

Łódź, 21.01.2025

Prof. dr hab. Stanisław Ledakowicz

Wydział Inżynierii Procesowej

i Ochrony Środowiska

Politechniki Łódzkiej

ul. Wólczańska 213, PL - 90 924 Łódź,

Tel. :+ (4842) 6313715, Fax: + (4842) 6313738

e-mail: stanleda@p.lodz.pl

Recenzja

**osiągnięć naukowych dr inż. Katarzyny Dąbkowskiej-Suszał
w związku z postępowaniem o nadanie stopnia doktora habilitowanego w
dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych,
w dyscyplinie inżynieria chemiczna**

Charakterystyka sylwetki Kandydatki

Pani Katarzyna Dąbkowska-Suszał ukończyła studia wyższe w roku 2003 w Politechnice Warszawskiej na Wydziale Chemicznym, Kierunek: Biotechnologia, Specjalność: Technologia związków biologicznie czynnych i kosmetyków; tytuł pracy dyplomowej: „Synteza i próby rozdzielenia mieszanin racemicznych pochodnych N-(3-fenoksy-2-hydroksypropylo) hydroksyloaminy”. W 2010 roku na Wydziale Inżynierii Chemicznej i Procesowej PW obroniła z wyróżnieniem pracę doktorską pt. „Wykorzystanie katalizy enzymatycznej do rozdzielania enancjomerów kwasu migdałowego” której promotorem był prof. dr hab. inż. Krzysztof Szewczyk. Ponadto w tym samym roku ukończyła Studium Podyplomowe w zakresie Rolnictwa w Wyższej Szkole Agrobiznesu w Łomży na Wydziale Rolniczo-Ekonomicznym.

Od roku 2007 jest zatrudniona w Politechnice Warszawskiej, najpierw jako asystent w Międzywydziałowym Centrum Biotechnologii (1.09.2007 r. – 30.09.2008 r.), a potem w Zakładzie Biotechnologii i Inżynierii Bioprocessowej Wydziału Inżynierii Chemicznej i Procesowej (1.10.2008 r. – 14.12.2010 r.) jako asystent, a po obronie doktoratu (od 15.12.2010 r. – do chwili obecnej) jako adiunkt badawczo-dydaktyczny.

Ocena osiągnięć naukowych stanowiących podstawę wszczęcia postępowania habilitacyjnego

Tytuł osiągnięcia:

Metody intensyfikacji procesów (bio)przetwarzania biomasy lignocelulozowej

Jako osiągnięcie naukowe stanowiące podstawę wszczęcia postępowania o nadanie stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie inżynieria chemiczna Kandydatka przedstawiła cykl publikacji dotyczących obróbki biomasy lignocelulozowej jako cennego źródła polisacharydów do następczego otrzymywania w biorafineriach produktów o wysokiej wartości rynkowej, w tym m.in. biopaliw, biopolimerów i biochemikaliów. Celem badań według Habilitantki była: „...poprawa efektywności wybranych metod wykorzystywanych w następczych procesach przetwarzania surowców lignocelulozowych w wartościowe bioprodukty, obejmujących: obróbkę wstępną biomasy, hydrolizę enzymatyczną scukrzającą surowiec i fermentację otrzymanych hydrolizatów.”

W związku z takim podziałem omawianych procesów przedstawię moją opinię o osiągnięciach Habilitantki z takiej samej kolejności. Co prawda, Habilitantka zaczyna omawiać własne osiągnięcia od dwóch przeglądowych prac **H9** i **H15**, przy czym ta ostatnia jest rozdziałem pt. *Zastosowanie enzymów w procesie produkcji biopaliw* w monografii „Najnowsze doniesienia z zakresu enzymologii i nauk pokrewnych” pod redakcją M. Maciąg, K. Maciąg, Wydawnictwo Naukowe TYGIEL, Lublin 2018. Publikacja **H9** jest stosunkowo krótka i powierzchowna jak na pracę przeglądową dotyczącą biorafinerii. Natomiast autorski rozdział w monografii **H15** jest pełniejszy i wyczerpujący temat użycia enzymów w produkcji biopaliw, tym bardziej, że jest spójna tematycznie z pozostałymi pracami zaliczanymi do monotematycznego cyklu, z uwagi na fakt wykorzystywania przez Autorkę enzymów we wszystkich badaniach naukowych poświęconych hydrolizie enzymatycznej biomasy, i świadczy o dobrej znajomości Autorki tych zagadnień.

Obróbka wstępna biomasy lignocelulozowej

Ten zakres badań jest opisany w pracach **H7**, **H10**, **H13** i **H14**, dotyczył opracowania najkorzystniejszych warunków prowadzenia procesu dla trzech różnych surowców lignocelulozowych: odpadów kukurydzianych oraz drewna szybko rosnącej topoli *Populus deltoides x maximowiczii*. Stosowane metody obróbki biomasy ograniczyły się do metod chemicznych, głównie procesu prowadzonego w środowisku alkalicznym, jakkolwiek w pracy **H14** Autorka porównała efektywności obróbki wstępnej wybranych surowców lignocelulozowych oboma

metodami kwasową i alkaliczną. Autorka uzasadnia wybór obróbki alkalicznej wysokim stopniem delignifikacji biomasy lignocelulozowej oraz wykorzystaniem w procesie niekorozyjnych chemikaliów, a także jej wysoką skutecznością w stosunkowo łagodnych warunkach procesowych, a ponadto, brakiem produktów ubocznych, będących inhibitorami enzymów, czy toksycznych dla wzrostu mikroorganizmów. Przez określenie efektywności badanych procesów Habilitantka uważa wpływ zastosowanych warunków na skład biomasy, w tym na zawartość celulozy (glukanów) i hemiceluloz (ksylanów) w badanych surowcach, oraz straty (lub odzyski) tych polisacharydów podczas obróbki oraz wydajności enzymatycznego scukrzania biomasy po obróbce.

Cenne są wyniki badań delignifikacji biomasy i analiza wpływu zawartości lignin w surowcach po obróbce wstępnej na efektywność ich hydrolizy enzymatycznej. Otrzymane wyniki potwierdziły, że podatność glukanów i ksylanów na hydrolizę enzymatyczną była ściśle związana z zawartością w niej lignin, a biomasa po obróbce wstępnej charakteryzowała się znacznie większą podatnością na enzymatyczne scukrzanie niż biomasa natywna. Wariant alkalicznej obróbki wszystkich użytych surowców lignocelulozowych, zaproponowany przez Habilitantkę był najkorzystniejszy z punktu widzenia zawartości hemicelulozy w otrzymanej biomase po obróbce. Dla wszystkich użytych surowców lignocelulozowych uzyskano wzrost zawartości celulozy po obróbce, co było spowodowane degradacją hemicelulozy i lignin. Uzyskane wyniki w omawianych publikacjach świadczą, że opracowana obróbka alkaliczna biomasy lignocelulozowej pozwala na uzyskanie najwyższej wydajności uwalniania cukrów prostych w procesie hydrolizy enzymatycznej biomasy otrzymanej po zastosowaniu metod obróbki wstępnej. Szkoda tylko, że wyniki tych badań zostały opublikowane w lokalnych polskich czasopismach, rzadko cytowanych.

Hydroliza enzymatyczna surowców lignocelulozowych i intensyfikacja procesu w reaktorach membranowych

Wyniki prowadzonych badań tematycznie związanych z hydrolizą enzymatyczną biomasy lignocelulozowej zostały przedstawione i przedyskutowane w publikacjach **H1 - H3, H11 i H12**, opublikowanych w czasopismach o biegu międzynarodowym, ze znacznie lepszymi współczynnikami wpływu (impact factors) niż czasopismo, które poza Ecological Chemistry and Engineering S, nie widnieją w bazie Scopus. Do badań enzymatycznej hydrolizy surowców lignocelulozowych, które były prowadzone w ramach projektu grantowego Biostrateg 2, Habilitantka stosowała dostępne na rynku preparaty enzymatyczne, tj. Cellic® CTe2 oraz mieszaniny Celluclast® 1.5 L i Novozyme 188, przeznaczone do przemysłowego scukrzania biomasy lignocelulozowej. Substratami lignocelulozowymi były słoma żytnia, kukurydziana i wierzba energetyczna *Salix viminalis L.* oraz papier celulozowy, poddane wstępnej obróbce alkalicznej. Uzyskane wyniki badań były zgodne z przewidywaniami, że wydajność hydrolizy biomasy lignocelulozowej katalizowanej enzymatycznie

zależy nie tylko od zastosowanego biokatalizatora, ale substratu - zawartości poszczególnych głównych komponentów biomasy celulozy, hemiceluloz i ligniny.

Ciekawym aspektem badań w tym obszarze enzymatycznej hydrolizy były badania adsorpcji białek katalitycznych, zawartych w preparacie enzymatycznym Cellic® CTec2, na biomase słomy kukurydzianej poddanej obróbce wstępnej oraz na wyizolowanych z niej ligninach. Wyniki tych badań na cząstkach surowca oraz ligniny opisane zostały izotermą Langmuira i wyznaczone zostały jej parametry. Dziwi mnie fakt, że zdolności adsorpcyjne dla wszystkich badanych adsorbatów były wyższe w 50°C niż w 4°C; zazwyczaj pojemność adsorpcyjna maleje ze wzrostem temperatury; jak zatem wytłumaczyć takie nietypowe zachowanie adsorpcji białek na biomacie?

Bardzo interesujące są osiągnięcie Habilitantki w zakresie badań dotyczących hydrolizy enzymatycznej biomasy słomy kukurydzianej zintegrowanej z dwuetapową separacją membranową, na którą składała się mikrofiltracja – oddzielenie hydrolizatu od nieprzereagowanej biomasy i kolejna - ultrafiltracja z membraną zatrzymującą enzymy. Dodatkowo Habilitantka zastosowała dodatek surfaktanta Tween 80, w celu zredukowania występowania niekorzystnego zjawiska adsorpcji enzymów na ligninach. Doświadczalny reakcyjno-membranowy układ badawczy pozwalał na usuwanie inhibitorów enzymów – cukrów prostych z mieszaniny reakcyjnej i odzyskiwanie białek katalitycznych oraz ich ponowne użycie w reakcji prowadzonej ze świeżą porcją substratu. Habilitantka twierdzi, że dodatek surfaktantu ograniczył tworzenie się placka filtracyjnego na powierzchni membrany, możliwą tego przyczyną są interakcje Tween 80 z zawiesiną rozdrobnionych cząstek biomasy i tworzenie się przy powierzchni membrany miceli z zamkniętymi w ich wnętrzu cząstkami substratu. Czy zostało wyznaczone krytyczne stężenie micelarne Tween'u 80 w tym układzie, a wartość stężenia dodanego surfaktanta była powyżej CMC?

Zastosowany w badaniach mikrofiltracyjny reaktor membranowy, opracowany przez prof. Andrzeja Kołtuniewicza, z 16 mikrofiltracyjnymi ceramicznymi ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{-}\alpha$) membranami rurowymi zapewniał cyrkulację osiową zawiesiny cząstek biomasy we wnętrzu aparatu, dzięki zainstalowanemu mieszadłu w rurze cyrkulacyjnej. Taki układ umożliwiał prowadzenie ciągłego procesu hydrolizy enzymatycznej biomasy o dużym rozdrobnieniu.

Model procesu hydrolizy enzymatycznej odpadów lignocelulozowych został przedstawiony przez Habilitantkę w publikacji **H2** i opublikowany w bardzo dobrym czasopiśmie Chemical Engineering Research and Design (2024). Zaimplementowano w nim teorię odnawiania powierzchni i empiryczny model kinetyczny reakcji w celu symulacji wpływu parametrów roboczych na strumień permeatu i stężenie monosacharydów w permeacie. Uwzględniono różne ciśnienia membranowe i warunki mieszania zawiesiny

reakcyjnej. Eksperymenty przeprowadzono w komórce mikrofiltracyjnej symulującej pojedynczy element na powierzchni membrany. Oceniony model bardzo dobrze symulował wyniki eksperymentalne z dobrą dokładnością ($R^2 > 0,97$). Przedstawiono również procedurę określania parametrów modelu na podstawie danych eksperymentalnych. Jest to najlepsza publikacja Habilitantki w dyscyplinie inżynieria chemiczna, jakkolwiek wieloautorska, to jednakże z 70% Jej udziałem jako pierwszym i korespondencyjnym autorem.

Zwieńczeniem tych prac eksperymentalnych i teoretycznych jest uzyskany przez A.B. Kołtuniewicza, K. Dąbkowską (z udziałem 50%) patent pt. „*Sposób ciągłego przetwarzania lignocelulozy na paliwa i chemikalia w reaktorach membranowych*.” PL 244860., w którym zaproponowano zastosowanie reaktora wielofunkcyjnego, łączącego w sobie zarówno bioreaktor jak i moduł filtracyjny o działaniu ciągłym. W jednym aparacie zachodzi hydroliza enzymatyczna biomasy po wcześniejszej obróbce wstępnej, a otrzymany permeat zawierający uwolnione cukry proste i enzymy wprowadzany jest do drugiego reaktora wyposażonego w membranę ultrafiltracyjną, swobodnie zanurzoną w cieczy zawierającej mikroorganizmy przeprowadzające fermentację próżniową uwolnionych monosacharydów pod ciśnieniem (próżnią) 30-300Tr, w temperaturze 30-45°C, przy czym lotne produkty fermentacji są w sposób ciągły usuwane w wyniku destylacji próżniowej. Wysoko oceniam możliwości aplikacyjne tego rozwiązania technicznego.

Fermentacja hydrolizatów lignocelulozowych

Zagadnieniu fermentacji hydrolizatów lignocelulozowych poświęcone zostały cztery publikacje w renomowanych czasopismach o obiegu światowym (**H4**, **H5**, **H6** i **H8**), wszystkie przeprowadzone we współpracy z zewnętrznymi jednostkami badawczymi. jednakże ze znacznie mniejszym udziałem procentowym Habilitantki (poniżej 50%). Jedna z nich **H6**, dotyczy biotechnologicznego otrzymywania 2-fenyletanolu z hydrolizatów słomy kukurydzianej, przy wykorzystaniu hodowli dwóch szczepów drożdży: *Pichia fermentans* WUT36 oraz *Metschnikowia chrysoperlae* WUT25, wyselekcjonowanych przez zespół z Wydziału Chemicznego Politechnik Warszawskiej. Prace **H4** i **H5** powstały we współpracy z dwoma zespołami badawczymi: z Uniwersytetu Technicznego w Lyngby (Dania) oraz z Uniwersytetu Bielsko-Bialskiego. Pierwsza **H4** dotyczyła opracowania metody produkcji i oczyszczania kwasu bursztynowego z biomasy miskanta olbrzymiego, a druga **H5** opracowania zintegrowanej metody produkcji biopaliwa jakim jest bioetanol, i kwasu bursztynowego ze słomy rzepakowej. Publikacja **H8** w Cells 12, 2018 powstała we współpracy z zespołem badawczym prof. Stanisława Karpińskiego z Katedry Genetyki, Hodowli i Biotechnologii Roślin, Instytutu Biologii, Szkoły Głównej Gospodarstwa

Wiejskiego w Warszawie, a rola Habilitantki polegała na zaplanowaniu i przeprowadzeniu eksperymentów mających na celu określenie aplikacyjności wybranych, transgenicznych linii czteroletniej topoli *Aspen wood* jako surowca do produkcji bioetanolu. Tę biomasę poddano hydrolizie enzymatycznej, a otrzymane hydrolizaty posłużyły jako podstawowy składnik pożywki do hodowli drożdży *Saccharomyces cerevisiae*. Okazało się, że ilość wyprodukowanego przez drożdże etanolu była istotnie większa w przypadku użycia linii 4 topoli jako substratu w porównaniu do próby kontrolnej, co było efektem wyższych stężeń glukozy w hydrolizatach uzyskanych z biomasy transgenicznej, o zredukowanej zawartości lignin.

Mimo niezbyt wysokiego udziału procentowego Habilitantki w omawianych publikacjach dotyczących fermentacji hydrolizatów lignocelulozowych uważam za cenną tę współpracę z innymi ośrodkami badawczymi, świadczącą jednocześnie o uznaniu kompetencji Habilitantki w zakresie bioprocessów przetwarzania biomasy lignocelulozowej.

Ocena całokształtu aktywności naukowej

Łączny dorobek naukowy dr inż. Ktarzyny Dąbkowskiej-Suszał wg danych zawartych w dokumentacji (Załącznik 4.) obejmuje łącznie 40 publikacji naukowych, w tym 2 rozdziały w monografiach; 32 prace zostały opublikowane po doktoracie. Według Habilitantki sumaryczny współczynnik wpływu IF osiągnięć naukowych wynosi 63,953, liczba cytowań 256 a indeks Hirscha 8 (wg bazy WoS), bez autocytowań wynoszą odpowiednio 233 i 7. A liczba punktów MNiSW = 1685.

Znaczna część z tych prac 27 (według bazy SCOPUS z dnia 21.01.2025) została opublikowana w czasopismach znajdujących się w bazie *Journal Citation Reports*. Indeks Hirscha wynosi aktualnie 8 a liczba cytowań 274.

Habilitantka uczestniczyła w 9 polskich projektach badawczych, pełniąc rolę kierownika w 5 projektach, a w pozostałych była wykonawcą.

W wykazie wystąpień Autorki na krajowych lub międzynarodowych konferencjach naukowych można odnotować 27 pozycji, w tym 11 prezentacji ustnych Kandydatki. W trzech konferencjach naukowych była członkiem komitetu naukowego bądź organizacyjnego.

Habilitantka odbyła 2 zagraniczne staże naukowe, jeden trzymiesięczny przed uzyskaniem stopnia doktora w Université Paris-Süd we Francji, Laboratoire de Chimie Bioorganique et Bioinorganique, Institut de Chimie Moléculaire et de Matériaux d'Orsay, a drugi

dwumiesięczny w Università della Calabria we Włoszech, Istituto per la Tecnologia delle Membrane - Consiglio Nazionale delle Ricerche.

Habilitantka wykonała 18 recenzji w większości (12) w czasopismach wydawanych przez MDPI.

Ocena dorobku w zakresie działalności organizacyjnej i dydaktycznej

Pani Dr inż. Katarzyna Dąbkowska-Suszał działalność dydaktyczną rozpoczęła już w 2003 r. w trakcie studiów doktoranckich. Prowadziła zajęcia laboratoryjne dla studentów kierunku inżynieria chemiczna i procesowa na macierzystym wydziale oraz na Wydziale Chemicznym (WCh) dla studentów kierunku biotechnologia. Po uzyskaniu stopnia doktora zakres prowadzonych przez nią przedmiotów obejmował także wykłady i zajęcia projektowe, przykładowo: *Podstawy biotechnologii, Biochemia, Procesy rozdzielania w biotechnologii, Techniki hodowli mikroorganizmów, Biorafinerie lignocelulozowe*. Ponadto prowadzi zajęcia z biochemii i w innych warszawskich uczelniach takich jak Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego i Uniwersytet Warszawski. Pełniła rolę promotora 32 prac magisterskich oraz 31 prac inżynierskich.

Działalność organizacyjna dr inż. Katarzyny Dąbkowskiej-Suszał nie ogranicza się do recenzji prac naukowych, w szczególności publikowanych w czasopismach międzynarodowych. Habilitantka, o czym wspominałem wcześniej, wykonała 12 takich recenzji w czasopismach z listy JCR. Podczas pracy na Wydziale Inżynierii Chemicznej i Procesowej pełniła lub nadal pełni następujące funkcje organizacyjne takie jak: Pełnomocnik Dziekana ds. systemu zapewniania jakości kształcenia - Członek Uczelnianej Rady ds. Jakości Kształcenia, Członek Rady Wydziału Inżynierii Chemicznej i Procesowej, Członek Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Chemiczna, Wydziałowy Społeczny Inspektor Pracy, Członek Zespołu ds. oceny ryzyka zawodowego i inne..

Za osiągnięcia w działalności naukowej i organizacyjnej Habilitantka otrzymała szereg nagród i wyróżnień, głównie JM Rektora Politechniki Warszawskiej.

Wniosek końcowy

W oparciu o dokonaną ocenę dorobku naukowego, w tym cyklu publikacji p.t. Metody intensyfikacji procesów (bio)przetwarzania biomasy lignocelulozowej, wskazanych przez

Kandydatkę jako główny element osiągnięć naukowych w związku z ubieganiem się o stopień doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, dyscyplinie inżynieria chemiczna, stwierdzam, że **dr inż. Katarzyna Dąbkowska-Suszał** spełnia wymagania stawiane kandydatom do stopnia doktora habilitowanego i wnioskuje o dopuszczenie Kandydatki do kolokwium habilitacyjnego.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Niedolowa'.