Poznań, 28.03.2025 r.

# PROTOKÓŁ
## z posiedzenia Komisji Doktorskiej powołanej przez Radę Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Poznańskiej w sprawie obrony rozprawy doktorskiej mgr. Krzysztofa Gaszka

**Temat rozprawy doktorskiej:**

**Badanie nad procesem zamrażania żywności (produktów pochodzenia odzwierzęcego) w zamrażarkach płytowych z pośrednim układem chłodzenia**

Obrona odbyła się w dniu 28.03.2025 r. o godzinie 11:00 przed Komisją powołaną przez Radę Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Poznańskiej.

**Skład Komisji powołanej przez Radę Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Poznańskiej dla przeprowadzenia publicznej obrony rozprawy doktorskiej mgra Krzysztofa Gaszka w dniu 28.03.2025 r.**

dr hab. inż. Krzysztof Talaśka, prof. PP – przewodniczący komisji

prof. dr hab. inż. Tadeusz Bohdal – recenzent

prof. dr hab. inż. Artur Rusowicz – recenzent

dr hab. inż. Sławomir Obidziński, prof. PB – recenzent

prof. dr hab. inż. Piotr Krawiec – członek komisji

dr hab. inż. Rafał Talar – członek komisji

dr hab. inż. Robert Roszak – członek komisji

prof. dr hab. inż. Dorota Czarnecka-Komorowska – członek komisji

prof. dr hab. inż. Szymon Wojciechowski – członek komisji

dr hab. inż. Marcin Suszyński – członek komisji

dr hab. inż. Krzysztof Bieńczak, prof. PP – promotor

dr hab. inż. Leon Bogusławski – promotor pomocniczy (bez prawa głosu)

Część jawna

1. **Otwarcie publicznej obrony mgra Krzysztofa Gaszka przez dra hab. inż. Krzysztofa Talaśkę, prof. PP.**
2. **Przedstawienie sylwetki doktoranta przez protokolanta dra inż. Tomasza Bernata**
3. **Przedstawienie głównych tez pracy przez doktoranta.**
4. **Przedstawienie przez Promotora opinii o pracy.**
5. **Odczytanie recenzji:**

- **prof. dr hab. inż. Tadeusz Bohdal, Politechnika Koszalińska,**
- **prof. dr hab. inż. Artur Rusowicz, Politechnika Warszawska,**
- **dr hab. inż. Sławomir Obidziński, prof. PB, Politechnika Białostocka.**

6. **Ustosunkowanie się do recenzji przez doktoranta.**

**Odpowiedzi na zadane pytania przez prof. dra hab. inż. Tadeusza Bohdala zawarte w recenzji pracy doktorskiej**

Pytanie:

*1. W pracy na stronie 31 podano informacje dotyczące najbardziej rozpowszechnionych chłodziw w układach pośrednich. W przypadku płynów z grupy Ergolit użyto określenia, że są to płyny niezamarzające. Takie stwierdzenie nie jest poprawne. Każdą substancję można zestalić. Są to płyny niskokrzepnące, dla których temperatura krzepnięcia w zależności od odmiany wynosi od -35 do - 15 °C.*

*2. Na stronie 33, 7 wiersz od góry, użyto pojęcia „lepsza lepkość dynamiczna". Należy podać co oznacza to stwierdzenie.*

*3. Na str. 35, 6 wiersz od góry napisano, że opracowując jednowymiarowy model nieustalonego przewodzenia ciepła wewnątrz zamrażarki płytowej przyjęto stałe właściwości fizyczne (nie podano czego) ze względu na brak informacji literaturowych o ich zmienności w funkcji czasu. Taki zapis jest niezrozumiały. Jeżeli chodzi o produkty spożywcze, to ich własności fizyczne w krótkim okresie czasu są stałe i praktycznie nie zależą od czasu. Natomiast podczas zamrażania produktów spożywczych ich własności zmieniają się wraz ze zmianą temperatury i to znacznie. Wartości własności fizycznych produktów spożywczych w różnych temperaturach można znaleźć w dostępnej*

*literaturze. Prowadząc obliczenia dla procesu zamrażania żywności należy koniecznie uwzględniać takie zależności.*

*4. W rozdziale 3.2 podano obliczenia bilansowe będące podstawą do projektowania stanowiska badawczego. Prawidłowo podzielono proces zamrażania produktów spożywczych na trzy etapy: proces chłodzenia, proces zamrażania właściwego i proces domrożenia. Jednak prowadząc obliczenia dla procesów chłodzenia i zamrażania przyjęto dla każdego procesu stałą wartość ciepła właściwego, chociaż jest ono funkcją temperatury produktu. Bardziej poprawnym jest stosowanie różnicy entalpii produktu określonej dla początku i końca procesu. Takie postępowanie uwzględnia zmianę wartości ciepła właściwego wraz ze zmianą temperatury produktu.*

*5. Na rys. 4.2 - 4.4 podano rozkłady temperatury na różnych poziomach płyty mroźniczej z wsadem. Z czego wynikają tak znaczne różnice temperatury dla środkowego poziomu? Czy ma to uzasadnienie fizyczne lub czy jest to wynikiem błędu pomiaru?*

*6. Na stronie 70 podano, ze badania podstawowego czasu mrożenia przy założeniu zmiennej grubości wsadu przeprowadzono przy użyciu jako wsadu płyty gipsowo-kartonowej. Jak należy tłumaczyć, że do celów testowania stanowiska badawczego użyto jako wsadu płyty gipsowo - kartonowej o własnościach fizycznych diametralnie innych od własności produktów pochodzenia zwierzęcego (o wartościach kilkukrotnie niższych) Ponadto płyta gipsowo-kartonowa praktycznie pozbawiona jest wody, co powoduje, że nie występuje tutaj podczas mrożenia strefa mrożenia właściwego (dla produktów z dużą zawartością wody).*

*7. W przestawionych wzorach na stronie 78 kilkukrotnie wzajemnie zamieniono dwa współczynniki (według wykazu oznaczeń): k- współczynnik przewodzenia ciepła i U-współczynnik przenikania ciepła. We wzorach (24) - (26) powinien występować współczynnik k, który odpowiada za przewodzenie ciepła (prawo Fouriera). W proponowanym modelu nie powinno uwzględniać się przenikania ciepła, które dotyczy wymiany ciepła pomiędzy dwoma płynami przez przegrodę materialną. Również na stronach 82, 83 i 84 występuje współczynnik U, a ma być k*

*8. Podobny błąd jest w podanym na stronie 78, 1 wiersz od dołu, warunku brzegowym trzeciego rodzaju, który porównuje ze sobą gęstość strumienia ciepła na brzegu płyty wyznaczonego z prawa Fouriera i prawa Newtona. We wzorze Fouriera powinien być współczynnik k a nie U.*

*9. Podany wzór (27) przedstawia równanie różniczkowe opisujące nieustalone przewodzenie ciepła w płycie płaskiej. Może być one wykorzystane do opisu schładzania i domrożenia produktów*

*spożywczych, gdzie nie występuje przemiana fazowa krzepnięcia wody zawartej w tych produktach. Dlaczego Doktorant pominął w swoich rozważaniach wymianę ciepła w strefie zamrażania właściwego, gdzie następuje proces powstawania kryształków lodu? Problem ten opisano szczegółowo na stronie 4 niniejszej opinii.*

*10. Należy również zauważyć, że przy zamrażaniu kontaktowym wymiana ciepła pomiędzy wsadem a płytą mroźniczą odbywa się przez styk. W takim przypadku obowiązuje warunek brzegowy czwartego rodzaju. Można dokonać zamiany warunku brzegowego czwartego rodzaju na warunek brzegowy trzeciego rodzaju, jednak należy wtedy podać jak wyznaczono wartość zastępczego współczynnika przejmowania ciepła h. Jednak w rozprawie tego nie ma.*

*11. Na stronie 79 podano rozwiązanie zaproponowanego modelu wymiany ciepła w postaci zależności (28). Istnieje pytanie w jaki sposób ją uzyskano? Brak jest również opisu co oznaczają poszczególne wielkości we wzorze: A, B oraz u.*

*12. Na stronie 84 przedstawiono walidację opracowanego modelu na podstawie testu mrożenia skwarki wieprzowej. Przyjęto stałe właściwości fizyko - chemiczne dla wsadu w postaci skóry wieprzowej. Nie podano dla jakiej temperatury przyjęto te wartości, początkowej czy końcowej procesu zamrażania. A przecież dla przyjętej dużej różnicy temperatur (30 K) wartości te są znacznie inne w temperaturach: +10 °C i -20 °C.*

*13. Na rys. 4.20 i 4.25 podano wykresy przedstawiające zmiany temperatury wewnątrz bloku mroźniczego i zużytej energii w funkcji czasu. Nie podano jednak jaki materiał wykorzystano jako wsad do zamrażarki płytowej.*

*14. Na stronach 100 i 109 użyto pojęcia „Zużyta energia elektryczna dla wymrażania chłodziwa". Co to oznacza?*

Odpowiedź:

Ad.1 Użycie określenia „płyny niezamarzające" jest pewnym zaniedbaniem, wynikającym z częstego używania tego określenia w potocznym języku branżowym osób związanych z praktyką chłodniczą. Słusznie zauważono, że prawidłowym określeniem będzie „płyn niskokrzepnący", które w przypadku późniejszych publikacji zostanie skorygowane.

Ad.2 Użyte stwierdzenie „lepsza lepkość dynamiczna" ma charakter skrótu myślowego i w późniejszych publikacjach zostanie zastąpione określeniem wskazującym na parametry lepkości dynamicznej – jako wielkości fizycznej, odzwierciedlające bardziej korzystne możliwości zastosowania cieczy w odniesieniu do wody (która może zostać użyta jako chłodziwo).

Ad.3 Zwrot dotyczący stałych właściwości fizycznych produktów mrożonych jest wplecionym przez autora skrótem myślowym, oznaczającym, że zakładaną jest stała wartość fizyko- chemiczna produktu mrożonego na przestrzeni całego cyklu mrożenia. Należy zauważyć, że przedziały właściwości produktów spożywczych są bardzo szerokie, tym samym duży zakres danych tablicowych spowoduje, że wybór wartości określających wartości wsadu jest przypadkowy i arbitralny. Określenie właściwości fizycznych mrożonego produktu w odniesieniu do zmieniającej się temperatury produktu skomplikowałoby znacznie proces obliczeniowy, co w konsekwencji stałoby w opozycji do zakładanej prostoty modelu obliczeniowego oraz wdrożeniowego charakteru pracy.

Ad.4 Z pewnością stosowanie różnic entalpii produktu na początku i na końcu procesu jest rozwiązaniem bardzo dobrze i precyzyjnie opisującym proces mrożenia w zamrażarce płytowej, jednak ze względu na dążenie do uzyskania prostego modelu matematycznego użyto stałej wartości średniej. Mając na uwadze potencjalną możliwość wykorzystania programu w praktyce przemysłowej, dążono do maksymalnego uproszczenia założeń odnośnie procesu. Każda komplikacja (udokładnienie) ograniczała szanse możliwości wdrożenia opracowywanego modelu przez potencjalnych użytkowników zamrażarek płytowych.

Ad.5 Rozkłady temperatury widoczne na rysunkach 4.2- 4.4 podkreślają złożoność procesu mrożenia w zamrażarce płytowej z pośrednim układem chłodzenia, jego zależność od przepływu wewnątrz płyty mroźniczej (tym samym właściwości fizyko-chemicznych chłodziwa oraz opór przepływu wewnątrz kanałów), temperatury otoczenia zamrażarki i celi pomiarowej. Jednocześnie należy zauważyć, że w perspektywie całościowego przebiegu procesu mrożenia są one relatywnie niewielkie i pozwalają, aby rozpatrywać proces mrożenia z perspektywy modelu jednowymiarowego. Z całą pewnością można powiedzieć, że nie jest to wynik błędu pomiarowego, ponieważ jak widać na rysunku 4.4 temperatura pomiarowa oscyluje na poziomie około -33 ℃, gdzie krzywe pomiarowe ulegają wypłaszczeniu, co oznacza ujednolicenie temperatury na powierzchni całej płyty.

Ad.6 Zastosowano wsad w postaci płyt gipsowo-kartonowych ze względów praktycznych. Uznano, że do testowania modelu matematycznego można użyć wsadu zastępczego, ponieważ efektywność działania programu nie powinna zależeć od wartości właściwości odpowiadających materiałom izolacyjnym. Dodatkowo ze względów sanitarno-epidemiologicznych ograniczono testy na materiale biologicznym do absolutnego minimum. Należy pamiętać, że w miejscu zamontowania stanowiska testowego nie znajduje się komora chłodnicza pozwalająca na składowanie odpadów odzwierzęcych, a każdy test wymagał zasypu minimalnego na poziomie 100kg produktu. Składowanie materiału biologicznego przed procesem mrożenia lub po jego zakończeniu - bez

odpowiedniej temperatury przechowywania - prowadziłoby do procesów gnilnych, dlatego w szerszej skali postanowiono z tego typu badań zrezygnować.

Ad.7,8 W tym przypadku analiza U służyła do oszacowania ważkości poszczególnych członów. Uwzględniając relacje 1/ uznano, że temperatura zewnętrznej warstwy (pierwszej warstwy wsadu) jest równa temperaturze powierzchni płyty aluminiowej. Duża wartość przejmowania ciepła po stronie płynu i duża przewodność cieplna aluminium powoduje, że odwrotność tych wielkości daje zaniedbywalne, małe wartości.

Ad.9 Pomimo słusznych uwag, że podczas procesu zamrażania zachodzą zmiany właściwości fizyko-chemicznych wsadu, to trzeba podkreślić, iż, wykorzystując średnie wartości współczynników, model z punktu widzenia użytkowego wystarczająco odzwierciedla proces zamrażania i jest przydatny do oszacowania końcowych wartości wymaganych przez użytkowników zamrażarki płytowej. Podobnie jak w przypadku ad. 4 słusznym wydaje się stwierdzenie, że, mając na uwadze potencjalną możliwość wykorzystania programu w praktyce przemysłowej, dążono do maksymalnego uproszczenia założeń odnośnie procesu. Wprowadzenie do procesu obliczeniowego zjawiska krystalizacji lodu w produkcie znacznie zwiększyłoby komplikację. Jak wcześniej wspomniano, każda komplikacja (udokładnienie) ograniczała szanse wdrożenia opracowywanego modelu przez potencjalnych użytkowników zamrażarek płytowych.

Ad.10 W opisywanej dysertacji rozwiązania były realizowane przy założeniu warunku brzegowego pierwszego rodzaju, czyli temperatury na powierzchni płyty aluminiowej. Rozważania uwzględniające warunek brzegowy trzeciego i czwartego rodzaju prowadziłyby do dalszej komplikacji opracowywanego modelu, co nie sprzyjało idei pracy wdrożeniowej.

Ad.11 Równanie to zostało zaczerpnięte z fachowej literatury wymiany ciepła (przepływów ciepła).

Ad.12 W przypadku opisywanego procesu przyjęto średnią wartość. Uzmiennienie właściwości od temperatury spowodowałoby znaczny wzrost trudności/złożoności procesu obliczeniowego bez istotnych korzyści z punktu widzenia dokładności oszacowań czasów przebiegu procesu zamrażania. Należy podkreślić, że rzeczywiste warunki realizacji procesu zamrażania (w warunkach przemysłowych) charakteryzują się dużą zmiennością temperatury początkowej wsadu (waha się często od nawet 30 °C do 5 °C i tolerancji temperatury końcowej(od -12 °C do -20 °C).

Ad. 13 W rysunkach 4.20 i 4.25 test odbywał się dla różnych czynników chłodniczych (R449A i R455A) przy zmiennych warunkach atmosferycznych dla wsadu w postaci płyt gipsowo-kartonowych.

Ad.14 W tym przypadku określenie „energia zużyta dla wymrażania chłodziwa" dotyczyła ilości energii elektrycznej [kWh] wymaganej dla osiągnięcia temperatury chłodziwa od temperatury początkowej 10℃ do temperatury końcowej -30℃ osiągniętej we wszystkich punktach pomiarowych na powierzchni płyty mroźniczej.

**Odpowiedzi na zadane pytania przez prof. dra hab. inż. Artura Rusowicza zawarte w recenzji pracy doktorskiej**

Pytanie:

*Recenzent pytania zawarł w treści wypowiedzi: 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 tez 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.*

Odpowiedź:

Doktorant zaznaczył, że w odniesieniu do uwagi dotyczącej tytułu dysertacji należy podkreślić, że wyrazu „badanie" użyto w znaczeniu zdefiniowanym w Słowniku Języka Polskiego PWN jako „prace zmierzające do poznania czegoś za pomocą analizy naukowej". Liczba mnoga w określeniu „zamrażarki płytowe" dotyczy przeglądu dostępnych rynkowo rozwiązań, które, biorąc pod uwagę

wdrożeniowy charakter pracy, mają za zadanie wskazanie odbiorcy końcowemu najkorzystniejszego z nich.

Nawiązując do uwagi dotyczącej niedostatecznego odniesienia się do układu płyt w zamrażarce płytowej, warto zaznaczyć, że jednocześnie z prowadzonymi badaniami powiązanymi z dysertacją trwały również badania nad charakterystyką przepływu chłodziwa wewnątrz płyty, co sfinalizowane zostanie wydaniem pozycji naukowej w najbliższym czasie. Kwestia ta nie została precyzyjnie opisana w pracy doktorskiej celem uniknięcia kolizji tematów dysertacji oraz grantu badawczego z NCBiR. Natomiast kwestie układu płyt wynikające z konstrukcji zamrażarki testowej zostały potraktowane w kategoriach ergonomii pracy zamrażarki płytowej, co w ocenie autora nie miało przełożenia na wartości istotne dla podejmowanych zagadnień naukowych.

W kwestii dotyczącej wyboru skwarki wieprzowej jako produktu pochodzenia odzwierzęcego poddawanego procesowi mrożenia, należy podkreślić, że skwarka wieprzowa jest jednym z najczęściej wybieranych produktów do mrożenia za pomocą metody kontaktowej. Gromadząc materiał do pracy doktorskiej, badania nad zamrażarkami płytowymi rozpoczęto właśnie od analizy zamrażania skwarek na zakładzie przetwórczym, dlatego też oczywistym z perspektywy autora wydawało się praktyczne sprawdzenie prototypu dla mrożenia tego produktu. Dodatkowo istniała możliwość pozyskania skwarki bezpośrednio przed testem prosto z linii produkcyjnej (w temperaturze poprodukcyjnej), dzięki czemu warunki przeprowadzenia testów były najbardziej zbliżone do faktycznych warunków, dla jakich prototyp został stworzony. W przypadku prowadzenia badań nad skwarką wieprzową jako produktem testowym walidującym założony model matematyczny, pozostaje też aspekt utylitarny: skwarkę jest łatwiej pozyskać, przewieźć oraz utylizować po całym procesie. Również czyszczenie prototypu było mniej wymagające niż np. gdyby test miałby odbyć się dla odpadów poubojowych, drobiu czy ryb. Właściwości cieplne zostały określone na podstawie badań jakościowych zakładu przetwórstwa, z którego skwarka została pozyskana oraz przy pomocy kalorymetru wykonanego na Politechnice Poznańskiej, dedykowanego do określania ciepła właściwego produktów pochodzenia odzwierzęcego.

Wybór czynnika chłodniczego został dokonany na podstawie wytycznych dostępności rynkowej czynnika, niskiego indeksu GWP oraz praktyki chłodniczej. Obserwując rynek urządzeń chłodniczych, można dostrzec, że część branży, w odniesieniu do instalacji niskotemperaturowych, wciąż boryka się z wymianą czynnika R404A i R507A, poszukując ich zamienników jak najbliższych pierwowzorom. Czynnik R449A wybrano z perspektywy substancji, która przez pewien okres czasu była rynkowo wskazywana jako optymalny substytut dla R 404A, który pozwalał na utrzymanie właściwości po stronie parownika, wykazując przy tym nieznaczny poślizg temperaturowy i wciąż stosunkowo niską temperaturę skraplania oraz współczynnik GWP poniżej progu 1500. Mając na uwadze potencjalną możliwość wykorzystania programu w praktyce

przemysłowej, dążono do maksymalnego uproszczenia założeń odnośnie procesu. Każda komplikacja ograniczała szanse możliwości wdrożenia opracowywanego modelu przez potencjalnych użytkowników zamrażarek płytowych. Z perspektywy autora pracy wdrożenie czynnika azeotropowego, który bez wątpienia, biorąc pod uwagę właściwości fizykochemiczne byłby lepszym rozwiązaniem niż mieszanina zeotropowa, wprowadzałoby komplikację ograniczającą możliwość wdrożenia rynkowego. Decydującym dla czynnika R455A była jego rynkowa dostępność, możliwość bezinwazyjnej (pod względem linii olejowej czy wymiany, oraz niskie GWP przy jednocześnie niezbyt rozbudowanym stanie wiedzy w opracowaniach naukowych oraz pośród branży instalatorskiej.

Parametry pracy układu chłodniczego, tym samym temperatury wrzenia czynnika chłodniczego zostały przyjęte na podstawie praktyki chłodniczej autora.

W bilansie chłodniczym nie wprowadzono wprost szronienia urządzenia, ponieważ założono, że podczas procesu mrożenia wsad zostanie umieszczony w sposób maksymalnie przylegający do gładkich płyt mroźniczych tak, aby wyeliminować możliwość pojawienia się tam wolnej przestrzeni.

Oblodzenia mają miejsce na górze produktu mrożonego oraz na skrajnych płytach mroźniczych, jednak należy je przestrzegać bardziej w kategoriach niezamierzonych strat energii niż przeszkód w przenikaniu energii na linii produkt mrożony-płyta mroźnicza. Te zostały uwzględnione w bilansie energii jako współczynnik niezamierzonych strat [Q3].

Wspomniany zbiornik do procesu odszraniania ma za zadanie magazynowanie chłodziwa o temperaturze nieprzekraczającej 40℃ (wyższa temperatura powoduje ryzyko krystalizacji zastosowanego chłodziwa), które zostaje wykorzystywane po cyklu mrożenia celem błyskawicznego wygrzania powierzchni styku płyty mroźniczej oraz wsadu. Tak opisany proces rozmrażania pozwala na wysunięcie mrożonego towaru z celi mroźniczej bez zmiany jego zwartej struktury.

**Odpowiedzi na zadane pytania przez dra hab. inż. Sławomira Obidzińskiego, prof. PB zawarte w recenzji pracy doktorskiej**

Pytanie:

*Czy uzyskana duża zgodność wyników czasu mrożenia skwarki wieprzowej (przedstawiona w rozdziale 4.2.3), wynosząca tylko 8 min, uzyskana z jednej strony w wyniku obliczeń według modelu (przedstawionego w rozdziale 4.2.1), dla przyjętych dla tej skwarki parametrów cieplnych, a z drugiej strony uzyskana z pomiarów eksperymentalnych czasu mrożenia tejże skwarki na stanowisku badawczym (dla parametrów zamrażania takich jak w przyjętych do obliczeń) jest możliwa do uzyskania dla innych surowców spożywczych, czy tylko dla mięsnych?*

Odpowiedź:

Doktorant zaznaczył, że w przypadku uwagi w kwestii pomiaru czasu mrożenia skwarki wieprzowej oraz poprzedzających test obliczeń, nawiązując do pytania dotyczącego prób mrożenia innych materiałów spożywczych, należy zauważyć, że przyjęty do obliczeń model matematyczny ma praktyczne zastosowanie do wielu produktów mrożonych. Kluczowym dla powodzenia testu (a raczej dla pozytywnej walidacji wyników obliczeń) jest poprawne określenie właściwości fizyko-chemicznych (które często w literaturze mają bardzo szeroki zakres), a przede wszystkim odpowiednie zdefiniowanie współczynnika wyrównania temperatury **a** [$m^2/s^{-1}$]. Należy jednocześnie zauważyć, że ów współczynnik często przyjmuje bardzo szeroki zakres wartości.
Tak na przykład współczynnik wyrównania temperatury dla[1]:

- Tłuszczu pochodzenia zwierzęcego, zależnie od temperatury produktu wynosi od a= 7,23 x $10^{-7}$ [$m^2/s^{-1}$] do wartości a= 2,5 x $10^{-9}$ [$m^2/s^{-1}$].
- Mięsa wołowego, zależnie od temperatury produktu wynosi od a= 7,0 x $10^{-7}$ [$m^2/s^{-1}$] do 1,5 x $10^{-7}$ [$m^2/s^{-1}$].
- Podrobów zwierzęcych (głównie wątroby) w zakresie od 1,05 x $10^{-7}$ [$m^2/s^{-1}$] do 1,37 x $10^{-7}$ [$m^2/s^{-1}$]

Dobre określenie właściwości wsadu pozwala na swobodne posługiwanie się modelem matematycznym w odniesieniu do wielu wsadów.

## 6. Odpowiedzi na pytania zadane podczas publicznej obrony

### prof. dr hab. inż. Artur Rusowicz

Pytanie:

*Dlaczego do badań została wybrana skwarka wieprzowa?*

[1] Niesteruk R, *Właściwości termofizyczne żywności,* Rozprawy Naukowe nr. 33, Wydawnictwo Politechniki Białostockiej, 1996

Odpowiedź:

Doktorant uargumentował wybór mrożenia skwarki wieprzowej wynikający z zapotrzebowania zakładu przemysłowego, ponieważ cała idea zamrażarki zasilanej w ten sposób brała się z przemysłu i zapotrzebowania na ten konkretny produkt oraz, dodatkowo, że ten produkt mógł zostać pozyskany w temperaturze produkcyjnej i łatwo go przewieźć oraz utylizować.

**dr inż. Jacek Marcinkiewicz**

Pytanie:

*Dlaczego ograniczono się do czynnika R449A i R455A?*

Odpowiedź:

Ograniczono się do dostępnych rynkowo czynników, które w łatwy sposób można adaptować do już pracujących instalacji chłodniczych, co do których istnieje pewność, że będą pracować w układach niskotemperaturowych.

**7. Zakończenie części jawnej**

**Część niejawna**

Dyskusję podczas obrad Komisji otworzył Przewodniczący dr hab. inż. Krzysztof Talaśka, prof. PP.

W dyskusji kolejno zabrali głos:

1. **dr hab. inż. Sławomir Obidziński, prof. PB – recenzent**

Doktorant udzielał trafnych i rzeczowych odpowiedzi, wykazując bardzo dobrą znajomość treści swojej pracy. Rozprawa ma wyraźny charakter aplikacyjny – badania nad procesem zamrażania produktów pochodzenia odzwierzęcego w zamrażarkach płytowych z pośrednim układem chłodzenia mają istotne znaczenie praktyczne. Praca została wykonana rzetelnie i z dużym zaangażowaniem.

2. **prof. dr hab. inż. Artur Rusowicz – recenzent**

Doktorant zaprezentował swoją pracę w sposób jasny, rzeczowy i komunikatywny. Na szczególne uznanie zasługuje fakt podjęcia się tematyki inżynierskiej w ramach doktoratu wdrożeniowego, mimo wcześniejszego wykształcenia w zakresie politologii. Świadczy to o dużej determinacji, samodzielności i chęci rozwoju naukowego. Praca ma praktyczny charakter i dobrze wpisuje się w potrzeby przemysłu.

3. **prof. dr hab. inż. Tadeusz Bohdal – recenzent**

Praca doktorska dotycząca procesu zamrażania produktów pochodzenia odzwierzęcego w zamrażarkach płytowych została przygotowana na wysokim poziomie zarówno merytorycznym, jak i praktycznym. Doktorant wykazał się samodzielnością, dobrą znajomością literatury oraz umiejętnością łączenia zagadnień teoretycznych z potrzebami wdrożeniowymi. Uproszczenia modeli matematycznych są uzasadnione aplikacyjnym charakterem pracy. Prezentacja była sprawna i przekonująca, a doktorant potwierdził znajomość tematu, udzielając trafnych odpowiedzi na pytania komisji.

4. **prof. dr hab. inż. Piotr Krawiec – członek komisji**

Rozprawa doktorska przedstawia starannie opracowany problem badawczy związany z procesem zamrażania produktów pochodzenia odzwierzęcego w zamrażarkach płytowych. Doktorant trafnie sformułował cele i dobrał odpowiednie metody badawcze. Podczas obrony zaprezentował się rzeczowo i przekonująco, a odniesienie do ukończonych studiów z politologii podkreśliło jego interdyscyplinarne podejście. Praca świadczy o dużym zaangażowaniu, rzetelności i dojrzałości naukowej autora

5. **dr hab. inż. Marcin Suszyński – członek komisji**

Warto zwrócić uwagę na brak uwzględnienia zawartości wilgoci w badanym materiale, co mogło mieć istotny wpływ na przebieg i wyniki procesu zamrażania w eksperymencie.

6. **dr hab. inż. Rafał Talar – członek komisji**

Doktorant przedstawił swoją pracę w sposób jasny i uporządkowany – zarówno mowa, jak i prezentacja były na bardzo dobrym poziomie. Na uwagę zasługuje nietypowa, a zarazem imponująca ścieżka autora – przejście z politologii do zaawansowanych zagadnień z zakresu termodynamiki i chłodnictwa budzi uznanie. W pracy można było oczekiwać nieco szerszego wykorzystania metod statystycznych, jednak nie umniejsza to wartości merytorycznej rozprawy.

7. **dr hab. inż. Robert Roszak – członek komisji**

Członek komisji w pełni podziela pozytywne opinie wyrażone przez przedmówców – rozprawa została dobrze przygotowana, a prezentacja podczas obrony była klarowna i merytoryczna. Zwrócił uwagę, że doktorant nie nawiązał w swoim wystąpieniu do publikacji powstałych w trakcie realizacji pracy, co mogłoby dodatkowo podkreślić wartość prowadzonych badań.

8. **dr hab. inż. Leon Bogusławski – promotor pomocniczy**

Promotor pomocniczy podkreślił imponujące przejście doktoranta z wykształcenia politologicznego do zaawansowanej tematyki z zakresu termodynamiki i inżynierii chłodniczej. W odniesieniu do braku szczegółowego uwzględnienia wilgotności w modelach matematycznych promotor wskazał, że dokładniejsze ujęcie tego aspektu znacznie zwiększyłoby złożoność pracy i mogłoby wykraczać poza ramy rozprawy o charakterze aplikacyjnym. Zwrócił uwagę, że doktorant trafnie wyjaśnił ciągłość zmian temperatury oraz procentowej zawartości wilgoci w trakcie procesu. Pozytywnie ocenił także praktyczne zastosowanie uproszczonych modeli matematycznych, które w warunkach przemysłowych pozwalają na orientacyjne określenie czasu potrzebnego na skuteczne schłodzenie produktu.

9. **dr hab. inż. Krzysztof Bieńczak, prof. PP – promotor**

Promotor podkreślił znaczącą rolę promotora pomocniczego w realizacji rozprawy oraz docenił duże zaangażowanie doktoranta w proces naukowy. Zwrócił uwagę na pozytywny aspekt samodzielnej budowy stanowiska badawczego oraz na szybkie i skuteczne opanowanie nowej dziedziny. Zakończenie badań i obrona pracy doktorskiej w ciągu czterech lat zostały ocenione jako wyraz systematyczności, wysokiej motywacji i bardzo dobrej organizacji pracy doktoranta.

**Po wyczerpaniu głosów w dyskusji Przewodniczący Komisji zarządził tajne głosowanie** w sprawie przyjęcia publicznej obrony rozprawy doktorskiej i rekomendowania Radzie Dyscypliny nadania stopnia doktora. Wyniki głosowania:

- głosujących: 9
- za przyjęciem: 9
- przeciw: 0
- wstrzymało się: 0

Podsumowując wynik posiedzenia w części niejawnej Przewodniczący Komisji stwierdził, że wystąpi do Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Poznańskiej o nadanie mgr Krzysztofowi Gaszkowi stopnia doktora **nauk inżynieryjno-technicznych** w dyscyplinie naukowej **inżynieria mechaniczna**. Następnie Komisja udała się na miejsce publicznej obrony, gdzie Przewodniczący Komisji ogłosił wynik posiedzenia. Na tym Komisja zakończyła swoją pracę.

Protokolant
dr inż. Tomasz Bernat
Tomasz Bernat

Przewodniczący Komisji
dr hab. inż. Krzysztof Talaśka, prof. PP
K. Tal