



Politechnika Poznańska
Wydział Technologii Chemicznej
ul. Berdychowo 4, 61-131 Poznań
tel. 616652303, fax 616652571



dr inż. Sylwia Różańska

**Przepływ wzdłużny i ścinający roztworów
polimerów i surfaktantów oraz emulsji**

Autoreferat

**do wniosku o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego
(wersja polska)
ZAŁĄCZNIK 3A**

POZNAŃ 2019

Spis treści

1. Dane osobowe	3
2. Posiadane dyplomy i stopnie naukowe – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytuł rozprawy doktorskiej	3
3. Informacje o zatrudnieniu w jednostkach naukowych.....	3
4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2017 r. poz. 1789).....	4
4.1. Tytuł	4
4.2. Wykaz dorobku naukowego będącego podstawą wniosku	6
4.3. Omówienie tematyki badań będących podstawą wniosku.....	10
4.3.1. Zastosowane metody pomiaru lepkości wzdłużnej	10
4.3.2. Lepkość wzdłużna emulsji	11
4.3.3. Lepkość wzdłużna roztworów polimerowych	14
4.3.4. Przepływ ścinający i wzdłużny roztworów surfaktantów.....	16
4.3.5. Przepływ przez złożę porowate	18
5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowych po uzyskaniu stopnia doktora	22
5.1. Lista i omówienie ważniejszych publikacji niewchodzących w skład jednotematycznego cyklu publikacji	22
6. Zestwienie ilościowe dorobku naukowego.....	32

1. Dane osobowe

- Imię i Nazwisko: **Sylwia Różańska**
- Data i miejsce urodzenia: **3 listopad 1975, Poznań**
- Obecnie zajmowane stanowisko: **wykładowca**
- Miejsce pracy: **Politechnika Poznańska**
Wydział Technologii Chemicznej
Instytut Technologii i Inżynierii Chemicznej
Zakład Inżynierii i Aparatury Chemicznej
ul. Berdychowo 4, 60-131 Poznań
e-mail: Sylwia.Rozanska@put.poznan.pl

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytuł rozprawy doktorskiej

- **Stopień magistra inżyniera Technologii Chemicznej, Politechnika Poznańska, Wydział Technologii Chemicznej, 2000**
Tytuł pracy magisterskiej: *Elektrochemiczne metody badania zjawisk przepływowych.*
Promotor: prof. dr hab. Lubomira Broniarz-Press
Zakład Inżynierii i Aparatury Chemicznej Politechniki Poznańskiej.
- **Stopień doktora nauk technicznych w zakresie technologii chemicznej, Politechnika Poznańska, Wydział Technologii Chemicznej, 2004**
Temat rozprawy doktorskiej: *Badania rozkładu parametrów hydrodynamicznych i termicznych dla płynów rozrzedzanych ścinaniem w mieszalniku.*
Promotor: prof. dr hab. Lubomira Broniarz-Press
Zakład Inżynierii i Aparatury Chemicznej Politechniki Poznańskiej.

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

- **2003 - 2004, asystent na rok** w Zakładzie Inżynierii i Aparatury Chemicznej Instytutu Technologii i Inżynierii Chemicznej Politechniki Poznańskiej
- **2004 - 2005 asystent na rok** w Zakładzie Inżynierii i Aparatury Chemicznej Instytutu Technologii i Inżynierii Chemicznej Politechniki Poznańskiej
- **2005 - 2018 adiunkt** w Zakładzie Inżynierii i Aparatury Chemicznej Instytutu Technologii i Inżynierii Chemicznej Politechniki Poznańskiej
- **2018 - obecnie wykładowca** w Zakładzie Inżynierii i Aparatury Chemicznej Instytutu Technologii i Inżynierii Chemicznej Politechniki Poznańskiej

4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2017 r. poz. 1789)

4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego

Podstawą ubiegania się o nadanie stopnia naukowego doktora habilitowanego jest monoteMATYCZNY cykl:

- 7 publikacji w czasopismach naukowych znajdujących się w wykazie A Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego z bazy Journal Citation Reports (JCR) – **H1-H7**;
- 2 rozdziałów w książkach anglojęzycznych indeksowanych w bazie Web of Science **H8, H9**;
- 2 artykułów opublikowanych w innych recenzowanych czasopismach naukowych indeksowanych w bazie Web of Science – **H10, H11**;
- 8 artykułów opublikowanych w czasopismach znajdujących się w wykazie B Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego – **H12-H19**;
- 1 artykuł opublikowany w materiałach z konferencji zagranicznych – **H20**.

Wspólną tematyką tego cyklu publikacji jest:

Przepływ wzdłużny i ścinający roztworów polimerów i surfaktantów oraz emulsji

Koncepcja tematyki badań będących podstawą wniosku

Tematyka naukowa, którą się zajmuję, koncentruje się na badaniach reologicznych płynów nienewtonowskich w przepływie wzdłużnym i ścinającym, w szczególności emulsji, roztworów polimerów i surfaktantów. Miały one charakter zarówno poznawczy, jak i praktyczny. Użyte w badaniach reologicznych substancje mają zastosowanie w przemyśle spożywczym, farmaceutycznym, są również stosowane jako dodatki wywołujące zjawisko redukcji oporów przepływu oraz jako płyny modelowe w badaniach zjawisk przepływowych występujących w aparatach przemysłu chemicznego i przemysłach pokrewnych.

W klasycznym ujęciu wyniki badań modelowych nad hydrodynamiką przepływu są uzależniane od lepkości mierzonej w warunkach przepływu ścinającego. Okazuje się jednak, że w wielu przypadkach mamy do czynienia z przepływem mieszanym, w którym płyn ulega ścinaniu i rozciąganiu. Tego typu przepływ występuje między innymi podczas gwałtownej zmiany przekroju kanału oraz w dyszach zbieżnych. Stąd też wyniki badań reologicznych znajdują zastosowanie podczas analizy procesu rozpylania, przepływu płynów przez złoża porowate, a jedna z hipotez wiąże zjawisko redukcji oporów przepływu z dużą lepkością wzdłużną¹ roztworów polimerów i surfaktantów.

¹ W języku angielskim lepkość mierzona w warunkach przepływu ścinającego jest nazywana *shear viscosity*, natomiast mierzona w warunkach rozciągania jednoosiowego *extensional viscosity* lub *elongational viscosity*. W języku polskim nazwa „lepkość ścinająca” nie jest stosowana. W literaturze polskiej w celu rozróżnienia lepkości mierzonych podczas przepływu ścinającego i wzdłużnego ta pierwsza jest nazywana „lepkością przy ścinaniu”, „lepkością poprzeczną” lub „lepkością dynamiczną”. W prezentowanym autoreferacie przyjęto konwencję zastosowaną w monografii J. Fergusona i Z. Kembłowskiego, w której stosowana jest nazwa „lepkość przy ścinaniu” („Reologia stosowana płynów”, Wydawnictwo Marcus, Łódź 1995).

Przeprowadzona analiza literatury (zaprezentowana między innymi w pracach **H4** i **H8**), wykazała, że większość opublikowanych do tej pory wyników badań reologicznych w przepływie wzdłużnym dotyczyła roztworów wysokocząsteczkowych polimerów o giętym łańcuchu. Wyniki badań poświęconych lepkości wzdłużnej emulsji zostały do 2010 roku opublikowane w zaledwie 3 pracach (wszystkie dotyczyły emulsji stabilizowanych surfaktantami). Stąd też stworzony został program badań zrealizowanych w ramach grantu badawczego pt. „Analiza lepkości wzdłużnej emulsji”, którego byłam kierownikiem.

W ramach tego projektu przeprowadzono badania nad wpływem stężenia i struktury fazy rozproszonej oraz właściwości reologicznych fazy ciągłej na lepkość wzdłużną emulsji. Przeprowadzono również badania nad wpływem naprężeń rozciągających na zmianę struktury emulsji.

W dalszych badaniach skoncentrowałam się na analizie właściwości reologicznych roztworów polimerów i lepkością przystycznych roztworów surfaktantów. Koncepcja tych badań powstała, gdy okazało się, że na temat powszechnie stosowanych w badaniach modelowych roztworów soli sodowej karboksymetylocelulozy (Na-CMC) występują w literaturze jedynie sygnałne informacje. Oprócz badań nad właściwościami reologicznymi Na-CMC przeprowadzono pomiary reologiczne dla roztworów poliakryloamidu (PAA) i mieszanin surfaktantów zwitterjonowych i anionowych. Opublikowane wyniki badań reologicznych dotyczyły określenia zależności między właściwościami reologicznymi roztworów polimerów a ich średnią masą cząsteczkową i stopniem podstawienia, siłą jonową roztworu oraz rodzajem rozpuszczalnika.

Jak wcześniej wspomniano, przypadkiem, w którym płyn poddawany jest rozciąganiu i ścinaniu, jest przepływ płynu przez złożę porowate. Tematyce tej poświęcony został szereg prac, w których jako płyny modelowe stosowano roztwory polimerów oraz emulsje stabilizowane surfaktantami. W literaturze brak natomiast wyników badań nad przepływem emulsji stabilizowanych polimerami przez złożę porowate. Badanie nad tym tematem były skoncentrowane na określeniu strat ciśnienia podczas przepływu emulsji stabilizowanych polimerami o różnej sztywności łańcucha, masie cząsteczkowej i stopniu podstawienia.

Rezultaty omówionych badań zostały opublikowane w 7 pracach z listy JCR, w dwóch pracach spoza tej listy indeksowanych przez Web of Science, 8 pracach opublikowanych w czasopiśmie znajdujących się na liście B Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego, 2 rozdziałach w książkach oraz 1 artykule opublikowanym w materiałach konferencji międzynarodowej.

4.2. Wykaz dorobku naukowego będącego podstawą wniosku

Podstawą do ubiegania się o uzyskanie stopnia naukowego doktora habilitowanego nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria chemiczna jest cykl następujących publikacji powiązanych tematycznie (wartości IF oraz M podano zgodnie z rokiem wydania pracy):

	Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego znajdujących się w wykazie A Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego z bazy JCR	IF	Punkty MNiSW
	Różańska S., Broniarz-Press L., Różański J., Mitkowski P.T., Ochowiak M., Woziwodzki S., 2013, Extensional viscosity of o/w emulsion stabilized by polysaccharides measured on the opposed-nozzle device, Food Hydrocolloids, 32, 130-142.		
H1	<i>Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na koncepcji badań i projektowaniu eksperymentu, przeprowadzeniu pomiarów, analizie i opracowaniu otrzymanych danych, dyskusji wyników, opracowaniu w formie graficznej i tabelarycznej wyników, współredakcja pracy.</i>	4,28	40
	<i>Mój udział szacuję na 50%</i>		
	Różańska S., Różański J., Ochowiak M., Mitkowski P.T., 2014, Extensional viscosity measurements of concentrated emulsions with the use of the opposed nozzles device, Brazilian Journal of Chemical Engineering, 31, 1, 47-55.		
H2	<i>Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na koncepcji badań i projektowaniu eksperymentu, przeprowadzeniu pomiarów, analizie i opracowaniu otrzymanych danych, dyskusji wyników, opracowaniu w formie graficznej i tabelarycznej wyników, współredakcja pracy.</i>	1,043	25
	<i>Mój udział szacuję na 70%</i>		
	Różańska S., Różański J., 2017, Extensional flow of of carboxymethylcellulose sodium salt measured on the opposed-nozzle device, Soft Materials, 15, 4, 302-314.		
H3	<i>Mój udział polegał na opracowaniu koncepcji pracy i zaplanowaniu badań, przeprowadzeniu badań doświadczalnych dla wodnych roztworów polimerów, wstępne opracowanie graficzne wyników badań, współdyskusji wyników i wniosków oraz korespondencji z edytorem, ustosunkowaniu się do uwag recenzentów wraz z przygotowaniem ostatecznej wersji manuskryptu.</i>	1,132	30
	<i>Mój udział szacuję na 70%</i>		

H4	<p>Róžańska S., 2015, Porównanie właściwości reologicznych wodnych roztworów poliakryloamidu i hydroksyetylocelulozy w przepływie rozciągającym i ścinającym, <i>Polimery</i>, 60, 10, 57-63.</p> <p style="text-align: center;"><i>Mój udział wynosi 100%</i></p>	0,718	15
H5	<p>Róžańska S., 2015, Rheology of wormlike micelles in mixed solutions of cocoamidopropyl betaine and sodium dodecylbenzenesulfonate, <i>Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects</i>, 482, 394-402.</p> <p style="text-align: center;"><i>Mój udział wynosi 100%</i></p>	2,760	30
H6	<p>Róžańska S., Róžański J., 2019, Flow of emulsions stabilized by polymers through packed bed, <i>Transport in Porous Media</i>, https://doi.org/10.1007/s11242-019-01246-6</p> <p><i>Mój udział polegał na opracowaniu koncepcji pracy i zaplanowaniu badań, przeprowadzeniu badań doświadczalnych dla emulsji i roztworów polimerów, wstępne opracowanie graficzne wyników badań, współdiskusja wyników i wniosków, wstępne napisanie tekstu artykułu oraz korespondencja z edytorem, ustosunkowanie się do uwag recenzentów wraz z przygotowaniem ostatecznej wersji manuskryptu.</i></p> <p style="text-align: center;"><i>Mój udział szacuję na 65%</i></p>	2,211	30
H7	<p>Róžański J., Róžańska S., Mitkowski P., Szaferski W., Wagner P., Marecka-Migacz A., Kuczora A., 2018, Przepływ płynów jedno- i wielofazowych przez siatki i złoża cząstek kulistych, <i>Przemysł Chemiczny</i>, 97/12, 2040-2044.</p> <p><i>Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na udziale w opracowaniu koncepcji pracy, częściowym opracowaniu metodyki pomiarów oraz opracowaniu części artykułu dotyczącej przepływu roztworów polimerów przez złoża cząstek kulistych. Współredakcja pracy.</i></p> <p style="text-align: center;"><i>Mój udział szacuję na 20%</i></p>	0,399	15
Lp.	Rozdziały w książkach anglojęzycznych	IF	Punkty MNiSW
H8	<p>Róžańska S., 2016, Extensional Rheology in Food Processing, Chapter 6, In: <i>Advances in Food Rheology and its Applications</i>, Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, Elsevier, str. 125-157.</p> <p style="text-align: center;"><i>Mój udział wynosi 100%</i></p>	-	5

H9	Różańska S. , 2018, Extensional flow of polymer solutions through the porous media. Practical Aspects of Chemical Engineering, Springer, 377-393. (książka została wydana jako wybrane metariały z seminarium Praktyczne Aspekty Inżynierii Chemicznej)	-	5
<i>Mój udział wynosi 100%</i>			
Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego znajdujące się w bazie Web of Science		IF	Punkty MNiSW
H10	Różańska S. , 2012, Extensional viscosity of w/o emulsions, Procedia Engineering, 42, 808–818.	-	-
<i>Mój udział wynosi 100%</i>			
H11	Różańska S. , Broniarz - Press L., Różański J., Mitkowski P., Ochowiak M., Woziwodzki S., 2012, Extensional viscosity and stability of oil-in-water emulsions with addition poly(ethylene oxide), Procedia Engineering, 42, 799–807. <i>Mój udział polegał koncepcji badań i projektowaniu eksperymentu, przeprowadzeniu pomiarów, analizie i opracowaniu otrzymanych danych, dyskusji wyników, opracowaniu w formie graficznej i tabelarycznej wyników, współredakcja pracy.</i>	-	-
<i>Mój udział szacuję na 50%</i>			
Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego znajdujące się w wykazie B Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego		IF	Punkty MNiSW
H12	Różańska S. , 2012, Zastosowanie wypływu płynu przez otwór w ścianie zbiornika do wyznaczania lepkości wzdłużnej, Inżynieria i Aparatura Chemiczna, 51, 5, 246–248.	-	7
<i>Mój udział wynosi 100%</i>			
H13	Różańska S. , 2013, Właściwości reologiczne wodnych roztworów soli sodowej karboksymetylocelulozy w przepływie wzdłużnym, Inżynieria i Aparatura Chemiczna, 6, 557–558.	-	5
<i>Mój udział wynosi 100%</i>			
H14	Różańska S. , Broniarz-Press L., Flis N., 2016, Wpływ dodatku soli na właściwości reologiczne roztworów poliakrylamidu w przepływie rozciągającym, Inżynieria i Aparatura Chemiczna, 55, 2, 72-73. <i>Mój udział polegał na koncepcji pracy i zaplanowaniu badań, interpretacji wyników i redakcji wniosków oraz na pisaniu i korekcie pracy przed wystąpieniem do druku.</i>	-	5
<i>Mój udział szacuję na 50%</i>			

	<p>Różańska S., Broniarz-Press L. Różański J., Mitkowski P.T., Ochowiak M., Woziwodzki S., 2013, Zmiana struktury emulsji o/w w przepływie wzdłużnym, <i>Inżynieria Rolnicza</i>, 141, 233–242.</p>		
H15	<p><i>Mój udział polegał na opracowaniu koncepcji badań i projektowaniu eksperymentu, przeprowadzeniu pomiarów, analizie i opracowaniu otrzymanych danych, dyskusji wyników, opracowaniu w formie graficznej i tabelarycznej wyników, współredakcja pracy.</i></p> <p><i>Mój udział szacuję na 50%</i></p>	-	5
	<p>Różańska S., Broniarz-Press L. Różański J., Mitkowski P.T., Ochowiak M., Woziwodzki S., 2012, Lepkość wzdłużna emulsji o/w stabilizowanych hydroksypropylometylocelulozą, <i>Inżynieria i Aparatura Chemiczna</i>, 51, 6, 375–376.</p>		
H16	<p><i>Mój udział polegał na opracowaniu koncepcji badań i projektowaniu eksperymentu, przeprowadzeniu pomiarów, analizie i opracowaniu otrzymanych danych, dyskusja wyników, opracowanie w formie graficznej i tabelarycznej wyników, współredakcja pracy.</i></p> <p><i>Mój udział szacuję na 50%</i></p>	-	5
	<p>Różańska S., Broniarz-Press L. Różański J., Mitkowski P.T., Ochowiak M., Woziwodzki S., 2012, Wpływ struktury fazy rozproszonej na właściwości reologiczne emulsji o/w w przepływie wzdłużnym, <i>Inżynieria i Aparatura Chemiczna</i>, 51, 6, 377–378.</p>		
H17	<p><i>Mój udział polegał na opracowaniu koncepcji badań i projektowaniu eksperymentu, przeprowadzeniu pomiarów, analizie i opracowaniu otrzymanych danych, dyskusja wyników, opracowanie w formie graficznej i tabelarycznej wyników, współredakcja pracy.</i></p> <p><i>Mój udział szacuję na 50%</i></p>	-	5
	<p>Różańska S., Różański J., Komorowska P., 2018, Pomiary lepkości wzdłużnej roztworów mieszaniny kokamidopropylobetainy/dodecylobenzenosulfonianu sodu metodą kapilarnego zerwania włókna, <i>Inżynieria i Aparatura Chemiczna</i>, 57, 2, 36-37.</p>		
H18	<p><i>Mój udział polegał na opracowaniu koncepcji pracy i współudziale w planowaniu badań, wykonaniu badań doświadczalnych, wstępnym opracowaniu wyników badań, współdyskusji i analizie wyników i wniosków, redakcja artykułu i współpraca z edytorem na etapie wydawniczym artykułu.</i></p> <p><i>Mój udział szacuję na 50%</i></p>	-	7

H19	Różańska S. , 2018, Przepływ emulsji stabilizowanych solą sodową karboksymetylocelulozy przez złożę cząstek kulistych, Inżynieria i Aparatura Chemiczna, 57, 3, 75-76.	-	7
<i>Mój udział wynosi 100%</i>			
Opublikowane materiały z konferencji międzynarodowych		IF	Punkty MNiSW
H20	Różańska S. , Różański J., Broniarz-Press L., Lepkość wzdłużna wodnych roztworów polimerów, Proceedings of the 1 st Thermodynamics in Science and Technology, Part 1, 227–234, PUHiP POLI-GRAF-JAK, Poznań 2011. <i>Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu koncepcji pracy, wykonaniu badań doświadczalnych i ich opracowaniu, analizie uzyskanych wyników oraz na wstępnym napisaniu tekstu artykułu i korekcie pracy przed wystąpieniem.</i>	-	-
<i>Mój udział szacuję na 50%</i>			

4.3. Omówienie tematyki badań będących podstawą wniosku

4.3.1. Zastosowane metody pomiaru lepkości wzdłużnej

Zgodnie z formalną definicją lepkości wzdłużnej jej prawdziwa wartość jest wartością równowagową. W praktyce okazało się, że zapewnienie warunków równowagowych podczas pomiarów jest możliwe jedynie w przybliżeniu dla płynów o bardzo wysokiej lepkości (powyżej 1000 Pa·s), przede wszystkim dla stopionych polimerów (krytyczną analizę metod stosowanych do pomiaru lepkości wzdłużnej przedstawiłam w pracy [H8]). Badania, które prowadziłam dotyczyły płynów o niskiej i umiarkowanej lepkości (poniżej 100 Pa·s). Dla tego typu substancji do tej pory nie opracowano metody, która pozwalała wykonać pomiar lepkości wzdłużnej w warunkach równowagowych. Możliwe jest jedynie eksperymentalne wyznaczenie chwilowych jej wartości (nazywanych też często w publikacjach pozornymi). Szczególnie trudne są pomiary chwilowej lepkości wzdłużnej płynów o lepkości poniżej 1 Pa·s. Dla płynów o tak niskiej lepkości możliwe jest zastosowanie jedynie dwóch rodzajów przepływów, w których płyn poddawany jest rozciąganiu: przepływ stagnacyjny między przeciwstawnymi dyszami oraz kapilarne ścienianie włókna. Obie metody były wykorzystane w moich badaniach. Reometr, a właściwie wskaźnik lepkości wzdłużnej, w którym występuje przepływ stagnacyjny między przeciwstawnymi dyszami został zbudowany na potrzeby prowadzonych przez ze mnie badań. Jestem współprojektantką tego urządzenia. Pomiary w przepływie rozciągającym metodą kapilarnego ścieniania włókna prowadziłam przy użyciu komercyjnego reometru CaBER (Thermo Scientific) podczas krótkoterminowych staży w Technical University of Denmark, National Food Institute w Danii oraz w Department of Chemical Engineering, Division of Soft Matter Rheology and Technology na uniwersytecie Katolickim w Leuven w Belgii. Trzecią metodą do szacowania lepkości wzdłużnej płynów o umiarkowanej lepkości był pomiar spadku ciśnienia płynu podczas przepływu przez otwór ostrokrawędziowy. Jestem również współprojektantką stanowiska eksperymentalnego umożliwiającego prowadzenie tego typu badań.

Aparaty te zostały przetestowane z użyciem płynów newtonowskich, którymi były oleje

mineralne o różnych lepkościach. Doświadczalne wartości stosunku *Troutona* ($Tr = \eta_E/\eta$ – stosunek lepkości wzdłużnej do lepkości mierzonej w warunkach przepływu ścinającego) uzyskane dla płynów newtonowskich za pomocą reometru o przeciwstawnych dyszach mieściły się w granicach od 3,6 do 4,2 [H20]. Z danych zestawionych w pracy Dontuli i in². (1997) wynika, że dla podobnych urządzeń i zakresów szybkości rozciągania $\dot{\epsilon}$ wartości stosunku *Tr* mieszczą się w granicach od 2,9 do około 4,6. W przypadku pomiarów lepkości wzdłużnej z wykorzystaniem reometru o przeciwstawnych dyszach nie ma możliwości pełnego wyeliminowania wpływu ścinania oraz bezwładności na mierzoną wartość momentu skręcającego, czym można wytłumaczyć zaobserwowane odstępstwa od wartości teoretycznej dla płynów newtonowskich $Tr = 3$. W przypadku wypływu płynu przez otwór ostrokrawędziowy w dnie zbiornika uzyskane wartości stosunku *Tr* mieściły się w granicach od 3 do 4 [H12].

4.3.2. Lepkość wzdłużna emulsji

Emulsje są układami zbudowanymi z dwóch niemieszających się ze sobą faz ciekłych, z których jedna jest zdyspergowana w drugiej. Stanowią one dość dużą grupę produktów i półproduktów, które są wytwarzane i wykorzystywane w wielu gałęziach przemysłu, np. kosmetycznym, farmaceutycznym i spożywczym. Na lepkość emulsji wpływa wiele czynników, najważniejsze z nich to: właściwości reologiczne fazy ciągłej, stężenie fazy zdyspergowanej i średnica powstających kropelek. Podczas takich procesów jak np. rozpylanie (wtrysk paliwa, rozpraszanie pestycydów w rolnictwie, dozowanie lekarstw do nosa i gardła, malowanie natryskowe), formowanie ciasta, smarowanie kanapki masłem lub margaryną, połykanie, czy chociażby podczas smarowania ciała kremem, płyn poddawany jest zarówno rozciąganiu, jak i ścinaniu.

Wyniki badań reologicznych przeprowadzone w przepływie wzdłużnym i ścinającym dla emulsji przedstawiłam w pracach [H1, H2, H10, H11, H15, H16, H17]. Badania te dotyczą emulsji o/w i w/o stabilizowanych niskocząsteczkowymi surfaktantami (stosowano: Tween 40, Span 80) [H2, H10] oraz o/w stabilizowanych polimerami (w badaniach stosowano: gumę guarową (GG); sól sodową karboksymetylocelulozy (Na-CMC); gumę ksantanową (XG) oraz hydroksypropylo-metylocelulozę (HPMC)). Okazało się, że o lepkości wzdłużnej, podobnie jak lepkości mierzonej w przepływie ścinającym, decydują zarówno właściwości reologiczne fazy ciągłej, jak i struktura fazy rozproszonej, a przedstawione w wymienionych powyżej pracach wyniki mogą zostać podzielone na cztery grupy [H1, H2, H10, H11]:

- grupa 1:** faza ciągła ma właściwości płynu newtonowskiego, a faza rozproszona składa się z niesflokulowanych kropelek [H2, H10];
- grupa 2:** faza ciągła ma właściwości płynu nienewtonowskiego o przewadze cech lepkich nad sprężystymi, a faza rozproszona jest słabo sflokulowana [H1, H16];
- grupa 3:** faza ciągła ma właściwości płynu nienewtonowskiego o przewadze cech lepkich nad sprężystymi, a faza rozproszona jest silnie sflokulowana [H1, H11],
- grupa 4:** faza ciągła jest płynem lepkosprężystym [H1, H17].

Do grupy 1 należy zaliczyć zarówno emulsje o/w, jak i w/o stabilizowane jedynie dodatkiem związków powierzchniowo czynnych (stosowany był Tween 40 (polioksyetylenowany monopalmitynian sorbitanu 40 oraz Span 80 (monooleinian sorbitanu 80)) [H2, H10]. W przypadku tych

² Dontula, P., Pasquali, M., Scriven, L. E., Macosko, Ch. W., (1997). Can extensional viscosity be measured with opposed nozzle devices?. *Rheologica Acta*, 6, 429–448.

emulsji stosunek Troutona nie zależy od szybkości odkształcenia. Jego wartości wyznaczone z użyciem reometru o przeciwstawnych dyszach wzrastały ze wzrostem stężenia fazy rozproszonej oraz ze zmniejszeniem średnicy kropelek. Niestety nie ma pewności, czy jest to związane z rzeczywistymi właściwościami emulsji czy raczej z niedoskonałością techniki pomiarowej.

Z badań przedstawionych w pracy [H2] wynika również, że przy udziale fazy rozproszonej 74 %-obj. pomiar lepkości wzdłużnej przy użyciu urządzenia, w którym występuje przepływ stagnacyjny między przeciwstawnymi dyszami, staje się niemożliwy. Dla tej emulsji pozorna lepkość wzdłużna wzrastała ze wzrostem średnicy dyszy (średnice dysz: 1 mm, 2 mm i 3 mm). Jest to tzw. „efekt średnicy dyszy”. Z pomiarów wykonanych w przepływie ścinającym wynika, że emulsja ta była płynem z granicą płynięcia (lub w ujęciu Barnes’a i Waltersa – płynem z bardzo dużą lepkością przy niskich szybkościach ścinania). Obserwowany efekt średnicy można wyjaśnić oddziaływaniem przepływającego w zbiorniku pomiarowym płynu na ramiona dysz i tym samym na wartość mierzonego momentu skręcającego.

Dla emulsji stabilizowanych surfaktantami przeprowadziłam również badania nad wpływem średnicy kropelek na wartość lepkości wzdłużnej. W badaniach użyto emulsji, których stężenie fazy rozproszonej wynosiło 60, 70 %-obj. [H2]. Lepkość emulsji wzdłużnej, podobnie jak lepkość mierzona podczas przepływu ścinającego, malała ze wzrostem średnicy kropelek.

W prowadzonych przez mnie badaniach klasyfikacja emulsji do grupy 2, 3 i 4 została przeprowadzona w oparciu o wyniki badań oscylacyjnych wykonanych dla fazy ciągłej (roztwory polimerów) w zakresie częstości kątowej ω od około 10^{-2} Hz do około 100 Hz. Jeżeli we wspomnianym zakresie częstości oscylacji wartości modułu stratności G'' były większe od modułu zachowawczego G' , to emulsje były kwalifikowane do grup 2 lub 3 (faza ciągła ma właściwości płynu nielawnowtonowskiego o przewadze cech lepkich nad sprężystymi). Jeżeli natomiast dochodziło do przecięcia zależności $G' = f(\omega)$ i $G'' = f(\omega)$ i powyżej pewnej wartości ω wartość $G' > G''$, to emulsje zaliczono do grupy 4.

Przykładem płynów użytych w badaniach, które można zaliczyć **do grupy 2**, były emulsje stabilizowane dodatkiem gumy guarowej (GG) oraz hydroksypropylometylocelulozą (HPMC) [H1, H16]. Zarówno w przypadku wodnych roztworów tych polimerów, jak i emulsji z ich dodatkiem w całym zakresie zmienności częstości kątowej wartości modułu G'' były większe od wartości modułu G' . Lepkość wzdłużna tego typu emulsji wzrastała ze wzrostem stężenia fazy rozproszonej, jednak wartości stosunku Troutona były mniejsze niż w przypadku wodnych roztworów polimerów. Przeprowadziłam również pomiary lepkości wzdłużnej dla emulsji o zbliżonej strukturze fazy rozproszonej (średnica d_{32} mieściła się w przedziale od 32 μm do 40,2 μm) stabilizowanych HPMC, których wodne roztwory różniły się lepkością mierzoną w warunkach przepływu ścinającego (nazwy handlowe HPMC: KH40M, MK45M, MK65M), przy tym samym stężeniu masowym polimeru [H16]. Wodne roztwory HPMC były płynami rozrzedzanymi ścinaniem, natomiast wartości lepkości wzdłużnej nie zależały od szybkości odkształcenia. W przypadku emulsji wartości lepkości wzdłużnej, jak i lepkości zmierzonej w warunkach ścinania były wyższe niż dla czystego polimeru, zwłaszcza przy małych szybkościach odkształcenia. We wszystkich przypadkach obecność fazy rozproszonej prowadziła do obniżenia stosunku Tr (przede wszystkim przy dużych szybkościach odkształcenia) w porównaniu do wartości uzyskanych dla wodnego roztworu polimeru [H16].

Sytuacja uległa diametralnej zmianie, gdy zastosowano emulsje stabilizowane dodatkiem soli sodowej karboksymetylocelulozy (Na-CMC). W zastosowanym w badaniach zakresie stężeń i mas cząsteczkowych tego polimeru wartości modułu G'' były większe od G' , jednak w tym przypadku faza rozproszona emulsji była silnie sflokulowana (**grupa 3**). Silna flokulacja kropelek wywoływała stosunkowo duży wzrost lepkości wzdłużnej ze wzrostem stężenia emulsji. Jedynie też w

tym przypadku dla emulsji uzyskano większe wartości stosunków Troutona niż dla wodnych roztworów Na-CMC [H1].

Grupę 4 stanowiły emulsje stabilizowane dodatkiem polimerów, których roztwory wodne charakteryzowały się właściwościami lepkosprężystymi [H1, H17]. W tym przypadku zależności $G' = f(\omega)$ i $G'' = f(\omega)$ ulegały przecięciu przy pewnej wartości prędkości kątowej. Nastąpiło to w przypadku emulsji stabilizowanej dodatkiem gumy ksantanowej (XG) oraz soli sodowej karboksymetylocelulozy o stężeniu 1,4% i o średniej wagowo masie cząsteczkowej 700 000 g/mol. Można tu wyróżnić dwie podgrupy. W pierwszej fazie rozproszona była stosunkowo słabo sflokulowana (emulsje z dodatkiem XG o stężeniu 0,2% i z udziałem fazy olejowej 20% i 30%). W tym przypadku zmierzone wartości pozornej lepkości wzdłużnej dla emulsji były niższe lub porównywalne z wartościami lepkości wzdłużnej zmierzonymi dla wodnego roztworu polimeru. Do drugiej podgrupy zaliczono emulsje, w których mocno sflokulowana faza rozproszona tworzy przestrzenną sieć. Skutkowało to wzrostem pozornej lepkości wzdłużnej emulsji w porównaniu z lepkością wzdłużną wodnych roztworów polimerów. W obu jednak przypadkach wartości stosunku Troutona były zbliżone lub niższe od wartości uzyskanych dla wodnych roztworów polimerów [H1].

Z przeprowadzonej analizy właściwości reologicznych emulsji stabilizowanych polimerami wynika, że obecność fazy rozproszonej prowadzi do obniżenia stosunku Troutona, a nawet w przypadku emulsji stabilizowanych gumą ksantanową jej lepkości wzdłużnej. Wyjątkiem były mocno sflokulowane emulsje stabilizowane Na-CMC o stosunkowo niedużej masie cząsteczkowej. W pracy [H1] obserwacje te zostały powiązane z oddziaływaniem kropeł emulsji na mikrostrukturę fazy ciągłej. Posłużyłam się w tym przypadku omówionymi w literaturze wynikami badań dla stopionych polimerów, których właściwości reologiczne w przepływie wzdłużnym są znacznie lepiej poznane. Podczas przepływu wzdłużnego stopionego polimeru, przy stałej szybkości rozciągania, występuje zjawisko utwardzenia odkształceniem (chwilowe wartości lepkości wzdłużnej wzrastają ze wzrostem odkształcenia). Okazuje się, że obecność cząstek stałych powoduje, że wzrost lepkości wzdłużnej jest znacznie mniejszy lub zanika całkowicie. Przyczyny zaniku zjawiska zagęszczenia odkształceniem nie zostały do dnia dzisiejszego w pełni wyjaśnione. Najczęściej jest on wiązany ze względnym ruchem między zawieszonymi w polimerze cząstkami ciała stałego podczas jednoosiowego rozciągania, który wywołuje występowanie lokalnego ścinania lub rozciąganie dwuosiowe. Analogiczny mechanizm może występować podczas przepływu wzdłużnego emulsji. Wodne roztwory polimerów są płynami rozrzedzanymi ścinaniem. Dodatkowe naprężenia ścinające powstałe podczas przepływu rozciągającego emulsji mogą prowadzić do częściowego zniszczenia mikrostruktury płynu. W skrajnym przypadku, jak na przykład podczas przepływu wzdłużnego emulsji stabilizowanej gumą ksantanową, obecność fazy rozproszonej może spowodować obniżenie lepkości wzdłużnej emulsji w stosunku do lepkości wzdłużnej fazy ciągłej [H1].

W przypadku emulsji istotnym elementem nadającym jej odpowiednią stabilność jest wielkość, rozkład oraz stężenie kropeł fazy rozproszonej. Faza rozproszona może składać się z kropeł o szerokim spektrum średnic. Zarówno podczas przepływu ścinającego, jak i wzdłużnego może następować rozpad kropeł pod wpływem naprężeń. Jeżeli podczas badań reologicznych zastosuje się zbyt duże szybkości odkształcenia, może doprowadzić to do powstania nowej emulsji o mniejszej średnicy kropeł. Z tych powodów w pracy [H15] przedstawiłam badania nad możliwymi zmianami mikrostruktury emulsji w warunkach przepływu rozciągającego między przeciwstawnymi dyszami. Jako płyny modelowe wykorzystałam emulsje o/w stabilizowane dodatkiem soli sodowej karboksymetylocelulozy (Na-CMC) oraz politlenku etylenu

(PEO). Dla emulsji o średnicy kropeł Sautera d_{32} mniejszej od około 45 μm nie zaobserwowałam wpływu naprężeń powstających podczas przepływu rozciągającego na zmianę jej wartości. Także rozkłady średnic kropeł wskazywały, że w przypadku takich układów, w zastosowanym zakresie szybkości odkształcenia ($\dot{\epsilon}$ od 37,7 s^{-1} do 1019 s^{-1}) i odpowiadających im naprężeń, średnice kropeł nie ulegały zmianie. Dotyczyło to zarówno emulsji stabilizowanych Na-CMC jak i PEO o udziale fazy objętościowej 20%. Zmianę rozkładu kropeł pod wpływem naprężeń rozciągających zaobserwowałam natomiast dla emulsji stabilizowanej PEO, w której występowały bardzo duże krople o średnicach sięgających 170 μm [H15].

4.3.3. Lepkość wzdłużna roztworów polimerowych

Kolejną grupą substancji, dla których wykonałam pomiary reologiczne w przepływie wzdłużnym, były wodne roztwory polimerów [H3, H4, H8, H13, H14, H20]. Badania ukierunkowane były na określenie wpływu średniej masy cząsteczkowej polimeru (M_w) [H3, H13, H20], stopnia podstawienia (DS) [H3] oraz sztywności łańcucha polimeru (giętki lub półsztywny) na wartość lepkości wzdłużnej [H4]. W badaniach użyto wodnych roztworów soli sodowej karboksymetylocelulozy (Na-CMC) o dwóch średnich wagowo masach cząsteczkowych ($M_w = 250\,000$ oraz $700\,000$ g/mol), gumę guarową (GG), hydroksypropylometylocelulozę (HPMC), hydroksyetylocelulozę (HEC), gumę ksantanową (XG) oraz poliakryloamid (Rokrysol WF1) i częściowo zhydrolizowany poliakryloamid (Rokrysol WF2). Ponadto wykonałam badania wpływu siły jonowej na właściwości reologiczne roztworów polimerów jonowych w przepływie wzdłużnym [H3, H14]. Dane te są o tyle istotne, że roztwory Na-CMC i częściowo zhydrolizowanego poliakryloamidu są powszechnie stosowane w modelowaniu przepływu płynów nienewtonowskich. W procesach, w których lepkość wzdłużna odgrywa istotną rolę (przepływ płynów przez złoża porowate, wymienniki ciepła itp.), straty ciśnienia mogą być znacznie większe niż wynikające jedynie z właściwości reologicznych tych płynów w przepływie ścinającym.

W pracy [H4] wykazałam, że wzajemna relacja między lepkością wzdłużną i lepkością przy ścinaniu wyrażona stosunkiem Troutona, w znacznym stopniu zależy od budowy i giętkości łańcucha polimerowego. Badania zostały przeprowadzone dla semirozcieńczonych roztworów poliakryloamidu i HEC (roztwory, w których doszło do przenikania się kłębków polimerów i splątania ich łańcuchów). Krzywe lepkości wzdłużnej roztworów poliakryloamidu (giętki łańcuch) i roztworów HEC (łańcuch półsztywny) różniły się jakościowo i ilościowo (maksymalne wartości stosunku Troutona). Dla roztworów Rokrysolu wartości stosunku Tr były znacznie wyższe niż dla roztworów HEC (maksymalna wartość około 41). W przypadku roztworów Rokrysolu większe wartości uzyskano dla roztworów polimeru jonowego (Rokrysol WF2). Maksymalna wartość stosunku Tr dla Rokrysolu WF2 wynosiła około 85, a dla Rokrysolu WF1 około 70. Dla polimerów o sztywnej budowie łańcucha (HEC) wartości $\eta_{E,a}$ do pewnej wartości $\dot{\epsilon}_a$ mają stałą wartość, po czym nieznacznie rosną wraz ze wzrostem pozornej szybkości rozciągania, a następnie stabilizują się na stałym poziomie. W przypadku Rokrysolu przy małych szybkościach odkształcenia lepkość wzdłużna również miała stałą wartość, po czym zaobserwowano jej wzrost (zakres zagęszczania rozciąganiem³), a następnie jej spadek. Na krzywej lepkości wzdłużnej powstaje w ten sposób „garb”, charakterystyczny dla roztworów polimerów o giętkim łańcuchu, w których doszło do przenikania się i splątania kłębków ($\dot{\epsilon}_{a,max}$ wartość szybkości wzdłużnej, przy której występuje maksimum pozornej lepkości wzdłużnej).

³ Na krzywej lepkości wzdłużnej stężonych roztworów polimerów wyróżniamy dwa zakresy zagęszczania rozciąganiem, pierwszy zaczynający się wraz z końcem zakresu lepkości zerowej (o tym zakresie mowa w tej części tekstu) oraz drugi występujący przy dużych szybkościach rozciągania (związany z rozciąganiem rozplątanych łańcuchów polimerów).

Występujący powyżej $\dot{\epsilon}_{a, \max}$ zakres rozrzedzania odkształceniem (lepkość wzdłużna maleje wraz ze wzrostem szybkości rozciągania) jest wynikiem postępującego rozplątania łańcuchów polimeru. W literaturze nie zostały wyjaśnione przyczyny występowania pierwszego zakresu zagęszczania ścinaniem. W pracy [H4] wzrost pozornej lepkości wzdłużnej powiązałam z rozciąganiem łańcuchów polimerów między ich splątaniem.

W pracach [H3] i [H13] przedstawiłam wyniki pomiarów lepkości wzdłużnej dla wodnych roztworów soli sodowej karboksymetylocelulozy. Analizowałam wpływ na właściwości reologiczne roztworów tego polimeru stopnia podstawienia (średnia ilość grup karboksylowych przypadających na anhydroglukozę, DS) i masy cząstkowej Na-CMC oraz siły jonowej roztworu. Badania przeprowadzono dla stężeń polimeru większych od stężenia nakładania się blobów (nazwę tę podaję za książką Galina H.⁴).

W przypadku polimerów o różnych średnich wagowo masach cząsteczkowych (Na-CMC) większe wartości zarówno lepkości wzdłużnej, jak i stosunku Tr uzyskałam dla polimeru o wyższej masie cząsteczkowej (dla $M_w = 700$ tys. stosunek Tr osiągał wartość około 50) [H13]. Dla roztworów Na-CMC o $M_w = 250$ tys. stosunek Troutona miał znacznie niższe wartości, a dla Na-CMC o DS = 1,2 i 0,9 zbliżone do wartości uzyskanych dla płynów newtonowskich lub jedynie nieznacznie większą [H3, H13]. Krzywe lepkości uzyskane w warunkach przepływu ścinającego przecinały się przy szybkości ścinania 4 s^{-1} , powyżej której lepkość roztworu polielektrolitu o wyższej masie cząsteczkowej miała niższą lepkość, natomiast lepkość wzdłużna była w całym zakresie zmian szybkości odkształcenia większa dla roztworu o wyższej średniej masie cząsteczkowej.

W pracy [H3] wykazałam również, że lepkość wzdłużna maleje ze wzrostem stopnia podstawienia Na-CMC. Dla roztworów soli sodowej karboksymetylocelulozy o DS = 0,9 i 1,2 wartości stosunku Tr były stosunkowo małe i mieściły się w przedziale od około 4 do 8. Wyraźny wzrost stosunku Tr ze wzrostem szybkości odkształcenia występuje w przypadku roztworu Na-CMC₂₅₀ o DS = 0,7. Dla roztworów o stężeniu 1,5% i 2,2% jej wartości wynosiły 14,5 i 24,0 (przy $\dot{\epsilon}_a = 968,2 \text{ s}^{-1}$). Przyczyny wzrostu lepkości wzdłużnej i stosunku Tr ze spadkiem stopnia podstawienia powiązałam z formowaniem się agregatów w wyniku występowania międzyłańcuchowych wiązań wodorowych.

Dane te świadczą, że prowadząc badania modelowe z użyciem roztworów soli sodowej karboksymetylocelulozy w układzie, w którym płyn jest poddawany rozciąganiu lub ścinaniu i rozciąganiu, przy interpretacji wyników badań należy uwzględnić właściwości reologiczne płynów modelowych w przepływie wzdłużnym.

W literaturze wpływ soli prostych na właściwości reologiczne roztworów polimerów w przepływie ścinającym jest szeroko opisany. Brak natomiast informacji dotyczących wpływu siły jonowej na właściwości reologiczne roztworów polimerów w przepływie wzdłużnym. Stąd też podjęłam badania nad wpływem dodatku chlorku sodu na właściwości reologiczne wodnych roztworów poliakryloamidu (Rokrysol WF1 i Rokrysol WF2) [H14] oraz Na-CMC [H3].

Dodatek soli do roztworu Rokrysolu WF2 i Rokrysolu WF1 (giętkie łańcuchy) powodował obniżenie pozornej lepkości wzdłużnej [H14]. W przypadku Rokrysolu WF1 wartości pozornej szybkości rozciągania $\dot{\epsilon}_{a, \max}$, przy której obserwowane jest maksimum, pozorne lepkości wzdłużnej wzrastały ze wzrostem stężenia NaCl. Jednocześnie maksymalne wartości $\eta_{E,a}$ malały. Przy stężeniu soli 0,3% wag. charakterystyczny „garb” na krzywej $\eta_{E,a} = f(\dot{\epsilon}_a)$ zanikał całkowicie, a pozorna lepkość wzdłużna wzrastała w całym zakresie szybkości odkształcenia. W

⁴ Galina H., Fizykochemia polimerów, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów, 1998.

przypadku roztworu Rokrysolu WF1 już dodatek NaCl o stężeniu 0,05% wag. powodował zanik maksimum pozornej lepkości wzdłużnej.

Badania nad wpływem soli na lepkość wzdłużną wodnych roztworów Na-CMC ($M_w = 700\ 000$ g/mol, $DS = 0,9$) przedstawiłam w pracy [H3]. Ze wzrostem stężenia dodanego do roztworu Na-CMC chlorku sodu obserwowałam obniżenie lepkości przy ścinaniu η , pozornej lepkości wzdłużnej $\eta_{E,a}$ oraz stosunku Troutona Tr . Przy stężeniu soli 0,259 M lepkość wzdłużna ulegała obniżeniu nawet o 80%, podczas gdy lepkość przy ścinaniu maksymalnie o 50%.

Spowodowane dodatkiem soli obniżenie lepkości wzdłużnej i lepkości przy ścinaniu jest związane ze zmianami rozmiarów statystycznego kłębka. W przypadku polielektrolitów występowanie jednoimiennych ładunków wywołuje rozciąganie ich łańcucha. Dodatek soli powoduje ekranowanie ładunków, w wyniku czego następuje wzrost giętkości łańcucha polimeru i zmniejszenie się wymiarów kłębka. Tym samym maleje liczba splątań łańcuchów ze wzrostem stężenia soli. W przypadku roztworów poliakryloamidu dodatek soli do poziomu 0,3% spowodował tak znaczny spadek gęstości splątań, że w całym zakresie zmian szybkości rozciągania lepkość wzdłużna wzrastała (zbliżone właściwości reologiczne do rozcieńczonych roztworów polimerów). Świadczy to o tym, że na wartość pozornej lepkości wzdłużnej wpływa przede wszystkim rozciąganie łańcuchów polimeru. Spowodowane dodatkiem soli znacznie większe obniżenie lepkości wzdłużnej od lepkości przy ścinaniu świadczy, że mniejsze statystycznie kłębki powstałe w wyniku ekranowania ładunków ulegają trudniej rozciągnięciu w warunkach przepływu wzdłużnego.

4.3.4. Przepływ ścinający i wzdłużny roztworów surfaktantów

Jednym z istotnych aspektów mojej pracy naukowej było opracowanie mieszaniny roztworów surfaktantów, w których dochodzi do wytworzenia micel robaczkowych (ang. *wormlike micelles*). Środki powierzchniowo czynne mają szereg charakterystycznych właściwości, które powodują, że są substancjami powszechnie stosowanymi w różnych gałęziach przemysłu. Do najważniejszych należy oczywiście ich zdolność do obniżania napięcia międzyfazowego. Inną ich cechą, która także ma znaczenie praktyczne, jest zdolność do modyfikacji właściwości reologicznych roztworów. Stosunkowo bogata literatura na ten temat dotyczy głównie surfaktantów kationowych. Mieszanina surfaktantów, którą opracowałam, składała się ze zwitterjonowej kokamidopropylobetainy (CAPB) oraz anionowego dodecylobenzenosulfonianu sodu (SDBS). Zdolność surfaktantów do modyfikacji właściwości reologicznych płynów wiąże się z formowaniem w ich roztworach długich asocjatów micelarnych zwanych micelami robaczkowymi. Właściwości reologiczne tego typu roztworów są zbliżone do roztworów polimerów. W praktyce roztwory micelarne znalazły zastosowanie jako dodatki umożliwiające formowanie konsystencji produktów kosmetycznych i chemii gospodarstwa domowego. Są one również stosowane do formowania konsystencji tuszy i atramentów. Potencjalnie mogą być wykorzystane jako płyny szczelinujące przy wydobywaniu ropy i gazu z łupków.

W pracy [H5] analizowałam właściwości reologiczne mieszaniny CAPB/SDBS w przepływie ścinającym (ciągłym i oscylacyjnym). Badania były ukierunkowane na określenie wpływu stosunku molowego surfaktantów, ich całkowitego stężenia oraz pH i temperatury na właściwości reologiczne roztworów CAPB/SDBS. Obecność micel robaczkowych w roztworze została potwierdzona pomiarami dwójłomności podczas przepływu.

Okazało się, że do opisu wyników badań oscylacyjnych przeprowadzonych dla roztworów CAPB/SDBS można zastosować jednoelementowy model Maxwella, co zgodnie z modelem Catesa świadczy o tym, że roztwory CAPB/SDBS można zaliczyć do tak zwanych „żywych” polimerów. Oznacza to, że średni czas życia miceli, zanim ulegnie ona rozpadowi na dwie mniejsze, jest znacznie krótszy od czasu reptacji (czas niezbędny do przejścia miceli przez hipotetyczną rurę uformowaną przez splątane micelle)⁵. Zastosowanie modelu Catesa pozwoliło wyznaczyć podstawowe parametry uformowanej sieci micelarnej (średnicę oczka). Opierając się na teorii upakowania wyjaśniłam przyczyny zmian właściwości reologicznych roztworów CAPB/SDBS ze zmianą pH i stosunku molowego mieszaniny surfaktantów. Wykazałam, że obniżenie pH oraz nadmiar SDBS powoduje przekształcenie micel robaczkowych w micelle pęcherzykowe. Przyczyny zmian kształtu micel wyjaśniłam również na podstawie teorii upakowania. Wyznaczona energia rozszczepienia miceli (energia wymagana do rozbicia miceli robaczkowej na dwie części) była znacznie większa od energii rozszczepienia rejestrowanych dla surfaktantów kationowych powstałych w roztworach o dużej sile jonowej. Analizując zmianę lepkości zerowej ze wzrostem stosunku molowego CAPB/SDBS oraz całkowitego stężenia surfaktantów, zaobserwowałam występowanie jej maksimum. Powyżej maksimum musi następować zmiana mikrostruktury płynu. Przyczyny jej spadku mogą być dwojakie: powstanie krótszych micel lub przekształcenie micel robaczkowych w micelę usieciowaną. Z przeprowadzonej analizy wyników badań reologicznych popartymi zdjęciami wykonanymi przy użyciu mikroskopu polaryzacyjnego okazało się, że przy dużych stężeniach SDBS (powyżej 0,086 M) powstają micelle pęcherzykowe lub struktury lamelarne. Stąd też powyżej maksimum lepkości można się spodziewać powstawania micel usieciowanych.

Dla roztworów mieszaniny CAPB/SDBS przeprowadziłam również badania reologiczne w przepływie wzdłużnym. Większość opublikowanych do tej pory wyników pomiarów lepkości wzdłużnej dotyczyła wodnych roztworów surfaktantów kationowych (Rothstein, 2003⁶). Dla mieszanin surfaktant zwitterionowy/surfaktant anionowy wyników takich badań nie znalazłam.

Wyniki badań reologicznych dla mieszanin CAPB/SDBS przeprowadzone przy użyciu reometru CaBER zostały przedstawione w pracy [H18]. Opierając się na uzyskanych profilach zmian średnicy środkowej części włókna D_{mid} w czasie t , wyznaczyłam wzdłużny czas relaksacji λ_E . Na podstawie zależności stosunku średnic D_{mid}/D_0 od czasu t dla roztworu CAPB/SDBS można wyróżnić dwa zakresy ścieniania włókna: ścienianie lepko-kapilarne oraz ścienianie sprężysto-kapilarne. Ścienianie sprężysto-kapilarne postępuje przy stałej wartości szybkości wzdłużnej oraz stałej wartości liczby Weissenberga ($Wi = \lambda_E \dot{\epsilon}$) wynoszącej 2/3. W przypadku mieszaniny CAPB/SDBS wartość liczby Wi również wynosiła 2/3. Świadczy to o tym, że do opisu zakresu ścieniania sprężysto-kapilarnego roztworów CAPB/SDBS można zastosować model płynów lepko-sprężystych Oldroyda-B. Jednocześnie stosunek wzdłużnego czasu relaksacji λ_E do granicznego czasu relaksacji λ_s (uzyskany na podstawie pomiarów oscylacyjnych przy częstotliwości oscylacji $\omega \rightarrow 0$) jest znacznie mniejszy niż dla roztworów kationowych surfaktantów. Stosunek λ_E/λ_s mieścił się w przedziale od 0,0035 s do 0,016 s. Opublikowana do tej pory najmniejsza wartość stosunku λ_E/λ_s wynosiła około 0,02 s dla roztworu chlorku cetylopirydyniowego z dodatkiem salicylanu sodu (Sachsenheimer i in., 2014⁷). W zakresie małych częstotliwości oscylacji

⁵ Lepkosprężyste roztwory surfaktantów, dla których czas reptacji jest krótszy od czasu życia miceli, są nazywane „martwymi” polimerami.

⁶ Rothstein J.P., (2003). Transient extensional rheology of wormlike micelle solutions. *J. Rheology*, 47(5), 1227-1247.

⁷ Sachsenheimer D., Oelschlaeger C., Müller S., Küstner J., Bindgen S., Willenbacher N., (2014). Elongational deformation of wormlike micellar solutions. *J. Rheology*, 58(6), 2017-2042.

relaksacja naprężeń w roztworach, w których doszło do splątania łańcuchów polimerów lub micel robaczkowych jest spowodowana reptacją, natomiast w zakresie ścinania sprężysto-kapilarnego dochodzi do rozciągania łańcuchów polimerów lub micel robaczkowych. Jakkolwiek dla płynów Bogera, rozcieńczonych roztworów polimerów i niektórych roztworów surfaktantów $\lambda_E \approx \lambda_s$ lub $\lambda_E > \lambda_s$. Rozbieżności uzyskanych wartości stosunku λ_E/λ_s dla różnych roztworów surfaktantów świadczą o tym, że mechanizm relaksacji naprężeń podczas rozciągania roztworów surfaktantów nie jest w pełni poznany i wymaga dalszych badań. Ponadto wykazałam, że przebieg uzyskanych zależności lepkości wzdłużnej $\eta_{E,app} = f(Wi)$ dla roztworów CAPB/SDBS w dwóch pierwszych zakresach ścinienia włókna jest analogiczny do opisanych w literaturze krzywych lepkości wzdłużnej stężonych roztworów polimerów (Clasen, 2010⁸).

Można tu również wyróżnić trzy charakterystyczne zakresy, w których lepkość pozorna kolejno maleje (zakres ścinania lepko-kapilarnego), gwałtownie rośnie przy $Wi = 2/3$, oraz ponownie maleje (zakresy ścinania sprężysto-kapilarnego). W zakresie ścinania lepko-kapilarnego następuje rozplątanie micel robaczkowych, które następnie ulegają rozciągnięciu, w wyniku czego pozorna lepkość wzdłużna gwałtownie wzrastała przy $Wi = 2/3$.

4.3.5. Przepływy przez złożę porowate

Jak już wspomniałam, podczas przepływu przez złożę porowate płyn jest poddawany zarówno ścinaniu, jak i rozciąganiu. Występowanie ścinania i rozciągania jest związane ze zmianą przekroju kanalików wzdłuż drogi przepływu płynu. W pracy [H9] przedstawiłam dotychczasowy stan wiedzy nad przepływem przez złoża porowate roztworów polimerów o łańcuchu półsztywnym i giętkim. Charakterystyka przepływu roztworów polimerów przez złożę porowate została przeprowadzona na podstawie danych literaturowych i własnych wyników pomiarów. W literaturze nie ma zgodności, czy odchylenie punktów eksperymentalnych od linii wynikającej z równania Darcy'ego podczas przepływu płynów nienewtonowskich jest wynikiem rozciągania makrocząstek polimeru czy też działania sił bezwładności. W ostatnich pracach przeważa pogląd, że podczas przepływu roztworów polimerów o łańcuchu półsztywnym wzrost współczynnika oporu należy wiązać z siłami bezwładności. Inny przypadek stanowią roztwory polimerów o łańcuchu giętkim. W większości opublikowanych do tej pory prac wiąże się nagły wzrost strat ciśnienia podczas przepływu rozcieńczonych roztworów polimerów o giętkim łańcuchu z występowaniem deformacji rozciągającej. Natomiast w przypadku przepływu roztworów stężonych tej grupy polimerów wzrost ten jest wiązany z tak zwaną „turbulencją sprężystą”⁹.

Do tej pory opublikowano szereg badań dotyczących strat ciśnienia podczas przepływu roztworów polimerów oraz emulsji stabilizowanych surfaktantami przez złożę porowate. Okazało się, że brakuje informacji na temat przepływu emulsji stabilizowanych dodatkiem polimerów. W tego typu emulsjach faza ciągła charakteryzuje się złożonymi właściwościami reologicznymi [H1]. Dodatkowo polimery często wywołują flokulację kropeł, co może doprowadzić do powstania struktury żelowej.

W pracach [H6, H19] analizowałam straty ciśnienia podczas przepływu rozcieńczonych emulsji o/w stabilizowanych dodatkiem dwóch polimerów o łańcuchach półsztywnych (NaCMC i guma ksantanowa) i jednego polimeru o łańcuchu giętkim (poli(tlenek etylenu), PEO)

⁸ Clasen C., (2010). Capillary breakup extensional rheometry of semi-dilute polymers. Korea Aust. Rheol. J., 22(4), 331-338.

⁹ Termin „turbulencja sprężysta” został wprowadzony przez Groismana i Steinberga (Groisman A., Steinberg V., (2000), Nature, 405, 53) do opisu obserwowanej chaotycznej niestabilności przepływu płynów lepkosprężystych przy niskich liczbach Reynoldsa powstałej w wyniku występowania długich czasów relaksacji cząsteczek polimerów w roztworze.

przez złożę szklanych cząstek kulistych. Fazą rozproszoną był olej mineralny, którego lepkość w temperaturze 20°C wynosiła 0,217 Pa·s i składała się ze sflokulowanych kropli, których średnica zastępcza była znacznie mniejsza od rozmiaru porów. W pracy [H19] przedstawiłam wyniki dla emulsji stabilizowanej Na-CMC o $M_w = 250\,000$ g/mol i DS = 1,2, natomiast w pracy [H6] wyniki uzyskane dla emulsji stabilizowanych Na-CMC o $M_w = 250\,000$ g/mol (DS = 0,7 i 0,9) i $M_w = 700\,000$ g/mol (DS = 0,9).

Do opisu krzywych płynięcia silnie sflokulowanych emulsji stabilizowanych Na-CMC zastosowałam model Herschela-Bulkleya [H6, H19], natomiast dla emulsji z dodatkiem XG model Carreau [H6]. Podczas ich przepływu przez złożę cząstek kulistych nie zaobserwowałam wpływu składowej wzdłużnej deformacji. Co prawda podczas przepływu emulsji z dodatkiem XG punkty eksperymentalne odchyłały się od linii opisującej zakres przepływu Darcy'ego, jednak jak wcześniej wykazałam w pracach [H1, H17], obecność fazy rozproszonej prowadzi do zmniejszenia lepkości wzdłużnej roztworów XG. Tym samym wartości współczynnika tarcia wyższe od wynikających z równania $f_{BK} = 180/Re_{BK}$ mogą wynikać jedynie z wpływu sił bezwładności.

Z analizy literatury wynika, że stosując obecne metodologie modelowania przepływów przez ośrodki porowate, nie jest się w stanie uwzględnić w badaniach złożoności przepływu płynów z granicą płynięcia. Dodatkowo zaledwie w kilku pracach przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych dla przepływu tej grupy płynów przez złożę porowate (Al-Fariss i Pinder (1987)¹⁰; Chevalier i in. (2013)¹¹; Chase and Dachavijit (2005)¹²). Odchylenie uzyskanych przeze mnie wyników pomiarów strat ciśnienia podczas przepływu emulsji z granicą płynięcia przez złożę cząstek kulistych od wartości obliczonych metodami zaproponowanymi przez Al-Farissa i Pindera (1987)¹⁰ oraz Chevaliera i in. (2013)¹¹ wynosiło odpowiednio 25% i 150%. Stąd też podjęłam badania nad opracowaniem metody obliczeń strat ciśnienia podczas przepływu emulsji z granicą płynięcia.

Do obliczania strat ciśnienia podczas przepływu płynów z granicą płynięcia przez rurę można wykorzystać metodę opartą na uogólnionej liczbie Reynoldsa zaproponowaną przez Metznera i Reeda (1955)¹³. Pierwotnie metoda ta była wykorzystywana do obliczania strat ciśnienia podczas przepływu płynów potęgowych. Następnie została uogólniona również na płyny z granicą płynięcia. W przypadku modelu Herschel-Bulkleya wartości uogólnionego charakterystycznego wskaźnika płynięcia n' oraz uogólnionego współczynnika konsystencji K' można obliczyć z równań zaproponowanych przez Maleki i Frigaard (2016)¹⁴. Zaproponowane przez tych autorów równania pozwalające obliczyć n' i K' zmodyfikowałam do postaci, która może być użyta dla przepływu płynów Herschela-Bulkleya przez złożę porowate:

$$n' = n \cdot (1 - \xi_e) \cdot \frac{(n+1) \cdot (2n+1) + 2n(n+1)\xi_e + 2n^2\xi_e^2}{(n+1) \cdot (2n+1) + 3n(n+1)\xi_e + 6n^2\xi_e^2 + 6n^3\xi_e^3} \quad (1)$$

¹⁰ Al-Fariss T.F., Pinder K.L., (1987). Flow through porous media of a shear-thinning liquid with yield stress, Can J Chem Eng., 65, 391-405.

¹¹ Chevalier T., Chevalier C., Clain X., Dupla, J.C., Canou J., Rodts S., Coussot P., (2013). Darcy's law for yield stress fluid flowing through a porous medium, J. Non-Newton. Fluid Mech., 195, 57–66.

¹² Chase, G.G., Dachavijit, P., (2005). A correlation for yield stress fluid flow through packed beds. Rheol. Acta. 44, 495–501.

¹³ Metzner A., Reed J., (1955). Flow of non-Newtonian fluids: Correlation of the laminar, transition, and turbulent-flow regions, AIChE J. 1 (4) 434-440.

¹⁴ Maleki A., Frigaard I.A., (2016). Axial dispersion in weakly turbulent flows of yield stress fluids. J. Non-Newtonian Fluid Mech. 235, 1-19.

$$K' = \frac{\tau_0 + k \left(\frac{3n'+1}{4n'} \cdot \dot{\gamma}_{N,w} \right)^n}{(\dot{\gamma}_{N,w})^{n'}} \quad (2)$$

gdzie: $\dot{\gamma}_{N,w}$ jest nominalną szybkością ścinania obliczoną z równania zaproponowanego przez Kembłowskiego i Michniewicza (1979)¹⁵, a ξ_e jest zmodyfikowanym bezwymiarowym promieniem:

$$\xi = \frac{R_0}{R_h} = \frac{\tau_0}{\tau_w} \quad (3)$$

gdzie: R_0 – promień przepływu tłokowego, [m], R_h – promień hydrauliczny, [m], τ_w – przyścienne naprężenie ścinające [Pa], τ_0 – granica płynięcia [Pa]. Wykorzystując parametry n' i K' określone równaniami (1) i (2) uogólniłam liczbę Reynoldsa zaproponowaną przez Kembłowskiego i Michniewicza (1979)¹⁵ dla płynów reologicznie stabilnych:

$$Re_{BK}^* = \frac{v_0^{2-n'} \cdot d_p^{n'} \cdot \rho}{K' (1-\varepsilon)^{n'}} \cdot \left(\frac{15\sqrt{2}}{\varepsilon^2} \right)^{1-n'} \quad (4)$$

dla których wartość współczynnika oporu oblicza się z zależności:

$$f_{BK} = \frac{180}{Re_{BK}^*} \quad (5)$$

gdzie: v_0 – prędkość zastępcza [m/s], ρ – gęstość [kg/m³].

Równanie to pozwala obliczyć wartość f_{BK} przy znanych parametrach reologicznych modelu Herschela-Bulkleya oraz wartości zmodyfikowanego bezwymiarowego promienia ξ_e (do jego obliczenia użyłam promienia hydraulicznego) z zaproponowanej przeze mnie korelacji empirycznej.

$$\xi_e = 6,36 \cdot 10^{-1} \cdot Hb_e^{1,1} + 7,2 \cdot 10^{-4} \quad (6)$$

gdzie Hb_e jest zmodyfikowaną liczbą Herschela-Bulkleya. Zaproponowana przeze mnie zmodyfikowana liczba Hb_e ma postać

$$Hb_e = \frac{\tau_0 \cdot R_h^n \cdot \varepsilon^n}{k \cdot v_0^n} \quad (7)$$

Równanie (6) jest słuszne w zakresie liczby $Hb_e \in \langle 0,0055; 0,73 \rangle$ i wykładnika $n \in \langle 0,634; 0,783 \rangle$.

Zaproponowana przeze mnie metoda obliczania strat ciśnienia dla płynów z granicą płynięcia daje zadowalające rezultaty (błąd względny poniżej 10%) jedynie dla bardzo małych wartości promienia bezwymiarowego ($R_0/R_h \rightarrow 0$).

Przemnożenie wartości współczynnika tarcia f_{BK} przez poprawkę (n/n') spowodowało, że punkty eksperymentalne tworzą jedną zależność i dodatkowo układają się wzdłuż linii $180/Re_{BK}$ dla wszystkich emulsji z dodatkiem Na-CMC. Ostatecznie dla przepływu płynów Herschela-Bulkleya przez złożę cząstek kulistych zaproponowałam równanie:

$$f_{BK} = \frac{180}{Re_{BK}^*} \cdot \left(\frac{n'}{n} \right)^n \quad (8)$$

słuszne w zakresie $Re_{BK} \in \langle 0,001; 3 \rangle$, $R_0/R_h < 0,5$, $d_h/d_{43} > 266$ i $\tau_0 \leq 2,5$.

¹⁵ Kembłowski Z., Michniewicz M., (1979). A new look at the laminar flow of power law fluids through granular beds. Rheol. Acta, 18, 730-739.

Dla emulsji stabilizowanej XG wykorzystałam definicję liczby Re_{BK} , w której wartość lepkości została obliczona na podstawie modelu Carreau. Z uzyskanych danych wynika, że wartości współczynnika dopasowania a^{16} zależą od stężenia fazy rozproszonej i średnicy kropli. Zarówno dla wodnych roztworów XG oraz emulsji z dodatkiem XG o średnicy kropli $d_{32} \approx 4 \mu\text{m}$ (emulsje z dodatkiem Tween 40) wartość a wynosi 1.3. W przypadku kropli o średnicy $d_{32} \geq 6,5 \mu\text{m}$ wartość a wzrasta od 1,2 do 2,4 ze wzrostem udziału objętościowego oleju. Dane te świadczą o tym, że do obliczania strat ciśnienia podczas przepływu przez złożę porowate emulsji o większych kroplach nie można wykorzystywać wartości współczynnika dopasowania uzyskanych dla wodnych roztworów polimerów.

W pracy [H6] przedstawiłam również wyniki pomiarów strat ciśnienia podczas przepływu przez złożę cząstek kulistych emulsji stabilizowanych dodatkiem poli(tleneku etylenu) (polimer o giętkim łańcuchu). Wyniki pomiarów zostały zapisane w postaci zależności lepkości pozornej η_{app} obliczonej za pomocą równania Darcy'ego od pozornej szybkości ścinania $\dot{\gamma}_{app}$. Zarówno podczas przepływu wodnego roztworu PEO, jak i emulsji z jego dodatkiem zaobserwowano gwałtowny wzrost lepkości pozornej powyżej pewnej wartości $\dot{\gamma}_{app, onset}$. Jak już wspomniałam, wcześniej do tej pory nie wyjaśniono, czy gwałtowny wzrost strat ciśnienia należy wiązać z wysoką lepkością wzdłużną czy też z turbulencją sprężystą. Krzywe $\eta_{app} = f(\dot{\gamma}_{app})$ uzyskane podczas przepływu emulsji stabilizowanych PEO przez złożę porowate porównano z krzywymi lepkości uzyskanymi w przepływie Couette'a.

Między wartościami $\dot{\gamma}_{app, onset}$ w przepływie Couette'a i w przepływie przez złożę porowate zaobserwowałam występowanie różnic ilościowych i jakościowych. W przepływie Couette'a $\dot{\gamma}_{app, onset}$ wzrasta ze wzrostem stężenia fazy rozproszonej, natomiast w przepływie przez złożę porowate jest on w przybliżeniu niezależny od jej stężenia. Wyniki te mogą świadczyć o tym, że w przypadku przepływu płynów z dodatkiem PEO przez złożę porowate może występować inny typ niestabilności sprężystej niż w przepływie Couette'a. Z przeprowadzonych przez Kawale i in. (2017)¹⁷ badań nad przepływem wodnych roztworów HPAM przez modelowe układy porowate wynika, że niestabilność sprężysta formuje się w dwóch etapach. Pierwszy związany jest z formowaniem się obszarów stagnacji wokół punktów stagnacji, drugi z niestabilnością tych obszarów i ich gwałtownym rozpadem na małe wiry. W przepływie Couette'a punkty stagnacji nie występują, tym samym nie może dojść do uformowania się stref wokół punktów stagnacji. W punkcie stagnacji płyn podlega rozciąganiu, tym samym lepkość wzdłużna może odgrywać istotną rolę przy formowaniu się obszarów stagnacji.

Za główne oryginalne osiągnięcia dotychczas opublikowanych badań uznaję:

1. Współdział w zaprojektowaniu dwóch stanowisk do pomiaru lepkości wzdłużnej. W stanowiskach wykorzystano przepływ stagnacyjny między przeciwstawnymi dyszami oraz przepływ przez nagłe przewężenie przekroju.
2. Ustalenie związku między właściwościami reologicznymi emulsji stabilizowanych surfaktantami i polimerami w przepływie wzdłużnym a właściwościami reologicznymi fazy ciągłej, strukturą fazy rozproszonej oraz średnicą kropeł.

¹⁶ Współczynnik, który pozwala obliczyć szybkość ścinania podczas przepływu płynów nienewtonowskich przez złożę porowate.

¹⁷ Kawale, D., Bouwman, G., Sachdev, S., Zitha, P.L.J., Kreutzer, M.T., Rossen, W.R., Boukany, P.E., (2017). Polymer conformation during flow in porous media. *Soft Matter* 13, 8745–8755.

3. Określenie właściwości reologicznych roztworów wybranych hydrokoloidów i poliakrylamidu w przepływie wzdłużnym. W szczególności ustalenie wpływu stopnia podstawienia i siły jonowej na właściwości reologiczne wodnych roztworów soli sodowej karboksymetylocelulozy.
4. Opracowanie lepkosprężystych roztworów surfaktantów (mieszanina kokamidopropylobetainy i dodecylobenzenosulfonianu sodu), w których dochodzi do wytworzenia micel robaczkowych oraz ustalenie ich mikrostruktury w oparciu badania reologiczne w przepływie ścinającym i wzdłużnym.
5. Opracowanie metody obliczania strat ciśnienia podczas przepływu płynów z granicą płynięcia przez złożę cząstek kulistych. Metoda oparta na uogólnieniu liczby Reynoldsa zaproponowanej przez Kembłowskiego i Michniewicza.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowych po uzyskaniu stopnia doktora

5.1. Lista i omówienie ważniejszych publikacji niewchodzących w skład jednotematycznego cyklu publikacji

A. Artykuły zagraniczne i krajowe w czasopismach znajdujących się w bazie JCR

- A1.** Broniarz-Press L., **Różańska S.**, 2006, Local values of hydrodynamic parameters for shear-thinning fluids in agitated vessel, *Chemical and Process Engineering*, 27, 4, 1581–1594. **IF₂₀₀₆ = 0,098, M₂₀₀₆ = 10.**

Mój udział polegał na opracowaniu koncepcji pracy i zaplanowaniu badań, przeprowadzeniu badań doświadczalnych, opracowanie graficzne i tabelaryczne wyników badań, współdiskusji wyników i wniosków oraz na redakcji pracy do publikacji.

Mój udział szacuję na 50%

- A2.** Broniarz-Press L., **Różańska S.**, Różański J., 2007, Mixing time in polymer and surface active agents solutions, *Chemical and Process Engineering*, 28(3), 591–602. **IF₂₀₀₇ = 0,115, M₂₀₀₇ = 10.**

Mój udział polegał na wykonaniu części pomiarów, analizie danych i dyskusji wyników, opracowanie w formie graficznej i tabelarycznej części wyników do publikacji.

Mój udział szacuję na 40%

- A3.** Broniarz-Press L., Rozanski J., **Różańska S.**, 2007, Drag reduction effect in pipe systems and liquid falling film flow, *Reviews in Chemical Engineering*, 23(34), 149–245. **IF₂₀₀₇ = 0,846, M₂₀₀₇ = 24.**

Mój udział polegała na redakcji części rozdziałów poświęconych reologii płynów wywołujących zjawisko redukcji oporów przepływu, wpływu soli na straty ciśnienia podczas przepływu roztworów surfaktantów i polimerów oraz ich degradacji w przepływie pod wpływem naprężeń ścinających. Przygotowanie i opracowanie literatury do publikacji oraz spisu oznaczeń.

Mój udział szacuję na 30%

- A4.** Różańska S., Broniarz-Press L., 2008, Determination of the flow and heat transfer characteristics in non-Newtonian media agitated using the electrochemical technique, International Journal of Heat and Mass Transfer, 51, 3–4, 910–919, **IF₂₀₀₈ = 1,894, M₂₀₀₈ = 40.**

Mój udział polegał na opracowaniu koncepcji pracy i zaplanowaniu badań, przeprowadzeniu badań doświadczalnych, opracowanie graficzne wyników badań, współdiskusji wyników i wniosków oraz na redakcji pracy do publikacji.

Mój udział szacuję na 50%

- A5.** Ochowiak M., Broniarz-Press L., Różańska S., Różański J., 2012, The effect of extensional viscosity on the effervescent atomization of polyacrylamide solutions, Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 18(6), 2028–2035, **IF₂₀₁₂ = 2,145, M₂₀₁₂ = 30.**

Mój udział polegał na wykonaniu części pomiarów lepkości wzdłużnej, analizie danych i dyskusji wyników, opracowanie w formie graficznej i tabelarycznej części wyników do publikacji.

Mój udział szacuję na 20%

- A6.** Ochowiak M., Broniarz-Press L., Różańska S., 2012, Analysis of Liquid Jet Breakup in One- and Two-Phase Flows, Chemical Engineering Technology, 35, 9, 1685–1691. **IF₂₀₁₂ = 1,366, M₂₀₁₂ = 30.**

Mój udział polegał na wykonaniu części pomiarów, analizie danych i dyskusji wyników, opracowaniu w formie graficznej i tabelarycznej części wyników do publikacji

Mój udział szacuję na 30%

- A7.** Ochowiak M., Broniarz-Press L., Różańska S., Matuszak M., Włodarczyk S., 2015, Characteristics of spray angle for effervescent-swirl atomizers, Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, 98, 52-59. **IF₂₀₁₅ = 2,154, M₂₀₁₅ = 30.**

Mój udział polegał na interpretacji i analizie wyników badań oraz na korekcie pracy przed wystaniem do druku.

Mój udział szacuję na 10%

- A8.** Komorowska P., Różańska S., Różański J., 2017, Effect of the degree of substitution on the rheology of sodium carboxymethylcellulose solutions in propylene glycol/water mixtures, Cellulose, 24, 4151-4162. **IF₂₀₁₇ = 3,809, M₂₀₁₇ = 45.**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na udziale w opracowaniu koncepcji pracy, współudziale w opracowaniu wyników, a także korekcie pracy przed wystaniem do druku.

Mój udział szacuję na 30%

- B.** Artykuły zagraniczne i krajowe opublikowane w innych recenzowanych czasopismach naukowych spoza bazy JCR

Znajdujące się w wykazie A Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego

- B1.** Broniarz-Press L., Różański J., Różańska S., 2014, Właściwości reologiczne zatężonych kukurydzianych wywarów gorzelnianych, Żywność, Nauka, Technologia, Jakość, 5, (96), 195–205, **M₂₀₁₄ = 15.**

Mój udział polegał na analizie danych i dyskusji wyników, współredakcji pracy.

Mój udział szacuję na 25%

- B2.** Broniarz-Press L., Różański J., **Różańska S.**, Kmieciak J., 2014, Właściwości reologiczne warstwy powierzchniowej cieczy wybranych piw komercyjnych, *Żywność, Nauka, Technologia, Jakość*, 4 (95), 43–52, **M₂₀₁₄ = 15.**

Mój udział polegał na analizie danych i dyskusji wyników, opracowaniu w formie graficznej i tabelarycznej części wyników do publikacji.

Mój udział szacuję na 25%

Znajdujące się w czasopismach indeksowanych w bazie Web of Science (WoS)

- B3.** Ochowiak M., Broniarz-Press L., **Różańska S.**, Różański J., Woziwodzki S., 2012, The experimental analysis of the polyacrylamide solutions effervescent atomization, *Procedia Engineering*, 42, 2028–2034.

Mój udział polegał na wykonaniu części pomiarów lepkości wzdłużnej, analizie danych i dyskusji wyników, opracowaniu w formie graficznej i tabelarycznej części wyników do publikacji.

Mój udział szacuję na 20%

- B4.** Różański J., Broniarz-Press L., **Różańska S.**, Kowalczyk G., 2012, Effective wall slip in Couette and parallel plates flow of drag-reducing surfactant solutions, *Procedia Engineering*, 42, 555–561.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na analizie danych i dyskusji wyników, współredakcji pracy.

Mój udział szacuję na 20%

Znajdujące się w wykazie B Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego

- B5.** Broniarz-Press L., Rozanski J., **Różańska S.**, Jur A., 2005, Drag reducing polymer solutions: pumping effect, *International Journal of Applied Mechanics and Engineering*, 10, 85–91, **M₂₀₀₅ = 7.**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na analizie danych i dyskusji wyników oraz współudziale w ich opracowaniu.

Mój udział szacuję na 20%

- B6.** Broniarz-Press L., Rozanski J., **Różańska S.**, 2005, Analysis of the effect of the special food additives on rheological properties of aqueous and milk solutions, *International Journal of Applied Mechanics and Engineering*, 10, 175–181, **M₂₀₀₅ = 7.**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wykonaniu części badań eksperymentalnych, analizie danych i dyskusji wyników oraz współudziale w ich opracowaniu.

Mój udział szacuję na 35%

- B7.** Broniarz-Press L., **Różańska S.**, 2005, Application of the electrochemical method for the characteristics of flow and heat transfer in non-Newtonian media, *Turbulence*, 11, 65–74. **M₂₀₀₅ = 4.**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu koncepcji pracy, opracowaniu wyników badań, oraz na korekcie pracy przed wystąpieniem do druku.

Mój udział szacuję na 50%

- B8.** Broniarz-Press L., **Różańska S.**, 2005, Distribution of the local shear rate values in boundary layer of the agitated vessel, International Journal of Applied Mechanics and Engineering, 10, 213–218, **M₂₀₀₅ = 7.**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na udziale w opracowaniu koncepcji pracy, wykonaniu, opracowaniu oraz współinterpretacji wyników badań, oraz na korekcie pracy przed wystąpieniem do druku.

Mój udział szacuję na 50%

- B9.** Broniarz-Press L., **Różańska S.**, 2006, Distribution of the local heat transfer coefficient in the agitated vessel equipped with turbine impellers, Polish Journal of Chemical Technology, 8, 4, 27–30, **M₂₀₀₆ = 15.**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na udziale w opracowaniu koncepcji pracy, wykonaniu badań doświadczalnych, opracowaniu i interpretacji wyników badań, oraz na korekcie pracy przed wystąpieniem do druku.

Mój udział szacuję na 60%

- B10.** Broniarz-Press L., Różański J., **Różańska S.**, 2006, Analiza zatopionej strugi swobodnej w roztworach środków powierzchniowo czynnych, Inżynieria i Aparatura Chemiczna, 45(37), 29–31, **M₂₀₀₆ = 5.**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na analizie wyników badań oraz współudziale w ich opracowaniu.

Mój udział szacuję na 30%

- B11.** Różański J., Broniarz-Press L., **Różańska S.**, 2007, Analiza przepływu roztworów środków powierzchniowo czynnych w rurach chropowatych, Inżynieria i Aparatura Chemiczna, 4-5, 109–112, **M₂₀₀₇ = 5.**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na współudziale w opracowaniu wyników badań oraz ich dyskusji.

Mój udział szacuję na 20%

- B12.** Broniarz-Press L., Różański J., **Różańska S.**, Andrzejak K., 2008, Opadanie swobodne cząstek kulistych w płynach rozrzedzanych ścinaniem, Inżynieria i Aparatura Chemiczna, 47(39) 13–14, **M₂₀₀₈ = 5.**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na analizie danych i dyskusji wyników oraz współudziale w ich opracowaniu

Mój udział szacuję na 25%

- B13.** Broniarz-Press L., **Różańska S.**, Różański J., 2009, Czas mieszania w micelarnych roztworach środków powierzchniowo czynnych dla mieszadeł turbinowych, Inżynieria i Aparatura Chemiczna, 48(40), 1, 86–87, **M₂₀₀₉ = 5.**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na udziale w opracowaniu koncepcji pracy, wykonaniu badań doświadczalnych, opracowaniu i interpretacji wyników badań, oraz na korekcie pracy przed wystąpieniem do druku.

Mój udział szacuję na 40%

- B14.** Różański J., Broniarz-Press L., **Różańska S.**, 2009, Wpływ twardości wody na redukcję oporów przepływu wywołaną dodatkiem chlorku heksadecylotrójmetylamoniowego, Inżynieria i Aparatura Chemiczna 48(40), 6, 162–163, **M₂₀₀₉ = 5.**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na analizie wyników badań oraz współudziale w ich opracowaniu.

Mój udział szacuję na 25%

- B15.** **Różańska S.**, Broniarz-Press L., 2010, Wpływ dodatku soli na czas mieszania roztworów polimerów, Inżynieria i Aparatura Chemiczna, 49, 1, 95–96, **M₂₀₁₀ = 5.**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu koncepcji pracy, wykonaniu badań doświadczalnych, opracowaniu i interpretacji wyników badań, wstępnym napisaniu tekstu artykułu, korekcie pracy przed wystąpieniem do druku i współpracy z wydawnictwem.

Mój udział szacuję na 50%

- B16.** Broniarz-Press L., **Różańska S.**, Kmiecik J., 2013, Analiza reologiczna paliw i biopaliw ciekłych, Inżynieria i Aparatura Chemiczna, 52(44), 3, 159–160, **M₂₀₁₃ = 5**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na udziale w opracowaniu koncepcji pracy, częściowym opracowaniu w formie graficznej wyników oraz na wstępnym napisaniu tekstu artykułu i współpracy z wydawnictwem na etapie procesu wydawniczego.

Mój udział szacuję na 40%

C. Opublikowane wybrane materiały z konferencji zagranicznych oraz konferencji międzynarodowych w Polsce

(wykaz wszystkich pozycji znajduje się w załączniku 5 do wniosku)

- C1.** Broniarz-Press L., **Różańska S.**, Local values of friction coefficient for shear-thinning fluids in agitated vessel, Proceedings of the 7th World Congress of Chemical Engineering, P42-058, pp. 1–10, Glasgow, Scotland, July 10–14, 2005.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na udziale w opracowaniu koncepcji pracy, wykonaniu badań doświadczalnych i ich opracowaniu, analizie uzyskanych wyników oraz wstępnym napisaniu tekstu artykułu i korekcie pracy.

Mój udział szacuję na 50%

- C2.** Broniarz-Press L., **Różańska S.**, Local values of heat transfer coefficient for shear-thinning fluids in agitated vessels, Proceedings of the Third International Conference on Transport Phenomena in Multiphase Systems "HEAT 2005", pp. 213–220, Gdańsk, June 26-30, 2005.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na udziale w opracowaniu koncepcji pracy, wykonaniu badań doświadczalnych i ich opracowaniu, analizie uzyskanych wyników oraz wstępnym napisaniu tekstu artykułu i korekcie pracy

Mój udział szacuję na 50%

- C3.** Broniarz-Press L., **Różańska S.**, Jakubiak E., Local mass transfer coefficient in agitated vessels equipped with dual system of the turbines on the common shaft, Proceedings of 34th Conference of Slovak Society of Chemical Engineering, 140, Full text (CD), 1–8, Tatranské Matliare, 21-25.05.2007.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu koncepcji pracy, końcowym opracowaniu wyników badań, napisaniu tekstu artykułu oraz korekcie pracy.

Mój udział szacuję na 40%

- C4.** Broniarz-Press L., **Różańska S.**, Szrajbrowska I., Mixing time of surface-active agent solutions, Book of Abstracts of 6th European Congress of Chemical Engineering ECCE-6, vol. 2, 269–270, Full text (CD), 1-12, Copenhagen, Denmark, 16–21.09.2007.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu koncepcji pracy, końcowym opracowaniu wyników badań, napisaniu tekstu artykułu oraz korekcie pracy.

Mój udział szacuję na 40%

- C5.** Broniarz-Press L., **Różańska S.**, Szczepaniak M., Mixing time in polymer solutions, Proceedings of 18th International Congress of Chemical and Process Engineering CHISA'2008, No. 0507, pp. 1–12, Praha 2008.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu koncepcji pracy, analizie uzyskanych wyników badań oraz wstępnym napisaniu tekstu artykułu i korekcie pracy.

Mój udział szacuję na 40%

- C6.** Różański J., Broniarz-Press L., **Różańska S.**, Free settling and sedimentation of spherical particles in non-Newtonian fluids, Proceedings of the 18 International Congress of Chemical and Process Engineering CHISA'2008, CD-ROM Ref. No. 0491, pp. 1–8, Praha, 2008.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na analizie danych i dyskusji wyników oraz współudziale w ich opracowaniu

Mój udział szacuję na 30%

- C7.** Broniarz-Press L., **Różańska S.**, Różański J., Mixing time in ionic and non-ionic polymer solutions, Proceedings of the 13th European Conference on Mixing, Full text, pp. 1–8, London, 2009.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na przeprowadzeniu pomiarów, analizie i opracowaniu otrzymanych danych, dyskusji wyników, opracowaniu w formie graficznej i tabelarycznej wyników, współredakcji pracy.

Mój udział szacuję na 40%

- C8.** Różański J., Broniarz-Press L., **Różańska S.**, Heat transfer in the flow of drag reduction surfactant solution, Proceedings of the 1st International Congress on Thermodynamics in Science and Technology, Part 1, 235–242, PUHiP POLI-GRAF-JAK, Poznań 2011.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał częściowym opracowaniem graficznym wyników badań oraz na korekcie tekstu pracy.

Mój udział szacuję na 10%

D. Opublikowane wybrane materiały z konferencji krajowych

(wykaz wszystkich pozycji znajduje się w załączniku 5 do wniosku)

- D1.** Różański J, Broniarz-Press L., **Różańska S.**, Analiza przepływu roztworów środków powierzchniowo czynnych w rurach chropowatych, Materiały Konferencyjne XIX Ogólnopolskiej Konferencji Inżynierii Chemicznej i Procesowej, tom 1, 391–394, Rzeszów 3-7.09.2007.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na współudziale w opracowaniu wyników oraz ich dyskusji.

Mój udział szacuję na 20%

- D2.** Broniarz-Press L., Stachurska M., **Różańska S.**, Wpływ nanocząstek na właściwości reologiczne wodnych roztworów poliakryloamidu, XXI Ogólnopolska Konferencja Inżynierii Chemicznej i Procesowej, Kołobrzeg 2-6 września, 2013.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na częściowym opracowaniu i analizie uzyskanych wyników badań oraz na korekcie.

Mój udział szacuję na 30%

- D4.** **Różańska S.**, Komorowska P., Różański J., Pomiar lepkości wzdłużnej wodnych roztworów soli sodowej karboksymetylocelulozy metodą kapilarnego zerwania włókna, Materiały konferencyjne II Wielkopolskiego Seminarium Chemii Bioorganicznej, Organicznej i Biomateriałów, 165-167, 2 grudnia, 2017, Poznań.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu koncepcji pracy, wykonaniu badań doświadczalnych, analizie oraz częściowym opracowaniu w formie graficznej wyników badań, napisaniu tekstu pracy.

Mój udział szacuję na 50%

- D5.** **Różańska S.**, Przepływ roztworów soli sodowej karboksymetylocelulozy przez złożę porowate, Recenzowane materiały konferencyjne, Praktyczne Aspekty Inżynierii Chemicznej, 145-148, 23 czerwiec 2017, Poznań.

Mój udział wynosi 100%

- D6.** Bartczak K., Elimer A., **Różańska S.**, Wpływ temperatury i pH na właściwości lepkością mieszanki roztworów surfaktantów, kokamidopropylu hydroksysultainy i dodecylosiarczanu sodu, Praktyczne Aspekty Inżynierii Chemicznej, 36-39, 23 czerwiec 2017, Poznań.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu koncepcji pracy, analizie oraz częściowym opracowaniu w formie graficznej wyników badań, korekcie tekstu pracy.

Mój udział szacuję na 40%

- D7.** **Różańska S.**, Różański J., Komorowska P., Pomiar lepkości wzdłużnej roztworów polimerów metodą kapilarnego zerwania ciekłego włókna, Materiały Konferencyjne Polskiego Kongresu Reologii, 91-92, Łódź, 26-28 wrzesień, 2018.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu koncepcji pracy, wykonaniu badań doświadczalnych i ich opracowaniu, analizie uzyskanych wyników oraz na napisaniu tekstu.

Mój udział szacuję na 50%

- D8.** Komorowska P., **Różańska S.**, Różański J., Wpływ butano-1,3-diolu na właściwości reologiczne roztworów soli sodowej karboksymetylocelulozy o różnym stopniu podstawienia, Materiały Konferencyjne Polskiego Kongresu Reologii, 55-56, Łódź, 26-28 wrzesień, 2018.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na częściowym wykonaniu badań, ich analizie oraz częściowym opracowaniu w formie graficznej.

Mój udział szacuję na 30%

- D9. Różańska S., Różański J., Komorowska P.,** Przepływ wzdłużny wodnych roztworów mieszaniny kokamidopropylobetainy/dedecylobenzenosulfonianu sodu, Materiały Konferencyjne Polskiego Kongresu Reologii, 89-90, Łódź, 26-28 wrzesień, 2018.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu koncepcji pracy, wykonaniu badań doświadczalnych i ich wstępnym opracowaniu, analizie uzyskanych wyników oraz na wstępnym napisaniu tekstu.

Mój udział szacuję na 50%

E. Skrypty i monografie

- E1. Różańska S., Broniarz-Press L., Różański J., Mitkowski P. T., Ochowiak M., Woziwodzki S.,** Lepkość wzdłużna emulsji, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań, 2014.

Mój udział polegał na opracowaniu koncepcji pracy, ustaleniu i rozplanowaniu zadań dla poszczególnych współautorów oraz na współredakcji pracy do publikacji i późniejszej korekcie. Jestem głównym autorem rozdziałów, w którym zestawiono i omówiono wyniki pomiarów lepkości wzdłużnej oraz metody jej pomiaru. Zajmowałam się całością procesu wydawniczego.

Mój udział szacuję na 50%

Monografia ta powstała jako podsumowanie projektu badawczego na temat „Analiza lepkości wzdłużnej emulsji”, którego byłam kierownikiem. Projekt nr. 0844/B/H03/2010/38.

Rozdział w książce w języku angielskim

- E2. Broniarz-Press L., Różańska S., Różański J.,** Measurement of extensional viscosity of semi-dilute polymer solutions and o/w emulsions, Rheology – Theory and Application, Vol. 2, 9-25, EKMA Krzysztof Antosik, Warszawa 2011.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu koncepcji pracy, analizie danych i opracowaniu w formie graficznej części wyników do rozdziału, wstępne napisanie tekstu rozdziału. Zajmowałam się całością procesu wydawniczego.

Mój udział szacuję na 80%

Bezpośrednio po obronie rozprawy doktorskiej kontynuowałam badania nad rozkładem parametrów hydrodynamicznych [**A1, A4, B8, C1**] (współczynnik tarcia, szybkość ścinania oraz naprężenia ścinające), współczynników wnikania masy [**C3**] oraz współczynników wnikania ciepła [**A4, B9, C2**] wzdłuż pionowej ściany mieszalnika mechanicznego. Wszystkie wymienione wielkości były obliczone na podstawie pomiaru granicznego prądu dyfuzyjnego. Badania były prowadzone dla płynów nienewtonowskich (roztwory Na-CMC i gumy guarowej). Mieszalnik był zaopatrzony w jedno lub dwa mieszadła turbinowe (turbinę Rushtona oraz mieszadła łopatkowe o kącie pochylecia łopatek: 45°, 90° i 135°). Prowadzone przeze mnie badania pozwoliły ostatecznie uzyskać równania korelacyjne opisujące rozkład lokalnych współczynników tarcia i współczynników wnikania masy oraz średnie ich wartości dla całej ścianki [**A4**].

Prowadziłam również badania nad czasem mieszania w mieszalnikach mechanicznych zaopatrzonych w mieszadło turbinowe [**A2, B13, B15, C4, C5, C7**]. Jako płyny modelowe stosowane były roztwory polimerów i lepkością elastycznych roztworów surfaktantów (bromek tetracylotrimetyloamoniowy (TTAB) oraz chlorek heksadecylotrimetyloamoniowy (HTAC) z dodatkiem salicylanu sodu). Do oceny czasu mieszania wykorzystywałam opracowaną przeze mnie metodę cyfrowej analizy filmów. Podczas mieszania do roztworu wprowadzany był barwnik (ultramaryna), którego rozprzestrzenianie się było rejestrowane kamerą cyfrową. Następnie

filmy poddawano analizie, szukając klatki, w której barwa płynu w wybranych miejscach mieszalnika nie ulegała zmianie.

W pracach [A2, B13, C4] wykazano, że w przypadku mieszania układów micelarnych następuje gwałtowny wzrost czasu mieszania w stosunku do czystej wody. Wzrost czasu mieszania w przypadku roztworów HTAC/NaSal i TTAB/NaSal jest najprawdopodobniej związany z powstaniem w roztworze długich miceli ślimakowych, które ulegają wzajemnemu splątaniu, wynikiem czego jest wytworzenie się przestrzennej sieci micelarniej. Takie roztwory charakteryzują się właściwościami lepkością, przy czym wzrost ich lepkości w stosunku do lepkości czystego rozpuszczalnika jest dość niewielki. Wytworzona w roztworze sieć micelarna powoduje tłumienie wirów w objętości mieszalnika i zakłóca rozpad dużych struktur wirowych, co prowadzi do wydłużenia czasu mieszania.

Badania czasu mieszania przedstawione w pracach [B15, C5, C7] ukierunkowane były na określenie wpływu rodzaju polimeru (jonowy, niejonowy) na czas mieszania. Różnice w oddziaływaniu polimerów niejonowych i anionowych na czas mieszania można wiązać z konfiguracją ich makrocząsteczek w roztworze. Łańcuchy polimerów niejonowych mają tendencje do występowania w roztworze w formie rozciągniętej, co prowadzi do ich wzajemnego splątania i utworzenia przestrzennej sieci, która jest odpowiedzialna za tłumienie turbulencji. Polimery niejonowe występują w roztworze w formie tzw. zwiniętych kłębków, których wzajemne splątanie w roztworach rozcieńczonych nie występuje. Tym samym ich wpływ na charakter przepływu i czas mieszania jest niewielki.

Jestem również współautorką prac dotyczących redukcji oporów przepływu w roztworach polimerów oraz środków powierzchniowo czynnych [A3, B4, B10, B11, B14, C8, D1]. W przeglądowej pracy [A3] odpowiadałam głównie za redakcję rozdziałów poświęconych reologii płynów, w których przepływie występuje obniżenie strat ciśnienia. Częściowo zredagowałam również rozdziały poświęcone degradacji mechanicznej roztworów surfaktantów i polimerów oraz wpływowi soli na zjawisko redukcji oporów. W pracy [B5] przedstawiony został wpływ wysokich naprężeń ścinających wywołanych przez pompę na zanik zjawiska redukcji oporów podczas przepływu roztworu poliakryloamidu. Degradacja mechaniczna postępowała w całym zastosowanym przedziale czasu pompowania, który wynosił 14 godzin. W pracy [B14] omówiono wyniki badań doświadczalnych nad wpływem soli wywołujących twardość wody na zjawisko redukcji oporów przepływu wywołane przez dodatek mieszaniny CTAC/NaSal. Z analizy danych wynika, że układ CTAC/NaSal jest dość odporny na oddziaływanie jonów magnezowych, wapniowych, chlorkowych, siarczanowych i wodorofosforanowych. Wykazuje natomiast niską odporność na obecność jonów żelaza (III). W pracy [B11] omówiono wyniki badań nad przepływem roztworów CATC/NaSal w rurach chropowatych. Zaobserwowano, że poziom redukcji oporów przepływu w rurach chropowatych jest większy niż w rurach gładkich. Efekt ten wzrasta ze wzrostem stężenia surfaktantu. Powiązано go z tłumiącym wpływem mikrostruktury micelarniej na wiry turbulentyne wywoływane przez chropowatość powierzchni.

Jestem również współautorką prac dotyczących rozpylania wody i roztworów polimerów [A5, A6, A7, B3]. Prace [A5] i [B3] dotyczyły rozpylania w dyszach pneumatycznych roztworów polimerów charakteryzujących się wysoką lepkością wzdłużną (stosunek Troutona osiągał wartość około 50). W ramach prowadzonych badań odpowiadałam za wykonanie części pomiarów dotyczących lepkości wzdłużnej oraz analizę i dyskusję wyników pomiarów. Badania modelowe przeprowadzone zostały dla roztworów gliceryny w czystej wodzie oraz z dodatkiem poliakryloamidu. Wykazano, że dodatek polimeru powodował znaczny wzrost średnicy kropeł (ponad dwukrotny), a w skrajnym przypadku prowadził do ich zaniku i formowania się strug. Zjawisko to powiązано z lepkością wzdłużną roztworów polimerów.

W pracy [A6] przedstawiono badania nad rozpadem kropeł w układzie jedno- i dwufazowym. Polimerem użytym w badaniach były wodne roztwory poliakryloamidu. Wykazano, że dla przepływu dwufazowego zwiększenie szybkości przepływu gazów powoduje zmniejszenie długości ciągłego strumienia cieczy w stosunku do przepływu jednofazowego. Dane eksperymentalne dla przepływu dwufazowego wykazały, że modyfikacja długości strumienia może być osiągnięta przez dodatek polimeru. Dodatek ten opóźnia odrywanie się pojedynczych kropeł. Wpływ poliakryloamidu na kąt rozpylania w układzie dwufazowym omówiono w pracy [A7]. Badania zostały przeprowadzone z użyciem rozpylaczy wirowych o różnych geometriach. Najwyższe wartości kąta rozpylania wystąpiły podczas rozpylania przy użyciu wyprofilowanej kryzy. Analiza wyników badań wykazała, że kąt rozpylania zależy nie tylko od natężenia przepływu cieczy i budowy rozpylacza, ale również od lepkości wzdłużnej cieczy.

Prace [A8, B1, B2, B6, D2, D3, D5, D6, D7, D9] poświęcone były właściwościom reologicznym roztworów polimerów i surfaktantów oraz zawiesin krzemionki (Aerosil®380) w przepływie ścinającym i wzdłużnym.

Badania nad właściwościami reologicznymi opracowanych słabych żeli fizycznych opartych na mieszaninie Na-CMC/glikol propylenowy (GP) (lub butylenowy (GB))/woda zostały przedstawione w pracach [A8, D7]. Zaobserwowano silny synergizm między cząsteczkami Na-CMC o DS = 0,7 i 0,9 oraz cząsteczkami GP i GB. Jednocześnie synergizm taki nie występował, gdy DS wzrastał do 1,04. W przypadku podstawień DS = 0,7 i 0,9 następowało formowanie się słabego żelu fizycznego. Świadczyło o tym występowanie chwilowego przerostu naprężeń ścinających (*overshoot shear stress*) oraz niskie wartości tangensa kąta przesunięcia fazowego (*loss tangent*). Prawdopodobną przyczyną sieciowania łańcuchów polimeru było powstawanie wiązań wodorowych między grupami OH glikolu propylenowego a makrocząsteczkami Na-CMC.

W pracy [B1] omówiono właściwości reologiczne zatężonych frakcji rozpuszczalnych składników kukurydzianego wywaru gorzelnianego (CDS) powstałego przy produkcji etanolu. Jego frakcja cieśla jest zatężana w aparatach wyparnych. W celu ich prawidłowego zaprojektowania konieczne jest określenie właściwości reologicznych CDS przy różnych stężeniach składników. Wykazano, że zawiesiny CDS są płynami o złożonych właściwościach reologicznych. Mają one cechy płynów tiksotropowych, a w zakresie stężeń od 25 do 40 % występuje granica płynięcia. Na podstawie badań oscylacyjnych stwierdzono, że w płynie w stanie spoczynku powstaje mikrostruktura żelu. Mikrostruktura ta ulega zniszczeniu w przepływie ciągłym, który jednocześnie przeciwdziała jej pełnej odbudowie.

Tematyką badań, którą również się interesuję, są właściwości reologiczne warstw powierzchniowych cieczy, głównie piw. W pracy [B2] przedstawiono wyniki badań reologicznych warstw powierzchniowych dla czterech piw produkowanych komercyjnie w przepływie oscylacyjnym. Uzyskane zależności międzyfazowego modułu zachowawczego G_s' i międzyfazowego modułu stratności G_s'' w funkcji czasu miały charakterystyczny przebieg dla rozcieńczonych wodnych roztworów białek. Uzyskane wyniki pomiarów oscylacyjnych świadczą o tym, że w warstwach powierzchniowych piw dochodzi do uformowania się struktury sieciowej. Uzyskane wyniki wskazują również, że istnieje związek między właściwościami reologicznymi warstw powierzchniowych a stabilnością piany.

Prowadziłam również badania nad właściwościami reologicznymi zawiesin krzemionki z dodatkiem kationowego surfaktantu (CTAC) [D2], roztworów Na-CMC, gumy guarowej, gumy ksantanowej i gumy arabskiej w mleku [B6], paliw i biopaliw [B16], lepkosprężystych surfaktantów (kokamidopropylo hydroksysultainy i dodecylosiarczanu sodu) [D6]. W pracy [D7] omówiono podstawy pomiaru lepkości wzdłużnej metodą kapilarnego zerwania włókna.

Jestem również współautorką prac, w których analizowano opadanie pojedynczych cząstek kulistych w płynach nienewtonowskich. W pracy [B12] wykazano, że model zaproponowany przez Koziół¹⁸ dla opadania swobodnego cząstek kulistych w płynach newtonowskich można uogólnić dla płynów rozrzedzanych ścinaniem, których krzywa płynięcia może być opisana modelem potęgowym Ostwalad-de Waele (w badaniach użyto wodnych roztworów soli sodowej karboksymetlocelulozy i gumy guarowej). Konieczne jest jednak przeprowadzenie obliczeń z zastosowaniem zaproponowanych w pracy zmodyfikowanych definicji zastępczego wymiaru liniowego i zastępczej prędkości odniesienia.

Jestem również współautorka monografii „Lepkość wzdłużna emulsji” [E1], która stanowiła podsumowanie badań prowadzonych w ramach projektu badawczego „Analiza lepkości wzdłużnej emulsji”, którego byłam kierownikiem. W monografii tej odpowiadałam za redakcje rozdziałów: „4. Definicje i metody pomiaru lepkości wzdłużnej” (s. 76-100) oraz „5. Wyniki badań” (s. 103-155).

6. Zestawienie ilościowe dorobku naukowego

	Rodzaj publikacji	Przed doktoratem	Po doktoracie	Razem
1	Artykuły opublikowane w czasopismach znajdujących się w bazie Journal Citation Reports (JCR)	-	15	15
2	Artykuły w czasopismach zagranicznych (spoza JCR)	4	8	12
3	Artykuły w czasopismach krajowych (spoza JCR)	3	22	25
4	Opublikowane materiały z konferencji międzynarodowych	7	12	19
5	Opublikowane materiały z konferencjach krajowych	1	14	15
6	Komunikaty wygłoszone na konferencjach międzynarodowych	2	8	10
7	Komunikaty wygłoszone na konferencjach krajowych	1	8	9
8	Rozdział w książce w języku angielskim	-	3	3

Mój opublikowany dorobek naukowy (na dzień 14.03.2019) po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych obejmuje łącznie **45** artykułów opublikowanych, **12** recenzowanych artykułów naukowych w materiałach konferencji międzynarodowych, **14** recenzowanych artykułów naukowych w materiałach konferencji ogólnokrajowych oraz **1** monografii i **1** skryptu oraz **3** rozdziały w książkach anglojęzycznych. **15** prac znajduje się w czasopismach z tzw. listy filadelfijskiej, **8** prac opublikowanych w czasopismach o zasięgu międzynarodowym (spoza listy filadelfijskiej), a także **22** prac opublikowanych w czasopismach ogólnopolskich.

Sumaryczny Impact Factor $IF_{\Sigma} = 24,97$

Sumaryczna liczba punktów MNiSW, $M_{\Sigma} = 565$ (w tym 241 z prac wchodzących w skład osiągnięcia naukowego oraz 324 pozostały dorobek naukowy).

¹⁸ Koziół K., (1974). General equation and plot for terminal sedimentation of spherical particles (in Polish). Inżynieria Chem. 4, 287–292.

Liczba cytowań:

Cytowanie wg. baz	Liczba cytowań	Liczba cytowań bez autocytowań
WoS	76	65
Scopus	95	81
Google Scholar	135	-

Indeks Hirscha Według bazy Web of Science (WoS) na dzień 11 marca 2019

Cytowanie wg. baz	Indeks Hirscha
WoS	6
Scopus	7
Google Scholar	8

Poznań,

14.03.2019 r.

podpis


Sylwia Różańska