

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgra inż. Piotra Lewko
pt. „Opracowanie metody modyfikacji właściwości mąki pszennej z przeznaczeniem
do zastosowań w piekarnictwie”
wykonanej w Katedrze Techniki Ciepłej i Inżynierii Procesowej
Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie
pod kierunkiem naukowym promotora prof. dr hab. inż. Agnieszki Wójtowicz
oraz opiekuna naukowego inż. Krzysztofa Gaczkowskiego**

Podstawa formalna przygotowania recenzji

Podstawą formalną przygotowania recenzji było pismo prof. dr hab. Waldemara Gustawa, Przewodniczącego Rady Dyscypliny Technologia Żywności i Żywnienia Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie z dnia 14.10.2024 roku, nawiązujące do uchwały Rady Dyscypliny Technologia Żywności i Żywnienia Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie z dnia 09.10.2024 roku.

Praca była realizowana w ramach projektu finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Edukacji z programu Doktorat wdrożeniowy (DWD/4/84/2020). Podmiotem współpracującym we wdrażaniu projektu była firma PZZ Lubella GMW Sp. z o.o.

Uzasadnienie podjęcia tematyki badawczej

Pszenica zwyczajna (*Triticum aestivum* L.) jest jedną z najważniejszych roślin zbożowych zarówno w Polsce, jak i na świecie. W ostatnich latach produkcja pszenicy wykazuje trend zwykły. W sezonie 2023/2024 światowe zbiory pszenicy oszacowano na 790 mln ton, w Polsce zebrano około 13 mln ton tego zboża. Ziarno pszenicy jest jednym z podstawowych surowców wykorzystywanych do produkcji żywności. W skali światowej do przerobu na cele spożywcze przeznaczają się średnio 60% zbiorów pszenicy, w Polsce ten udział wynosi około 40%. Głównym kierunkiem przerobu ziarna pszenicy jest przemiał na mąki, które stanowią surowiec do produkcji różnych asortymentów pieczywa, wyrobów ciastkarskich, makaronów.

Przemiał ziarna pszenicy może odbywać się w systemie prostym, w wyniku którego otrzymuje się mąki wysokowyciągowe lub w systemie złożonym, wówczas produktem podstawowym są różnego typu mąki niskowyciągowe (gatunkowe) o łącznym wyciągu 75-78%, pozostałe 22-25% stanowią produkty uboczne – otręby, zarodki, mąki filtracyjne oraz mąki z końcowych pasażów przemiałowych. Proces przemiału ziarna pszenicy na mąki niskowyciągowe odbywa się na linii produkcyjnej w skład której wchodzi podstawowe urządzenia do rozdrabniania, czyli młeczniki walcowe, które mogą być wspomagane przez rzutniki otrębowe i kaszkowe oraz urządzenia do sortowania, czyli odsiewacze płaskie (sortowanie według wielkości cząstek) oraz dodatkowo wialnie kaszkowe (sortowanie jakościowe). W procesie przemiału złożonego rozdrabnianie odbywa się kolejno na kilku/kilkunastu urządzeniach rozdrabniających, przy czym po każdym etapie rozdrabniania uzyskane mlewo jest poddawane sortowaniu. Zespół maszyn rozdrabniająco-sortujących, które spełniają określoną funkcję technologiczną dla danego rodzaju mlewa w młynarstwie określane są pasażem przemiałowym. W schemacie przemiałowym pszenicy pasaż są podzielone na śrutowe, rozczynowe i wymiałowe. Z każdego pasażu otrzymuje się od jednej do nawet trzech-czterech strumieni mąki. W mieszalni w wyniku połączenia w odpowiednich proporcjach mąk pasażowych przygotowują się mąki handlowe. Mąki z poszczególnych pasażów różnią się pod względem właściwości fizyko-chemicznych, co wynika z różnego składu chemicznego poszczególnych części anatomicznych ziarniaka pszenicy. W miarę postępującego procesu rozdrabniania i wymielania mlewa do oddzielanej mąki, oprócz

rozdrobnionych cząstek bielma mącznego, trafia coraz więcej cząstek pochodzących z okrywy owocowo-nasiennej i warstwy aleuronowej, dlatego mąki z końcowych pasaży przemiałowych zawierają m.in. mniej białek glutenowych, a więcej błonnika pokarmowego, składników mineralnych (popiołu) oraz mają ciemniejszą barwę, co ogranicza ich wykorzystanie w przemyśle piekarsko-ciastkarskim czy makaronowym.

Właściwości technologiczne mąki pszennej zależą przede wszystkim od kompleksu białkowo-proteolitycznego oraz skrobiowo-amylolicznego. Wpływają na nie również interakcje pomiędzy białkami, skrobią oraz zaliczanymi do błonnika pokarmowego polisacharydami nieskrobiowymi, których ilość wzrasta w mąkach z końcowych pasaży przemiałowych. Do tej grupy związków należą m.in. arabinoksylany, które cechują się zdolnością do wiązania dużych ilości wody, dlatego podczas tworzenia się ciasta wpływają na redystrybucję wody pomiędzy jego składnikami. Około 75% zawartych w mące pszennej arabinoksylanów stanowi frakcja nierozpuszczalna w wodzie, która poprzez wiązanie dużych ilości wody uniemożliwia właściwe nawodnienie skrobi i glutenu, co utrudnia formowanie siatki glutenowej wpływając negatywnie na właściwości reologiczne ciasta. Ponadto podczas fermentacji ciasta oraz w pierwszej fazie wypieku nierozpuszczalne arabinoksylany uszkadzają cząsteczki CO₂, co prowadzi do obniżenia objętości bochenka i pogorszenia porowatości miękiszu pieczywa. Z tego względu frakcje mąk pasażowych, które zawierają duże ilości tych składników są traktowane jako produkt uboczny. Niewykorzystane frakcje mąki mogą stanowić nawet do 10% całkowitej wielkości produkcji, a ich ilość jest jeszcze większa w młynach produkujących mąki makaronowe, które muszą cechować się niską popiołowością i ograniczoną do minimum zawartością tzw. pstrocin (rozdrobnionych fragmentów okrywy owocowo-nasiennej). Wykorzystanie tych frakcji mąk do produkcji np. wyrobów piekarskich czy makaronów wymaga zastosowania modyfikacji w kierunku przekształcenia nierozpuszczalnych frakcji arabinoksylanów w formy rozpuszczalne.

Podjęcie przez mgra inż. Piotra Lewko kompleksowych badań mających na celu zagospodarowanie niewykorzystanych frakcji mąk pasażowych powstających podczas przemiału ziarna pszenicy zwyczajnej na mąki makaronowe poprzez modyfikację ich właściwości funkcjonalnych, uważam za w pełni zasadne. Opracowane przez Doktoranta rozwiązania wpisują się we współczesne trendy badawcze, a także ideę Zero Waste. Uzyskane wyniki mają charakter zarówno poznawczy, jak i aplikacyjny, a ich wdrożenie w młynie umożliwia bardziej optymalne wykorzystanie surowca.

Ocena formalna rozprawy doktorskiej

Rozprawę doktorską mgra inż. Piotra A. Lewko pt. „Opracowanie metody modyfikacji właściwości mąki pszennej z przeznaczeniem do zastosowań w piekarnictwie” stanowi monotematyczny cykl pięciu oryginalnych prac twórczych, z których cztery zostały opublikowane w latach 2023-2024, natomiast jedna z prac została przesłana do wydawnictwa i na dzień przygotowania recenzji rozprawy doktorskiej pozostawała w recenzjach. Cztery dotychczas opublikowane prace ukazały się w wysoko punktowanych czasopismach naukowych z listy JCR (punktacja MNiSW 70-140 pkt, IF od 2,5 do 4,7), z tego trzy w czasopismach naukowych z dyscypliny technologia żywności i żywienia.

W skład rozprawy doktorskiej włączone zostały następujące publikacje:

P1. Lewko P., Wójtowicz A., Gancarz M.: Distribution of arabinoxylans and their relationship with physiochemical and rheological properties in wheat flour mill streams as an effective way to predict flour functionality. *Applied Science* 2023, 13, 5458. <https://doi.org/10.3390/app13095458> (IF 2,50; MNiSW 100 pkt)

P2. Lewko P., Wójtowicz A., Różańska-Boczula M.: Effect of extruder configuration and extrusion cooking processing parameters on selected characteristics of non-starch polysaccharide-rich wheat flour as hybrid treatment with xylanase addition. *Processes* 2024, 12, 1159. <https://doi.org/10.3390/pr1206159> (IF 2,80; MNiSW 100 pkt)

P3. Lewko P., Wójtowicz A., Rudaś M.: Effect of processing conditions of enzymatic, extrusion and hybrid treatment methods on composition and selected technofunctional properties of developed wheat flour. *International Journal of Food Science* (w recenzji, IF 2,70; MNiSW 100 pkt)

P4. Lewko P., Wójtowicz A., Kamiński D.M.: The influence of processing using conventional and hybrid methods on the composition, polysaccharide profiles and selected properties of wheat flour enriched with baking enzymes. *Foods* 2024, 13, 2957. <https://doi.org/10.3390/foods13182957> (IF 4,70; MNiSW 140 pkt)

P5. Lewko P., Wójtowicz A., Gancarz M.: Application of conventional and hybrid thermal-enzymatic modified wheat flours as clean label bread improvers. *Applied Science* 2024, 14, 7659. <https://doi.org/10.3390/app14177659> (IF 2,50; MNiSW 100 pkt)

Suma punktów za opublikowane dotychczas prace, według listy MNiSW zgodnie z rokiem wydania wynosi 410, a ich sumaryczny IF=12,5. Publikacje są wieloautorskie, każda z nich została przygotowana przez zespół złożony z 3 autorów, należy jednak zaznaczyć, że we wszystkich pracach mgr inż. Piotr Lewko jest pierwszym autorem. Z dołączonych oświadczeń potwierdzonych przez współautorów wynika również, że indywidualny wkład Doktoranta w powstanie publikacji był znaczący, wynosił od 60 do 75%. Polegał on na opracowaniu koncepcji oraz metodologii badań, wykonaniu analiz laboratoryjnych, opracowaniu i analizie wyników badań, redagowaniu manuskryptów i ich korekcie po recenzjach. W mojej opinii autorski wkład pracy mgr inż. Piotra Lewko w powstanie prac włączonych do cyklu publikacji nie budzi żadnych wątpliwości.

Cykl publikacji został uzupełniony o liczące 98 stron opracowanie, którego układ jest typowy dla prac o charakterze eksperymentalnym. Opracowanie zawiera stronę tytułową (1 str.), oświadczenia promotora i autora rozprawy (1 str.), wykaz publikacji wchodzących w skład cyklu rozprawy doktorskiej (1 str.), spis treści (2 str.), streszczenia w języku polskim i angielskim (2 str.) oraz ponumerowane rozdziały: Wprowadzenie (9 str.), Problemy badawcze i cele naukowe (2 str.), Materiał i procedury badawcze (18 str.), Omówienie najważniejszych rezultatów (44 str.), Wnioski (2 str.), Bibliografia pomocnicza (16 str.). Do opracowania zostały dołączone oświadczenia współautorów o ich udziale w powstaniu poszczególnych prac oraz kopie publikacji wchodzących w skład rozprawy doktorskiej. Przyjęty przez Doktoranta układ opracowania jest prawidłowy i czytelny.

Ocena merytoryczna rozprawy doktorskiej

Tytuł rozprawy doktorskiej „Opracowanie metody modyfikacji właściwości mąki pszennej z przeznaczeniem do zastosowań w piekarnictwie” odpowiada tematyce badań wchodzących w skład cyklu publikacji.

Zamieszczone na początku opracowania **Streszczenie** w języku polskim i angielskim, zawiera cel i zakres podjętych badań, krótką syntezę najważniejszych wyników oraz słowa kluczowe.

W rozdziale **Wprowadzenie** została przedstawiona technologia złożonego procesu przemiału ziarna pszenicy, zostały omówione różnice we właściwościach fizyko-chemicznych mąk pasażowych oraz czynniki wpływające na wartość wypiekową mąki pszennej. Następnie zostały omówione możliwości poprawy właściwości funkcjonalnych mąki pszennej poprzez zastosowanie modyfikacji fizycznych (metody termiczne, hydrotermiczne, ciśnieniowo-termiczne), chemicznych (metody enzymatyczne) oraz połączenie ww. modyfikacji (metoda hybrydowa). Przedstawione w tym rozdziale treści zostały dobrze dobrane, wiążą się one ściśle z tematyką oraz zakresem badań i uzasadniają potrzebę ich podjęcia. Do tej części opracowania mam uwagę redakcyjną. Uważam, że wskazane byłoby wprowadzenie podrozdziałów, pozwoliłoby to na uporządkowanie tematyczne zamieszczonych treści.

W rozdziale **Problemy badawcze i cele naukowe** Doktorant wskazał problem badawczy oraz przyjęte do jego rozwiązania cele naukowe. Głównym celem badań było opracowanie parametrów procesowych umożliwiających otrzymanie mąki funkcjonalnej ze skomponowanych w odpowiednich proporcjach mąk z pasażu przemiałowych o zdefiniowanych właściwościach fizyko-chemicznych, która stosowana samodzielnie lub w mieszankach umożliwi zwiększenie wodochłonności mąki i wydajności pieczywa bez pogorszenia jego cech jakościowych oraz pozwoli na ograniczenie wielkości strat w postaci produktów ubocznych powstających w młynie podczas przemiału ziarna pszenicy zwyczajnej.

Do rozwiązania problemu badawczego przyjęto cztery cele naukowe:

- analizę ziarna 15 odmian pszenicy zwyczajnej w celu wyselekcjonowania odmiany o wysokiej zawartości nieskrobiowych polisacharydów, w tym arabinoksylianów,
- kompleksową analizę właściwości fizyko-chemicznych mąk pasażowych i właściwości reologicznych otrzymanych z nich ciast oraz opracowanie kompozycji mąki bazowej o zwiększonej zawartości arabinoksylianów,
- weryfikację wpływu zróżnicowanych parametrów obróbki termicznej, hydrotermicznej oraz procesu ekstruzji, prowadzonych samodzielnie lub w połączeniu z modyfikacją enzymatyczną na wyróżniki jakościowe mąki bazowej,
- ocenę przydatności mąki bazowej poddanej ww. modyfikacjom do wprowadzenia jako dodatek recepturowy wybranych wyrobów piekarniczych.

Zakres prac został podzielony na trzy etapy obejmujące: badania wstępne, prace badawcze oraz prace wdrożeniowe. W ramach badań wstępnych została wytypowana odmiana pszenicy zwyczajnej do etapu prac badawczych (pierwszy cel naukowy). Pozostałe trzy szczegółowe cele naukowe były realizowane w ramach etapu prac badawczych. Etap ten obejmował przeprowadzenie przemiału ziarna wytypowanej odmiany pszenicy, ocenę właściwości fizyko-chemicznych mąk pasażowych oraz właściwości reologicznych otrzymanych z nich ciast, dobranie składu frakcyjnego mąki bazowej, poddanie mąki bazowej modyfikacjom z zastosowaniem zróżnicowanych warunków obróbki termicznej, hydrotermicznej, procesu ekstruzji, prowadzonych samodzielnie lub w połączeniu z modyfikacjami enzymatycznymi, ocenę właściwości fizyko-chemicznych modyfikowanych mąk, analizę porównawczą właściwości reologicznych ciast i właściwości fizyko-chemicznych pieczywa uzyskanego z dodatkiem mąki bazowej modyfikowanej w różnych warunkach procesowych. Etap prac wdrożeniowych obejmował opracowanie zaleceń technologicznych i procesowych do selekcji mąk pobieranych z pasażu przemiałowych podczas przemiału ziarna pszenicy na mąki do produkcji makaronów, opracowanie zaleceń technologicznych do procesu modyfikacji skomponowanej mąki bazowej, przygotowanie dokumentacji produkcyjnej w postaci opisów technicznych procesów i kart specyfikacji produktów. W mojej opinii w tym rozdziale zabrakło hipotezy badawczej.

Rozdział **Material i procedury badawcze** został podzielony na cztery podrozdziały. W pierwszym podrozdziale została przedstawiona charakterystyka materiału badawczego stosowanego we wstępnym oraz badawczym etapie pracy. Autor zamieścił szczegółowy opis prowadzonego w warunkach przemysłowych procesu przygotowania ziarna pszenicy do przemiału oraz procesu przemiału. Opis został uzupełniony o schematyczny diagram poszczególnych etapów procesu przemiału z zaznaczeniem urządzeń w linii technologicznej. W tym podrozdziale została także przedstawiona szczegółowa charakterystyka składu chemicznego mąki bazowej skomponowanej z mąk pochodzących z wybranych pasażu rozczynowych, wymiałowych oraz mąk filtracyjnych, a także charakterystyka komercyjnych enzymów piekarniczych – celulazy i ksylazy stosowanych do modyfikacji enzymatycznej mąki bazowej.

W drugim podrozdziale został zamieszczony szczegółowy opis przeprowadzonych procesów modyfikacji mąki bazowej, tj. modyfikacji enzymatycznej, termicznej, hydrotermicznej, ekstruzyjnej w niskiej temperaturze z wykorzystaniem ekstrudera jedno- i dwuślimakowego.

W trzecim podrozdziale Doktorant zamieścił dokładny opis poszczególnych metod badawczych, pozwalający na pełne odtworzenie poszczególnych doświadczeń. Dodatkowo

każdą z metod przypisał do wchodzących w skład rozprawy publikacji, w których była stosowana. Na podkreślenie zasługuje bardzo szeroki zakres stosowanych w pracy metod badawczych zarówno technologicznych, jak i analitycznych (łącznie 24 różne metody) oraz bardzo duża ilość przebadanych próbek ziarna, mąk pasażowych, mąki bazowej natywnej i poddanej modyfikacjom oraz pieczywa. Niestety zastosowane w pracy metody nie zostały odpowiednio pogrupowane (np. metody oceny składu chemicznego mąki, metody oceny właściwości reologicznych ciasta itd.). Przy obecnym układzie przykładowo metody oceny składu chemicznego mąk zostały rozdzielone opisem metod instrumentalnych oceny właściwości reologicznych ciasta oraz metodyką badania wydajności i energochłonności procesu ekstruzji, a opis oceny parametrów jakościowych pieczywa został zamieszczony przed opisem wypieku laboratoryjnego. Do tego podrozdziału mam jeszcze uwagę dotyczącą przelicznika azotu na białko, który dla produktów pszennych powinien wynosić 5,7 (w pracy stosowano 6,25) oraz oznaczeń gęstości chleba i utraty masy. Przy opisie metodyki wykonania tych oznaczeń (str. 33) Autor odwołał się do artykułu mojego współautorstwa, w którym ww. parametry nie były zamieszczone.

W ostatnim czwartym podrozdziale zostały przedstawione metody wykorzystane do statystycznej obróbki danych. Na podkreślenie zasługuje, że oprócz podstawowych testów statystycznych (analiza wariancji, macierz korelacji), zastosowane zostały także testy bardziej zaawansowane (metoda powierzchni odpowiedzi RSM, analiza składowych głównych).

Podsumowując, należy podkreślić, że część doświadczalna pracy została dobrze zaplanowana. Doktorant zastosował szerokie spektrum metod badawczych, zarówno technologicznych, jak i nowoczesnych metod analitycznych, m.in. chromatografię gazową czy dyfrakcję rentgenowską, co wskazuje na wszechstronne przygotowanie warsztatowe.

W rozdziale **Omówienie najważniejszych rezultatów**, podzielonym na trzy podrozdziały, Doktorant omówił uzyskane wyniki i poddał je dyskusji, porównując z wynikami podobnych prac prowadzonych przez innych badaczy. Przyjęta w opracowaniu kolejność prezentacji wyników jest spójna ze sformułowanymi celami naukowymi i poszczególnymi publikacjami, wchodzącymi w skład rozprawy doktorskiej.

W pierwszym podrozdziale (pierwszy cel naukowy, wyniki niepublikowane) zostały zamieszczone wyniki badań wstępnych. Ich celem było wytypowanie odmiany pszenicy do dalszych badań. Materiał badawczy stanowiło ziarno oraz mąka 15 odmian pszenicy zwyczajnej, w tym 10 odmian krajowych oraz 5 odmian uprawianych w Europie. Głównym kryterium selekcji była wysoka zawartość w ziarnie nieskrobiowych polisacharydów, w tym arabinoksylianów. Na podstawie otrzymanych wyników do dalszych badań została wytypowana odmiana IS Laudis, której ziarno cechowało się odpowiednimi parametrami jakościowymi oraz wysoką zawartością polisacharydów nieskrobiowych, w tym arabinoksylianów. Do tej części pracy mam pytanie, dlaczego do dalszych badań wybrano tylko tę jedną odmianę, jeżeli ziarno odmiany Hartline cechowało się istotnie wyższą zawartością polisacharydów nieskrobiowych, w tym arabinoksylianów nierozpuszczalnych, a także nieznacznie wyższą zawartością arabinoksylianów ogółem. Uważam, że rozszerzenie materiału badawczego byłoby interesujące ze względu na zróżnicowanie ziarna odmian IS Laudis oraz Hartline pod względem stopnia rozgałęzienia arabinoksylianów nierozpuszczalnych (stosunek arabinozy do ksylozy odpowiednio: 0,58 i 0,72). Na tej podstawie można byłoby sprawdzić jak stopień rozgałęzienia arabinoksylianów nierozpuszczalnych wpływa na ich przekształcenie w formy rozpuszczalne na etapie zastosowanych w pracy modyfikacji mąk bazowych i jak będzie się to przekładać na wartość wypiekową mąki oraz cechy jakościowe pieczywa. Do tej części pracy mam jeszcze uwagi. Nie mogę zgodzić się ze stwierdzeniem, że „zawartość rozpuszczalnych i nierozpuszczalnych frakcji nieskrobiowych polisacharydów i arabinoksylianów w ziarnie badanych odmian pszenicy była na zbliżonym poziomie” (str. 42), ponieważ z przeprowadzonej analizy statystycznej wynika, że różnice były istotne statystycznie (rys. 9) oraz ze stwierdzeniem, że „na właściwości technologiczne i odżywcze arabinoksylianów duży wpływ ma zastąpienie szkieletu ksylozy resztami arabinozy” (str. 40).

W drugim podrozdziale zostały zamieszczone wyniki prac badawczych (drugi cel naukowy) w kolejności odpowiadającej głównym tezom pracy i kolejności zestawienia publikacji wchodzących w skład rozprawy doktorskiej.

W badaniach przedstawionych w publikacji P1 szczegółowej ocenie poddano 30 mąk pasażowych otrzymanych z przemysłowego przemiału ziarna pszenicy odmiany IS Laudis. Celem tych badań było określenie zależności pomiędzy zawartością polisacharydów nieskrobiowych, w tym arabinoksylianów a właściwościami reologicznymi ciasta. Stwierdzono istotne zróżnicowanie mąk z poszczególnych pasażów pod względem parametrów fizykochemicznych oraz właściwości reologicznych otrzymanych z nich ciast. Parametry najbardziej różnicujące poszczególne mąki pasażowe, takie jak zawartość popiołu, wydajność glutenu mokrego, aktywność enzymów amylolitycznych, zawartość polisacharydów nieskrobiowych, w tym arabinoksylianów miały istotny wpływ na parametry reologiczne ciasta wykorzystywane do komponowania składu frakcyjnego mąk o założonej przydatności technologicznej. Wskazuje to na możliwość wykorzystania stosunkowo tanich i szybkich w wykonaniu analiz właściwości reologicznych ciasta przy użyciu urządzenia Mixolab do szacowania w przybliżeniu zawartości polisacharydów nieskrobiowych, w tym arabinoksylianów. W warunkach przemysłowych metoda ta może zastąpić kosztowne i czasochłonne analizy chemiczne podczas sporządzania mąk specjalistycznych o odpowiedniej przydatności technologicznej, w tym zwiększonej absorpcji wody. Do tej części pracy mam jedną uwagę. Nie mogę zgodzić się ze stwierdzeniem, że „mąki o niskiej zawartości popiołu i wysokiej zawartości białka glutenowego są szeroko wykorzystywane przez producentów wyrobów cukierniczych ...” (str. 45).

W następnym etapie badań, przedstawionych w publikacji P2, oceniano wpływ konfiguracji ekstrudera jednoślimakowego i zmiennych parametrów przetwarzania, na wydajność i energochłonność procesu ekstruzji oraz wybrane parametry jakościowe opracowanej mąki bazowej o podwyższonej zawartości polisacharydów nieskrobiowych. Do modyfikacji mąki zastosowano metodę klasycznej ekstruzji oraz metodę hybrydową polegającą na połączeniu ekstruzji z modyfikacją enzymatyczną ksylanazą. W badaniach tych istotne było określenie wpływu zastosowanego procesu ekstruzji o różnej konfiguracji układu plastyfikującego i parametrów procesu oraz zastosowanego enzymu na jakość substancji białkowych. Na podstawie wartości parametru C2 wyznaczonego w analizie właściwości reologicznych ciasta za pomocą urządzenia Mixolab, stwierdzono, że proces ekstruzji w ekstruderze jednoślimakowym spowodował rozrywanie sieci białkowych i znaczące osłabienie struktury białka, zwłaszcza przy wyższej wilgotności wsadu, natomiast dodatek enzymu ksylanazy ograniczył te niekorzystne zmiany. Na podstawie uzyskanych wyników zostały sformułowane szczegółowe zalecenia dotyczące warunków prowadzenia modyfikacji właściwości funkcjonalnych mąk metodą hybrydową w ekstruderze jednoślimakowym: wydłużona konfiguracja ekstrudera $L/D=20$, prędkość ślimaka 40 obr./min, wilgotność wsadu 23%, dodatek ksylanazy 100 ppm. Ponadto wykazano, że mąka ekstrudowana nie powinna być stosowana jako podstawowy surowiec do produkcji pieczywa, ale może znaleźć zastosowanie jako dodatek polepszający do handlowych mąk piekarniczych.

W następnym etapie badań, przedstawionych w publikacji P3, mąkę bazową o zwiększonej zawartości polisacharydów nieskrobiowych poddano procesowi ekstruzji niskotemperaturowej w ekstruderze dwuślimakowym oraz modyfikacji enzymatyczno-ekstruzyjnej. Do modyfikacji enzymatycznych stosowano celulazę w ilości 120 ppm oraz mieszaninę celulazy i ksylanazy w ilościach odpowiednio: 60 i 50 ppm. Proces ekstruzji prowadzono przy poziomie dowilżenia wsadu 23-27% w zakresie temperatur 40-80°C. Uzyskane wyniki wykazały, że proces ekstruzji przy zastosowaniu niższego dowilżenia wsadu, zarówno bez, jak i z udziałem enzymów, spowodował zwiększenie lepkości maksymalnej, obniżenie lepkości w czasie kleikowania, wodochłonności, wartości parametru C2 (stopień osłabienia białka) i zdolności do retencji wszystkich rozpuszczalników, ale jednocześnie zmniejszył przyrost lepkości podczas chłodzenia oraz stabilność ciasta, wartość parametru C3 (skleikowanie skrobi), C4 (aktywność amylazy), C5 (retrogradacja skrobi), a także wskaźnik wydajności glutenu GPI. Dodatkowo, hydroliza kompleksem enzymów celulaza-ksylanaza miała większy wpływ na modyfikację mąki niż dodatek samej celulazy, szczególnie poprzez zwiększenie zawartości

rozpuszczalnych polisacharydów nieskrobiowych, w tym arabinoksylianów, wodochłonności mąki, wskaźnika wydajności glutenu GPI oraz czasu rozwoju ciasta. Stwierdzono, że hybrydowa modyfikacja enzymatyczno-ekstruzyjna ma większy wpływ na skład frakcyjny polisacharydów nieskrobiowych oraz właściwości funkcjonalne mąki pszennej niż ww. procesy przeprowadzone oddzielnie. Poddana modyfikacji enzymatyczno-ekstruzyjnej mąka może znaleźć zastosowanie w przemyśle piekarniczym jako źródło rozpuszczalnych arabinoksylianów, jako środek zagęszczający lub składnik o wysokiej absorpcji wody i zdolności zatrzymywania rozpuszczalników oraz zmniejszający retrogradację skrobi w gotowych produktach.

W kolejnym etapie badań, przedstawionych w publikacji P4, zostały wykonane obrazy makroskopowe mąk z wykorzystaniem techniki SEM w celu zobrazowania zmian spowodowanych zastosowanymi modyfikacjami. Na zdjęciach widoczne były zmiany w strukturze i mikrostrukturze zmodyfikowanych mąk, szczególnie zauważalne po zastosowaniu obróbki w ekstruderze dwuślimakowym. Obserwowane zmiany w strukturze poszczególnych mąk były zbieżne z wynikami oceny ich właściwości fizyko-chemicznych opisanymi w publikacjach P2 i P3.

Kolejne badania, przedstawione w publikacji P5, obejmowały wykorzystanie uzyskanych zmodyfikowanych mąk jako składników „czystej etykiety” w pieczywie pszennym. Miały one na celu zweryfikowanie ich przydatności w produkcji wyrobów piekarniczych. W badaniach zastosowano mąkę bazową natywną oraz 8 mąk modyfikowanych, którymi zastępowano użytą do wypieku chleba handlową mąkę pszenną typ 750 w ilości 10 i 20%. Stwierdzono, że właściwości ciasta chlebowego różniły się w zależności od zastosowanego wariantu modyfikacji mąki i wielkości dodatku. Dodatek mąki modyfikowanej wpłynął na zwiększenie absorpcji wody, co wpłynęło na wzrost wydajności pieczywa. Przy zastosowaniu mąk modyfikowanych metodą hybrydową nie obserwowano negatywnego wpływu na teksturę oraz barwę chleba. Wyniki badań potwierdziły możliwość częściowego zastąpienia w recepturach pieczywa standardowych mąk pszennych mąkami poddanymi obróbce termicznej, hydrotermicznej lub hybrydowej.

W ostatnim etapie badań zostały przeprowadzone prace wdrożeniowe z wykorzystaniem prototypowej instalacji do termicznej obróbki mąki będącej na wyposażeniu firmy PZZ Lubella w Lublinie. Serię testów obróbki ekstruzyjnej i enzymatyczno-ekstruzyjnej przeprowadzono w Centrum Badawczo Rozwojowym przy firmie PZZ Lubella w Lublinie z wykorzystaniem ekstrudera dwuślimakowego oraz w warunkach przemysłowych w obiektach firmy. Ocena parametrów jakościowych mąk, ciasta i pieczywa wykonywano w przykładowym laboratorium i studium wypiekowym. Mąki pasażowe do sporządzenia mąki bazowej były pobierane z linii produkcyjnej młyna. Podczas wyboru poszczególnych mąk pasażowych korzystano z wyników zamieszczonych w publikacji P1. Podczas mieszania mąk pobierana była próba do badań laboratoryjnych. Jeżeli parametry były zgodne z dokumentami normatywnymi do mąki dozowane były enzymy, a następnie był przeprowadzany proces obróbki ekstruzyjnej w oparciu o wyniki zamieszczone w publikacjach P3 i P4. Po pozytywnej ocenie laboratoryjnej mąka została skierowana do mieszalni młyna i zadozowana jako składnik specjalistycznych mąk piekarskich. W kolejnym etapie przeprowadzone zostały próby wypiekowe, na podstawie których zostały opracowane zalecenia procesowe konieczne do uzyskania mąk o założonych właściwości funkcjonalnych. Z technologicznego oraz ekonomicznego punktu widzenia, maksymalny poziom dodatku mąki modyfikowanej określono na 20%. W tym miejscu prosilibym Doktoranta o odpowiedź na pytanie jakie są koszty procesu modyfikacji mąki i czy przeprowadzanie tego procesu jest uzasadnione ekonomicznie.

W rozdziale **Wnioski**, Doktorant zawarł 7 wniosków, w pełni udokumentowanych uzyskanymi wynikami badań. Świadczą one o zrealizowaniu założonego celu głównego i szczegółowych celów naukowych pracy. W ostatnim wniosku Autor przedstawił rekomendacje wdrożeniowe. Jako produkt gotowy do wdrożenia w zakładzie produkcyjnym PZZ Lubella Sp. z o.o. w Lublinie rekomendował mieszankę mąki bazowej z dodatkiem kompleksu enzymów celulazy i ksylanazy poddaną modyfikacji termicznej oraz modyfikacji

z zastosowaniem ekstruzji dwuślimakowej. Procesy te zostały wprowadzone do produkcji na skalę przemysłową. Uzyskane mąki mogą być stosowane jako dodatek podwyższający wodochłonność mąk piekarniczych, co przełoży się na wzrost wydajności pieczywa. W odniesieniu do tego rozdziału opracowania mam kilka uwag, głównie redakcyjnych. We wniosku pierwszym znalazło się stwierdzenie, że przeprowadzone prace badawcze pozwoliły na potwierdzenie hipotezy, podczas gdy w żadnym z wcześniejszych rozdziałów opracowania hipoteza nie została jasno sformułowana. We wniosku drugim zapis „nieskrobiowych polisacharydów i arabinoksylianów” należy przeredagować na „nieskrobiowych polisacharydów, w tym arabinoksylianów”. Proponuję zmienić początek zdania we wniosku czwartym z „Podczas wypieku chleba ...” na „Podczas przygotowywania ciast ...” oraz „wodochłonność ciasta” na „wodochłonność mąki”. Sugerowałabym rozważenie połączenia jednozdaniowych wniosków numer cztery i pięć, a we wniosku szóstym usunięcie końcowego fragmentu zdania „... z dodatkiem opracowanych mąk funkcjonalnych”.

Rozdział **Bibliografia pomocnicza** zawiera 163 pozycje literaturowe, które zostały opublikowane w latach 1971-2024. Należy podkreślić, że aż 98% z nich stanowią publikacje obcojęzyczne, a prawie 40% cytowanych publikacji ukazało się w ciągu ostatnich pięciu lat. Tak duża liczba publikacji wykorzystana przez Doktoranta do przygotowania opracowania świadczy o bardzo dobrej znajomości literatury naukowej dotyczącej podjętej w pracy tematyki badań.

Ocena formy językowej i technicznej strony rozprawy doktorskiej

Edytorskie przygotowanie prac wchodzących w skład rozprawy doktorskiej świadczy o dobrym opanowaniu przez Doktoranta techniki redagowania tekstu naukowego w języku angielskim. Mam natomiast pewne zastrzeżenia co do poprawności językowej opracowania przygotowanego w języku polskim. W tekście opracowania występują nieścisłości, które wynikają m.in. ze stosowania nie do końca poprawnego nazewnictwa i terminologii fachowej oraz stosowania tzw. „skróków myślowych”, co utrudnia odbiór treści. Z obowiązku recenzenta przytaczam poniżej wybrane przykłady:

- str. 6 – wodochłonność ciasta (prawidłowo: wodochłonność mąki),
- str. 8 – produkty piekarnicze, zwłaszcza mąki ... ,
- str. 9 – każdy młyn wytwarza od kilku do nawet kilkudziesięciu pasaży przemiałowych (prawidłowo: mąk pasażowych),
- str. 10 – arabinoksyliany to nieskrobiowe polisacharydy obecne w ... ścianach komórkowych otrąb (prawidłowo: w ścianach komórkowych okrywy owocowo-nasiennej),
- str. 11 – przydatność technologiczna poszczególnych pasaży mącznych (prawidłowo: ... mąk z poszczególnych pasaży przemiałowych),
- str. 12 – określenie rozmieszczenia arabinoksylianów w pasażach przemiałowych (prawidłowo: ... w mąkach pasażowych),
- str. 13 – gotowanie parą (prawidłowo: gotowanie na parze),
- str. 15 – możliwość zagospodarowania ubocznych pasaży przemiałowych (prawidłowo: mąk z końcowych pasaży przemiałowych),
- str. 16 – w trakcie badań wybrano pasażę o najkorzystniejszym składzie (prawidłowo: ... mąki pasażowe o najkorzystniejszym składzie),
- str. 17 – przygotowanie surowca w postaci wyselekcjonowanych pasaży przemiałowych (prawidłowo: ... wyselekcjonowanych mąk pasażowych),
- str. 27 – zawartość mokrego glutenu (prawidłowo: wydajność mokrego glutenu),
- str. 46 – zawartość uszkodzonej skrobi (prawidłowo: stopień uszkodzenia skrobi),
- str. 50 – mielenie niskopopiołowych mąk handlowych (prawidłowo: mielenie ziarna na ...).

Przedstawione w recenzji uwagi nie obniżają wartości merytorycznej rozprawy doktorskiej, którą oceniam wysoko, jako wnoszącą nowe wartości poznawcze i aplikacyjne. Mogą one być przydatne w doskonaleniu umiejętności i naukowego warsztatu Autora.

Wniosek końcowy

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska mgra inż. Piotra Lewko pt. „Opracowanie metody modyfikacji właściwości mąki pszennej z przeznaczeniem do zastosowań w piekarnictwie” stanowi oryginalne rozwiązanie problemu badawczego dotyczącego możliwości ograniczenia ilości produktów ubocznych powstających w młynie przemysłowym podczas przemiału ziarna pszenicy na mąki makaronowe. Uzyskane wyniki poszerzają wiedzę w dyscyplinie technologia żywności i żywienia, a dodatkowo oprócz wartości poznawczej mają także dużą wartość aplikacyjną.

Reasumując stwierdzam, rozprawa doktorska mgra inż. Piotra Lewko pt. „Opracowanie metody modyfikacji właściwości mąki pszennej z przeznaczeniem do zastosowań w piekarnictwie” spełnia wymagania formalne i merytoryczne stawiane pracom na stopień doktora, określone w art. 187 ust. 1-4 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r. poz. 1668 z późn. zm.) i na tej podstawie przedkładam Radzie Dyscypliny Technologia Żywności i Żywienia Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie wniosek o dopuszczenie mgra inż. Piotra Lewko do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Gracyna Cacal-Dietko