



dr hab. inż. Łukasz Kłapiszewski, prof. PP

WYDZIAŁ TECHNOLOGII CHEMICZNEJ

ul. Berdychowo 4, 60-965 Poznań, tel.: +48 61 665 37 48

e-mail: lukasz.klapiszewski@put.poznan.pl, www.put.poznan.pl

Poznań, 7.10.2024 r.

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgra Vadyma CHIBRIKOVA

zatytułowanej

*Modeling of mechanical properties of hemicellulose-cellulose networks
in plant cell wall analogues*

Podstawa: Uchwała nr 159/P14/2024 Rady Naukowej Instytutu Agrofizyki im. B. Dobrzańskiego Polskiej Akademii Nauk z dnia 23 września 2024 r. oraz stosowne pismo nr RN-431-2/24 Pana Dyrektora Instytutu Agrofizyki im. B. Dobrzańskiego PAN prof. dra hab. Cezarego Sławińskiego, czł. koresp. PAN.

Podstawa prawna: zgodność z elementami uwzględnionymi w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r., poz. 478 z późn. zm.).

Cel i zakres pracy

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska Pana mgra Vadyma Chibrikova została zrealizowana w Instytucie Agrofizyki im. B. Dobrzańskiego Polskiej Akademii Nauk w Lublinie. Publikacje naukowe, stanowiące podstawę recenzowanej dysertacji, powstały częściowo w wyniku realizacji projektu badawczego finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki nt. *Modeling of mechanical properties of hemicellulose-cellulose networks in plant cell wall analogues* (2019/35/D/NZ9/00555).

Pracę wykonano pod kierunkiem Pana prof. dra hab. Artura Zdunka, czł. koresp. PAN, uznanego autorytetu w zakresie biomechaniki roślin, modelowania komputerowego, budowy ścian komórkowych, struktury i funkcjonalności polisacharydów oraz aspektów pokrewnych. Współpraca naukowa z tak utytułowanym naukowcem, jak Pan promotor, profesor Artur Zdunek z pewnością przyczyniła się do rozwinięcia w Doktorancie pasji naukowej, która bez cienia wątpliwości będzie dalej procentować w przyszłości.

Celem badań, przeprowadzonych przez Doktoranta, było stworzenie strukturalnego modelu zespołu celuloza-hemiceluloza, odpowiadającego ścianie komórkowej roślin i zdolnego do opisu mechanobiologii ściany komórkowej roślin od pojedynczego włókna do całej sieci włókien. Szczegółowe cele zrealizowanych badań dotyczyły scharakteryzowania wpływu ksylanu, arabinoksyланu, ksyloglukanu oraz glukomannanu na strukturalne, molekularne i mechaniczne właściwości analogów bakteryjnych celuloza-hemiceluloza ściany komórkowej roślin zarówno w skali nano-, jak i makro-, w odniesieniu do zawartości hemicelulozy. Ważnym elementem prowadzonych prac było opracowanie modelu numerycznego opartego na uogólnionej dynamice molekularnej, który ocenia właściwości mechaniczne analogów bakteryjnych celuloza-hemiceluloza ściany komórkowej roślin. Finalny etap dotyczył weryfikacji właściwości mechanicznych modelu numerycznego na podstawie wyników właściwości mechanicznych w skali nano- i makro-, zależnie od konkretnego typu hemicelulozy oraz jej zawartości w badanych analogach ściany komórkowej roślin.

Tematyka pracy doktorskiej zaproponowana przez Pana mgra Vadyma Chibrikova jest bardzo interesująca i istotna z naukowego punktu widzenia. Wszystkie zaproponowane, a następnie zrealizowane badania są aktualne i ściśle ze sobą powiązane. Wniosek ten wysuwam na podstawie własnych obserwacji obecnych trendów naukowych w obrębie uprawianej przez Doktoranta tematyki, potwierdzonych informacjami prezentowanymi w ogólnodostępnych bazach naukowych.

Ocena układu rozprawy

Oceniana rozprawa doktorska, zrealizowana w obrębie dziedziny nauk rolniczych, w dyscyplinie rolnictwo i ogrodnictwo, została złożona w formie zbioru opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych P1–P4 opublikowanych w latach 2023–2024. Dysertacja została przedstawiona na 201 stronach maszynopisu w języku angielskim, które dopełniają kopie 4 oryginalnych publikacji (w języku angielskim), stanowiących osiągnięcie naukowe. Opublikowane dotychczas wyniki zostały uzupełnione o badania do tej pory nieopublikowane, prezentujące wpływ enzymów specyficznych dla hemicelulozy na strukturę i wydajność mechaniczną analogów celulozy bakteryjnej i hemicelulozy roślinnej. Ten dodatkowy materiał został przesłany 9 maja 2024 r. do czasopisma *Scientific Reports* i jest przedstawiony w recenzowanej rozprawie jako badanie uzupełniające P5.

Pełen tytuł osiągnięcia naukowego zdefiniowanego przez Pana mgra Vadyma Chibrikova brzmi: *Modeling of mechanical properties of hemicellulose-cellulose networks in plant cell wall analogues*. Został on sformułowany poprawnie i w pełni odnosi się do prezentowanych w rozprawie wyników badań i całego zawartego w niej materiału naukowego.

Rozprawę doktorską otwiera *Streszczenie* (w języku polskim; str. 5–6) oraz *Abstract* (str. 7–8), po którym Autor zamieścił *Spis treści* (*Content*; str. 9–11), a także *Wykaz symboli* (*List of symbols*; str. 12). Kolejno, Pan mgr Vadym Chibrikov uwzględnił następujące rozdziały: (i) wykaz publikacji

składających się na rozprawę doktorską (*The list of publications forming Ph.D. Thesis*) – str. 13, (ii) wprowadzenie (*Introduction*) – str. 14–27 oraz (iii) hipotezy badawcze i cele badań (*Research hypotheses and the aims of study*) – str. 28. W części wprowadzającej rozprawy Doktorant uwzględnił istotne zagadnienia z punktu widzenia realizowanej tematyki badawczej, w tym: badania ściany komórkowej roślin pod kątem jej struktury i składu, koncepcje oddziaływań celuloza–hemiceluloza, badania oddziaływań celuloza bakteryjna–hemiceluloza w analogach ścian komórkowych roślin, właściwości mechaniczne celulozy bakteryjnej–hemicelulozy w analogach ścian komórkowych roślin, modelowanie atomistyczne łańcuchów celulozy i hemicelulozy oraz ich oddziaływań, modelowanie atomistyczne mechaniki łańcuchów celulozy i hemicelulozy, a także modelowanie struktur ścian komórkowych roślin.

W dalszej części rozprawy doktorskiej Pan Vadym Chibrikov zaprezentował wyniki uzyskane w trakcie prowadzonych badań, a stanowiące treść publikacji wchodzących w skład cyklu doktorskiego (*Results*; str. 29–39), które podzielił na cztery osobne podrozdziały 3.2.–3.5. Dopełnieniem części wynikowej jest materiał uzupełniający P5 dotyczący wpływu enzymów specyficznych dla hemicelulozy na strukturę i właściwości mechaniczne hydrożeli celulozowo-hemicelulozowych (str. 39–52).

W końcowej części rozprawy Doktorant uwzględnił: (i) podsumowanie (*Summary*) – str. 53, (ii) zbiór publikacji stanowiących podstawę dysertacji doktorskiej P1–P4 (*Content of manuscripts*; str. 54–135) wraz z dodatkową pracą P5 (*Supplementary research P5*; str. 136–165) oraz (iii) wykaz literatury (*References*) – str. 166–178. Pracę dopinają: oświadczenia współautorów (*Authors declaration*, str. 179–196) – łącznie oświadczenia dla 4 współautorów, a także życiorys i dorobek naukowy Autora (*Academic Resume*, str. 197–201).

Podsumowując część dotyczącą oceny układu rozprawy, stwierdzam, że przedstawione przez Pana mgra Vadyma Chibrikova elementy pracy są poprawnie ułożone i oznaczone, umożliwiając czytelnikowi właściwą orientację oraz przebrnięcie przez bardzo wartościowy materiał badawczy w niej zawarty. Chciałbym w tym miejscu wyraźnie podkreślić, że recenzowana dysertacja zasługuje na słowa najwyższej pochwały, jest ona bardzo estetycznie zredagowana, a każdy nawet najmniejszy element szczegółowo dopracowany.

Ocena merytoryczna rozprawy

Pomimo znaczącego w ostatnich latach postępu w badaniach ściany komórkowej, wciąż pozostaje wiele pytań dotyczących właściwości fizykochemicznych polisacharydów ścian komórkowych roślin i ich właściwości mechanicznych. To właśnie kluczowe zagadnienia w obrębie wskazanego obszaru, stanowią domenę recenzowanej dysertacji doktorskiej Pana mgra Vadyma Chibrikova. Świadczy

to zatem niepodważalnie o aktualności problemu badawczego, jak i umiejętności doboru tematyki badawczej w aspekcie rozwoju badań podstawowych.

Rozprawa doktorska Pana Vadyma Chibrikova została przedłożona jako opracowanie zawierające cztery artykuły naukowe (P1–P4) opublikowane w latach 2023-2024 w czasopismach znajdujących się w bazie *Journal Citation Reports* (JCR), tj.: (i) *Polymer Reviews* (IF₂₀₂₂ = 13,1; MNiSW = 140) – 1 praca, (ii) *Biological Reviews* (IF₂₀₂₂ = 10,0; MNiSW = 200) – 1 praca, (iii) *Industrial Crops and Products* (IF₂₀₂₂ = 5,9; MNiSW = 200) – 1 praca oraz (iv) *Carbohydrate Polymers* (IF₂₀₂₂ = 11,2; MNiSW = 140) – 1 praca. Podsumowując dane dotyczące cyklu publikacji to sumaryczna wartość wskaźnika IF₂₀₂₂ prac wynosi 40,2; co daje średnią IF na publikację równą 10,05. Z kolei, sumaryczna liczba punktów przypisanych czasopism przez MNiSW jest równa 680, co w przeliczeniu na jedną publikację wynosi 170. Wskazane wartości współczynników są na poziomie bardzo dobrym.

Analizując udział Doktoranta w tworzeniu artykułów naukowych wchodzących w cykl postępowania doktorskiego można wnioskować, że w każdym przypadku brał on udział w formułowaniu celów i zadań badawczych, realizował metodologię badań oraz czynnie i z dużym zaangażowaniem uczestniczył w opracowaniu, a także przygotowaniu finalnej wersji prac. Według mojej oceny udział Pana mgra Vadyma Chibrikova w każdej z wymienionych prac wchodzących w skład osiągnięcia jest dominujący i nie budzi moich najmniejszych wątpliwości. W trzech z czterech prac uwzględnionych w cyklu Doktorant jest pierwszym autorem, co świadczy niepodważalnie o Jego dużym zaangażowaniu w powstanie tychże artykułów. Wszystkie prace są pracami wieloautorskimi, mają od 3 do 4 autorów. W przypadku tego typu prac, szczególnie z pogranicza dziedzin, jest to oczywiście typowe. Zapewne nie byłoby tak ciekawych prac, gdyby nie bardzo doświadczone grono naukowców, z którymi Autor miał możliwość współpracować, na czele z promotorem dysertacji doktorskiej, doskonałym specjalistą w obrębie realizowanej tematyki – Panem prof. dr. hab. Arturem Zdunkiem, czł. koresp. PAN.

Praca doktorska Pana mgra Vadyma Chibrikova, jak wskazywałem w początkowej fazie swojej recenzji, dotyczy stworzenia strukturalnego modelu zespołu celuloza-hemiceluloza, odpowiadającego ścianie komórkowej roślin i zdolnego do opisu mechanobiologii ściany komórkowej roślin od pojedynczego włókna do całej sieci włókien.

Doktorant w ramach realizacji założeń postawionych w rozprawie dokonał w początkowej fazie przeglądu wiedzy dotyczącej właściwości mechanicznych celulozy bakteryjnej, hemiceluloz (ksylanu, arabinoksylanu, ksyloglukanu i glukomananu), dwuskładnikowych (celuloza bakteryjna-hemicelulozy) i trójskładnikowych (celuloza bakteryjna-hemicelulozy-pektyn) analogów ściany komórkowej roślin oraz przedyskutował je z uwzględnieniem określonych polisacharydów, ich pochodzenia, metod produkcji, stosowanej obróbki oraz różnych podejść metodologicznych do syntezy celulozy bakteryjnej.

W dalszej części dysertacji Autor skupił się na analizie podstaw teoretycznych istniejących modeli numerycznych ściany komórkowej roślin w odniesieniu do struktury sieci włókien, jej właściwości supramolekularnych i powinowactwa wiązania polisacharydów. W tym celu Doktorant przeprowadził przegląd istniejących koncepcji struktury ściany komórkowej roślin, co pozwoliło na włączenie pewnych fizycznych i biomechanicznych aspektów architektury ściany komórkowej roślin do zrozumienia mechanizmów, które pozwalają kontrolować mechaniczne odpowiedzi ściany komórkowej roślin.

W kolejnym etapie pracy Pan mgr Vadym Chibrikov zbadał właściwości mechaniczne i molekularne celulozowo-hemicelulozowych analogów ściany komórkowej roślin w celu określenia wpływu właściwości fizykochemicznych różnych hemiceluloz (ksylan, arabinoksylian, ksyloglukan i glukomannan) na ogólną wydajność mechaniczną celulozowo-hemicelulozowych analogów ściany komórkowej roślin pod względem deformacji sprężystej i plastycznej. Na podstawie przeprowadzonych badań Doktorant wnioskował, że właściwości mechaniczne celulozowo-hemicelulozowych analogów ściany komórkowej roślin determinowane są głównie przez odkształcenie włókien celulozy, włączeniu których pośredniczą hemicelulozy. Podczas gdy odkształcenie sprężyste celulozowo-hemicelulozowych analogów ściany komórkowej roślin jest uwarunkowane drganiami rozciągającymi wiązań strukturalnych celulozy i hemicelulozy, odkształcenie plastyczne jest związane ze zmianami na poziomie supramolekularnym zachodzącym w strukturze celulozowo-hemicelulozowych analogów ściany komórkowej roślin.

Istotnym elementem zaplanowanych badań było opracowanie modelu numerycznego celulozowo-hemicelulozowych analogów ścian komórkowych roślin. Pan mgr Vadym Chibrikov opracował model numeryczny z użyciem metody gruboziarnistej dynamiki molekularnej, gdzie włókna polisacharydów modelowano przy użyciu kulek i sprężyn. Aby zweryfikować model i wyjaśnić strukturalną i mechaniczną rolę hemiceluloz, celulozę bakteryjną Autor syntetyzował w obecności różnych stężeń ksylanu, arabinoksylanu, ksyloglukanu lub glukomannanu i poddawał analizom strukturalnym i mechanicznym w nano i makroskali. Uzyskane dane wykorzystał następnie do interpretacji wpływu każdego rodzaju hemicelulozy na właściwości mechaniczne celulozowo-hemicelulozowych analogów ściany komórkowej roślin w oparciu o czułość modelu. Uzyskano zgodność strukturalną pomiędzy modelem, a zsyntetyzowanymi analogami ściany komórkowej roślin. Ponadto, zaobserwowano, że właściwości mechaniczne celulozowo-hemicelulozowych analogów ściany komórkowej roślin nie są determinowane przez odkształcenie samej hemicelulozy, ale głównie przez odkształcenie włókien celulozowych, w których pośredniczą hemicelulozy. Takie mediatory, koncepcyjnie podobne do biomechanicznych hotspotów występujących *in muro*, zmieniają siłę oddziaływania między włóknami, będąc głównym czynnikiem wpływającym na właściwości mechaniczne celulozowo-hemicelulozowych analogów ściany komórkowej roślin. Doktorant udowodnił ponadto, że na siłę

oddziaływania między włóknami wpływ mają także cechy morfologiczne celulozowo-hemicelulozowych analogów ściany komórkowej roślin, takie jak szerokość/długość/moduł włókna. Wykazał również, że uzyskane eksperymentalnie właściwości mechaniczne celulozowo-hemicelulozowych analogów ściany komórkowej roślinnej odpowiadają właściwościom symulowanych sieci, co potwierdza przydatność opracowanych modeli do badania mechanobiologii sieci włókien celulozowych.

W ramach badań uzupełniających, oznaczonych jako P5, Doktorant przeprowadził badania wpływu specyficznych enzymów degradujących hemicelulozy na strukturę i właściwości mechaniczne celulozowo-hemicelulozowych analogów ściany komórkowej roślin. Na podstawie uzyskanych wyników badań wykazano, że hemicelulozy zawarte w sieci włókien celulozy bakteryjnej istnieją jako dostępne i niedostępne dla enzymów. W konsekwencji oceniono, że hemicelulozy niedostępne dla enzymów są kluczowe dla trendów zmiany właściwości mechanicznych analogów, podczas gdy hemicelulozy dostępne dla enzymów powodują fluktuację danych.

Podsumowując cykl prac naukowych włączonych do postępowania o nadanie stopnia naukowego doktora przez Pana mgra Vadyma Chibrikova, a także zawarte w pracy niepublikowane materiały uzupełniające stwierdzam, że cele/koncepcje są właściwie opracowane, a zrealizowane przez Doktoranta badania w pełni potwierdzają, że zostały one osiągnięte. Na podkreślenie zasługuje ponadto niezwykle starannie przygotowana szata graficzna oraz opracowanie całej dysertacji, która zawiera bardzo niewielką ilość błędów edytorskich i stylistycznych. Nie umniejszają one wartości merytorycznej prezentowanych rezultatów i w związku z powyższym nie będę ich przytaczał w przedmiotowej recenzji.

Pozwolę sobie w tym miejscu wskazać jedynie trzy drobne pytania, które wynikają z mojej ciekawości:

- co stanowiło dla Pana inspirację do rozwoju takiej właśnie tematyki badawczej?
- czy może Pan wskazać konkretne obszary działań w obrębie uprawianej tematyki badawczej, które można by rozwijać w dalszych pracach naukowych w pierwszej kolejności i dlaczego?
- czy uzyskane w ramach pracy doktorskiej bardzo interesujące dane i wyciągnięte na ich podstawie wnioski można wykorzystać w praktyce? A jeśli tak to gdzie?

Wypunktowane pytania są symboliczne i nie umniejszają mojej bardzo pozytywnej oceny recenzowanej rozprawy. Jest ona przygotowana na poziomie wyróżniającym.

Ocena całego dorobku naukowego

Na koniec, chciałbym pokrótce podsumować dotychczasową aktywność naukową Pana mgra Vadyma Chibrikova.

Doktorant swoją aktywność naukową podzielił na tę związaną bezpośrednio z tematyką doktoratu oraz pozostałą/inną. Tak więc jeśli chodzi o działalność powiązaną z tematyką dysertacji doktorskiej to Pan mgr Vadym Chibrikov posiada w swoim dorobku 4 publikacje naukowe (stanowiące podstawę rozprawy doktorskiej), a ponadto 10 prezentacji ustnych wygłoszonych na międzynarodowych (4) i krajowych (6) konferencjach naukowych. Dodatkowo, Doktorant zaprezentował 2 postery na konferencjach międzynarodowych.

Z kolei jeśli chodzi o pozostałą aktywność naukową nie związaną bezpośrednio z rozprawą doktorską to Pan mgr Vadym Chibrikov może pochwalić się dodatkowymi 3 publikacjami, w których jest współautorem (*Journal of Water and Land Development*, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* oraz *Scientia Horticulturae*), 1 prezentacją ustną oraz 1 posterem – obie aktywności w ramach konferencji międzynarodowych.

Dodatkowo, Doktorant brał udział w projektach naukowych: (i) *Cellulose-pectin hydrogels cross-linked with divalent metal ions for immobilization of antagonistic microorganisms* (program OPUS 19 nr 2020/37/B/NZ9/03159), okres realizacji – 01.10.2023-30.09.2024, a także (ii) *Research and dissemination of knowledge on pectin, cellulose and fiber content in fruits and vegetables* (program Science for Society II nr NdS-II/SP/0258/2023/01), okres realizacji – 01.03.2024-nadal.

Wartym podkreślenia jest również 3-miesięczny staż naukowy, jaki Pan mgr Vadym Chibrikov odbył w *Primary Cell Wall Team, Department of Development, Signaling and Modeling, Institut Jean-Pierre Bourgin* (Wersal, Francja). Tematyka związana z pobytem dotyczyła badań wzorców oddziaływań celulozy i pektyny poprzez wizualizację za pomocą mikroskopii optycznej 3D Direct Stochastic Optical Reconstruction Microscopy (3D dSTORM).

Doktorant ma w swoim dorobku także 13 różnych certyfikatów związanych głównie z udziałem w różnorodnych warsztatach. Podejmował także próby aplikowania o projekty Preludium w ramach NCN oraz innych stypendiów. Angażował się również w organizację różnych konferencji. W czasie od 1.10.2022 r. do 30.09.2023 r. był wiceprzewodniczącym Rady Doktorantów Instytutu Agrofizyki Polskiej Akademii Nauk.

Oceniając zamieszczone w pracy résumé, jak i opublikowane prace oraz cały życiorys Doktoranta, trudno nie ocenić Jego aktywności naukowej jako bardzo dobrej.

Wniosek końcowy

Podsumowując, chciałbym zaznaczyć istotny wkład Pana mgr Vadyma Chibrikova w rozwój uprawianej dyscypliny naukowej, w szczególności w zakresie działań dotyczących stworzenia strukturalnego modelu zespołu celuloza-hemiceluloza, odpowiadającego ścianie komórkowej roślin i zdolnego do opisu mechanobiologii ściany komórkowej roślin od pojedynczego włókna do całej sieci włókien. Sposób zaplanowania eksperymentów, zrealizowania badań, jak i forma przedstawienia

wyników świadczą o kompetencjach naukowo-badawczych Doktoranta i są dowodem Jego bardzo dobrego poziomu przygotowania do dalszego prowadzenia badań naukowych.

Na podstawie oceny rozprawy doktorskiej Pana mgra Vadyma Chibrikova zatytułowanej „*Modeling of mechanical properties of hemicellulose-cellulose networks in plant cell wall analogues*” stwierdzam, że recenzowana praca spełnia wszystkie wymagania formalne i zwyczajowe w świetle istniejącego prawa.

Wnoszę zatem do Wysokiej Rady Naukowej Instytutu Agrofizyki im. B. Dobrzańskiego Polskiej Akademii Nauk, o przyjęcie pracy i przeprowadzenie dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Biorąc pod uwagę wkład Doktoranta w rozwój uprawianej dyscypliny rolnictwo i ogrodnictwo; zakres, poziom i istotne znaczenie wykonanych badań oraz nade wszystko Jego zaangażowanie, jak również aktywność naukową wnoszę o wyróżnienie rozprawy doktorskiej. Ponadto, kluczowe wyniki, stanowiące odniesienie do celu i zakresu pracy, zostały opublikowane w renomowanych czasopismach o obiegu międzynarodowym oraz zaprezentowane na uznanych konferencjach. Dodatkowo, sama dysertacja doktorska stanowi wysokiej jakości merytorycznej i edytorskiej zbiór informacji o istotnych walorach poznawczych.

Juhon Kipinevdei