek, którym, wraz z analizą statystyczną istotności parametrów rozdmuchu dla rozkładu grubości, poświęcono szczególnie wiele miejsca. Przeprowadzono ponadto pomiar mechanicznych własności tworzywa w wybranym punkcie butelek (17) w poszczególnych seriach pomiarowych. Analizy takiej dokonano w odniesieniu do parametrów funkcji zmian charakterystyk średnich wartości mechanicznych dla profili grubości. Zestawiono porównawczo średnie grubości ścianek w tym punkcie dla reprezentantów

różnych serii. Wyniki pomiarów zmian grubości ścianki w wybranych punktach w poszczególnych seriach badań poddano oddzielnej analizie.

Badania subiektywne miały na celu ocenę jakości butelek w ich stanie wstępnego ukształtowania – przed fazą rozdmuchu zasadniczego. Poddano im butelki serii A, B i C ustalając oceny liczbowe w przyjętej umownej skali punktowej. W rozdziale 6 wykorzystano je zestawiając z wynikowymi grubościami ścianek butelek w różnych punktach butelek badanych serii.

W serii D wyznaczono dla odpowiednich kombinacji parametrów procesu formowania butelki wynikowe rozkłady grubości profili a dalej względne współczynniki podobieństwa oraz ich wykresy. Porównania profili grubości dokonano również dla serii E i wybranych serii odniesienia. Wyniki badań eksperymentalnych wraz z analizą statystyczną zostały zawarte w rozdziale 5, jednak jeszcze w końcowych podrozdziałach rozdziału 4 zestawiono wyznaczony rozkład odchyłeń standardowych grubości na obwodzie butelek odpowiadających wprowadzonym etykietom poszczególnych klas.

Rozdział 6 zawiera analizę wpływu parametrów procesu na właściwości butelki w punkcie 17 pomiaru grubości dla serii A,B,C oraz na profil grubości butelki. Dokonane porównanie wyników analizy serii D2 i D10 względem przyjętej za serię odniesienia serii D1 Autor przyjął za podstawę weryfikacji tezy pracy. Rozdział ten kończy omówienie częścię spotykanych defektów estetycznych butelek.

Rozdział 7 stanowi podsumowanie pracy zawierające zalecenia dotyczące metodyki poszukiwania korzystnych parametrów procesu termoformowania butelek z PET metodą rozdmuchu z rozciąganiem. Pomocniczym materiałem zamieszczonym w tym rozdziale nadano poglądową postać plakatów. Pracę kończy rozdział 8 zawierający opis i zalecenia związane z kierunkami dalszych badań procesu rozdmuchiwanie z rozciąganiem prętem w produkcji butelek PET. Zwraca uwagę na potrzebę opracowania symulacyjnego programu wspomagającego projektowanie maszyn przetwórczych i procesów przedstawiając jednocześnie złożoność zadania wynikającą z konieczności zgromadzenia wielkiej biblioteki modeli cząstkowych oraz parametrów procesu.

Zebrany i opracowany materiał badawczy, przyjęta metodyka oraz plan badań, wyniki pomiarów i ich analiza wyznaczają wysoki poziom oryginalności pracy i dowodzą dojrzałości Doktoranta do podejmowania złożonych problemów naukowo-badawczych. Doświadczenie metodologiczne Autora oraz uzyskane wyniki stanowią wartościowy rezultat pracy.

4. Ocena rozprawy

Rozprawa obejmuje sformułowanie problemu naukowego, literaturowy przegląd stanu wiedzy i podejmuje zadanie wskazania sposobu jego rozwiązania. Obiektem zainteresowania Autora jest proces rodmuchiowania z jednoczesnym rozciąganiem, w zastosowaniu do produkcji pojemników PET, w aspekcie możliwości poprawy wskaźników ekonomicznych produkcji. Dla osiągnięcia postawionych celów i wykazania sformułowanej tezy Doktorant, na podstawie dokonanego przeglądu problematyki dokonuje wyboru metody poszukiwania rozwiązania oraz określa obszar, w którym poszukiwania zostały podjęte. Wskazuje również na potrzebę stworzenia narzędzia, które byłoby pomocne w rozwiązywaniu zadań tej klasy. Docelowym narzędziem miałyby być zalgorytmizowana metoda poszukiwania oparta na opracowanym modelu symulacyjnym badanego procesu. Autor zdaje sobie sprawę, że podstawą budowy modelu symulacyjnego jest identyfikacja istotnych relacji konstytutywnych, procesów i parametrów, co przez samą ich liczbę dla tak złożonego układu nie jest sprawą prostą. Podejmuje jednak to zadanie licząc, że osiągnięte wyniki przyczynią się choć częściowo do rozwiązania problemu, a w osiągalnym zakresie okażą się choć w ograniczonym stopniu pomocne w osiągnięciu wytyczonych celów. Być może z ostrożności, cel pracy został ograniczony do wskazania możliwości poprawy procesu a nie do rozwiązania optymalizacyjnego, dla którego osiągnięcia uzyskane wyniki byłyby niewystarczające.

Podstawową wartością pracy jest zgromadzony materiał badawczy i zdobyte doświadczenie warunkujące efektywne poszukiwanie możliwości poprawy badanego procesu formowania przez wzrost jego wydajności. Ponadto analiza zebranych danych pozwoliła na sformułowanie bardzo dużej liczby wniosków dotyczących wpływu parametrów procesu na jego wydajność i jakość produktu. Wnioski te, z konieczności, charakteryzują się często znacznie ograniczonym zakresem ważności, a ich liczba i wzajemne powiązania utrudniają efektywną i jednoznaczną interpretację. Autor potrafił jednak wykorzystać przeprowadzone badania do znalezienia rozwiązania, czym dowiódł racjonalności idei stojącej za sformułowanym tematem i tezą pracy. **Mając to na uwadze należy stwierdzić, że zarówno podjęty problem badawczy, jak metoda i program badań, wreszcie uzyskane wyniki i ich sposób prezentacji dowodzą naukowej dojrzałości Doktoranta i zasługują na wysoką ocenę, szczególnie wobec znacznej oryginalności merytorycznej i metodologicznej pracy.**

Nie sposób pominąć jednak uwag krytycznych, z których część, szczególnie dotyczących strony technicznej monografii, w przypadku tak obszernej pracy, jest nieunikniona.

1. Tekst pracy zawiera liczne błędy językowe, zarówno w języku naukowym, jak też publikacyjnym języku polskim, co utrudnia właściwe zrozumienie myśli Autora. Charakteryzuje się dużym „stężeniem” literówek i błędów interpunkcyjnych.

2. Chciałoby się, aby to subiektywna ocena jakościowa opakowań była znaczącą przesłanką wyboru rozwiązania (parametrów technologicznych) – sądząc z ilości poświęconego jej miejsca, taka też była intencja Autora. Dlaczego zatem ocenie poddano butelki uformowane wstępnie? Dlaczego sposób zastąpienia oceny werbalnej liczbową wydaje się nie zachowywać relacji ocen jakości porównywanych elementów (tabele 25 i 26, 29 i 30, 33 i 34)? Jaki jest wreszcie cel i metodyka porównania ocen estetycznych uformowania butelek wstępnie rozdmuchanych i uzyskanych profili grubości butelek całkowicie rozdmuchanych (Rys.236 – 246)?

3. Autor powołuje się na użyteczność zasady brzytwy Ockhama, tymczasem wprowadzona w pracy „reparametryzacja” funkcji wpływu parametrów rozdmuchu na właściwości butelek (grubości profili) wydaje się tej zasadzie przeczyć. Wszak w prowadzonych badaniach i analizach można by zachować pierwotne współczynniki funkcji aproksymujących bez szkody dla jasności opisu i komentarza.

4. W analizie wpływu zmian warunków procesu na profil - analizowane przyczyny: ciśnienie wstępnego rozdmuchu, wysokość startu rozdmuchu WSR, prędkość pręta rozciągającego PP - analizę grubości ścianki butelki zastąpiono analizą parametrów funkcji aproksymujących oraz krzywych zmian tych parametrów. Wnioski formułowane na tym poziomie są niepewne i bardzo ogólne, jednocześnie ograniczona ich wartość wynika z szczególności obszaru i stanowiska badawczego.

5. Analiza wyników pomiarów dla serii D i E, dokonana na podstawie sporządzonych wykresów względnych współczynników podobieństwa (W.W.P.) pozwoliła Doktorantowi na wskazanie możliwości poprawy wydajności maszyny rozdmuchowej w drodze modyfikacji parametrów technologicznych w stosunku do przyjętych jako parametry odniesienia, charakteryzujące serię D1. Uznał to za weryfikację prawdziwości tezy pracy, choć, być może przez nieuwagę, w jej sformułowaniu nie uwzględnił serii odniesienia.

6. Nie wyjaśniony cel zamieszczenia i analizy tabeli 45. W jaki sposób koresponduje to z programem pracy oraz jej celem?