

Olsztyn, 12 września 2022 r.

Prof. dr hab. inż. Marek Markowski
Wydział Nauk Technicznych
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie
ul. Heweliusza 14, 10-718 Olsztyn

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Krzysztofa Jakuba Kosiorka, zatytułowanej: „*Modelowanie procesu rehydratacji suszu z buraków ćwikłowych*”, przygotowanej pod kierunkiem dr hab. inż. Krzysztofa Górnickiego, prof. SGGW

Recenzję opracowałem na zlecenie nr IIM-38/X/2022 z dnia 8 lipca 2022 r., Pana dr hab. inż. Tomasza Nurka, prof. SGGW - Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna w Szkole Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie. Promotorem w przewodzie doktorskim jest dr hab. inż. Krzysztof Górnicki, prof. SGGW. Przy ocenie przedłożonej rozprawy opierałem się na wymaganiach ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. *Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (Dz.U.2018, poz. 1669 z późn. zm.), ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (Dz.U.2018, poz. 1668 z późn. zm.) oraz ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. 2003, nr 65, poz. 595 z późn. zm.) a także rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 r. w sprawie w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz.U. 2018 poz. 261).

1. Informacja o rozprawie

Praca doktorska mgra inż. Krzysztofa Jakuba Kosiorka została wykonana w Instytucie Inżynierii Mechanicznej Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie pod kierunkiem Pana dr hab. inż. Krzysztofa Górnickiego, prof. SGGW. Rozprawa jest zapisana na 148 stronach maszynopisu formatu A4 i zawiera 7 rozdziałów (str. 13-136), spis treści (str. 9-10), wykaz oznaczeń (str. 11-12) oraz bibliografię (str. 137-147). W pracy zamieszczono 28 rysunków i 18 tabel ilustrujących metodykę oraz wyniki zrealizowanych badań.

2. Merytoryczna ocena rozprawy

Oceniana rozprawa przedstawia wyniki badań eksperymentalnych oraz wyniki analiz teoretycznych zrealizowanych w celu poszerzenia wiedzy naukowej na temat procesu rehydratacji suszu z buraków ćwikłowych. Produkcja żywności od zawsze stanowiła

najważniejszy przejaw działalności Człowieka a dostatek zdrowej, funkcjonalnej żywności charakteryzuje rozwinięte i bogate społeczeństwa współczesnego świata. W obrocie żywnością znaczącą grupę produktów stanowią wysuszone owoce i warzywa nadające się do spożycia po ich wtórnym uwodnieniu (rehydratacji). W tej grupie produktów coraz większego znaczenia nabiera burak ćwikłowy. Dlatego podjęcie w ocenianej rozprawie badań nad procesem rehydratacji buraków ćwikłowych jest w pełni uzasadnione. Dla lepszego zrozumienia procesu rehydratacji, w celu jego opisu zastosowano w ocenianej pracy prawa fizyki i chemii oraz metody modelowania matematycznego i numerycznego. Takie podejście ma charakter naukowy i posiada potencjał do wzbogacenia wiedzy naukowej z zakresu inżynierii procesów technologicznych stosowanych w przemyśle spożywczym. W czasie procesu uwadniania suchych cząstek warzyw zachodzą zjawiska przenoszenia ciepła, pędu i masy. Narzędzia służące zwykle do opisu tego typu zjawisk i procesów są typowe dla kilku różnych dyscyplin naukowych z dziedziny nauk inżynieryjno-technicznych, w tym także dla dyscypliny inżynieria mechaniczna. Z uwagi na wyżej wymienione aspekty uważam, że **tematyka rozprawy spełnia oczekiwania, jakie stawia się tematom prac doktorskich w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.**

Zagadnienia rozpatrywane w rozprawie Autor przedstawił na tle stanu wiedzy z zakresu tematyki pracy i omówił w dwóch początkowych rozdziałach pracy, tj. 1. *Wstęp* oraz 2. *Przegląd literatury*. We *Wstępie* Kandydat krótko uzasadnił potrzebę prowadzenia badań naukowych nad opracowaniem modeli procesu wtórnego uwodnienia suchych warzyw. W rozdziale *Przegląd literatury* Doktorant zestawiał i omówił na tle naukowej literatury krajowej i zagranicznej najważniejsze zagadnienia i problemy naukowe związane z suszeniem jako procesem poprzedzającym rehydratację suszu, pokazał istotne aspekty procesu wtórnego uwadniania suszu oraz przedyskutował problematykę modelowania procesów. W dyskusji Kandydat krytycznie wykorzystał liczne publikacje dostępne w formie artykułów naukowych i książek głównie w języku polskim i angielskim. Uważam, że przegląd literatury został zrealizowany fachowo i wyczerpująco w odniesieniu do większości aspektów ważnych w procesie suszenia i rehydratacji. Tym nie mniej moje zdziwienie wzbudza fakt, że Autor niewiele uwagi poświęcił tak ważnym zagadnieniom, jak zmiana wymiarów geometrycznych oraz kształtu suszonej, bądź wtórnje uwadnianej, cząstki. A przecież opublikowanych i dostępnych wyników badań nad zmianą wymiarów i kształtu suszonych i rehydratowanych cząstek warzyw jest znacznie więcej, niż wynikałoby to z zamieszczonego w rozprawie przeglądu literatury.

W rozdziale 3. *Cel zakres pracy* Doktorant sformułował cel i zakres rozprawy. Głównym celem rozprawy było sformułowanie teoretycznego modelu opartego na prawach nauki i opisującego przebieg zjawisk zachodzących w czasie rehydratacji suszu z buraków ćwikłowych. Kandydat sformułował także trzy cele cząstkowe pomocne w realizacji celu głównego oraz przedstawił zakres pracy w formie przejrzystego schematu ułatwiającego zrozumienie szczegółów prac wykonywanych na każdym etapie realizowanej rozprawy. Uważam, że w kontekście dyskusji przeprowadzonej w dwóch poprzednich rozdziałach i w oparciu o przeprowadzoną analizę aktualnego stanu wiedzy naukowej z zakresu tematu rozprawy cele badań zostały sformułowane prawidłowo. Stwierdzam, że rozprawa ma charakter naukowy i zmierza do rozwiązania postawionego w rozprawie oryginalnego problemu naukowego. Uważam także, że **został tym samym spełniony kolejny warunek pozytywnej oceny rozprawy, jakim jest właściwe i czytelne nakreślenie scenariusza realizacyjnego, pozwalającego osiągnąć założone cele.** Trzecim niezbędnym warunkiem pozytywnej oceny rozprawy jest zrealizowanie tego scenariusza zgodnie z zasadami metody naukowej.

W rozdziale 4. *Materiał i metodyka* Doktorant przedstawił charakterystykę materiału do badań oraz zastosowane metody i procedury. Materiał został scharakteryzowany dokładnie, jednak zabrakło informacji o początkowej zawartości wody w suszonych cząstkach buraka ćwikłowego. Zastosowane procedury zostały opisane dość dokładnie ale nie na tyle dokładnie, aby dla czytelnika rozprawy wszystko było wystarczająco jasne i aby było możliwe odtworzenie zrealizowanych badań przez inne osoby. Podkreślę przy tym, że generalnie przedstawiona metodyka może być zaakceptowana, jednak bardzo niekorzystne wrażenie sprawiają liczne uchybienia, w tym brak troski Autora o szczegóły. W efekcie w rozdziale 4 można znaleźć oprócz wartościowych informacji także pomyłki, błędy i nieścisłości, które poniżej przedstawię.

1. Charakteryzując świeży materiał nie podano jego wilgotności lub zawartości wody w surowcu.
2. Nie wiadomo co i jak było mierzone w trakcie eksperymentów suszarniczych. Nie wiadomo w jaki sposób Kandydat oceniał, że masa suszonego materiału ustabilizowała się i co konkretnie oznaczało pojęcie „ustabilizowanie się” masy próbki. Nie podano początkowej i końcowej zawartości wody w suszonych próbkach.
3. Zabrakło schematu (zdjęć) stanowiska pomiarowego wykorzystywanego w badaniach procesu rehydratacji. Jest to poważne uchybienie, gdyż nawet teraz pisząc tę recenzję po

wnikliwej lekturze rozprawy nie jestem pewien jak to stanowisko było zbudowane. W szczególności dotyczy to mieszania wody w naczyniu z próbką i określenia prędkości przepływu wody względem próbki.

4. Nie wiadomo jak przygotowano do eksperymentów rehydratacji próbki o różnych początkowych zawartościach wody.
5. Nie wiadomo dlaczego umieszczano końcówki termopary wewnątrz świeżej a nie suchej cząstki surowca – nie jest prawdą, że byłoby to niewykonalne. Zastosowana procedura pomiaru rozkładu temperatury uwadnianej cząstki buraka jest dyskusyjna. Nie wiadomo w jaki sposób rozmieszczono w kostce o boku 25 mm aż 11 termopar. Nie wiadomo jak i z jaką dokładnością określono położenie końcówek termopar w suchej, zdeformowanej cząstce.
6. Brakuje opisu procedury pomiaru objętości cząstki. Pomiar objętości cząstki z wykorzystaniem tylko cylindra miarowego (nie podano jakiego) obarczony jest zwykle znacznym błędem, z reguły większym niż podane w pracy 5%. Nie wiadomo dlaczego Kandydat nie zastosował jednej z prostych, ale znacznie dokładniejszych, metod pomiaru objętości wykorzystujących np. piknometr cieczowy lub też często stosowaną metodę hydrostatyczną wykorzystującą prawo Archimedesasa.
7. Równanie (25) bilansu ciepła w uwadnianej cząstce wydaje się być błędne. Różniczkowe równanie bilansowe opisuje zmianę analizowanej wielkości w punkcie leżącym wewnątrz cząstki. Zatem nie wiadomo, dlaczego w tym równaniu występują człony opisujące ciepło pochłaniane lub wydzielane na zewnętrznej powierzchni cząstki. Chętnie poznałbym wyprowadzenie tego wzoru.
8. Równanie (26) jest błędne. Łatwo to stwierdzić, gdyż dwa ostatnie człony tego równania mają inny wymiar niż pozostałe. Warto byłoby podać interpretację fizyczną każdego z element warunku brzegowego (26).
9. Autor podaje na stronie 60, że wartości współczynników w równaniu (25) dobrano z literatury. Nie przytacza jednak konkretnych wartości lub funkcji, które zastosował.
10. W warunkach brzegowych (32) i (33) występują równowagowe wartości stężeń suchej substancji i wody: c_{ssrow} i c_{wrow} . Nie wiadomo jak wyznaczono te wielkości i jakie były ich wartości dla różnych warunków prowadzenia procesu. Wiadomo natomiast, że wartości te zależą także od stosunku objętości nawilżanego ciała stałego do objętości roztworu, w którym to ciało jest zanurzone. Obydwie te wielkości zmieniają się w miarę upływu czasu, przy czym zmiany te są istotne przy dużych wartościach stosunku masy

nawilżanego ciała do masy roztworu. Nie wiadomo czy/jak uwzględniono to w metodyce wyznaczania c_{ssrow} i c_{wrow} , w szczególności dla stosunku obu mas równego 1:5.

11. Sformułowanie modelu zmiany objętości cząstki w procesie jej uwadniania (rozdział 4.5.3) uważam za błędne. W pracy Białobrzewskiego i in. (2008), na którą powołuje się Autor, zastosowano model stacjonarny. W modelu tym zastosowano warunek brzegowy 1go rodzaju, w którym przemieszczenie punktu na zewnętrznej powierzchni cząstki zależało od zawartości wody. W ocenianej rozprawie równanie (38) opisujące zmiany objętości cząstki także nie zależy od czasu. Należałoby więc oczekiwać, że zgodnie z teorią równań różniczkowych cząstkowych (np. Kącki E. *Równania różniczkowe cząstkowe w zagadnieniach fizyki i techniki*. WNT, Warszawa, 1995) równanie (38) będzie uzupełnione o warunek brzegowy opisujący przemieszczenie, bądź jego gradient na zewnętrznej powierzchni cząstki. Dlatego jest niezrozumiałe zastosowanie warunku brzegowego (39) zależnego od czasu, opisującego prędkość punktu na zewnętrznej powierzchni cząstki. Nie wiadomo też dlaczego wprowadzono warunek (40), zerowania się zawartości wody w chwili początkowej, co jest niezgodne z informacją przedstawioną w punkcie 4 na stronie 56 odnośnie początkowej zawartości wody w cząstce. Inną niejasność wprowadza zdawkowa informacja o tym, że „dobierano” funkcje $f(\Delta w)$. Nie wiadomo jaką metodę „dobierania” funkcji zastosowano. Niezbędny jest opis metody.
12. W podrozdziale 4.5.5 Kandydat informuje m.in. o tym, że badano różne postacie funkcji do opisu współczynników wnikania masy i współczynników dyfuzji. Nie podano żadnej informacji o tym na czy miałyby polegać takie badania (metoda i opis metody tych badań).
13. Nie jest jasne, czy stosowane w pracy analizy ANOVA zostały wykorzystane dla zbadania istotności różnic pomiędzy wartości określonymi w wybranych chwilach badanych przebiegów czasowych, czy do porównania całych przebiegów, czy w inny sposób. Wykorzystanie analizy wariancji do porównania przebiegów jest możliwe, jednak wymagałoby to dokładnego omówienia zastosowanej metody, gdyż podstawowym celem analizy wariancji (ANOVA) jest testowanie istotności różnic pomiędzy średnimi.

W rozdziale 5. *Wyniki badań* Kandydat zaprezentował i przedyskutował uzyskane wyniki badań. W podrozdziale 5.1 zestawione zostały w formie graficznej i tabelarycznej wyniki pomiarów i analiz wpływu wybranych czynników na wyróżniki procesu rehydratacji suszu z buraków ćwikłowych. W oparciu o uzyskane wyniki pomiarów Autor przedyskutował

wpływ temperatury suszenia i nawilżania, metody suszenia, wymiarów próbki, ilości roztworu oraz prędkości mieszania na zmiany masy próbki, masy suchej substancji, wilgotności oraz objętości rehydratowanej próbki. Kandydat badał też zmiany porowatości próbki oraz czasoprzestrzenne rozkłady temperatury nawilżanego materiału. W podrozdziale 5.2 przedstawione zostały wyniki symulacji zmian wymiarów geometrycznych próbek w czasie ich rehydratacji. W podrozdziale 5.3 zamieszczono wyniki komputerowej symulacji zmian zawartości wody i suchej substancji w nawilżanej próbce a także przedyskutowano zaproponowane empiryczne modele matematyczne współczynników wnikania masy oraz współczynników dyfuzji masy. Informacje zamieszczone w rozdziale 5 są wartościowe a wiele z nich wzbogaca wiedzę naukową z zakresu kinetyki rehydratacji cząstek suchych warzyw. Jednak oceniając ten ważny rozdział pracy doktorskiej mam mieszane odczucia. Z jednej strony jestem świadomy dużej liczby zrealizowanych przez Doktoranta eksperymentów, analiz i symulacji. Z drugiej strony widzę także niedociągnięcia polegające głównie na niepodjęciu bądź spłycaaniu przez Kandydata dyskusji w ważnych i newralgicznych dla całości rozprawy kwestiach. Poniżej zamieszczam moje krytyczne uwagi.

1. W oparciu o przeprowadzone analizy statystyczne (tabele od 2 do 11) Doktorant określił które czynniki i na jakim poziomie istotności wpływają na badane efekty. W nawiązaniu do mojej ostatniej uwagi dotyczącej metodyki (uwaga nr 13) stwierdzam, że nie jest jasne na czym polegały analizy statystyczne, których wyniki pokazano w tabelach od 2 do 11 i jaki jest sens prezentowanych w nich danych.
2. Podrozdział 5.2 zawiera tylko jeden krótki akapit i dwa rysunki 17 i 18. Poza tym, nie przeprowadzono w nim dyskusji uzyskanych wyników.
3. Na uwagę zasługuje fakt, że cząstki na każdym z rysunków 17 i 18 mają jednakowy kształt i różnią się tylko zmieniającymi się w miarę upływu czasu wymiarami (długość boku kostki bądź grubość i średnica plastra). Autor podaje na stronie 62, że funkcje opisujące zmiany wymiarów rehydratowanych cząstek miały postać równania Pelega (6) z wyznaczonymi (choć nie wiadomo w jaki sposób) przez Doktoranta współczynnikami. Zatem, zmiany wymiarów kostki pokazane na rys. 17 i 18 były już znane przed wykonaniem symulacji w oparciu o model (38)-(40). Nie wiadomo więc po co wykonane zostały te symulacje. Nie pokazano też jak przemieszczają się punkty leżące wewnątrz rehydratowanej cząstki.
4. Szkoda, że Autor nie zamieścił w pracy, np. w formie załącznika kodów wykorzystywanych do symulacji w systemie FlexPDE.



5. Zabrakło refleksji nad tym, że wysuszona cząstka była bardzo mocno zdeformowana i całkowicie zmieniła swoje wymiary geometryczne w porównaniu do cząstki przed suszeniem. Miała także kształt mocno różniący się od kształtu suchej cząstki i prawdopodobnie nie przypominała kształtem ani sześciennej kostki ani walca. W pracy nie ma na ten temat nawet wzmianki, nie pokazano zdjęć ani suchych ani nawilżanych próbek. Nie podano wartości skurczu suszarniczego. Tymczasem bardzo wysoki stopień deformacji kostki z buraka ćwikłowego o bokach 15x15x15 mm wysuszonej konwekcyjnie w temperaturze 60°C można zobaczyć np. na zdjęciach w pracy Szadzińska i in. (DOI: 10.1080/07373937.2019.1624565). Jednocześnie w pracy Łapczyńska-Kordon i in. (Inżynieria Rolnicza 13/2006, 303-311) pokazano, że skurcz suszarniczy kostki z buraka ćwikłowego o bokach 10x10x10 mm wysuszonej konwekcyjnie w temperaturze 70°C był większy niż 80% przy zawartości wody poniżej 0.4 kg wody/ kg ss. Żadnej z tych dwóch prac Doktorant nie zamieścił w Bibliografii. Dlatego jest dla mnie niezrozumiałe, dlaczego Autor rozprawy tworząc model zmiany wymiarów geometrycznych nawilżanej cząstki przyjął milcząco, że w każdej chwili procesu ma ona regularny kształt sześciennej kostki bądź walca i nie przeprowadził żadnej dyskusji w celu uzasadnienia takiego podejścia. To założenie, które było bardzo dalekie od rzeczywistości, należało uzasadnić i przedyskutować. Zatem pytanie o to jak przebiegało przywracanie do pierwotnego kształtu nawilżanej cząstki buraka ćwikłowego pozostało bez odpowiedzi.
6. W ostatnim akapicie na stronie 109 Kandydat stwierdza, że podobieństwo zmierzonych i obliczonych z modeli przebiegów średniego stężenia wody i średniego stężenia suchej substancji świadczy o weryfikacji modeli. Brakuje tu głębszej refleksji nad tym, czy podobne są także rozkłady przestrzenne analizowanych wielkości, a nie tylko ich wartości średnie. Przecież z faktu, że całki dwóch funkcji są sobie równe wcale nie wynika, iż funkcje te są takie same.
7. Z informacji pokazanych w tabeli 15 wynika wyraźnie, że model (43) jest szczególnym przypadkiem modelu (41) a model (44) jest szczególnym przypadkiem modelu (42). Podobnie, modele (46)-(48) są szczególnymi przypadkami modeli (41) i (42). Dlatego wydaje się oczywiste, że w analizie należało skupić się na modelach (41) i (42).
8. Doktorant wielokrotnie wykorzystywał do oceny uzyskanych wyników wielkość *RMSE*. Posłużyła ona m.in. do oceny poprawności „doboru” współczynników wyznaczonych w badanych modelach. Należy precyzyjnie opisać metodę wykorzystaną do „doboru” funkcji (współczynników modeli) i roli jaką pełnił *RMSE* w tej metodzie stosowanej np.

do „doboru” współczynników modeli pokazanych w tabelach 15-18. Poza tym, czy w tych tabelach podane wartości na pewno dotyczą R a nie R^2 ?

9. Po wnikliwej lekturze pracy dalej nie wiem, w jaki sposób Doktorant uzyskał wartości współczynników wnikania masy, np. te pokazane na rys. 19-22. Co prawda, Kandydat w ostatnim akapicie na stronie 61 napisał, że współczynniki te wyznaczano tak, aby różnice między wartościami modelowymi i z eksperymentu były najmniejsze. Jednak nie podano opisu zastosowanej metody poszukiwania minimum tych różnic. Nie wiadomo także, czy porównywano wybrane wartości w danych chwili procesu czy całe przebiegi. Nie podano co było miarą różnicy między przebiegami.
10. Nie wiadomo, czy uwzględniono zmienność współczynników dyfuzji masy i współczynników wnikania masy w czasie procesu rehydratacji. Poza tym, współczynnik D_0 omawiany na stronie 120 powinien mieć wymiar.

W rozdziale 6. *Podsumowanie* Autor krótko streścił cel pracy oraz uzyskane wyniki, natomiast, w rozdziale 7. *Wnioski* zamieścił sześć szczegółowych wniosków z opisanych w rozprawie badań.

Bibliografia umieszczona na końcu rozprawy jest bardzo bogata i zawiera aż 278 pozycji cytowanej literatury z zakresu tematyki pracy, głównie artykuły naukowe polsko i angielskojęzyczne. Uważam, że bibliografia zawiera prawidłowo wybrane pozycje literatury a na pochwałę zasługuje aż tak duża liczba wykorzystanych publikacji.

Mając na uwadze przedstawione powyżej moje krytyczne uwagi dotyczące zastosowanej metodyki badań oraz interpretacji uzyskanych wyników **nie jestem przekonany, czy Kandydat wypełnił trzeci z wcześniej wymienionych warunków pozytywnej oceny rozprawy doktorskiej, dotyczący zrealizowania nakreślonego scenariusza badawczego zgodnie z metodą naukową.**

Z zapisów art. 13.1 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. 2003, nr 65, poz. 595 z późn. zm.) wynika, że praca doktorska powinna: stanowić oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, wykazywać ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie inżynieria rolnicza (obecnie inżynieria mechaniczna a także wykazywać umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez Doktoranta. W odniesieniu do pierwszego z powyższych wymogów moja

ocena jest pozytywna. Uważam, że **oceniana rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego** i wnosi nowe informacje do wiedzy naukowej o procesach przenoszenia ciepła i masy. Podobnie uważam, że **rozprawa wykazuje ogólną wiedzę teoretyczną Doktoranta w dyscyplinie inżynieria rolnicza mechaniczna** (wcześniej inżynieria rolnicza). Jednak nie jestem pewien, czy na obecnym etapie realizacji pracy doktorskiej uprawnione byłoby stwierdzenie, że oceniana rozprawa doktorska wykazuje umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez Kandydata. **Uważam, że rozprawa powinna być poprawiona a po dokonaniu stosownych poprawek bądź uzupełnień będzie ona mogła potwierdzić, że Doktorant taką umiejętność posiada.**

3. Wniosek końcowy

Podsumowując stwierdzam, że cele rozprawy doktorskiej zostały osiągnięte, jednak zastosowane metody i interpretacja wyników wymagają dopracowania. Dlatego korzystając z możliwości, które daje recenzentowi rozprawy doktorskiej § 6.6 rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 r. w *sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora* (Dz.U. 2018 poz. 261) **wnoszę o uzupełnienie i poprawienie rozprawy doktorskiej mgr inż. Krzysztofa Jakuba Kosiorka pt. „Modelowanie procesu rehydratacji suszu z buraków ćwikłowych”** w zakresie i w nawiązaniu do moich uwag przedstawionych w punkcie 2 niniejszej recenzji.

Marek Merliowski

Olsztyn, 1 maja 2023 r.

Prof. dr hab. inż. Marek Markowski
Wydział Nauk Technicznych
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie
ul. Heweliusza 14, 10-718 Olsztyn

Recenzja poprawionej rozprawy doktorskiej mgr inż. Krzysztofa Jakuba Kosiorka, zatytułowanej: „*Modelowanie procesu rehydratacji suszu z buraków ćwikłowych*”, przygotowanej pod kierunkiem dr hab. inż. Krzysztofa Górnickiego, prof. SGGW

Recenzję opracowałem na zlecenie nr IIM-23/X/2023 z dnia 27 marca 2023 r., Pana dr hab. inż. Tomasza Nurka, prof. SGGW - Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna w Szkole Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie. Promotorem w przewodzie doktorskim jest dr hab. inż. Krzysztof Górnicki, prof. SGGW. Przy ocenie przedłożonej rozprawy opierałem się na wymaganiach ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. *Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (Dz.U.2018, poz. 1669 z późn. zm.), ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (Dz.U.2018, poz. 1668 z późn. zm.) oraz ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. 2003, nr 65, poz. 595 z późn. zm.) a także rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 r. *w sprawie w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora* (Dz.U. 2018 poz.2 61).

1. Informacja o rozprawie

Do oceny dostałem poprawioną wersję rozprawy doktorskiej. Jej pierwszą wersję recenzowałem w 2022 r. Praca doktorska mgr inż. Krzysztofa Jakuba Kosiorka została wykonana w Instytucie Inżynierii Mechanicznej Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie pod kierunkiem Pana dr hab. inż. Krzysztofa Górnickiego, prof. SGGW. Rozprawa jest zapisana na 169 stronach maszynopisu formatu A4 i zawiera: streszczenie w j. polskim i angielskim (str. 7-8), spis treści (str. 9-10), wykaz oznaczeń (str. 11-12), 8 ponumerowanych rozdziałów (str. 13-167), a także bibliografię (str. 156-167). Rozprawę uzupełnia 39 rysunków i 22 tabele. W porównaniu do pierwszej wersji rozprawy, poprawiona rozprawa jest bogatsza o 21 stron. Zawiera ona także o 11 rysunków oraz o 4 tabele więcej, niż pierwsza wersja rozprawy.

2. Merytoryczna ocena rozprawy

Oceniana rozprawa przedstawia wyniki badań doświadczalnych oraz analiz teoretycznych zrealizowanych dla głębszego poznania procesu rehydratacji suszu z buraków ćwikłowych. Jednym z najważniejszych wyzwań, jakim muszą sprostać decydenci w każdym państwie jest zapewnienie społeczeństwu dostępności do zdrowej żywności. W obrocie żywnością ważną grupę produktów stanowią wysuszone owoce i warzywa nadające się do spożycia po ich wtórnym uwodnieniu (rehydratacji). Wśród nich coraz większego znaczenia nabiera burak ćwikłowy, który ma szereg zalet a jego spożycie ma korzystny wpływ na zdrowie człowieka. Dlatego uważam, że podjęcie w ocenianej rozprawie doktorskiej badań nad procesem rehydratacji buraków ćwikłowych jest w pełni uzasadnione. W celu lepszego zrozumienia tego procesu, do jego opisu zastosowano prawa fizyki i chemii oraz metody modelowania matematycznego i numerycznego. Takie podejście ma charakter naukowy i może przyczynić się do wzbogacenia wiedzy naukowej z zakresu inżynierii procesów technologicznych stosowanych w przetwórstwie spożywczym. W trakcie uwadniania suchych cząstek warzyw zachodzą złożone procesy fizykochemiczne „wykorzystujące” różne mechanizmy przenoszenia ciepła, pędu i masy. Metody naukowe wykorzystywane do opisu takich procesów są typowe dla dyscyplin naukowych z dziedziny nauk inżyniersko-technicznych, w tym także dla dyscypliny inżynieria mechaniczna. Dlatego uważam, że **tematyka rozprawy spełnia oczekiwania, jakie stawia się tematом prac doktorskich w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.**

Zagadnienia rozpatrywane w rozprawie Autor przedstawił na tle stanu wiedzy z zakresu tematyki pracy i omówił w dwóch początkowych rozdziałach pracy, tj. 1. *Wstęp* oraz 2. *Przegląd literatury*. We *Wstępie* Kandydat krótko uzasadnił potrzebę prowadzenia badań naukowych nad opracowaniem modeli procesu wtórnego uwodnienia suchych warzyw. W rozdziale *Przegląd literatury* Doktorant zestawiał i omówił na tle naukowej literatury krajowej i zagranicznej najważniejsze zagadnienia i problemy naukowe związane z suszeniem jako procesem poprzedzającym rehydratację suszu. W tym samym rozdziale Autor pokazał też istotne aspekty procesu wtórnego uwadniania suszu a także omówił wpływ wstępnej obróbki surowca oraz wpływ metody suszenia i wybranych parametrów procesu na właściwości suszu. W dalszej części Kandydat przedyskutował problematykę wtórnego uwadniania suszu z owoców i warzyw oraz krytycznie omówił metody i techniki modelowania procesów suszenia i rehydratacji warzyw. W dyskusji Kandydat krytycznie wykorzystał liczne publikacje dostępne w formie artykułów naukowych i książek głównie w języku polskim i angielskim. Uważam, że

przegląd literatury został zrealizowany fachowo i wyczerpująco w odniesieniu do większości aspektów ważnych w procesie suszenia i rehydratacji. Tym nie mniej szkoda, że Autor w swojej analizie literatury nie wykorzystał opublikowanych prac przeglądowych dotyczących tematyki swojej rozprawy takich, jak np. DOI: 0.1111/jfpe.12073 i innych prac o podobnej tematyce pomimo, że opublikowanych i dostępnych publikacji zawierających zsyntetyzowaną wiedzę z zakresu modelowania procesów suszenia i rehydratacji surowców spożywczych jest dużo. Doktorant, moim zdaniem, powinien z nich skorzystać. Szkoda też, że omawiając zastosowanie technik MES do modelowania procesów suszenia i rehydratacji suszu z warzyw oparł się On głównie na pracach dość starych. Poza jednym odniesieniem, nie ma tu innych odniesień do publikacji z ostatnich 5 lat pomimo, że dostępnych jest wiele nowych prac.

W rozdziale 3. *Cel i zakres pracy* Doktorant sformułował cel i zakres rozprawy. Głównym celem rozprawy było sformułowanie teoretycznego modelu opartego na prawach nauki i opisującego przebieg zjawisk zachodzących w czasie rehydratacji suszu z buraków ćwikłowych. Kandydat sformułował także trzy cele cząstkowe przydatne realizacji celu głównego oraz przedstawił zakres pracy w formie przejrzystego schematu ułatwiającego zrozumienie szczegółów prac wykonywanych na każdym etapie realizowanej rozprawy. Uważam, że w kontekście dyskusji przeprowadzonej w dwóch poprzednich rozdziałach i w oparciu o przeprowadzoną analizę aktualnego stanu wiedzy naukowej z zakresu tematu rozprawy, cele badań zostały sformułowane prawidłowo. Co prawda problem naukowy nie został w rozprawie postawiony wprost, jednak główny cel rozprawy, jakim jest *sformułowanie matematycznego modelu ... i wyjaśnienie procesu rehydratacji*, nosi cechy problemu naukowego.

Stwierdzam zatem, że rozprawa ma charakter naukowy i zmierza do rozwiązania postawionego w rozprawie oryginalnego problemu naukowego. Uważam także, że **został tym samym spełniony kolejny warunek pozytywnej oceny rozprawy, jakim jest właściwe i czytelne nakreślenie scenariusza realizacyjnego, pozwalającego osiągnąć założone cele.** Trzecim niezbędnym warunkiem pozytywnej oceny rozprawy jest zrealizowanie tego scenariusza zgodnie z zasadami metody naukowej.

W rozdziale 4. *Materiał i metodyka* Doktorant przedstawił zastosowane metody i procedury wykorzystane do utworzenia modelu i jego komputerowej symulacji. Przedstawił w nim też charakterystykę materiału badawczego. Materiał został scharakteryzowany dokładnie. Szczegółowo opisano także zastosowane metody pomiarowe. Przedstawiona metodyka badań

laboratoryjnych generalnie jest prawidłowa, jednak mam uwagi dotyczące pomiaru zawartości wody w próbce oraz objętości i temperatury cząstki w czasie jej rehydratacji:

1. Nie wiadomo w jaki sposób rozmieszczono aż 6 termopar w ściśle określonych miejscach buraczanej kostki o boku 25 mm (nie pokazano na schemacie położenia końcówek termopar). Nie wiadomo jaki wpływ miała tak duża gęstość „upakowania” końcówek termopar w cząstce na dokładność pomiaru temperatury. Nie wiadomo też w jaki sposób określono położenie końcówek termopar w zdeformowanej cząstce. Nie wiadomo czy Doktorant sprawdzał (a jeżeli tak, to jak?) położenie końcówek termopar po suszeniu i w trakcie rehydratacji. Kwestia jak zjawiska skurczu bądź pęcznienia wpływały na położenie końcówek termopar nie została podjęta. Jeśli przyjęto tu jakieś założenia, to należało je podać.
2. Pomiar objętości cząstki z wykorzystaniem tylko cylindra miarowego obarczony jest zwykle znacznym błędem, z reguły większym niż podane w pracy 5%. Doktorant powinien wyjaśnić jak uzyskał tak dużą dokładność stosując tak niedokładną metodę pomiaru.
3. Należało wyjaśnić jak to się stało, że końcowa zawartość wody w suszonych próbkach była zawsze taka sama i nie zależała ani od techniki ani od warunków suszenia (temperatura i prędkość powietrza) i wynosiła 0.07 kg H₂O/kg s.s. Wyższe końcowe wartości zawartości wody Kandydat uzyskiwał odpowiednio skracając czas suszenia. Nie wiadomo, czy po przerwaniu procesu suszenia, zaplanowane końcowe zawartości wody w próbce były potwierdzone przez pomiar.
4. W ostatnim akapicie na stronie 67 Autor informuje, że susz z buraków ćwikłowych pokazano na rysunku 2, gdzie, jak twierdzi Autor, można zobaczyć zmiany wymiarów i kształtu cząstki. Jednak zdjęcia pokazane na rysunku 2 są całkowicie nieczytelne i widać na nich jedynie niewyraźne większe (rys 2a) i mniejsze (rys. 2b) czarne plamy, a wszystkie te plamy umieszczono na ciemnym tle. Na podstawie tego rysunku na pewno nie da się wnioskować o zmianach kształtu suszonej próbki.

Matematyczny model przenoszenia ciepła i masy w czasie nawilżania cząstki sformułowano poprawnie. Warto było jednak przedyskutować wszystkie założenia wykorzystane w trakcie formułowania modelu. Założenie o stałości współczynników dyfuzji masy oraz wnikania masy w czasie procesu rehydratacji zdecydowanie wymaga komentarza. Wiadomo, że w rzeczywistości wielkości te mogą zmieniać się dość znacznie. Należało przedyskutować zarówno przyczyny jak i konsekwencje tak przyjętych założeń. Na stronie 60 Kandydat pisze, że do wyznaczenia współczynników wnikania masy zastosowano metodę

kolejnych przybliżeń. Warto tu pokazać jaki zastosowano algorytm. Na tej samej stronie autor przyjął założenia dotyczące istotności czynników i parametrów wpływających na wartości współczynników wnikania masy i dyfuzji masy. Brakuje uzasadnienia i dyskusji. Powyższe uwagi krytyczne nie zmieniają jednak mojej pozytywnej oceny tego rozdziału.

Rozdział 5. *Wyniki badań* zawiera nie tylko jedynie uzyskane wyniki lecz także ich dyskusję. W rozdziale 5. Kandydat zaprezentował i przedyskutował uzyskane wyniki badań. Nie ma w rozprawie innego rozdziału, w którym uzyskane wyniki byłyby poddane dyskusji. Dlatego uważam, że rozdział ten należało nazwać inaczej, np. *Wyniki i dyskusja wyników badań*. W podrozdziale 5.1 zestawione zostały w formie graficznej i tabelarycznej wyniki pomiarów i analiz wpływu wybranych czynników na wyróżniki procesu rehydratacji suszu z buraków ćwikłowych. W oparciu o uzyskane wyniki pomiarów Autor wyjaśnił wpływ m.in.: a) temperatury suszenia i nawilżania, b) metody suszenia, c) wymiarów próbki, d) ilości roztworu oraz e) prędkości mieszania na zmiany: a) masy próbki, b) masy suchej substancji, c) wilgotności oraz d) objętości rehydratowanej próbki. Kandydat badał też zmiany porowatości próbki oraz czasoprzestrzenne rozkłady temperatury nawilżanego materiału. Uzyskane w tym podrozdziale wyniki są wartościowe i poszerzają wiedzę naukową z zakresu kinetyki rehydratacji surowców spożywczych. Mam jednak wątpliwość dotyczącą wyników pomiaru zmian temperatury wewnątrz próbki. Otóż, na rysunku 22 pokazano zmierzone temperatury w kostce z buraka w czasie rehydratacji. Dla każdej chwili pokazano na tym rysunku wartości temperatury w 11 punktach kostki podczas, gdy faktycznie mierzono ją jedynie w 6 punktach. Mając świadomość, że skurcz suszarniczy nie jest izotropowy, o czym pisał Doktorant, choć nie wprost, na stronie 67, nie można zakładać symetrii. W podrozdziale 5.2 przedstawione zostały wyniki komputerowych symulacji zmian wymiarów geometrycznych próbek w czasie ich rehydratacji. Autor opisał tu nie tylko zmiany objętości cząstek buraka w czasie rehydratacji, lecz także zbadał w jaki sposób przemieszczają się wybrane punkty leżące wewnątrz próbki, co należy dostrzec i ocenić pozytywnie. W podrozdziale 5.3 zamieszczone zostały wyniki komputerowej symulacji zmian zawartości wody i suchej substancji w nawilżanej próbce a także przedyskutowano zaproponowane empiryczne modele matematyczne współczynników wnikania masy oraz współczynników dyfuzji masy. Informacje zamieszczone w rozdziale 5 są wartościowe a wiele z nich wzbogaca wiedzę naukową z zakresu kinetyki rehydratacji cząstek suchych warzyw. Jednak oceniając ten ważny podrozdział rozprawy mam mieszane odczucia. Z jednej strony jestem świadomy dużej liczby zrealizowanych przez Doktoranta eksperymentów, analiz i komputerowych symulacji. Z drugiej strony widzę także pewne

niedociągnięcia polegające głównie na niepodjęciu bądź spłyceciu przez Kandydata dyskusji w kilku kwestiach ważnych dla całości rozprawy. Poniżej zamieszczam moje wątpliwości.

1. Zabrakło głębszej refleksji nad tym, że wysuszona cząstka była bardzo mocno zdeformowana i całkowicie zmieniła swoje wymiary geometryczne w porównaniu do cząstki przed suszeniem. Miała ona także kształt mocno różniący się od kształtu suchej cząstki i prawdopodobnie nie przypominała kształtem ani sześcienniej kostki ani walca. Tymczasem bardzo wysoki stopień deformacji kostki z buraka ćwikłowego o bokach 15x15x15 mm wysuszonej konwekcyjnie w temperaturze 60°C można zobaczyć np. na zdjęciach w pracy Szadzińskiej (2014). Na rysunku 2 tego nie da się zobaczyć. Jednocześnie w pracy Łapczyńskiej-Kordon i in. (2006) pokazano, że skurcz suszarniczy kostki z buraka ćwikłowego o bokach 10x10x10 mm wysuszonej konwekcyjnie w temperaturze 70°C był większy niż 80% przy zawartości wody poniżej 0.4 kg wody/ kg ss. Doktorant zna obie ww. prace i zamieścił je w Bibliografii. Dlatego jest dla mnie niezrozumiałe, dlaczego Autor rozprawy tworząc model zmiany wymiarów geometrycznych nawilżanej cząstki przyjął milcząco, że w każdej chwili procesu ma ona regularny kształt sześcienniej kostki bądź walca i nie przeprowadził żadnej dyskusji w celu uzasadnienia takiego podejścia. To założenie, które było bardzo dalekie od rzeczywistości, należało uzasadnić i szerzej przedyskutować. Zatem pytanie o to jak przebiegało przywracanie do pierwotnego kształtu nawilżanej cząstki buraka ćwikłowego nadal jest otwarte.
2. W przedostatnim akapicie na stronie 129 oraz w pierwszym akapicie na stronie 134 Kandydat stwierdza, że istnieje podobieństwo zmierzonych i obliczonych z modeli przebiegów średniego stężenia wody i średniego stężenia suchej substancji. Świadczy to zdaniem Doktoranta o pozytywnej weryfikacji empirycznej modeli, czyli krótko mówiąc o jego walidacji. Niestety na poparcie swojego wniosku Doktorant nie pokazuje żadnych danych ani w formie tabelarycznej, ani w wykresach. Dlatego wniosek ten traktuję jako przypuszczenie a nie stwierdzenie faktu.
3. Z informacji pokazanych w tabeli 8 wynika wyraźnie, że model (58) jest szczególnym przypadkiem modelu (56) a model (59) jest szczególnym przypadkiem modelu (57). Podobnie, modele (61)-(63) są szczególnymi przypadkami modeli (56) i (57). Dlatego wydaje się oczywiste, że w analizie należało skupić się na modelach (56) i (57) a pozostałe modele pokazane w tej tabeli nie wnoszą nowych informacji.
4. Szkoda, że Autor nie zamieścił w pracy, np. w formie załącznika kodów wykorzystywanych do symulacji w systemie FlexPDE.

5. I najważniejsze, Kandydat omawiając wyniki swoich badań ograniczył się głównie do zrelacjonowania swoich wyników i ewentualnie porównania ich z wynikami uzyskanymi przez innych autorów, często dla innych materiałów. Trudno znaleźć w treści rozprawy fragmenty, w których jej Autor starałby się wyjaśnić dlaczego dzieje się tak jak pokazuje na wykresach i w tabelach. Doktorant chętnie odpowiada na pytania: co i jak? Skąpi jednak odpowiedzi na pytania: dlaczego.

Rozdział ten oceniam pozytywnie, choć zostawia on u mnie niedosyt.

W rozdziale 6. *Podsumowanie* Autor krótko streścił cel pracy oraz uzyskane wyniki. Niezależnie od tego byłoby wskazane, aby Autor nie ograniczył się tutaj tylko do wyliczenia tego co zrobił, ale aby także pokusił się o nieco głębszą refleksję nad swoim osiągnięciem. Tego jednak w rozprawie zabrakło.

W rozdziale 7. *Wnioski* Kandydat zamieścił sześć szczegółowych wniosków wyciągniętych z opisanych w rozprawie wyników badań i analiz. Nie mam krytycznych uwag do tak sformułowanych wniosków. Żałuję tylko, że doktorant nie zamieścił na końcu tego rozdziału swoich przemyśleń na temat tych zagadnień i problemów naukowych z zakresu tematyki rozprawy, które warte byłyby podjęcia w przyszłości przez innych adeptów nauki.

Bibliografia umieszczona na końcu rozprawy jest bardzo bogata i zawiera aż 303 pozycje cytowanej literatury z zakresu tematyki pracy, głównie artykuły naukowe polsko i angielskojęzyczne. Uważam, że bibliografia zawiera prawidłowo wybrane pozycje literatury a na pochwałę zasługuje aż tak duża liczba wykorzystanych publikacji, w tym wiele opublikowanych w okresie ostatnich kilku lat.

Reasumując i mając na uwadze wszystkie niewątpliwe osiągnięcia Kandydata przedstawione w ocenianej rozprawie, a także biorąc pod uwagę wszystkie moje przedstawione powyżej krytyczne uwagi **jestem przekonany, że Kandydat wypełnił trzeci z wcześniej wymienionych warunków pozytywnej oceny rozprawy doktorskiej, dotyczący zrealizowania nakreślonego scenariusza badawczego zgodnie z metodą naukową.**

Z zapisów art. 13.1 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytułach naukowych oraz o stopniach i tytułach w zakresie sztuki (Dz.U. 2003, nr 65, poz. 595 z późn. zm.) wynika, że praca doktorska powinna: stanowić oryginalne rozwiązanie problemu naukowego,

wykazywać ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie inżynieria rolnicza (obecnie inżynieria mechaniczna) a także wykazywać umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez Doktoranta. W odniesieniu do wszystkich powyższych wymogów moja ocena jest pozytywna. Uważam, że **oceniana rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego** i wnosi nowe informacje do wiedzy naukowej o procesach przenoszenia ciepła i masy zastosowanych w przetwórstwie spożywczym. Podobnie uważam, że **rozprawa potwierdza ogólną wiedzę teoretyczną Doktoranta w dyscyplinie inżynieria mechaniczna** (wcześniej inżynieria rolnicza). Mam też poczucie, że oceniana rozprawa doktorska dowodzi umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez Kandydata. **Dlatego uważam, że rozprawa może być dopuszczona do publicznej obrony.**

3. Wniosek końcowy

Podsumowując stwierdzam, że problem naukowy został w rozprawie rozwiązany, cele rozprawy doktorskiej zostały osiągnięte, a zastosowane metody i interpretacja wyników są do przyjęcia, choć mają pewne usterki i wymagają dopracowania przed przygotowaniem publikacji.

Dlatego wnoszę o dopuszczenie mgr inż. Krzysztofa Jakuba Kosiorka do publicznej obrony jego rozprawy doktorskiej pt. „*Modelowanie procesu rehydratacji suszu z buraków ćwikłowych*”.

Marek Mańkowski

