

Lublin, dnia 13.05.2019r.

dr hab. inż. Aldona Sobota prof. uczelni
Zakład Inżynierii i Technologii Zbóż
Katedra Technologii Surowców Pochodzenia Roślinnego i Gastronomii
Wydział Nauk o Żywności i Biotechnologii
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Piotra Nakoniecznego pt.: „Zachowanie ciągłości łańcucha chłodniczego żywności mrożonej w obszarze konsumenckim”, zrealizowanej pod kierunkiem dr hab. inż. Dariusza Górala, prof. uczelni

Zamrażanie jest obecnie jedną z najpopularniejszych metod utrwalania żywności. W ostatnich latach obserwuje się stale rosnące zainteresowanie konsumentów sektorem żywności mrożonej i dynamiczny rozwój rynku tych produktów. Analitycy szacują, że Polacy kupują rocznie 92 mln kg mrożonej żywności. Zamrożone owoce i warzywa wykorzystuje się do przygotowywania posiłków w 70% gospodarstw domowych w Polsce. Istotne z punktu widzenia jakości wyrobów mrożonych jest zachowanie ciągłości łańcucha chłodniczego na kolejnych etapach produkcji i transportu. Dane literaturowe wskazują, że transport, a w szczególności ten realizowany przez konsumentów, to najbardziej wrażliwe ogniwo łańcucha chłodniczego. To na tym etapie najczęściej dochodzi do fluktuacji temperatury produktu, efektem której może być jego częściowe lub całkowite rozmrożenie. W rozmrożonych produktach zachodzą niekorzystne zmiany fizykochemiczne i mikrobiologiczne, prowadzące do obniżenia ich jakości. Ponowne zamrażanie wyrobów i powtórne ich rozmrożenie pogłębia te zmiany i wpływa znacząco na obniżenie jakości i bezpieczeństwa zdrowotnego żywności mrożonej.

Celem badań realizowanych w pracy doktorskiej Pana mgr inż. Piotra Nakoniecznego było przeprowadzenie identyfikacji łańcucha chłodniczego w ogniwach dystrybucja bezpośrednia – domowe urządzenia chłodnicze oraz opracowanie według autorskiego projektu

i przetestowanie zimnochronnych opakowań, przeznaczonych do transportu mrożonek w obszarze konsumenckim.

Podjęcie tematyki badawczej prezentowanej w pracy uważam za ważne i potrzebne z punktu widzenia jakości i bezpieczeństwa zdrowotnego żywności mrożonej. Konsumenci pomimo dużej świadomości dotyczącej niekorzystnego wpływu wielokrotnego rozmrażania i zamrażania żywności, nadal nie posiadają wystarczającej wiedzy na temat warunków w jakich ta żywność powinna być transportowana i w większości przypadków nie wykorzystują do jej transportu opakowań zimnochronnych. Doktorant słusznie stwierdził, że najprawdopodobniej wynika to ze zbyt wysokiej ceny dostępnych na rynku opakowań termoizolacyjnych. Celowe i w pełni uzasadnione wydaje się więc poszukiwanie praktycznych i tańszych rozwiązań, pozwalających na zaprojektowanie opakowań skutecznie zabezpieczających zamrożony produkt przed nagłym wzrostem temperatury w czasie transportu konsumenckiego.

Cel pracy zrealizowany został w sześciu etapach badawczych. W pierwszym etapie przeprowadzono badania laboratoryjne, obrazujące przebieg rozmrażania ośmiu wybranych produktów w dwóch różnych temperaturach otoczenia (25 i 40°C). Na tej podstawie określono prędkość rozmrażania i opracowano przykładowe krzywe przedstawiające zmiany temperatury rozmrażanych wyrobów w czasie. Zbadano teksturę świeżych produktów i porównano ją z teksturą produktów po jednokrotnym i dwukrotnym rozmrażaniu. Wykazano, że ponowne zamrażanie i rozmrażanie wyrobów powoduje obniżenie ich twardości. Autor słusznie zauważył, że odnotowane zmiany są wynikiem uszkodzenia struktury komórkowej badanych warzyw i owoców. Powstające w zamrażanym produkcie kryształy lodu powodują mechaniczne uszkodzenia błon i ścian komórkowych, co na etapie rozmrażania skutkuje wyciekami soku komórkowego. Tkanka traci turgor, staje się bardziej wiotka i jednocześnie mniej twarda.

Kolejny etap badań obejmował charakterystykę warunków panujących w czasie transportu konsumenckiego. Autor przeanalizował zmiany temperatury wewnątrz kabin i w przestrzeni bagażników 3 wytypowanych samochodów osobowych. Stwierdził, że temperatury, po kilkudziesięciu minutach nagrzewania samochodów w pełnym słońcu a następnie jazdy, symulującej dojazd ze sklepu do domu, przekraczają 25-30 °C. Jednocześnie na tym etapie badań Doktorant przeanalizował dane meteorologiczne dla Lublina z lat 2012 – 2017, co pozwoliło mu stwierdzić, że najcieplejszym miesiącem w analizowanym okresie czasu, z najwyższą średnią temperaturą dobową, był miesiąc sierpień.

W kolejnym, trzecim etapie pracy Doktorant przeprowadził autorskie badania ankietowe, na podstawie których zweryfikował preferencje konsumentów w zakresie wyboru asortymentów produktów mrożonych. Zbadał poziom wiedzy ankietowanych, dotyczącej postępowania z żywnością zamrożoną. Określił też sposób i średni czas transportu mrozonek ze sklepu do domu, deklarowany przez konsumentów. Wyniki badań wykazały, że aż 96% ankietowanych kupuje produkty mrożone, w tym najczęściej wybieranymi asortymentami są warzywa, frytki ziemniaczane i ryby. Z badań wynika, że czas transportu żywności zamrożonej w większości przypadków nie przekracza 20 min. Tylko 12% ankietowanych deklarowało dłuższy czas transportu produktów mrożonych. Przeprowadzone badania ankietowe wykazały niską świadomość konsumentów na temat warunków, jakie powinny być zachowane w czasie transportu produktów zamrożonych. Większość respondentów nie używała opakowań termicznych chroniących, mrozonki przed nagłym wzrostem temperatury w czasie transportu.

Autor pracy, analizując wyniki uzyskane z trzech pierwszych etapów badań słusznie stwierdził, że szczególnie w okresie letnim, może dochodzić do przerwania łańcucha chłodniczego w czasie transportu konsumenckiego produktów zamrożonych. To skłoniło Doktoranta do poszukiwania rozwiązań pozwalających odpowiednio zabezpieczyć zamrożony produkt na czas transportu.

Celem kolejnego czwartego etapu badań było więc opracowanie nowych, tanich i funkcjonalnych opakowań, przeznaczonych do jednostkowego transportu wyrobów zamrożonych. Wybrano 6 rodzajów termoizolacyjnych materiałów opakowaniowych w tym granulát styropianowy, folię pęcherzykową, tekturę falistą, piankę polietylenową, folię polietylenową oraz spieniony papier, z użyciem których zaprojektowano i wykonano opakowania zimnochronne. Jednocześnie przeprowadzona analiza cen materiałów termoizolacyjnych wykazała, że folia polietylenowa spieniona i folia pęcherzykowa oraz tektura falista są jednymi z najtańszych materiałów izolacyjnych. Wśród nich obie folie: pęcherzykowa i spieniona, charakteryzowały się najmniejszą przewodnością cieplną, wynoszącą odpowiednio 0,048 i 0,043 W/(mK). Ciekawym aspektem ocenianej pracy doktorskiej była próba opracowania nowych materiałów izolacyjnych na bazie spienionego papieru. Szczególnie w przypadku jednej z prób, uzyskanej z pulpy papierowej spulchnionej dodatkiem mieszaniny wodorowęglanu sodu (NaHCO_3) i wodorowinianu potasu ($\text{K}_2\text{C}_4\text{H}_5\text{O}_6$) uzyskano obiecujące parametry termofizyczne (niską przewodność cieplną, jednorodną strukturę i stosunkowo niską gęstość). Szkoda, że niedostateczna wytrzymałość mechaniczna

materiału nie pozwoliła wykorzystać go jako izolatora w testowanych opakowaniach zimnochronnych.

W kolejnym piątym etapie badań przetestowano skuteczność opracowanych opakowań zimnochronnych w porównaniu do opakowań dostępnych w handlu. Badania prowadzone w warunkach symulowanego transportu konsumenckiego dowiodły, że wybrane rodzaje materiałów termoizolacyjnych, w szczególności folia pęcherzykowa i pianka polietylenowa, spełniają założenia projektu i mogą zostać wykorzystane do opracowania nowych, tanich opakowań przeznaczonych do transportu produktów mrożonych.

Wartościowanie wyników i wnioskowanie było szóstym, ostatnim etapem badań.

Ocena formalnej i merytorycznej strony pracy

Praca doktorska Pana mgr inż. Piotra Nakoniecznego nie jest pracą obszerną – liczy tylko 89, z czego na wstęp i przegląd literatury przypada 31 stron. Cel i zakres pracy oraz część opisująca materiały i metody badań obejmuje 19 stron. Omówienie i dyskusję wyników wraz z 8 tabelami i 24 rysunkami oraz podsumowanie wyników i wnioski przedstawiono na 31 stronach. Bibliografię obejmującą 103 pozycje literatury, zaprezentowano na 6 stronach, natomiast 2 ostatnie strony zawierają streszczenie pracy w języku polskim i angielskim.

W ramach przeglądu literatury Autor przedstawił stan wiedzy z zakresu tematu pracy. Omówił łańcuch chłodniczy i opisał poszczególne jego ogniwa. Wymienił negatywne skutki przerwania ciągłości łańcucha chłodniczego i scharakteryzował uwarunkowania prawne obowiązujące w obrocie żywnością zamrożoną. Dokładnie opisał transport chłodniczy i system zapewniania bezpieczeństwa zdrowotnego żywności HACCP w procesie produkcji i transporcie tej żywności. Wyszczególnił CCP (Krytyczne Punkty Kontroli) występujące w łańcuchu chłodniczym. Scharakteryzował zmiany fizyczne, biochemiczne i mikrobiologiczne, jakie mogą zachodzić w czasie przetwarzania i transportu produktów zamrożonych. W podsumowaniu przeglądu literatury Autor stwierdził, że transport konsumencki jest jedynym, niekontrolowanym i jednocześnie najbardziej wrażliwym elementem łańcucha chłodniczego, co wskazuje na celowość podjętych badań.

Uważam, że Pan mgr inż. Piotr Nakonieczny w wystarczającym stopniu zapoznał się z piśmiennictwem dotyczącym problematyki prezentowanej w pracy. Dało mu to podstawę do prawidłowego sformułowania hipotez badawczych, określenia problemu naukowo-badawczego i sformułowania celu pracy.

Przeprowadzone badania mają charakter wielowątkowy. Jednak nie do końca przemyślany i zrozumiały wydaje się dobór materiałów w trakcie realizacji kolejnych etapów badań. Dla przykładu kinetykę rozmrażania zbadano dla 8 prób produktów, czas rozmrażania powierzchni wyznaczono tylko dla 3 wybranych prób, natomiast teksturę zbadano w 11 próbach warzyw i owoców.

Nasuwa się również pytanie dlaczego do testów opakowań zimnochronnych, w warunkach symulowanego transportu konsumenckiego wybrano brokoły (str. 75-77)? Produkty te cechowały się najmniejszą szybkością rozmrażania (tab. 6, str. 51). Wydaje się, że lepszym potwierdzeniem skuteczności zaprojektowanych opakowań zimnochronnych byłoby przeprowadzenie testów z udziałem produktów, takich jak zamrożony burak ćwikłowy czy marchew, które zgodnie z prezentowanymi wynikami badań rozmrażają się najszybciej.

W przypadku badania przydatności materiałów izolacyjnych do wykonania opakowań zimnochronnych skupiono się na zbadaniu właściwości termofizycznych papieru spienionego. Przeprowadzono analizę termowizyjną 5 prób tego materiału i określono jego jednorodność termoizolacyjną. Nasuwa się pytanie dlaczego tak szczegółowymi badaniami objęto tylko papier spieniony, który w rezultacie, ze względu na małą wytrzymałość mechaniczną i tak nie był odpowiednim materiałem opakowaniowym. Pominięto w tych badaniach inne, potencjalnie lepsze materiały termoizolacyjne.

Metody badawcze zostały poprawnie dobrane i w większości dobrze opisane. Szkoda, że w metodyce pracy Autor dokładniej nie opisał procesu zamrażania badanych produktów i nie określił np. prędkości zamrażania. Parametr ten mógłby być wartościowym uzupełnieniem prezentowanych wyników, ponieważ np. tekstura produktów po rozmrożeniu może być w dużej mierze determinowana szybkością zamrażania.

W mojej opinii mankamentem pracy jest połączenie omówienia wyników badań z ich dyskusją. Stosując taki układ pracy zdecydowanie trudniej jest oddzielić osiągnięcia wynikające z własnych badań, od opublikowanych wcześniej, wyników badań innych autorów (tab.12 str. 68 i rys.46 str. 69).

W rozdziale *Wyniki badań i ich dyskusja* te same wyniki prezentowane są często najpierw w formie tabelarycznej, a następnie w formie wykresów. Niepotrzebnie zwiększa to objętość pracy (str.: 56-57, 59 i str.: 72-74).

Przy niektórych wynikach brak jest indeksów literowych, mówiących o istotności różnic (tab. 8, str. 56; rys. 37, str. 59; tab. 10, str. 67; tab. 11, str. 68; tab. 13, str. 72). Niewłaściwe jest

również posługiwanie się na wykresach tymi samymi symbolami literowymi w przypadku wyników, które bez wątplenia różnią się statystycznie (rys. 49, str. 73; rys. 51, str. 74).

Należy zwrócić uwagę na drobne nieścisłości pomiędzy zakresem pracy, metodyką, a przedstawionymi wynikami. W zakresie pracy podano, że badania będą obejmowały analizę zmian fizykochemicznych produktów (str. 32). W ramach tej analizy zbadano wyłącznie teksturę świeżych i rozmrożonych wyrobów. Nie wykonano natomiast żadnych analiz składu chemicznego produktów świeżych rozmrożonych. W *Metodyce badań* opisano metodę badania gęstości materiałów termoizolacyjnych (str. 44), nie przedstawiono natomiast wyników badań tego parametru. Podano jedynie gęstość papieru spienionego, ale są to wyniki badań innych autorów.

Na rys. 24 (str. 46) przedstawiono widok wybranych opakowań, w tym opakowanie z pianki polipropylenowej. Jednak zgodnie z opisem przedstawionym w *Metodyce badań* (str. 43, rys. 22) pianka polipropylenowa nie była materiałem izolacyjnym, który miał być wykorzystany w nowo zaprojektowanych opakowaniach.

Analizując warunki transportu konsumenckiego, w czasie jazdy symulacyjnej, odnotowano w przestrzeni kabiny jednego z samochodów temperaturę na poziomie ok. 61 °C. Nasuwa się pytanie, czy kierowca przebywający w kabinie samochodu, w której odnotowano tak wysoką temperaturę, jest w stanie kierować pojazdem?

Po krótkim podsumowaniu pracy Autor przedstawił 10 wniosków. W mojej ocenie większość wniosków jest sformułowana poprawnie. Jednak nie zgodzę się z wnioskiem 7. Wyniki pracy wskazują, że tektura falista, podobnie zresztą jak folia polietylenowa nie posiadają dobrych właściwości termoizolacyjnych (tab 10., str. 67). Również papier spieniony, ze względu na małą wytrzymałość nie jest odpowiednim materiałem na opakowania termochronne.

Wśród drobnych mankamentów pracy wskażę na kilka niezręcznych sformułowań i błędów literowych:

„Mięsko” str. 14. - błąd literowy, powinno być „Mięso”;

"Temperatura w chłodni może być niezbędna do zachowania jakości....." str. 24 - może należałoby doprecyzować jaka temperatura;

„Wilgoć powstała podczas rozmrażania jest bogata w białka, witaminy i minerały pochodzące ze strukturalnych zmian spowodowanych procesem zamrażania.....” – niewłaściwie sformułowany skrót myślowy;

"Wpływ na to ma szybkość zamrażania oraz skład chemiczny żywności, gdyż zawartość takich substancji jak aminokwasy, węglowodany, białka czy żelatyna" str. 29 - żelatyna nie jest zaliczana do podstawowych składników chemicznych żywności, aminokwasy są podstawową jednostką strukturalną białek;

" Natomiast przemiany tłuszczów i lipidów..." str. 30 - tłuszcze i lipidy to ten sam składnik;

"Szybkość zamrażania " str. 35 , błąd literowy, powinno być "Szybkość rozmrażania".

Wniosek końcowy

W mojej opinii przedłożona do recenzji praca doktorska, pomimo wymienionych mankamentów, prezentuje dobry poziom naukowy. Cechują ją odpowiednio zaplanowane zadania badawcze, w rezultacie których opracowano i przetestowano nowe opakowania termochronne. Wykorzystane w pracy narzędzia analityczne i zastosowane metody badań są odpowiednie. Wyniki badań zaprezentowane w rozprawie cechuje aspekt nowości naukowej, a opracowane rozwiązanie posiada potencjał aplikacyjny.

Pozwala to stwierdzić, że oceniana rozprawa doktorska Pana mgr inż. Piotra Nakoniecznego zatytułowana: „**Zachowanie ciągłości łańcucha chłodniczego żywności mrożonej w obszarze konsumenckim**” spełnia wymagania ustawowe, stawiane pracom na stopień doktora (art. 13 ust. 1 ustawy z dnia 14.03.2003 r. Dz. U. Nr 65, poz. 595, ze zm. w Dz. U. z 2005 r. nr 164, poz. 1365), w związku z tym wnoszę do Rady Wydziału Inżynierii Produkcji Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie o dopuszczenie Pana mgr inż. Piotra Nakoniecznego do dalszych etapów przewodu doktorskiego.



dr hab. inż. Aldona Sobota prof. uczelni