

Prof. dr hab. Urszula Gawlik-Dziki  
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie  
Wydział Nauk o Żywności i Biotechnologii  
Katedra Biochemii i Chemii Żywności

### Recenzja

**osiągnięcia naukowego w postaci cyklu publikacji pt. „Wieloskalowe modelowanie mechaniki tkanek roślinnych” oraz aktywności naukowej w postępowaniu habilitacyjnym dr inż. Piotra Mariusza Pieczywka**

**Ocena osiągnięcia, o którym mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r. poz. 1668 ze zm.)**

Przedstawione do oceny osiągnięcie naukowe dr inż. Piotra Pieczywka pt. „Wieloskalowe modelowanie mechaniki tkanek roślinnych” stanowi cykl pięciu powiązanych tematycznie publikacji o łącznym wskaźniku IF = 26.948 i całkowitej liczbie punktów, (zgodnie z rokiem wydania publikacji) wynoszącej 600. Prace te zostały wydane w latach 2017-2020 w prestiżowych periodykach naukowych. We wszystkich publikacjach Habilitant jest pierwszym i korespondencyjnym autorem. Głównym celem prac wchodzących w skład Osiągnięcia były wieloskalowe studia nad mechaniczną rolą biokomponentów tkanek roślinnych i ścian komórkowych.

W pierwszej publikacji (P1) Habilitant analizował wpływ mikrostruktury tkanki roślinnej na jej parametry mechaniczne w oparciu o trójwymiarowy, hybrydowy model numeryczny polegający na połączeniu metodologii mass-spring system z modelowaniem metodą elementów dyskretnych. Model ten został zoptymalizowany pod kątem symulacji właściwości mechanicznych tkanki mięksiszowej owoców jabłoni, w warunkach obciążeń zewnętrznych. Publikacja ta była pionierską pracą opisującą trójwymiarowy model, charakteryzujący mikromechanikę tkanki roślinnej z uwzględnieniem struktury składającej się z kilkuset komórek. Habilitant przedstawił algorytm generacji struktury wirtualnych tkanek oraz opracował i zastosował model numeryczny do symulacji deformacji tkanek roślinnych pod wpływem zewnętrznych obciążeń. Model ten zoptymalizował pod kątem symulacji mechaniki

izotropowej tkanki mięsистой jabłek, w warunkach obciążenia zewnętrznego. Zaproponowany model umożliwił przeprowadzenie symulacji statycznego testu jednoosiowego ściskania, pozwalając na realistyczne odtworzenie przebiegów charakterystyk mechanicznych dla pojedynczych komórek i tkanek.

Tematyka kolejnych prac stanowiących osiągnięcie habilitacyjne dotyczyła badań struktury oraz funkcji podstawowych składników roślinnych ścian komórkowych. W drugiej pracy (P2) wchodzącej w skład Osiągnięcia przeprowadzona została charakterystyka molekularnej struktury pektyn frakcji rozpuszczalnej w słabych alkaliach. Pektyny zostały wyekstrahowane z jabłek odm. Golden Delicious. Analizowano je przy użyciu metody mikroskopii sił atomowych, a ich roztwory wodne poddano analizie HPLC. Ponadto testy eksperymentalne uzupełniono symulacjami numerycznymi. Przeprowadzone badania udowodniły, że cząsteczki frakcji pektyn tworzyły struktury składające się ze długich liniowych odcinków przerywanych lokalnymi punktami zgięcia lub rozgałęzieniami. Widoczne również były agregaty cząstek. Analiza techniką HPLC wykazała, że frakcja ta składa się z dwóch głównych monosacharydów – kwasu galakturonowego i arabinozy, które stanowiły ponad 88% jej udziału. Ilość kwasu galakturonowego była około dwukrotnie większa niż arabinozy. Ramnoza, galaktoza i glukoza miały udział procentowy, wynoszący odpowiednio 4,17%, 3,75% i 3,16%. Wyniki analizy HPLC dały możliwość zidentyfikowania prostoliniowych cząsteczek z obrazów uzyskanych przy użyciu mikroskopii sił atomowych jako odcinków nierozgałęzionego homogalakturonianu. Habilitant określił także strukturę molekularną rozgałęzionych cząsteczek frakcji pektyn, stwierdzając między innymi, że rozgałęzione struktury stanowią 18% wszystkich obiektów widocznych na obrazach mikroskopowych tej frakcji. Badania przeprowadzone w tym opracowaniu pozwoliły na szczegółowe opisanie struktury molekularnej oraz mechanizmu sieciowania rozpuszczalnej w słabych alkaliach frakcji pektyn w ekstrakcie z jabłek oraz umożliwiły identyfikację związków stanowiących tę frakcję.

W kolejnej pracy (P3) wchodzącej w skład Osiągnięcia analizowana była rola galaktozy, ramnozy i arabinozy w tworzeniu rozgałęzionej struktury pektyn rozpuszczalnych w słabych alkaliach. Do tego celu Habilitant wykorzystał mikroskopię sił atomowych oraz przeprowadził degradację enzymatyczną tych związków z użyciem  $\beta$ -galaktozydazy,  $\alpha$ -l-ramnozydazy oraz  $\alpha$ -l-arabinofuranozydazy. Do ilościowej oceny wpływu poszczególnych enzymów na strukturę pektyn wykorzystana została technika komputerowej analizy obrazu. Habilitant wykazał, że degradacja enzymatyczna z wykorzystaniem  $\beta$ -galaktozydazy, powoduje tworzenie przez galaktozę rozgałęzionych cząsteczek frakcji pektyn. Największy

wpływ na strukturę kowalencyjnie związanych cząsteczek frakcji pektyn miała  $\alpha$ -L-arabinofuranozydaza. Pozwoliło to stwierdzić, że kluczową rolę w tworzeniu i zachowaniu silnie rozgałęzionej struktury frakcji pektyn odgrywa arabinoza.

Kolejna praca wchodząca w skład Osiągnięcia (P4) dotyczy utworzenia modelu podstawowego homogalakturonianu bazującego na polu siłowym dyssypatywnej dynamiki cząstek, pod kątem możliwości przeprowadzenia symulacji tworzenia przez ten związek struktur wieloskładnikowych poprzez wiązania wodorowe homogalakturonianu w roztworach wodnych. W tym celu Habilitant zaproponował krokowo-iteracyjny algorytm ekstrakcji danych, bazujący na dynamice molekularnej z modelu atomistycznego, tworzący klastry sąsiadujących cząsteczek wody, dla których wyliczane były uśrednione charakterystyki molekularne, odpowiadające skali modelu parametryzacji standardowego pola siłowego. Parametry tego pola, wskazały na możliwość istnienia mechanizmu samoagregacji cząsteczek kwasu galakturonowego poprzez wiązania wodorowe grup karboksylowych. Przeprowadzone przez Habilitanta kolejne symulacje potwierdziły te założenia, dostarczając pionierskich informacji na temat trójwymiarowych struktur tworzonych przez zespoły homogalakturonianu w roztworach wodnych. Na podkreślenie zasługuje przedstawienie przez Habilitanta alternatywnej strategii parametryzacji standardowego pola siłowego, bazując na danych z modelu atomistycznego, opartego na dynamice molekularnej. Tworzenie tego rodzaju trójwymiarowych sieci może odgrywać istotną rolę w modelowaniu i kształtowaniu reologicznych właściwości pektyn.

W opracowaniu (P5) wchodzącym w skład Osiągnięcia Habilitant zajmował się analizowaniem mechanizmu samoagregacji niskometylowanego homogalakturonianu w roztworach wodnych. Analizował w szczególności wpływ długości łańcucha oraz stężenia kwasu galakturonowego i różnych stopni dysocjacji grup karboksylowych na tempo agregacji i rodzaj tworzonych struktur. W opracowaniu tym badania numeryczne zostały uzupełnione testami laboratoryjnymi, dostarczając dowodów na występowanie interakcji między jednostkami kwasu galakturonowego, a rozmiarem asocjatów. Habilitant zaobserwował, że stopień dysocjacji grup karboksylowych jednostek kwasu galakturonowego, wpływał zarówno na wielkość, jak i na kształty symulowanych agregatów. Otrzymane w wyniku symulacji struktury w sieci przestrzennych wykazywały wysokie podobieństwo do struktury molekularnej uwodnionych żeli, a największy wpływ na zdolność sieciowania pektyn miała długość łańcuchów molekularnych.

Podsumowując uważam, że rezultaty badań Habilitanta zaprezentowane w pracach P1-P5 mają dużą wartość poznawczą i wytyczają kierunki badawcze dotyczące wykorzystania

modelowania numerycznego metodą dynamiki molekularnej i metodą elementów dyskretnych do uzyskania podstawowej wiedzy z zakresu nauk rolniczych i ogrodnictwa. Tematyka ta wpisuje się również w pewnym stopniu w nauki o żywności w aspekcie charakterystyki jakości surowca. Osiągnięcie dostarcza również wiedzy w zakresie biomechaniki roślin oraz relacji między strukturą biokomponentów tkanek roślinnych i ścian komórkowych. Wyniki tych badań stanowią podstawę do zrozumienia procesów fizycznych, dotyczących żelujących pektyn i mogą mieć pewne znaczenie praktyczne.

**Ocena aktywności naukowej, o której mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 3 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r. poz. 1668 ze zm.)**

Doktor inżynier Piotr Pieczywek wykazuje się istotną aktywnością naukową, której efektem są, między innymi, 42 prace opublikowane w czasopismach posiadających impact factor (IF) indeksowane w bazie Scopus (z czego 5 prac zostało wyłączonych do cyklu stanowiącego osiągnięcie naukowe będące podstawą do ubiegania się o nadanie stopnia doktora habilitowanego). Dorobek publikacyjny Habilitanta uzupełniają artykuły w czasopismach nieposiadających IF i rozdziały w monografiach naukowych. Prace te były dotychczas cytowane ponad 665 razy (589 bez autocytowań), a indeks Hirscha wynosi 16 (wg bazy Scopus, stan na dzień 20.06.2021). W okresie po nadaniu stopnia doktora (w roku 2014) Habilitant wielokrotnie powiększył swój dorobek. Według załączonej dokumentacji dorobek ten, mierzony skumulowaną wartością współczynnika impact factor wszystkich artykułów naukowych, wynosi 137,341 z czego 119,504 zostało uzyskane po doktoracie. Na uwagę zasługuje fakt, że od samego początku kariery naukowej dr inż. Piotr Pieczywek publikuje wyniki w prestiżowych czasopismach naukowych.

Kompetencje i doświadczenie Habilitanta znalazły odbicie we współpracy z naukowcami z innych jednostek naukowych w kraju i zagranicą, zarówno w ramach realizacji wspólnych projektów jak i prowadzenia badań poza projektami. Wynikiem tych działań są wspólne publikacje oraz doniesienia konferencyjne.

Sieć kontaktów międzynarodowych obejmuje współpracę z naukowcami z Leibniz Institute for Agricultural Engineering and Bioeconomy (ATB) w ramach realizacji projektu pt. „Szybkie wykrywanie fitopatogenów grzybowych na owocach za pomocą obrazowania metodą biospeckli” (NAWA nr PPN/BDE/2019/1/00009), którego Habilitant jest koordynatorem i jednym z wykonawców. Drugi z projektów międzynarodowych, w którym Habilitant jest kluczowym wykonawcą, zatytułowany „Modelowanie nanostruktur włóknistych dla

projektowania nowych bio-kompozytów” polega na wymianie kadry naukowej pomiędzy Instytutem Agrofizyki PAN oraz Uniwersytetem Kyushu. Projekt ma charakter wymiany bilateralnej pomiędzy Polską Akademią Nauk oraz Japońską Fundacją Wspierania Nauki (JSPS). Dotychczasowe wizyty i wzajemna wymiana wiedzy zaowocowały uzyskaniem przez stronę Japońską grantu na wyjazdy do Instytutu Agrofizyki PAN, w ramach programu Grants-in-Aid for Scientific Research (FY2018) - Fostering Joint International Research, przyznanego przez JSPS.

Pozostałe dwa projekty to akcje COST o numerach identyfikacyjnych CA15118 („Mathematical and Computer Science Methods for Food Science and Industry”, 2016-2020) oraz CA18210 („Oxygen sensing a novel mean for biology and technology of fruit quality”, 2019-2023), w których Habilitant pełni lub pełnił rolę członka komitetu zarządzającego lub zastępcy członka komitetu zarządzającego. Akcja CA 15118 skupiała 27 krajów i 128 naukowców z Europy. Miała ona na celu gromadzenie naukowców i praktyków z dziedziny matematycznego modelowania i nauk rolno-spożywczych, stymulując tym samym powstawanie nowych kierunków badawczych oraz tworząc strukturę nowej społeczności. Akcja dążyła do poszerzenia zrozumienia i kontroli procesów wytwarzania oraz ekoprojektowania produktów rolno-spożywczych. W drugim projekcie w ramach akcji COST CA18120 gromadził naukowców z różnych dyscyplin wokół zagadnień związanych z dojrzewaniem owoców oraz występowaniem stresu oksydacyjnego i jego roli w przechowywalności. Działania mają na celu dokonanie przełomu w zrozumieniu fizjologii owoców, otwierając w ten sposób nowe drogi kontrolowania jakości owoców poprzez innowacyjne strategie przechowalnicze oraz dedykowane technologie.

Stale utrzymywane kontakty z kadrami naukowymi Leibniz Institute for Agricultural Engineering and Bioeconomy oraz Kyushu University, przy wsparciu naukowców z innych pięciu zagranicznych jednostek (Leibniz Institute of Photonic Technology, Gifu University, Instituto Politécnico Nacional, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Friedrich Schiller Universität Jena) zaowocowały powstaniem trzech wspólnych publikacji.

W ramach realizacji polsko-japońskiego projektu wymiany kadry naukowej na lata 2019- 2020 realizowanego w ramach umowy bilateralnej o współpracy naukowej między Polską Akademią Nauk a Japońskim Towarzystwem Promocji Nauki (JSPS) dr inż. Piotr Pieczywek odbył dwa krótkoterminowe staże w Laboratory of Postharvest Science, Division of Bioproduction Environmental Sciences, Department of Agro-environmental Sciences, Faculty of Agriculture, Kyushu University.

Ważną rolę w rozwoju naukowym Habilitanta odegrała również współpraca krajowa. W jej wyniku, wspólnie z badaczami z 7 różnych jednostek, powstało 11 prac naukowych. Część z nich jest efektem realizacji projektów badawczych łączących kilka jednostek naukowych w konsorcja. W ramach projektu „Wykorzystanie ultradźwięków do wspomaganie procesów suszenia materiałów biologicznych szczególnie wrażliwych na termiczne warunki suszenia – BIOSUSZ” realizowanego przez konsorcjum, w którego skład wchodziło pięć instytucji sektora gospodarczego i naukowego: Promis-Tech Sp. z o.o., Politechnika Poznańska, Instytut Agrofizyki PAN, Celiko S.A. oraz Instytut Ogrodnictwa w Skierniewicach Habilitant opracował nową metodę analizy oceny przestrzennych zmian struktury suszonych próbek owoców, która ostatecznie zaimplementowana została w postaci programu komputerowego. Habilitant współpracuje m.in. Instytutem Katalizy i Fizykochemii Powierzchni im. Jerzego Habera Polskiej Akademii Nauk, politechniką Lubelską, Uniwersytetem Medycznym w Lublinie, Instytut Fizyki Jądrowej im. Henryka Niewodniczańskiego PAN, SGGW.

Projekty naukowe, w realizacji których uczestniczył dr inż. Piotr Pieczywek, były finansowane w drodze konkursów krajowych lub zagranicznych. Skuteczność Habilitanta w aplikowaniu o te środki znalazła odzwierciedlenie w kierowaniu grantami z Narodowego Centrum Nauk, NCBR i NAWA – DAAD. Habilitant był również wykonawcą w projektach finansowanych przez NCN, MNiSW oraz NCBR.

O rozpoznawalności Habilitanta w środowisku naukowym świadczą zaproszenia do wygłoszenia wykładów – dr inż. Pieczywek wygłosił 3, oraz zaproszenia do wykonania recenzji dla uznanych czasopism naukowych (wykonał ich około 40). Habilitant prowadził również zajęcia praktyczne w laboratorium mikroskopii w języku angielskim w ramach wykładu fakultatywnego "Structure and mechanics evaluation of plant biomaterials"

Aktywność naukowa Habilitanta przejawia się także w pełnieniu funkcji promotora pomocniczego w dwóch otwartych przewodach doktorskich oraz wielokrotnym sprawowaniu funkcji opiekuna praktyk studenckich realizowanych w Zakładzie Mikrostruktury i Mechaniki Biomateriałów.

Oprócz pracy naukowej Habilitant angażował się również w szereg inicjatyw i wydarzeń o charakterze naukowym i dydaktyczno-popularyzatorskim o zasięgu krajowym i międzynarodowym. W 2018 roku został zaproszony przez Akademię Młodych Uczonych PAN do organizacji IV Edycji Kuźni Młodych Talentów (KMT), cyklicznych warsztatów dla naukowców rozpoczynających swoją karierę. W tym samym roku brał udział w organizacji Międzynarodowej Konferencji Agrofizycznej „12th International Conference on Agrophysics

Soil, Plant & Climate”. Pięciokrotnie uczestniczył w masowych imprezach popularyzujących naukę, w tym dwukrotnie w Pikniku Naukowym Polskiego Radia i Centrum Nauki Kopernik w Warszawie. W ramach tych aktywności prowadził wykłady w formie prezentacji popularnonaukowych jak i ćwiczenia i demonstracje laboratoryjne mające na celu popularyzację nauki wśród młodych ludzi.

Ważny aspekt działalności Habilitanta stanowi współpraca z otoczenie gospodarczym. Dr inż. Piotr Pieczywek współpracuje z firmą FreshMazovia.com Sp.j. Maciej Majewski (ul. Grójecka 35, 05-660 Warka). Współpraca ta polega na wdrożeniu wyników projektu Nr LIDER - 0032/L-11/2019 „Szybka i niedestrukcyjna metoda detekcji stresu beztlenowego owoców jabłoni z wykorzystaniem zjawiska dynamicznego rozpraszania światła” finansowanego przez NCBR. Habilitant był członkiem grona ekspertów oceniających projekty B+R w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Lubelskiego, w konkursach ogłaszanych przez Lubelską Agencję Wspierania Przedsiębiorczości. Na zamówienie instytucji publicznych lub przedsiębiorców wykonał trzy ekspertyzy laboratoryjne i jedną naukową. Habilitant jest współautorem patentu na „Urządzenie i sposób prowadzenia analizy stanu materiałów biologicznych, zwłaszcza owoców lub warzyw z zastosowaniem zjawiska biospeckli” (PAT.223465 / 2016-10-31) oraz dwóch wzorów użytkowych: „Urządzenie do prowadzenia analizy stanu materiałów biologicznych z zastosowaniem zjawiska biospeckli”, Rp.19555 / 2013-07-31 i „Urządzenie do pomiaru kruchości i tekstury owoców i warzyw” Rp 18856 / 2013-01-18.

Działalność naukowa i popularyzatorska dr inż. Piotra Pieczywka znajduje uznanie gremiów naukowych. W 2016 roku został On laureatem stypendium naukowego dla wybitnych młodych naukowców, finansowanego przez MNiSW. W roku 2018 jako członek zespołu kierowanego przez prof. dr hab. Artura Zdunka został uhonorowany zbiorowym wyróżnieniem II Wydziału Nauk Rolniczych i Biologicznych PAN za cykl prac „Zmiany architektury makromolekularnej ścian komórkowych owoców i warzyw podczas dojrzewania”. Był dwukrotnym laureatem nagród specjalnych za wystąpienie na konferencjach naukowych.

### **Wniosek końcowy**

Cykl powiązanych tematycznie publikacji naukowych przedstawionych przez dr inż. Piotra Pieczywka jako osiągnięcie naukowe, o którym mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, stanowi znaczny wkład w rozwój dyscypliny rolnictwo i ogrodnictwo. Habilitant wykazał się również istotną aktywnością

naukową, którą realizował w więcej niż jednej instytucji naukowej spełniając tym samym wymóg opisany w art. 219 ust. 1 pkt. 2 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce. Biorąc powyższe pod uwagę z pełnym przekonaniem popieram wniosek dr inż. Piotra Pieczywka o nadanie Mu przez Radę Naukową Instytutu Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN stopnia doktora habilitowanego w dyscyplinie rolnictwo i ogrodnictwo.

*Prof. dr hab. inż. Andrzej Dzik*