



Warszawa 12.01.2025

Prof. dr hab. inż. Artur Rusowicz
Wydział Mechaniczny Energetyki i Lotnictwa
Politechnika Warszawska
Ul. Nowowiejska 24
00-665 Warszawa

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Krzysztofa Gaszka pt.:
„Badanie nad procesem zamrażania żywności (produktów pochodzenia
odzwierzęcego) w zamrażarkach płytowych z pośrednim układem chłodzenia”

Recenzję wykonano w oparciu o uchwałę nr 5/III/11/2024 z dnia 2 grudnia 2024 Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Poznańskiej.

Rozprawa doktorska powstała i została zredagowana pod kierunkiem dr hab. inż. Krzysztofa Bieńczaka oraz dr hab. inż. Leona Bogusławskiego, jako promotora pomocniczego.

1. Przedmiot rozprawy

Rozprawę doktorską stanowi monografia. Przedmiotem przedłożonej do oceny rozprawy doktorskiej było opracowanie praktycznych procedur obliczeniowych procesu zamrażania produktów spożywczych w zamrażarkach płytowych z pośrednim układem chłodzenia płyt zamrażalniczych, w szczególności opracowanie metod obliczeniowych wyznaczania czasu zamrażania w zamrażarce płytowej dla dowolnych wymiarów oraz oceny możliwości zmiany czynnika chłodniczego na pracę układu chłodniczego. W trakcie realizacji konieczne było zaprojektowanie i wykonanie stanowiska badawczego składającego się z kompletnego urządzenia chłodniczego oraz odpowiedniego odbiornika chłodu. Następnie opracowano jednowymiarowy model nieustalonego przewodzenia ciepła wewnątrz zamrażarki płytowej. Ostatnim elementem była walidacja modeli na specjalnie wykonanym stanowisku badawczym, odzwierciedlającym najbardziej powszechne w użyciu zamrażarki płytowe.

**Politechnika
Warszawska**

ul. Nowowiejska 24
00-665 Warszawa
tel. +48 (22) 234-73-54
fax. +48 (22) 625-73-51
dziekan.meil@pw.edu.pl
www.meil.pw.edu.pl

Biorąc pod uwagę zawarte w rozprawie rezultaty badań eksperymentalnych oraz opracowanie modeli – stwierdzam, że odpowiadają one sformułowanemu celowi rozprawy. Zakres rzeczowy rozprawy zakres koresponduje ze sformułowaną tezą rozprawy i pozwalają na uzyskanie rezultatów pozwalających na jej udowodnienie.

2. Struktura redakcyjna pracy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska jest w formie monografii, napisana w języku polskim, o objętości 131 stron. Zasadniczą część rozprawy Doktorant podzielił na 6 numerowanych rozdziałów, ponadto nienumerowane „Lista załączników”, „Streszczenie”, „Wykaz skrótów i oznaczeń” „Wstęp”, „Literatura”, „Załączniki” i streszczenie w języku angielskim. Bibliografia z 66 pozycjami literaturowymi.

W pierwszym nienumerowanym rozdziale „Wstęp” Doktorant w sposób bardzo syntetyczny (2 strony) prezentuje potrzebę podjęcia tematyki pracy.

W pierwszym numerowanym rozdziale „Analiza literaturowa” (str.14-33) przedstawiono przegląd literatury związanej z efektywnością wykorzystania zamrażarek płytowych. Następnie zaprezentowano rys historyczny rozwoju czynników chłodniczych z uwarunkowaniami prawnymi w ich stosowaniu. W sposób mocno uproszczony zaakcentowano właściwości jakimi powinny się charakteryzować czynniki chłodnicze oraz skupiono się na wybranych czynnikach (R404, R449A, R455A) jako potencjalnych przy wykorzystaniu w zamrażarce płytowej. Planując układ chłodzenia pośredni poddano przeglądowi istniejące chłodziwa i ich właściwości.

Rozdział 2 „Cel pracy” (str.34-35) koncentruje się na zaprojektowaniu i wykonaniu stanowiska badawczego opracowaniu modelu obliczeniowego i jego walidacji. Doktorat ma charakter wdrożeniowy, więc w celu pracy zamieszczono również korzyści praktyczne z wdrożenia proponowanego urządzenia chłodniczego do zamrażania kontaktowego.

W rozdziale 3 „Opis autorskiego stanowiska badawczego” (str.36-62) opisano przyjętą koncepcję budowy zamrażarki kontaktowej. Zaproponowano układ chłodniczy składający się z trzech głównych elementów: agregatu chłodniczego, modułu hydraulicznego i część płytową zamrażarki. W pierwszym kroku projektowania przygotowano bilans cieplny urządzenia, przyjmując założenia technologiczne dla

zamrażania wieprzowego tłuszczu ze skwarkami. Następnie dobrano układ chłodniczy dla czynnika chłodniczego R449A z możliwością zamiany na czynnik R455A. W układzie chłodziwa zaproponowano glikol oraz mrówczan potasu i przeprowadzono obliczenia dla modułu hydraulicznego (rurociągi, pompy, naczynia wzbiornicze). W całym urządzeniu chłodniczym zaproponowano dobór i rozmieszczenie czujników i urządzeń pomiarowych.

Rozdział 4 „Opis prowadzonych badań” (str. 63-112) poświęcono badaniom eksperymentalnym zbudowanego urządzenia. Polegały one na badaniach rozkładu temperatury na powierzchni płyty mroźniczej, czasów czasu mrożenia przy założeniu zmiennej grubości wsadu oraz badaniach zużycia energii dla różnych czynników chłodniczych. Jest to główny rozdział w pracy zawierający informacje z przeprowadzonych badań. Niektóre opisy i rysunki są lakoniczne, Doktorant praktycznie nie opisał wykresów 4.2-4.4, w tytułach wykresów pojawiają się oznaczenia trudne do zinterpretowania (np. pion „170”, punkty 170, rozkład temperatury 170 oraz rozkład temperatury „170” + „400”). Natomiast wnioski z interpretacji tych wykresów mają znaczący wpływ na dalsze obliczenia, gdyż przyjęto model jednowymiarowego przewodzenia ciepła. Badania dotyczące czasów mrożenia są znacznie lepiej opisane. Następna część tego rozdziału poświęcona jest opisowi i obliczeniom jednowymiarowego modelu procesu zamrażania. Doktorant użył analitycznego rozwiązania jednowymiarowego, nieustalonego równania przewodnictwa cieplnego. Z jednej strony jest to zaleta, że nie używał zaawansowanych programów CFD do symulacji tak prostego zagadnienia wymiany ciepła, a z drugiej strony nie wykazał się umiejętnościami wykorzystanie takiego uniwersalnego oprogramowania. Uzyskał dobrą zgodność pomiędzy swoimi obliczeniami, a danymi eksperymentalnymi i to uważam za zaletę i podjęcie decyzji o użyciu, szybkiego do zastosowania rozwiązania analitycznego. Ostatnia część tego rozdziału dotyczy porównania, ze względów energetycznych możliwości zastosowania dwóch różnych czynników chłodniczych.

Rozdział 5 „Wnioski końcowe” (str. 113-114) zawiera podsumowanie badań Doktoranta, a Rozdział 6 „Kierunki dalszych badań” (str.115) przedstawia potencjalne kierunki dalszych badań.

Rozdział „Literatura” składa się z 66 pozycji, które są aktualne i dobrze dobrane do poruszanych w pracy zagadnień. W Załącznikach (str.122-130) znajdują się

właściwości dobranych w pracy czynników chłodniczych oraz wykresy ciśnień po stronie ssawnej i tłocznej urządzenia chłodniczego (praktycznie bez opisów czego dotyczą).

3. Uwagi krytyczne redakcyjne i dyskusyjne do pracy.

Praca jest przygotowana redakcyjnie w stopniu dostatecznym, brakuje szeregu ważnych opisów przeprowadzonych prac, przedstawione wyniki również nie są dogłębnie analizowane, występuje znaczna liczba błędów typowo redakcyjnych. Mam szereg uwag krytycznych do pracy. Po pierwsze już sam tytuł rozprawy nie jest szczęśliwie sformułowany: „Badanie nad procesem zamrażania żywności (produktów pochodzenia odzwierzęcego) w zamrażarkach płytowych z pośrednim układem chłodzenia”. Uważam, że słowo badanie w liczbie pojedynczej, a zamrażarki płytowe w formie mnogiej nie odzwierciedlają zakresu prac w dysertacji. Może lepszym słowem w tytule byłaby analiza pracy urządzenia. Zaletą pracy niewątpliwie jest powstanie urządzenia chłodniczego wykorzystującego zamrażanie kontaktowe, co jest również potwierdzone autorskim patentem PL24012 i jego planowane przemysłowe wykorzystanie. Pewien niedosyt powoduje stosunkowo słabe opisanie, właśnie układu płyt mroźniczych, wszystkie inne elementy urządzenia są dosyć dokładnie opisane. Układ płyt mroźniczych jest podstawowym elementem przy prowadzonych badaniach eksperymentalnych. Dodatkowo prowadzone w pracy badania nad zamrażaniem skwarki wieprzowej nie są skomentowane. Czemu wybrano akurat ten produkt, nie ma słowa wyjaśnienia podobnie w jaki sposób określono właściwości cieplne produktu. Następnie w urządzeniu zaproponowano czynniki zeotropowe, więc rodzą się pytania o założoną temperaturę wrzenia w urządzeniu, jak ją zdefiniowano. Mam też ogólne pytanie, czy wykorzystanie czynnika zeotropowego jest korzystne w tym urządzeniu, czy lepiej wykorzystać czynniki azeotropowe. Wyjaśnienia wymaga również bilans cieplny urządzenia chłodniczego, czy uwzględniono szronienie urządzenia, ponieważ w budowie urządzenia uwzględniono zbiorniki do odszraniania. Uwagi powyższe są dosyć istotne dla poprawnego opisu rozprawy.

Jak wspomniałem wcześniej praca prezentuje niezbyt wysoki poziom redakcyjny. Zamieszczono znaczną liczbę uwag dotyczących pracy:

Str.3 „Spis treści” – bez numeracji stron oraz niekompatybilny z nazwami rozdziałów np. „Wykaz oznaczeń” a w tekście „Wykaz skrótów i oznaczeń”;

Str.8 „Wykaz skrótów i oznaczeń”- szereg niekonsekwencji w wykazie, tj. brak alfabetycznego porządku w wykazie, brak podziału na alfabet łaciński i grecki, niekonsekwencje w nazewnictwie (np. CFC i HCFC, HFC) oraz pisowni związków chemicznych (np. dwutlenek siarki i chlorek metylu), dodatkowo typowe błędy (np. nazewnictwa GWP);

Str.13 sformułowanie nieprecyzyjne i błędne: *Prace badawcze - pierwotna koncepcja, a następnie wstępny projekt - trwały od 2017 roku (gdy pojawiły się pierwsze limity dostępności czynnika chłodniczego)*;

Str.13 brak konsekwencji w cytowaniu literatury (alfabetycznie, czy w kolejności cytowania), po pozycji 5 występuje 22, niektóre pozycje literaturowe w ogóle nie cytowane (np.16, 18, 57);

Str.17 sądzę, że wniosek z pracy [12]: „*obniżenia temperatury chłodziwa wewnątrz płyty o 1K skutkuje obniżeniem czasu mrożenia o 2 minuty*” jest wynikiem prac badawczych na konkretnym przypadku i nie ma charakteru ogólnego chociaż jest powtarzany na str. 41;

Str. 19 używanie archaicznego języka: natenczas, partykuły też (str.23);

Str. 21 idealny czynnik chłodniczy charakteryzuje się znacznie większą liczbą właściwości, niż prezentowane w pracy;

Str. 22 i in. niekonsekwencje w używaniu określenia temperatura parowania i temperatura wrzenia;

Str. 32 niefortunne stwierdzenie „*zapobiega osadzaniu się błota i osadów*”;

Str.33 niezrozumiałe stwierdzenie: „*skuteczniejszą wymianę ciepła z otoczeniem poprzez tzw. falowanie przepływu cieczy (przepływ nielaminarny)*”;

Str. 43 prawdopodobnie źle zacytowana literatura, poz. [31] przy właściwościach chłodziwa;

Str. 44 nieprecyzyjne słownictwo : „*energia cieplna*”;

Str. 46 niezręczne sformułowanie: „*Zastosowano agregat skraplający oparty o dwie sprężarki tłokowe....*”;

Str.49 pisownia jednostek kJ i stosowanie objętości w litrach;

Str. 54 brak nawiasu w zależności na R i literówka „naczynia”(na str. 55 również);

Str.66 i następne, niekonsekwentne przygotowywanie rysunków np. 4.2, 4.3, 4.4 i dalej;

Str.69 literówka „wary”;

Str.77 niezrozumiała prezentacja zależności 22, 24;

Str.78 brak ciągłości tekstu „*oraz warunki brzegowe w osi i na brzegu odpowiednio:*”;

Str.90 czy na rys.4.15 to przemiana 2-3 to: „*izobaryczne ochładzanie pary przegrzanej (skraplanie)*”;

Str. 99 na końcu strony pojawia się niezrozumiały tekst w nawiasach;

Str. 126-129 słabo opisane wykresy.

4. Podsumowanie

Podsumowując, należy stwierdzić, że przedstawiona do recenzji praca doktorska charakteryzuje się dostatecznym przygotowaniem merytorycznym Doktoranta do prowadzenia badań. Przegląd literatury wykonano z krytycznym podejściem do niektórych zaleceń i wyników badań. Rozprawa pod względem merytorycznym charakteryzuje się rozwiązaniem praktycznego problemu badawczego, konstrukcyjnego i technologicznego.

Oceniając pracę pod względem redakcyjnym, stwierdzam jej dostateczny poziom.

5. Ocena pracy i wniosek końcowy

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska jest interesującą pracą o znaczącym wkładzie w rozwój urządzeń chłodniczych. Zaproponowano konstrukcję urządzenia mroźniczego, wykonano badania mrożenia skwarki wieprzowej. Doktorant wykazał się umiejętnością formułowania problemów badawczych i rozwiązywania ich przy użyciu metod właściwych dla mechaniki, wymiany ciepła i podstaw konstrukcji maszyn. W moim przekonaniu przedstawiona do recenzji rozprawa spełnia zwyczajowe ramy stawiane pracom doktorskim, zarówno pod względem zakresu rzeczowego, jak poziomowi oryginalności osiągnięć technicznych, konstrukcyjnych oraz metodycznych. Co więcej – istotnym walorem pracy są aspekty aplikacyjne proponowanego rozwiązania. Należy podkreślić, że Doktorant realizując prace badawcze musiał zmierzyć się z koniecznością zdobycia wiedzy o charakterze interdyscyplinarnym, rozwiązywanie wielu problemów natury konstrukcyjnej wymagało znacznego poziomu kreatywności Doktoranta. Zaprezentowana w rozprawie analiza stanowi rozwiązanie zadania naukowego i spełnia w moim

przekonaniu wymagania stawiane rozprawom doktorskim. Biorąc powyższe pod uwagę, stwierdzam, że:

1. Rozprawa doktorska mgr. inż. Krzysztofa Gaszka spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim określone w Art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 Prawo o szkolnictwie wyższym (Dz. U. 2018 z. 1668 z późn. zmianami)) i wnoszę do Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Politechniki Poznańskiej i wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony.
2. Zakres rozważań rozprawy kwalifikuje ją do dyscypliny naukowej: Inżynieria Mechaniczna.

A. Dzwonia

