

Opinia

rozprawy doktorskiej mgr inż. Pawła Wawrzyniaka

pt. "Wpływ wybranych parametrów procesu rozdmuchiwania z jednoczesnym rozciąganiem na właściwości wytwarzanych pojemników PET"

opracowana przez prof. dr hab. inż. Stanisława Płaskę

(Katedra Automatyzacji Politechniki Lubelskiej)

sporządzona na zlecenie Dziekana Wydziału Mechanicznego Politechniki Gdańskiej

dr hab. inż. Marka Szkodo, prof. nadzw. PG, z dnia 21.03.2016 roku (L.dz. 44/WM/2016)

Charakterystyka rozprawy

Po analizie treści przedłożonej do zaopiniowania rozprawy doktorskiej Pana Pawła Wawrzyniaka, stwierdziłem, że praca ta zawiera zbyt wiele nieścisłości i uchybień w metodzie badań, które uniemożliwiły prawidłowe wnioskowanie i interpretowanie otrzymywanych wyników. Nie pozwoliło to, w mojej ocenie, na sformułowanie pozytywnej opinii dla rozprawy w takiej postaci. Z drugiej strony zaobserwowałem w przedstawionym opracowaniu bardzo duży nakład pracy doktoranta oraz próbę opisu i wyjaśnienia wielu zjawisk, które niestety nie wynikały z własnych badań, bazowały na analizie literatury, a ponadto nie były przedmiotem rozprawy.

W tej sytuacji przedstawiłem na piśmie moje szczegółowe uwagi doktorantowi oraz jego promotorowi Panu Waldemarowi Karaszewskiemu. Po przeprowadzonej dyskusji stwierdziliśmy konieczność wykonania badań uzupełniających dla uzyskania miarodajnych wyników umożliwiających jednoznaczne formułowanie wniosków poznawczych.

Opinia składa się z następujących części:

- A. Uwagi krytyczne oraz wskazówki dla usunięcia wad rozprawy przedłożonej do oceny - zlecenia poprawy,
- B. Ocena wyników zawartych w Aneksie uzupełniającym,
- C. Wnioski końcowe.

W mojej opinii przedstawiam uwagi krytyczne wraz ze wskaźnikami dla usunięcia wad przesłanej wersji pierwotnej rozprawy oraz ocenę wyników zawartych w Aneksie uzupełniającym.

Spis treści

A. Uwagi krytyczne oraz wskazówki dla usunięcia wad rozprawy przedłożonej do oceny - zlecenia poprawy.	3
1. Cel i zakres prac badawczych rozprawy.	3
2. Aktualność i znaczenie rozwiązywanego problemu.	3
3. Badania doświadczalne procesu SBM.	5
4. Program badań doświadczalnych procesu SBM.	5
5. Opracowanie wyników cząstkowych badań doświadczalnych.	6
5.1. Ocena zmienności lepkości istotnej w funkcji zmian prędkości rozciągania prętem.	6
5.2. Ocena stopnia krystaliczności tworzywa opakowań.	7
5.3. Ocena zmian właściwości mechanicznych opakowań PET w wynikach serii A, B, C.	7
5.4. Ocena zmiany grubości przekroju wzdłużnego - serie doświadczeń A, B i C oraz D i E.	8
6. Uwagi szczegółowe do rozprawy w wersji pierwotnej.	11
Strona tytułowa.	11
Opis rozprawy doktorskiej.	11
Rozdział 1 Wprowadzenie.	11
Rozdział 3 Cel i zakres pracy.	11
Rozdział 4 Własne badania eksperymentalne procesu SBM.	12
7. Wnioski.	18
B. Ocena wyników zawartych w Aneksie uzupełniającym.	19
1. Teza rozprawy i cel badań.	19
2. Metoda badań.	19
3. Wnioski poznawcze.	20
4. Uwagi krytyczne.	20
5. Potencjalne obszary dalszych badań.	21
C. Wnioski końcowe.	21

A. Uwagi krytyczne oraz wskazówki dla usunięcia wad rozprawy przedłożonej do oceny - zlecenia poprawy

1. Cel i zakres prac badawczych rozprawy

Celem badawczym rozprawy było zweryfikowanie hipotezy zakładającej możliwość zmniejszenia cyklu pracy maszyny rozdmuchowej przez ograniczenie **czasu fazy rozdmuchu wstępnego (T1)**, **zwiększenie szybkości przemieszczania pręta rozciągającego (PP)** oraz **zmniejszenie tzw. wysokości startu rozdmuchu (WSR)**, tak by wyprodukowane opakowania PET charakteryzowały się poprawnymi właściwościami i cechami jakościowymi (użytkowymi). Wynik ten ma przełożyć się bezpośrednio na zwiększenie wydajności produkcji opakowań wytwarzanych metodą SBM. Pośrednim celem rozprawy była także **ocena cech i właściwości materiału opakowań PET** ze względu na zmianę czynników badanych kojarzonych ze zmiennymi nastawczymi procesu rozdmuchu z jednoczesnym rozciąganiem (ang. SBM – Stretch Blow Moulding). W tym celu autor rozważa w swej pracy pięć doświadczeń technologicznych oznaczonych jako A, B, C, D i E. W szczególności, wyniki serii D zostały wykorzystane do weryfikacji tezy rozprawy. Wymienione serie doświadczeń, uwzględnione w nich czynniki badane oraz charakterystyki jakości procesu SBM wraz z wynikami pomiarów zostaną poddane dyskusji w dalszej części recenzji. Dodatkowym celem rozprawy, jawnie nie wymienionym w pkt 3. („Cel i zakres pracy”) pracy była ocena wydajności procesu SBM (pkt. 7.1), określenie sposobu dobierania nastaw procesu SMB (pkt. 7.2) oraz systematyka wiedzy technologicznej z zakresu badań nad procesem SBM (pkt. 8.2). W podsumowaniu rozprawy, zawartym w pkt. 9, autor wymienia ww. treści jako osiągnięcia rozprawy. Biorąc pod uwagę wyłącznie deklarowany cel, tezę i zakres badań opisany w pracy – informacje zawarte w punktach 7.2 oraz 8.2 wydają się być zbyteczne.

2. Aktualność i znaczenie rozwiązywanego problemu

Zwiększenie wydajności maszyny w procesie kształtowania rozdmuchowego z rozciąganiem (SBM) opakowań z PET, które ma być osiągnięte m.innymi przez zwiększenie prędkości pręta w rozpatrywanej technologii jest co najmniej problemem drugorzędym z następujących powodów:

- stosowana technologia uplastyczniania (za pomocą promieniowania podczerwonego) jest przestarzała i wychodzi z zastosowania,
- stosowane kształtowanie z dwustopniowym rozdmuchem jest również przestarzałe i także wychodzi z zastosowania,
- efekt uzyskany ze zwiększenia prędkości pręta rozciągającego będzie pomijalnie mały,

- niepoprawny dobór prędkości rozciągania w połączeniu z wyprzedzaniem ciśnienia wstępnego, na poziomie mniejszym niż 0,1s, prowadzi do znaczących wad opakowań dyskwalifikujących w praktyce takie próby (stwierdzam na podstawie własnych wieloletnich doświadczeń w przemyśle i udziale w nasuwaniu takich właśnie problemów).

Nowsza technologia to uplastycznianie z zastosowaniem promieniowania NIR lub też mikrofal oraz kształtowanie z tzw. kilkustopniowym profilem ciśnienia. Maksymalne pasmo absorpcji PET mieści się w przedziale 3000÷16000nm. Pasmo podczerwieni tradycyjnych promienników wynosi 1000÷1500nm. Zatem wnikanie tego promieniowania jest niewielkie i dominują procesy przewodzenia. Stąd znane problemy z przypalaniem, itp. Pasmo promieniowania NIR to 700÷1000nm. Promieniowanie to przenika przez materiał preformy. Bardzo duża gęstość promieniowania powoduje wydzielanie energii cieplnej jednocześnie w całej objętości materiału. Tak więc główną rolę odgrywa technologia uplastyczniania, a dokładniej tzw. przestrzenny profil temperatury (osiowy i promieniowy). Wskazana technologia umożliwia jednocześnie uplastycznianie w całej objętości preformy i skraca ten proces nawet kilkukrotnie a także umożliwia uplastycznianie preform dla dużych opakowań o grubych ściankach preformy. Mechanizmy przekazywania energii w obu technologiach są zupełnie inne oraz towarzyszą im inne zjawiska materiałowe (mikrokrystalizacja). Uplastycznione tworzywo za pomocą promieniowania NIR lub mikrofal, może być inaczej kształtowane - stąd rozdmuch z programową, kilkustopniową zmianą ciśnienia. Takiemu rozwiązaniu, w połączeniu z innym uplastycznianiem, towarzyszą inne przemiany materiałowe. Należy także zwrócić uwagę podczas badań na wielkości wynikowe testów. Poszukiwanie miar w postaci zmian właściwości materiału jest drogie, pracochłonne i w praktyce uniemożliwia zaobserwowanie zmian co stwierdził w swojej rozprawie doktorant. Próby wytrzymałościowe rozrywaniem, a nawet pomiar grubości ścianek opakowania, także nie wróżą sukcesu. Najprościej jest wykorzystać do oceny globalnej technologii stosowaną przez Katedrę Automatyzacji Politechniki Lubelskiej i innych próbę rozrywania ciśnieniowego.

Powracając do newralgicznego problemu uplastyczniania jakim jest przestrzenny rozkład temperatury w materiale preformy, to interesujące byłyby wyniki jakichkolwiek testów z tym związanych. Dalej uplastycznianie można wiązać z procesem kształtowania rozdmuchowego. Wyniki takich interakcji mogłyby być przydatne do sprawnego doboru nastaw maszyn podczas uruchamiania nowej produkcji lub też diagnozowania potencjalnych wad opakowań, tak by zapewnić wymaganą jakość na poziomie $C_{pk}=1,67$ oraz wypełnić wymogi GHP, GMP, HACCP, itp. w liniach rozlewowych przemysłu spożywczego.

3. Badania doświadczalne procesu SBM

W badaniach doświadczalnych nad procesem rozdmuchu SBM przeprowadzone w ramach eksperymentów o umownych symbolach A, B, C wykorzystano tzw. program badań jednoczynnikowych. We wszystkich doświadczeniach technologicznych badano zmienność wybranych właściwości mechanicznych, fizyko-chemicznych, przetwórczych tworzywa PET (lepkość istotną, stopień krystaliczności, budowę mikrostrukturalną i wiele innych – patrz: pkt.4.2 i dalsze) oraz profil grubości ścian opakowania w funkcji zmian: (seria A) prędkości pręta rozciągającego (PP), (seria B) wstępnego ciśnienia rozdmuchu (CRW), (seria C) położenia pręta rozciągającego względem ustalonego punktu odniesienia, w pracy określone mianem wysokości startu rozdmuchu (WSR). Dodatkowo, poprawność wyprodukowanych opakowań oceniano w sposób subiektywny (ocena z wykorzystaniem atrybutów).

W doświadczeniu weryfikującym tezę rozprawy (seria D) badano jednoczesny wpływ zmian dwóch czynników badanych: wysokości startu (rozpoczęcia) rozdmuchu (WSR) i czasu rozdmuchu wstępnego (CRW) na zmianę rozkładu grubości przekroju wzdłużnego opakowania PET, co warto podkreślić - bez badania innych cech opakowania, czy właściwości tworzywa PET.

Celem badań prowadzonych w ramach serii E było porównanie profilu grubości opakowań PET (mierzonego wzdłuż przekroju wzdłużnego), uzyskanych dla dwóch różnych kształtów formy rozdmuchowej. Zdaniem autora rozprawy, obydwa opakowania charakteryzowały się porównywalnymi współczynnikami kształtu. Na podstawie wyników pomiaru grubości zamierzano stwierdzić, czy wiedza technologiczna pozyskana we wcześniejszych próbach doświadczalnych może być wykorzystana do produkcji jakościowo poprawnych opakowań.

4. Program badań doświadczalnych procesu SBM

W przyjętym procesie badań rozpatrywano znacząco zawyżoną liczbę zmiennych. Problem rozważany w doktoracie z pewnością nie jest zagadnieniem 34-ro czy 45-cio wymiarowym (dyskusja na stronie 83). Kalkulacje przedstawione w tabeli 7 są przeprowadzone w sposób co najmniej arbitralny i wynikają z doraźnej potrzeby uzasadniania przyjętego w pracy schematu badań doświadczalnych (patrz: uwagi szczegółowe do strony 84 i dalszych). Nikt nie wymaga od autora pracy pełnego opisu matematycznego tak złożonego problemu technologicznego. Aby zweryfikować postawioną w pracy tezę, wystarczyłyby wyniki przybliżone. Nie jest to jednak główną wadą przyjętego programu badań.

Problem modelowania doświadczalnego procesu SMB powinien być usystematyzowany i

wstępnie zweryfikowany, co pozwoliłoby na redukcję prac doświadczalnych. Biorąc pod uwagę 34 układy doświadczalne rozważane w pracy doktorskiej, zasadny jest wybór planu doświadczalnego, który uwzględniałby jednocześnie pięć zmiennych nastawczych procesu. W efekcie nieznaną powierzchnię zmiennych wynikowych można byłoby przybliżyć modelem zawierającym człony kwadratowe, interakcji dwuczynnikowych oraz człony liniowe. Takie rozwiązanie umożliwiłoby weryfikację tezy rozprawy oraz pozwoliłoby na pozyskanie wiedzy na temat zmienności czynników wynikowych. Liczba układów doświadczalnych niezbędnych do przeprowadzenia eksperymentu wymagałaby, podobnie jak w przypadku recenzowanej pracy, mniejszej liczby ok. 27 układów oraz kilku (od 5-ciu do 7-miu) replikacji jednego z układów.

Przed wykonaniem zasadniczego doświadczenia, doktorant powinien przeprowadzić doświadczenie przeglądowe, którego celem byłoby ustalenie, które z tak dużej liczby zmiennych procesu są zmiennymi krytycznymi (zasadniczymi) z punktu widzenia prowadzonych badań. Plan doświadczalny umożliwiający tego rodzaju eksperyment poznawczy mógłby bazować na tzw. planie eliminacyjnym (Placketta-Burmana), w którym liczba układów doświadczalnych jest w przybliżeniu równa liczbie czynników badanych. W przypadku rozważanego w pracy problemu, liczba przytoczonych czynników (patrz strony: 82 i 252) jest przesadna, uniemożliwiająca prowadzenie badań doświadczalnych. Po wstępnej dyskusji możliwe byłoby przeprowadzenie efektywnego w sensie liczby układów doświadczalnych, eksperymentu przeglądowego, wyjaśniającego, które z rozważanych czynników są krytyczne ze względu na przyjęty aspekt badań.

5. Opracowanie wyników cząstkowych badań doświadczalnych

5.1. Ocena zmienności lepkości istotnej w funkcji zmian prędkości rozciągania prętem

Wbrew informacjom zawartym w pkt. 5.2, badanie doświadczalne oceniające zmienność lepkości istotnej zostało przeprowadzone jedynie dla wyników serii A i to dla czterech układów doświadczalnych (A5, A1, A2, A3). Próbkę poddane ocenie pobrano w jednego miejsca opakowania PET (tzw. pkt. 17 związanego z oceną profilu grubości opakowania). Autor nie wskazuje, czy próbki poddane badaniom zostały pobrane z jednego opakowania, czy też z pięciu różnych opakowań. Wyniki obliczeń zamieszczonych w tabeli 22 i rys.88 przedstawiają jedynie wartości średnie lepkości względnej i lepkości istotnej badanego tworzywa opakowania PET. Autor rozprawy nie wyznaczył błędów ww. wielkości, co uniemożliwia obiektywną ocenę ich zmienności systematycznej. Podobne uwagi dotyczą wyznaczonych mas cząsteczkowych.

W punkcie 6.1.1 autor przytacza dodatkowe informacje dotyczące badanych wielkości, lecz

odnoszą się one do czasu wypływu roztworu polimeru PET, a więc zmiennej pośredniej. Nawet gdyby uznać mierzony czas wypływu za pośredni wskaźnik oceny lepkości i powiązanych z nią innych wielkości (w tym mas cząsteczkowych), to komentarz zamieszczony na stronie 165, który odnosi się analizy ANOVA jest niepoprawnie sformułowany w sensie stwierdzeń związanych z weryfikacją hipotezy statystycznej i co więcej nie odpowiada wynikom przeprowadzonych testów. Jeżeli wierzyć wynikom przeprowadzonego testu wariancji, zamieszczonego w tabeli 38 (str. 166), należałoby wyciągnąć przeciwnie wnioski. Statystyce testowej F odpowiada wartość prawdopodobieństwa mniejsza od zakładanego poziomu istotności testu, stąd różnica w wartościach średnich pomiarów czasu wypływu jest statystycznie znamienna – to z kolei jest sprzeczne z wynikami prezentowanymi na załączonym wykresie. Gdzie leży prawda? Dodatkowo, dyskusja dopasowania postulowanych zależności analitycznych (funkcji liniowej, kwadratowej i logarytmicznej) wyrażających zmienność średnich mas cząsteczkowych oraz lepkości istotnej nie zawiera jakiejkolwiek analizy statystycznej otrzymanych równań regresji. Wszystkie równania regresji zostały prawdopodobnie wyznaczone wyłącznie na podstawie czterech wartości średnich, bez odniesienia się do zmienności losowej pomiaru.

5.2. Ocena stopnia krystaliczności tworzywa opakowań

Badania doświadczalne oceny stopnia krystaliczności tworzywa opakowania uzyskanego w serii C3, uznanej przez autora jako seria referencyjna, są obarczone bardzo dużym błędem związanym z występowaniem wartości odstającej ($C3 - 5$, $X_m = 13,95$) i nie mogą być wykorzystane nawet w poglądowej ocenie wyników pomiarów stopnia krystaliczności w pozostałych seriach A i B. Z uwagi na brak oszacowania błędu przypadkowego pomiarów uzyskanych w poszczególnych układach doświadczalnych serii A, B, C, statystyczna ocena wyników stopnia krystalizacji przedstawiona w tabelach 24, 28 oraz 32 i na rysunkach rys. 101, rys. 126 oraz rys 151 jest bezpodstawna. Obszerny komentarz przedstawiony w punkcie 6.1.2 rozprawy jest bezprzedmiotowy. Jest rzeczą niezrozumiałą, dlaczego pomimo stwierdzenia wielu nieprawidłowości w pomiarze stopnia krystaliczności, autor zamieszcza nic nie znaczące modele regresji.

5.3. Ocena zmian właściwości mechanicznych opakowań PET w wynikach serii A, B, C

Wnioski przedstawione w pkt. 6.1.4 odnoszone do zmienności właściwości mechanicznych pod wpływem zmian czynników badanych rozważanych w seriach A, B, C, a więc odpowiednio do prędkości pręta rozciągającego proformę (PP), ciśnienia rozdmuchu wstępnego (CRW) oraz tzw. wysokości startu rozdmuchu (WSR) nie mają żadnego poparcia w statystycznym opracowaniu wyników pomiarów. **Pomimo dostatecznej liczby pomiarów właściwości mechanicznych próbek opakowań, nie przeprowadzono analizy wariancji stosowanej do oceny wyników**

eksperymentów jednoczynnikowych. Wnioski wyciągane w pkt. 6.1.5, dotyczące korelacji między stopniem krystaliczności, a właściwościami mechanicznymi, nie mają żadnego uzasadnienia w statystycznym opracowaniu wyników pomiarów. Tak jak w wielu innych miejscach rozprawy, autor opisuje jedynie to co widzi na sporządzonych rysunkach.

Zasadne wydaje się być w tym miejscu pytanie, w jakim celu zostały zamieszczone podane w rozprawie wyniki badań doświadczalnych nad stopniem krystaliczności, czy też nad właściwościami mechanicznymi tworzywa opakowań - skoro nic z nich praktycznie nie wynika ? Jedynym z wyników, który można w tej części rozprawy obronić, to degradacja tworzywa wywołana prętem rozciągającym i/lub ciśnieniem rozdmuchu, tego efektu również nie wykazano stosowną analizą statystyczną.

5.4. Ocena zmiany grubości przekroju wzdłużnego - serie doświadczeń A, B i C oraz D i E

Problem z obiektywną oceną zmian przekroju wzdłużnego opakowań polega na tym, że autor w żadnym miejscu rozprawy nie wspomina jakiej wielkości zmiany w grubości przekroju opakowania należy uznać jako zmiany znaczące (praktyczne) z punktu widzenia prowadzonych badań. Dobierając właściwy przyrząd pomiarowy (metodę pomiaru) oraz przyjmując stosowną liczbę powtórzeń eksperymentu, możliwe jest wykazanie każdej – nawet zupełnie nieznaczącej zmiany mierzonej wielkości, w tym przypadku, zmiany grubości przekroju wzdłużnego opakowania.

W przedstawionych wynikach pomiarów grubości, rozdzielczość przyrządu pomiarowego, którym posługiwał się doktorant mierząc grubość warstw tworzywa wynosiła 0,01 mm. Tę charakterystykę przyrządu pomiarowego doktorant niesłusznie i potocznie nazywa mianem dokładności. Ważną rzeczą jest by spostrzec, że efekty zmian grubości przekrojów (wywołane przez oddziaływanie zmiennych kontrolowanych), mierzone w wielu miejscach opakowania wynoszą od 0,02 do 0,05 mm (punkty pomiarowe od 3 do 22 - patrz: rys. 103 na którym przedstawiono wyniki serii A, lub rysunki rys. 128 i rys. 159 – odpowiednio seria B i C). Niepisana zasada doświadczalnictwa orzeka, że do wykrycia efektu zmian dowolnej mierzalnej wielkości należy użyć przyrządu pomiarowego, którego rozdzielczość pomiarowa jest o rząd wielkości większa od efektu, który zamierza się wykryć. Wówczas zasadne jest pominięcie w dyskusji błędu nieoznaczoności wynikającej z metody pomiaru (tu: przyrządu pomiarowego). Jeżeli błąd pomiaru jest porównywalny z błędem losowym (zmiennością losową), wówczas te dwie składowe błędów, o ile są niezależne, należy zsumować w sensie sumy ich wariancji. Bardziej asekuracyjnym podejściem jest bezpośrednia suma tych błędów. W przypadku pomiarów przedstawionych w rozprawie dokładność przyrządu pomiarowego jest zbliżona do efektu zmian jakie są przedstawione na rysunkach rys. 103, 128 i 159. W konsekwencji prowadzi to do wyników/problemów przedstawionych na większości rysunków od

rys. 203 do rys. 219. Autor stara się dopasować do wyników równanie prostej lub wielomianu drugiego stopnia lecz, jak pokazują to wyniki, większość modeli regresji jest nieadekwatna. Najprawdopodobniej powodem takiego stanu rzeczy jest to, że zmienność losowa pomiarów jest większa od zmian systematycznych grubości mierzonego przekroju, wywołanych zmianami czynników badanych (lub bardziej prawdopodobne: czynnikami niekontrolowanymi występującymi podczas fazy uplastyczniania preformy).

O ile wyniki badań zmian grubości przekroju opakowań przedstawione w pracy mają jakiegokolwiek znaczenie praktyczne, a pomiary grubości przekroju zostały poprawnie wykonane, zmiany te powinny być poparte stosownym opracowaniem statystycznym. Wprawdzie autor podejmuje próbę oceny modeli wariancji eksperymentów jednoczynnikowych wykonanych w seriach pomiarów A, B, C, lecz wyniki te (wraz z komentarzami) nie są przekonujące. Dużym problemem okazały się bowiem analizy weryfikujące jednorodność wariancji oraz zgodność rozkładu reszt modelu wariancji z rozkładem normalnym. Autor nie przedstawia szczegółowych wyników tych analiz, zamieszcza jedynie poglądowe rysunki przedstawiające wyniki testów statystycznych, stąd jest rzeczą trudną, by obiektywnie ocenić ich prawidłowość. Jeżeli testy parametryczne, na które powołuje się autor okazały się być w większości przypadków niezasadne, problem należało rozstrzygnąć stosując testy nieparametryczne, a nie argumentować tym, że testy nieparametryczne charakteryzują się niższą mocą wobec testów parametrycznych. Planując doświadczenie liczność powtórzeń układów doświadczalnych powinno dobierać się tak, by przy zakładanym efekcie zmian czynnika wynikowego (mierzonej wielkości), różnica w obserwowanych wartościach średnich była wykryta z zakładaną mocą testu statystycznego, o ile oczywiście efekt o którym mowa faktycznie występuje. Problemem w tym przypadku nie są testy statystyczne, lecz właściwe zaplanowanie badań doświadczalnych.

Jeżeli faktycznie, pomiary grubości profilu opakowania są rozróżnialne z punktu widzenia obserwowanych zmian losowych, wówczas zasadne jest dopasowanie równania regresji, aproksymującej zmienność systematyczną. Co więcej, każdą zależność regresji należy wówczas opracować statystycznie przedstawiając ocenę statystyczną współczynników równania regresji (testy cząstkowe). Z uwagi na bardzo dużą liczbę obserwacji przeprowadzonych w ramach serii A, B, C (oraz D i E, w których także rozważano profil zmian grubości tworzywa opakowania) zadanie wymaga wyznaczenia i statystycznego opracowania $((3 \cdot 34 = 102) + (2 \cdot 34 = 68))$ – ok. 170 modeli regresji. Autor zamieszcza na rysunkach wartości obliczonych współczynników regresji prostej i wielomianowej oraz współczynniki dobroci dopasowania (R^2). To zadanie wydaje się być tym bardziej zastanawiające, gdyż jak już wcześniej stwierdzono, próba statystycznego opracowania wyników doświadczeń serii A, B, C (oraz D i E) w większości tzw. punktów pomiarowych nie

wykazała zmian grubości przekroju wzdłużnego opakowania (w tzw. części etykietowej butelki).

Jaki jest sens praktyczny prowadzenia tego rodzaju badań doświadczalnych? Czy zaobserwowany efekt zmian grubości tworzywa jest mierzalny, czy też jest tylko efektem zmian losowych procesu SBM? Jaki efekt zmian grubości tworzywa powinien być uznawany za wynik praktyczny? Zasadna jest odpowiedź na te pytania.

Bardzo podobne uwagi dotyczą serii doświadczalnych D i E. W tym przypadku doktorant rozważa doświadczenie wykorzystujące plan dwuczynnikowy (seria D). Wyniki pomiarów dotyczą w tym przypadku jedynie pomiarów grubości tworzywa opakowania PET. Zamiarem tego doświadczenia było wykrycie efektów krzyżowych (interakcji dwuczynnikowych) obrazujących efekt wspomagania zmiennych: prędkości pręta (PP) oraz czasu przełączenia rozdmuchu. W kilku miejscach rozprawy, autor stwierdza, że m.in. te dwie wielkości wywierają łączny wpływ na przebieg procesu rozdmuchu. Opracowanie statystyczne wyników tego eksperymentu pozostawia wiele do życzenia. Zamiast oszacowania efektu interakcji, autor dzieli układy doświadczalne eksperymentu na plany jednoczynnikowe odnoszone do zmienności każdej zmiennej z osobna. Takie podejście jest sprzeczne z głównym celem tego eksperymentu. Dodatkowo, co warto zauważyć, niektóre z układów doświadczalnych charakteryzują się bardzo podobnymi wartościami nastaw jednego z czynników badanych: wstępnego czasu rozdmuchu. Wartości tych nastaw, które wynosiły odpowiednio: 0.13 s oraz 0.15 s, są do siebie na tyle zbliżone, że można byłoby się zastanowić, czy układy wykonawcze urządzenia są w stanie powtarzalnie odtworzyć zadane wartości załączenia czasów zaworów. Po drugie, nawet gdyby ten warunek był spełniony, czy procesy zachodzące w trakcie rozdmuchu (rozciągania preformy) będą wykazywać zdecydowane zróżnicowanie, tak by można było zaobserwować zmiany we właściwościach opakowań PET. Wydaje się, że nie taki był cel tego doświadczenia. W zasadzie trzy układy doświadczalne tego eksperymentu spośród dziewięciu wydają się być zbędne.

Porównując ze sobą wyniki uzyskane w niektórych układach doświadczalnych, autor proponuje wykorzystanie tzw. względnych różnic (WR) i współczynnika podobieństwa (WP) przedstawiających względne zmiany cech opakowania (np. grubości przekroju opakowania) obliczane na podstawie wielu wyników pomiarów. **Wyniki te nie zostały opracowane ze względu na błąd pomiaru mierzonych wielkości. Skoro sumowaniu poddano bardzo dużą liczbę wyników obserwacji, sumowaniu powinna być także poddawana nieoznaczoność pomiaru. Autor powinien przedyskutować jaki ma to wpływ na interpretację wyników badań.**

Podsumowując, wyniki opracowań badań doświadczalnych wymagają korekty, a wnioski sformułowane na ich podstawie powinny być poddane obiektywnej dyskusji.

6. Uwagi szczegółowe do rozprawy w wersji pierwotnej

Strona tytułowa:

Niejednoznaczność przekładu tytułu pracy na język angielskim;

Sformułowanie „parametry procesu” - parametry procesu z założenia nie wywołują żadnych zmian - ??? we właściwościach produktów;

Opis rozprawy doktorskiej

strona III

Akpt. 1 kolokwializm „...Do dnia dzisiejszego..”;

Akpt. 2 nieznajomość słowa "Metodologia" - winno być: "Metodyka" ;

Akpt. 2 regresja wielomianowa zalicza się do regresji liniowej. Autor ma zapewne na myśli regresję prostą;

Akpt. 3 Teza rozprawy jest wątpliwa do zweryfikowania. Uzyskany efekt skrócenia czasu cyklu jest najprawdopodobniej niepraktyczny;

Akpt. 4 Błędne sformułowanie „wpływ prędkości pręta rozciągającego...”;

Autor pracy rozmija się z deklaracjami przedstawionymi w tezie, celu i zakresu pracy !!!

Rozdział 1. Wprowadzenie

strona 8

Liczne błędy językowe, stylistyczne, interpunkcyjne i znaczeniowe (merytoryczne) – uwagi zaznaczono na marginesie tekstu;

Rozdział 2. Brak uwag

Rozdział 3. Cel i zakres pracy

strona 81

Akpt. 4 Twierdzenie zawarte w tezie jest oczywiste. Ograniczając czas, zwiększając prędkość pręta rozciągającego i zmniejszając drogę – osiągnie się efekt skrócenia cyklu pracy. Na czym wg autora polega odkrywczość tej tezy ? O ile należy zmniejszyć czas cyklu, aby miało to znaczenie praktyczne

– o tym nie wspomniano. Jaki jest punkt odniesienia, wg którego ocenia się redukcję czasu cyklu? Pojęcie WSR powinno być wcześniej zdefiniowane, a dopiero później użyte do sformułowania tezy. Jak należy rozumieć sformułowanie: „porównywalne kształty butelek”;

Akpt. 8 Autor po raz kolejny, niepotrzebnie przedstawia plany przyszłych badań. Nie ma to związku z rozprawą. Akapit zawiera kolokwializmy i niepoprawne sformułowania typu: „(...) możliwe przeniesienie procesu SBM do symulacji komputerowej;

Rozdział 4. Własne badania eksperymentalne procesu SBM

strona 82

Akpt. 1 Kolokwializmy i błędy językowe zaznaczone w tekście rozprawy;

Akpt. 2 Informacje nie związane z treścią pracy;

Akpt. 3 Przytoczono bardzo dużą liczbę zmiennych procesu SBM, lecz nie przedyskutowano, które z nich są krytyczne z punktu widzenia prowadzonych badań. Niektóre z czynników wydają się być dyskusyjne np. właściwości cieplne (zmienne nr 15 – 19) materiałów konstrukcyjnych zaworów, pręta i inne. Wiadomą rzeczą jest, że w przypadku procesu cyklicznego, z którym mamy tu do czynienia, stan termodynamiczny tych materiałów osiągnie równowagę i nie będą miały dalszego wpływu na przebieg procesu rozdmuchu. Podobną dyskusję można przeprowadzić w odniesieniu do innych zmiennych. Autor powinien zredukować ich liczbę do kilku krytycznych w wyniku wstępnej selekcji zasadniczych czynników wpływających na przebieg rozdmuchu. Liczba tych czynników powinna umożliwić przeprowadzenie badań przeglądowych, po czym powinno nastąpić wytypowanie wyłącznie czynników zasadniczych, istotnych z punktu widzenia prac nad rozprawą (patrz: dalsze uwagi do strony 84 akpt. 2). Zmienne o numerach 34 – 45, odnoszone do procesu wtryskiwania, nie mają bezpośredniego związku z prowadzonymi badaniami. Autor powinien jedynie zapewnić/stwierdzić, czy preformy używane do rozdmuchu są jednorodne ze względu na skład i badane właściwości/cechy opakowań.

Strona 83

Uwagi do rysunku nr 42

Punkt pomiarowy to potoczne określenie układu doświadczalnego. W przeciwieństwie do intencji autora, rysunek nie wyjaśnia czym jest efekt krzyżowy. Problem przedstawiony na rysunku jest nadmiernie wyolbrzymiony, i co najważniejsze niepraktyczny tj. nierealizowalny.

Strona 84

Akpt. 1 Niepoprawne sformułowanie: „efekt krzyżowy pomiaru” - kolokwializm lub brak

wyobrażenia, czym jest efekt krzyżowy.

Akpt. 2 Komentarz do tabeli 7 wraz z jej zawartością, to tylko próba ominięcia problemu badań wieloczynnikowych. Nie powinno rozważać się poważnie informacji przedstawionych w tabeli 7. Dla przykładu, aby wykryć efekt interakcji dwuczynnikowych, określany w pracy jako efekt krzyżowy, wystarczy rozważyć plan dwuwartościowy, a nie jak sugeruje to autor pracy – siedmiowartościowy. Różnica w obydwu podejściach jest zasadnicza. Dla przykładu, w przypadku maksymalnej, liczby 9 zmiennych rozważanych w tabeli, autor wymienia liczbę $9^7 = 40353607$ układów doświadczalnych (odnosząc do sformułowania zawartego w pracy tzw. „liczbę serii”). Stosując plan dwuwartościowy dziewięcioczynnikowy ułamkowy (frakcyjny), możliwe jest wykrycie (oszacowanie) zarówno efektów głównych jak i efektów interakcji (efektu krzyżowego) wykorzystując jedynie $2^{9-3} = 64$ układów doświadczalnych (czytaj: kombinacji poziomów zmienności czynników uwzględnionych w planie doświadczalnym). Co więcej, przyjmując dodatkowe założenia, liczba układów doświadczalnych może nawet zostać zmniejszona o połowę – do 32. To jest drastyczna różnica. W praktyce, umożliwia to stosowanie w badaniach doświadczalnych efektywnych planów wieloczynnikowych. W rozważanym przypadku, jednocześnie aż dla dziewięciu czynników. Dla danych zawartych w tabeli 7, taki plan badań można zrealizować w przybliżeniu w czasie jednego miesiąca - a nie jak sądzi autor pracy - w okresie 126 tysięcy lat. Tabela 7 zamieszczona na stronie 84 doktoratu nie jest żadnym argumentem, czy usprawiedliwieniem przemawiającym za odstępieniem od jednoczesnego badania dużej liczby czynników – tj. zmiennych nastawczych lub zmiennych konstrukcyjnych (prototypowych) procesu SBM. Co jest rzeczą paradoksalną, nieintuicyjną, jednoczesne uwzględnienie w badaniach wielu czynników znacząco zwiększa efektywność wykonywanych prac doświadczalnych.

W recenzowanej pracy doktorskiej zdecydowano się na wykonanie trzech doświadczeń jednoczynnikowych (serie A, B, C, E) i jednego planu badań dwuczynnikowych (seria D). Z opisu wyników doświadczeń wynika, że serie badań A, B, C, D i E, to pięć niezależnych doświadczeń. W wymienionych seriach łącznie zrealizowano/badano 34 układów doświadczalnych (oraz towarzyszących im replikacji). Była to wystarczająca liczba układów doświadczalnych dla wykonania eksperymentu wg poprawnego planu wieloczynnikowego.

Strona 85

Dlaczego w każdej serii autor rozważa dwa warianty doświadczenia: bez rozdmuchu wstępnego i z rozdmuchem wstępnym? Gdzie są wyniki z pierwszego wariantu doświadczenia (czyżby tylko fotografie)? W tym wariantcie (i w pozostałych) niektóre próby okazały się być nie technologiczne. Dlaczego je analizowano w pracy?

Strona 87

Akpt. 1 Autor nieprecyzyjnie określa liczbę powtórzeń układów doświadczalnych w poszczególnych seriach (doświadczeniach); w rzeczywistości autor ma na myśli powtórzenia układów doświadczalnych;

Akpt. Dyskusja zmiennej procesu WSR. Wydaje się, że ta zmienna procesu jest zmienną niezależną, a nie jak sugeruje autor zmienną uwikłaną;

Strona 88

Akpt. 1 Autor jawnie stwierdza, że zmienne WSR, ciśnienie rozdmuchu oraz prędkość przemieszczania pręta wchodzi ze sobą we wzajemne interakcje. Jeżeli tak, przyjęte plany badań jednoczynnikowych z definicji nie pozwolą na pełny opis współdziałań między czynnikami; W pracy powinny być zastosowane inne plany badań wieloczynnikowych;

Strona 89

Plan doświadczenia zestawiający wartości czynników przedstawia sobą dwuczynnikowy program badań doświadczalnych, lecz nie jest to plan standardowy (ortogonalny). Zastanawiające jest to, czy przyjęte nastawy wartości zmiennych pozwolą na odtworzenie układów doświadczalnych. O ile wartości nastaw zmiennej WSR są do zaakceptowania, o tyle czasy rozdmuchu wstępnego różnią się odpowiednio o 0,03 i 0,02 s. Czy układy wykonawcze urządzenia odtworzą takie nastawy? Po drugie, czy tak krótkie okresy pierwszej fazy rozdmuchu będą wprowadzać zróżnicowanie widoczne w wartościach pomiarów zmiennych wynikowych?

Czynnikiem wynikowym jest jedynie grubość przekroju wzdłużnego opakowania !!! Bez badania innych cech i właściwości tworzywa. Nie koresponduje to z tezą rozprawy. Jak autor zamierza wykazać, że dobrane nastawy procesu odpowiadają poprawnym właściwościom opakowania ???

Zweryfikować wyniki serii D. Czy grubość opakowania PET jest jedynym kryterium jego oceny ??

Uwaga na serię E. Tutaj autor dobiera nastawy zmiennych procesu na podstawie wyników eksperymentów jednoczynnikowych. Jak sam stwierdza, zmienne nastawcze wchodzi ze sobą w skomplikowane interakcje. Ten plan tego problemu nie wyjaśnia.

Strona 90

Akpt. 1 Podobna uwaga dotyczy planu doświadczenia – serii E. W tym przypadku plan doświadczenia zupełnie odbiega od jakichkolwiek standardów. Wartości szybkości przemieszczania w układach doświadczalnych różnią się są nieznacznie. Czy takie doświadczenie ma sens ?

Strona 91

Akpt. 3 Ten rozdział pracy powinien nosić nazwę „Metody pomiaru zmiennych wynikowych”. Jak wymienione właściwości tworzywa (zmiennie wynikowe) mają się do jakości opakowań (butelek), tego niestety autor rozprawy nie dyskutuje w tym miejscu, a dla porządku rzeczy powinien. Być może te informacje znajdują się w innej części pracy.

Strona 94

Akpt. 1 Wartość średnią pomiaru oblicza się w przypadku oszacowania wielkości, która podlega zakłóceniom losowym, a nie systematycznym jak to pokazano na rys. 49, o ile dobrze odczytano intencje autora rozprawy.

Akpt. 3 Zdanie nie mające żadnego uzasadnienia w metodyce opracowania wyników doświadczeń: „W analizie wyników pomiarów mechanicznych nie zostanie użyty błąd standardowy, ponieważ dla próby większej od 4 (...) niepewność pomiaru mierzona na gruncie błędu standardowego jest niższa od odchylenia standardowego”. Błąd standardowy, czyli błąd oszacowania średniej jest z definicji zawsze niższy od odchylenia standardowego. Dyskusja przedstawiona w rozdziale 5.3.2, na którą powołuje się autor rozprawy jest zupełnie pozbawiona jakiegokolwiek sensu, a w szczególności rysunki 193 i 194. Przedstawiona dyskusja błędu jest zbędna, a problem jest położony w zupełnie innym miejscu.

Strony 98 - 101

Dyskusja pomiaru profilu grubości ścianek butelki wymaga wyjaśnienia, w szczególności jak możliwe jest wykorzystanie odchylenia standardowego do opisu zmian rozkładu tworzywa wzdłuż obwodu butelki. Tu jest potrzeby komentarz autora rozprawy; Intencje są zupełnie niezrozumiałe.

Strony 102 – 106

Arbitralne i dyskusyjne wskaźniki opisujące zmianę wartości zmiennych wynikowych wzdłuż wybranych profili przekroju (wzdłużnego) butelki. Zastanowić się nad ich sensem, gdyż na ich podstawie autor interpretuje wyniki analiz, w tym oblicza statystyki i zgodność dopasowania. Co więcej w definicji wskaźnika WP (21) brakuje uśredniania, o którym mowa w treści rozprawy. Z kolei wskaźnik WR (21) jest obliczany w sposób arbitralny.

Strona 109- 118

Wyniki zamieszczone na rysunkach 67 – 83 powinny być wnikliwie przedyskutowane (patrz: strony 98 – 101) – wykorzystanie odchylenia standardowego do oceny rozkładu grubości butelek;

Strona 118 - 119

Tabela 22 - Brak analizy przenoszenia błędów i oceny wyników pomiarów pośrednich lepkości; Bez tej dyskusji nie można wyciągnąć dalszych wniosków dotyczących uzyskanych pomiarów.

Autor stwierdza, że badania lepkości istotnej zostały wykonane dla wszystkich serii doświadczalnych A, B i C, a z treści pracy wynika, że takie badania wykonano jedynie dla serii A.

„Pomiarów parametrów mechanicznych i stopnia krystaliczności jest za mało, aby można było wyciągnąć jakiś uogólniający wniosek.” - dosłowny cytat z doktoratu.

Strony 121 – 152

Dyskusja wyników pomiarów – ta część wymaga wnikliwej dyskusji (!!!)

Strony 153 – 162

Autor przedstawia swój własny, oryginalny pogląd na metody statystyczne wykorzystywane w pracy. Ta część rozprawy pokazuje zupełny brak refleksji nad statystycznymi metodami opracowania wyników doświadczeń. Liczne, błędne sformułowania. Oto niektóre z twierdzeń autora rozprawy:

Strona 153

Akpt. 1 Zawiera treści powszechnie znane, ale sposób ich przedstawienia przez autora jest dyskusyjny;

Akpt. 2 Zawiera stwierdzenia popularne lecz w ogólnym przypadku nieprawdziwe. Źródło, które przytacza autor nie jest pozycją referencyjną.

Akpt. 3 Autor myli lub upraszcza pojęcia wykorzystywane w testach statystycznych: cyt. „(...) Wskaźnikiem przedziału ufności jest współczynnik istotności (...)”. To cytowane zdanie i kolejne są zupełnie pozbawione jakiegokolwiek sensu.

Tabela 36 na którą powołuje się autor jest również dyskusyjna i wymaga dalszych wyjaśnień; W przypadku analizy ANOVA założenie normalności rozkładu i jednorodności wariancji nie jest aż tak rygorystyczne. Mogą tu wystąpić odstępstwa od tego warunku. W skrajnych przypadkach wykorzystuje się testy nieparametryczne.

Strona 154-158

Rysunki zamieszczone na rysunkach 188 – 191 nie zawierają oryginalnych wyników, są zbędne i wynikają z błędnego zrozumienia założeń analizy ANOVA. Zbyteczne jest badanie normalności rozkładu w poszczególnych układach doświadczalnych. Po pierwsze, w przypadku tych danych jest to niemożliwe do wykonania (o ile dobrze odebrano intencje autora), a po drugie weryfikacja normalności rozkładu powinna odnosić się do łącznych różnic pomiędzy obserwacjami a wartościami

modelu ANOVA (!!!). Podejście reprezentowane przez autora rozprawy jest błędne.

Autor powinien przedstawić wyniki analiz w postaci tabeli ANOVA, w tym zamieszczając wyniki weryfikacji hipotez w postaci statystyk i odpowiadających im wartości prawdopodobieństwa. Podobnie, wyniki pomiarów uzyskane w poszczególnych układach doświadczalnych powinny być przedstawione/porównane na standardowych wykresach box-plot, co umożliwiłoby czytelnikowi bezpośrednie odniesienie się do wyników.

Strony 156 – 157

Informacje przytoczone w treści i na rysunkach są wysoce kontrowersyjne, a konkluzje błędne. Treści odnoszone do analizy wyników doświadczeń (ANOVA) są nieprawdziwe !!! Tam gdzie było to uzasadnione powinna być przeprowadzona analiza ANOVA w wariancie nieparametrycznym.

Podobnie, nieprawdą jest, że efekt krzyżowy zaburza wnioskowanie statystyczne. W tym przypadku należy przeprowadzić analizę ANOVA w wariancie wieloczynnikowym. Treści zawarte w tej części pracy są WYSOKO KONTROWERSYJNE.

Strony 167 – 195

Akpt. 1 ????

Do wyników uzyskanych z pomiarów zmiennych wynikowych autor rozprawy przeprowadza procedurę dopasowania modeli regresji, postulując trzy funkcje: liniową, wielomianową (wielomian drugiego stopnia) oraz funkcję logarytmiczną. Za kryterium dopasowania autor przyjmuje współczynnik determinacji. Dodatkowo, autor wprowadza do analizy danych oraz interpretacji wyników dopasowania trzy współczynniki opisujące właściwości zmian dopasowanych funkcji. Wszystkie te zabiegi wydają się być niepotrzebne. Autor jest bowiem zainteresowany zmianami jakościowymi - a nie ilościowymi. Zaproponowane współczynniki są obliczane na podstawie danych eksperymentalnych i są obciążone błędami losowymi oraz błędami wynikającymi z niezgodności dopasowania. Innymi słowy, zamiast niepotrzebnie komplikować interpretację wyników doświadczeń, autor powinien przeprowadzić analizę wariancji wykazującą (bądź nie) zróżnicowanie wartości zmian czynników wynikowych, a następnie przeprowadzić testy post-hoc i na tej podstawie ocenić badane tendencje zmian.

Innym istotnym problemem związanym ze współczynnikami regresji jest brak oceny ich błędu (lub przytoczenia przedziału ufności ich oszacowania !!!). Ocena zgodności dopasowania modeli na podstawie współczynnika R^2 faworyzuje wybór funkcji kwadratowej - z uwagi na większą liczbę członów regresji (przez to wyższa wartość współczynnika). Funkcja wielomianowa praktycznie zawsze będzie lepiej dopasowana do danych doświadczalnych niż funkcja liniowa. **Autor powinien**

poddać analizie statystycznej poszczególne modele regresji i na tej podstawie ocenić, czy zasadne jest przyjęcie postulowanej funkcji regresji. Zauważalny brak testów statystycznych adekwatności dopasowania na podstawie których możliwa byłaby ocena zgodności dopasowania. Bez tej oceny może okazać się, że wartości niektórych współczynników są zbieżne z błędem modelu.

Zastanowić się nad funkcją podobieństwa - str. 105 i 106 !!! Wydaje się, że oszacowany błąd tych współczynników (przenoszenie błędów) będzie o wiele wyższy niż efekt różnic !!!

Strona 175

Większość dyskusji wyników opiera się na ocenie wzrokowej, a nie na podstawie liczb (współczynniki korelacji). Niektóre wnioski (pkt, 6.2.1) są nieprawidłowe – jednorodność grubości butelki. Wyniki badań są uzależnione od kształtu butelki !!!

Strona 185

Akpt. 2 Analiza Pareto !!! Zmiana parametru (zmiennej niezależnej) nie jest ani liniowa ani paraboliczna. To sformułowanie nie ma sensu.

Strona 188

Dyskusja zmienności współczynników dopasowania krzywych w funkcji położenia punktu pomiarowego.

Strona 203

Pkt. 6.3.1 Akpt. 1 Wbrew twierdzeniu autora, w serii D zamierzano, lecz nie analizowano efektów krzyżowych (współdziałań dwuczynnikowych), przez co wyników doświadczenia nie poddano interpretacji.

7. Wnioski

1. Przedstawiony program badań jest nadmiernie rozbudowany i zawiera zasadnicze usterki metodyczne uniemożliwiające poprawne wnioskowanie. Zamieszczone metody statystyczne wspomagające wnioskowanie również zawierają poważne wady, uniemożliwiające uznanie formułowanych wniosków za poprawne.
2. Otrzymane wyniki można uznać za wstępne, o charakterze co najwyżej jakościowym.
3. Należy ponownie rozważyć zakres programu badań, przejść wieloczynnikowy plan badań oraz powtórzyć eksperymenty.

4. Opracować otrzymane wyniki ze szczególnym zwróceniem uwagi na stosowanie poprawnych metod wnioskowania statycznego.
5. Dokonać interpretacji otrzymanych wyników.

B. Ocena wyników zawartych w Aneksie uzupełniającym

1. Teza rozprawy i cel badań

Zweryfikowana teza rozprawy została sformułowana następująco: "właściwości wytrzymałościowe opakowań z PET zależą od: tzw. profilu przestrzennego temperatury w uplastycznianej preformie, prędkości pręta rozciągającego preformę, tzw. wysokości startu rozdmuchu oraz ciśnienia rozdmuchu wstępnego".

Przedstawiona teza jest sformułowana poprawnie, i jednocześnie określa cel badań. Tym celem jest określenie zależności między wybranymi czynnikami zapisanymi w tezie, tj. zmiennymi nastawczymi procesu SBM, oraz charakterystykami wynikowymi procesu. Tymi charakterystykami są: grubość ścianki opakowania, wartości ciśnień niszczących opakowania oraz miejsca (strefy) zniszczenia opakowania.

W wersji pierwszej rozprawy, której wybrane wyniki zostały potraktowane jako wstępne ze względu na ich przekrojowy (jednoczynnikowy) charakter, doktorant wielokrotnie formułował na podstawie uzyskiwanych wyników przypuszczenie, że efekty współczynników dwu lub wielowymiarowych, mają w tym procesie zasadnicze znaczenie na kształtowanie się właściwości opakowań PET. Pierwotnie wyniki uniemożliwiały wykazanie słuszności tych przypuszczeń.

2. Metoda badań

W celu wykazania słuszności sformułowanej w Aneksie tezy doktorant opracował program badań bazujący na kompletnym, dwuwartościowym, wielowymiarowym planie badań doświadczalnych. Program ten (w odróżnieniu od wcześniejszego planu pseudo dwuczynnikowego) jest stosowny do postawionego problemu. Uzyskane wyniki umożliwiły oszacowanie efektów głównych i interakcji (dwuczynnikowych i jednej trójczynnikowej), których występowanie zakładał doktorant w tezie rozprawy. Taki poprawy model doktorant uzyskał w eksperymencie o "wyższej mocy lamp grzewczych". Pewną wadą tego eksperymentu jest przyjęcie liczby powtórzeń wynoszącej 2. Liczba ta powinna być określona na podstawie oczekiwanego prawdopodobieństwa wyniku. Ponadto doktorant nie scharakteryzował metody selekcji wyników pomiarowych, która w tym przypadku powinna wykorzystywać metodę rozstępów.

Eksperyment dla "niższej mocy lamp grzewczych" zawierał dodatkowo wadę związaną z nieodpowiednim traktowaniem powtórzeń procesu. Za powtórzenia procesu przyjęto wyniki odnoszące się do opakowań kształtowanych jednocześnie w czterech gniazdach formy. Należało to traktować jako oddzielne procesy. Mimo tych usterek otrzymane wyniki są zadowalające i interesujące. Te dwa oddzielne eksperymenty mogłyby być połączone w kolejnym etapie w jeden program badań, ale nie jest to konieczne dla wykazania słuszności formułowanej tezy.

Na podstawie uzyskanych wyników pomiarowych doktorant konstruuje modele doświadczalne ilościowe dla wymienionych charakterystyk jakości, weryfikuje znamienność statystyczną poszczególnych wyrazów modeli stosując testy statystyczne i przedstawia wyniki modelowania doświadczalnego wraz z wnioskami o charakterze poznawczym i praktycznym.

3. Wnioski poznawcze

Doktorant uzyskał interesujące wnioski poznawcze scharakteryzowane w opinii w elemencie charakterystykę eksperymentu dla "wyższych mocy lamp grzewczych". Sformułowane wnioski z uzyskanych modeli doświadczalnych są poprawne i znacząco uzupełniają rozprawę doktorską o walory poznawcze.

Przedstawione w analizie do rozprawy wyniki badań doświadczalnych przybliżają doktoranta rozprawy do odpowiedzi na pytanie: "jaką rolę pełnią interakcje czynnikowe w ustalaniu obserwowanych właściwości opakowań PET. To pytanie wielokrotnie pojawiało się w pierwszej wersji rozprawy pozostając bez odpowiedzi oraz zostało sformułowane w tezie rozprawy. Przedstawiony aspekt pracy nad rozprawą należy ocenić pozytywnie, mimo zauważonych wcześniej przypadków niestandardowego podejścia do kwestii prowadzenia prac doświadczalnych i statystycznego opracowania wyników badań.

4. Uwagi krytyczne

Zauważalny jest brak kompleksowej dyskusji wyników prac badawczych. Tłumaczę to brakiem czasu oraz zbędnym poszukiwaniem modeli dla poszczególnych punktów pomiarowych. Tworzenie wielu modeli nie jest krytyką doktoranta. Dodatkowe modele nie wnoszą nowej wiedzy i są zbędne dla już udowodnionej tezy. Doktorant powinien przeanalizować normę PN-EN 13427:2007 "Opakowania. Wymagania dotyczące stosowania norm europejskich w zakresie opakowań i odpadów opakowaniowych" oraz normy specjalistyczne zawarte w tej normie. Na tej podstawie powinna być przeprowadzona dyskusja dotycząca wyboru charakterystyk określających jakość opakowań PET.

5. Potencjalne obszary dalszych badań

Tworzenie przez doktoranta modeli dla wielu punktów pomiarowych tłumaczą próbę mającą na celu wyjaśnienie znaczenia mocy grzewczej lamp w procesie SBM.

Ten problem dotyczy modelu profilu grubości opakowania i wymaga zupełnie odmiennego badania. Model taki powinien być skojarzony z modelem ciśnienia rozrywania, strefą wystąpienia uszkodzenia, profilem temperatury uplastyczniania oraz profilem ciśnienia rozdmuchowego. Dopiero taki model pozwoliłby na formalne wykazanie wpływu rozkładu mocy grzewczych oraz profilu rozdmuchowego na przebieg procesu SBM.

C. Wniosek końcowy

Zawarta w analizie teza rozprawy, mimo wskazanych usterek w pierwotnej części rozprawy, a także w analizie zamieszczonej w Aneksie, została udowodniona.

Autor wykazał, że rozpatrywane czynniki mają istotny wpływ na właściwości opakowań, przedstawił przy tym stosowny model ilościowy.

Rozprawa zawiera nowe istotne elementy poznawcze dla nauki, w szczególności dla procesu wytwarzania opakowań z PET. Mimo wcześniejszych uwag dotyczących aktualności badanej technologii, przedstawiona w rozprawie metodyka badań jest aktualna dla każdej technologii SBM. Ponadto, rozpatrywana technologia jest powszechnie stosowana, a literatura przedmiotu co najmniej uboga. Wyniki rozprawy mogą mieć zastosowania praktyczne.

Doktorant ostatecznie opanował wiedzę z metodyki badań (planowania eksperymentów oraz statystycznego potwierdzenia przetworzenia danych). Wykazał się umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy badawczej, korygowania popełnionych pomyłek, umiejętnością analizy wyników, trafnego wnioskowania.

W mojej ocenie mankamentem pierwszej wersji rozprawy jest wielowątkowość, stosowanie niestandardowych metod badawczych. Mankamenty te zostały ostatecznie poprawione.

Przedstawiona charakterystyka rozprawy upoważnia mnie do stwierdzenia, że rozprawa doktorska mgr inż. Pawła Wawrzyniaka spełnia wymogi Ustawy o tytułach i stopniach naukowych i wnioskuje o jej przyjęcie i dopuszczenie do obrony publicznej.

30.06.10

