

Prof. dr hab. inż. Jarosław Sęp
Politechnika Rzeszowska
Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa

RECENZJA
rozprawy doktorskiej mgr inż. Krzysztofa Barabosza nt.
„Relatywność tekstury i wpływ jej wyróżników na profile wypalania ziaren
kawy w korelacji z jakością sensoryczną kaw segmentu specjalty”

I. Podstawy formalne i ogólna charakterystyka rozprawy

Recenzję opracowano na podstawie powołania Rady naukowej dyscypliny inżynieria mechaniczna Politechniki Opolskiej oraz umowy nr 14/DN/26.

Recenzowana rozprawa liczy 196 stron. Jej treść podzielona jest na 13 rozdziałów i oprócz tekstu zawiera 81 rysunków i 20 tabel. Rozdziały główne poprzedza spis treści oraz wykaz ważniejszych oznaczeń i skrótów.

Rozdział pierwszy rozprawy stanowi rozpoczynający rozprawę „Wstęp”. Już w pierwszym podrozdziale pracy określono problemy badawcze. Jako główny problem badawczy określono „ilościowe określenie relatywności tekstury ziaren kawy i określenie jak wybrane cechy tj: zawartość wilgoci, twardość, porowatość czy aktywność wody oraz dynamiczne zmiany tych parametrów podczas procesu palenia kawy wpływają na jakość sensoryczną (aromat, kwasowość, cielistość, ocenę ogólną)”. Główny problem badawczy został następnie podzielony na problemy szczegółowe poprzez wskazanie pięciu zagadnień, na które w pracy poszukiwano odpowiedzi. Generalnie stwierdzić można że przedmiotem badań było określenie zależności pomiędzy parametrami procesu palenia kawy, właściwościami fizykochemicznymi i strukturalnymi ziaren *Coffea arabica* oraz metodą obróbki pozbiorczej, a jakością sensoryczną naparu, ze szczególnym uwzględnieniem możliwości modelowania i predykcji jakości końcowej produktu. Sformułowanie problemu badawczego poprzedzono krótkimi (około ½ strony) rozważaniami dotyczącymi istotności procesu palenia kawy, definiującymi profil palenia, a także wskazującymi temperaturę jako krytyczną zmienną procesu oraz moc grzałki, przepływ powietrza i prędkość obrotowa bębna jako parametry umożliwiające regulację profilu palenia. W przytoczonych rozważaniach zacytowano cztery pozycje literaturowe. Następnie w podrozdziale drugim rozdziału pierwszego (około jednej strony) wskazano przyczyny podjęcia tematu.

W rozdziale drugim „Cel pracy i hipotezy badawcze” na początku określono cel pracy jako: „zdefiniowanie oraz analiza zmian i zależności pomiędzy parametrami fizykochemicznymi ziaren kawy gatunku *Coffea arabica*, przebiegiem procesu palenia, a także wyróżnikami tekstury i topografii ziaren”. Wskazano także, że praca podejmuje próbę przełożenia tych zależności na atrybuty sensoryczne naparu. Dodatkowo stwierdzono, że w

ramach badań dokonano także analizy wpływu metody obróbki pozbiorczej ziaren na ich właściwości fizykochemiczne w trakcie oraz po zakończeniu procesu palenia. Oceniono również znaczenie długości fazy rozwinięcia oraz tempa dostarczania energii cieplnej (moc grzałki) dla zmian takich parametrów jak twardość, porowatość, wysokość powierzchni (Sq i Sz), a także dla atrybutów sensorycznych naparu. Następnie sformułowano cel finalny pracy jako „określenie relacji jakościowo-ilościowych umożliwiających przewidywanie jakości sensorycznej palonej kawy na podstawie parametrów procesu oraz właściwości ziaren”. Po tych stwierdzeniach ogólnych, w pierwszym wyodrębnionym podrozdziale rozdziału drugiego wyodrębniono cele szczegółowe w postaci czterech pytań badawczych. Cele badań były następujące:

- porównanie dwóch podstawowych metod obróbki ziarna kawowca, należących do czynników pozbiorczych na charakterystykę profili palenia kawy w kontrolowanych warunkach technologicznych laboratoryjnego pieca bębnowego,
- określenie zależności i relacji między twardością ziaren, a przebiegiem procesu palenia,
- określenie wpływu trzech różnych długości faz rozwinięcia w jednostce czasu na wyróżniki tekstury (porowatość, parametry wysokości: Sq i Sz, twardość), przy stałych warunkach technologicznych procesu palenia,
- określenie wpływu tempa dostarczania energii cieplnej oraz intensywności nagrzewania (różne ustawienia mocy grzałki) przy stałym czasie fazy rozwinięcia na wyróżniki tekstury (porowatość, parametry wysokości: Sq i Sz, twardość).

Następnie w podrozdziale drugim sformułowano trzy główne hipotezy badawcze, które dodatkowo uzupełniono czterema hipotezami szczegółowymi. Hipotezy główne wskazują że:

- istnieje istotna statystycznie zależność pomiędzy parametrami fizykochemicznymi ziaren kawy *Coffea arabica*, a przebiegiem procesu palenia,
- właściwości teksturalne i topograficzne ziaren kawy po procesie palenia korelują z atrybutami sensorycznymi naparu,
- metoda obróbki pozbiorczej wpływa znacząco na zmiany właściwości ziaren w trakcie i po procesie palenia.

Z kolei hipotezy szczegółowe zakładają, że:

- długość fazy rozwinięcia oraz tempo dostarczania energii cieplnej mają istotny wpływ na twardość, porowatość ziarna oraz parametry wysokości powierzchni (Sq i Sz) ziaren,
- zmiany fizykochemiczne i strukturalne ziaren wynikające z procesu palenia mają wpływ na ocenę sensoryczną naparu,
- zależność pomiędzy parametrami procesu palenia, a jakością sensoryczną naparu mogą być opisane za pomocą relacji jakościowo-ilościowych,
- uzyskane zależności wykazują istotność statystyczną i mogą być wykorzystane do przewidywania jakości sensorycznej palonej kawy.

Po określeniu celów i hipotez badawczych i wcześniejszym przywołaniu sześciu pozycji literaturowych w pracy zamieszczono rozdział trzeci „Przegląd literatury i stanu wiedzy” zawierający aż 11 podrozdziałów. Rozdział rozpoczął od opisu rynku kawy segmentu Specjalty (pierwszy podrozdział). W podrozdziale drugim opisano czynniki determinujące jakość kawy. Zwrócono uwagę, że na jakość kawy wpływają czynniki przed zbiorami, czynniki po zbiorach oraz procedury związane z obsługą eksportu. Kolejny, trzeci podrozdział, dedykowany jest definicji Specjalty oraz opisowi koncepcji segmentu Specjalty. Z kolei podrozdział czwarty poświęcony jest podstawom procesu palenia kawy. Zwrócono w nim uwagę na trzy fazy procesu: fazę suszenia, fazę reakcji Maillarda i fazę rozwinięcia, a także na pierwsze i drugie pęknięcie oraz stopnie palenia kawy. Następny, piąty podrozdział, obejmuje charakterystykę urządzeń do palenia kawy. Przedstawiono w nim syntetycznie rodzaje pieców stosowanych do palenia kawy. W podrozdziale szóstym opisano szczegółowo jeden rodzaj pieca – bębnowy. Wybór spowodowany był wykorzystaniem tego pieca w działalności

badawczej. Ten najdłuższy w rozdziale trzecim podrozdział (7 stron) opisuje historię i współczesne rozwiązania pieca. Kolejny podrozdział, siódmy dedykowano mechanice pieca bębnowego. Wskazano, że parametry mechaniczne pieca w postaci: prędkości bębna / szybkości mieszania, rodzaju i sposobu przekazywania ciepła oraz szybkości przepływu powietrza mają szczególny wpływ na proces palenia kawy. Następnie (podrozdział ósmy) scharakteryzowano termodynamikę procesu palenia kawy. Opisano kondukcję, konwekcję, radiację oraz aktywność wody. Podrozdział dziewiąty dotyczy zmian fizycznych i chemicznych ziarna w procesie palenia. Syntetycznie zwrócono uwagę w tym fragmencie pracy na zmiany fizyczne (utrata wilgoci, zwiększenie objętości i rozwój ciśnienia wewnętrznego, zmianę gęstości i porowatości, zmianę tekstury i właściwości mechanicznych, migrację lipidów na powierzchnię ziarna oraz rozwój koloru), a także na zmiany chemiczne (reakcję Maillarda, degradację Streckera, rozkład węglowodanów i karmelizację, degradację kwasu chlorogenowego oraz konwersję trygoneliny do kwasu nikotynowego). Dziesiąty podrozdział opisuje jakość sensoryczną kaw segmentu Specjalty. Zwrócono tutaj uwagę, że podstawą oceny jakości jest formalna analiza sensoryczna, która jest określana poprzez standaryzowany protokół degustacji (cupping). Zamknięciem rozdziału trzeciego jest podrozdział jedenasty w postaci podsumowania przeglądu literatury. Podsumowanie przeglądu literatury zakończono stwierdzeniem: „Wnioski wynikające z przeglądu literatury wskazują na potrzebę pogłębionych, empirycznych badań nad relacją między wyróżnikami tekstury ziaren a przebiegiem procesu palenia i jakością sensoryczną. Te zagadnienia będą stanowiły główny przedmiot dalszej części niniejszej pracy”. Szczególnie istotną rolę przypisano zatem wyróżnikom tekstury. Zwraca uwagę, że określenie tekstura, poza podsumowaniem, pojawia się w tekście rozdziału trzeciego tylko dwa razy (w tym raz w tytule podrozdziału). Nie wspomina się w ogóle (poza podsumowaniem) w rozdziale trzecim o wyróżnikach struktury. Zatem w przeglądzie stanu wiedzy niezwykle marginalnie potraktowano kwestię pojawiającą się w istotnym zakresie w celach pracy i hipotezach badawczych, a także motywującą dalsze prace badawcze.

W rozdziale czwartym „Materiał i metody” scharakteryzowano materiał badawczy, stanowisko badawcze, metodykę oznaczeń laboratoryjnych oraz schemat badań. Do badań wykorzystano kawę (gatunku *Coffea arabica*, odmiany botanicznej Caturra) obrabianą metodą na sucho i na mokro. Badania przeprowadzono w piecu bębnowym laboratoryjnym ROEST L100 wyposażonym w 4 czujniki temperatury: ziarna, powietrza w bębnie, powietrza wylotowego i bębna oraz automatyczną detekcję FC za pomocą wbudowanego mikrofonu. Metodyka badań zakładała próbkę badawczą o masie 100g, którą w piecu poddawano procesowi palenia przy następujących parametrach: moc grzałki 73% (1220W), prędkość mieszalników bębna 63 obr/min, przepływ powietrza 75%. W ramach prowadzonych badań dokonywano zmian dwóch parametrów operacyjnych procesu palenia. Należały do nich: moc grzałki (trzy stopnie pracy) oraz czas trwania fazy rozwinięcia (5 – 135 s). Pozostałe parametry przyjmowano jako stałe. W ramach prowadzonych prac badawczych określano następujące parametry: gęstość nasypową, aktywność wody, zawartość wilgoci, utratę masy w czasie, porowatość, parametry wysokości: Sq i Sz, twardość, kolor wypalanej kawy oraz ocenę sensoryczną. W podrozdziale trzecim opisano szczegółowo metodykę pomiaru wskazywanych parametrów. W podrozdziale czwartym zawarto natomiast schematy czterech zrealizowanych procesów badawczych. Przeprowadzono następujące badania:

- analizę profili palenia kaw washed i natural, wypalonych przy stałych parametrach mocy grzałki (73%), przepływie powietrza (75%), obrotach mieszalnika (63 obr. / min) i czasie fazy rozwinięcia (53 s) – badanie 1,
- wpływ dziesięciu różnych czasów fazy rozwinięcia (5 s, 15 s, 30 s, 45 s, 60 s, 75 s, 90 s, 105 s, 120 s, 135 s) na wyróżniki tekstury przy stałych parametrach mocy grzałki (73%), przepływu powietrza (75%), obrotów mieszalnika (63 obr / min) – badanie 2,

- wpływ procesu palenia dla trzech różnych faz rozwinięcia (1 s (FC), 75 s, 180 s) na wyróżniki tekstury przy stałych parametrach mocy grzałki (73%), przepływu powietrza (75%), obrotów mieszalnika (63 obr. / min) – badanie 3,

- wpływ procesu palenia dla trzech różnych mocy grzałki (Fast: 88%, Regular: 73%, Slow: 66%) na wyróżniki tekstury przy stałych parametrach czasu rozwinięcia (75 s), przepływu powietrza (75%), obrotów mieszalnika (63 obr. / min) – badanie 4.

Rozdział piąty zawiera analizę wyników badań. W czterech podrozdziałach przedstawiono w nim wyniki czterech zrealizowanych, wyszczególnionych powyżej, badań. W podrozdziale pierwszym na wykresach oraz w tabelach przedstawiono wyniki badania 1, wspartego również analizami statystycznymi. Uzyskane wyniki wskazały wyraźny wpływ metody obróbki na przebieg procesu palenia kawy. Szczegółowa analiza statystyczna wykazała, że metoda obróbki (washed, natural) istotnie wpływa na całkowity czas palenia i utratę masy w czasie, natomiast nie wpływa w istotny sposób na temperaturę końcową i liczbę zarejestrowanych pęknięć.

Podrozdział drugi zawiera przedstawione na wykresach oraz w tabeli wyniki badania 2. Wsparto je ponadto analizami statystycznymi. Wykazano istotne zależności między czasem rozwinięcia, a badanymi parametrami ziaren.

W podrozdziale 3 na rysunkach i w tabelach przedstawiono wyniki badania 3. Przeprowadzono także analizy statystyczne. Wykazano, że wydłużenie fazy rozwinięcia od 1 s do 180 s systematycznie podnosiło temperaturę końcową i ubytek masy, zwiększało liczbę pęknięć, obniżało poziom wilgoci i aktywność wody oraz ściemniało barwę, przy czym skala tych zmian była wyraźnie większa dla kawy obrabianej na sucho (natural) niż kawy obrabianej na mokro (washed). Stwierdzono także, że ziarna kawy doświadczyły istotnych zmian strukturalnych wraz ze zmianą czasu fazy rozwinięcia, przy czym efekty te silnie zależały od metody obróbki. Z kolei analiza topografii powierzchni ziaren kawy ujawniła wyraźne różnice wynikające zarówno z metody obróbki, jak i długości fazy rozwinięcia. Badania twardości ujawniły, że wydłużenie fazy rozwinięcia zmniejsza twardość palonych ziaren. Podsumowująca analiza sensoryczna wykazała natomiast, że profil palenia z fazą rozwinięcia 75 s zapewnia optymalny kompromis pomiędzy intensywnością aromatu, wyrazistością kwasowości, pełną cielistością i zrównoważonym balansem.

Podrozdział 4 zawiera przedstawione na rysunkach i w tabelach wyniki badania 4. Również w tym przypadku wsparto je analizami statystycznymi. Wykazano, że zastosowana moc grzałki wpływa na parametry ziaren, w tym na ich twardość, porowatość i chropowatość. Podsumowująca analiza sensoryczna pozwoliła wywnioskować, że moc grzałki istotnie modeluje profil sensoryczny, lecz efekt ten zależny jest od metody obróbki (washed / natural).

W rozdziale szóstym przedstawiono dyskusję wyników ukierunkowaną na zrealizowane badania. Wyniki uzyskane przez Autora są odnoszone do danych literaturowych. W rozdziale tym są także przytaczane wyniki prac innych autorów, które są powiązane ze zrealizowanymi badaniami. Na podstawie przeprowadzonych badań zostały także zaproponowane dwa wskaźniki diagnostyczne, których celem jest monitorowanie partii, aby szybciej wykrywać te wymagające korekt nastawy mocy grzałki czy przepływu powietrza. Wskaźniki te to: WOC (wskaźnik oporu cieplnego) - iloraz czasu do pierwszego pęknięcia i temperatury ziarna w momencie akustycznej rejestracji pęknięć, określający początek fazy rozwinięcia oraz WSUM (wskaźnik szybkości ubytku masy) - iloraz ubytku masy po paleniu i całkowitego czasu palenia. Podano także wartości progowe wskaźników wraz z ich interpretacją w kontekście analizowanych procesów.

Rozdział siódmy zawiera rekomendacje wdrożeniowe. W pierwszym etapie zaproponowano wdrożenie nowych testów sensorycznych łączących parametry fizykochemiczne i autorskie wskaźniki diagnostyczne: WOC i WSUM, z najbardziej wrażliwymi atrybutami sensorycznymi (aromat, kwasowość, cielistość, balans).

Zaproponowano także autorski arkusz oceny kawy, wykorzystujący autorskie wskaźniki diagnostyczne. Kolejną propozycją jest rozwój algorytmu predykcji kawy opierającego się na twardości oraz badanych parametrach tekstury. W tym przypadku również zaproponowano autorski bezwymiarowy wskaźnik nazwany współczynnikiem relatywności tekstury. Jest on wyznaczany jako iloraz twardości do iloczynu porowatości oraz średniego kwadratowego odchylenia wysokości profilu powierzchni. Według Autora w przeprowadzonych badaniach oznaczonych w pracy jako 3 i 4 wskaźnik TRI korelował z oceną końcową dla ziaren obrobionych metodą na sucho (natural). W przywoływanych badaniach wskaźnik ten nie był jednak obliczany, nie przedstawiono także jego korelacji z oceną końcową ziaren.

Rozdział ósmy zawiera podsumowanie i wnioski. Podsumowano w nim syntetycznie wyniki czterech realizowanych procesów badawczych. Odniesiono się także do weryfikacji postawionych hipotez badawczych. Stwierdzono pozytywne zweryfikowanie postawionych hipotez głównych oraz dwóch hipotez szczegółowych (dotyczących wpływu fazy rozwinięcia i tempa grzania na teksturę i topografię ziaren). Jako częściowo potwierdzone uznano hipotezy dotyczące możliwości sformułowania na podstawie przeprowadzonych badań zależności ilościowych i przewidywania jakości sensorycznej. W rozdziale tym przedstawiono także siedem wniosków szczegółowych wynikających ze zrealizowanych badań, a także kierunki dalszych badań.

W rozdział dziewiątym pracy zawarto bibliografię. Zawiera ona 166 pozycji literaturowych. Cytowana w pracy literatura jest aktualna powiązana z jej tematyką.

Rozdziały dziesiąty i jedenasty rozprawy to odpowiednio spis rysunków oraz spis tabel. Z kolei rozdziały dwunasty i trzynasty to streszczenia rozprawy odpowiednio w języku polskim i angielskim.

II. Ocena merytoryczna rozprawy

2.1. Aktualność i znaczenie podjętej tematyki

Dynamiczny rozwój rynku kaw specjalty oraz rosnące wymagania konsumentów dotyczące jakości sensorycznej naparu powodują wzrost znaczenia badań nad analizą i doskonaleniem procesu palenia ziaren kawy. Proces wypalania stanowi jeden z kluczowych etapów kształtujących końcowe właściwości fizykochemiczne, strukturalne i sensoryczne produktu, a nawet niewielkie zmiany parametrów technologicznych mogą istotnie wpływać na jakość naparu. Pomimo dużego znaczenia praktycznego procesu palenia, wiele zagadnień związanych z wpływem parametrów technologicznych na zmiany strukturalne ziaren kawy nadal pozostaje niewystarczająco opisanych w literaturze naukowej, szczególnie w ujęciu ilościowym i aplikacyjnym.

Badania realizowane w tym zakresie koncentrowały się głównie na ocenie sensorycznej kawy oraz chemicznych aspektach procesu palenia, natomiast w mniejszym stopniu analizowano zależności pomiędzy parametrami procesu cieplnego a zmianami właściwości fizycznych i teksturalnych ziaren, takich jak twardość, porowatość czy topografia powierzchni. Szczególnie ograniczone wydają się być liczba badania dotyczące wpływu długości fazy rozwinięcia, tempa dostarczania energii cieplnej oraz metody obróbki pozbiorczej ziaren na zmiany strukturalne materiału podczas procesu wypalania. W literaturze występuje również niedobór modeli umożliwiających ilościowe przewidywanie jakości sensorycznej kawy na podstawie parametrów procesu technologicznego oraz właściwości fizykochemicznych ziaren.

Podjęta tematyka jest zatem aktualna, posiada także istotne znaczenie zarówno poznawcze, jak i aplikacyjne. Uzyskane wyniki mogą przyczynić się do lepszego zrozumienia mechanizmów zachodzących podczas procesu palenia kawy oraz wspierać rozwój bardziej

powtarzalnych i zmierzających do optymalnych metod prowadzenia procesu technologicznego. Wyniki badań mogą znaleźć praktyczne zastosowanie w palarniach kaw specjalty w zakresie kontroli jakości, optymalizacji profili palenia oraz przewidywania jakości sensorycznej produktu końcowego. Tematyka pracy wpisuje się ponadto w aktualne kierunki badań z zakresu Inżynierii produkcji w zakresie inżynierii procesowej oraz analizy właściwości mechanicznych materiałów roślinnych poddawanych obróbce cieplnej.

2.2. Realizacja badań i uzyskane rezultaty

Praca ma w przeważającej części charakter eksperymentalny. W jej ramach przeprowadzono, nakierowane na uzyskanie celów pracy i potwierdzenie przyjętych hipotez, szeroko zakrojone badania obejmujące realizację procesu palenia, a także pomiar wybranych parametrów ziaren kawy przed i po wypaleniu wraz z ich analizą. Przeprowadzono także ocenę jakości sensorycznej kawy wykorzystując ekspercką metodę „cuppingu” opracowaną przez Specialty Coffee Association.

Proces palenia w trzech przeprowadzonych badaniach (2,3,4) realizowano ze zmieniającymi zgodnie przyjętym planem dwoma parametrami sterowanymi (moc grzałki oraz czas trwania fazy rozwinięcia) w stosownie oprzyrządowanym laboratoryjnym piecu bębnowym. Pozostałe parametry: wielkość próbki badawczej, temperatura wrzutu, BBP (Between Batch Protocol) oraz prędkość mieszalników bębna przyjęto jako parametry stałe procesu. Niezmienne parametry procesu palenia zachowywano w badaniu „1”, które miało na celu porównanie wpływu dwóch podstawowych metod obróbki ziarna kawowca (washed - na mokro i natural – na sucho) na charakterystykę profili palenia kawy w kontrolowanych warunkach technologicznych laboratoryjnego pieca bębnowego.

Badanymi parametrami ziaren kawy były: gęstość nasypowa, aktywność wody, zawartość wilgoci, porowatość i topografia powierzchni (przed i po przeprowadzeniu procesu palenia) oraz kolor kawy i twardość (po wypaleniu). Wymienione badania zrealizowano przy wykorzystaniu standaryzowanych i nowoczesnych urządzeń pomiarowych oraz posiadającej również wymienione cechy aparatury pomiarowej.

Ocenę sensoryczną prowadzono zgodnie ze sprecyzowaną procedurą. Bazowano na ocenie czterech ekspertów posiadających stosowne certyfikaty w zakresie oceny sensorycznej kawy.

Analizując zrealizowane badania można stwierdzić, że w pracy założono i zrealizowano rozbudowany plan badań. Badania przeprowadzono z wykorzystaniem nowoczesnej aparatury, właściwie dokumentując otrzymane wyniki. Generalnie opis metodyki badań jest precyzyjny, a prezentacja wyników badań jest czytelna i zrozumiała. Weryfikując sformułowane hipotezy zrealizowano także stosowane analizy statystyczne.

Przeprowadzone badania doprowadziły do następujących oryginalnych osiągnięć rozprawy, do których, w szczególności dla kaw segmentu Specjalty zaliczyć można:

- analizę porównawczą dwóch podstawowych metod obróbki ziarna kawowca w kontekście ich wpływu na analizowane parametry ziarna zielonego i palonego z ukierunkowaniem na próbę identyfikacji wzajemnych oddziaływań między metodami obróbki a procesem palenia,
- określenie wpływu czasu fazy rozwinięcia na analizowane parametry ziarna zielonego i palonego ze szczególnym ukierunkowaniem na teksturę powierzchni, twardość oraz wybrane parametry procesu palenia (całkowity czas palenia, temperatura końcowa, liczba zarejestrowanych pęknięć),
- określenie wpływu czasu rozwinięcia na teksturę ziarna oraz parametry fizyko-chemiczne ziaren (twardość, utrata masy w czasie, zawartość wilgoci, aktywność wody, kolor palonej kawy) w kontekście ich wpływu na profil sensoryczny gotowego produktu,

- określenie wpływu dynamiki transferu ciepła (mocy grzałki) podczas procesu palenia na teksturę ziarna oraz parametry fizyko-chemiczne ziaren w kontekście ich wpływu na profil sensoryczny gotowego produktu.

Analiza efektów uzyskanych badań pozwala stwierdzić, że w pracy podjęto i rozwiązano w stopniu akceptowalnym oryginalny problem naukowy związany z określeniem wpływu dwóch wybranych parametrów technologicznych procesu palenia kawy (czas fazy rozwinięcia, moc grzałki) na cechy teksturalne i fizykochemiczne ziaren, z uwzględnieniem dwóch metod ich obróbki (washed, natural), a także z określeniem wpływu wymienionych czynników na jakość kaw segmentu Specjalty. Autor rozprawy potwierdził także umiejętność samodzielnego prowadzenia badań naukowych.

Zakres i poziom naukowy spełniają wymagania stawiane rozprawom doktorskim. Tematyka rozprawy zawiera się w ramach Inżynierii produkcji, a poprzez to w ramach dyscypliny Inżynieria mechaniczna z elementami Inżynierii materiałów roślinnych. Decydują o tym kwestie powiązane określanie w rozprawie wpływu powiązanych z wymianą ciepła parametrów procesu na właściwości, w znaczącej części mechaniczne, ziaren kawy, a także metodyka analizy topografii powierzchni. Recenzowana praca może być zatem podstawą nadania stopnia naukowego doktora w dyscyplinie Inżynieria mechaniczna, oczywiście pod warunkiem pozytywnego wyniku jej obrony.

2.3. Strona edytorska i redakcyjna pracy

Generalnie praca napisana jest poprawnym i zrozumiałym językiem. Występują w niej bardzo nieliczne usterki o charakterze edytorskim, stylistycznym lub redakcyjnym. Przykładowo:

- str. 9 „Regulacja profilu palenia następuje poprzez dostosowywanie ziemnych takich jak moc grzałki, przepływ powietrza i prędkość obrotowa bębna.”
- str. 12 „Celem badania było porównanie wplywu (w tekście brakuje słowa „wpływu”) dwóch podstawowych metod obróbki ziarna kawowca, należących do czynników pozbiorniczych na charakterystykę profili palenia kawy w kontrolowanych warunkach technologicznych laboratoryjnego pieca bębnowego.”
- str. 86 - Zamieszczono tam identyczne zdanie jak zacytowane ze str. 12 z taką samą usterką.
- str. 86, 88, 90 – w schematach przedstawiających plan badań zamiast słowa „ziarna” znajduje się słowo „ziarana”.

Oczywiście w przypadku recenzowanej rozprawy wskazywane usterki nie mają negatywnego wpływu na zrozumienie jej treści. Przyjęto układ pracy zakładający jej rozpoczęcie do wskazania celu i hipotez badawczych, które poprzedzają przegląd literatury i stanu wiedzy. Jest to układ który można określić jako techniczno-badawczy, poprawny w pracach opierających się na badaniach eksperymentalnych. Cytowana literatura jest aktualna, zdecydowana większość przywoływanych pozycji jest wydana po roku 2020. Pozycje literaturowe są zamieszczone w spisie w kolejności cytowania. Przy wskazywanych stronach internetowych brakuje daty dostępu. Z drobniejszych usterek redakcyjnych można jeszcze zwrócić uwagę na brak jednostek wielkości zawartych w wykazie ważniejszych oznaczeń i skrótów oraz zakończenie niektórych rozdziałów rysunkiem (3.1, 3.3, 3.9.1, 4.1, 4.4.3, 5.3, 5.4).

2.4. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

Każda praca naukowa nasuwa pewne pytania i wątpliwości, jak również stanowi punkt wyjścia do dyskusji i wyznaczania kierunków dalszych badań. Mam w tym kontekście sformułowane poniżej uwagi do recenzowanej rozprawy.

1. Znajdujące się w tyle rozprawy określenie „Relatywność tekstury” jest nieprecyzyjne z punktu widzenia metodycznego. Precyzyjniejszym określenie mogłoby przykładowo mieć postać: „Zmienność struktury”. Również określenie „wyróżniki tekstury” brzmi trochę zbyt opisowo i nie jest precyzyjne. Precyzyjniejszym określeniem byłyby przykładowo „właściwości strukturalne”.

2. W pracy wskazano cztery badania główne oraz cztery hipotezy szczegółowe. Zaplanowane cztery badania są zasadniczo spójne z czterema pierwotnymi hipotezami szczegółowymi, ale stopień pokrycia nie jest równomierny. Dwie pierwsze hipotezy są pokryte bardzo dobrze przez planowane badania. Trzecia jest pokryta pośrednio, tzn. badania generują dane potrzebne do testowania hipotezy, ale sam proces: modelowania, budowy zależności, analizy regresji, predykcji nie jest zapisany jako element metodyki. Podobnie, a nawet nieco gorzej jest w przypadku hipotezy czwartej. Badania generują dane, ale nie wskazano na weryfikację/walidację oraz ocenę ich adekwatności. O konsekwencjach takiego stanu rzeczy wspomnę jeszcze w punkcie 16.

3. Przyjęty układ przy generuje zagrożenie, że wskazywane cele i postawione hipotezy mogą zostać uznane za arbitralne i nie wynikające precyzyjnie ze zdefiniowanych na podstawie przeglądu stanu wiedzy luk badawczych. W recenzowanej rozprawie nie uniknięto całkowicie tego zagrożenia. Przegląd literatury i stanu wiedzy koncentruje się kwestiach rynku oraz jakości kawy, opisie procesu palenia kawy oraz zmianom fizycznym i chemicznym ziarna w procesie palenia. W podsumowaniu przeglądu stanu wiedzy pojawia się stwierdzenie: „W świetle dotychczasowych badań coraz większe znaczenie przypisuje się wyróżnikom tekstury, min. porowatości, twardości, szorstkości powierzchni jako czynnikom prognostycznym dla kontroli procesu palenia.” A ponadto: „Wnioski wynikające z przeglądu literatury wskazują na potrzebę pogłębionych, empirycznych badań nad relacją między wyróżnikami tekstury ziaren a przebiegiem procesu palenia i jakością sensoryczną.” Natomiast w przeglądzie stanu wiedzy w rozdziale nr 3 praktycznie nie wspomina się o wskazywanych wyróżnikach tekstury takich jak twardość i topografia powierzchni. Nie wspomniano także nic o wskazywanych kwestiach prognostycznych. Nie neguję słuszności wniosków podsumowujących przegląd literatury, ale nie mają one wystarczającego oparcia w poprzedzającym je tekście rozprawy. Odniesienia do literatury we wskazanych kontekstach występują przy prezentacji i analizie wyników, w tym również przy potwierdzaniu spójności uzyskanych wyników z danymi literaturowymi. To jednak dodatkowo zaciemnia obraz luki badawczej zidentyfikowanej przed podjęciem badań.

4. W rozdziale 3 na str. 16 stwierdzono, że „na jakość kawy wpływa około 40% czynników przed zbiorami, 40% czynników po zbiorach i 20% procedur związanych z obsługą eksportu.” Czy czynniki przed zbiorami i związane z obsługą eksportu (szacowane na 60% wpływu) mogły wpłynąć na wyniki przedstawiane w rozprawie. Jeżeli tak, to w jakim stopniu.

5. W opisie procesu palenia kawy stwierdzono, że takie parametry procesu jak: prędkość bębna (str. 39) oraz prędkość przepływ powietrza (str. 41) mają szczególny, a nawet krytyczny wpływ na przebieg procesu palenia. Natomiast w przeprowadzonych badaniach przyjęto je na stałym poziomie, odpowiednio: obroty mieszalnika: 63 obr. / min, przepływ powietrza: 75%. Na jakiej

podstawie przyjęto te wartości, dlaczego traktowano je jako stałe? Czy były prowadzone w tym zakresie badania wstępne? Czy były publikowane?

6. Co oznacza określenie „wydajność mechaniczna ziarna” znajdujące się na str. 44?

7. Dlaczego do charakterystyki topografii powierzchni wybrano parametry S_q (średnią kwadratową wysokość powierzchni) oraz S_z (wysokość maksymalną powierzchni)? W pracy nie ma informacji na ten temat. Ponadto zwraca uwagę, że nie są to parametry całkowicie niezależne.

8. Definicja twardości jako maksymalnej siły potrzebnej do rozkruszenia struktury ziarna podczas ściskania jest mocno dyskusyjna. Dlaczego nie posługiwano się w pracy innym określeniem, przykładowo „siła niszcząca” albo „odporność mechaniczna”? Twardość (siłę) oznaczano jako „g”. Chodzi zapewne o gram. Takie podejście nie jest poprawne. Gram jest jednostką masy, a nie siły. Jednostką siły jest N, należało przeliczyć wskazania urządzenia badawczego, które najprawdopodobniej wskazywało wyniki w jednostkach gf (gram-siła).

9. Na str. 89 stwierdzono w kontekście badania 4, że „Wyniki mogą wskazać optymalny zakres szybkości palenia, który sprzyja pożądanym cechom sensorycznym”. Brakuje przesłanek do takiego stwierdzenia, plan badań nie zakłada przeprowadzenia procedury optymalizacyjnej. Na str. 120 znajduje się z kolei stwierdzenie: „profil palenia z fazą rozwinięcia 75 s zapewnia optymalny kompromis pomiędzy intensywnością aromatu, wyrazistością kwasowości, pełną cielistością.” Również w tym przypadku brakuje przesłanek do takiego stwierdzenia. Nie przeprowadzono procedury optymalizacyjnej.

10. Przy prezentacji wyników badania nr 2 pojawia się stwierdzenie, że „Przebadano łącznie 10 wypałów ziaren pochodzących z obróbki na sucho (natural) i 10 wypałów ziaren pochodzących z obróbki na mokro (washed).” Badanie zakładało 10 wartości czasu rozwinięcia, a na wykresach prezentujących wyniki (5.3 – 5.5) dla każdego czasu naniesiono po jednym punkcie. Powstają w związku z tym dwa pytania. Po pierwsze: jak liczna była próbka dla każdego z dziesięciu wypałów? I po drugie: jakie wartości przyjęto do obliczeń współczynnika korelacji Pearsona? Średnie, czy wszystkie uzyskane wyniki?

11. Na str. 134 znajduje się stwierdzenie, że „można zauważyć silną współzależność między chropowatością (S_q), a maksymalną wysokością powierzchni (S_z).” Można było tego oczekiwać, te parametry nie są niezależne.

12. W analizie wyników, na podstawie badania 1 sformułowano dwa autorskie wskaźniki diagnostyczne, których celem jest monitorowanie partii surowca. Pierwszy z nich to Wskaźnik Oporu Ciepłego przed pierwszym pęknięciem (iloraz czasu do osiągnięcia pierwszego pęknięcia oraz temperatury pierwszego pęknięcia). Drugi ze wskaźników to Wskaźnik Szybkości Ubytku Masy podczas palenia (iloraz ubytku masy w czasie po paleniu oraz całkowitego czasu palenia). Dla obu wskaźników podano także przedziały z wartościami progowymi wraz z interpretacjami dotyczącymi procesu. Dążenie do opracowania uogólniających wskaźników jest wysoce zasadne i potrzebne. Jednak w pracy nie przedstawiono w przypadku obu wskaźników analiz prowadzących do wniosków w postaci zalecanych interpretacji. Ponadto niektóre wielkości wprowadzone do wzorów (w szczególności czas do pierwszego pęknięcia oraz całkowity czas palenia) charakteryzują się znacznymi rozrzutami przy pomiarach ich wartości. Będzie to rzutowało na dokładność określenia wskaźników, a co za tym idzie utrudniało interpretację wyniku. Zatem

przedstawione w tym zakresie w pracy wyniki należy uznać za wstępne i wymagające dopracowania w przyszłości. Sentencję tą dodatkowo wzmacnia zawarte w pracy stwierdzenie (str. 142), wskazujące że „wartości progowe dla parametrów WOC i WSUM muszą być skalibrowane dla konkretnego pieca.”

13. W rozdziale 7 zaproponowano rekomendacje wdrożeniowe, w tym dotyczące zaproponowanych wskaźników autorskich. Wątpliwości w tym zakresie przedstawiłem wcześniej.

14. Kolejną propozycją w zakresie rekomendacji wdrożeniowych jest bezwymiarowy wskaźnik empiryczny (TRI) integrujący trzy parametry tekstury palonego ziarna: mechaniczną wytrzymałość (twardość), wewnętrzną porowatość w regionie bruzdy, mikrotopografię powierzchni (parametr Sq). W pracy stwierdzono (str. 159), że „W przeprowadzonych badaniach 3 i 4 wskaźnik TRI korelował z oceną końcową dla ziaren obrobionych metodą na sucho (natural).” Nie podano jednak żadnych przesłanek do tego wniosku, zatem na obecnym etapie, wyniki należy uznać za wstępne i wymagające dopracowania w przyszłości.

15. W praktyce przemysłowej każde potencjalne wdrożenie analizowane jest w kontekście spodziewanych korzyści finansowych oraz niezbędnych nakładów. Warto brać to pod uwagę przy formułowaniu propozycji wdrożeniowych.

16. Hipotezy szczegółowe nr 1 oraz nr 2 należy uznać za potwierdzone w całości. W ramach hipotezy szczegółowej 3 zakładano możliwość opisaną zależności pomiędzy parametrami procesu palenia, a jakością sensoryczną naparu za pomocą relacji jakościowo-ilościowych. Relacje jakościowe są określone, natomiast brak jest modelu prezentującego zależności ilościowe. Hipotezę 3 można zatem uznać za potwierdzoną w istotnej części. Natomiast nie można uznać za potwierdzoną hipotezy 4. Nie potwierdzono przydatności we wskazywanym przez nią zakresie przywoływanego parametru TRI.

17. W ramach rozdziału 8 po podsumowaniu sformułowano ogólne syntetyczne wnioski końcowe. Wniosek 6 jest sformułowany niezrozumiale. Sq i Sz nie są wskaźnikami samego procesu, tylko raczej skutków procesu widocznych w topografii powierzchni. Z kolei wniosek 7 ma charakter bardzo ogólny.

18. W streszczeniu zawarto stwierdzenie, że w ramach rozprawy opracowano „ilościowe opisanie zależności między mikrostrukturą palonych ziaren a ich smakiem, co stanowi nowatorskie rozwiązanie.” Takich zależności nie opracowano w ramach rozprawy. Podobnie rzecz się ma ze stwierdzeniem „Wykazano, że zmiany w strukturze ziaren (twardość, porowatość, topografia) korelują z jakością naparu, a zależności te można przedstawić za pomocą prostych równań.” W rozprawie nie przedstawiono takich równań.

Wskazane uwagi o charakterze dyskusyjnym i krytycznym, chociaż obniżają nieco wartość pracy, to nie wpływają na ostateczną, pozytywną jej ocenę.

III. Podsumowanie i wniosek końcowy

W pracy doktorskiej autorstwa mgr inż. Krzysztofa Barabosza podjęto interesujący i aktualny naukowo temat ukierunkowany na określenie zależności pomiędzy parametrami procesu palenia kawy, właściwościami fizykochemicznymi i strukturalnymi ziaren *Coffea arabica* oraz metodą obróbki pozbiorczej, a jakością sensoryczną naparu, z wstępnym

uwzględnieniem możliwości modelowania i predykcji jakości końcowej produktu. Poprzez zrealizowanie założonego planu badawczego Autor rozprawy rozwiązał oryginalny problem naukowy, wykazał się także umiejętnością samodzielnego prowadzenia badań naukowych.

Stwierdzam, że recenzowana rozprawa spełnia wymagania ustawowe stawiane Kandydatom do stopnia naukowego doktora. Wniosuję zatem do Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Politechniki Opolskiej o dopuszczenie jej do publicznej obrony.