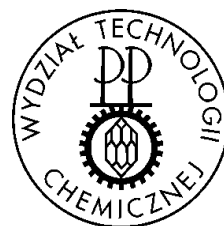




Politechnika Poznańska

Wydział Technologii Chemicznej

ul. Berdychowo 4, 60-965 Poznań
tel. 616652303, fax 616652571



dr inż. Jacek Różański

Straty ciśnienia i wnikanie ciepła podczas przepływu roztworów surfaktantów

Autoreferat

Załącznik 2 do wniosku
o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego

(wersja polska)

POZNAŃ 2015

Spis treści

1. Dane osobowe.....	3
2. Posiadane dyplomy i stopnie naukowe	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. nr 65, poz. 595 ze zm.).....	3
4.1. Tytuł.....	3
4.2. Wykaz dorobku naukowego będącego podstawą wniosku.....	4
4.3. Omówienie tematyki badań będących podstawą wniosku.....	5
5. Wykaz prac i omówienie pozostałych osiągnięć naukowych po uzyskaniu stopnia doktora.....	14
5.1. Wykaz ważniejszych prac opublikowanych po uzyskaniu stopnia doktora.....	14
5.2. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowych po uzyskaniu stopnia doktora.....	21
6. Zestawienie ilościowe dorobku naukowego.....	27

1. Dane osobowe

- Imię i nazwisko: **Jacek Różański**
- Data i miejsce urodzenia: **29 luty 1972, Konin**
- Obecnie zajmowane stanowisko: **wykładowca**
- Miejsce pracy: **Politechnika Poznańska**

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

- **Magister inżynier, Politechnika Poznańska, Wydział Technologii Chemicznej, 1996**
Pracę magisterską pt. „Strącanie osadów wysoko zdyspergowanych krzemionek z roztworów rozpuszczalników organicznych”, wykonałem pod kierunkiem prof. dr hab. Andrzeja Krysztafkiewicza w Zakładzie Technologii Chemicznej Politechniki Poznańskiej.
- **Licencjat w zakresie zarządzania, Akademia Ekonomiczna, Poznań, Wydział Zarządzania, 1998**
Pracę dyplomową pt. „Merchandising jako metoda aktywacji sprzedaży w przedsiębiorstwach handlowych” wykonałem pod kierunkiem dr Barbary Borsiak.
- **Doktor nauk chemicznych w zakresie technologii chemicznej, Politechnika Poznańska, Wydział Technologii Chemicznej, 2002**
Pracę doktorską pt. „Badanie przepływu pełnym przekrojem roztworów środków powierzchniowo czynnych” wykonałem pod kierunkiem prof. dr hab. Lubomiry Broniarz-Press w Zakładzie Inżynierii i Aparatury Chemicznej Politechniki Poznańskiej. Recenzentami pracy byli prof. dr hab. inż. Zdzisław Kembłowski (Politechnika Łódzka) i prof. dr hab. inż. Jan Szymanowski (Politechnika Poznańska).

3. Informacje o zatrudnieniu w jednostkach naukowych

- 1996-2002 asystent, w Zakładzie Inżynierii i Aparatury Chemicznej Instytutu Technologii i Inżynierii Chemicznej Politechniki Poznańskiej
- 2002-2014, adiunkt w Zakładzie Inżynierii i Aparatury Chemicznej Instytutu Technologii i Inżynierii Chemicznej Politechniki Poznańskiej
- od 2014 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. nr 65, poz. 595 ze zm.)

4.1. Tytuł

Straty ciśnienia i wnikanie ciepła podczas przepływu roztworów surfaktantów

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:

Monografia

- H1. Róžański J.: Straty ciśnienia i wnikanie ciepła podczas przepływu roztworów surfaktantów, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2015.

Mój udział wynosi 100%.

oraz cykl następujących publikacji powiązanych tematycznie:

(wartości IF i M podano według roku wydania pracy)

- H2. Broniarz-Press L., Rozanski J., Rozanska S.: Drag reduction effect in pipe systems and liquid falling film flow, Reviews in Chemical Engineering, **23(34)**, 149-245, 2007, **IF = 0,684; M = 24.**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na: koncepcji i redakcji rozdziału dotyczącego wymiany ciepła, współautorstwo rozdziałów, w których przedstawiono charakterystykę polimerów i surfaktantów, efekt średnicy, opory miejscowe, maksimum redukcji oporów przepływu, redukcji oporów przepływu w węzownikach.

Mój udział szacuję na 30%.

- H3. Broniarz-Press L., Róžańska S., Róžański J.: Mixing time in polymer and surface active agents solutions, Chemical and Process Engineering, **28(3)**, 591-602, 2007, **IF = 0,115; M = 10.**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na: współkonceptji pracy, zaplanowaniu eksperymentu, redakcji wstępnego tekstu pracy, wykonanie rysunków.

Mój udział szacuję na 30%

- H4. Róžański J.: Flow of drag-reducing surfactant solutions in rough pipes, Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics, **166**, 279-288, 2011, **IF = 1,675; M = 32.**

Mój udział wynosi 100%

- H5. Róžański J.: Heat transfer in the thermal entrance region for drag reduction surfactant solutions in pipe flow, International Journal of Heat and Mass Transfer, **55**, 1113-1125, 2012, **IF = 2,315; M = 40.**

Mój udział wynosi 100%

- H6. Broniarz-Press L., Rozanski J., Szczecina T.: Influence of elbows and sudden contraction of cross-section on drag reduction effect in surfactant solution flowing in pipe system, International Journal of Applied Mechanics and Engineering, **10**, 69-75, 2005, **M = 6.**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na: współkonceptji pracy, zaplanowaniu eksperymentu, redakcji wstępnego tekstu pracy, opracowaniu w formie graficznej wyników.

Mój udział szacuję na 35%

- H7. Broniarz-Press L., Róžański J., Róžańska S.: Analiza zatopionej strugi swobodnej w roztworach środków powierzchniowo czynnych, Inżynieria i Aparatura Chemiczna, **45(37)**, 29-31, 2006, **M = 4.**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na: współkonceptji pracy, zaplanowaniu eksperymentu, wykonaniu zdjęć strugi zatopionej, redakcji wstępnego tekstu pracy.

Mój udział szacuję na 30%.

- H8. Broniarz-Press L., Róžański J., Smuszkiewicz K.: Właściwości reologiczne wodnych roztworów chlorku heksadecylotrójmetryloamoniowego z dodatkiem salicylanu sodu, Inżynieria i Aparatura Chemiczna, **48(40)**, 6, 31-32, 2009; **M = 4**.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na: koncepcji pracy, wykonaniu części pomiarów, analizie danych i dyskusji wyników, redakcji wstępnego tekstu pracy.

Mój udział szacuję na 40%.

- H9. Róžański J., Broniarz-Press L., Róžańska S.: Wpływ twardości wody na redukcję oporów przepływu wywołaną dodatkiem chlorku heksadecylotrójmetryloamoniowego, Inżynieria i Aparatura Chemiczna, **48(40)**, 6, 162-163, 2009, **M = 4**.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na: koncepcji pracy, dyskusji wyników, opracowaniu w formie graficznej wyników do publikacji, redakcji tekstu pracy.

Mój udział szacuję na 40%.

- H10. Broniarz-Press L., Róžańska S., Róžański J.: Czas mieszania w micelarnych roztworach środków powierzchniowo czynnych dla mieszadeł turbinowych, Inżynieria i Aparatura Chemiczna, **48(40)**, 86-87, 2009, **M = 4**.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na: współkoncepcji pracy, dyskusji wyników, opracowaniu w formie graficznej części wyników do publikacji, redakcji wstępnego tekstu pracy.

Mój udział szacuję na 25%.

- H11. Róžański J.: Wnikanie ciepła w odcinku rozbiegowym rury przy przepływie roztworów środków powierzchniowo czynnych, Inżynieria i Aparatura Chemiczna, **49(41)**, 2, 105-106, 2010, **M = 6**.

Mój udział wynosi 100%.

- H12. Róžański J.: Właściwości reologiczne wodnych roztworów mieszanin niejonowych i amfoterycznych środków powierzchniowo czynnych, Inżynieria i Aparatura Chemiczna, **52(44)**, 6, 559-560, 2013, **M = 5**.

Mój udział wynosi 100%.

- H13. Broniarz-Press L., Rozanski J., Smuszkiewicz K.: Heat transfer enhancement in drag reducing surfactant solutions flow in spirally fluted tubes, Proceedings of 34th Conference of Slovak Society of Chemical Engineering, PP 147, Tatranské Matliare, 2007.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na: współkoncepcji pracy, zaplanowaniu eksperymentu, redakcji wstępnego tekstu pracy, opracowaniu w formie graficznej części wyników do publikacji.

Mój udział szacuję na 35%.

- H14. Róžański J., Broniarz-Press L., Róžańska 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 na: koncepcji pracy, zaplanowaniu eksperymentu, wykonaniu badań, redakcji tekstu pracy.

Mój udział szacuję na 80%.

4.3. Omówienie tematyki badań będących podstawą wniosku

Wstęp

Tematyka badawcza, którą interesuje się szczególnie jest obniżanie strat ciśnienia podczas turbulentnego przepływu płynów. Do substancji wywołujących zjawisko redukcji oporów

przepływu o znaczeniu praktycznym należą przede wszystkim polimery oraz środki powierzchniowo czynne zwane też surfaktantami.

W pracy [H2], której jestem współautorem, przedstawiony został przegląd literatury dotyczącej strat ciśnienia w rurach prostych i węzownicach, strat miejscowych, efektu średnicy, wymiany ciepła oraz spływu filmowego podczas przepływu roztworów polimerów¹ i surfaktantów. Omówiono również zaproponowane w literaturze hipotezy mające wyjaśnić przyczyny występowania zjawiska redukcji oporów przepływu. Poniżej zostaną podane podstawowe informacje dotyczące obu typów dodatków aktywnych, głównie z punktu widzenia praktycznego ich wykorzystania.

Warunkiem koniecznym dla zaistnienia zjawiska redukcji oporów przepływu wywołanego dodatkiem polimerów jest ich odpowiednio wysoka średnia masa cząsteczkowa, a właściwie długość łańcucha oraz jego odpowiednia konfiguracja w roztworze. Bardziej złożony przypadek stanowią surfaktanty. Ustalono, że warunkiem koniecznym dla zaistnienia redukcji oporów przepływu jest wytworzenie w roztworze asocjatów micelarnych w formie długich micel pręcikowych, zwanych micelami nitkowymi lub robaczkowymi.

Z punktu widzenia praktycznego zastosowania podstawową różnicą między obu typami dodatków aktywnych jest ich odporność na degradację mechaniczną. W przypadku polimerów mamy do czynienia z rozrywaniem łańcucha pod wpływem naprężeń ścinających, co prowadzi do zmniejszenia jego średniej masy cząsteczkowej i zaniku zjawiska. Roztwory środków powierzchniowo czynnych również ulegają degradacji mechanicznej pod wpływem naprężeń ścinających, jednak jest to proces odwracalny, co umożliwia ich zastosowanie w zamkniętych układach przepływowych (np. układy centralnego ogrzewania i chłodzenia). Występuje jednak pewien problem techniczny, gdyż obniżeniu oporów przepływu towarzyszy pogorszenie procesu wymiany ciepła, stąd powstała konieczność opracowania metod intensyfikacji wymiany ciepła.

Z przedstawionego w opublikowanych pracach [H1] i [H2] przeglądu literatury wynika, że do tej pory mechanizm zjawiska redukcji oporów przepływu nie jest w pełni wyjaśniony. Zazwyczaj wiąże się go z charakterystycznymi właściwościami reologicznymi tych płynów, przede wszystkim lepkością, lepkością wzdłużną oraz anizotropią lepkości. Nie ma nawet pewności, czy mechanizm obniżania strat ciśnienia podczas przepływu roztworów surfaktantów i polimerów jest taki sam, stąd też większość opublikowanych do tej pory prac dotyczy eksperymentalnej analizy zjawisk towarzyszących ich przepływowi.

Badania eksperymentalne, które prowadziłem po uzyskaniu stopnia doktora w zakresie redukcji oporów przepływu wywołanej dodatkiem surfaktantów były ukierunkowane na poszukiwaniu nowych środków powierzchniowo czynnych, których dodatek do rozpuszczalnika spowoduje obniżenie oporów przepływów turbulentnych, badanie procesu wymiany ciepła i masy, strat ciśnienia w rurach chropowatych oraz miejscowych strat ciśnienia.

Omówienie wyników badań własnych

W monografii [H1] omówiłem zagadnienia związane z właściwościami reologicznymi micelarnych roztworów surfaktantów, hydrodynamiką ich przepływu burzliwego oraz wymianą ciepła. Szczególnie dużo uwagi poświęciłem właściwościom przepływowym roztworów opracowanej przeze mnie mieszaniny surfaktantu zwitterjonowego

¹ Zjawisko redukcji oporów przepływu wywołane dodatkiem polimeru do rozpuszczalnika jest również nazywane zjawiskiem Tomsa na cześć jego odkrywcy

(kokamidopropylobetainy, CAPB) i niejonowego (dietnoloamidu kwasów tłuszczowych oleju kokosowego, DEA). Pierwsze informacje na temat właściwości reologicznych roztworów CAPB/DEA oraz występowania zjawiska redukcji oporów podczas ich przepływu opublikowałem w pracy [H12]. Wodne roztwory mieszaniny CAPB/DEA są szczególnie efektywne podczas przepływu w niskich temperaturach. Mogą być one stosowane do temperatury 3 °C, a z dodatkiem glikolu etylenowego do temperatury 0 °C. Górna graniczna temperatura, przy której występuje obniżanie strat ciśnienia, wynosi 45 °C. Zaletą opracowanej mieszaniny roztworów CAPB/DEA jest powszechna dostępność jej składników. Znajdują się one w ofercie handlowej wielu firm komercyjnych, ze względu na swoje zastosowanie przy produkcji kosmetyków i chemii gospodarczej. Oba wykorzystane surfaktanty są jednocześnie inhibitorami korozji. W badaniach oprócz roztworów CAPB/DEA użyłem także roztwory kationowego surfaktantu chlorku cetylotrimetyloamoniowego (CTAC) z dodatkiem salicylanu sodu (NaSal). Zaproponowałem również metodę intensyfikacji wymiany ciepła przez wprowadzenie do rury mieszalników statycznych własnej konstrukcji nazwanych taśmami T. Rozdziały poświęcone właściwościom przepływowym roztworów CAPB/DEA oraz intensyfikacji wymiany ciepła z użyciem taśm T napisane zostały w oparciu o nowe, wcześniej niepublikowane wyniki badań eksperymentalnych. Poniżej zostaną pokrótce scharakteryzowane poszczególne rozdziały pozycji [H1].

W rozdziale 3.1 omówiłem czynniki wpływające na proces formowania się asocjatów micelarnych, w szczególności długich micel robaczkowych. W zakresie niskich stężeń struktury tego typu powstają przede wszystkim w roztworach surfaktantów kationowych, typu czwartorzędowych soli amoniowych z dodatkiem względnie dużych anionów hydrofobowych, głównie salicylanowego. Przedstawiłem wpływ budowy głowy polarnej, łańcucha alifatycznego oraz rodzaj przeciwnonu na zakres temperatury, w których występują micle robaczkowe, a co się z tym wiąże zjawisko redukcji oporów przepływu. W rozdziale 3.2 przedstawiłem wyniki pomiarów temperatury zmętnienia dla roztworów mieszaniny CAPB/DEA. Wartość temperatury zmętnienia zależała od stosunku wagowego surfaktantów oraz pH roztworu. Wyznaczone wartości promieni hydrodynamicznych metodą dynamicznego rozpraszania światła wskazują, że w roztworach CAPB/DEA powstają asocjaty o wymiarach charakterystycznych dla micel robaczkowych. W rozdziale tym omówiłem również hipotezy mające wyjaśnić przyczyny mętnienia surfaktantów niejonowych ze wzrostem temperatury.

W rozdziale 4 przedstawiłem wyniki badań reologicznych dla wodnych roztworów CTAC/NaSal oraz CAPB/DEA. Badania dla układu CTAC/NaSal przeprowadziłem dla roztworów rozcieńczonych (rozdział 4.2) i semirozcieńczonych (rozdział 4.3). W przypadku krzywych lepkości rozcieńczonych roztworów CTAC/NaSal występuje charakterystyczny zakres zagęszczania ścinaniem, który świadczy o formowaniu się struktury indukowanej ścinaniem (SIS). Występowanie SIS jest jedną z charakterystycznych właściwości reologicznych rozcieńczonych roztworów surfaktantów, w których występują micle robaczkowe. W rozdziale tym przedstawiłem również zaproponowane w literaturze hipotetyczne przyczyny formowania się struktury indukowanej ścinaniem.

Przedstawiona w rozdziale 4.2 wyniki badań reologicznych dotyczyły rozcieńczonych roztworów surfaktantów, jednak większość opublikowanych do tej pory w literaturze wyników badań dotyczy roztworów semirozcieńczonych. Mechanizm ich przepływu jest dużo lepiej poznany, dlatego został on omówiony w rozdziale 4.3, mimo że roztwory te ze względu na zbyt wysoką lepkość nie znajdują zastosowania jako układy obniżające opory przepływu przy transporcie hydraulicznym płynów.

W rozdziale 4.4 omówiłem wyniki badań reologicznych dla roztworów CAPB/DEA w wodzie i 10-procentowym wodnym roztworze glikolu etylenowego. Na ich podstawie stwierdziłem, że również podczas przepływu roztworów CAPB/DEA dochodzi do formowania się struktury indukowanej ścinaniem, a także występują takie zjawiska, jak zależność lepkości od czasu ścinania oraz wpływ szerokości szczeliny na pomiar naprężenia ścinającego, które są typowe dla roztworów surfaktantów, w których wytworzyły się długie micelle robaczkowe. Właściwości reologiczne roztworów CAPB/DEA zależą od pH, stosunku wagowego surfaktantów oraz ich całkowitego stężenia. Dodatek wodorotlenku sodowego wywołuje wzrost temperatury zmętnienia i lepkości roztworów CAPB/DEA. Świadczy to, że tworzeniu się długich micel sprzyja występowanie CAPB w formie zwitterjonowej. Przebieg uzyskanych krzywych lepkości wskazuje również, że wartość stosunku wagowego CAPB/DEA, przy którym powstają najdłuższe micelle nitkowe, zależy od temperatury. Obniżenie temperatury roztworu powoduje zwiększenie rozpuszczalności DEA w wodzie, tym samym wydzielanie fazy tenzydowej nastąpi przy większym udziale surfaktantu niejonowego w mieszaninie z CAPB, co umożliwia wytworzenie dłuższych micel nitkowych.

Roztwory surfaktantów, w których doszło do wytworzenia się micel robaczkowych charakteryzują się również właściwościami lepkosprężystymi oraz wysokim stosunkiem lepkości zmierzonych w warunkach przepływu ścinającego i rozciągającego. Własne wyniki pomiarów pierwszej różnicy naprężeń normalnych N_1 oraz lepkości wzdłużnej dla roztworów CTAC/NaSal i CAPB/DEA omówione zostały w rozdziale 4.4. Ze względu na ograniczenia opracowanych do tej pory metod pomiarowych, zostały one wykonane dla roztworów o stężeniach wyższych niż stosowane podczas badań nad redukcją oporów przepływu. Zarejestrowane większe od zera wartości N_1 wskazują, że w zakresie formowania się struktury indukowanej ścinaniem, roztwory CTAC/NaSal są płynami lepkosprężystymi. W przypadku roztworu CAPB/DEA wartość pierwszej różnicy naprężeń normalnych wynosiła zero w całym zakresie zmian szybkości ścinania. Wyniki tych pomiarów mogą świadczyć, że mieszane micelle robaczkowe układu CAPB/DEA są bardziej „giętkie” od micel, które tworzą się w układzie surfaktant kationowy z dodatkiem salicylanu sodu. Przeprowadzone pomiary wskazują również, że dla roztworów CTAC/NaSal i CAPB/DEA stosunek Troutona Tr (stosunek lepkości wzdłużnej do lepkości przy ścinaniu) ma wartości znacznie większe niż dla płynów newtonowskich ($Tr = 3$).

Rozdział 5 poświęcony został hydrodynamicie przepływu micelarnych roztworów surfaktantów. W rozdziale 5.1 przedstawiłem przegląd surfaktantów, w których przepływie jest obserwowane zjawisko redukcji oporów przepływu. Typowe wyniki pomiarów strat ciśnienia podczas przepływu roztworów kationowych surfaktantów z dodatkiem salicylanu sodu w rurach gładkich i chropowatych omówiłem w rozdziale 5.2 w oparciu o własne wyniki badań eksperymentalnych.

W rozdziale 5.3 przedstawiłem wyniki pomiarów strat ciśnienia podczas przepływu roztworów CAPB/DEA w rurach gładkich. Przebieg krzywych zależności współczynnika tarcia od liczby Reynoldsa, podobnie jak krzywych lepkości, silnie zależy od pH i temperatury roztworów CAPB/DEA. W przypadku roztworów o odczynie zasadowym oraz o odczynie obojętnym w zakresie niskich temperatur ($< 15^\circ\text{C}$) redukcja oporów przepływu zaczyna się wraz z końcem zakresu przepływu laminarnego, występuje w zakresie przejściowym i burzliwym, po czym, po przekroczeniu krytycznej wartości liczby Reynoldsa, nagle zaczyna się jej zanik. Wyznaczone średnice hydrodynamiczne asocjatów micelarnych, jak i charakterystyczny przebieg krzywych lepkości, świadczą, że taki przebieg krzywej zależności

współczynnika tarcia od liczby Reynoldsa będzie charakterystyczny dla płynów, w których w stanie spoczynku doszło do uformowania micel robaczkowych.

Odmienne zachowanie zaobserwowałem w przypadku przepływu mętnych roztworów CAPB/DEA. Również w ich przypadku straty ciśnienia w zakresie przepływu turbulentnego są mniejsze niż podczas przepływu czystego rozpuszczalnika. Jednak zjawisko redukcji oporów przepływu zaczyna się powyżej krytycznej liczby Reynoldsa $Re_{kr,0}$, której wartość wzrasta ze wzrostem średnicy rury i temperatury roztworu. Wyniki pomiarów średnic hydrodynamicznych struktur powstających w mętnych roztworach CAPB/DEA, jak i pośrednio ich lepkość zbliżona do lepkości czystej wody świadczą, że dochodzi w nich do zaniku micel robaczkowych w wyniku wydzielenia się fazy tenzydowej. Jednocześnie zaobserwowano, że początek zjawiska redukcji oporów przepływu w danej temperaturze mętnego roztworu CAPB/DEA ma miejsce przy tej samej wartości przyściennych naprężeń ścinających, co świadczy, że pod ich wpływem dochodzi do przekształcenia struktur zawartych w fazie tenzydowej w mikrostrukturę micelną odpowiedzialną za wystąpienie zjawiska redukcji oporów przepływu.

Przeprowadzone pomiary strat ciśnienia świadczą, że dla roztworów CAPB/DEA podobnie jak dla roztworów polimerów o łańcuchu giętkim i sztywnym, możliwe jest wyróżnienie dwóch typów redukcji oporów przepływu, jakkolwiek przyczyny ich występowania mogą być inne. W przypadku polimerów o giętkim łańcuchu, warunkiem wystąpienia redukcji oporów przepływu jest ich rozciągnięcie w kierunku przepływu, natomiast w przypadku mętnych roztworów CAPB/DEA, najprawdopodobniej przekształceniem struktur micelarnych występujących w fazie tenzydowej w micle robaczkowe.

Z przeprowadzonego porównania metod obliczania strat ciśnienia w rurach o dużej średnicy na podstawie pomiarów wykonanych w małej skali wynika, że dla roztworów CAPB/DEA może być stosowana procedura oparta na modelu tzw. „negatywnej chropowatości”, zaproponowanym przez Hoyta dla płynów polimerowych.

Pomiary strat ciśnienia w funkcji czasu wykazały, że stabilne są jedynie roztwory CAPB/DEA przygotowane w wodzie destylowanej. Właściwości przepływowe roztworów z dodatkiem wodorotlenku sodu ulegają zmianie w ciągu kilkudziesięciu godzin od momentu ich przygotowania. Jednocześnie następuje spadek pH roztworu, co świadczy o postępującej hydrolizie kokamidopropylobetainy.

W rozdziale 5.6 i 5.7 przedstawiłem doniesienia literaturowe dotyczące zmian, jakie wywołuje dodatek surfaktantów do wody w obrazie przepływu turbulentnego w kanale zamkniętym. Omówiłem zaproponowane w literaturze bezwymiarowe profile prędkości i profile temperatury, wyniki badań dotyczące intensywności turbulencji, rozkłady naprężeń Reynoldsa oraz zaobserwowane obrazy struktur koherentnych. Przedstawiłem również hipotezy mające wyjaśnić przyczyny redukcji strat ciśnienia i szybkości transportu ciepła podczas przepływu roztworów surfaktantów.

W rozdziale 6 omówiłem dotychczasowy stan wiedzy na temat wymiany ciepła oraz zaproponowane w literaturze metody intensyfikacji wymiany ciepła podczas przepływu roztworów surfaktantów. Przedstawiłem przegląd zaproponowanych równań empirycznych, pozwalających wyliczyć współczynnik wnikania ciepła podczas przepływu roztworów polimerów i surfaktantów w rurze prostej (rozdział 6.1), wpływ efektu wyporu na wartość współczynnika wnikania ciepła (rozdział 6.2) oraz związek między wymianą pędu i ciepła (rozdział 6.3) podczas przepływu roztworów surfaktantów.

Zaproponowane w literaturze metody intensyfikacji wymiany ciepła podczas przepływu roztworów surfaktantów omówiłem w rozdziale 6.4. W większości przypadków opierają się

one na spostrzeżeniu, że zniszczenie mikrostruktury micelarnej odpowiedzialnej za wystąpienie zjawiska redukcji oporów przepływu prowadzi do wzrostu szybkości transportu ciepła. Można wyróżnić tu dwie grupy metod intensyfikacji wymiany ciepła, zależnie od miejsca jej zniszczenia. Do pierwszej zaliczane są metody, w których struktura micelarna ulega zniszczeniu przed wymiennikiem ciepła poprzez umieszczenie przy wlocie do aparatu pompy, mieszalników statycznych lub innych specjalnej konstrukcji urządzeń, a także użycie ultradźwięków i promieniowania UV. Jeżeli czas odbudowy mikrostruktury micelarnej jest wystarczająco długi podczas przepływu roztworu SPC przez wymiennik ciepła, wartości współczynnika wnikania ciepła są porównywalne z wartościami uzyskiwanymi podczas przepływu czystej wody. Druga grupa metod polega na wprowadzeniu takich zmian w konstrukcji wymiennika ciepła, aby doszło do zniszczenia mikrostruktury micelarnej w jego wnętrzu poprzez użycie rur spiralnie ożebrowanych, mieszalników statycznych typu HEV i Helix. Do tej grupy metod można również zaliczyć spiralnie nawinięte na rurę żebra druciane. Wyniki badań eksperymentalnych nad intensyfikacją wymiany ciepła podczas przepływu roztworu CAPB/NaSal przy ich użyciu zostały przedstawione w pracy [H13]. Metoda ta pozwala uzyskać około trzykrotny wzrost wartości współczynnika wnikania ciepła w stosunku do jego wartości występujących podczas przepływu czystej wody w rurach gładkich, przy około 8-krotnym wzroście oporów przepływu.

W rozdziale 7 przedstawiłem własne wyniki badań nad intensyfikacją wymiany ciepła poprzez zastosowanie przed wlotem do aparatu kanału zbieżno-rozbieżnego oraz wewnątrz rury własnej konstrukcji mieszalników statycznych typu T.

W praktyce okazuje się, że zniszczenie mikrostruktury micelarnej przed wymiennikiem ciepła jest efektywną metodą intensyfikacji wymiany ciepła tylko w przypadku, gdy stosowane są bardzo niskie stężenia surfaktantów (rzędu 30 do 40 ppm). Zazwyczaj, przy tak niskich stężeniach surfaktantu, efekt redukcji oporów przepływu występuje w bardzo wąskim zakresie temperatur, co uniemożliwia jego zastosowanie w układach chłodzenia i ogrzewania. Potwierdzają to również własne wyniki badań eksperymentalnych. Użycie kanału zbieżno-rozbieżnego do niszczenia mikrostruktury micelarnej podczas przepływu roztworów CTAC/NaSal i CAPB/DEA o $\text{pH} \approx 7$ powodowało wzrost wartości współczynnika wnikania ciepła jedynie w bezpośrednim jego sąsiedztwie. Następnie obserwowano gwałtowne obniżenie szybkości transportu ciepła, co można wytłumaczyć bardzo szybkim czasem odbudowy mikrostruktury micelarnej.

W przypadku użycia tego typu roztworów SPC, modyfikacja konstrukcji wymiennika ciepła powinna uwzględniać konieczność ciągłego niszczenia mikrostruktury micelarnej. Można to osiągnąć poprzez wprowadzenie do rur mieszalników statycznych. Konstrukcja mieszalnika statycznego użytego do intensyfikacji wymiany ciepła podczas przepływu roztworów SPC musi zapewnić oprócz ruchu wirowego płynu i dzielenia strumieni, odpowiednio wysoki wzrost naprężeń, które doprowadzą do zniszczenia mikrostruktury micelarnej. Stąd też powstała koncepcja stworzenia mieszalnika statycznego, który zapewniać ma wzrost szybkości transportu ciepła podczas przepływu roztworów SPC w zakresie umiarkowanych prędkości płynu (od około 0,5 m/s do 1,5 m/s). Zaproponowana została własna konstrukcja mieszalnika statycznego o kształcie uzyskanym przez naprzemienne zginanie taśmy metalowej o grubości 0,2 mm i szerokości 20 mm. W badaniach zastosowano trzy taśmy różniące się między sobą wymiarami elementarnych trójkątów oraz kątem ich pochylenia. Zostały one oznaczone jako T2, T4 i T6.

Wizualizacja przepływu roztworów surfaktantów w rurze z zamocowanymi taśmami T wykazała, że prowadzą one do wytworzenia się trzech strumieni. Dwa strumienie

przepływają wzdłuż powierzchni taśmy. Trzeci strumień pojawia się nad ostrymi krawędziami taśmy i przesuwa się przy powierzchni ścianki rury wykonując ruch śrubowy.

Skuteczność taśm T zależy od stężenia i temperatury roztworów CTAC/NaSal oraz rodzaju użytej taśmy. Zapewniają one nawet ośmiokrotny wzrost wartości współczynnika wnikania ciepła. W zakresie umiarkowanych prędkości przepływu płynu (od 0,5 m/s do 1,5 m/s) w temperaturze 30 °C, można uzyskać wartości współczynnika wnikania ciepła zbliżone do wartości słusznych dla wody w zakresie stężeń CTAC od 0,0075% do 0,01%. Straty ciśnienia są od około 3 do 10 razy większe niż podczas przepływu czystej wody. Efektywność ciepło-przepływowa taśm T jest porównywalna z efektywnością mieszalników typu HEV oraz znacznie lepsza od efektywności mieszalników typu Helix.

Do korelacji wyników pomiarów współczynników wnikania ciepła podczas przepływu roztworów CTAC/NaSal w rurociągu z taśmami T zaproponowałem równanie oparte o zależność liczby Nusselta od liczby Pecleta oraz stosunek zastępczego naprężenia ścinającego wywołanego obecnością taśmy T do krytycznego naprężenia ścinającego, przy którym zaczyna się zanik zjawiska redukcji oporów przepływu. Wielkość zastępczego naprężenia ścinającego obliczono na podstawie strat ciśnienia wywołanych obecnością taśm T w rurociągu i równania słusznego dla przepływu płynu w rurze pustej.

Wyniki badań eksperymentalnych nad wnikaniem ciepła podczas przepływu roztworów środków powierzchniowo czynnych w termicznym odcinku wlotowym zostały przedstawione w pracach [H5], [H11] i [H14]. Jako płyny modelowe użyłem wodne roztwory chlorku cetylotrimetyloamoniowego z dodatkiem salicylanu sodu. Wpływ efektu wyporu na wymianę ciepła w termicznym odcinku wlotowym jest znacznie mniejszy niż w zakresie w pełni rozwiniętego przepływu. Dodatkowo wartość krytyczna liczby $Gr_x Pr_x / Re_x$ powyżej której jest on obserwowany, zależy od odległości od wlotu rury, natomiast jest niezależna od prędkości przepływu i stężenia surfaktantu. W przypadku wystąpienia efektu wyporu, skróceniu ulega długość termicznego odcinka wlotowego.

Z przedstawionego porównania przebiegu zależności parametrów HTR i DR^2 w funkcji liczby Reynoldsa wynika, że procentowe obniżenie wartości współczynnika wnikania ciepła jest znacznie większe od stopnia redukcji oporów przepływu. Wiąże się to z odmiennym wpływem lepkości na straty ciśnienia i szybkość transportu ciepła podczas przepływu roztworów CTAC/NaSal. Wzrost lepkości płynu powoduje wzrost oporów przepływu i jednocześnie spadek współczynnika wnikania ciepła przy danej prędkości przepływu. Dane przedstawione w pracy [H5] zapisano w funkcji liczby Reynoldsa obliczonej dla właściwości reologicznych czystej wody, podczas gdy rzeczywista lepkość płynów jest wyższa. Użycie lepkości wody w obliczeniach pozwala jednoznacznie określić, jaki stopień redukcji oporów i wymiany ciepła wystąpi przy analogicznych prędkościach przepływu roztworu surfaktantu i czystego rozpuszczalnika.

Uzyskane punkty doświadczalne dla roztworów CTAC/NaSal o różnych stężeniach i temperaturach zapisane w formie zależności liczby Nusselta od bezwymiarowej odległości od wlotu x^* tworzą jedną zależność. Spostrzeżenie to pozwoliło przedstawić wyniki badań w postaci prostych równań korelacyjnych. Uzyskane równania mają charakter zależności empirycznych i są słuszne jedynie dla analizowanych roztworów CTAC/NaSal, jakkolwiek sama metoda korelacji wyników badań doświadczalnych w postaci zależności liczby $Nu_x = f(x^*)$ ma charakter uniwersalny.

² Parametry DR i HTR są zdefiniowane równaniami: $DR = (\lambda_T - \lambda_s) / \lambda_T$ oraz $HTR = (Nu_T - Nu_s) / Nu_T$, gdzie λ_s i Nu_s są współczynnikami tarcia i liczbą Nusselta dla roztworu surfaktantu, λ_T i Nu_T są współczynnikami tarcia i liczbą Nusselta obliczonymi z równań słusznych dla przepływu burzliwego płynów newtonowskich.

W pracy [H12] omówiłem wyniki badań dla roztworu CTAC/NaSal o stężeniu 0,04% i temperaturze przy wlocie do aparatu $T_{wł} = 333$ K. W tym przypadku zjawisko redukcji oporów przepływu zaczyna się powyżej $Re = 11210$. Wartość parametru HTR osiąga poziom około 7% dla $Re = 11210$, a średnia wartość liczby Nu wynosi 61. Jednocześnie przy wzroście liczby Reynoldsa do poziomu 43200 wartość parametru HTR wynosi ponad 85% przy x/d_w równym 130, a średnia liczba Nusselta spada do poziomu 43. Z danych tych wynika, że w szczególnym przypadku obniżenie prędkości przepływu roztworu SPC może prowadzić do wzrostu wartości współczynnika wnikania ciepła.

Z badań omówionych w pracach [H3], [H7] i [H10] nad czasem mieszania i obrazami strugi zatopionej podczas przepływu roztworów środków powierzchniowo czynnych wynika, że również konwekcyjny transport masy jest dużo wolniejszy niż podczas przepływu płynów newtonowskich. Obserwacje przepływu zabarwionych strumieni swobodnych wykazały, że w przypadku roztworów surfaktantów następuje obniżenie szybkości ich rozszerzania. Wyznaczone czasy mieszania w roztworach chlorku cetylotrimetyloamoniowego i tetradecylotrimetyloamoniowego z dodatkiem salicylanu sodu były nawet 12-krotnie dłuższe niż podczas mieszania płynów newtonowskich [H7,H10]. Na podstawie obserwacji wizualnych strugi zatopionej oraz rozkładu barwnika wprowadzonego do mieszalnika wynika, że w roztworach surfaktantów dochodzi do zaniku drobnych wirów turbulentnych obserwowanych podczas przepływu płynów newtonowskich.

Opublikowane do tej pory wyniki pomiarów strat ciśnienia dotyczą przepływu roztworów surfaktantów w rurach gładkich. Do budowy instalacji centralnego ogrzewania wykorzystywane są głównie rury stalowe, które z biegiem czasu ulegają korozji co prowadzi do powstania chropowatości. Z tego powodu podjąłem badania nad wpływem chropowatości na straty ciśnienia w przepływie roztworów środków powierzchniowo czynnych [H4].

Wyniki badań były zaskakujące. Dla rur hydraulicznie gładkich uzyskane wartości współczynnika tarcia podczas przepływu roztworów surfaktantów pokrywają się z linią opisaną równaniem Hagena-Poiseuille'a. W przypadku rur chropowatych zaobserwowano, że powyżej pewnej granicznej liczby Reynoldsa wartości współczynnika oporu dla rur chropowatych zaczynają wzrastać w stosunku do wartości λ uzyskanych dla rur gładkich. Zasadniczo chropowatość nie wpływa na straty ciśnienia w zakresie przepływu laminarnego, zarówno płynów newtonowskich, jak i roztworów polimerów. Zaobserwowałem również, że w zakresie przepływu przejściowego i znacznej części zakresu burzliwego, wartości λ uzyskane w przepływie płynu w rurach chropowatych są w przybliżeniu równoległe przesunięte ku wyższym wartościom względem punktów uzyskanych w przepływie płynu w rurach gładkich.

W pracy [H4] zaproponowano dwa hipotetyczne wyjaśnienia wpływu chropowatości powierzchni na straty ciśnienia w przepływie roztworów SPC w zakresie laminarnym i części zakresu przepływu burzliwego. Jeden z mechanizmów wiąże zjawisko redukcji oporów przepływu wywołane dodatkiem SPC z efektywnym poślizgiem przyściennym. Tym samym, obecność nierówności na powierzchni ściany może prowadzić do jego zakłócenia i wzrostu wartości współczynników tarcia. Mimo, że zdaniem autora nie da się w pełni wyjaśnić mechanizmu redukcji oporów przepływu jedynie efektywnym poślizgiem przyściennym, może to być jednym z czynników, które do tego zjawiska prowadzą.

Odmienne zachowanie się w zakresie przepływu laminarnego roztworów CTAC/NaSal od roztworów płynów newtonowskich i polimerowych może być także związane ze zmianami w mikrostrukturze micelarnej wywołanej przez ostre krawędzie cząstek węgliku krzemu,

którym była wyklejona powierzchnia wewnętrzna rur chropowatych. Istnieje możliwość, że zmiany w mikrostrukturze prowadzą do wzrostu lepkości układu. Potwierdzeniem takiego mechanizmu wzrostu strat ciśnienia w zakresie przepływu laminarnego mogą być przedstawione w literaturze wyniki badań reologicznych. Wynika z nich, że chropowatość powierzchni może indukować proces heterogenicznej nukleacji miceli i tym samym wywoływać proces formowania SIS, co objawia się wzrostem lepkości.

Z danych przedstawionych w pracy [H4] wynika także, że wartości krytycznych liczb Reynoldsa maleją ze wzrostem chropowatości względnej powierzchni. Jednocześnie ustalono, że wartości krytycznych naprężeń ścinających $\tau_{w,kr1}$ i $\tau_{w,kr2}$ są niezależne od chropowatości względnej k'/d_w . Brak wpływu chropowatości na wartość pierwszego i drugiego krytycznego naprężenia ścinającego ma wymiar praktyczny, gdyż oznacza, że wyniki badań uzyskane dla rur hydraulicznie gładkich będą słuszne także dla rur chropowatych.

Prace [H8] i [H12] dotyczą właściwości reologicznych wodnych roztworów surfaktantów. W pracy [H8] przedstawiono wpływ stosunku molowego CTAC do NaSal na przebieg krzywej płynięcia ich roztworów. Zmiana stężenia surfaktantu przy stałym stosunku molowym CTAC do NaSal nie wpływała na jej kształt. Zaobserwowano natomiast przesunięcie szybkości ścinania, przy których przepływ staje się niestabilny, w kierunku wyższych wartości ze wzrostem stężenia NaSal.

W pracy [H12] przedstawione zostały wyniki badań reologicznych, pomiary średnic hydrodynamicznych micel oraz wstępne wyniki pomiarów strat ciśnienia dla wodnych roztworów CAPB/DEA. Badania przeprowadzone zostały dla większych stężeń surfaktantów niż w późniejszych badaniach przedstawionych w pracy [H1]. Wykazano, że zarówno lepkość roztworów, jak i średnica hydrodynamiczna micel silnie zależą od stosunku wagowego CAPB/DEA. W pracy [H12] przedstawiłem również po raz pierwszy wyniki pomiarów strat ciśnienia świadczące, że podczas przepływu roztworów CAPB/DEA występuje redukcja oporów przepływu.

O ile podczas przepływu roztworów surfaktantów w rurach prostych dochodzi do znacznego obniżenia oporów przepływów turbulentnych, to z badań zamieszczonych w pracy [H6] wynika, że miejscowe straty ciśnienia są większe niż podczas przepływu czystej wody. Wzrost strat ciśnienia podczas przepływu roztworów SPC przez przewód o nagłej zmianie przekroju można wiązać z wysoką lepkością wzdłużną tych płynów. Większe straty ciśnienia były również obserwowane podczas przepływu roztworów surfaktantów w kolanach.

W pracy [H9] przedstawione zostały wyniki badań doświadczalnych nad wpływem soli wywołujących twardość wody, na zjawisko redukcji oporów przepływu wywołane przez dodatek mieszaniny CTAC/NaSal. Z uzyskanych danych doświadczalnych wynika, że układ CTAC/NaSal jest stosunkowo odporny na oddziaływanie jonów magnezowych, wapniowych, chlorkowych, siarczanowych i wodorofosforanowych. Charakteryzuje się natomiast niską odpornością na obecność jonów żelaza (III).

Za główne oryginalne osiągnięcia przeprowadzonych badań uznaję:

- opracowanie mieszaniny surfaktantów, których dodatek do wody i wodnego roztworu glikolu etylenowego wywołuje zjawisko redukcji oporów przepływu w zakresie niskich temperatur,
- opracowanie nowej konstrukcji mieszalnika statycznego, który służy do intensyfikacji wymiany ciepła podczas przepływu roztworów surfaktantów,

- zaproponowanie modelu empirycznego umożliwiającego obliczanie współczynnika wnikania ciepła podczas przepływu roztworów surfaktantów w rurach z mieszalnikami statycznymi,
- zaproponowanie modelu empirycznego do obliczania współczynnika wnikania ciepła w termiczny odcinek wlotowy rury,
- określenie modelowej zależności współczynnika tarcia w funkcji liczby Reynoldsa podczas przepływu roztworów kationowych surfaktantów w rurach chropowatych,
- ustalenie wpływu dodatku surfaktantów kationowych do rozpuszczalnika na miejscowe strat ciśnienia.

5. Wykaz prac i omówienie pozostałych osiągnięć naukowych po uzyskaniu stopnia doktora

5.1. Wykaz ważniejszych prac opublikowanych po uzyskaniu stopnia doktora

A. Artykuły w czasopismach znajdujących się w bazie Journal Citation Reports (JCR)

(wartości IF i M podano według roku wydania pracy)

- A1. Broniarz-Press L., Róžański J.: Obszar maksymalnej redukcji oporów w przepływie roztworów środków powierzchniowo czynnych, Inżynieria Chemiczna i Procesowa, **25**, 733–738, 2004, **IF = 0,087; M = 10.**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na zaplanowaniu eksperymentu, wykonaniu pomiarów, redakcji wstępnego tekstu pracy, wykonaniu rysunków, opracowaniu równań korelacyjnych.

Mój udział szacuję na 50%

- A2. Broniarz-Press L., Agacinski P., Rozanski J.: Shear-thinning fluids flow in fixed and fluidised beds, International Journal of Multiphase Flow, **33**, 675-689, 2007, **IF = 1,274, M = 24.**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu części wyników badań, współpracy przy opracowaniu równań korelacyjnych i dyskusji wyników badań, opracowaniu w formie graficznej części wyników do publikacji.

Mój udział szacuję na 30%

- A3. Broniarz-Press L., Ochowiak M., Róžański J., Woziwodzki S.: The atomization of water-oil emulsions, Experimental Thermal and Fluid Science, **33**, 955-962, 2009, **IF = 1,234; M = 20**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wykonaniu części pomiarów, analizie danych i dyskusji wyników, opracowaniu w formie graficznej i tabelarycznej części wyników do publikacji.

Mój udział szacuję na 25%

- A4. Ochowiak M., Broniarz-Press L., Róžański J.: The discharge coefficient of effervescent atomizers, Experimental Thermal and Fluid Science, **34**, 316-323, 2010, **IF = 1,267, M = 27.**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wykonaniu części pomiarów, analizie danych dotyczących oporów przepływu.

Mój udział szacuję na 30%

- A5. Ochowiak M., Broniarz-Press L., Róžański J.: Rheology and structure of emulsions and suspensions, Journal of Dispersion Science and Technology, **33**, 177-184, 2012, **IF = 0,6, M = 15.**

Mój wkład w powstanie tej pracy 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%

- A6. Ochowiak M., Broniarz-Press L., Rozanska S., Rozanski J.: The effect of extensional viscosity on the effervescent atomization of polyacrylamide solutions, Journal of Industrial and Engineering Chemistry, **18(6)**, 2028-2035, 2012, **IF = 2,145, M = 30.**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wykonaniu części pomiarów reologicznych, analizie danych i dyskusji wyników.

Mój udział szacuję na 20%

- A7. Róžańska S., Broniarz-Press L., Róžański J., Mitkowski P. T., Ochowiak M., Woziwodzki S.: Extensional viscosity of o/w emulsion stabilized by polysaccharides measured on the opposed-nozzle device, Food Hydrocolloids, **32**, 130-142, 2013, **IF = 4,28; M = 40.**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wykonaniu części pomiarów, analizie danych i dyskusji wyników, opracowaniu w formie graficznej i tabelarycznej części wyników do publikacji.

Mój udział szacuję na 10%

- A8. Róžańska S., Róžański J., Mitkowski P.T., Ochowiak M.: Extensional viscosity measurements of concentrated emulsions with the use of the opposed nozzles device, Brazilian Journal of Chemical Engineering, **31**, 41-55, 2014, **IF = 0,894; M = 20.**

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

Mój udział szacuję na 10%

- A9. Broniarz-Press L., Róžański J., Róžańska S., Kmiecik J., Właściwości reologiczne warstwy powierzchniowej cieczy wybranych piw komercyjnych, Żywność. Nauka. Technologia. Jakość, **95**, 43-52, 2014, **IF = 0,311; M = 15.**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na: współkoncepcji i redakcji wstępnego tekstu pracy, interpretacji wyników.

Mój udział szacuję na 25%

- A10. Broniarz-Press L., Róžański J., Róžańska S., Właściwości reologiczne zatężonych kukurydzianych wywarów gorzelnianych, Żywność. Nauka. Technologia. Jakość, **96**, 195-205, 2014, **IF = 0,311; M = 15.**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na: koncepcji i redakcji wstępnego tekstu pracy, interpretacji wyników, wykonaniu części pomiarów.

Mój udział szacuję na 40%

B. Artykuły w czasopismach zagranicznych (spoza JCR)

- B1. Różańska S., Broniarz-Press L., Różański J., Mitkowski P., Ochowiak M., Woziwodzki S.: Extensional viscosity and stability of oil-in-water emulsions with addition poly(ethylene oxide), *Procedia Engineering*, **42**, 799-807, 2012.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wykonaniu części pomiarów, analizie danych i dyskusji wyników, opracowaniu w formie graficznej i tabelarycznej części wyników do publikacji.

Mój udział szacuję na 10%

- B2. Ochowiak M., Broniarz-Press L., Rozanska S., Rozanski J., Woziwodzki S.: The experimental analysis of the polyacrylamide solutions effervescent atomization, *Procedia Engineering*, **42**, 2028-2034, 2012.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na przygotowaniu roztworów do badań i wykonaniu części pomiarów.

Mój udział szacuję na 10%

C. Artykuły w czasopismach krajowych (spoza JCR)

- C1. Broniarz-Press L., Rozanski J.: A new description of 'diameter effect' in pipe flow of surfactant solutions, *International Journal of Applied Mechanics and Engineering*, **8**, 127–133, 2003; **M = 6**.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na zaplanowaniu eksperymentu, wykonaniu pomiarów, redakcji wstępnego tekstu pracy, opracowaniu w formie graficznej wyników.

Mój udział szacuję na 50%

- C2. Broniarz-Press L., Rozanski J., Dryjer S., Woziwodzki S.: Characteristics of the flow of the surfactant's solutions in curved pipes, *International Journal of Applied Mechanics and Engineering*, **8**, 135–139, 2003, **M = 6**.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na zaplanowaniu eksperymentu, wykonaniu części pomiarów, redakcji wstępnego tekstu pracy, opracowaniu w formie graficznej wyników.

Mój udział szacuję na 35%

- C3. Broniarz-Press L., Rozanski J., Bednarz J.: pH effect on rheological properties of surfactant solutions in hard water, *International Journal of Applied Mechanics and Engineering*, **8**, 201–206, 2003, **M = 6**.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na zaplanowaniu eksperymentu, dyskusji wyników badań, redakcji wstępnego tekstu pracy, opracowaniu w formie graficznej wyników.

Mój udział szacuję na 35%

- C4. Broniarz-Press L., Rozanski J., Dryjer S., Bednarz J.: Effect of the strong electrolyte addition on rheological properties of aqueous solutions of sodium carboxymethyl cellulose, *International Journal of Applied Mechanics and Engineering*, **8**, 207–212, 2003, **M = 6**.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na zaplanowaniu eksperymentu, dyskusji wyników badań, redakcji wstępnego tekstu pracy, opracowaniu w formie graficznej wyników.

Mój udział szacuję na 30%

- C5. Broniarz-Press L., Róžański J.: Analiza „efektu średnicy” w przepływie roztworów środków powierzchniowo czynnych w odcinkach rur prostych, Inżynieria i Aparatura Chemiczna, **42(34)**, 23–24, 2003, **M = 4**.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na: współkoncepcji pracy, zaplanowaniu eksperymentu, wykonaniu pomiarów, redakcji wstępnego tekstu pracy, opracowaniu w formie graficznej wyników.

Mój udział szacuję na 50%

- C6. Broniarz-Press L., Dulcka D., Róžański J.: Analiza spływu filmowego wodnych roztworów surfaktantów i polimerów, Inżynieria i Aparatura Chemiczna, **42(34)**, 21–22, 2003, **M = 4**.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na dyskusji wyników badań i częściowym ich opracowaniu.

Mój udział szacuję na 30%

- C7. Broniarz-Press L., Róžański J., Bednarz J.: Analiza reologiczna roztworów polimerowych w obecności soli i środków powierzchniowo czynnych, Inżynieria i Aparatura Chemiczna, **43(35)**, 17–18, 2004, **M = 4**.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na zaplanowaniu eksperymentu, dyskusji wyników badań, redakcji wstępnego tekstu pracy, wykonaniu rysunków.

Mój udział szacuję na 35%

- C8. Broniarz-Press L., Rozanski J., Rozanska S., Jur A.: Drag reducing polymer solutions: pumping effect, International Journal of Applied Mechanics and Engineering, **10**, 85–91, 2005, **M = 6**.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na zaplanowaniu eksperymentu, dyskusji wyników badań, redakcji wstępnego tekstu pracy, wykonaniu rysunków.

Mój udział szacuję na 30%

- C9. Broniarz-Press L., Bednarz J., Rozanski J.: Mass transfer enhancement in Newtonian and non-Newtonian liquids flowing in channels of the sinusoidal shape, International Journal of Applied Mechanics and Engineering, **10**, 93–98, 2005, **M = 6**.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na zaplanowaniu eksperymentu i dyskusji wyników badań.

Mój udział szacuję na 25%

- C10. Broniarz-Press L., Rozanski J., Rozanska S.: 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, 2005, **M = 6**.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na zaplanowaniu eksperymentu, dyskusji wyników badań, redakcji wstępnego tekstu pracy, opracowaniu w formie graficznej wyników.

Mój udział szacuję na 35%

- C11. Broniarz-Press L., Rozanski J., Szymczak M.: The “diameter effect” in the flow of surfactant solutions, Polish Journal of Chemical Technology, **8**, 31–34, 2006, **M = 6**.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na: współkoncepcji pracy, zaplanowaniu eksperymentu, wykonaniu części pomiarów, redakcji wstępnego tekstu pracy, opracowaniu równania korelacyjnego, opracowaniu w formie graficznej wyników.

Mój udział szacuję na 40%

- C12. Broniarz-Press L., Dulska D., Ochowiak M., Róžański J., Szaferksi W., Woziwodzki S.: Analiza procesu rozpylania emulsji wodno-olejowej, Inżynieria i Aparatura Chemiczna, **46(38)**, 13–15, 2007, **M = 4**.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wykonaniu części pomiarów, analizie danych i dyskusji wyników, opracowaniu w formie graficznej i tabelarycznej części wyników do publikacji.

Mój udział szacuję na 20%

- C13. Broniarz-Press L., Róžański J., Róžańska S., Andrzejak K., Opadanie swobodne cząstek kulistych w płynach rozrzedzanych ścinaniem, Inżynieria i Aparatura Chemiczna, **47(39)**, 13–14, 2008, **M = 4**.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na: współkoncepcji pracy, zaplanowaniu eksperymentu, redakcji wstępnego tekstu pracy, opracowaniu w formie graficznej wyników.

Mój udział szacuję na 30%

- C14. Róžański J., Broniarz-Press L.: Sedymentacja węglanu baru w wodnych roztworach bromku tetradecylotrimetyloamoniowego, Inżynieria i Aparatura Chemiczna, **47(39)**, 43–44, 2008, **M = 4**.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na: współkoncepcji badań, zaplanowaniu eksperymentu, wykonaniu badań, redakcji wstępnego tekstu pracy, opracowaniu w formie graficznej wyników.

Mój udział szacuję na 50%

- C15. Broniarz-Press L., Ochowiak M., Róžański J., Woziwodzki S.: Cyfrowa wizualizacja i analiza procesu rozpylania emulsji, Inżynieria i Aparatura Chemiczna, **47(39)**, 58–59, 2008, **M = 4**.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wykonaniu części pomiarów, analizie danych i dyskusji wyników, opracowaniu w formie graficznej i tabelarycznej części wyników do publikacji.

Mój udział szacuję na 25%

- C16. Broniarz-Press L., Ochowiak M., Róžański J., Woziwodzki S.: Analiza procesu napowietrzania emulsji podczas rozpylania pneumatycznego, Inżynieria i Aparatura Chemiczna, **48(40)**, 22–23, 2009, **M = 4**.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na analizie danych i dyskusji wyników, opracowaniu w formie graficznej i tabelarycznej części wyników do publikacji.

Mój udział szacuję na 25%

- C17. Róžański J.: Wpływ gumy guar na właściwości reologiczne żeli agaru, Inżynieria i Aparatura Chemiczna, **48(40)**, 110–111, 2009, **M = 4**.

Mój udział wynosi 100%

- C18. Broniarz-Press L., Ochowiak M., Róžański J., Woziwodzki S.: Analiza wartości kąta rozpylania podczas dwufazowego rozpylania emulsji, Inżynieria i Aparatura Chemiczna, **48(40)**, 27–28, 2009, **M = 4**.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wykonaniu części pomiarów, analizie danych i dyskusji wyników, opracowaniu w formie graficznej i tabelarycznej części wyników do publikacji.

Mój udział szacuję na 25%

- C19. Broniarz-Press L., Ochowiak K., Róžański J., Woziwodzki S.: Opory przepływu w dyszy podczas rozpylania emulsji, Inżynieria i Aparatura Chemiczna , **48(40)**, 29–30, 2009, **M = 4**.

Mój wkład w powstanie tej pracy 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%

- C20. Róžańska S., Broniarz-Press L., Róžański J., Ochowiak M., Woziwodzki S., Mitkowski P.: Lepkość wzdłużna emulsji o/w stabilizowanych hydroksypopylometylocelulozą, Inżynieria i Aparatura Chemiczna, **51**, 375–37, 2012, **M = 5**.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wykonaniu części pomiarów, analizie danych i dyskusji wyników, opracowaniu w formie graficznej i tabelarycznej części wyników do publikacji.

Mój udział szacuję na 10%

- C21. Róžańska S., Broniarz-Press L., Róžański J., Mitkowski P., Ochowiak M., Woziwodzki S.: Wpływ struktury fazy rozproszonej na właściwości reologiczne emulsji o/w w przepływie wzdłużnym, Inżynieria i Aparatura Chemiczna, **51**, 377–378, 2012, **M = 5**.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wykonaniu części pomiarów, analizie danych i dyskusji wyników, opracowaniu w formie graficznej i tabelarycznej części wyników do publikacji.

Mój udział szacuję na 10%

- C22. Róžańska S. Broniarz-Press L., Róžański J., Ochowiak M., Woziwodzki S., Mitkowski P.T.: Zmiana struktury emulsji o/w w przepływie wzdłużnym, Inżynieria Rolnicza, **141**, 233–242, 2013, **M = 5**.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wykonaniu części pomiarów, analizie danych i dyskusji wyników, opracowaniu w formie graficznej i tabelarycznej części wyników do publikacji.

Mój udział szacuję na 10%

D. Opublikowane materiały z konferencji zagranicznych

- D1. Broniarz-Press L., Rozanska S., Róžański J.: Rheological studies of surfactant solutions containing silica nanoparticles, Proceedings of 34th Conference of Slovak Society of Chemical Engineering, PP 139, Tatranské Matliare, 2007.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na zaplanowaniu eksperymentu, wykonaniu i opracowaniu części wyników badań, dyskusji wyników badań, opracowaniu w formie graficznej wyników.

Mój udział szacuję na 30%

- D2. Rozanski J., Broniarz-Press L.: Sedimentation in micellar solutions of tetradecyltrimethylammonium bromide, Book of Abstracts of 6th European Congress of Chemical Engineering ECCE-6, Vol. 2, 365–366, 2007.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na zaplanowaniu eksperymentu, wykonaniu badań, redakcji wstępnego tekstu pracy, opracowaniu w formie graficznej wyników.

Mój udział szacuję na 50%

- D3. Rozanski J., Broniarz-Press L., Rozanska 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 zaplanowaniu eksperymentu, wykonaniu części badań, redakcji wstępnego tekstu pracy, opracowaniu w formie graficznej wyników.

Mój udział szacuję na 50%

- D4. Agacinski P., Broniarz-Press L., Rozanski J.: Universal maps for two-phase solid-liquid flows, Proceedings of the 18 International Congress of Chemical and Process Engineering CHISA'2008, CD-ROM Ref. No.: 0549, pp. 1–10, Praha, 2008.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu części wyników badań, współpracy przy opracowaniu równań korelacyjnych i dyskusji wyników badań, opracowaniu w formie graficznej wyników.

Mój udział szacuję na 20%

- D5. Broniarz-Press L., Ochowiak M., Różański J., Woźniowski S.: Effect of nozzle construction on the characteristics of twin-fluid atomization, Proceedings of the 22 European Conference on Liquid Atomization and Spray Systems ILASS'2008, CD-ROM Ref. No.: P-3, pp. 1–4, Como Lake, 2008.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wykonanie części pomiarów, analizie danych i dyskusji wyników, opracowaniu w formie graficznej i tabelarycznej części wyników do publikacji.

Mój udział szacuję na 20%

- D6. Broniarz-Press L., Rozanska S., Rozanski 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: współkonceptacji pracy, dyskusji wyników, opracowaniu w formie graficznej części wyników do publikacji, redakcji wstępnego tekstu pracy.

Mój udział szacuję na 30%

E. Opublikowane materiały z konferencji krajowych

- E1. Broniarz-Press L., Rozanski J.: Usability of the drag reducing surfactant's solutions in closed heating systems, Proceedings of the Third International Conference on Transport Phenomena in Multiphase Systems "HEAT 2005", pp. 221–228, Gdańsk, June 26-30, 2005.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na zaplanowaniu eksperymentu, wykonaniu pomiarów, redakcji wstępnego tekstu pracy, opracowaniu w formie graficznej wyników.

Mój udział szacuję na 50%

- E2. Broniarz-Press L., Rozanski J., Bednarz J.: Intensity of mass transfer in Newtonian and non-Newtonian liquids flowing in sinusoidal channels, Proceedings of the Third International Conference on Transport Phenomena in Multiphase Systems "HEAT 2005", pp. 229–234, Gdańsk, June 26-30, 2005.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na zaplanowaniu eksperymentu i dyskusji wyników badań.

Mój udział szacuję na 30%

- E3. Róžański J., Broniarz-Press L.: Sedimentation in non-Newtonian and micellar solutions, Symposium and VII Workshop „Modelling of Multiphase Flows in Thermo-Chemical Systems” Professor Bilicki in Memoriam, Gdańsk, Poland, 18–20.06.2007.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na: zaplanowaniu eksperymentu, wykonaniu badań, redakcji wstępnego tekstu pracy, opracowaniu w formie graficznej wyników.

Mój udział szacuję na 50%

- E4. Róžańska S., Broniarz-Press L., Róžański J.: Lepkość wzdłużna wodnych roztworów polimerów, Proceedings of the 1st Thermodynamics in Science and Technology, Part 1, 227–234, PUHiP POLI-GRAF-JAK, Poznań 2011.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wykonaniu części pomiarów, analizie danych i opracowaniu w formie graficznej części wyników do publikacji.

Mój udział szacuję na 10%

- E5. Broniarz-Press L., Róžańska S., Róžański 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 wykonaniu części pomiarów, analizie danych i opracowaniu w formie graficznej części wyników do rozdziału.

Mój udział szacuję na 10%

F. Monografie

- F1. Broniarz-Press L., Ochowiak M., Róžański J., Szaferowski W., Woźniowski S.: Przepływy trójfazowe gaz-ciecz-ciecz w dyszach rozpryskowych, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2010.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wykonaniu części pomiarów, analizie danych i dyskusji wyników, opracowaniu w formie graficznej i tabelarycznej części wyników do monografii.

Mój udział szacuję na 15%

- F2. Róžańska S., Broniarz-Press L., Róžański J., Mitkowski P.T., Ochowiak M., Woźniowski S.: Lepkość wzdłużna emulsji, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2014.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wykonaniu części pomiarów, analizie danych i dyskusji wyników, opracowaniu w formie graficznej i tabelarycznej części wyników do monografii.

Mój udział szacuję na 10%

5.2. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowych po uzyskaniu stopnia doktora

Oprócz badań scharakteryzowanych w punkcie 4 w ramach mojej pracy naukowej zajmowałem się problemami związanymi z szeroko rozumianą reologią techniczną i mechaniką płynów nienewtonowskich. Badania, które prowadziłem były ukierunkowane na analizę zjawiska redukcji oporów przepływu wywołanej dodatkiem środka powierzchniowo czynnego i polimeru, fluidyzację w płynach rozrzedzanych ścinaniem, opadanie swobodne i sedymentację w płynach nienewtonowskich, analizę właściwości reologicznych roztworów surfaktantów, polimerów i emulsji oraz rozpylanie cieczy nienewtonowskich.

Pierwsze moje prace opublikowane po obronie rozprawy doktorskiej dotyczyły przepływu roztworów surfaktantów przez odcinki rur prostych i węzownice [A1; C2]. Mimo, że prace [A1; C2] zostały opublikowane po obronie rozprawy doktorskiej, dotyczyły one

bezpośrednio badań w ramach niej realizowanych. W pracy [A1] zostało zaproponowane równanie asymptoty maksymalnej redukcji oporów przepływu dla roztworów anionowych i kationowych surfaktantów, natomiast w [C2] omówiono wpływ krzywizny przewodu na straty ciśnienia podczas przepływu roztworów surfaktantów.

Prace [C1, C5, C11] dotyczą badań prowadzonych nad problemem obliczania strat ciśnienia podczas przepływu roztworów surfaktantów w rurach o dużych średnicach na podstawie pomiarów strat ciśnienia przeprowadzonych w skali laboratoryjnej. Ustalono, że zaproponowana przez Gasljevic i współpracowników³ zależność parametru DR w funkcji średniej prędkości płynu dla roztworów kationowych surfaktantów, może być również stosowana dla roztworów anionowych surfaktantów, nie można jej natomiast stosować w przypadku przepływu roztworów surfaktantów niejonowych. Zaproponowano również równanie korelacyjne w postaci zależności stosunku współczynników strat ciśnienia dla roztworu surfaktantu i czystej wody w funkcji bezwymiarowej prędkości przepływu [C11]. Równanie to zostało sprawdzone w zakresie średnic rur od 8 mm do 20 mm.

Na proces asocjacji micelarnej, a tym samym na właściwości przepływowe roztworów surfaktantów wpływa wiele czynników, w tym obecność soli prostych i pH roztworu. Badania nad jednoczesnym wpływem obu tych czynników na właściwości reologiczne surfaktantów anionowych i kationowych przedstawione zostały w pracy [C3]. Szczególnie interesujące były wyniki badań dla roztworów bromku cetylotrimetyloamoniowego z dodatkiem salicylanu sodu. Lepkość roztworu tego surfaktantu w wodzie destylowanej nie ulegała zmianie zarówno w środowisku kwaśnym, jak i alkalicznym. Jednocześnie dodatek chlorku wapnia i magnezu oraz fosforanu i siarczanu sodu w zależności od pH roztworu wywoływał wzrost lub spadek jego lepkości.

Prowadziłem również badania nad zjawiskiem redukcji oporów przepływu [C8] i szybkością transportu masy podczas przepływu wodnych roztworów polimerów [C9, E2, D6]. W pracy [C8] omówiono zmiany strat ciśnienia oraz średniej masy cząsteczkowej wywołane degradacją mechaniczną poliakryloamidu rozpuszczonego w wodzie pod wpływem naprężeń ścinających wywołanych pompą wirową. Ustalono, że zmniejszenie stopnia redukcji oporów przepływu wynikające z degradacji mechanicznej silnie zależy od stężenia polimeru. Degradacja mechaniczna postępowała w całym zastosowanym przedziale czasu pompowania (14 godzin), jednak gwałtowne zmiany występowały podczas pierwszych 4 godzin przepływu.

Badania nad intensyfikacją transportu masy prowadzono w kanale sinusoidalnym o stałym oraz zmiennym przekroju poprzecznym [C9, E2]. Wartości współczynnika wnikania masy zostały wyznaczone w oparciu o pomiar granicznego prądu dyfuzyjnego. Zarejestrowano nawet czterokrotny jego wzrost w stosunku do wartości zmierzonych podczas przepływu roztworów polimerów w kanale płaskim. Uzyskane wartości współczynnika wnikania masy dla kanału sinusoidalnego o stałym przekroju były nieznacznie większe niż dla kanału sinusoidalnego o zmiennym przekroju.

Jestem również współautorem pracy dotyczącej spływu filmowego wodnych roztworów polimerów i surfaktantów po ścianie płaskiej [C6]. Wykazano w niej, że podczas spływu filmowego roztworów polimerów i surfaktantów, w których przepływie przez rurę obserwowane jest zjawisko redukcji oporów przepływu, następuje tłumienie fal oraz obniżenie średniej grubości filmu cieczy.

W pracy [A2] przedstawiono wyniki pomiarów strat ciśnienia podczas przepływu płynów newtonowskich i nienewtonowskich (wodne roztwory polimerów i środków powierzchniowo

³ Gasljevic K., Aguilar G., Matthys E.F., On two distinct types of drag-reducing fluids, diameter scaling, and turbulent profiles, *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, **96**, 405-425, (2001).

czynnych) przez złoża nieruchome i fluidalne. Wykazano, że określanie minimalnej prędkości fluidyzacji, na podstawie analizy spadku ciśnienia związanego z aktualną wysokością złoża daje bardziej dokładne wartości niż metoda oparta na początkowej wysokości złoża. Zaproponowano również równanie empiryczne pozwalające obliczyć współczynnik oporów podczas przepływu płynów newtonowskich i rozrzedzanych ścinaniem przez złoża nieruchome i fluidalne. Wykazano, że zaproponowany przez Koziół i współpracowników⁴ model opisujący ruch cząstek w zawieszinie może być wykorzystany do określania krytycznej prędkości fluidyzacji nie tylko podczas przepływu płynów newtonowskich, ale także rozrzedzanych ścinaniem. Również zaproponowany przez Goossena⁵ wykres określający obszar występowania fazy fluidalnej w płynach newtonowskich, może być przy odpowiednim zdefiniowaniu liczby Reynoldsa zastosowany do określenia obszaru fluidyzacji podczas przepływu płynów rozrzedzanych ścinaniem [A2,D4]. Zaproponowano również równania empiryczne pozwalające obliczyć krytyczną prędkość fluidyzacji w płynach newtonowskich i rozrzedzanych ścinaniem.

W pracach [D3, E3, C13,] wykazano, że model zaproponowany przez Koziół⁶ dla opadania swobodnego cząstek kulistych w płynach newtonowskich można uogólnić dla płynów rozrzedzanych ścinaniem (wodne roztwory soli sodowej karboksymetlocelulozy i gumy guarowej). Konieczne jest jednak przeprowadzenie obliczeń w oparciu o zaproponowanych w pracy zmodyfikowane definicje zastępczego wymiaru liniowego i zastępczej prędkości odniesienia.

W pracy [C14] przedstawiono wyniki testów sedymentacji węglanu baru w czystej wodzie oraz z dodatkiem kationowego surfaktantu (bromku tetradecylotrimetyloamoniowego, TTAB) i bromku sodu. W zakresie małych stężeń surfaktantu zaobserwowano przyspieszenie procesu sedymentacji, natomiast przy dużych stężeniach następowało jej spowolnienie. Zaobserwowane zmiany prędkości sedymentacji powiązano ze zmianą ładunku powierzchniowego cząstek węglanu baru w wyniku adsorpcji cząsteczek TTAB na jego powierzchni. Dla roztworów bromku tetradecylotrimetyloamoniowego z dodatkiem bromku sodu proces sedymentacji ulega gwałtownemu spowolnieniu. W układach TTAB/NaBr powstają micelle cylindryczne z czym można wiązać spowolnienie procesu opadania [D2].

W ramach projektu badawczego kierowanego przez prof. dr hab. Lubomirę Broniarz-Press nt. *Analiza przepływu trójfazowego gaz-ciecz-ciecz w dyszach rozpryskowych*, w którym byłem jednym z głównych wykonawców, prowadziłem badania ukierunkowane na powiązanie właściwości reologicznych z oporami przepływu, kątem rozpylania i średnicą kropeł powstających podczas rozpylania emulsji przy użyciu dysz rozpryskowych charakteryzujących się różnymi średnicami otworów wylotowych dla cieczy i gazu [A3, C12, C15, C16, C18, C19 i F1]. W projekcie tym byłem odpowiedzialny za wykonanie części badań eksperymentalnych, opracowanie i analizę wyników pomiarów, dyskusję wyników, opracowanie części równań korelacyjnych. W pracach [C12] i [C18] ustalono wpływ natężenia przepływu mediów, napięcia powierzchniowego, lepkości cieczy oraz konstrukcji rozpylacza na kąt rozpylania emulsji. W pracach [C15], [D5] i [A3] omówiono wpływ charakterystycznych parametrów procesu rozpylania na średnicę powstających kropeł.

⁴ Koziół K., Ulatowski J., Ziółkowski W., Uogólniony wykres i równanie ruchu cząstek kulistych w płynie, *Inżynieria Chemiczna* **8**, 351-357, 1978.

⁵ Goossens W.R.A., Classification of fluidized particles by Archimedes number, *Powder Technology*, **98**, 48-53, 1998.

⁶ Koziół K., Ogólne równanie i wykres dla ustalonej sedymentacji cząstek kulistych, *Inżynieria Chemiczna*, **6**, 287-292, 1974.

Uzyskane wyniki eksperymentalne przedstawiono w formie równania korelacyjnego uzależniającego średnią objętościowo-powierzchniową średnicę kropeł (SMD) od charakterystycznych wymiarów dyszy, lepkości emulsji i gazu oraz stosunku masowych natężeń przepływu gazu do cieczy (GLR). W pracy [C16] wykazano, że możliwe jest napowietrzanie emulsji o/w z wykorzystaniem dyszy pneumatycznych, przy czym średnice pęcherzyków powietrza zależą od lepkości emulsji oraz lepkości fazy rozproszonej (oleju). Wyniki badań omawianego projektu badawczego zostały również omówione w monografii *Przepływ trójfazowy gaz-ciecz-ciecz w dyszach rozpryskowych* [F1], w której odpowiadałem za opracowanie rozdziałów dotyczących lepkości emulsji oraz strat ciśnienia przy przepływie emulsji przez dysze. Wyniki pomiarów strat ciśnienia podczas rozpylania emulsji zostały przedstawione w formie równań empirycznych zależności współczynnika wypływu i liczby Eulera od liczby Reynoldsa [C19,F1].

Jestem również współautorem prac dotyczących rozpylania wody i roztworów polimerów [A4], [A6] i [B2]. W pracy [A4], w której byłem odpowiedzialny za przeprowadzenie części badań i ich analizę, przedstawione zostały wyniki pomiarów strat ciśnienia gazu i cieczy dla dyszy pneumatycznej z aeratorem gazu. Na podstawie pomiarów stwierdzono występowanie dwóch obszarów przepływu gaz-ciecz przez dyszę. Pierwszy zakres jest charakterystyczny dla przepływu pęcherzykowego, natomiast drugi dla pierścieniowego. Przeprowadzone pomiary strat ciśnienia zostały również przedstawione w formie równań korelacyjnych, jako funkcja współczynnika wypływu od liczby GLR oraz charakterystycznych wymiarów dysz.

Prace [A6] i [B2] dotyczą rozpylania w dyszach pneumatycznych roztworów polimerów charakteryzujących się wysoką lepkością wzdłużną (liczba Troutona osiągała wartość około 50). W ramach prowadzonych badań odpowiadałem za wykonanie części pomiarów reologicznych 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 powiązano z lepkością wzdłużną roztworów polimerów.

Badania nad lepkością wzdłużną prowadziłem również jako jeden z głównych wykonawców projektu badawczego *Analiza lepkości wzdłużnej emulsji*. W jego ramach byłem współautorem projektu reometru wzdłużnego, w którym wykorzystano do pomiaru lepkości przepływ stagnacyjny między dwoma przeciwstawnymi dyszami, a także stanowiska eksperymentalnego pozwalającą określić lepkości wzdłużną na podstawie pomiaru spadku ciśnienia przy nagłej zmianie przekroju przepływu. Zajmowałem się również opracowaniem i analizą wyników pomiarów. W pracach [E4] i [E5] przedstawione zostały wyniki pomiarów lepkości wzdłużnej dla płynów newtonowskich (oleje mineralne) oraz wodnych roztworów polimerów (soli sodowej kraboksymetylocelulozy (Na-CMC) i tlenku polietylenu (PEO)) przy użyciu reometru z przeciwstawnymi dyszami. Uzyskane wyniki doświadczalne dla płynów newtonowskich były zgodne z wartościami teoretycznymi w granicach błędu dopuszczalnego dla tego typu aparatów. Wykazano również, że lepkość wzdłużna roztworów polimerów silnie zależy od ich średniej masy cząsteczkowej. Dane te są o tyle istotne, że roztwory Na-CMC 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 wyższe niż wynikające jedynie z właściwości reologicznych tych płynów w przepływie ścinającym.

W pracy [A8] przedstawiono wyniki pomiarów lepkości wzdłużnej zatężonych emulsji o/w (zawierające 60 vol.% obj. do 74 vol. % fazy olejowej) stabilizowanych dodatkiem

surfaktantu. Wykazano, że lepkość wzdłużna, jak i stosunek Troutona wzrastają wraz ze zmniejszeniem średnicy kropeł. Wartości liczby Tr dla użytych w badaniach emulsji są niezależne od szybkości odkształcenia mimo, że lepkość wzdłużna i lepkość przy ścinaniu maleją ze wzrostem szybkości odkształcenia.

W pracach [A7], [C20], [C21] i [F2] przedstawione zostały wyniki badań reologicznych dla emulsji stabilizowanych dodatkiem polimerów w przepływie wzdłużnym. Przeprowadzone pomiary wykazały, że istnieje silny związek między strukturą emulsji a lepkością wzdłużną. Znaczny wzrost lepkości wzdłużnej emulsji, w stosunku do lepkości fazy ciągłej obserwowano w przypadku, gdy krople jej były silnie sflokułowane. Również uzyskane wartości liczby Troutona dla emulsji sflokułowanych są wyższe, niż dla roztworu czystego polimeru. Stwierdzono, że efekt taki wywoływany jest przede wszystkim przez polimery jonowe (Na-CMC), co powiązano z silnym ich wpływem na łączenie się kropeł pod wpływem ciśnienia osmotycznego wywołanego zmniejszonym stężeniem polimeru w obszarze przy powierzchni kropli. W przypadku emulsji stabilizowanych dodatkiem polimerów niejonowych (gumy guarowej, hydroksypropylometylocelulozy), które były słabo sflokułowane, lepkość wzdłużna również wzrastała ze wzrostem udziału objętościowego fazy rozproszonej. Stwierdzono jednak, że w tym przypadku wartości liczby Tr były niższe niż dla roztworu czystego polimeru.

Praca [C22] dotyczy badań nad zmianą średnicy kropeł emulsji pod wpływem naprężeń rozciągających występujących między dwoma przeciwstawnymi dyszami. Uzyskane wyniki badań doświadczalnych wskazują, że w zakresie szybkości rozciągania od $37,7 \text{ s}^{-1}$ do 1019 s^{-1} emulsje zawierające krople o średnicach nie większych niż $45 \text{ }\mu\text{m}$ są układami stabilnymi. Zmiana struktury emulsji następuje, gdy zawiera ona krople o średnicach przekraczających $100 \text{ }\mu\text{m}$.

Jestem również współautorem monografii *Lepkość wzdłużna emulsji* [F2], w której omówiono wyniki badań realizowanego projektu badawczego. W pracy tej odpowiadałem za opracowanie części wyników pomiarów i ich omówienie. Brałem również udział w opracowaniu rozdziału, w którym omówiono metody pomiaru lepkości wzdłużnej.

Prowadziłem również badania nad właściwościami reologicznymi emulsji, zawiesin i roztworów polimerów w przepływie ścinającym [D1,A5]. W pracy [D1] przedstawione zostały wyniki badań nad wpływem dodatku kationowego surfaktantu (CTAC) na właściwości reologiczne zawiesin krzemionki Aerosil® 380. Przebieg uzyskanych krzywych płynięcia wskazuje, że ich lepkość ze wzrostem stężenia CTAC początkowo rośnie, osiąga maksimum, po czym maleje osiągając ostatecznie stałą wartość. Zaobserwowane zmiany lepkości powiązano ze zmianą ładunku na powierzchni cząstek krzemionki, w wyniku adsorpcji cząsteczek kationowego surfaktantu, co sprzyja lub przeciwdziała ich agregacji. W pracy [A5] przedstawiono porównanie właściwości reologicznych zawiesin krzemionek, zmielonej papryki, kawy i rozcieńczonych emulsji o/w. Podjęto próbę połączenia obserwowanych zmian właściwości reologicznych zawiesin z ich wewnętrzną strukturą.

Jak wynika z przedstawionego powyżej opisu znaczna część mojego dorobku naukowego dotyczy przepływów dwufazowych, w których fazą ciągłą jest ciecz nienewtonowska. W badaniach takich jako płyny modelowe najczęściej stosowane są roztwory takich polimerów jak sól sodowa karboksymetylocelulozy, poli(tlenku etylenu), guma ksantanowa oraz guma guarowa. Stąd też wynikają moje zainteresowania właściwościami reologicznymi wodnych roztworów tych polimerów oraz możliwościami ich modyfikacji przez dodatek soli i surfaktantów. Wyniki takich badań zostały zaprezentowane w pracach [C4, C7, C10, C17]. Ustalono między innymi, że właściwości reologiczne polielektrolitów można modyfikować nie

tylko przez dodatek soli ale również sacharozy i surfaktantów oraz przez zastosowanie mieszanin różnych polimerów, np. przez dodatek gumy guarowej do agaru.

W pracy [A10] przedstawiono właściwości reologiczne zatężonych frakcji rozpuszczalnych składników kukurydzianego wywaru gorzelnianego (CDS) powstałego przy produkcji etanolu. Koncepcja tej pracy powstała w trakcie badań reologicznych realizowanych dla firm zajmujących się projektowaniem instalacji do przetwarzania wywaru gorzelnianego. 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. Zniszczenie w przepływie ścinającym mikrostruktury CDS prowadziło do około czterokrotnego obniżenia granicy płynięcia. Na podstawie badań oscylacyjnych stwierdzono, że w płynie w stanie spoczynku powstaje mikrostruktura żelu. Mikrostruktura ta ulega zniszczeniu w ścinającym przepływie rotacyjnym, który jednocześnie przeciwdziała jej pełnej odbudowie. Informacja ma praktyczne znaczenie, gdyż oznacza, że zachowanie nawet nieznacznego przepływu wywaru gorzelnianego w instalacji może zapobiec wzrostowi jego lepkości. Odbudowę mikrostruktury zaobserwowano natomiast w przepływie oscylacyjnym. Czas odbudowy mikrostruktury silnie zależał od stężenia CDS.

Tematyką badań, którą zająłem się w ostatnim czasie są właściwości reologiczne warstw powierzchniowych cieczy. Do tej pory została opublikowana jedna praca [A9] mojego współautorstwa związana z tym tematem (następne są w przygotowaniu). W pracy [A9] przedstawiono wyniki badań reologicznych warstw powierzchniowych dla czterech piw produkowanych komercyjnie. Uzyskane w przepływie oscylacyjnym zależności międzyfazowego modułu zachowawczego G_s' i międzyfazowego modułu stratności G_s'' w funkcji czasu miały charakterystyczny przebieg dla rozcieńczonych wodnych roztworów białek. Dla wszystkich użytych w badaniach piw wartości obu modułów wzrastają, a po pewnym charakterystycznym dla danego rodzaju piwa czasie, dochodzi do ich przecięcia. Uzyskane wyniki pomiarów oscylacyjnych świadczą, że w warstwach powierzchniowych piw dochodzi do uformowania się struktury sieciowej. Bardzo długi czas formowania się tej struktury jest dowodem, że w jej tworzeniu ważną rolę odgrywają zawarte w piwach białka. Zaobserwowano także, że najbardziej stabilna piana występowała na powierzchni piwa dla którego zmierzone wartości międzyfazowych modułów G_s' i G_s'' miały największą wartość. Wyniki te wskazują, że istnieje związek między właściwościami reologicznymi warstwy powierzchniowej piwa a stabilnością piany.

6. Zestawienie ilościowe dorobku naukowego

	Rodzaj publikacji	Przed doktoratem	Po doktoracie	Razem
1.	Artykuły opublikowane w czasopismach znajdujących się w bazie Journal of Citation Reports	2	14	16
2.	Artykuły w czasopismach zagranicznych (spoza JCR)		3	3
3.	Artykuły w czasopismach krajowych (spoza JCR)	3	32	35
4.	Opublikowane materiały z konferencji zagranicznych	5	20	25
5.	Opublikowane materiały z konferencji krajowych	3	8	11
6.	Referaty wygłoszone na konferencjach międzynarodowych	1	7	8
7.	Referaty wygłoszone na konferencjach krajowych	1	10	10
8.	Monografie		3	3

Mój opublikowany dorobek naukowy (na dzień 27.05.2015) obejmuje łącznie **49** artykułów opublikowanych po uzyskaniu stopnia doktora nauk chemicznych, **20** recenzowanych artykułów naukowych w materiałach konferencji zagranicznych, **7** recenzowanych artykułów naukowych w materiałach konferencji międzynarodowych i ogólnokrajowych oraz **3** monografie i **5** skryptów. **14** artykułów naukowych zostało opublikowane w czasopismach znajdujących się w bazie Journal of Citation Reports.

Sumaryczny Impact Factor po uzyskaniu stopnia doktora liczony według roku wydania $IF_{\Sigma} = 17,192$, index Hirscha według Web of Science $H = 4$, liczba cytowań według Web of Science (bez autocytowań) **41**, sumaryczna liczba punktów $M = 476$.

Poznań, dnia 27 maja 2015

podpis

 Jacek Różański