ZAŁĄCZNIK 3

do wniosku o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego z obszaru dziedziny nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie naukowej inżynieria chemiczna

Autoreferat

wraz z opisem cyklu powiązanych tematycznie publikacji pod wspólnym tytułem

Wieloaspektowe badania doświadczalne i modelowanie mieszanych mechanicznie układów niejednorodnych

stanowiący podstawę do wszczęcia postępowania habilitacyjnego

dr inż. Marta Major-Godlewska

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

Szczecin 2020

Spis treści

1. Imię i nazwisko 3

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.....3

3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych.....3

3.1. Działalność naukowo-badawcza przed uzyskaniem stopnia doktora nauk technicznych.....5

3.2. Działalność naukowo-badawcza po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych.....9

3.3. Podsumowanie działalności naukowo-badawczej.....15

4 . Informacja o osiągnięciach naukowych albo artystycznych, o których mowa w art. 219 ust. 1. Pkt 2 ustawy 17

4.1. Wykaz publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe w postępowaniu habilitacyjnym..17

4.2. Opis osiągnięcia naukowego będącego podstawą wniosku habilitacyjnego.....19

5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.....39

6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę.....39

6.1. Charakterystyka działalności dydaktycznej.....39

6.2. Charakterystyka działalności organizacyjnej.....42

6.3. Charakterystyka działalności popularyzacyjnej.....43

7. Oprócz kwestii wymienionych w pkt. 1-6, wnioskodawca może podać inne informacje, ważne z jego punktu widzenia, dotyczące jego kariery zawodowej.....44

7.1. Nagrody i odznaczenia 44

Zał. 3a. Dyplom ukończenia Studium Doskonalenia Pedagogicznego

Zał. 3b. Zaświadczenie o odbyciu stażu w firmie FOSFAN S.A.

Zał. 3c. Certyfikat za promocje Uczelni

Zał 3d. Zaświadczenie -Medal Szczecińskiego Towarzystwa Naukowego

1. **IMIĘ I NAZWISKO:** Marta Major-Godlewska

Miejsce pracy: Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

Wydział Technologii i Inżynierii Chemicznej

Katedra Inżynierii Chemicznej i Procesowej

Adres: al. Piastów 42, 71-065 Szczecin

Nr telefonu: 91 449 42 43

Adres e-mail: mmajor@zut.edu.pl

Obecnie zajmowane stanowisko: adiunkt

2. POSIADANE DYPLOMY, STOPNIE NAUKOWE LUB ARTYSTYCZNE – Z PODANIEM PODMIOTU NADAJĄCEGO STOPIEŃ, ROKU ICH UZYSKANIA ORAZ TYTUŁU ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

2000.12.28 - doktor nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria chemiczna,
Wydział Technologii i Inżynierii Chemicznej Politechniki Szczecińskiej. Tytuł rozprawy doktorskiej: *Badania wnikania ciepła od pionowej wężownicy do cieczy pseudoplastycznej poddawanej mieszaniu w zbiorniku z mieszadłem obrotowym.* Promotor pracy: dr hab. inż. Joanna Karcz – prof. nadzw. PS.

1995.06.19 - magister inżynier, kierunek Inżynieria Chemiczna i Procesowa
Wydział Technologii i Inżynierii Chemicznej Politechniki Szczecińskiej, Tytuł pracy: *Badania wymiany ciepła dla wężownic.* Promotor pracy: dr hab. inż. Joanna Karcz

1992.06.23 - Dyplom ukończenia Studium Doskonalenia Pedagogicznego, Politechnika Szczecińska, w wyniku którego uzyskałam kwalifikacje pedagogiczne do pracy nauczycielskiej (zał. 3a).

3. INFORMACJA O DOTYCHCZASOWYM ZATRUDNIENIU W JEDNOSTKACH NAUKOWYCH LUB ARTYSTYCZNYCH

01.04.2001 – obecnie

Adiunkt w Katedrze Inżynierii Chemicznej i Procesowej, (wcześniej Instytut Inżynierii Chemicznej i Procesów Ochrony Środowiska, Zakład Inżynierii Chemicznej i Procesów Reaktorowych) Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie (wcześniej Politechniki Szczecińskiej),

01.10.1995 – 31.03.2001

Asystent w Instytucie Inżynierii Chemicznej i Procesów Ochrony Środowiska (wcześniej Instytut Inżynierii Chemicznej i Chemii Fizycznej) Politechniki Szczecińskiej,

1.04.1995 – 30.06.1995

powierzenie pełnienia obowiązków asystenta stażysty w Zakładzie Inżynierii i Aparatury Chemicznej Instytutu Inżynierii Chemicznej i Chemii Fizycznej Politechniki Szczecińskiej

23.08.2005 - 14.12.2009

przerwa w aktywności zawodowej związana z długotrwałym zwolnieniem lekarskim, urlopem macierzyński, urlopem wychowawczym

23.08.2005 - 26.07.2006 - przerwa w aktywności zawodowej związana z długotrwałym zwolnieniem lekarskim, urlop macierzyński
15.11.2006 - 30.09.2007, 01.11.2007-14.12.2009 - urlop wychowawczy

19 czerwca 1995 roku ukończyłam z oceną bardzo dobrą studia na kierunku Inżynieria Chemiczna i Procesowa na Wydziale Technologii i Inżynierii Chemicznej Politechniki Szczecińskiej. Dyplom magistra inżyniera uzyskałam na podstawie pracy pt. *Badania wymiany ciepła dla wężownic*, wykonanej pod kierunkiem dr hab. inż. Joanny Karcz i zrecenzowanej przez prof. zw. dr hab. inż. Fryderyka Stręka. Ponadto podczas studiów, **23.06.1992 roku** ukończyłam trzysemestralne Studium Doskonalenia Pedagogicznego, uzyskując uprawnienia do pracy pedagogicznej. Stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria chemiczna uzyskałam **28.12.2000** roku na podstawie rozprawy doktorskiej pt. *Badania wnikania ciepła od pionowej wężownicy do cieczy pseudoplastycznej poddawanej mieszaniu w zbiorniku z mieszadłem obrotowym*, której promotorem była dr hab. inż. Joanna Karcz – prof. nadzw. PS, a recenzentami - prof. dr hab. inż. Andrzej Heim oraz dr hab. inż. Stanisław Masiuk – prof. nadzw. PS.

W okresie **22-29.10.1999 roku** w ramach programu TEMPUS (program 3STEPS nr JEP-30198) odbyłam staż na Uniwersytecie w Kalmar (Szwecja). W okresie od **01.08.2018 do 31.10.2018 roku** odbyłam trzymiesięczny staż przemysłowy w firmie FOSFAN S.A. (71-820 Szczecin, ul. Nad Odrą 44/65) (zał. 3b).

1 kwietnia 1995 roku, jeszcze jako studentce, zostały mi powierzone obowiązki asystenta stażysty w ówczesnym Zakładzie Inżynierii i Aparatury Chemicznej Instytutu Inżynierii Chemicznej i Chemii Fizycznej Politechniki Szczecińskiej (umowa zlecenie na okres 1.04-30.06.1995), a następnie zostałam zatrudniona jako nauczyciel akademicki na pełnym etacie na stanowisku asystenta (**od 1.10.1995 do 31.03.2001 roku**), a od **1.04.2001 roku** do chwili obecnej na stanowisku adiunkta naukowo – dydaktycznego (aktualnie

w Katedrze Inżynierii Chemicznej i Procesowej Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie kierowanej przez prof. dr hab. inż. Rafała Rakoczego).

W okresie po uzyskaniu stopnia naukowego doktora miałam około 48-miesięczną przerwę w aktywności zawodowej spowodowaną długotrwałym zwolnieniem lekarskim i urlopem macierzyńskim (**23.08.2005 - 26.07.2006**) oraz urlopem wychowawczym (**15.11.2006 - 30.09.2007, 01.11.2007 - 14.12.2009**). Jestem mężatką i matką dwojga dzieci, syna (14 lat) i córki (12 lat).

Moje zainteresowania naukowe ogniskują się głównie na wieloaspektowych badaniach procesów przenoszenia pędu i ciepła w jedno- i wielofazowych układach mieszanych mechanicznie w aparatach z mieszadłem (lub mieszadłami) o różnych parametrach geometrycznych. Było to możliwe już w momencie podjęcia pracy w Zakładzie Inżynierii i Aparatury Chemicznej, kierowanym przez prof. zw. dra hab. inż. Fryderyka Stręka (później przez prof. dr hab. inż. Joannę Karcz), w którym miałam możliwość realizowania badań w bardzo dobrze wyposażonym w aparaturę Laboratorium Mieszania, cieszącym się renomą w kraju i zagranicą z racji osiągnięć naukowych zespołu pracowników zajmujących się zagadnieniami teorii i praktyki mieszania w zbiornikach z mieszadłami.

3.1 Działalność naukowo-badawcza przed uzyskaniem stopnia doktora nauk technicznych

Moje pierwsze badania, prowadzone bezpośrednio po podjęciu pracy w Zakładzie Inżynierii i Aparatury Chemicznej w październiku 1995 roku i realizowane pod kierunkiem prof. Joanny Karcz, poświęcone były doświadczalnej ocenie mocy mieszania w zakresie ruchu burzliwego dla cieczy niutonowskiej mieszanej w wielkolaboratoryjnym mieszalniku zaopatrzonym w niestandardowe krótkie przegrody płaskie i mieszadło szybkoobrotowe. Przegrody są montowane w zbiorniku po to, aby usunąć niekorzystny efekt powstawania centralnego leja, wpływającego na obniżenie skuteczności mieszania. Jednak obecność przegród w aparacie wpływa na znaczące zwiększenie mocy mieszania. Standardowo stosowane są cztery, pionowe, płaskie przegrody o pełnej długości ($L = H$, gdzie H oznacza wysokość słupa płynu w zbiorniku). Obecność w mieszalniku przegród krótszych wiązałaby się z mniejszymi nakładami energetycznymi, a jednocześnie takie przegrody spełniałyby swoją rolę przeciwdziałania powstawaniu leja w zbiorniku. Uzasadnione było zatem podjęcie badań mających na celu określenie wpływu długości L przegrody krótkiej (o długości L mniejszej niż długość standardowa H i umieszczonej w odległości p od płaskiego dna

zbiornika, gdzie $L + p = H$) na moc mieszania w mieszalniku wyposażonym w mieszadło szybkoobrotowe (turbinowe Rushtona lub Smitha (CD 6), turbinowe z trzema łopatkami pochylonymi pod kątem β lub mieszadło śmigłowe). Badania mocy mieszania przeprowadzałam metodą tensometryczną w zbiorniku wielkolaboratoryjnym o średnicy wewnętrznej $D = 0.6$ m, zaopatrzonym w cztery pionowe przegrody krótkie. Testowane były różne ustawienia w mieszalniku takich przegród (położenia: $p/H = 0$; $p/H = 0.17$; $p/H = 0.33$; $p/H = 0.5$; $p/H = 0.67$; $p/H = 1$). Na podstawie danych eksperymentalnych zostały opracowane charakterystyki mocy $Ne = f(Re)$ dla różnych konfiguracji pionowa przegroda krótka – mieszadło oraz równania opisujące wpływ parametru geometrycznego p/H na liczbę mocy Ne ($Ne = f(p/H)$). Otrzymane wyniki nie miały odpowiednika w dotychczasowej literaturze przedmiotu, dotyczyły mieszalnika o dużej objętości (skala wielkolaboratoryjna, objętość cieczy około 0,2 m^3). Zostały opublikowane we współautorskich pracach: jednym artykule angielskojęzycznym z listy filadelfijskiej [B1] (według wykazu zamieszczonego w załączniku 4) oraz przedstawione na konferencji zagranicznej [B9].

Program badań mocy mieszania został następnie rozszerzony o prace związane z wytwarzaniem układu ciecz – cząstki ciała stałego w mieszalniku z krótkimi płaskimi przegrodami. Wyniki tych badań zostały przedstawione we współautorskich pracach: jednym artykule w języku polskim [B2] i jednym materiale konferencji krajowej [B12]. Badania te [B10] zaowocowały między innymi **współpracą z zespołem prof. Frantiska Riegera i dra Tomasa Jirouta z Politechniki w Pradze (CVUT, Ceskie Vysokie Ucenie Technickie w Praze).**

Kontynuując badania mocy mieszania w zbiorniku z mieszadłem, płaskie przegrody krótkie zastąpiłam pionowymi przegrodami rurowymi. Prace związane z pionowymi przegrodami rurowymi wykonywane były w ramach grantu KBN 3 T09C 011 12, którym kierowała prof. J. Karcz, a ja brałam w nim udział jako członek zespołu badawczego. Idea tego programu badawczego wynikała z faktu, że odpowiednio skonfigurowane elementy rurowe, oprócz roli przegród, mogą pełnić funkcję pionowej wężownicy rurowej jako powierzchni wymiany ciepła w mieszalniku. Badania eksperymentalne wykonywałam w zbiorniku wielkolaboratoryjnym o średnicy wewnętrznej $D = 0.6$ m i wysokości napełnienia cieczą $H = D$. Pomiary przeprowadziłam dla cieczy nieniutonowskiej, rozrzedzanej ścinaniem (pseudoplastycznej): wodnego roztworu soli sodowej karboksymetylocelulozy (CMC). Przetestowałam różne konfiguracje przegród rurowych z zastosowaniem mieszadła turbinowego Rushtona, turbinowego Smitha, turbinowego o różnym kącie pochylenia łopatek β: 30°, 45°, 60°, 90° i liczbie łopatek $Z = 6$, turbinowego

$\beta = 45$, $Z = 3$ oraz śmigłowego. Ze względu na specyfikę roztworu jednocześnie wykonywałam badania właściwości reologicznych roztworu przy użyciu reotestu HAAKE RT10, a charakter ruchu cieczy w mieszalniku określałam posiłkując się definicją liczby Reynoldsa $Re = n^{2-m}d^2\rho/kB^{m-1}$. Na podstawie badań uzyskałam wyniki dla 180 różnych konfiguracji przegroda rurowa – mieszadło w zakresie przejściowego przepływu cieczy w zbiorniku. Stwierdziłam, że liczba mocy *Ne* istotnie zależy od rodzaju konfiguracji przegroda rurowa – mieszadło. Na wartość liczby mocy wpływ ma także odległość przegrody rurowej od ściany zbiornika, gdy do mieszania zastosuje się mieszadło generujące promieniową cyrkulację cieczy. Zwiększenie prześwitu pomiędzy przegrodą a ścianką mieszalnika powoduje uzyskanie mniejszych wartości liczby mocy *Ne*. W przypadku mieszadeł wykazujących osiową cyrkulację cieczy takiego wpływu nie zaobserwowałam. Największe wartości liczby mocy *Ne* uzyskałam dla układu, w którym do mieszania zastosowałam mieszadło turbinowe Rushtona. Na podstawie przeprowadzonych pomiarów otrzymałam charakterystyki mocy $Ne = f(Re)$ dla testowanych układów mieszadło – przegrody rurowe. Wyniki tych badań zostały opublikowane we współautorskich pracach na dwóch konferencjach zagranicznych [B6; B8] oraz krajowych [B11; B13].

Niezależnie od pomiarów mocy mieszania w zbiornikach o niestandardowej geometrii, drugi ważny wątek badawczy w mojej pracy naukowej w latach 1995 - 2000 stanowiły doświadczalne studia nad wymianą ciepła w mieszalniku, zainicjowane już w pracy magisterskiej, a docelowo ukierunkowane na tematykę mojego doktoratu. W rozprawie doktorskiej pt. *Badania wnikania ciepła od pionowej wężownicy do cieczy pseudoplastycznej poddawanej mieszaniu w zbiorniku z mieszadłem obrotowym* [A1] przedstawiłam wyniki badań wnikania ciepła w zbiorniku z mieszadłem oraz pionową wężownicą rurową. Częściowo te badania były wykonywane jako zadanie w projekcie badawczym (grant KBN-3T09C 011 12). Elementy nowości w tych badaniach stanowiły: niekonwencjonalny rodzaj powierzchni wymiany ciepła w postaci pionowej wężownicy rurowej o rurkach skonfigurowanych w różny sposób, duża skala mieszalnika oraz rodzaj mieszanej cieczy (nienewtonowska ciecz rozrzedzana ścinaniem).

Badania intensywności wnikania ciepła wykonywałam w zakresie przejściowym przepływu cieczy pseudoplastycznej (wodny roztwór CMC) w mieszalniku o średnicy wewnętrznej $D = 0.6$ m, napełnionym cieczą do wysokości $H = D$. Badania wykonywałam dla różnych konfiguracji wężownica pionowa - mieszadło szybkoobrotowe. Przebadałam sześć wężownic o średnicy podziałowej D_w, liczbie J rur o danej średnicy zewnętrznej B, rozmieszczonych pojedynczo lub ustawionych w blokach po obwodzie zbiornika. Pomiary

termiczne (współczynnika wnikania ciepła) wykonałam dla różnych typów mieszadeł szybkoobrotowych, wywołujących promieniowo – osiową lub osiową cyrkulację cieczy w zbiorniku. Zastosowałam 7 różnych rodzajów mieszadeł: turbinowe Rushtona, turbinowe o łopatkach (Z = 6) pochylonych pod kątem 45°, śmigłowe, turbinowe o łopatkach (Z = 3) pochylonych pod kątem 45°, a także mieszadła o zmodyfikowanej konstrukcji łopatek tj.: mieszadło turbinowe tarczowe o łopatkach zakrzywionych (mieszadło Smitha, CD 6), mieszadło A 315 z czterema łopatkami (Z = 4), lub mieszadło HE 3 o liczbie łopatek równej Z = 3. Mieszadła A 315 oraz HE 3 charakteryzowały się większą niż standardowa średnicą (d = 0.5D), pozostałe mieszadła miały średnicę d = 0.3D. W wyniku badań procesu wnikania ciepła wykonywanych metodą pomiaru ustalonego otrzymałam zbiór średnich wartości współczynnika wnikania ciepła dla 6 różnych konfiguracji wężownicy pionowej i 7 różnych mieszadeł. Wyniki badań umożliwiły określenie, która z konfiguracji zapewnia największą intensywność wnikania ciepła. Dysponując doświadczalnymi wynikami badań mocy mieszania dla testowanych w pracy układów wężownica – mieszadło, układy przeanalizowałam także pod kątem efektywności wnikania ciepła. Dodatkowo, w celu ilościowej oceny na ile uwzględnienie dodatkowej powierzchni grzejnej jaką jest płaszcz wpłynie na zwiększenie intensywności wnikania ciepła, przeprowadziłam pomiary metodą nieustaloną dla wybranych konfiguracji wężownica – mieszadło. Wyniki z zakresu tej tematyki zostały opublikowane we współautorskich materiałach z konferencji: zagranicznych [B4; B7] oraz krajowej [B14].

Oprócz eksperymentalnych studiów nad mocą mieszania i procesem wymiany ciepła w mieszalnikach, prowadziłam także badania wpływu usytuowania dystrybutora na zawartość gazu zatrzymanego w cieczy w reaktorze typu air-lift z wewnętrzną cyrkulacją. Analizę prowadziłam na podstawie otrzymanych 10 serii wyników pomiarów średniego udziału gazu zatrzymanego w cieczy dla dwóch różnych cieczy i trzech dystrybutorów gazu umieszczonych w różnych pozycjach względem dna aparatu. Wyniki zostały opublikowane we współautorskiej pracy [B3].

Wyniki badań uzyskane w okresie przed uzyskaniem stopnia doktora opublikowałam we współautorskich artykułach: jednym z bazy *Journal Citation Reports* [B1] oraz dwóch [B2; B3] w recenzowanych *Pracach Naukowych Inżynierii Chemicznej i Procesowej Politechniki Warszawskiej*. Uzyskane wyniki dwunastokrotnie były prezentowane na konferencjach międzynarodowych (siedmiokrotnie, [B4-B10]) oraz krajowych (pięciokrotnie, [B11-B14; B2]).

3.2 Działalność naukowo-badawcza po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych

Po uzyskaniu stopnia doktora (28.12.2000 r.), awansowałam na stanowisko adiunkta (01.04.2001 r.) w kierowanym przez prof. Joannę Karcz Zakładzie Inżynierii Chemicznej i Procesów Reaktorowych na Wydziale Technologii i Inżynierii Chemicznej Politechniki Szczecińskiej (obecnie Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie).

W latach 2001 – 2004 rozwijałam tematykę badawczą związaną z wymianą ciepła w mieszalniku zaopatrzonym w pionową rurową wężownicę, analizując ilościowo intensywność i efektywność procesu wnikania ciepła w zakresie przejściowego i turbulentnego ruchu płynu nieniutonowskiego (wodne roztwory CMC) i niutonowskiego w aparacie. W tym celu korzystałam z bardzo obszernego zbioru danych eksperymentalnych średniego (globalnego) współczynnika wnikania ciepła oraz mocy mieszania, otrzymanych przeze mnie i członków zespołu badawczego - współautorów publikacji. W porównaniu z oceną intensywności wnikania ciepła ocena efektywności wymaga dodatkowo znajomości nakładów energetycznych na osiągnięcie określonego efektu technologicznego (np. określonej temperatury mieszania w aparacie). Uzyskane wyniki badań intensywności i efektywności wnikania ciepła w mieszalniku z pionową wężownicą rurową i mieszadłem opublikowałam we współautorskich pracach: dwóch artykułach w czasopiśmie z bazy *Journal Citation Reports* [D5-D6], dwóch artykułach w recenzowanym czasopiśmie krajowym [D13-D14] oraz przedstawiłam na dwóch konferencjach międzynarodowych [D15-D16].

Tematykę badań wymiany ciepła w mieszalniku z pionową wężownicą rurową i mieszadłem kontynuowałam w latach 2010 – 2017. Oprócz określenia wpływu różnych czynników na globalne wartości współczynnika wnikania ciepła [D8] prowadziłam badania w celu identyfikacji osiowych (z/H) i kątowych ($\varphi/2\pi$) rozkładów tego współczynnika w obszarze przyściennym pionowego wkładu grzewczego zabudowanego w mieszalniku o średnicy wewnętrznej D = 0.3 m [D10]. Badania lokalnych wartości współczynnika wnikania ciepła α_l przeprowadziłam metodą elektrochemiczną w mieszalniku, w którym wkład grzewczy stanowiły 24 pojedyncze rury pionowe rozmieszczone w mieszalniku po obwodzie o średnicy podziałowej $D_w = 0.7D$. Uzyskane wyniki badań dla zbiornika z pionową wężownicą rurową i mieszadłem turbinowym Rushtona lub mieszadłem A 315 opisałam równaniem [D10]:

$$Nu = \frac{\alpha_l D}{\lambda} = C\left(\frac{\varphi}{2\pi}, \frac{z}{H}\right) Re^A Pr^{0.33} = C_o Re^A Pr^{0.33} f\left(\frac{\varphi}{2\pi}, \frac{z}{H}\right) \tag{3.1}$$

$$f\left(\frac{\varphi}{2\pi},\frac{z}{H}\right)=\left[b_1\left(\frac{z}{H}\right)+1\right]\left[b_2\left(\frac{\varphi}{2\pi}\right)+1\right]exp\left[b_3\left(\frac{z}{H}\right)^2+b_4\left(\frac{z}{H}\right)+1\right]x$$

$$exp\left[b_5\left(\frac{\varphi}{2\pi}\right)^2+b_6\left(\frac{\varphi}{2\pi}\right)+1\right] \tag{3.1a}$$

z odpowiednimi wartościami C_o, A oraz b_i słusznymi dla danego typu mieszadła i zakresu zmiennych bezwymiarowych (z/H, $\varphi/2\pi$) oraz liczby Reynoldsa Re w zakresie burzliwego przepływu cieczy w mieszalniku. Na podstawie zaproponowanego równania (3.1), nie mającego odpowiednika w literaturze przedmiotu, można określić rozkłady współczynnika wnikania ciepła w obszarze przyściennym pionowego elementu rurowego w zbiorniku z mieszadłem turbinowym Rushtona lub mieszadłem A 315 i zidentyfikować strefy największej i najmniejszej intensywności wnikania ciepła w mieszalniku z pionową wężownicą rurową, w zależności od rodzaju cyrkulacji generowanej przez mieszadło. Znajomość lokalnych współczynników wnikania ciepła na powierzchni wymiany ciepła jest bardzo cenna, gdyż dostarcza znacznie więcej informacji o przebiegu procesu niż pojedyncza wartość średniego współczynnika wnikania ciepła charakteryzująca cały aparat. Jeszcze głębszą interpretację przebiegu lokalnej wymiany ciepła umożliwia jednoczesna znajomość wymiany pędu i ciepła w obszarze przyściennym powierzchni grzejnej. Stanowiło to przesłankę do podjęcia doświadczalnych badań w tym kierunku [D12, D9, D25, D23].

W tej serii badań mierzyłam rozkłady współczynnika oporu f oraz bezwymiarowej szybkości ścinania γ/n (n – częstość obrotów mieszadła) na powierzchni rurowego elementu pionowej wężownicy umieszczonej w mieszalniku [D12, D9]. Badania wykonywałam metodą elektrochemiczną w mieszalniku o średnicy wewnętrznej D = 0.3 m, wyposażonym w dwadzieścia cztery pionowe przegrody rurowe, które były rozmieszczone po obwodzie mieszalnika o średnicy podziałowej $D_w = 0.7D$ [D12] lub zgrupowane w sześć bloków po cztery rurki w bloku [D9]. Do mieszania cieczy modelowej, którą był roztwór elektrolitu H_2O-NaOH-$K_4Fe(CN)_6$-$K_3Fe(CN)_6$ stosowałam mieszadło turbinowe Rushtona lub mieszadło A 315. Na podstawie obszernej serii pomiarów prądu dyfuzyjnego I_d na powierzchni rurowej przegrody tworzącej element pionowej wężownicy obliczałam wg równań podanych przez Wichterle i wsp. [1984, 1985] lokalne wartości współczynnika oporu f oraz wartości szybkości ścinania γ/n. Efektem badań przeprowadzonych w zakresie burzliwego ($Re \in$ $<2.8\cdot10^4;\ 6.7\cdot10^4>$) przepływu cieczy w mieszalniku było wykazanie, że bezwymiarowa

szybkość ścinania γ/n oraz współczynnik oporu f istotnie zależą od miejsca pomiaru (współrzędnej osiowej z/H oraz kątowej φ) na powierzchni przegrody rurowej oraz od typu użytego mieszadła, a w szczególności od cyrkulacji jaką to mieszadło wywołuje.

Uzyskane wieloletnie doświadczenie w prowadzeniu badań związanych z tematyką wymiany ciepła posłużyło mi do napisania współautorskiego rozdziału w monografii angielskojęzycznej [D1], w którym analizowany był proces wymiany ciepła w mieszalniku pod kątem aspektów praktycznych i biorąc pod uwagę różne systemy grzewcze/chłodzące oraz płyny o różnych właściwościach reologicznych. Udowodniono na podstawie obszernych wyników doświadczalnych, że silny wpływ na intensywność wymiany ciepła ma geometria układu zbiornik – mieszadło – przegrody, a ze względu na niezbędne nakłady energetyczne, nie wystarcza ograniczać się do oceny intensywności wnikania ciepła, a powinno brać się pod uwagę efektywność wnikania ciepła w mieszalniku.

W tym okresie zajmowałam się również tematyką mocy mieszania w mieszalniku wyposażonym w mieszadła różnego typu oraz w niekonwencjonalne przegrody: pionowe, płaskie o niepełnej długości (krótkie, D3) lub pionowe, rurowe [D4]. Skoncentrowałam się na ilościowym określeniu wpływu parametrów geometrycznych takich przegród na liczbę mocy w różnych zestawach mieszadło – przegrody. W obu seriach badań pomiary mocy mieszania były wykonane w mieszalniku o średnicy wewnętrznej $D = 0.6$ m. W zbiorniku z przegrodami krótkimi, zaopatrzonym w mieszadło turbinowe z sześcioma łopatkami pochylonymi pod kątem β, mieszano ciecz niutonowską w zakresie burzliwego przepływu płynu. W zbiorniku z przegrodami rurowymi i mieszadłem (turbinowym Rushtona lub Smitha (CD 6), turbinowym z łopatkami pochylonymi pod kątem β, lub śmigłowym) mieszano ciecz nieniutonowską (pseudoplastyczną, wodny roztwór CMC) w zakresie przejściowego przepływu płynu. Do opracowania wpływu geometrii przegród rurowych na moc mieszania częściowo wykorzystałam charakterystyki mocy z prac [B8] oraz [B13]. Wyniki badań wpływu geometrii przegród na liczbę mocy dla różnych konfiguracji przegrody – mieszadło w zbiorniku wielkolaboratoryjnym, przedstawione zostały w postaci równań, nie mających odpowiednika w literaturze przedmiotu, w dwóch współautorskich artykułach w czasopiśmie z bazy *Journal Citation Reports* [D3, D4]. Zamieszczone w tych pracach równania, mające zastosowanie do celów projektowych mieszalników, opisują:

- wpływ odległości płaskiej przegrody krótkiej od dna zbiornika (parametru p/H) na liczbę mocy w zbiorniku z mieszadłem turbinowym z sześcioma łopatkami pochylonymi pod kątem β wynoszącym, 30, 45, 60 lub 90^0 [D3],

- wpływ konfiguracji pionowych przegród rurowych (scharakteryzowany przez liczbę rurek J, oraz średnicę podziałową rur w mieszalniku (parametr D_w/D)) na liczbę mocy Ne w zbiorniku zaopatrzonym w jedno z testowanych mieszadeł szybkoobrotowych [D4].

W związku z wieloletnimi badaniami prowadzonymi z udziałem płynów nieniutonowskich zajmowałam się również zagadnieniami dotyczącymi reologii płynów. Opiekuję się merytorycznie dostępną w zespole badawczym aparaturą do pomiarów reologicznych (reometr HAAKE RT 10, zespoły wiskozymetrów i lepkościomierzy). Wyniki pomiarów i ocena właściwości reologicznych płynów, w których brałam udział, zostały opublikowane w dwóch współautorskich artykułach [D2, D7] w czasopismach z bazy *Journal Citation Reports* oraz zaprezentowane na konferencji zagranicznej [D17] i Polskim Kongresie Reologii [D26]. W pracy [D7] doświadczalnie oszacowałam wpływ rodzaju pożywki (sacharozy oraz miodu) i jej stężenia c na zmienność w czasie t właściwości reologicznych wodnych zawiesin drożdży piekarskich o różnym stężeniu X. Efektem wymiernym badań był opis matematyczny umożliwiający wyznaczenie indeksu płynięcia n oraz stałej konsystencji k równania Ostwalda de Waele uwzględniających stężenie X wodnych zawiesin drożdży piekarskich, a także uwzględniających rodzaj pożywki i jej stężenie c oraz zmienność w czasie t.

W kolejnym, obszernym programie badawczym, realizowanym przeze mnie w okresie po uzyskaniu doktoratu, zajmowałam się doświadczalnymi badaniami procesów transportowych w mieszanych mechanicznie układach dwu- i trójfazowych w mieszalnikach z przegrodami, wyposażonych w różne typy mieszadeł.

Badania rozpoczęłam od układu dwufazowego ciecz - gaz mieszanego mechanicznie w zbiorniku z mieszadłem i pionowymi przegrodami rurowymi. Wymiernym efektem tych badań było określenie obszarów dobrego rozpraszania gazu w cieczy w zbiorniku wielkolaboratoryjnym o średnicy wewnętrznej D = 0.634 m, wyznaczenie wartości udziału gazu zatrzymanego w cieczy oraz charakterystyk mocy mieszania w układach dwufazowych ciecz – gaz. Badania prowadzone były z zastosowaniem różnych cieczy niutonowskich jako fazy ciągłej. Do badań użyto roztwory wykazujące różne zdolności do koalescencji pęcherzyków gazu. Ciecz mieszano jednym [H5, H4, H12, H11] lub dwoma mieszadłami [H7, D22] umieszczonymi na wale. W badaniach zastosowano różne rodzaje mieszadeł: mieszadło A 315 o dwóch różnych średnicach $d = 0.33D$ lub $d = 0.5D$ [H5], sześciołopatkowe mieszadło turbinowe o kącie pochylenia łopatki $\beta = 90^o$, 60°, 45°, o średnicy $d = 0.33D$ [H4], mieszadło Rushtona oraz Smitha (CD6) [H12, H11]. Uzyskane z badań wartości mocy

mieszania umożliwiły opisanie równaniem względnego zapotrzebowania mocy mieszania P_g/P_o = f(Kg, Fr) w pracach [H4, H12], czy tej wielkości w funkcji liczby przepływu gazu Kg, liczby Froude`a Fr oraz stosunku średnic d/D w pracy [H5]. Uzyskane wyniki doświadczalne były prezentowane na dwóch konferencjach zagranicznych [D20, D19] jako prace współautorskie i dwóch konferencjach krajowych [D24, D22] oraz opublikowane w pięciu artykułach [H5, H4, H7, H12, H11], w tym, w trzech współautorskich [H5, H4, H7] w czasopismach z bazy *Journal Citation Reports*.

Kolejne badania w układzie dwufazowym, dotyczyły układu ciecz – cząstki ciała stałego i obejmowały wytwarzanie zawiesiny w mieszalniku [H10, H8]. Pomiary zawiesiny wykonano w mieszalniku skali półtechnicznej o średnicy D i wysokości napełnienia H równej $D = H = 0.634$ m [H10, H8]. Do mieszania użyto trzech różnych mieszadeł: turbinowego Rushtona, turbinowego Smitha (CD 6) oraz mieszadła A 315. Mieszadło A 315 stosowane w badaniach charakteryzowało się dwoma różnymi średnicami $d = 0.33D$ oraz $d = 0.5D$. Fazę rozproszoną w badaniach stanowiły cząstki piasku morskiego o średniej średnicy d_z z zakresu <212 μm; 425 μm> i stężeniu X z zakresu <0.5% wag; 1.5 % wag.> [H10]. Badania w układzie dwufazowym ciecz - cząstki ciała stałego miały również na celu określenie wpływu rodzaju przegród (pionowe przegrody rurowe, standardowe przegrody płaskie) na powstawanie takiego układu dwufazowego w mieszalniku. Badania prowadzone były dla różnych stężeń cząstek piasku morskiego w zakresie $X \in$ <0.5; 2.5> % mas. o średniej średnicy zastępczej cząstki równej d_z = 335 μm [H8]. Na podstawie uzyskanych z eksperymentu wartości krytycznej częstości obrotów mieszadła n_{kr} określiłam krytyczne wartości liczby Froude`a Fr_{kr} oraz jednostkowej mocy mieszania ε_{kr} na podstawie pomiarów mocy w układzie ciecz-ciało stałe [H10, H8].

Mając doświadczenie w badaniach z zastosowaniem układów dwufazowych ciecz - gaz oraz ciecz - ciało stałe wykonałam badania doświadczalne, w których badałam hydrodynamikę układu trójfazowego ciecz - gaz - ciało stałe wytwarzanego w mieszalniku o objętości roboczej V = 0.2 m^3. Mieszadłami użytymi w badaniach były: mieszadło turbinowe Rushtona oraz mieszadło A 315. Oba mieszadła charakteryzowała ta sama średnica $d = 0.33D$. Badania przeprowadzone zostały w zakresie burzliwego przepływu płynu w mieszalniku ($2.2 \times 10^5 < Re < 3.7 \times 10^5$). Fazą rozproszoną było powietrze, którego natężenie przepływu zmieniałam w zakresie 5.56×10^{-4} m^3/s < V_G < 22.22×10^{-4} m^3/s oraz cząstki piasku morskiego o średnicy d_z = 335 μm zmieniającej się w zakresie stężeń do 3 % mas. Na podstawie wyników uzyskanych z badań doświadczalnych określiłam

objętościowy udział gazu zatrzymanego w cieczy φ, moc mieszania, czas przebywania t_R gazu w układzie trójfazowym ciecz – gaz – ciało stałe wytworzonym w mieszalniku wyposażonym w pionowe przegrody rurowe i mieszadło. Wyniki zostały opublikowane we współautorskim artykule [H3] w czasopiśmie z bazy *Journal Citation Reports* oraz prezentowane były na konferencji zagranicznej [D18].

Kolejne, realizowane przez mnie badania związane były z układami ciecz – ciecz i dotyczyły wytwarzania emulsji wielokrotnych. Emulsje wytwarzałam, stosując emulgator naturalny – lecytynę, zaliczaną do grupy emulgatorów amfoterycznych. We wstępnych badaniach do powstania emulsji użyłam mieszadło magnetyczne, stosując dwuetapową metodę wytwarzania [H9]. W kolejnym kroku emulsję wytwarzałam jednoetapowo w mieszalniku o średnicy wewnętrznej D = 0.1 m i wysokości słupa cieczy $H = 0.5D$, wyposażonym w cztery przegrody płaskie oraz mieszadło turbinowe Smitha (CD 6) o średnicy $d = 0.33D$. Określałam charakter oraz rozmiar kropel powstałej emulsji oraz wpływ procesu starzenia na jej właściwości. Obserwowałam, czy i jakie występują zmiany struktury, w tym rozmiarów kropel wewnętrznej fazy olejowej oraz właściwości reologicznych w czasie wytwarzania emulsji wielokrotnej [H9, H2, H1]. Uzyskane z badań dane wielkości średnic kropel wewnętrznej fazy olejowej posłużyły mi do określenia średniej średnicy zastępczej d_a kropel, mediany d_m oraz średnicy Sautera d_{32}. Wyznaczone charakterystyki reologiczne umożliwiły opisanie uzyskanych danych za pomocą modelu Herschela-Bulkley`a [H2, H1] lub Binghama [H1]. Wyniki przedstawiłam w dwóch jednoautorskich artykułach z bazy *Journal Citation Reports* [H2, H1] oraz w jednym recenzowanym artykule w czasopiśmie krajowym [H9].

Uzyskane w układach niejednorodnych dane eksperymentalne posłużyły do przygotowania sumarycznie 12 publikacji, a ponadto materiał ten był prezentowany na 5 konferencjach. Szczegółowy zakres prac dotyczący mieszanych mechanicznie układów niejednorodnych oraz uzyskane wyniki przedstawiłam w punkcie 4 stanowiącym podstawę wniosku habilitacyjnego.

W okresie po uzyskaniu stopnia naukowego doktora nie ograniczałam się tylko do badań wykonywanych w mieszalniku zaopatrzonym w różne typy mieszadeł i przegród. Moje zainteresowania skierowałam także w stronę nowszych rozwiązań reaktorów kolumnowych, a konkretnie w kierunku reaktora typu air-lift [D11]. Podjęte przeze mnie badania miały na celu określenie objętościowego udziału φ gazu zatrzymanego w układach wykazujących i nie wykazujących zdolności do koalescencji pęcherzyków gazu w reaktorze air-lift z cyrkulacją

wewnętrzną lub odwróconą. Uzyskane wyniki badań dla reaktora air-lift z wewnętrzną i odwróconą cyrkulacją cieczy opracowałam w postacie zależności $\varphi = f\{[(w_{og}\eta)/\sigma], Mo]\}$.

3.3 Podsumowanie działalności naukowo-badawczej

Podsumowując, moja działalność naukowa po uzyskaniu stopnia doktora obejmuje następujące wątki badawcze, do których zaliczam:

1. Tematykę badawczą związaną z wymianą ciepła w mieszalniku zaopatrzonym w pionową wężownicę rurową.
2. Badania rozkładu współczynnika oporu f oraz bezwymiarowej szybkości ścinania γ/n na powierzchni rurowego elementu pionowej wężownicy umieszczonej w mieszalniku.
3. Badania wpływu różnych czynników na moc mieszania w mieszalniku wyposażonym w mieszadła różnego typu oraz w niekonwencjonalne przegrody pionowe: płaskie o niepełnej długości (krótkie) lub rurowe.
4. Badania eksperymentalne i modelowanie właściwości reologicznych płynów nieniutonowskich.
5. Badania procesów transportowych w mieszanych mechanicznie układach dwu- i trójfazowych w mieszalnikach z przegrodami, wyposażonych w różne typy mieszadeł
6. Badania ukierunkowane na nowsze rozwiązania reaktorów kolumnowych, a konkretnie reaktorów typu air-lift, związane z ilościową oceną procesów transportowych w takich aparatach.

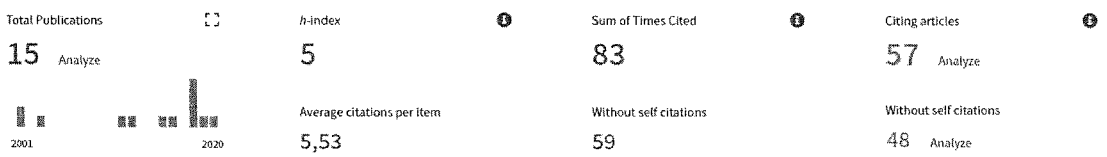
W syntetycznej formie mój dorobek naukowy uwzględniający prace przed oraz po uzyskaniu stopnia doktora obejmuje **53** publikacji, w tym rozprawę doktorską, **1** rozdział w monografii, **14** publikacji uwzględnionych w bazie *Journal Citation Reports*, **14** publikacji w recenzowanych czasopismach naukowych znajdujących się na liści Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego oraz **20** publikacji w międzynarodowych **(13)** i krajowych **(7)** pełnotekstowych materiałach konferencyjnych oraz **3** komunikatach na konferencjach krajowych. Zestawienie dorobku naukowego z podziałem na okres przed i po uzyskaniu stopnia doktora, w tym liczby opublikowanych prac – **50** plus **3** komunikaty, liczby punktów za publikacje – sumarycznie **364**, sumaryczna wartość wskaźnika IF – **14.84** dla wszystkich publikacji przedstawiłam w tabeli 3.1.

Tabela 3.1. Zestawienie prac naukowych opublikowanych przed oraz po uzyskaniu stopnia doktora

		Ogółem w latach 1995 - 2020	Ogółem w latach 1995 – 2000 (przed doktoratem)	Ogółem w latach 2001 – 2020 (po obronie pracy doktorskiej)
Rozprawy		1	1	-
Rozdział w monografii		1	-	1
Publikacje z bazy JCR		14	1	13
Publikacje spoza bazy JCR		14	2	12
Sumaryczny IF z roku publikacji		14.84	-	14.84
Sumaryczna liczba punktów z roku publikacji		364	24	340
Pełnotekstowe materiały konferencyjne	Zagraniczne	13	7	6
	Krajowe	7	4	3
Komunikaty na konferencjach		3	-	3
Patenty		-	-	-
Liczba wykonanych recenzji manuskryptów		5	-	5

Mój dorobek po uzyskaniu stopnia doktora obejmuje **38** prac, w tym **1** rozdział w monografii, **13** prac uwzględnionych w bazie *Journal Citation Reports*, **12** prac w recenzowanych czasopismach naukowych znajdujących się w wykazie Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego, **9** pełnotekstowych materiałów konferencyjnych (**6** - zagranicznych, **3** – krajowe) oraz **3** komunikaty. Sumaryczna liczba punktów dla tych publikacji wynosi **340**, liczba punktów po uwzględnieniu mojego udziału procentowego wynosi **235.42**, natomiast wartość współczynnika IF = **8.772**.

Na podstawie danych bibliograficznych z bazy *Web of Science* z dnia 12.10.2020r. prace były cytowane **83** razy oraz bez autocytowań **59. Indeks Hirscha** według bazy Web of Science (z dnia 12.10.2020 r.) **wynosi h = 5**



12.10.2020r.

Bibliografia cytowana w punkcie 3.2

1. Wichterle K., Kadlec M., Zak L., Mitschka P., 1984, Shear rates on turbine impeller blades. Chem. Eng. Commun., 26, 25-32. DOI: 10.1080/00986448408940200
2. Wichterle K., Zak L., Mitschka P., 1985, Shear stresses on the wall of agitated vessel. Chem. Eng. Commun., 32, 289-305. DOI: 10.1080/00986448508911652

4. INFORMACJA O OSIĄGNIĘCIACH NAUKOWYCH ALBO ARTYSTYCZNYCH, O KTÓRYCH MOWA W ART. 219 UST. 1. PKT 2 USTAWY

Za osiągnięcie naukowe, które wykazuję jako podstawę wniosku o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego z obszaru dziedziny nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie naukowej inżynieria chemiczna, uważam cykl 12 publikacji powiązanych tematycznie pod wspólnym tytułem

Wieloaspektowe badania doświadczalne i modelowanie mieszanych mechanicznie układów niejednorodnych

Wyniki badań dotyczące osiągnięcia habilitacyjnego zostały przedstawione w **12** pracach, w tym w **7** artykułach naukowych w czasopismach z bazy *Journal Citation Reports* oraz w **5** artykułach naukowych opublikowanych w czasopismach recenzowanych. W punkcie 4.1 zamieściłam szczegółowy wykaz wszystkich prac przedstawionych jako osiągnięcie naukowe w postępowaniu habilitacyjnym. Oświadczenia współautorów dotyczące ich udziału w powstaniu wspólnych publikacji zamieszczone zostały w załączniku nr 5. Kopie 12 prac przedstawionych jako osiągnięcie w postępowaniu habilitacyjnym zamieściłam w załączniku nr 6.

4.1. Wykaz publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe w postępowaniu habilitacyjnym

Wykaz opublikowanych artykułów w czasopismach uwzględnionych w bazie Journal Citation Reports (JCR)

[H1] Major-Godlewska M.: The influence of stirring time and frequency of impeller rotation on evaluation of drops dimensions and rheological of the multiple emulsion. *Chemical Papers*, 2020, 74, 9, 3135-3143; DOI:10.1007/s11696-020-01146-w
$IF_{2019} = 1.68$ MNiSW (2020) = 40 pkt

W tej pracy byłam autorem koncepcji badań, wykonałam badania, przeprowadziłam analizę i interpretację wyników, napisałam publikację. Mój udział procentowy 100 %.

[H2] Major-Godlewska M.: Evaluation of drops dimensions in time and rheological properties of the multiple emulsion. *Chemical Papers*, 2019, 73, 8, 2073-2080; DOI:10.1007/s11696-019-00754-5
$IF_{2019} = 1.68$ MNiSW (2019) = 40 pkt

W tej pracy byłam autorem koncepcji badań, wykonałam badania, przeprowadziłam analizę i interpretację wyników, napisałam publikację. Mój udział procentowy 100 %.

[H3] Major-Godlewska M., Karcz J.: Agitation of a gas-solid-liquid system in a vessel with high-speed impeller and vertical tubular coil. *Chemical Papers*, 2012, 66, 6, 566-573;
$IF_{2012} = 0.879$ MNiSW (2012) = 20 pkt

W tej pracy byłam autorem koncepcji badań, wykonałam badania, przeprowadziłam analizę i interpretację wyników, udział w napisaniu publikacji. Mój udział procentowy 80 %.

[H4] Major-Godlewska M., Karcz J.: Process characteristics for a gas-liquid system agitated in a vessel equipped with a turbine impeller and tubular baffles. *Chemical Papers*, 2011, 65, 2, 132-138;
$IF_{2011} = 1.096$ MNiSW (2011) = 20 pkt

W tej pracy byłam autorem koncepcji badań, wykonałam badania, przeprowadziłam analizę i interpretację wyników, udział w napisaniu publikacji. Mój udział procentowy 70 %.

[H5] Major-Godlewska M., Karcz J.: Gas hold – up and power consumption for gas – liquid system agitated in a stirred tank equipped with vertical coil. *Chemical Papers*, 2003, 57, 6, 432-437
$IF_{2003} = 0.226$ MNiSW (2003) = 8 pkt

W tej pracy byłam autorem koncepcji badań, wykonałam badania, przeprowadziłam analizę i interpretację wyników, udział w napisaniu publikacji. Mój udział procentowy 70 %.

[H6] Cudak M., Kiełbus-Rąpała A., Major-Godlewska M., Karcz J.: Influence of different factors on momentum transfer in mechanical agitated multiphase system. *Chemical and Process Engineering*, 2016, 37 (1), 41-53, DOI: 10.1515/cpe-2016-0005
$IF_{2016} = 0.971$ MNiSW (2016) = 15 pkt

W tej pracy byłam współautorem koncepcji pracy, udział w wykonywaniu badań i przygotowaniu publikacji. Mój udział procentowy 25 %.

[H7] Major-Godlewska M., Radecki D.: Experimental analysis of gas hold-up for gas - liquid system agitated in a vessel equipped with two impellers and vertical tubular baffles. *Polish Journal of Chemical Technology*, 2018, 20, 1, 7-12. DOI: 10.2478/pjct-2018-0002
$IF_{2018} = 1.02$ MNiSW (2018) = 15 pkt

W tej pracy byłam autorem koncepcji badań, wykonywałam badania, przeprowadziłam analizę i interpretację wyników, napisałam publikację. Mój udział procentowy 95 %.

Wykaz opublikowanych artykułów w innych recenzowanych czasopismach naukowych nie uwzględnionych w JCR (z uwzględnieniem czasopism z listy MNiSW)

[H8] Major-Godlewska M., Kiełbus-Rąpała A.: Wpływ rodzaju przegród na wytwarzanie zawiesiny w mieszalniku skali półtechnicznej. *Inżynieria i Aparatura Chemiczna,* 2017, 56, 2, 43-44
MNiSW (2017) = 7 pkt

W tej pracy byłam współautorem koncepcji badań, miałam udział w wykonaniu badań i analizie wyników oraz przygotowaniu publikacji. Mój udział procentowy 50 %.

[H9] Major-Godlewska M., Draus P.: Wytwarzanie emulsji wielokrotnej z zastosowaniem emulgatora naturalnego. *Inżynieria i Aparatura Chemiczna,* 2015, 6, 336-337
MNiSW (2015) = 7 pkt

W tej pracy byłam autorem koncepcji badań, miałam udział w badaniach, przeprowadziłam analizę i interpretację wyników, napisałam publikację. Mój udział procentowy 70 %.

[H10] Major-Godlewska M.: Wytwarzanie zawiesiny w zbiorniku z pionowymi przegrodami rurowymi i mieszadłem szybkoobrotowym. *Inżynieria i Aparatura Chemiczna,* 2012, 6, 350-351
MNiSW (2012) = 5 pkt

W tej pracy byłam autorem koncepcji badań, wykonałam badania, przeprowadziłam analizę i interpretację wyników, napisałam publikację. Mój udział procentowy 100 %.

[H11] Major-Godlewska M.: Zawartość gazu w cieczy w zbiorniku wielkolaboratoryjnym z mieszadłem i pionowymi przegrodami rurowymi. *Inżynieria i Aparatura Chemiczna,* 2011, 4, 20-21
MNiSW (2011) = 5 pkt

W tej pracy byłam autorem koncepcji badań, wykonałam badania, przeprowadziłam analizę i interpretację wyników, napisałam publikację. Mój udział procentowy 100 %.

[H12] Major-Godlewska M.: Doświadczalne badania zawartości gazu w cieczy i mocy mieszania w mieszalniku z wężownicą pionową. *Inżynieria i Aparatura Chemiczna,* 2003, 5S, 125-127
MNiSW (2003) = 4 pkt

W tej pracy byłam autorem koncepcji badań, wykonałam badania, przeprowadziłam analizę i interpretację wyników, napisałam publikację. Mój udział procentowy 100 %.

4.2. Opis osiągnięcia naukowego będącego podstawą wniosku habilitacyjnego

Ilościowy opis procesów transportowych przebiegających w mieszanych mechanicznie układach niejednorodnych, dwu- lub trójfazowych jest znacznie bardziej złożony niż w przypadku układu jednofazowego, fazy ciekłej, ze względu na wpływ na taki proces obecności fazy rozproszonej (pęcherzyków gazu, cząstek ciała stałego lub/i kropel

cieczy). Ten wpływ musi być uwzględniony w opisie ilościowym procesów w takich układach. Ponadto, w tym opisie niezwykle ważne jest wzięcie pod uwagę konstrukcji i skali mieszalnika, w którym układ niejednorodny jest wytwarzany, ponieważ nakłady energetyczne na mieszanie znacząco zależą od geometrii mieszalnika. Układ niejednorodny (o zadanych parametrach technologicznych) powinien być wytworzony przy możliwie najmniejszej energii mechanicznej przekazanej przez mieszadło. Biorąc pod uwagę różnorodność rozwiązań konstrukcyjnych zbiorników z mieszadłami i powszechność operacji mieszania układów niejednorodnych w wielu technologiach, niezwykle ważna jest znajomość ilościowego wpływu różnych czynników:

- operacyjnych (np. częstości obrotów mieszadła, natężenia przepływu gazu)
- fizycznych płynu (np. właściwości reologicznych fazy ciągłej (ciekłej), zdolności do koalescencji pęcherzy gazu w układzie ciecz – gaz; stężenia cząstek ciała stałego w układzie ciecz – ciało stałe lub stężenia cieczy rozpraszanej w układzie dwóch nie mieszających się cieczy)
- rodzaju i parametrów geometrycznych mieszadła (mieszadeł) i przegród zainstalowanych w mieszalniku

na charakterystyki procesowe mieszanego mechanicznie układu niejednorodnego.

Ogólnie mówiąc, wiedzę na ten temat można uzyskać na podstawie analizy teoretycznej problemu, symulacji numerycznych, a przede wszystkim badań doświadczalnych. Systematyczne badania eksperymentalne mają szczególne znaczenie w przypadku analizy procesów transportowych przebiegających w aparatach o niekonwencjonalnych konstrukcjach, dla których brak jest w literaturze przedmiotu podstawowych danych, niezbędnych do oceny jakości procesu.

Moją pracę naukową po uzyskaniu stopnia doktora rozpoczęłam właśnie badaniami, dotyczącymi charakterystyk procesowych dla układów niejednorodnych, mieszanych mechanicznie w zbiorniku z mieszadłem i pionowymi przegrodami rurowymi. Moje wcześniejsze badania wymiany ciepła dla cieczy, wykonane przed uzyskaniem stopnia naukowego doktora wykazały, że takie rozwiązanie konstrukcyjne mieszalnika, zaopatrzonego w niekonwencjonalną pionową wężownicę, można brać pod uwagę w przypadku wytwarzania układów niejednorodnych, w których należy utrzymywać zadaną temperaturę procesu i w których powinna być zapewniona łagodniejsza cyrkulacja płynu niż, na przykład w standardowym oprzegrodowanym mieszalniku z mieszadłem turbinowym Rushtona. Znajomość takich charakterystyk procesowych jest istotna ze względu na dużą potencjalną możliwość aplikacji tej konstrukcji mieszalnika, cechującej się

niekonwencjonalnym rozwiązaniem powierzchni wymiany ciepła w postaci pionowych rurowych elementów pełniących jednocześnie rolę niestandardowych przegród, w różnych procesach (na przykład w przemysłach: spożywczym, farmaceutycznym, kosmetycznym lub chemicznym). Przesłankę do podjęcia badań procesu mieszania układów dwu- i trójfazowych w mieszalniku wielkolaboratoryjnym z przegrodami rurowymi stanowił brak ilościowych danych dla takich układów. Znajomość takich danych byłaby bardzo przydatna do oceny przebiegu procesów mieszania w różnych technologiach stosowanych we wspomnianych wyżej przemysłach.

Z mieszanymi mechanicznie układami wielofazowymi wiąże się szereg problemów badawczych, w tym związanych z warunkami rozpraszania gazu, cząstek ciała stałego (lub kropel cieczy) w cieczy oraz strukturą powstałego układu niejednorodnego. Biorąc pod uwagę te okoliczności przeprowadziłam doświadczalne badania procesów transportowych dla mieszanych mechanicznie układów dwu- i trójfazowych w aparatach zaopatrzonych w różne typy mieszadeł.

W pierwszym etapie badałam układ dwufazowy ciecz - gaz mieszany mechanicznie w wielkolaboratoryjnym zbiorniku o średnicy wewnętrznej D = 0.634 m i wysokości słupa cieczy H = 0.634 m. Zbiornik był wyposażony w pionowe przegrody rurowe i mieszadło A 315 [H5] o średnicy $d = 0.33D$ lub $d = 0.5D$. Mieszadło to charakteryzuje się dużą powierzchnią czterech łopatek i może być stosowane w wielu procesach (w tym bioprocesach) wymagających utrzymania łagodnych warunków mieszania (niskich wartości naprężenia ścinającego). Pionowe przegrody składały się z dwudziestu czterech rur o średnicy zewnętrznej $B = 0.016D$ każdej z nich rozmieszczonych w mieszalniku równomiernie po okręgu o średnicy podziałowej $D_p = 0.7D$. Wybór takiego rozmieszczenia przegród był podyktowany wcześniejszymi wynikami badań, w których wykazano, że taki układ geometryczny jest korzystną kombinacją dla procesu wymiany ciepła zachodzącego w czasie mieszania fazy ciekłej. W tej serii badań [H5] pomiary mocy mieszania metodą tensometryczną i udziału gazu zatrzymanego w cieczy zostały przeprowadzone dla cieczy niutonowskiej (wody destylowanej jako rozpuszczalnika i wodnych roztworów elektrolitu) jako fazy ciekłej oraz powietrza jako fazy gazowej w zakresie burzliwego przepływu płynu w mieszalniku. Dobór takiego rodzaju fazy ciekłej umożliwił ocenę wpływu zdolności do koalescencji pęcherzyków gazu na udział gazu zatrzymanego w cieczy.

Na podstawie wykonanych pomiarów [H5] zidentyfikowano strefy słabej i dobrej dyspersji gazu dla obu mieszadeł A 315 ($d = 0.33D$ lub $0.5D$) w postaci map przepływu dwufazowego, ilustrujących związek między częstością obrotów mieszadła n oraz natężeniem

przepływu gazu V_g. Określono charakterystyki mocy dla cieczy $Ne = f(Re)$, które wykazały niezależność liczby mocy Ne od liczby Reynoldsa Re, w zakresie przeprowadzonych testów, ($Re \in <5x10^4; 1.7x10^5>$ oraz $Re \in <8x10^4; 3.3x10^5>$ dla układu geometrycznego z mieszadłem A 315 o średnicach, odpowiednio, $d = 0.33D$ lub $d = 0.5D$. Wyznaczono dla obu układów średnie wartości liczby mocy dla cieczy Ne, które wyniosły $Ne = 1.24$ (dla $d = 0.33D$) oraz $Ne = 1.44$ (dla $d = 0.5D$).

Na podstawie uzyskanych z pomiarów danych mocy mieszania dla cieczy P_o oraz układu ciecz – gaz P_g możliwe było określenie względnych charakterystyk mocy P_g/P_o w postaci zależności $P_g/P_o = f(Kg, Fr, d/D)$ dla mieszalnika z pionowymi rurowymi przegrodami i mieszadłem A 315 o średnicy $d = 0.33D$ oraz $d = 0.5D$ [H5]

$$\frac{P_g}{P_o} = 0.1 + \frac{0.9}{1 + \left[191.6 - 97.7\left(\frac{d}{D}\right)\right] Kg^{\left[3.43 - 4.35\left(\frac{d}{D}\right)\right]}} + \left[2.35\left(\frac{d}{D}\right) - 0.237\right]\sqrt{\frac{Kg}{Fr}} \tag{4.1}$$

słusznego w zakresie $Kg \in <3.55 \times 10^{-2}; 9.7x10^{-2}>$; $Fr \in <0.24; 0.49>$ dla mieszadła A 315 o średnicy $d = 0.33D$ oraz $Kg \in <4.55 \times 10^{-3}; 3.76x10^{-2}>$; $Fr \in <0.09; 0.48>$ dla mieszadła o średnicy $d = 0.5D$.

Wyznaczone eksperymentalnie wartości udziału φ gazu zatrzymanego w cieczy dla mieszalnika z mieszadłem A 315 o średnicy $d = 0.33D$ zostały przedstawione w postaci bezwymiarowej zależności typu $\varphi = (Kg, We)$, natomiast do opisu wyników dla mieszadła o średnicy $d = 0.5D$ zaproponowano bezwymiarowe równanie [H5]

$$\varphi = 9.768 \cdot 10^{-4} Kg^{0.36} We^{0.65} exp[-0.0183(1 - Y^2)] \tag{4.2}$$

W równaniu (2) parametr Y, zdefiniowany przez Machonia i wsp. [1978] jako funkcja napięcia powierzchniowego σ i stężenia c elektrolitu, ujmuje wpływ zdolności pęcherzyków gazu do koalescencji i przyjmuje wartość 1 dla układu wykazującego zdolność do koalescencji pęcherzyków gazu (układ woda destylowana - powietrze) oraz $Y > 1$ dla układów o obniżonej zdolności do koalescencji (im większe stężenie elektrolitu, tym większa wartość Y).

Zaproponowane w artykule [H5] równania (4.1) oraz (4.2) nie mają odpowiednika w dostępnej literaturze przedmiotu. Równanie (4.1) opisuje moc mieszania dla układów ciecz niutonowska – gaz w zbiorniku z pionowymi przegrodami rurowymi oraz mieszadłem A 315 i uwzględnia wpływ liczby przepływu gazu *Kg*, liczby Froude'a *Fr* oraz średnicy mieszadła *d* na względną moc mieszania P_g/P_o. Równanie (4.2) opisuje wpływ liczby przepływu gazu *Kg*, liczby Webera *We* oraz zdolność

do koalescencji pęcherzyków gazu (parametr *Y*) na udział gazu zatrzymanego w cieczy dla mieszalnika z pionowymi przegrodami rurowymi i mieszadłem A 315 o średnicy *d* = 0.5*D*.

Oprócz mieszadła A 315, do grupy mieszadeł o nowszej konstrukcji należy mieszadło CD 6 (turbinowe tarczowe Smitha), rekomendowane w literaturze do mieszania układów ciecz – gaz. Mieszadło to różni się od standardowego mieszadła turbinowego tarczowego Rushtona tym, że ma sześć zakrzywionych łopatek. W kolejnej serii badań przeprowadziłam więc pomiary dla takich układów mieszanych za pomocą mieszadła CD 6 w mieszalniku wielkolaboratoryjnym z pionowymi przegrodami rurowymi o parametrach geometrycznych identycznych jak w pracy [H5] i porównałam je z wynikami doświadczalnymi otrzymanymi dla mieszadła turbinowego tarczowego Rushtona. Przeprowadzone przeze mnie badania miały na celu określenie obszarów dobrego rozpraszania gazu w cieczy w mieszalniku z mieszadłem turbinowym Smitha [H12], mocy mieszania w układzie ciecz – gaz [H12] oraz udziału gazu zatrzymanego w cieczy [H12, H11]. Na podstawie zidentyfikowanych doświadczalnie obszarów o różnej intensywności rozpraszania gazu w cieczy niutonowskiej (wodzie destylowanej) wyznaczyłam mapę przepływu dwufazowego w postaci zależności $V_g = f(n)$ dla mieszadła CD 6 i stwierdziłam, że występują jedynie niewielkie różnice w obszarach w porównaniu z danymi dla mieszadła Rushtona. Charakterystyki mocy $P_g/P_o = f(Kg, Fr)$ dla mieszalnika o średnicy wewnętrznej D = 0.634 m, zaopatrzonego w pionowe rurowe przegrody ((J = 24; B = 0.016D; D_p = 0.7D) i mieszadło Smitha (CD 6) lub Rushtona opracowałam w postaci następujących równań [H12]

dla mieszadła CD 6

$$\frac{P_g}{P_o} = 0.2 + \frac{0.8}{1+284.8Kg^{2.38}} + 0.437\frac{\sqrt{Kg}}{Fr} \tag{4.3}$$

dla mieszadła Rushtona

$$\frac{P_g}{P_o} = 0.05 + \frac{0.95}{1+198.6Kg^{1.67}} + 0.435\frac{\sqrt{Kg}}{Fr} \tag{4.4}$$

Wyniki badań udziału φ gazu zatrzymanego w cieczy dla układu ciecz niutonowska (wodny roztwór elektrolitu) – powietrze opisałam następującymi równaniami [H11]

dla mieszadła CD 6

$$\varphi = 2.22 \cdot 10^{-4} Kg^{0.51} We^{0.88} exp[2.49 \cdot 10^{-2}(1 - Y^2)] \tag{4.5}$$

dla mieszadła Rushtona

$$\varphi = 6.19 \cdot 10^{-4} Kg^{0.31} We^{0.67} exp[-5.28 \cdot 10^{-3}(1 - Y^2)] \tag{4.6}$$

Z zamieszczonych w pracach [H12 oraz H11] rezultatów badań wynika, że zarówno mieszadło CD 6 jak i mieszadło Rushtona bardzo dobrze rozprasza gaz w cieczy. Jednak wyższe wartości względnej mocy mieszania P_g/P_o i udziału φ gazu zatrzymanego w cieczy cechują mieszalnik z mieszadłem CD 6 (Smitha). **Równania (4.3 – 4.6) nie mają odpowiednika w literaturze przedmiotu.**

Mieszadła turbinowe tarczowe generują promieniowo – osiową cyrkulację płynu w mieszalniku. Usunięcie tarczy i pochylenie łopatek mieszadła powoduje modyfikację przepływu płynu w mieszalniku, wzrasta składowa osiowa prędkości i w związku z tym dominuje cyrkulacja osiowo – promieniowa. W kolejnej serii badań [H4] został zbadany eksperymentalnie wpływ pochylenia kąta łopatki mieszadła turbinowego (PBT) na charakterystyki mocy, zawartość fazy gazowej w cieczy oraz jej czas przebywania w wielkolaboratoryjnym mieszalniku (D = 0.634 m) z pionowymi przegrodami rurowymi (J = 24; B = 0.016D; D_p = 0.7D) oraz sześciołopatkowym mieszadłem turbinowym o średnicy d = 0.33D i różnym kącie pochylenia łopatki β = 90°, 60°, 45°. Pomiary przeprowadzono dla układu ciecz niutonowska (wodne roztwory elektrolitu) – powietrze o różnej zdolności pęcherzyków gazu do koalescencji. Wyniki zapotrzebowania mocy dla testowanych układów opisano równaniem

$$\frac{P_g}{P_o} = A + \left(\frac{C}{1+EKg^F}\right) + G\frac{Kg^{0.25}}{Fr^{0.25}} \tag{4.7}$$

ze stałymi A, C, E, G oraz wykładnikiem F podanymi w Tabeli 4.1.

Tabela 4.1. Wartości stałe A, C, E, G oraz wykładnik F równania (4.7) opisującego zależność P_g/P_o wraz z zakresami stosowalności w mieszalniku z pionowymi przegrodami rurowymi (J = 24, D_p = 0.7D, B = 0.016D) i mieszadłem turbinowym o kącie pochylenia łopatki β = 90°, 60°, 45°

Mieszadło	A	C	E	F	G	Zakres $Kg \cdot 10^3$	Zakres Fr
T 90	-4.448	4.803	3.383	0.794	2.592	7.24 - 53.76	0.574 - 1.434
T 60	643.14	-642.36	-0.0105	0.64	1.543	7.24 - 53.76	0.574 - 1.434
T 45	-0.109	0.742	5795	2.258	1.267	7.24 - 45.49	0.909 - 1.434

Stwierdzono, że znaczący wpływ na charakterystyki mocy ma kąt pochylenia β łopatki mieszadła turbinowego, natomiast charakterystyki te praktycznie nie zależą od zdolności pęcherzyków gazu do koalescencji.

Wyniki udziału φ gazu zatrzymanego w cieczy opracowano w postaci równania, uwzględniającego poprzez funkcję f(Y) wpływ pęcherzyków gazu do koalescencji

$$\varphi = MKg^{I}We^{K}f(Y) \tag{4.8}$$

Stałe M, wykładniki I, K oraz funkcja f(Y) równania (4.8) są zamieszczone w Tabeli 4.2.

Tabela 4.2. Stała M, wykładniki I, K i funkcja f(Y) równania (4.8) opisującego udziału φ gazu zatrzymanego w cieczy wraz z zakresami stosowalności w mieszalniku z pionowymi przegrodami rurowymi (J = 24, D_p = 0.7D, B = 0.016D) i mieszadłem turbinowym o kącie pochylenia łopatki β = 90°, 60°, 45°

Mieszadło	M	I	K	f(Y)	Zakres $Kg \cdot 10^3$	Zakres We	Zakres Y
T 90	$3.07 \cdot 10^{-4}$	0.083	0.661	$\exp(-0.11(1-Y^2))$	7.24 - 53.76	3470 - 8780	1 – 1.6
T 60	$2.09 \cdot 10^{-4}$	0.281	0.769	$\exp(-0.194(1-Y^2))$	7.24 - 53.76	3467 - 8713	1 – 1.6
T 45	$1.69 \cdot 10^{-4}$	0.279	0.776	$\exp(-0.22(1-Y^2))$	7.24 - 45.49	5567 - 8787	1 – 1.6

Badania wykazały również, że czas przebywania t_R fazy gazowej w cieczy istotnie zależy zarówno od kąta pochylenia łopatki, jak i od zdolności pęcherzyków gazu do koalescencji. **Zaproponowane w pracy [H4] równania (7) i (8) nie mają odpowiednika w literaturze.**

Nie poprzestając na analizie uzyskanych danych dla układu ciecz – gaz mieszanego w zbiorniku z pionowymi przegrodami rurowymi i jednym mieszadłem, podjęłam badania w których jedno mieszadło zastąpiłam dwoma mieszadłami na wspólnym wale [H7]. Badania zawartości gazu zatrzymanego w cieczy zostały przeprowadzone w smukłym zbiorniku o średnicy wewnętrznej D = 0.288 m i wysokości słupa cieczy H = 0.576 m. Pionowe przegrody złożone z 24 rurek (J = 24) o średnicy zewnętrznej pojedynczej rurki B = 0.02D, rozmieszczone były po obwodzie mieszalnika na średnicy podziałowej D_p = 0.7D. Układy ciecz – gaz, charakteryzujące się różnymi właściwościami fizycznymi fazy ciekłej (ciecz niutonowska i nieniutonowska (wodny roztwór CMC)) i różną zdolnością do koalescencji pęcherzyków gazu, mieszano jednym z pięciu różnych zestawów mieszadeł o średnicy d = 0.33D. Testowano następujące konfiguracje mieszadeł (mieszadło dolne – mieszadło górne): turbinowe Rushtona (RT) – turbinowe Rushtona (RT) (jako odniesienie do pozostałych zestawów), turbinowe Smitha (CD 6) – turbinowe Rushtona, A 315 – turbinowe Rushtona, turbinowe Rushtona – HE 3, turbinowe Smitha (CD 6) – HE 3. Zastosowanie różnych zestawów mieszadeł miało na celu zbadanie możliwości adaptacji do wytwarzania układów ciecz – gaz konfiguracji z mieszadłami o nowszej konstrukcji: A 315, CD 6 lub HE 3 (trójłopatkowe mieszadło HE 3 ma prostszą budowę niż mieszadło śmigłowe i cechuje je osiowa cyrkulacja płynu w mieszalniku). Fazą rozpraszaną w badaniach było powietrze,

a fazę ciągłą stanowiły następujące ciecze: woda destylowana jako rozpuszczalnik, wodny roztwór soli o stężeniu c = 0.4 kmol/m^3 oraz c = 0.8 kmol/m^3, a także wodny roztwór soli sodowej karboksymetylocelulozy (CMC) o stężeniu 2.3% mas.

Uzyskane doświadczalnie wyniki badań udziału φ gazu zatrzymanego w cieczy dla układów ciecz niutonowska (wodne roztwory elektrolitu) – powietrze opracowano w postaci równania, ujmującego za pomocą funkcji f(Y) wpływ pęcherzyków gazu do koalescencji

$$\varphi = AKg^B We^C Y^D \tag{4.9}$$

Wartości parametrów równania (4.9) są zebrane w tabeli 4.3.

Tabela 4.3. Wartość stałej A i wykładników B, C, D równania (4.9) wraz z zakresami stosowalności w mieszalniku z pionowymi przegrodami rurowymi (J = 24, D_p = 0.7D, B = 0.02D) i dwoma mieszadłami d = 0.33D

Mieszadło		A	B	C	D	Zakres
dolne	górne					
RT	RT	$3.59\cdot10^{-4}$	0.225	0.77	1.097	$Kg\in<0.85\cdot10^{-2}; 4.71\cdot10^{-2}>$ $We\in<640; 2825>$
CD 6	RT	$3.29\cdot10^{-4}$	0.318	0.825	1.013	$Kg\in<0.88\cdot10^{-2}; 5.36\cdot10^{-2}>$ $We\in<640; 2575>$
A 315	RT	$1.6\cdot10^{-4}$	0.313	0.919	0.87	$Kg\in<0.95\cdot10^{-2}; 5.76\cdot10^{-2}>$ $We\in<700; 2490>$
RT	HE 3	$4.33\cdot10^{-4}$	0.349	0.781	1.087	$Kg\in<0.88\cdot10^{-2}; 5.36\cdot10^{-2}>$ $We\in<580; 2575>$
CD 6	HE 3	$3.1\cdot10^{-4}$	0.536	0.903	1.026	$Kg\in<0.88\cdot10^{-2}; 5.36\cdot10^{-2}>$ $We\in<960; 2570>$

Wyniki pomiarów udziału gazu zatrzymanego w cieczy dla układu ciecz nienewtonowska (wodny roztwór CMC (ciecz pseudoplastyczna) – powietrze przedstawiono w postaci równania

$$\varphi = AKg^B We^C \tag{4.10}$$

Stałe A oraz wykładniki B oraz C dla każdego zestawu mieszadeł są zestawione w tabeli 4.4.

Tabela 4.4. Wartość stałej A i wykładników B, C równania (4.10) wraz z zakresami stosowalności w mieszalniku z pionowymi przegrodami rurowymi (J = 24, D_p = 0.7D, B = 0.02D) i dwoma mieszadłami d = 0.33D

Mieszadło		A	B	C	Zakres	
dolne	górne					
RT	RT	$1.41\cdot10^{-3}$	0.389	0.597	$Kg\in<0.86\cdot10^{-2}; 4.44\cdot10^{-2}>$	$We\in<835; 2700>$
CD 6	RT	$9.67\cdot10^{-4}$	0.461	0.671	$Kg\in<0.88\cdot10^{-2}; 4.86\cdot10^{-2}>$	$We\in<890; 2555>$
A 315	RT	$3.96\cdot10^{-3}$	0.477	0.499	$Kg\in<0.95\cdot10^{-2}; 4.86\cdot10^{-2}>$	$We\in<880; 2210>$
RT	HE 3	$1.29\cdot10^{-3}$	0.367	0.575	$Kg\in<0.88\cdot10^{-2}; 4.2\cdot10^{-2}>$	$We\in<1105; 2545>$
CD 6	HE 3	$7.12\cdot10^{-4}$	0.424	0.688	$Kg\in<0.88\cdot10^{-2}; 4.32\cdot10^{-2}>$	$We\in<1520;2545>$

Badania omówione w pracy [H7] wykazały, że udział gazu zatrzymanego w cieczy znacząco zależy od właściwości reologicznych fazy ciągłej. Najmniejsze wartości φ charakteryzują układ roztwór CMC – powietrze. Stwierdzono także, że pionowe rurowe przegrody mogą stanowić alternatywę w stosunku do przegród płaskich w przypadku mieszania układu ciecz – gaz, jak również zestawy mieszadeł CD6 – RT oraz A 315 – RT można uznać jako alternatywne w stosunku do dwóch mieszadeł RT na wspólnym wale.

Moje doświadczenia, związane z badaniami i analizą wyników, w układzie ciecz – gaz w mieszalniku z pionowymi przegrodami rurowymi oraz z badaniami wykonywanymi z zastosowaniem przegród krótkich w układach jednofazowych, umożliwiły mi dołączenie do zespołu i napisanie współautorskiej pracy [H6], w której przedstawione i opisane są zbiorczo wyniki uzyskane dla różnych układów geometrycznych: zbiornika z mieszadłem i standardowymi przegrodami płaskimi, przegrodami krótkimi bądź przegrodami rurowymi lub zbiornika wyposażonego w standardowe przegrody płaskie i dwa mieszadła umieszczone na wale. Przedstawiono w niej [H6] i przeanalizowano wyniki uzyskane dla różnych układów dwufazowych (ciecz – gaz, ciecz – ciało stałe) i trójfazowych (ciecz – gaz – ciało stałe) charakteryzujących się różnymi własnościami fizycznymi. Zbiorcze przedstawienie wpływu różnych czynników na przenoszenie pędu w układach wielofazowych mieszanych mechanicznie z zastosowaniem różnych geometrii niewątpliwie poszerza wiedzę w tym temacie.

Na podstawie uzyskanych danych można stwierdzić, że przy mieszaniu układów dwufazowych ciecz – gaz, charakteryzujących się odmiennymi zdolnościami do koalescencji pęcherzyków gazu, zbiornik z pionowymi przegrodami rurowymi może stanowić alternatywne rozwiązanie w stosunku do zbiornika ze standardowymi przegrodami płaskimi. Dodatkowo znajomość wyników przedstawionych w pracach [H4, H5, H6, H11, H12] jest przydatna w analizie czy symulacji procesów transportowych w układach ciecz – gaz, w których ciepło może być dostarczane lub odbierane przez pionowe elementy rurowe zabudowane w mieszalniku. **Osiągnięciem naukowym i aplikacyjnym jest opracowanie matematyczne uzyskanych wyników w postaci równań (4.1 – 4.10) stosowanych do opisu charakterystyk procesowych mieszanych mechanicznie układów dwufazowych ciecz – gaz charakteryzujących się różną zdolnością do koalescencji pęcherzyków gazu w cieczy oraz zaproponowanie alternatywnego rozwiązania konstrukcyjnego: zbiornik – przegroda rurowa – mieszadło (mieszadła).**

Kolejny etap badań procesów transportowych w układach niejednorodnych dotyczył wytwarzania zawiesiny cząstek ciała stałego w cieczy w mieszalniku z pionowymi przegrodami rurowymi i mieszadłem szybkoobrotowym [H10]. W mieszanych mechanicznie układach dwufazowych ciecz – ciało stałe ważne jest, aby podniesienie z dna zbiornika cząstek ciała stałego (o gęstości większej niż gęstość cieczy), a także uzyskanie ich dobrego rozproszenia w cieczy, następowało przy jak najmniejszym nakładzie energii. W tym przypadku przy projektowaniu aparatury ważny jest odpowiedni dobór układu zbiornik – przegrody – mieszadło. Badania przedstawione w pracy [H10] miały na celu wytypowanie odpowiedniego dla tego zadania zestawu: niekonwencjonalne przegrody rurowe – mieszadło szybkoobrotowe i stosowanego do mieszania układu dwufazowego z cieczą niutonowską jako fazą ciągłą.

Badania [H10] warunków powstawania układu ciecz – ciało stałe przeprowadziłam w zbiorniku wielkolaboratoryjnym o średnicy wewnętrznej D = 0.634 m (H/D = 1) wyposażonym w dwadzieścia cztery pionowe przegrody rurowe (J = 24; B = 0.016D; D_p = 0.7D) i mieszadło szybkoobrotowe. Do mieszania użyłam następujące mieszadła: turbinowe Rushtona (d = 0.33D), turbinowe Smitha (CD 6; d = 0.33D), lub A 315 o średnicy d = 0.33D oraz d = 0.5D. Fazą ciekłą w badaniach była woda destylowana, a fazę stałą stanowiły cząstki piasku morskiego. Średnia średnica cząstek piasku morskiego była zmieniana w zakresie $d_z \in$ < 212 μm; 425 μm>, a jego stężenie w zakresie $X \in$ <0.5 % wag.; 1.5 % wag.>. Dla każdej konfiguracji przegrody rurowe – mieszadło określałam zgodnie z kryterium Zwieteringa [1958] krytyczną częstość obrotów mieszadła, niezbędną do zawieszenia cząstek w cieczy i mierzyłam metodą tensometryczną moc mieszania dla układu dwufazowego.

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdziłam [H10], że na krytyczną wartość częstości obrotów n_{kr} mieszadła ma wpływ rodzaj użytego mieszadła, jego średnica d oraz charakterystyka cząstek (średnia średnica ziaren d_z i ich stężenie X). Biorąc pod uwagę rodzaj mieszadła o średnicy d = 0.33D, największe wartości częstości obrotów mieszadła n_{kr} umożliwiające zawieszenie cząstek ciała stałego o średnicy d_z = 212 μm uzyskałam dla mieszadła turbinowego Smitha (CD 6), natomiast najmniejsze - dla mieszadła A 315. Zwiększenie średnicy mieszadła A 315 do d = 0.5D, wpływa na zmniejszenie częstości obrotów mieszadła n_{kr} potrzebnych do zawieszenia cząstek ciała stałego w cieczy. Mniejsze wartości krytycznej częstości obrotów są wymagane dla cząstek o mniejszej średnicy, natomiast zwiększają się one ze wzrostem stężenia X cząstek ciała stałego. Na podstawie znajomości krytycznych częstości obrotów mieszadła n_{kr} [1/s] i odpowiadającej im mocy

mieszania P_{kr} [W] zdefiniowałam krytyczne wartości liczby Froude'a Fr_{kr} oraz jednostkowej energii rozpraszanej ε_{kr} [W/kg]. Stwierdziłam, że największa jednostkowa energia ε_{kr} jest wymagana w przypadku wytworzenia układu ciecz – ciało stałe w zbiorniku z przegrodami rurowymi i mieszadłem Rushtona (d = 0.33D), a najmniejsza – dla układu z mieszadłem A 315 o średnicy d = 0.33D. **Kierując się zasadą najmniejszych nakładów energetycznych można do wytwarzania zawiesiny rekomendować mieszalnik z pionowymi przegrodami rurowymi i mieszadłem A 315.**

Wpływ rodzaju przegród na wytwarzanie zawiesiny w mieszalniku wielkolaboratoryjnym (o skali półtechnicznej) o średnicy wewnętrznej D = 0.634 m (H/D = 1) był analizowany w pracy [H8] na podstawie danych doświadczalnych, otrzymanych dla zbiornika ze standardowymi, pionowymi, płaskimi przegrodami lub pionowymi przegrodami rurowymi. Zawiesinę wytwarzano przy użyciu mieszadła turbinowego Rushtona lub mieszadła A 315 o średnicy d = 0.33D. Pomiary krytycznej częstości obrotów mieszadła n_{kr} wykonano dla układu modelowego, w którym fazą ciągłą była woda destylowana, a fazą stałą cząstki piasku morskiego o różnych stężeniach z zakresu $X \in$ <0.5 %; 2.5 % > mas. i średnicy zastępczej ziarna d_z = 335 μm.

Na podstawie analizy uzyskanych wyników badań warunków wytwarzania zawiesiny w zbiorniku z mieszadłami: turbinowym Rushtona lub A 315 oraz różnym typem przegród stwierdzono, że w zakresie przeprowadzonych pomiarów mniejsze wartości krytyczne liczby Froude`a Fr_{kr}, odpowiadające wyznaczonej krytycznej częstości obrotów mieszadła n_{kr}, są charakterystyczne dla zbiornika z przegrodami płaskimi. Biorąc jednak pod uwagę fakt, że przy stałej częstości obrotów mieszadła n przyjętej dla obszaru dobrego zawieszenia cząstek ($n > n_{kr}$), wartości jednostkowej mocy mieszania ε [W/kg] porównywane na przykładzie mieszalnika z mieszadłem Rushtona są mniejsze dla zestawu z przegrodami rurowymi niż płaskimi, można przyjąć, że zbiornik z przegrodami rurowymi stosowany do układów ciecz – ciało stałe może stanowić pewną alternatywę w stosunku do zbiornika z przegrodami płaskimi. Jest to o tyle istotne, że przegrody rurowe mogą w tym procesie wytwarzania zawiesiny pełnić dodatkowo funkcję elementów grzejnych lub chłodzących w celu utrzymania zadanej temperatury układu. **Zamieszczone w pracy [H8] wyniki, otrzymane na podstawie analizy porównawczej danych dla mieszalników skali półtechnicznej (wielkolaboratoryjnych) mają zastosowanie praktyczne i mogą być wykorzystane już na etapie projektowania mieszalników z przeznaczeniem do wytwarzania zawiesiny.**

Doświadczenie nabyte podczas badań układów dwufazowych ciecz - gaz oraz ciecz - ciało stałe w zbiorniku skali wielkolaboratoryjnej z pionowymi przegrodami rurowymi, umożliwiło mi rozszerzenie tematyki badawczej o mieszane mechaniczne układy trójfazowe ciecz - gaz - ciało stałe w takim aparacie. Konieczność wytworzenia układu, w którym jednocześnie dwie fazy, pęcherzyki gazu i cząstki ciała stałego, będą rozpraszane w cieczy, wiąże się z nowymi, trudnymi do pokonania problemami. Wynikają one z faktu, że na ogół rozpraszanie pęcherzyków gazu w cieczy wymaga innego typu mieszadła niż zawieszanie cząstek ciała stałego w cieczy.

Badania doświadczalne, związane z hydrodynamiką mieszanego mechanicznie układu trójfazowego ciecz - gaz - ciało stałe, stanowią przedmiot pracy [H3]. Przeprowadzono je w zbiorniku o średnicy wewnętrznej $D = 0.634$ m, napełnionym cieczą do wysokości $H = D$. Zbiornik wyposażony był w pionową dwudziestoczterorurową wężownicę, pełniącą funkcję przegród ($J = 24$; $B = 0.016D$; $D_p = 0.7D$), a także w mieszadło szybkoobrotowe o średnicy $d = 0.33D$ (A 315 lub mieszadło turbinowe Rushtona).

Dla danego mieszadła oraz danych parametrów procesowych (natężenia przepływu fazy gazowej w zbiorniku (umownej liniowej prędkości gazu w_{og}) oraz stężenia cząstek ciała stałego X) określono: a) krytyczne częstości obrotów n_{kr} przyjmując, że są to najmniejsze wartości częstości obrotów mieszadła, przy których cząstki ciała stałego są zawieszone w cieczy zgodnie z kryterium analogicznym do kryterium Zwieteringa [1958] i jednocześnie pęcherzyki gazu są rozproszone w całej objętości cieczy; b) moc mieszania metodą tensometryczną dla cieczy P_o i układu trójfazowego $P_{G\text{-}S\text{-}L}$ oraz średnie wartości jednostkowej energii rozpraszanej ε_{krg} [W/kg]; c) udział φ gazu zatrzymanego w cieczy i czas przebywania t_R fazy gazowej w układzie wielofazowym.

Badania, przeprowadzone w zakresie burzliwego przepływu cieczy niutonowskiej jako fazy ciągłej, wykazały, że na wartość krytycznej częstości obrotów n_{kr} mają wpływ: rodzaj użytego mieszadła, stężenie cząstek ciała stałego znajdującego się w układzie oraz natężenie przepływu gazu dostarczanego do układu. Na podstawie wyznaczonych wartości krytycznej częstości obrotów mieszadła n_{kr} stwierdzono, że mieszadło A 315 bardzo dobrze sprawdza się przy mieszaniu układu trójfazowego ciecz - gaz - ciało stałe. Mniejsze wartości krytycznych częstości obrotów mieszadła w układzie trójfazowym przy jednoczesnym rozproszeniu gazu w cieczy i zawieszeniu cząstek ciała stałego dla stężenia w zakresie $X \in (0.5\ \% \div 2\ \%)$ uzyskano w przypadku, gdy do mieszania użyto mieszadła A 315. Jedynie przy stężeniu ciała stałego równym $X = 3$ % (największym w zakresie przeprowadzonych

badań) mniejsze wartości krytycznych częstości obrotów mieszadła otrzymano dla mieszadła turbinowego Rushtona.

Wykazano także, jak objętościowe natężenie przepływu gazu Q_{GV} wyrażone w jednostce vvm = [(m^3/min)/m^3], wpływa na jednostkową energię ε_{krg}, zdefiniowaną jako stosunek mocy mieszania $P_{G\text{-}S\text{-}L}$ do jednostki masy cieczy (fazy ciągłej). W przypadku użycia mieszadła A 315 do wytwarzania układu trójfazowego ciecz – gaz – ciało stałe, wartości jednostkowej energii (średniej dla całej objętości płynu) wzrastają wraz ze wzrostem natężenia przepływu gazu Q_{GV} oraz udziału X fazy stałej. Natomiast w przypadku użycia mieszadła turbinowego Rushtona energia jednostkowa ε_{krg} zmniejsza się dla danej wartości stężenia cząstek X ze wzrostem objętościowego natężenia przepływu gazu Q_{GV}, a zwiększa ze wzrostem stężenia cząstek ciała stałego dla zadanej wartości natężenia przepływu gazu Q_{GV}.

Stwierdzono, że na udział φ gazu zatrzymanego w płynie wpływa rodzaj mieszadła użytego do mieszania układu trójfazowego. Wyższe wartości udziału φ gazu zatrzymanego w płynie otrzymano dla mieszadła turbinowego Rusthona. Uzyskane doświadczalnie wyniki badań udziału φ gazu zatrzymanego w płynie opisano matematycznie w postaci równania

$$\varphi = A\left(\frac{P_{G-L-S}}{V_L}\right)^C w_{og}{}^E X^G \tag{4.11}$$

Wartość stałej A oraz wykładniki C, E, G w równaniu (4.11) dla mieszadła turbinowego Rushtona i mieszadła A 315 oraz zakresy stosowalności przedstawiono w tabeli 4.5.

Tabela 4.5. Wartość stałej A oraz wykładniki C, E, G w równaniu (4.11) opisującego udział φ gazu zatrzymanego w układzie trójfazowym ciecz – gaz - ciało stałe dla mieszadła turbinowego Rushtona i mieszadła A 315

Mieszadło	Turbinowe Rushtona	A 315
A	0.00383	0.09041
C	0.521	0.326
E	0.185	0.56
G	0.0169	0.00314
$P_{G\text{-}L\text{-}S}/V_L$, W/m^3	1060 ÷ 3840	265 ÷ 1300
$w_{og}\cdot 10^3$, m/s	1.76 ÷ 7.04	1.76 ÷ 7.04
X	0.005 ÷ 0.03	0.005 ÷ 0.03

Rezultaty badań przedstawione w pracy [H3] świadczą o tym, że w celu wytworzenia układu trójfazowego w warunkach, gdy do układu ciecz – cząstki ciała stałego wprowadzona jest trzecia faza – gaz – należy zastosować mieszadło generujące cyrkulację promieniowo –

osiową, czyli mieszadło turbinowe Rushtona w mieszalniku z pionowymi przegrodami rurowymi, ponieważ zapewnia się wtedy wyższe wartości udziału φ gazu zatrzymanego w płynie oraz czasu przebywania t_R fazy gazowej w płynie w porównaniu do wyników otrzymanych w mieszalniku z mieszadłem A 315.

Kolejny, realizowany przeze mnie wątek badawczy, związany z mieszanymi mechanicznie układami niejednorodnymi, poświęcony był układowi dwufazowemu ciecz – ciecz, a konkretnie otrzymywaniu emulsji wielokrotnej (typu krople w kroplach), bardziej złożonej i trudniejszej do wytworzenia niż emulsja prosta. W przypadku emulsji wielokrotnej ważnym problemem jest sposób wytwarzania i utrzymania stabilności takiego układu. Ta tematyka badawcza jest bardzo aktualna ze względu na potencjalne możliwości interdyscyplinarnych zastosowań takich układów emulsyjnych w różnych technologiach (np. przemysł spożywczy, chemiczny, lakiery i farby, itp.)

Badania przedstawione w pracy [H9] miały na celu wytworzenie emulsji wielokrotnej z zastosowaniem lecytyny sojowej jako emulgatora. W tej serii badań laboratoryjnych woda destylowana stanowiła fazę wodną, a olej słonecznikowy - fazę olejową. W pierwszym etapie proporcje fazy olejowej do fazy wodnej wynosiły 70% obj. do 30 % obj. Lecytyna sojowa, która pełniła rolę emulgatora w tych badaniach, dodawana była do fazy wodnej. Olej słonecznikowy użyty w badaniach barwiłam Sudanem III w celu lepszej wizualizacji uzyskanej emulsji. Do powstania emulsji wykorzystałam **mieszadło magnetyczne**, stosując dwuetapową metodę wytwarzania. W pierwszym etapie częstość obrotów mieszadła wynosiła 500 rpm. W drugim etapie, w którym do powstałej emulsji O/W/O dodawałam kolejną porcję fazy wodnej z rozpuszczoną w niej lecytyną, częstość obrotów mieszadła była znacznie mniejsza i wynosiła 25 rpm.

Na podstawie zarejestrowanych zdjęć, wykonanych za pomocą diagnostycznego mikroskopu OPTA-TECH MW-100 z oprogramowaniem i kamerą cyfrową OPTA-TECH 5MP, zidentyfikowałam strukturę emulsji wielokrotnej. Strukturę tę dokumentują fotografie kropel, uzyskane podczas mieszania dla przyjętych czasów wytwarzania 15 min, 30 min oraz 45 min pierwszego etapu powstawania emulsji wielokrotnej O/W/O oraz dla czasu 15 min drugiego etapu badań. Na podstawie tych danych określiłam rozkład wielkości kropel wewnętrznej fazy olejowej wytworzonej emulsji wielokrotnej, ewoluujących w czasie procesu otrzymywania tej emulsji. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdziłam, że **lecytyna sojowa dodawana do fazy wodnej i stosowana jako emulgator umożliwia wytworzenia emulsji wielokrotnej typu O/W/O**. Dodanie kolejnej fazy wodnej z lecytyną sojową do powstałej wcześniej emulsji O/W/O, przy mieszaniu mieszadłem magnetycznym,

nie zmienia typu emulsji. Zmianie ulega częstość występowania oraz wielkość kropel wewnętrznej fazy olejowej.

Badania przedstawione w kolejnej publikacji [H2] miały na celu określenie zmian struktury, w tym rozmiarów kropli w czasie wytwarzania emulsji wielokrotnej z zastosowaniem lecytyny sojowej jako emulgatora, wytwarzanej w zbiorniku z **mieszadłem mechanicznym**, a także ilościowe określenie właściwości reologicznych takiej emulsji. Emulsję wytwarzałam w mieszalniku laboratoryjnym o średnicy wewnętrznej D = 0.1 m i wysokości słupa cieczy $H = 0.5D$ wyposażonym w cztery pionowe przegrody płaskie oraz mieszadło turbinowe Smitha (CD 6) o średnicy $d = 0.33D$. Częstość obrotów mieszadła wynosiła 500 rpm. Proporcje fazy olejowej do fazy wodnej wynosiły 70% obj. do 30% obj. Lecytyna sojowa rozpuszczana była w fazie wodnej. Określiłam charakter oraz rozmiar kropel wewnętrznej fazy olejowej emulsji w trakcie jej wytwarzania (15 min mieszania) i po jej wytworzeniu (45 min mieszania) oraz emulsji, która po wytworzeniu została odstawiona na 3 doby, a następnie zmieszana przez wytrząśnięcie, lub zmieszanie mechaniczne za pomocą mieszadła turbinowego Smitha. Proces określania rozmiaru kropel powtórzyłam po 30 dobach. Stwierdziłam, że po czasie 3 i 30 dób następuje zjawisko koalescencji prowadzące do rozwarstwienia faz, dlatego zarówno po 3 dobie jak i 30 dobach przed wykonaniem badań próbka była ponownie wymieszana lub wytrząśnięta w celu uzyskania jej jednorodności. Na podstawie uzyskanych obrazów (rys. 1 - 3) kropel dla czasów mieszania 15 oraz 45 min oraz dla emulsji w 3 i 30 dobie od wytworzenia (po jej wcześniejszym zmieszaniu lub wytrząśnięciu) stwierdziłam powstanie emulsji wielokrotnej typu olej w wodzie w oleju (O/W/O), w której występują nieregularne kształty fazy wodnej. Na podstawie wykonanych zdjęć, przy zastosowaniu programu Opta View, wyznaczałam rozmiary kropel wewnętrznej fazy olejowej. Do określenia średniej arytmetycznej średnicy kropel d_a, mediany d_m oraz średnicy Sautera d_{32} po 15 oraz po 45 min mieszania, a także po 3 i 30 dobach przyjmowałam liczbę od 700 do 800 kropel jako wielkość próby dla kropel wewnętrznej fazy olejowej.

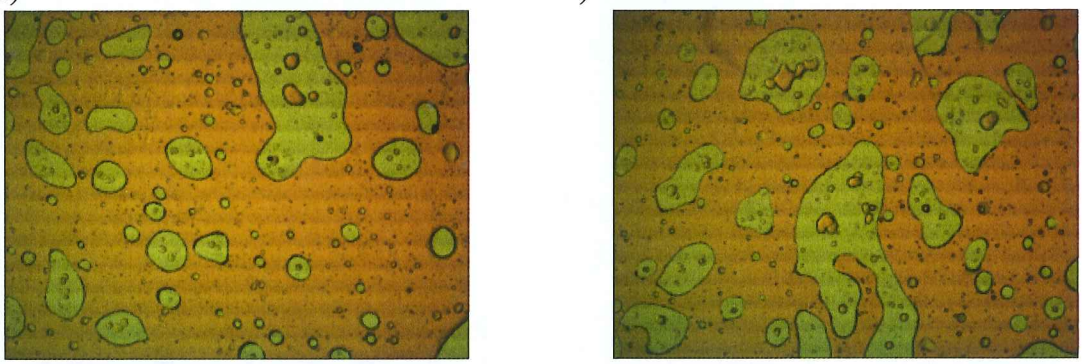
W celu scharakteryzowania właściwości wytwarzanej emulsji, określiłam za pomocą reotestu RT 10 firmy HAAKE jej właściwości reologiczne. Badania te były wykonywane dla prób emulsji O/W/O pobranej w czasie wytwarzania oraz emulsji w 30 dobie od jej wytworzenia po procesie ponownego jej zmieszania albo wytrząśnięcia.

Krzywe płynięcia emulsji (zależność naprężenia ścinającego τ od szybkości ścinania γ) wytworzonej po czasie 15 min oraz 45 min mieszania opisałam za pomocą modelu reologicznego Herschela – Bulkley`a

$$\tau = 0.36 + (0.0362 \cdot \gamma^{1.053}) \tag{4.12}$$

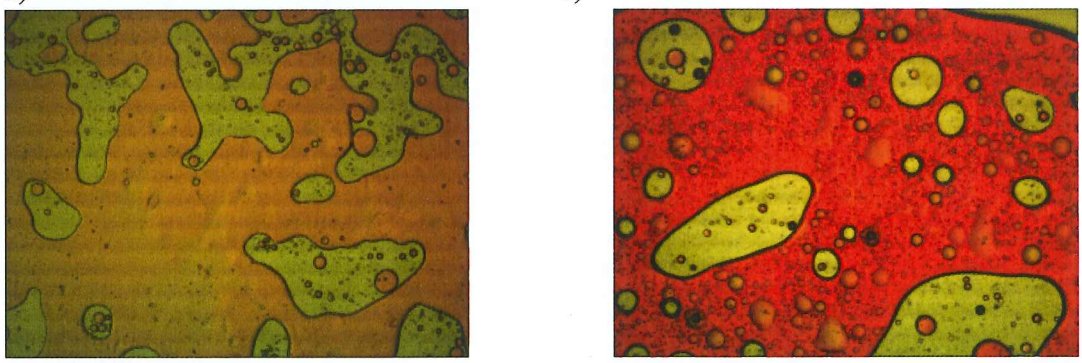
słusznego dla zakresu szybkości ścinania γ z przedziału (1; 50 1/s). Stwierdziłam, że właściwości reologiczne emulsji, po czasie 30 dób, praktycznie nie ulegają zmianie po ponownym zmieszaniu czy jej wytrząśnięciu.

a) b)



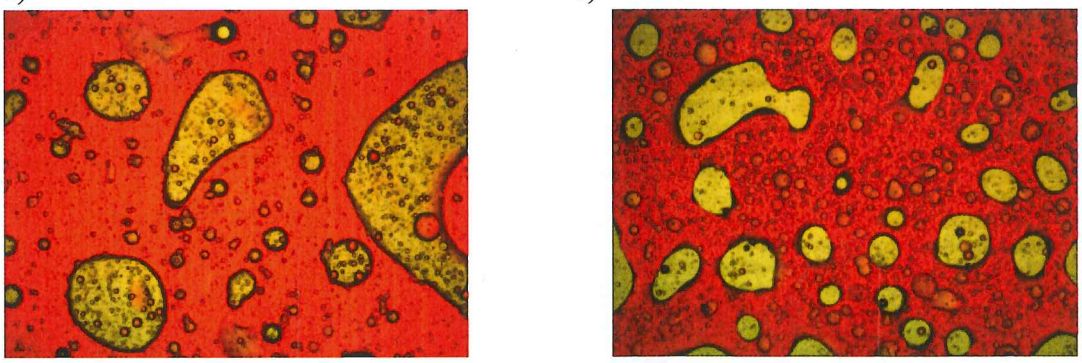
Rys. 1. Obrazy wytwarzanej emulsji wielokrotnej O/W/O po czasie mieszania [H2] (przybliżenie 4x) a) 15 min; b) 45 min

a) b)



Rys. 2. Obrazy emulsji wielokrotnej O/W/O po 3 dobie od wytworzenia emulsji [H2] (przybliżenie 4x) a) próbka zmieszana; b) próbka wstrząśnięta

a) b)



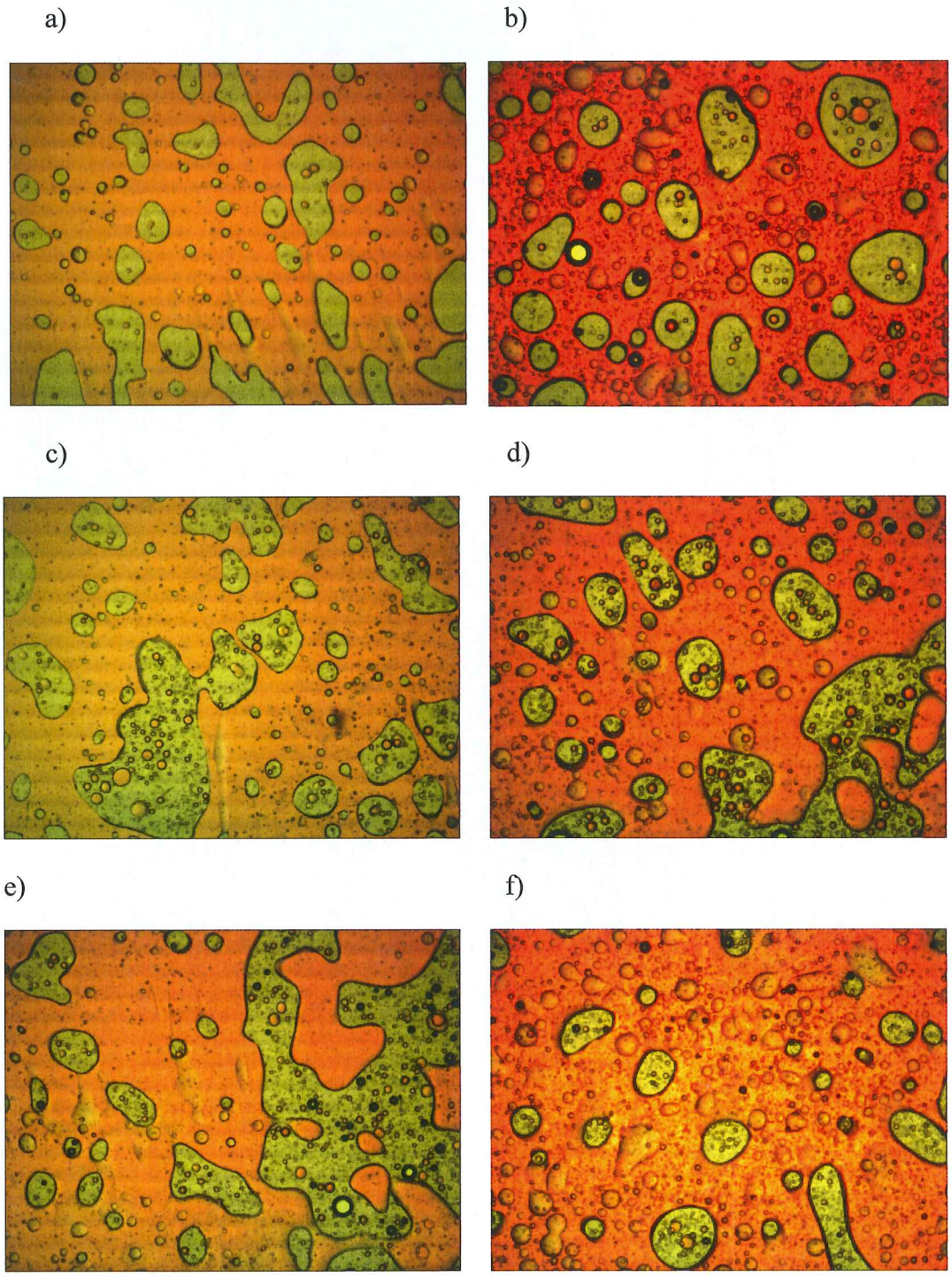
Rys. 3. Obrazy emulsji wielokrotnej O/W/O po 30 dobie od wytworzenia emulsji [H2] (przybliżenie 4x) a) próbka zmieszana; b) próbka wstrząśnięta

Badania wpływu częstości obrotów mieszadła turbinowego Smitha na ewolucję w czasie rozmiarów kropel i właściwości reologicznych emulsji wielokrotnej stanowiły przedmiot pracy [H1]. Pomiary zostały przeprowadzone w mieszalniku o takich samych

parametrach geometrycznych jak w pracy [H2], czyli (D = 0.1 m, H = 0.5D, d = 0.33D). Określiłam wielkości kropel wewnętrznej fazy olejowej, uzyskane dla trzech różnych częstości obrotów mieszadła, to jest dla 500 rpm, 1000 rpm, 1500 rpm. Czas mieszania, po którym pobierałam próbki do badań wynosił odpowiednio 15 min oraz 45 min. Do wytwarzania emulsji zastosowałam jako fazę olejową olej słonecznikowy (70% obj.) barwiony Sudanem III oraz wodę destylowaną jako fazę wodną (30% obj.), do której dodano lecytynę sojową. Łącznie wykonałam 6 serii pomiarowych, które przedstawiłam w postaci obrazów kropel (rys. 4) jak i w postaci rozkładu rozmiaru kropel. Analizę rozmiaru kropel wewnętrznej fazy olejowej wykonałam dla każdej serii na podstawie próby liczącej około 600 – 800 kropel. Określiłam średnią arytmetyczną średnicę kropel d_a, medianę d_m oraz średnicę Sautera d_{32}. Właściwości reologiczne, wytwarzanych w pracy [H1], emulsji przedstawiłam w postaci zależności $\tau = f(\gamma)$ oraz opisałam w postaci modeli Herschela-Bulkley`a lub Binghama.

Na podstawie danych [H1], dotyczących wytwarzania emulsji w mieszalniku z mieszadłem turbinowym Smitha (CD 6) i uzyskanych dla sześciu serii pomiarowych (łącznie 4177 kropel wewnętrznej fazy olejowej), stwierdziłam powstanie niestabilnej emulsji wielokrotnej typu olej w wodzie w oleju (O/W/O) dla czasu mieszania 15 i 45 min oraz dla trzech różnych częstości obrotów mieszadła (500 rpm, 1000 rpm, 1500 rpm). Zarówno czas mieszania jak i częstość obrotów mieszadła mają wpływ na wielkość i rozkład kropel wewnętrznej fazy olejowej. Stwierdziłam, że dla wszystkich trzech testowanych częstości obrotów (500 rpm, 1000 rpm, 1500 rpm) mieszadła turbinowego Smitha większe wartości średniej arytmetycznej średnicy kropli d_a oraz mediany d_m otrzymuje się, gdy czas mieszania wytwarzanej emulsji wynosił 45 min (w porównaniu z czasem mieszania wynoszącym 15 min). W przypadku średnicy Sautera d_{32} widoczny jest wpływ na nią częstości obrotów mieszadła. Dla czasu mieszania równego 15 min wartości średnicy Sautera wzrastają ze wzrostem częstości obrotów mieszadła, natomiast dla czasu mieszania 45 min wartości średnicy Sautera d_{32} zmniejszają się ze wzrostem częstości obrotów mieszadła. Uzyskane w pracy [H1] wyniki dowodzą, że najmniejsze rozmiary kropel wewnętrznej fazy olejowej d_{32} można otrzymać dla następujących parametrów: czas mieszania 15 min, częstość obrotów mieszadła 500 rpm. Ze wzrostem czasu mieszania do 45 min zbliżona wartość d_{32} występuje dopiero dla obrotów mieszadła 1500 rpm. Wyniki zamieszczone w pracy [H1] świadczą o tym, że w czasie wytwarzania emulsji wielokrotnej występuje zjawisko koalescencji kropel wewnętrznej fazy olejowej w okresie mieszania od 15 do 45 min za pomocą mieszadła obracającego się z częstością obrotów 500 lub 1000 rpm. Rezultaty te stanowią dowód na to,

jak ważny jest dobór zarówno czasu mieszania, jak i odpowiednich częstości obrotów mieszadła w mieszalniku o danej geometrii, w którym dąży się do wytworzenia stabilnej emulsji wielokrotnej.



Rys. 4. Obrazy kropel wytwarzanej emulsji wielokrotnej O/W/O dla czasu mieszania a, c, e) 15 min., b, d, f) 45 min.; dla częstości obrotów a, b) 500 rpm, c, d) 1000 rpm, e, f) 1500 rpm (powiększenie 4x) [H1]

Podsumowując cykl badań związanych z mieszanymi mechanicznie układami ciecz – ciecz należy podkreślić, że emulsje wielokrotne mają coraz szersze zastosowanie w różnych przemysłach np. spożywczym, chemicznym lub kosmetycznym, ponieważ w takiej formie oferowane są produkty o zaawansowanej inżynieryjnie, modyfikowanej strukturze. Takie rozwiązania są możliwe tylko pod warunkiem ścisłej znajomości właściwości i struktury danej emulsji. Dlatego tak ważne jest dostarczanie danych na temat zjawisk zachodzących w emulsji i jej właściwości.

Na podstawie wykonanych badań wykazałam [H1, H2, H9], że zastosowanie w określonych ilościach lecytyny sojowej jako emulgatora naturalnego umożliwia powstanie emulsji wielokrotnej typu olej w wodzie w oleju (O/W/O), jeżeli mieszanie cieczy przeprowadzi się w zbiorniku z mieszadłem magnetycznym [H9] lub mieszalniku z czterema pionowymi przegrodami płaskimi i mieszadłem turbinowym Smitha (CD 6) [H2]. Wytworzona emulsja nie jest stabilna, jednak po rozwarstwieniu, ponowne krótkie zmieszanie powoduje powrót do wcześniej zaobserwowanej struktury. Podobnie zmiana częstości obrotów mieszadła w zakresie (500 – 1500 rpm) wpływa na rozmiar kropel wewnętrznej fazy olejowej [H1]. Znajomość ilościowych informacji na temat rozmiaru i kształtu kropel oraz właściwości reologicznych niewątpliwie wpłynie na rozszerzenie możliwości zastosowania emulsji wielokrotnych i ułatwi odpowiedni dobór sposobu ich wytwarzania już na etapie projektowania procesu.

Tematyka wszystkich zrealizowanych przez mnie prac naukowych, przedstawionych w postępowaniu habilitacyjnym jako osiągnięcie naukowe, jest skoncentrowana na zagadnieniach ilościowego opisu procesów transportowych przebiegających w mieszanych mechanicznie układach niejednorodnych, dwu- lub trójfazowych. Otrzymane wyniki badań pozwalają na sformułowanie jakościowych i ilościowych wniosków, znacznie pogłębiających wiedzę w tym obszarze badawczym. Do najważniejszych osiągnięć naukowych tego cyklu badań zaliczam:

- w odniesieniu do układu ciecz – gaz wytwarzanego w wielkolaboratoryjnym mieszalniku z pionowymi przegrodami rurowymi

1. **Zidentyfikowanie stref słabej i dobrej dyspersji gazu dla mieszadła A 315 o dwóch różnych średnicach [H5] oraz mieszadła CD 6 [H12] w postaci map przepływu dwufazowego, ilustrujących związek między częstością obrotów mieszadła n oraz natężeniem przepływu gazu V_g.**
2. **Zaproponowanie bezwymiarowych równań, opisujących względne charakterystyki mocy P_g/P_o oraz udziału φ gazu zatrzymanego w cieczy, które nie**

mają odpowiednika w literaturze przedmiotu. Przedstawione równania mają zastosowanie do opisu charakterystyk procesowych mieszanych mechanicznie układów dwufazowych ciecz – gaz charakteryzujących się różną zdolnością do koalescencji pęcherzyków gazu w cieczy.

- w odniesieniu do układu ciecz – cząstki ciała stałego wytwarzanego w wielkolaboratoryjnym mieszalniku z pionowymi przegrodami rurowymi

3. Rekomendowanie do wytwarzania zawiesiny mieszalnika z pionowymi przegrodami rurowymi i mieszadłem A 315 [H10], na podstawie kryterium najmniejszych nakładów energetycznych.

4. Wykazanie na podstawie porównawczej analizy danych, że w mieszalniku z przeznaczeniem do wytwarzania zawiesiny, standardowe przegrody płaskie mogą być z powodzeniem zastąpione przez niekonwencjonalne, pionowe przegrody rurowe [H8].

- w odniesieniu do układu ciecz – gaz – cząstki ciała stałego wytwarzanego w wielkolaboratoryjnym mieszalniku z pionowymi przegrodami rurowymi

5. Udowodnienie [H3], że w celu wytworzenia układu trójfazowego w warunkach, gdy do układu ciecz – cząstki ciała stałego wprowadzana jest trzecia faza – gaz – należy zastosować mieszadło generujące cyrkulację promieniowo – osiową, czyli mieszadło turbinowe Rushtona w mieszalniku z pionowymi przegrodami rurowymi, ponieważ zapewnia się wtedy wyższe wartości udziału φ gazu zatrzymanego w płynie oraz czasu przebywania t_R fazy gazowej w płynie w porównaniu do wyników otrzymanych w mieszalniku z mieszadłem A 315.

- w odniesieniu do układów ciecz – gaz oraz ciecz – gaz – cząstki ciała stałego wytwarzanych w wielkolaboratoryjnym mieszalniku z pionowymi przegrodami rurowymi

6. Wykazanie [H3 - H5, H7, H11, H12], że mieszalnik z mieszadłem szybkoobrotowym i pionowymi przegrodami rurowymi (które mogą dodatkowo pełnić funkcję powierzchni wymiany ciepła) może być rekomendowany do wytwarzania tych układów niejednorodnych jako alternatywne rozwiązanie konstrukcyjne w stosunku do ogrzewanego płaszczowo mieszalnika z pionowymi przegrodami płaskimi.

- w odniesieniu do układu ciecz – ciecz wytwarzanego w laboratoryjnym mieszalniku z pionowymi przegrodami płaskimi

7. Zidentyfikowanie struktury emulsji wielokrotnej wytwarzanej z dodatkiem lecytyny sojowej jako emulgatora w mieszalniku z mieszadłem turbinowym Smitha

(CD 6) [H1, H2] oraz określenie rozmiaru kropel wewnętrznej fazy olejowej jak i właściwości reologicznych emulsji tego typu.

Bibliografia cytowana w punkcie 4.2

1. Machon V., Vlcek J., Kudrna V., Gas hold-up in agitated aqueous solutions of strong inorganic salts. Collection of Czechoslovak Chemical Communications., 43, 593, 1978.
2. Zwietering T. N. Suspending of solids particles in liquid by agitators. Chemical Engineering Science, 8, 244 – 253, 1958. DOI: 10.1016/0009-2509(58)85031-9.

5. INFORMACJA O WYKAZYWANIU SIĘ ISTOTNĄ AKTYWNOŚCIĄ NAUKOWĄ ALBO ARTYSTYCZNĄ REALIZOWANĄ W WIĘCEJ NIŻ JEDNEJ UCZELNI, INSTYTUCJI NAUKOWEJ LUB INSTYTUCJI KULTURY, W SZCZEGÓLNOŚCI ZAGRANICZNEJ

Brak

6. INFORMACJA O OSIĄGNIĘCIACH DYDAKTYCZNYCH, ORGANIZACYJNYCH ORAZ POPULARYZUJĄCYCH NAUKĘ LUB SZTUKĘ

6.1. Charakterystyka działalności dydaktycznej

W latach 1995 – 2020, pracując na stanowisku asystenta a następnie adiunkta prowadziłam zajęcia dydaktyczne dla studentów studiów pięcioletnich i obecnie nadal prowadzę zajęcia dydaktyczne dla studentów pierwszego i drugiego stopnia studiów stacjonarnych i niestacjonarnych. W tym okresie przeprowadziłam w sumie **7014 godzin** dydaktycznych na kierunkach: Inżynieria Chemiczna i Procesowa, Ochrona Środowiska, Technologia Chemiczna, Towaroznawstwo, Chemia na Wydziale Technologii i Inżynierii Chemicznej oraz na kierunku Biotechnologia na Wydziale Biotechnologii i Hodowli Zwierząt. W ramach zajęć przeprowadziłam:

- 316 godzin wykładów z przedmiotów:

1) *Problemy obliczeniowe wymiany pędu, ciepła i masy* na kierunku *inżynieria chemiczna i procesowa*, specjalność *inżynieria procesowa*,

2) *Odpady jako źródło energii* na kierunku *inżynieria chemiczna i procesowa*, specjalność *inżynieria procesów ekoenergetyki*

3) *Bezpieczeństwo w przemyśle naftowym* na kierunku *inżynieria chemiczna i procesowa*, specjalność *inżynieria procesów przeróbki ropy naftowej i gazu*,

4) *Zaawansowane zagadnienia przenoszenia pędu, ciepła i masy* na kierunku *inżynieria chemiczna i procesowa*, specjalność *inżynieria procesów wytwarzania olefin*,

5) *Pomiary przemysłowe* na kierunku *inżynieria chemiczna i procesowa*.

- 961 godzin ćwiczeń audytoryjnych z przedmiotów:

1) *Bezpieczeństwo w przemyśle naftowym* na kierunku *inżynieria chemiczna i procesowa,* specjalność *inżynieria procesów przeróbki ropy naftowej i gazu,*

2) *Zaawansowane zagadnienia przenoszenia pędu, ciepła i masy* na kierunku *inżynieria chemiczna i procesowa*, specjalność *inżynieria procesów wytwarzania olefin,*

3) *Inżynieria chemiczna*, na kierunku *ochrona środowiska* oraz na kierunku *technologia chemiczna,*

5) *Wymiana pędu i masy* na kierunku *ochrona środowiska,*

6) *Odpady jako źródło energii* na kierunku *inżynieria chemiczna i procesowa*, specjalność *inżynieria procesów ekoenergetyki,*

7) *Urządzenia technologiczne i aparatura badawcza w biotechnologii* na kierunku *biotechnologia,*

- 4558 godzin ćwiczeń laboratoryjnych z przedmiotów:

1) *Bioprocesy w urządzeniach oczyszczania ścieków i gazów* na kierunku *inżynieria chemiczna i procesowa,*

2) *Procesy dynamiczne i aparaty* na kierunku *inżynieria chemiczna i procesowa,*

3) *Procesy cieplne i aparaty* na kierunku *inżynieria chemiczna i procesowa,*

4) *Procesy mechaniczne i urządzenia* na kierunku *inżynieria chemiczna i procesowa,*

5) *Procesy dyfuzyjne i aparaty* na kierunku *inżynieria chemiczna i procesowa,*

6) *Inżynieria procesowa II* na kierunku *ochrona środowiska,*

7) *Inżynieria chemiczna* na kierunku *ochrona środowiska* oraz na kierunku *technologia chemiczna,*

8) *Wymiana pędu i masy* na kierunku *ochrona środowiska,*

9) *Podstawy informatyki* na kierunku *ochrona środowiska,*

11) *Problemy obliczeniowe wymiany pędu, ciepła i masy* na kierunku *inżynieria chemiczna i procesowa*, specjalność *inżynieria procesowa,*

12) *Zaawansowane zagadnienia przenoszenia pędu, ciepła i masy* na kierunku *inżynieria chemiczna i procesowa*, specjalność *inżynieria procesów wytwarzania olefin,*

13) *Aparatura i inżynieria procesów produkcyjnych* na kierunku *towaroznawstwo.*

- 568 godzin projektów z przedmiotów:

1) *Bioprocesy i aparatura bioprocesowa* na kierunku *inżynieria chemiczna i procesowa,*

2) *Procesy mechaniczne i urządzenia* na kierunku *inżynieria chemiczna i procesowa,*

3) *Procesy dyfuzyjne i aparaty* na kierunku *inżynieria chemiczna i procesowa,*

- 611 godzin związanych z pracami dyplomowymi (seminarium dyplomowe, prace dyplomowe, projekt inżynierski).

Prowadziłam i prowadzę zajęcia laboratoryjne w języku angielskim, w ramach programu ERASMUS+, z przedmiotów:

Chemical engineering fundamentals

1) The rheological properties of the Non – Newtonian fluid
2) Process characteristics of the air – lift reactor

Agitation and agitated vessels

1) Power consumption for liquid or gas – liquid system

oraz zajęcia laboratoryjne i projektowe z przedmioru: **Research project on mixing of multiphase system**.

W swojej pracy dydaktycznej **staram się** także **zainteresować studentów pracami badawczymi** wykonywanymi przeze mnie w laboratorium. **Efektem tego są dwie publikacje**, w których studenci mieli swój udział w pomiarach. Jedna praca opublikowana została w czasopiśmie znajdującym się w bazie JCR [H7], a druga opublikowana w czasopiśmie uwzględnionym na liście MNiSW [H9].

Po uzyskaniu stopnia doktora w ramach dydaktyki opracowałam 3 nowe ćwiczenia laboratoryjne z przedmiotów prowadzonych na kierunku *inżynieria chemiczna i procesowa*:

1. *Wymiana ciepła w zbiorniku z mieszadłem* z przedmiotu *procesy cieplne i aparaty*
2. *Wymiarowanie elementów rurociągu* z przedmiotu *procesy mechaniczne i urządzenia*
3. *Analiza sitowa* z przedmiotu *procesy mechaniczne i urządzenia*

oraz 2 ćwiczenia z przedmiotu **Chemical engineering fundamentals** prowadzone w ramach programu ERASMUS+.

Od 2009 roku **opracowałam treści programowe dla 3 przedmiotów** prowadzonych na studiach drugiego stopnia:

1. *Problemy obliczeniowe wymiany pędu, ciepła i masy* (wykład 15 godz., ćwiczenia 15 godz. laboratorium 30 godz.) na kierunku *inżynieria chemiczna i procesowa*, specjalność *inżynieria procesowa*,
2. *Bezpieczeństwo w przemyśle naftowym* (wykład 15 godz., ćwiczenia 15 godz.) na kierunku *inżynieria chemiczna i procesowa*, specjalność *inżynieria procesów przeróbki ropy naftowej i gazu*,
3. *Zaawansowane zagadnienia przenoszenia pędu, ciepła i masy* (wykład 30 godz., ćwiczenia 15 godz. laboratorium 15 godz.) na kierunku *inżynieria chemiczna i procesowa*, specjalność *inżynieria procesów wytwarzania olefin*,

W latach 2001 – 2020 sprawowałam opiekę nad przygotowaniem **41** prac dyplomowych w tym **27** magisterskich i **14** inżynierskich na kier. *Inżynieria chemiczna i procesowa* oraz *Ochrona środowiska*. W tym okresie recenzowałam **8** prac dyplomowych, w tym **6** prac magisterskich i **2** prace inżynierskie. Od roku 2009 przewodniczyłam w **17** Komisjach Egzaminu Dyplomowego.

W swojej pracy dydaktycznej byłam opiekunem studentów:

a) na studiach jednolitych 5-letnich na kierunku Inżynierii Chemicznej i Procesowej w latach **2001-2005**

b) na studiach pierwszego stopnia (inżynierskich, S1) na kierunku Inżynieria Chemiczna i Procesowa w latach **2011-2015** oraz od roku akademickiego **2018/2019 do chwili obecnej**

c) na studiach drugiego stopnia (magisterskich, S2) na kierunku Inżynieria Chemiczna i Procesowa w latach **2014-2016**.

W latach 2004 oraz 2005 sprawowałam tygodniowa **opiekę wraz z prowadzenie prac dydaktycznych ze studentami zagranicznymi**.

6.2. Charakterystyka działalności organizacyjnej

W swojej pracy zawodowej biorę czynny udział w pracach na rzecz Uczelni. Od początku zatrudnienia w Uczelni byłam lub jestem:

a) Członkiem Rady Wydziału Technologii i Inżynierii Chemicznej (2012 - 2019)

b) Członek Senatu Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie (udział w posiedzeniach Senatu z głosem doradczym od 2019)

c) Członkiem Rady Instytutu Inżynierii Chemicznej i Procesów Ochrony Środowiska (2002 - 2005 oraz 2016 - 2019)

d) Członkiem Wydziałowej Komisji Rekrutacyjnej Wydziału Technologii i Inżynierii Chemicznej Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie, w roku ak. 2012/2013, a wcześniej w roku ak. 2000/2001 na Politechnice Szczecińskiej

e) Zastępcą Przewodniczącego Wydziałowej Komisji Rekrutacyjnej Wydziału Technologii i Inżynierii Chemicznej Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie, w roku ak. 2013/2014 ; 2014/2015 oraz 2015/2016

f) Przewodniczącą Wydziałowej Komisji Rekrutacyjnej Wydziału Technologii i Inżynierii Chemicznej Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie, w roku ak. 2016/2017 oraz 2017/2018
g) Przewodniczącą 17 Komisji ds. Egzaminu Dyplomowego, przed którymi odbywały się obrony prac magisterskich i inżynierskich studentów na macierzystym Wydziale
h) Członkiem komisji do spraw oceny nauczycieli akademickich od 2012 roku – przedstawiciel ZNP
i) Członkiem Komisji Pojednawczej ze strony ZNP
j) Członekiem komisji ds. przygotowania raportu samooceny dla potrzeb akredytacji kierunku studiów Inżynierii Chemicznej i Procesowej (2003 rok)

Od roku 2010 jestem członkiem Związku Nauczycielstwa Polskiego, a od 2019 roku zostałam wybrana Prezesem Związku Nauczycielstwa Polskiego w Zachodniopomorskim Uniwersytecie Technologicznym w Szczecinie.

6.3. Charakterystyka działalności popularyzacyjnej

Brałam udział w zajęciach popularyzujących naukę i w akcjach promocyjnych kierunku studiów inżynieria chemiczna wśród młodzieży

Zajęcia popularyzujące naukę:

a) Zajęcia laboratoryjne prowadzone dla szkół

Lp.	Temat	Nazwa szkoły	Rok
1.	Właściwości fizyczne płynów - Pomiar gęstości cieczy	Gimnazjum 27 w Szczecinie	2012
2.	Zatrzymanie gazu w cieczy w zbiorniku z mieszadłem	Gimnazjum 9 w Szczecinie -	2013
3.	Właściwości fizyczne płynów - Pomiar gęstości cieczy	Zespół Szkół im. Ignacego Łukasiewicza w Policach; Technikum Chemiczne	2017
		Zespół Szkół Ogólnokształcących nr 4 w Szczecinie	2017
		Zespół Szkół Ogólnokształcących nr 4 w Szczecinie	2018
		Zespół Szkół Ogólnokształcących nr 4 w Szczecinie - XI Liceum Ogólnokształcące	2019
		XI Liceum Ogólnokształcące	2017
4.	Właściwości fizyczne płynów - Pomiar gęstości cieczy	Zespół Szkół nr 2 im. Władysława Orkana	2017

b) Europejska Noc Naukowców w 2019 r. - prowadzenie zajęć laboratoryjnych na temat: Jak zbadać gęstość i lepkość płynu. (zał. 3c)

c) Moc Naukowców w 2018 r. - prowadzenie zajęć laboratoryjnych na temat: Pokaz sposobu pomiaru lepkości płynu

d) Noc Naukowców w 2018 r. - prowadzenie zajęć laboratoryjnych na temat: Pokaz sposobu pomiaru lepkości płynu

7. OPRÓCZ KWESTII WYMIENIONYCH W PKT. 1-6, WNIOSKODAWCA MOŻE PODAĆ INNE INFORMACJE, WAŻNE Z JEGO PUNKTU WIDZENIA, DOTYCZĄCE JEGO KARIERY ZAWODOWEJ

7.1 Nagrody i odznaczenia

1. Nagroda indywidualna w kategorii młodych pracowników nauki, za twórcze osiągnięcia naukowe w roku 1998, przyznana przez JM Rektora Politechniki Szczecińskiej

2. Nagroda za osiągnięcia w pracy naukowej, a w szczególności za pracę doktorską pt. *Badania wnikania ciepła od pionowej wężownicy do cieczy pseudoplastycznej poddawanej mieszaniu w zbiorniku z mieszadłem obrotowym* przyznana przez JM Rektora Politechniki Szczecińskiej w 2001r.

3. Medal Szczecińskiego Towarzystwa Naukowego Amicus Scientiae et Veritatis dla młodych wyróżniających się pracowników nauki, otrzymany w 2001roku (Zał. 3d)

4. Medal Brązowy za długoletnią służbę otrzymany w 2012 roku

5. Nagroda indywidualna III stopnia za osiągnięcia naukowe w roku 2018, przyznana przez JM Rektora Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie.

Major-Godlewska