Poznań, dnia 05. 06. 2024r.

dr hab. inż. Kamila Myszka, prof. UPP
Katedra Biotechnologii i Mikrobiologii Żywności
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu
ul. Wojska Polskiego 48
60-627 Poznań

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Arkadiusza Zakrzewskiego
pt.: *Warunki stresowe podczas otrzymywania produktów gotowych do spożycia z ryb i krewetek a możliwość przeżycia oraz odpowiedź komórkowa bakterii z rodzaju Listeria sp.*
zrealizowanej w Katedrze Mikrobiologii Żywności, Technologii i Chemii Mięsa
Wydziału Nauki o Żywności Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie

Promotor pracy doktorskiej: dr hab. inż. Anna Zadernowska, prof. UWM
Promotor pomocniczy pracy doktorskiej: dr inż. Wioleta Chajęcka-Wierzchowska

Podstawa recenzji

Uchwała nr 9/2024 Rady Naukowej Dyscypliny Technologia Żywności i Żywienia Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie z dnia 5 kwietnia 2024 roku oraz pismo Przewodniczącej Rady Naukowej Dyscypliny prof. dr hab. inż. Anny Iwaniak z dnia 17 kwietnia 2024 roku (WNoŻ-DZ 955201.1.2024)

Znaczenie tematu

Zmiany nawyków żywieniowych i promowanie aktywnego trybu życia decyduje o zainteresowaniu konsumentów produktami gotowymi do spożycia. Obecnie wzrost popytu odnotowuje się przede wszystkim grupie produktów na bazie ryb/owoców morza przetworzonych kulinarnie, metodami zapewniającymi ochronę naturalnych właściwości surowca. Wyroby z ryb są cennym źródłem białka czy długołańcuchowych wielonienasyconych kwasów tłuszczowych, wykazujących wielokierunkowe działanie prozdrowotne. Obecność w rybach kwasów omega-3 przyczynia się między innymi do obniżenia ryzyka wystąpienia u konsumentów chorób układu sercowo-naczyniowego. Przygotowanie potraw z ryb/owoców morza metodami sous-vide i ceviche nadaje wyrobom, ponad powyższe, również unikatowe walory sensoryczne, co wyróżnia ten asortyment i motywuje producentów żywności do dalszego doskonalenia receptur i technologii wytwórczych. Należy podkreślić, że od 2011 roku technologia sous-vide zajmuje jedno z czołowych miejsc na liście rekomendowanych przez National Restaurant Association zintegrowanych metod obróbki kulinarnej w Stanach Zjednoczonych.

Technologia sous-vide/ceviche nie zabezpiecza jednak żywności przed rozwojem niepożądanych drobnoustrojów, w tym przed *Listeria monocytogenes*. Co istotne, zmiana pH wyrobu, traktowanie materiału temperaturą poniżej 60°C czy pakowanie w warunkach próżniowych, może wpływać na wirulencję i oporność drobnoustrojów na antybiotyki.

L. monocytogenes jest czynnikiem etiologicznym poważnych infekcji, między innymi zapalenia żołądka i jelit, zapalenia opon mózgowych czy posocznicy. Różnice w przebiegu klinicznym choroby tłumaczone są wielkością ekspozycji oraz zróżnicowaną patogennością poszczególnych szczepów. Należy nadmienić, że rocznie na milion mieszkańców odnotowuje się od 4 do 7 przypadków listeriozy. Choroba ta ma jednak najwyższy współczynnik śmiertelności w grupie pokarmowych chorób bakteryjnych i wynosi on 20%. Choć powyższe statystyki dotyczą określonych grup ryzyka (nosicieli HIV, kobiet w ciąży, pacjentów po przeszczepach i z chorobą nowotworową), ostatnie doniesienia literaturowe dowodzą, że listerioza może także występować u ludzi z pełną kompetencją immunologiczną i niedobory odporności nie są wyłączną predyspozycją do rozwoju choroby.

W oparciu o przytoczone fakty uważam, że dokonany przez Autora wybór tematu badawczego jest bardzo trafny i wnosi szereg elementów nowości do aktualnego stanu wiedzy z zakresu bezpieczeństwa mikrobiologicznego żywności. Rozprawa doktorska mgr inż. Arkadiusza Zakrzewskiego kompleksowo charakteryzuje odpowiedź bakterii z rodzaju *Listeria* na wybrane zabiegi stosowane w technologii sous-vide i ceviche. Uzyskane wyniki stanowią obiecujący wstęp do kolejnych badań nad wytypowaniem skutecznych zabiegów eliminujących *L. monocytogenes* w żywności. Już na tym etapie recenzji rozprawy chciałabym wyróżnić odważny i duży zakres zrealizowanych przez Doktoranta doświadczeń, a w szczególności analizę genomu rdzeniowego drobnoustrojów i wykorzystanie techniki cytometrii przepływowej w ocenie faktycznej aktywności przeciwdrobnoustrojowej testowanych czynników.

Aktywność naukowa

W przesłanej dokumentacji zawarto ponadprzeciętny i niezwykle imponujący wykaz osiągnięć i aktywności naukowych mgr inż. Arkadiusza Zakrzewskiego. Doktorant nieustannie poszerza swoją wiedzę i umiejętności. Jest współautorem łącznie aż 19 publikacji naukowych, współautorem 14 rozdziałów w monografiach pokonferencyjnych, współautorem 22 doniesień na konferencjach naukowych. Był kierownikiem/wykonawcą w kilku projektach badawczych. Szczególnie doceniam udział Doktoranta w stażach w renomowanych ośrodkach naukowych Austrii, Finlandii, Portugalii czy Belgii, które z pewnością rozszerzyły i tak Jego bardzo bogaty „warsztat". Mgr inż. Arkadiusz Zakrzewski uczestniczy również w pracach kół i towarzystw naukowych; jest między innymi Członkiem Komisji Rewizyjnej Oddziału Olsztyńskiego Polskiego Towarzystwa Mikrobiologów.

Formalna ocena pracy doktorskiej

Rozprawa doktorska mgr inż. Arkadiusza Zakrzewskiego składa się z dwóch części. Zastosowany układ jest typowy dla prac opartych na monotematycznym cyklu publikacji. Pierwszą część o objętości 65 stron, stanowi autoreferat zawierający oświadczenia o spełnieniu wszystkich warunków do przedstawienia rozprawy w postępowaniu o nadanie stopnia naukowego (i), informacje o finansowaniu badań wraz z wykazem publikacji

stanowiących przedmiot rozprawy doktorskiej (ii), opis aktywności naukowej Doktoranta (iii), streszczenie w języku polskim i języku angielskim (iv), wstęp - uzasadnienie podjęcia badań (v), omówienie hipotez i celu badań (vi), przedstawienie organizacji i metodologii badań (vii), omówienie wyników badań (viii), wnioski i podsumowanie (xi) oraz spis literatury (x). Autoreferat jest dobrze przemyślany, syntetyczny i odpowiednio opisuje materiał, tym bardziej, że szczegółowe informacje związane z metodologią badań i wynikami można znaleźć w poszczególnych publikacjach. Cała metodologia badań została również pozytywnie oceniona przez niezależnych recenzentów czasopism, w których opublikowano artykuły. W autoreferacie zacytowano 59 pozycji literaturowych, które precyzyjnie dobrano. Pojawiają się bardzo nieliczne błędy językowe/niefortunne sformułowania (tj. kwasy używane w ceviche są stosunkowo słabe (str. 32); mikrobiom żywości może ulec obniżeniu (str. 33)), ale nie zakłócają one odbioru pracy i nie wpływają na jej wartość naukową.

Druga część pracy obejmuje załączniki zawierające oświadczenia o udziale Doktoranta i Współautorów w poszczególnych publikacjach oraz pełne teksty publikacji, będące podstawą rozprawy doktorskiej.

Osiągnięcie stanowiące podstawę do ubiegania się mgr inż. Arkadiusza Zakrzewskiego o stopień naukowy doktora obejmuje monotematyczny cykl 5 publikacji opublikowanych w latach 2020-2023 i opatrzonych wspólnym tytułem: *Warunki stresowe podczas otrzymywania produktów gotowych do spożycia z ryb i krewetek a możliwość przeżycia oraz odpowiedź komórkowa bakterii z rodzaju Listera sp.* Tytuł rozprawy został sformułowany poprawnie i koresponduje z celem, zakresem i treścią pracy. W skład osiągnięcia wchodzą następujące artykuły:

P1: Zakrzewski A., Gajewska J., Chajęcka-Wierzchowska W., Załuski D, Zadernowska A. 2023. Prevalence of *Listeria monocytogenes* and other *Listeria* species in fish, fish products and fish processing environment: a systematic review and meta-analysis. Science of the Total Environment, 907, 167912

P2: Zakrzewski A. J., Chajęcka-Wierzchowska W., Zadernowska A., Podlasz P. 2020. Virulence characterization of *Listeria monocytogenes, Listeria innocua*, and *Listeria welshimeri* isolated from fish and shrimp using in vivo early zebrafish larvae models and molecular study. Pathogens, 9(12), 1028

P3: Zakrzewski A. J., Kurpas M., Zadernowska A., Chajęcka-Wierzchowska W., Fraqueza M.J. 2023. A comprehensive virulence and resistance characteristics of *Listeria monocytogenes* isolated from fish and the fish industry environment. International Journal of Molecular Sciences, 24(4), 3581

P4: Zakrzewski A. J., Chajęcka-Wierzchowska W., Zadernowska A. 2022. Ceviche-natural preservative: possibility of microbiota survival and effect on *L. monocytogenes*. Foods, 11(6), 860

P5: Zakrzewski A., Gajewska J., Chajęcka-Wierzchowska W., Zadernowska A. 2023. Effect of sous vide processing of fish on the virulence and antibiotic resistance of *Listeria monocytogenes*. NFS Journal, 31, 155-161

Wszystkie artykuły to opracowania zbiorowe, w których Doktorant jest pierwszym autorem; w trzech artykułach jest również autorem korespondencyjnym. Publikacje ukazały się w renomowanych czasopismach posiadających współczynnik wpływu *impact factor* i znajdujących się w wykazie JCR. Są to czasopisma: *Science of the Total Environment*, *Pathogens*, *International Journal of Molecular Sciences, Foods,* oraz *NFS Journal*. Łączny IF publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego wynosi 24,755, a liczba punktów według wykazu czasopism naukowych MEiN zgodna z rokiem opublikowania - 680. Powyższe wskaźniki świadczą o wysokim poziomie publikacji naukowych.

Z załączonych oświadczeń bezpośrednio wynika, że wkład merytoryczny mgr inż. Arkadiusza Zakrzewskiego w przygotowaniu poszczególnych prac wynosi od 50% do 70%. W każdej z prac Doktorant był współautorem koncepcji. Wkład mgr inż. Arkadiusza Zakrzewskiego obejmował również współudział w opracowaniu metodyki i wykonaniu analiz, przygotowanie manuskryptu wraz z jego edycją i opracowaniem graficznym. Można zatem ponad wszelką wątpliwość stwierdzić, że Doktorant miał wiodący udział w powstawaniu manuskryptów.

Doświadczenia do pracy doktorskiej sfinansowane zostały ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego (w ramach konkursu Diamentowy Grant) oraz Narodowego Centrum Nauki (w ramach konkursów: Preludium 20 oraz Opus 15). W dwóch grantach mgr inż. Arkadiusz Zakrzewski pełnił funkcję kierownika.

Podsumowując ten etap recenzji stwierdzam, że praca spełnia wymagania formalne stawiane rozprawom na stopień doktora nauk rolniczych w dyscyplinie technologia żywności i żywienia; praca ma charakter eksperymentalny i zawiera wszystkie wymagane części.

Merytoryczna ocena pracy doktorskiej

Rozprawa doktorska mgr inż. Arkadiusza Zakrzewskiego charakteryzuje *Listeria* sp, w tym *L. monocytogenes,* weryfikuje przeżywalność i ocenia reakcje komórek na wybrane operacje jednostkowe stosowane w metodach obróbki kulinarnej sous-vide oraz ceviche. Doktorant przy wykorzystaniu bardzo dobrze dobranych i różnorodnych technik badawczych podjął próbę wyjaśnienia czy ekosystem żywności może wywoływać presję selekcyjną i wpływać na wirulencję i antybiotykooporność *L. monocytogenes*. Badania mające na celu określenie potencjału chorobotwórczego natywnych szczepów, uważam za zasadne i bardzo potrzebne dla praktyki przemysłowej i zdrowia publicznego. *Listeria* spp. należą do grupy drobnoustrojów o wielu nierozpoznanych zdolnościach adaptacyjnych, uruchamianych w odpowiedzi na działanie czynników środowiskowych. Zapewnienie jakości i bezpieczeństwa mikrobiologicznego produktów spożywczych jest zatem zależne od prac zorientowanych na wyjaśnianiu tych mechanizmów i określaniu ich efektywności, zwłaszcza w warunkach symulujących ekosystem żywności. Podjęta tematyka doskonale wpisuje się w światowe trendy, a zrealizowane badania przez mgr inż. Arkadiusza Zakrzewskiego istotnie poszerzają wiedzę w zakresu mikrobiologii i technologii żywności.

Mgr inż. Arkadiusz Zakrzewski gruntownie przygotował się do realizacji rozprawy; w pierwszej publikacji z cyklu Autor dokonał przeglądu aż 581 prac, spośród których dokładnie ocenił 106 artykułów. Metaanaliza została opracowana na podstawie 46 prac, w których badano łącznie 14496 prób pod kątem występowania *Listeria* spp., w tym *L. monocytogenes*. Pierwsza praca z cyklu świadczy o skali problemu; drobnoustroje izolowano z gotowych do spożycia produktów, z surowca i środowiska przetwórczego. Z przeprowadzonej analizy wynika, iż flądrowate i łososiowate to rodziny głównie zanieczyszczone *L. monocytogenes*. Zaobserwowano również, że w co piątej surowej rybie z rodziny karpiowatych występują bakterie z rodzaju *Listeria*. Wyniki analizy metaregresji bezpośrednio dowodzą, że problem zanieczyszczenia żywności bakteriami *Listeria* spp. jest ciągle nierozwiązany.

W recenzowanej rozprawie scharakteryzowano *L. monocytogenes* na poziomie molekularnym. Jest to moim zdaniem interesujący i bardzo wartościowy etap badań Doktoranta. Przygotowano biblioteki, wykonano sekwencjonowanie za pośrednictwem platfomy MiSeq Illumina® i dokonano oceny genomu rdzeniowego drobnoustrojów. W tym miejscu nasuwa się pytanie czy surowe wyniki sekwencjonowania zostały zdeponowane w publicznej bazie danych? Jeśli nie, to warto taką opcję rozważyć; jest to droga poprzez którą można również dokonywać wymiany informacji naukowej. W rozprawie doktorskiej, zidentyfikowano wyspy patogenności/elementy genetyczne, związane z wirulencją, opornością na antybiotyki czy opornością na czynniki środowiskowe *L. monocytogenes*. Uzupełnieniem powyższego etapu rozprawy była ocena potencjału chorobotwórczego *Listeria* spp.; analizowano wyniki eksperymentalnej infekcji wczesnych larw *Danio rerio*. Dowiedziono, że wskaźnik przeżycia larw zainfekowanych poszczególnymi szczepami *L. monocytogenes* różnił się. W przypadku jednego szczepu żadna z zainfekowanych larw nie przeżyła 48h trwania eksperymentu. Uzyskane wyniki bezpośrednio dowodzą zmienności jaką wykazują szczepy należące do jednego gatunku i że zasadne jest prowadzenie badań równolegle z wykorzystaniem kilku lub nawet kilkunastu izolatów, wyodrębnionych z matrycy żywności. Takie podejście zastosował Doktorant w swojej pracy.

W kolejnym etapie rozprawy doktorskiej mgr inż. Arkadiusz Zakrzewski ocenił przeżywalność szczepów *L. monocytogenes* podczas przygotowania ceviche oraz obróbki kulinarnej metodą sous-vide. Do realizacji etapu wykorzystano technikę cytometrii przepływowej, gwarantującą możliwość wielowymiarowej oceny aktywności przeciwdrobnoustrojowej danych czynników/zabiegów technologicznych. Podział *L. monocytogenes* na subpopulacje komórek żywych i subpopulacje komórek martwych daje obraz trudny do uzyskania w konwencjonalnych testach. Wyniki tego etapu badań dowodzą, że otrzymywanie żywności bezpiecznej mikrobiologicznie (wolnej od między innymi aktywnych metabolicznie *L. monocytogenes*) nie jest proste pod względem technologicznym i jedynie oddziaływanie kilku zweryfikowanych czynników bójczych/statycznych może poprawić jakość produktu. Podejście analityczne Doktoranta i wyniki tego etapu pracy są nowatorskie i otwierają nowe „horyzonty" w ocenie jakości i bezpieczeństwa projektowanej żywności; gwarantują między innymi właściwą selekcję surowców przy opracowywaniu receptur czy dobór odpowiednich parametrów fizycznych przy utrwalaniu wyrobów.

W pracy oceniono również wpływ obróbki kulinarnej metodą sous-vide i produktów ceviche na wybrane na właściwości *L. monocytogenes*. W ocenie własności chorobotwórczych drobnoustrojów, wykonywano testy z użyciem larw barciaka większego. W tych doświadczeniach zaobserwowano spadek umieralności zainfekowanych larw; tylko jeden szczep okazał się bardziej wirulentny po procesie przygotowania ceviche niż przed obróbką kulinarną. W pracy stwierdzono również, że ekspozycja komórek na działanie temperatury w technologii sous-vide wpływa na wirulencję drobnoustrojów. Oceniając zmiany w wartościach indeksów MIC antybiotyków, wykazano zróżnicowaną odpowiedź komórek, w tym również wzrost oporności względem tetracykliny. Powyższe zależności ostatecznie uzupełniono badaniami określającymi poziom ekspresji genów kodujących czynniki wirulencji, oporności na antybiotyki czy kodujące białka regulujące odpowiedź komórek na czynniki środowiskowe. Wyniki powyższego etapu pracy są istotne dla producentów żywności i konsumentów.

Autoreferat kończy piętnaście dobrze sformułowanych, popartych wynikami wniosków, co bezpośrednio dowodzi, że cel pracy został osiągnięty. Wszystko zostało opatrzone spisem właściwie dobranej literatury.

Pytania

Po analizie rozprawy doktorskiej mgr inż. Arkadiusza Zakrzewskiego, nasuwa się kilka pytań:

1. Czy można wskazać kluczowe punkty, w których głównie dochodzi do zakażeń *L. monocytogenes* żywności gotowej do spożycia na bazie ryb?
2. Które z proponowanych etapów obróbki kulinarnej metodami sous-vide i ceviche należałoby dodatkowo zweryfikować by w pełni wykluczyć rozwój/aktywność metaboliczną *L. monocytogenes* w produktach? Jakie ewentualnie inne składniki marynat o działaniu przeciwdrobnoustrojowym można zastosować przy opracowaniu receptur ceviche by uzyskać produkt bezpieczny mikrobiologicznie?
3. Przy przygotowywaniu medium minimalnego na bazie ryb, jakie czynniki zadecydowały o wyborze tego konkretnego surowca?
4. Ocenę potencjału chorobotwórczego *L. monocytogenes* prowadzono z zastosowaniem larw danio pręgowanego i barciaka większego. Czy oprócz dostępności, o której wspominał Autor, istniały również inne przesłanki decydujące o wyborze tych modeli w poszczególnych etapach badań?

Podsumowanie

Rozprawa doktorska mgr inż. Arkadiusza Zakrzewskiego wraz z towarzyszącymi jej publikacjami prezentuje bardzo wysoki poziom merytoryczny, uzupełnia dotychczasowy stan wiedzy z zakresu mikrobiologii i technologii żywności i ma znaczną wartość aplikacyjną. Przygotowując rozprawę, Doktorant dowiódł, że potrafi umiejętnie planować eksperymenty i realizować badania z różnych obszarów nauki. Wysoko oceniam wielowątkowość pracy i mnogość wykonanych przez mgr inż. Arkadiusza Zakrzewskiego doświadczeń, co skutkowało rzetelnym rozwiązaniem badanego problemu. Podkreślam również ponadprzeciętną aktywność naukową Doktoranta, popartą udziałem w licznych stażach naukowych i współrealizowanie grantów, co zagwarantowało uzyskanie innowacyjnych

wyników charakteryzujących *L. monocytogenes* w ekosystemie żywności. Drobne komentarze/pytania zawarte w niniejszej recenzji nie stanowią zarzutów o charakterze merytorycznym, a mają jedynie zachęcić Doktoranta do dyskusji.

Wniosek końcowy

Stwierdzam, że praca doktorska mgr inż. Arkadiusza Zakrzewskiego pt. *Warunki stresowe podczas otrzymywania produktów gotowych do spożycia z ryb i krewetek a możliwość przeżycia oraz odpowiedź komórkowa bakterii z rodzaju Listeria sp.*, wykonana pod kierunkiem dr hab. inż. Anny Zadernowskiej, prof. UWM oraz dr inż. Wiolety Chajęckiej-Wierzchowskiej spełnia wymagania zapisane w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2023 r. poz. 742 ze zm). Rozprawa jest samodzielnym i bardzo wartościowym dorobkiem naukowym; wnosi do nauki wiele elementów poznawczych i ma znaczenie dla praktyki. W związku z powyższym przedkładam Wysokiej Radzie Naukowej Dyscypliny Technologia Żywności i Żywienia Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie wniosek o dopuszczenie mgr inż. Arkadiusza Zakrzewskiego do dalszych etapów postępowania doktorskiego. Jednocześnie, biorąc pod uwagę wysoki poziom naukowy publikacji będących podstawą rozprawy doktorskiej, wartość aplikacyjną i poznawczą materiału wynikowego, zwracam się do Wysokiej Rady o wyróżnienie rozprawy doktorskiej mgr inż. Arkadiusza Zakrzewskiego.

Kamila Rybka

Poznań, dnia 05. 06. 2024r.

dr hab. inż. Kamila Myszka, prof. UPP
Katedra Biotechnologii i Mikrobiologii Żywności
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu
ul. Wojska Polskiego 48
60-627 Poznań

WNIOSEK O WYRÓŻNIENIE

rozprawy doktorskiej mgr inż. Arkadiusza Zakrzewskiego
pt.: *Warunki stresowe podczas otrzymywania produktów gotowych do spożycia z ryb i krewetek a możliwość przeżycia oraz odpowiedź komórkowa bakterii z rodzaju Listeria sp.*
zrealizowanej w Katedrze Mikrobiologii Żywności, Technologii i Chemii Mięsa
Wydziału Nauki o Żywności Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Arkadiusza Zakrzewskiego weryfikuje przeżywalność i ocenia reakcje komórek na wybrane operacje jednostkowe stosowane w metodach obróbki kulinarnej sous-vide oraz ceviche. Doktorant przy wykorzystaniu różnorodnych technik badawczych podjął próbę wyjaśnienia czy ekosystem żywności może wywoływać presję selekcyjną i wpływać na wirulencję i antybiotykooporność *Listeria monocytogenes*. Zapewnienie jakości i bezpieczeństwa mikrobiologicznego produktów spożywczych jest zatem zależne od prac zorientowanych na wyjaśnianiu tych mechanizmów i określaniu ich efektywności, zwłaszcza w warunkach symulujących ekosystem żywności. Oceniana rozprawa prezentuje bardzo wysoki poziom naukowy i jest ważna dla praktyki przemysłowej i zdrowia publicznego. Podjęta tematyka doskonale wpisuje się w światowe trendy, a zrealizowane badania przez mgr inż. Arkadiusza Zakrzewskiego istotnie poszerzają wiedzę w zakresu mikrobiologii i technologii żywności. Cykl publikacji wraz z autoreferatem stanowi interesujące opracowanie, w którym Doktorant konsekwentnie zrealizował założone cele badawcze, otrzymując wyniki istotne z naukowego i praktycznego punktu widzenia.

Biorąc pod uwagę powyższe, z pełnym przekonaniem wnioskuję do Rady Naukowej Dyscypliny Technologia Żywności i Żywienia Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie o wyróżnienie rozprawy doktorskiej mgr inż. Arkadiusza Zakrzewskiego.

Kamila Myszka