

Prof. dr hab. inż. Stefan Jan Kowalski, prof. zw.
Członek korespondent Polskiej Akademii Nauk
Politechnika Poznańska
Instytut Technologii i Inżynierii Chemicznej
Zakład Inżynierii Procesowej
ul. Berdychowo 4
60-965 Poznań

Poznań, 21.03.2017 r.

Recenzja

osiągnięć naukowo-badawczych, dydaktycznych i organizacyjnych
dr-a inż. Pawła Wawrzyniaka w związku z postępowaniem habilitacyjnym

1. Krótką prezentacją rozwoju zawodowego

Dr inż. Paweł Wawrzyniak ukończył studia wyższe w 1984 roku na Politechnice Łódzkiej w Instytucie Inżynierii Chemicznej uzyskując stopień magistra inżyniera z zakresu *inżynierii chemicznej*. Pracę dyplomową maderską pt. „*Rozwiązanie numeryczne modelu matematycznego suszenia w polu elektromagnetycznym*” wykonał w 1993 roku pod kierunkiem dr inż. Tadeusza Kudry. Stopień doktora nauk technicznych uzyskał w 1999 roku na Wydziale Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska Politechniki Łódzkiej na podstawie pracy doktorskiej pt. „*Efektywny współczynnik dyfuzji w niskotemperaturowym procesie wytwarzania aerożelu krzemionkowego*”. Promotorem tego doktoratu był prof. dr hab. inż. Czesław Strumiłło.

Po ukończeniu studiów magisterskich Paweł Wawrzyniak podjął w latach 1984 – 1993 pracę w Katedrze Procesów Ciepłych i Dyfuzyjnych na Wydziale Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska Politechniki Łódzkiej na stanowisku chemika, następnie w latach 1993 – 1999 jako asystent, a po doktoracie w latach 1999 – 2015 jako adiunkt, przy czym od 2015 roku – nadal jako adiunkt w Katedrze Inżynierii Środowiska i Zakładzie Procesów Ciepłych i Dyfuzyjnych na w/w Wydziale.

Po uzyskaniu stopnia doktora Paweł Wawrzyniak kontynuował badania z zakresu suszarnictwa podejmując zarówno teoretyczne jak aplikacyjne zagadnienia z tematyki poświęconej suszeniu rozpryskowemu w instalacjach przemysłowych. Jego osiągnięcia naukowe z tej tematyki, będące obecnie podstawą do wszczęcia i przeprowadzenia postępowania habilitacyjnego w zakresie nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria chemiczna, stanowi monotematyczny cykl 12 publikacji z w/w tematyki

2. Ocena merytoryczna wybranego cyklu prac w przewodzie habilitacyjnym

Przedstawiony dorobek naukowy d-ra inż. Pawła Wawrzyniaka w proponowanym przewodzie habilitacyjnym, zatytułowany „**Teoretyczna i eksperymentalna analiza pracy przemysłowych instalacji suszenia rozpryskowego**”, stanowi monotematyczny cykl 12 publikacji prezentowanych zarówno w czasopismach z zakresu suszarnictwa, jak również opublikowane referaty, prezentowane na kilku międzynarodowych konferencjach naukowych z zakresu suszarnictwa. Wymienić tu należy 5 publikacji tematycznych opublikowanych w czasopiśmie *Drying Technology* (IF =1,814), 1 publikacja w *Powder Technology* (IF =2,478) oraz 6 publikacji w materiałach konferencyjnych, czyli tzw. *Proceedings*. Suma punktów uzyskanych z publikacji w w/w czasopismach wynosi 180, a sumaryczny IF = 11,516.

Prezentowany wyżej cykl publikacji powstał w wyniku realizacji dwóch projektów badawczych zleconych przez uznanych producentów chemii gospodarczej takich jak: firma

Henkel GMBH, Dusseldorf (Niemcy) oraz firma Tetra Pack, Drachten (Holandia). W wyniku współpracy z w/w firmami zespół badaczy uzyskał dostęp do przemysłowych instalacji suszenia rozpryskowego, wskutek czego dokonano szczegółowej analizy pracy instalacji eksperymentalnej i uzyskano unikalny zestaw danych procesowych ilustrujących przeciwprądowy proces suszenia rozpryskowego w skali przemysłowej. Uzyskany zbiór danych procesowych został następnie wykorzystany do walidacji matematycznych modeli przepływu gazu oraz wymiany ciepła i masy.

Pierwszy z realizowanych projektów badawczych dotyczył modelowania dynamiki przepływu fazy ciągłej i wymiany ciepła, a drugi obejmował zagadnienia modelowania procesu wymiany masy, kinetyki suszenia i aglomeracji cząstek suszonego produktu. Kolejny temat w realizacji pierwszego projektu związany był z bezpieczeństwem procesowym, w tym z zagrożeniem eksplozją suszonego proszku oraz zabezpieczeniami niwelującymi skutki ewentualnego wybuchu. Metody doświadczalne realizowane dla firmy Henkel w Niemczech zostały z powodzeniem wykorzystane także w następnym projekcie badawczym realizowanym dla firmy Tetra Pack z Holandii.

Wykazane w punkcie 4.2 publikacje naukowe d-ra inż. Pawła Wawrzyniaka stanowią istotne osiągnięcia dotyczące energochłonnych procesów technologicznych mających znaczący udział w kosztach produkcji, której wartość dobowej produkcji może sięgać setek tysięcy złotych. Maksymalna wydajność zastosowanej aparatury wymagała jednakże wprowadzenia zmian konstrukcyjnych i koniecznej jej modyfikacji.

Suszenie rozpryskowe, współprądowe i przeciwprądowe, jest powszechnie stosowaną przemysłową techniką wytwarzania suchego produktu z roztworów, past lub zawiesin. Produkt zawierający znaczną ilość wilgoci jest rozpylany, a kontaktując się z gorącym gazem pozyskuje energię niezbędną do jej odparowania. Rozpylenie produktu za pomocą dysz lub dysku obrotowego zwiększa powierzchnię wymiany ciepła i masy, a podwyższenie temperatury i prędkości gazu wpływa na intensywność procesu.

W suszeniu współprądowym wilgotny surowiec przemieszcza się równolegle ze strumieniem powietrza o podwyższonej temperaturze, co pozwala na suszenie składników wrażliwych termicznie. Czas przebywania drobin produktu w strumieniu gazu jest stosunkowo wąski, a produkt finalny nie zawsze jest równomiernie wysuszony gdyż charakteryzuje się stosunkowo niskimi objętościowymi wskaźnikami odparowania wilgoci. Z kolei proces suszenia przeciwprądowego jest bardziej wydajny energetycznie. Jednakże model matematyczny tego procesu nie jest dokładnie sprawdzony pod względem eksperymentalnym, co utrudnia przewidywanie rezultatów, dokonywanie zmian konstrukcyjnych instalacji i ekstrapolację warunków prowadzenia tego procesu. Jednakże może on być stosowany do suszenia produktów o znacznej oporności energetycznej.

Dr inż. Paweł Wawrzyniak poświęcił większość swoich badań procesowi suszenia **przeciwprądowego**, w tym ocenie skutków zmian tej technologii suszenia i modyfikacji konstrukcji aparatury suszarniczej. Uznał, że w praktyce przemysłowej największe znaczenie ma kontrola jakości produktu decydująca o zyskach przedsiębiorstwa, a także uzyskanie wysokiej sprawności energetycznej suszenia od której zależą koszty eksploatacyjne procesu i monitorowanie bezpieczeństwa produkcji rozumiane jako ochrona załogi oraz samej instalacji i jakości produktu.

Badania suszenia rozpryskowego realizowane przez d-ra inż. Pawła Wawrzyniaka zostały zaprezentowane w w/w 12 pracach i obejmowały następujące zagadnienia:

- Analizę eksperymentalną przeciwprądowej przemysłowej suszarki rozpryskowej,
- Modelowanie CFD i analizę przepływu powietrza suszącego w przeciwprądowej przemysłowej suszarce rozpryskowej,

- Opracowanie jednofazowego modelu przeciwprądowego procesu suszenia rozpryskowego z odparowaniem wilgoci symulowanym za pomocą ujemnego źródła ciepła wewnętrznego opisanego funkcją doświadczalną,
- Opracowanie kinetycznego modelu procesu wymiany ciepła i masy w czasie procesu suszenia rozpryskowego w przeciwprądowej suszarce rozpryskowej,
- Opracowanie modelu suszenia rozpryskowego z aglomeracją cząstek suszonego produktu w aparacie przeciwprądowym,
- Analizę kontroli temperatury strefy zagrożonej przegrzewaniem w suszarce rozpryskowej za pomocą nawiewu chłodnego powietrza,
- Bezpieczeństwo przemysłowej instalacji suszenia rozpryskowego i analiza zagrożenia wybuchem.

Istotą wymienionych wyżej zagadnień była analiza techniki procesowej dotycząca suszenia rozpryskowego i zastosowanej modernizacji konstrukcji aparatury oraz urządzeń pracujących w warunkach przemysłowych. Ponadto, dr inż. Paweł Wawrzyniak jest świadomy że instalacje suszarnicze działające w przemyśle powinny być wyposażone w aparaturę służącą kontroli procesu, która jest niezbędna do skutecznego i bezpiecznego wytwarzania produktu. Zestaw aparatury rejestrującej parametry procesowe w przemyśle jest zwykle niewystarczający do opracowania pełnego bilansu energetycznego i masowego. Pomiary temperatury powietrza suszącego i prędkości jego przepływu są w warunkach przemysłowych trudne i często wymagają budowy specjalistycznych narzędzi, np. kamery termowizyjnej, mikroseparatora, miernika prędkości powietrza, itp.

Na podstawie zaprezentowanych przez dr inż. Pawła Wawrzyniaka badań dotyczących modelowania przeciwprądowego suszenia rozpryskowego prawidłowo przewidziano zachowanie się fazy ciągłej (tj. pola prędkości i temperatury), natomiast trudności sprawiało przewidywanie fazy rozproszonej, czyli rozkładu przestrzennego wysuszonego materiału. Najważniejszą przyczyną tych trudności były uproszczenia stosowane przy budowie modeli, takie jak rzeczywisty początkowy rozkład cząstek, masowe natężenia przepływu fazy rozproszonej w suszarce, czy też rzeczywista kinetyka odparowania wilgoci, które są w modelach pomijane bądź nadmiernie upraszczane (np. model suszenia z ujemnym źródłem ciepła, czy też wykorzystanie krzywej suszenia do opisu odparowania wilgoci z suszonego materiału).

Suszeniu rozpryskowemu towarzyszy zawsze aglomeracja kropeł/cząstek materiału wilgotnego, szczególnie w procesie przeciwprądowym. Dynamiczne zmiany kierunku przepływu powietrza prowadzą zwykle do segregacji cząstek, gdzie cięższe opadają a lżejsze są unoszone strumieniem powietrza i znajdują się ponownie w strefie atomizacji. Prowadzi to do aglomeracji cząstek suszonego materiału i zmiany rozkładu ich średnic, co ma wpływ na proces ich suszenia. W celu weryfikacji dokładności wyników obliczeń analizowano pięć parametrów procesu: temperaturę i zawartość wilgoci obu faz, oraz zmiany średniego wymiaru cząstek. Zawartość wilgoci w cząstkach zmniejszała się wraz z odległością od układu rozpylającego, by w niższej części suszarki osiągnąć wartości równowagowe. Jednocześnie obserwowano wzrost wilgotności powietrza w funkcji odległości od dyszy rozpylającej. Zbudowany został dokładny model aglomeracji w przeciwprądowym procesie suszenia rozpryskowego uwzględniający kinetykę suszenia, aerodynamiczną segregację cząstek, kurczenie się kropeł zawieszonych, wzrost porowatości, łączenie się rozpylanych kropeł i cząstek suszonego materiału.

Stwierdzono że złożony charakter przepływu powietrza i suszonych cząstek sprzyja intensywnemu odkładaniu się produktu na ścianach suszarek. Depozyty proszków na ścianach w pobliżu wlotów gorącego powietrza poddane są działaniu wysokiej temperatury, mogą więc ulec przegrzaniu, pirolizie lub zapłonowi. Zastosowanie lokalnego chłodzenia powietrzem w pobliżu zagrożonych przegrzaniem obszarów ścian suszarki może obniżyć ich temperaturę i umożliwić zwiększenie temperatury powietrza wlotowego oraz zwiększyć wydajność instalacji.

cji. Wprowadzenie powietrza suszącego stycznie po obwodzie suszarki indukuje powstanie wiru stabilizującego przepływ powietrza.

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono iż większość procesów suszenia w aparatach rozpryskowych prowadzi do powstawania pyłu, co oznacza że zazwyczaj instalacje suszenia rozpryskowego są zagrożone wybuchem. Podjęto więc próbę wykonania analizy zjawisk zachodzących w czasie wybuchu pyłu materiału suszonego w suszarce i oszacowanie dynamiki zmian pola ciśnienia powstającego w czasie eksplozji z zastosowaniem standardowego oprogramowania CFD. Pozwoliło to opracować metodykę postępowania pozwalającą na wiarygodne oszacowanie siły eksplozji i maksymalnego ciśnienia podczas ewentualnego wybuchu. W modelu CFD proces eksplozji suszonego pyłu zastąpiono wybuchem metanu o stężeniu dobranym tak, by główny wskaźnik siły eksplozji był identyczny dla pyłu i mieszaniny metanu z powietrzem. Eksperymenty wykonano zgodnie z zaleceniami normy EN14034 prezentującej metodykę badania parametrów wybuchowych. Obliczenia modelowe CFD (Ansys Fluent) eksplozji mieszaniny metanu w powietrzu w warunkach odpowiadającym przeprowadzonym eksperymentom wykazały bardzo dobrą zgodność wyników doświadczalnych z modelowymi.

Najważniejsze osiągnięcia d-ra inż. Pawła Wawrzyniaka w przedstawionym cyklu publikacji dotyczących teoretycznej i eksperymentalnej analizy pracy przemysłowych instalacji suszenia rozpryskowego są następujące:

- Zebranie danych eksploatacyjnych opisujących pracę przemysłowej instalacji suszenia rozpryskowego zawierającego mapy temperatur powietrza i prędkości fazy ciągłej w trakcie pracy instalacji,
- Opracowanie modelu CFD dla przepływu fazy ciągłej w procesie suszenia w przeciwprądowej suszarce rozpryskowej i zbudowanie modelu procesu suszenia rozpryskowego z ujemnym źródłem wewnętrznego ciepła zastosowanym do symulacji odparowania wilgoci umożliwiającego analizę pracy instalacji przemysłowej,
- Opracowanie modelu suszenia wykorzystującego charakterystyczną krzywą suszenia do modelowania procesu wymiany ciepła i masy oraz funkcję przejścia od rozkładu średnic rozpylanych kropeł do średnic cząstek produktu w procesie suszenia rozpryskowego w przeciwprądowej suszarce rozpryskowej,
- Współdział w opracowaniu pierwszego opublikowanego w literaturze modelu przeciwprądowego procesu suszenia rozpryskowego z eksperymentalnie zweryfikowanym mechanizmem aglomeracji,
- Określenie za pomocą modelu CFD procesu suszenia rozpryskowego oraz celowości zmian konstrukcyjnych w instalacji produkcyjnej,
- Zastosowanie typowego środowiska do modelowania CFD (Ansys Fluent) do analizy powstawania pola ciśnienia w czasie zapłonu i eksplozji pyłu w suszarce rozpryskowej oraz oceny możliwości redukcji maksymalnego ciśnienia.

3. Inna działalność związana z nauką i badaniami

Poza zestawem wyżej wymienionych 12 publikacji stanowiących podstawę przewodu habilitacyjnego zatytułowanego „**Teoretyczna i eksperymentalna analiza pracy przemysłowych instalacji suszenia rozpryskowego**” dr inż. Paweł Wawrzyniak realizował także inne badania naukowe, których wyniki były opublikowane w czasopismach znajdujących się w bazie *Journal Citation Reports (JRC)*. Wymienić tu należy 4 współautorskie publikacje przed doktoratem z uzyskaną sumą 140 punktów oraz $IF = 4,692$, oraz 13 współautorskich publikacji po doktoracie z uzyskaną sumą 140 punktów oraz $IF = 3,868$. Po uzyskaniu stopnia doktora Paweł Wawrzyniak współrealizował także oryginalne prace projektowe, konstrukcyj-

ne i technologiczne (razem 16 prac) dla różnych gałęzi przemysłu, głównie dla Cukrowni. Jego osiągnięciem naukowym w tym obszarze działalności jest udział w rozwoju i wdrożeniu rozwiązań technicznych i technologicznych wykorzystujących fluidyzację w procesie wymiany ciepła i masy podczas suszenia i chłodzenia materiałów ziarnistych. Brał udział w pracach zespołu, który opracował prototyp suszarki fluidalnej z pionowym mieszadłem ułatwiającym fluidyzację wilgotnego cukru. Przed uzyskaniem stopnia doktora brał udział w realizacji 8 wdrożeń do przemysłu, a po uzyskaniu stopnia doktora brał udział w projektowaniu, budowaniu i uruchamianiu ok. 20 instalacji suszarek, chłodziarek, mieszadeł. Brał udział w nadzorowaniu budowy instalacji, testach poszczególnych urządzeń i pierwszym uruchamianiu całej instalacji w warunkach rozpoczętej produkcji. Jego udział procentowy w przygotowaniu koncepcji technologicznej i projektów procesowych jest szacowany na ok. 30%.

Do osiągnięć naukowych dr-a inż. Pawła Wawrzyniaka należy też zaliczyć jego udział w realizacji projektów badawczych finansowanych ze środków budżetowych Komitetu Badań Naukowych. Przed doktoratem brał udział w 4 projektach badawczych, w tym jeden promotorski (wykonawca) i w 3 projektach jako główny wykonawca, a po uzyskaniu stopnia doktora realizował 2 projekty badawcze jako główny wykonawca. Brał też udział w realizacji 11 projektów badawczych zleczanych przez zakłady przemysłowe polskie i zagraniczne, w 3 projektach jako główny wykonawca, a w 8 projektach jako kierownik projektu. Ma też określony udział w 2 patentach krajowych i 1 patencie zagranicznym. Jest też współautorem 2 monografii wydanych zagranicą i współautorem jednej monografii polskiej.

4. Działalność dydaktyczna i organizacyjna

Działalność dydaktyczna:

W ramach prowadzonej działalności dydaktycznej dr inż. Paweł Wawrzyniak prowadził wykłady dotyczące 7 różnych tematów oraz ćwiczenia projektowe w 4 różnych tematach i ćwiczenia laboratoryjne w 4 różnych tematach.

Jego zasługą jest opracowanie treści prowadzonych przedmiotów. Był pomysłodawcą i współtwórcą laboratorium dydaktycznego nt. „Wentylacja i klimatyzacja” w ramach programu kształcenia na Wydziale Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska Politechniki Łódzkiej.

Był promotorem 53 prac dyplomowych magisterskich i inżynierskich z zakresu tematyki realizowanej w swojej pracy naukowo-badawczej. Od 2010 roku regularnie uczestniczył jako ekspert w seminariach dla studentów i doktorantów organizowanych przez Baltic University Program, Uppsala, Szwecja (PhD Student Conference 2013, 2014, 2015, 2016; Rogów).

Był też recenzentem pracy doktorskiej nt. „*Intensification of Mass Transfer Processes by means of Power Ultrasound. Application to Convective Drying and Supercritical Extraction*” prezentowanej 1 grudnia 2014 roku w Universitat de les Illes Balears przez Oscar Alberto Rodriguez Barragan.

Działalność organizacyjna

Dr inż. Paweł Wawrzyniak jest od początku Jego pobytu na Uczelni aktywnym pracownikiem Wydziału Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska Politechniki Łódzkiej pod względem udziału w czynnościach organizacyjnych. Wymienić tu należy Jego działalność jako:

- Członek Senatu Politechniki Łódzkiej w latach 2008 – 2012,
- Zastępca przewodniczącego komitetu organizacyjnego konferencji
Polish Drying Symposium, Lodz, September 14 – 16, 2009,

- Zastępca przewodniczącego komitetu organizacyjnego konferencji *Nord Baltic Drying Conference, Gdańsk, June 174 – 19, 2015,*
- Zastępca przewodniczącego komitetu organizacyjnego konferencji *Ogólnopolska Konferencja Inżynierii Chemicznej I Procesowej, Spala, wrzesień 6 – 9 2016,*
- Członek Wydziałowej Komisji Wyborczej, 2016.

Warto też wspomnieć że za swoją działalność naukowo-badawczą, jako członek zespołu badawczego, dr inż. Paweł Wawrzyniak był sześciokrotnie nagradzany nagrodami, w tym: Nagrodą Ministra (1999) i pięciokrotnie Nagrodą Rektora Politechniki Łódzkiej, w tym czterokrotnie za najwartościowsze wdrożenie do przemysłu.

5. Wniosek końcowy

Z podsumowania dorobku naukowo-badawczego, dydaktycznego i organizacyjnego dr-a inż. Pawła Wawrzyniaka wynika, że:

- sumaryczny *impact factor*, według bazy *Journal Citation Reports (JCR)* zgodnie z rokiem opublikowania, wynosi $IF = 20,414$,
- liczba cytowani Jego publikacji według bazy *Web of Science* wynosi 57,
- łączny dorobek naukowy, zgodnie z kryteriami MNiSW wynosi 544 pkt.,
- indeks Hirscha według bazy *Web of Science* wynosi $h = 5$

Powyższe dane są potwierdzeniem znaczącego dorobku naukowo-badawczego, dydaktycznego i organizacyjnego dr-a inż. Pawła Wawrzyniaka w Jego działalności na Wydziale Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska Politechnice Łódzkiej. Wykaz tego dorobku oraz przedstawione dane świadczą, że dr inż. Paweł Wawrzyniak legitymuje się znaczącymi osiągnięciami w Jego pracy na tej Uczelni. Zestawiona powyżej działalność naukowo-badawcza, dydaktyczna i wdrożeniowa pozwala mi stwierdzić, że posiada On dorobek naukowy mogący być podstawą do wszczęcia postępowania kwalifikacyjnego w sprawie nadania Mu stopnia doktora habilitowanego.

Stefan J. Kowalski