



Dr hab. inż. Paweł Krystian Bereś, prof. IOR-PIB
Instytut Ochrony Roślin – Państwowy Instytut Badawczy
Terenowa Stacja Doświadczalna w Rzeszowie

Rzeszów, 15.09.2020

RECENZJA PRACY DOKTORSKIEJ

p.t.

**„Oddziaływanie krótkołańcuchowych kwasów organicznych i wybranych olejków
eterycznych na parametry rozwojowe i behavior strąkowca czteroplamego
(*Callosobruchus maculatus* (F.))”**

wykonanej przez

mgr Michała Krzyżowskiego

w Zespole Fizjologii i Etologii Owadów, Instytutu Biologii, Biotechnologii i Ochrony
Środowiska, Wydziału Nauk Przyrodniczych Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach pod
kierunkiem Pani dr hab. Agnieszki Babczyńskiej, prof. UŚ – promotor oraz Pana
dr Jacka Francikowskiego – promotor pomocniczy

Wybór tematyki badawczej

Od początku uprawy roślin przez człowieka na cele konsumpcyjne pojawiał się problem magazynowania plonów tak, aby jak najdłużej zachowywały one przydatność do konsumpcji. Jest to zatem zagadnienie niemal tak stare jak ludzkość i ciągle aktualne, tym bardziej w dzisiejszych czasach, gdy do wyżywienia są miliardy ludzi na świecie.

Niestety, obok czynników abiotycznych (głównie temperatury i wilgotności) wpływających na wysokość i jakość magazynowanych surowców roślinnych, bardzo duży wpływ miały i mają czynniki biotyczne, w tym szkodniki magazynowe, głównie z gromady owadów (Insecta). Jako organizmy roślinożerne (fitofagi) odżywiają się materią roślinną prowadząc często do poważnych strat. Ich szkodliwość jest złożona, gdyż obejmuje nie tylko bezpośrednie wyjadanie zgromadzonego plonu, ale wiele gatunków przechodzi pełen rozwój choćby w zgromadzonym ziarnie (nasionach), które staje się ich habitatem. W tych miejscach pozostają resztki nadjedzonego pokarmu, odchody i inne wydzieliny, które są doskonałą pożywką do rozwoju patogenów wywołujących choroby przechowalnicze. Często dochodzi w miarę czasu do wzrostu temperatury, wilgotności, ale również i zmian w składzie atmosfery w magazynie, co jeszcze bardziej pogarsza warunki przechowywania. Choroby przechowalnicze pojawiające się w miejscach żerowania szkodników magazynowych pogłębiają wysokość strat ilościowych i jakościowych (zmienia się choćby zawartość białka,

tłuszczu, cukrów), ale szczególnie niebezpieczna sytuacja występuje wówczas, gdy rozwiną się grzyby toksynotwórcze np. z rodzaju *Aspergillus*, *Penicillium*, czy też *Fusarium*, które mogą wydzielać mykotoksyny. Te groźne dla zdrowia, a nawet życia człowieka i zwierząt metabolity niektórych grzybów są na tyle niebezpieczne, że wprowadzono normy określające dopuszczalny poziom ich zawartości w surowcu, ale i produktach spożywczych z niego wytwarzanych w odniesieniu choćby do magazynowanych zbóż.

Wpływ szkodników magazynowych na wysokość i jakość przechowywanego surowca roślinnego to kluczowe zagadnienie do rozwiązania w kontekście zapewnienia bezpieczeństwa żywnościowego każdego kraju, zatem wybór tematyki badawczej uważam za słuszny, ważny i przyszłościowy.

Doktorant w swojej pracy skupił się na stosunkowo mało znanym zagadnieniu jakim jest wykorzystanie wpływu olejków eterycznych oraz lotnych kwasów tłuszczowych na szkodnika magazynowego jakim jest strąkowiec czteroplamy. Tutaj od razu nasuwa się pytanie, dlaczego akurat ten gatunek został wykorzystany do większości testów? Prosiłbym Doktoranta o wyjaśnienie tej kwestii.

Oczywiście strąkowiec czteroplamy może być traktowany jako obiekt modelowy w badaniach, niemniej owad ten w Polsce nie jest uważany za głównego szkodnika magazynowego, choć należy zaznaczyć, że w strefie klimatu ciepłego, w Ameryce, Azji, Afryce i Południowej Europie stanowi zagrożenie dla magazynowanego plonu. Jest on wymieniany jako szkodnik roślin motylkowych: grochu, fasoli, soi i ciecierzycy, jednak w krajowej literaturze związanej z magazynowaniem nasion tych roślin rzadko wskazywany jako mający znaczenie gospodarcze. W Polsce poważnym problemem z uwagi na skalę produkcji i duże ilości przechowywanego surowca są szkodniki magazynowe zbóż. Przykładem gatunków o znaczeniu ekonomicznym z rzędu chrząszczy (Coleoptera) są choćby wołek zbożowy, wołek ryżowy, kapturzik zbożowiec, trojszyk ulec i kilka innych. Ponieważ poszczególne gatunki szkodników magazynowych mogą w różnym stopniu wykazywać wrażliwość na stosowane substancje, stąd dobrym rozwiązaniem byłoby przeprowadzenie dwutorowych, pełnych badań nad takim gatunkiem, który ma największe znaczenie gospodarcze w Polsce pod kątem szkodliwości dla magazynowanych roślin, co byłoby ważne dla praktyki rolniczej. Częściowe badania nad wołkiem ryżowym i trojszykiem ulcem, Doktorant wykonał w ramach oceny mediów służących do rozcieńczania olejków eterycznych. Na taki dobór gatunków wskazywała analiza bibliograficzna z bazy Web of Science, niemniej dobrze byłoby również kierować się przy wyborze gatunku do badań jego realną szkodliwością w danym kraju, tak aby łatwiej było później wdrożyć uzyskane wyniki do praktyki. Biorąc jednak pod uwagę to, że strąkowiec czteroplamy jest modelowym gatunkiem w wykonanych badaniach, pomimo że nie ma on większego znaczenia gospodarczego w Polsce, to należy mieć tylko nadzieję, że jest on tylko wstępem do poszerzenia badań o gatunki szczególnie groźne dla magazynowanych plonów.

Pomijając wybór jednego gatunku szkodnika do testów, sam pomysł przeprowadzenia badań nad wykorzystaniem naturalnych substancji w postaci olejków eterycznych i lotnych kwasów tłuszczowych do ograniczania szkodliwości szkodników magazynowych jest przyszłościowym kierunkiem, choćby z racji ograniczania stosowania chemii w rolnictwie, ale



i ubywania z rynku substancji czynnych insektycydów, a który to proces będzie się nasilał w najbliższych latach. Takie badania są już prowadzone na świecie, niemniej w Polsce bibliografia z tego zakresu jest jeszcze uboga. Zagadnienie szkodników magazynowych to trudna dziedzina wiedzy, ale o znaczeniu strategicznym biorąc pod uwagę ilości magazynowanych surowców, w tym zajmuje się nią w Polsce niewielu specjalistów. Tematyka badań mgr Michała Krzyżowskiego jest nie tylko innowacyjna, wnosząca nowe informacje do nauki, ale i praktyki, ale również przyszłościowa.

Charakterystyka rozprawy doktorskiej

Przedkładana do oceny rozprawa obejmuje łącznie 56 stron, na których zamieszczono: Spis treści, Streszczenie, Summary, Wprowadzenie, Cele badawcze, Wyniki i dyskusję, cztery Rozdziały będące zasadniczą częścią rozprawy, na które składały się cztery publikacje tworzące osiągnięcie naukowe, a następnie Podsumowanie, Bibliografia (20 pozycji) oraz Oświadczenia Współautorów publikacji tworzących rozprawę doktorską, określające indywidualny udział każdego z nich w ich przygotowaniu. Przyjęty układ jest typowy dla tego typu przyrodniczych prac naukowych. Brakuje mi jednak w strukturze opisowej pracy rozdziału „Materiały i metody”, co w kontekście badań skринingowych 13 olejków eterycznych i wybraniu tego najefektywniejszego (rozmarynu lekarskiego) byłoby zasadne, tym bardziej, że Doktorant powołuje się tu na dane literaturowe, które nie zostały w tym miejscu zacytowane.

Ocena formalna rozprawy

Jako rozprawę doktorską mgr Michał Krzyżowski przedkłada cykl pełnych tekstów czterech powiązanych ze sobą tematycznie prac naukowych, które tworzą Rozdziały I-IV. Na szczególne podkreślenie zasługuje to, że każda z tych publikacji posiada współczynnik wpływu Impact Factor i znajduje się w bazie Journal Citation Reports (JCR). Prace tworzące osiągnięcie naukowe są aktualne, opublikowane w latach 2019-2020.

Dwie publikacje zostały zamieszczone na łamach *Journal of Stored Products Research*, posiadającym współczynnik wpływu IF=1,954 oraz liczbę punktów MNiSW równą 100 (tworzą rozdziały II i IV). Kolejna praca została zamieszczona w prestiżowym czasopiśmie *Journal of Pest Science*, o współczynniku wpływu IF=5,160 oraz liczbie punktów MNiSW równej 200 (tworzy rozdział III), natomiast ostatnia publikacja jest dostępna na łamach czasopisma *Insects*, które posiada współczynnik IF=2,139 oraz liczbę 100 punktów na liście MNiSW (tworzy rozdział I). Wszystkie wskazane prace są współautorskie, niemniej Doktorant w każdej z nich jest pierwszym autorem, w tym autorem korespondencyjnym, co należy szczególnie podkreślić, gdyż świadczy to o dojrzałości naukowej kandydata do stopnia doktora.

Poniżej wykaz publikacji tworzących osiągnięcie naukowe wg. chronologii zamieszczenia ich w ocenianej rozprawie.

Krzyżowski M., Baran B., Łozowski B., Francikowski J. 2020. The effect of *Rosmarinus officinalis* essential oil fumigation on biochemical, behavioral, and physiological parameters of *Callosobruchus maculatus*. **Insects** 11, 344. (tworzy Rozdział I)

Krzyżowski M., Francikowski J., Baran B., Babczyńska A. 2020. The short-chain fatty acids as potential protective agents against *Callosobruchus maculatus* infestation. **Journal of Stored Products Research** 86: 1-6. (tworzy Rozdział II)

Krzyżowski M., Baran B., Łozowski B., Francikowski J. 2020. The role of dilution mediums in studies of fumigant insecticidal activity of essential oils. **Journal of Pest Science**, 2020. (tworzy Rozdział III)

Krzyżowski M., Francikowski J., Baran B., Babczyńska A. 2019. Physiological and behavioral effects of different concentrations of diatomaceous earth on common stored product pest *Callosobruchus maculatus*. **Journal of Stored Products Research** 82: 110-115. (tworzy Rozdział IV)

Wyliczona przez Doktoranta suma punktów wg MNiSW za wyżej wymienione publikacje wynosi **500 pkt.**, a współczynnik wpływu **IF= 11,207**. Dorobek punktacyjny oraz wysoki współczynnik wpływu świadczą o bardzo dobrym warsztacie naukowym mgr Michała Krzyżowskiego.

W przedstawionym do oceny cyklu publikacji, które składają się na rozprawę doktorską daje się zauważyć staranne przygotowanie wszystkich artykułów. Po części wynika to także z rygorystycznych wytycznych co do przygotowania materiałów do druku w wyżej wymienionych czasopismach, ale głównie z tego, że prace jakie są w nich prezentowane muszą być wysokiej jakości, co weryfikuje grono recenzentów. Analizując każdą z publikacji tworzących osiągnięcie naukowe, czytelnik w sposób zwięzły i merytoryczny jest wprowadzany w omawiany temat, co świadczy o znajomości przedmiotu badań. Potwierdzeniem tego jest również późniejsza dyskusja wyników, która obejmuje konfrontację zaobserwowanych zjawisk z literaturą światową, głównie zagraniczną. Widać w tym przypadku bardzo duże obycie Doktoranta w poruszaniu się w bibliografii naukowej, w tym umiejętność jej wyszukiwania, interpretowania i zestawiania z wynikami jakie sam uzyskał. O warsztacie naukowym Doktoranta świadczy również rozdział „Materiały i Metody” w każdej z ocenianych prac. Zastosowane w badaniach techniki diagnostyczne zostały bardzo dobrze dobrane i opisane pod kątem przydatności do weryfikacji hipotez badawczych. Wyniki badań zostały opisane w sposób klarowny, zwięzły, zarówno opisowo, jak i graficznie. W każdej z czterech prac tworzących rozprawę doktorską daje się zauważyć rozbudowana analiza statystyczna, która została dobrze dobrana pod kątem opisywanych zjawisk. Publikacje zacytowane w poszczególnych pracach (w łącznej liczbie 95 pozycji) zostały prawidłowo dobrane, a wyniki właściwie przedyskutowane.

Wkład mgr Michała Krzyżowskiego w przygotowanie publikacji składających się na rozprawę doktorską został określony w Oświadczeniach Współautorów jakie na końcu manuskryptu zostały zawarte. Wynika z nich, że poszczególni Współautorzy zadeklarowali w każdej z prac 10% udział. To wskazuje na to, że we wszystkich czterech publikacjach udział Doktoranta kształtuje się na poziomie **70%**. Pomimo braku oddzielnego oświadczenia o wkładzie Doktoranta w przygotowanie poszczególnych publikacji, analizując ich treść można znaleźć zapisy wskazujące dokładnie za co odpowiadał mgr Krzyżowski. W pracach stanowiących Rozdziały I, III i IV znajdują się zapisy informujące m.in. o tym, że Doktorant opracował koncepcję doświadczenia, wykonał badania, czy też przygotował manuskrypt. Takiej szczegółowej informacji nie ma tylko w przypadku publikacji stanowiącej Rozdział II.

Ocena merytoryczna rozprawy doktorskiej

Pan mgr Michał Krzyżowski jako cel podjętych przez siebie badań obrał próbę oceny insektycydalnego wpływu wybranych olejków eterycznych i lotnych kwasów tłuszczowych pochodzenia naturalnego na populację strąkowca czteroplamego (*Callosobruchus maculatus*), który w badaniach był gatunkiem modelowym.

Doktorant w swojej rozprawie założył następujące cele badawcze:

1. wytypowanie ekstraktu roślinnego mającego największy potencjał owadobójczy względem strąkowca czteroplamego,
2. ocenę wpływu wytypowanego ekstraktu na wybrane parametry fizjologiczne, biochemiczne i behawioralne szkodnika,
3. ocenę wpływu lotnych kwasów tłuszczowych na parametry fizjologiczne i behawioralne strąkowca,
4. ocenę mediów dyspersyjnych na potencjał insektycydalny olejków eterycznych oraz
5. selekcję potencjalnego nośnika badanych substancji oraz jego wpływu na parametry fizjologiczne i behawioralne badanego gatunku.

Autor w treściwy sposób (strony 8-10) wprowadza czytelnika w tematykę swoich zainteresowań badawczych wskazując na zagrożenie jakie stanowią fitofagi dla magazynowanych surowców roślinnych, zwłaszcza w kontekście bezpieczeństwa żywnościowego na co zwracano uwagę już w 1996 roku podczas Światowego Szczytu Żywnościowego. Słusznie Doktorant wskazał, że obecnie najpowszechniejszym sposobem radzenia sobie z obecnością organizmów niszczących plony w magazynach jest stosowanie syntetycznych insektycydów przez uprawnione do tego celu firmy, ale także na rosnący problem powstawania odporności na niektóre substancje czynne, choćby fosforowodór. Problem rosnącej odporności agrofagów na substancje czynne to odrębne, bardzo szerokie zagadnienie, z którym nauka będzie się musiała zmierzyć w najbliższym czasie. Metody fizyczne do ograniczania szkodników magazynowych są używane na mniejszą skalę, gdyż często wymagają drogiej aparatury. Wykorzystanie naturalnych substancji o insektycydalnym

lub repelentnym działaniu w postaci olejków eterycznych, czy też lotnych kwasów tłuszczowych może zatem stanowić alternatywę dla obecnie stosowanych metod. Doktorant podjął się analizy tego zagadnienia, które nie jest zadaniem łatwym.

W rozprawie Doktorant wskazuje, że początkowym etapem Jego badań było wytypowanie odpowiedniego olejku eterycznego, który miałby na podstawie już poznanej wiedzy literaturowej, największe szanse użycia w eksperymencie. Wspomina na stronie 12 rozprawy, o badaniach skringowych 13 olejków eterycznych wytypowanych na podstawie literatury na śmiertelność imago strąkowca czteroplamego. Te badania w przedkładanej pracy nie zostały dokładnie opisane, w tym brakuje zacytowania tychże publikacji. Rysunek 1 (strona 12) wskazuje na 100% śmiertelność szkodnika po 24 godzinach fumigacji przy stosowaniu olejku eterycznego z rozmarynu lekarskiego i to właśnie ten olejek został wytypowany do późniejszych badań jako najskuteczniejszy. Brakuje mi w tym miejscu metodyki przeprowadzonego doświadczenia, tym bardziej, że rysunek 1 z tej samej strony wskazuje również na zróżnicowaną skuteczność innych olejków, więc omówienie tych wyników byłoby zasadne. Biorąc pod uwagę badania nad skutecznością zwalczania szkodników wykonywaną dla celów choćby rejestracji różnych preparatów chemicznych czy też biopreparatów, uważa się, że poziom śmiertelności gatunku w granicach 80% jest dobry i uzasadniający jego przydatność dla praktyki, stąd też co ostatecznie zdecydowało o odrzuceniu olejku cynamonowego i olejku z palczatki cytrynowej (miały skuteczność nieco ponad 80% patrząc na rysunek 1) z dalszych eksperymentów? Czy tylko chodziło o skuteczność, czy też były i inne czynniki?

Sam wybór olejku rozmarynowego do dalszych badań okazał się słuszny, gdyż w kolejnych badaniach Doktorant uzyskał dobre rezultaty zwalczania strąkowca czteroplamego z jego wykorzystaniem w zależności od stężenia (śmiertelność wzrastała wraz ze stężeniem – najwyższa przy LC_{50}). Oceniał wpływ olejku na parametry biochemiczne (acetylocholinesteraza, katalaza i S-transferaza glutationowa – nastąpił wzrost ich aktywności, w tym obserwowano np. zaburzenia lokomocji), fizjologiczne (zużycie tlenu – obserwowano przy dawce LC_{50}) i behawioralne (m.in. repelencja – stężenia LC_{25} i LC_{50} wykazały istotny acz niski efekt repelentny) strąkowca czteroplamego. Wyniki te wskazują na przydatność olejku eterycznego z rozmarynu lekarskiego do praktycznego zastosowania jako czynnika ograniczającego w tym przypadku strąkowca. Choć badania niektórych autorów wskazują na brak wpływu olejków eterycznych rozmarynu na zdolność kiełkowania nasion/ziarna chronionych z ich wykorzystaniem, to czy Doktorant wykonał również taką ocenę w stosunku do ocenianych przez siebie stężeń? Czy były wykonywane testy zdolności i energii kiełkowania nasion poddanych działaniom badanych stężeń olejku rozmarynowego?

Ważną częścią wykonanych badań była ocena wpływu lotnych kwasów tłuszczowych na strąkowca czteroplamego. Doktorant wykorzystał w doświadczeniu nierozcieńczony kwas mrówkowy, octowy, propionowy, masłowy i walerianowy w czterech stężeniach (1, 2, 4 i 8 $\mu\text{m}/50$ ml powietrza). W wykonanych testach wszystkie kwasy w wyższych stężeniach wpłynęły na wzrost śmiertelności gatunku, jednak najlepsze okazały się kwasy propionowy i walerianowy, które przy dawce 4 i 8 $\mu\text{m}/50$ ml spowodowały 100% śmiertelność szkodnika



po 24 godzinach od fumigacji. Oba kwasy wpłynęły również na zahamowanie aktywności lokomotorycznej, co wpłynęło również na procesy owipozycji w postaci spadku uszkodzonych nasion. Z wyjątkiem kwasu masłowego, wszystkie badane kwasy wykazywały działanie repelentne. Zaobserwowano również, że kwas mrówkowy nie wpływał na istotny wzrost zużycia tlenu przez owady. Z wykonanego doświadczenia wynika również, że to kwas propionowy jest tym, który ma największy wpływ na parametry fizjologiczne i behawioralne strąkowca. W tym miejscu chciałbym zadać dokładnie to samo pytanie co w przypadku olejku z rozmarynu – czy oceniano zdolność i energię kiełkowania nasion poddanych działaniu badanych kwasów? Jakie jest prawdopodobieństwo, że mogą mieć działanie fitotoksyczne?

Doktorant w swoich badaniach dokonał również wyznaczenia LC_{50} dla kwasu propionowego celem dokonania porównania działania owadobójczego z olejkami rozmarynu.

Kluczowym badaniem było sprawdzenie czy zastosowany rozpuszczalnik może wpływać na obserwowane działanie owadobójcze olejku eterycznego. Doktorant w tym doświadczeniu wykorzystał trzy gatunki szkodników magazynowych. Obok strąkowca czteropłamego był to wołek ryżowy i trojszyk ulec. Solwentami były: DMSO, aceton, metanol, etanol, olej parafinowy oraz Tween®20, natomiast olejki eteryczne w nich rozpuszczane to olejek rozmarynowy i olejek miętowy. Olejki były testowane w trzech stężeniach. Na podstawie tego doświadczenia Doktorant wykazał wysoką zmienność toksyczności badanych olejków w zależności od gatunku szkodnika jak i zastosowanego solwentu. Z tego doświadczenia wynika choćby, że nie ma uniwersalnego solwentu.

Niezwykle ciekawym doświadczeniem było wykorzystanie ziemi okrzemkowej (diatomitu) pod kątem przydatności do ograniczania populacji strąkowca czteropłamego. Zwiększenie stężenia diatomitu spowodowało znaczne zahamowanie zarówno zużycia tlenu, jak i aktywności lokomotorycznej chrząszczy. Owady strąkowca charakteryzowały się mniejszą owipozycją, co wynikało ze spadku aktywności ruchowej, a to w konsekwencji spowodowało spadek uszkodzeń nasion. Wykonane analizy z użyciem skaningowej mikroskopii elektronowej wykazały, że cząsteczki diatomitu gromadziły się w okolicach sensyliów, co mogło działać potencjalnie na nie drażniąco, stąd zaobserwowane efekty. Ziemia okrzemkowa może więc mieć duże znaczenie jako nośnik olejków eterycznych lub lotnych kwasów tłuszczowych.

Wyniki z kompleksowych badań wykonanych przez Doktoranta pozwoliły mu stwierdzić, że olejek eteryczny pozyskany z rozmarynu lekarskiego ma wysoki potencjał owadobójczy względem strąkowca czteropłamego. Kwas propionowy ma bardzo silny efekt repelentny, a dobór odpowiedniego solwentu ma kluczowe znaczenie dla skuteczności działania olejków eterycznych względem określonych gatunków owadów. Z przeprowadzonego doświadczenia wynika również potencjalnie wysoka przydatność ziemi okrzemkowej w ochronie magazynowanego plonu przeciwko szkodnikom np. jako jej nośnika dla związków pochodzenia naturalnego.

Wniosek końcowy

Praca doktorska mgr Michała Krzyżowskiego pt. „**Oddziaływanie krótkołańcuchowych kwasów organicznych i wybranych olejków eterycznych na parametry rozwojowe i behavior strąkowca czteroplamego (*Callosobruchus maculatus* (F.))**” stanowi oryginalne rozwiązanie postawionego problemu badawczego. Doktorant udowodnił umiejętność samodzielnej pracy naukowej i publikowania jej wyników w specjalistycznych czasopismach. Wykazał się dużym zaangażowaniem w opracowanie koncepcji, metodologii, a później opracowania wyników i interpretacji pozyskanych danych, w tym biegle się porusza w bibliografii tematu. Jak wynika również z przedkładanej rozprawy, Doktorant wraz ze współautorami uczestniczącymi w badaniach zaobserwowali synergistyczne działanie ziemi okrzemkowej i olejku rozmarynowego. Wyniki z tych badań są obecnie na etapie postępowania patentowego, co równocześnie pokazuje na wysoką jakość badań, które wykonał i ich znaczenie.

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska spełnia warunki wymagane Ustawą z dnia 14.03.2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. Nr 65, poz. 595), z późniejszymi zmianami z dnia 18.03.2011 roku (Dz. U. Nr 84, poz. 455), w związku z art. 179 ust.1 Ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. (Dz. U. poz. 1669) i wnioskuję o jej dopuszczenie do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Biorąc pod uwagę wysoką jakość wykonanych badań, ich pionierski charakter, w tym potencjalną możliwość praktycznego zastosowania, składam wniosek o wyróżnienie rozprawy doktorskiej mgr Michała Krzyżowskiego.

Dr hab. inż. Paweł Krystian Bereś, prof. IOR-PIB

