

PIOTR MICHAŁ KORCZYK

AUTOREFERAT

OPIS DOROBKU I OSIĄGNIĘĆ NAUKOWYCH

Warszawa 2016

SPIS TREŚCI

1 ŻYCIORYS.....	3
1.1 IMIĘ I NAZWISKO.....	3
1.2 POSIADANE DYPLOMY I STOPNIE NAUKOWE.....	3
1.3 INFORMACJE O DOTYCHCZASOWYM ZATRUDNIENIU W JEDNOSTKACH NAUKOWYCH.....	3
2 OSIĄGNIĘCIE NAUKOWE.....	4
2.1 TYTUŁ OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO.....	4
2.2 LISTA PUBLIKACJI PRZEDSTAWIONYCH JAKO OSIĄGNIĘCIE NAUKOWEGO.....	4
2.3 OPIS OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO.....	4
2.3.1 Wstęp.....	4
2.3.2 Mechanizm tworzenia kropeł w złączu „T”.....	6
2.3.3 Skalowanie wielkości układów mikroprzepływowych dla optymalizacji reakcji chemicznych.....	7
2.3.4 Modyfikacje złącza „T”.....	8
2.3.5 Pułapki mikroprzepływowe.....	9
3 OMÓWIENIE POZOSTAŁYCH OSIĄGNIĘĆ NAUKOWO - BADAWCZYCH.....	10
3.1 OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA DZIAŁALNOŚCI NAUKOWEJ.....	10
3.1.1 Przed obroną doktoratu.....	10
3.1.2 Po obronie doktoratu.....	11
3.1.3 Aktywne metody tworzenia kropeł na żądanie.....	12
3.1.4 Emulsje wieloskładnikowe.....	12
3.1.5 Prędkość kropełek.....	13
3.1.6 Elektrokoalescencja.....	13
3.1.7 Oddziaływanie kropli z powierzchniami stałymi.....	14
3.2 LISTA PUBLIKACJI Z BAZY JCR W PORZĄDKU CHRONOLOGICZNYM.....	14
3.3 SUMARYCZNE DANE BIBLIOGRAFICZNE.....	16
3.4 MONOGRAFIE I ROZDZIAŁY W MONOGRAFIACH.....	17
3.5 OPUBLIKOWANE ABSTRAKTY I STRESZCZENIA KONFERENCYJNE.....	17
3.6 REFERATY WYGŁOSZONE OSOBIŚCIE NA KONFERENCJACH.....	19
3.7 PATENTY.....	20
3.8 UCZESTNICTWO W PROJEKTACH NAUKOWYCH.....	21
3.9 NAGRODY I WYRÓŻNIENIA.....	21
3.10 WSPÓLPRACA MIĘDZYNARODOWA.....	22
3.11 DZIAŁALNOŚĆ ORGANIZACYJNA.....	23
3.12 DZIAŁALNOŚĆ POPULARYZATORSKA.....	23
3.13 DZIAŁALNOŚĆ DYDAKTYCZNA.....	23
3.14 RECENZJE ARTYKUŁÓW.....	24
4 BIBLIOGRAFIA.....	24

1 ŻYCIORYS

1.1 Imię i nazwisko

Piotr Michał Korczyk

ResearcherID: [D-8820-2011](https://orcid.org/0000-0001-8820-2011)

1.2 Posiadane dyplomy i stopnie naukowe

- 2008 Doktor nauk technicznych w zakresie mechaniki
INSTYTUT PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI
POLSKIEJ AKADEMII NAUK
„Drobnoskalowa turbulencja w procesie mieszania chmury z otoczeniem – badania laboratoryjne”
promotor: prof. dr hab. Tomasz A. Kowalewski
- 2003 Magister
WYDZIAŁ FIZYKI UNIWERSYTETU WARSZAWSKIEGO
„Pole prędkości w mieszaniu turbulencyjnym chmury z otoczeniem - obserwacje laboratoryjne metodą PIV”
promotor: prof. dr hab. Szymon P. Malinowski

1.3 Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

od XII 2011	Adiunkt INSTYTUT PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI PAN
VIII 2012 - VIII 2013	Research Fellow UNIVERSITY OF SOUTH AUSTRALIA
XII 2008 - XI 2011	Adiunkt INSTYTUT CHEMII FIZYCZNEJ PAN
XI 2007 - XII 2008	Asystent i adiunkt INSTYTUT PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI PAN

2 OSIĄGNIĘCIE NAUKOWE

2.1 Tytuł osiągnięcia naukowego

Jako osiągnięcie naukowe przedstawiono jednotematyczny cykl czterech publikacji, które ukazały się w latach 2011-2015, pod tytułem:

„Mechaniczne podstawy zastosowania kropeł jako mikroreaktorów chemicznych w pasywnych układach mikroprzepływowych”

2.2 Lista publikacji przedstawionych jako osiągnięcie naukowego

- A1 **P. M. Korczyk**, O. Cybulski, S. Makulska, and P. Garstecki,
“Effects of unsteadiness of the rates of flow on the dynamics of formation of droplets in microfluidic systems,”
Lab on a Chip, vol. 11, pp. 173–175, (2011)
Impact Factor: **6.115 (Q1)**; liczba cytowań: **36**
- A2 V. van Steijn, **P. M. Korczyk**, L. Derzsi, A. R. Abate, D. A. Weitz, and P. Garstecki,
“Block-and-break generation of microdroplets with fixed volume”
Biomicrofluidics, vol. 7, no. 2, pp. 024108–024108–8, (2013)
Impact Factor: **3.357 (Q1,Q2)**, liczba cytowań: **8**
- A3 **P. M. Korczyk**, L. Derzsi, S. Jakiela, and P. Garstecki,
“Microfluidic traps for hard-wired operations on droplets”
Lab Chip, vol. 13, no. 20, pp. 4096–4102, (2013)
Impact Factor: **6.115 (Q1)**, liczba cytowań: **12**
- A4 **P. M. Korczyk**, M. Dolega, S. Jakiela, P. Jankowski, S. Makulska, P. Garstecki,
“Scaling up the Throughput of Synthesis and Extraction in Droplet Microfluidic Reactors”
Journal of Flow Chemistry, vol. 5, pp. 110–118, (2015)
Impact Factor: **1.878 (Q2)**, liczba cytowań: **0**

2.3 Opis osiągnięcia naukowego

2.3.1 WSTĘP

Przewodnim tematem moich badań w ostatnich latach i przedmiotem mojego osiągnięcia naukowego, które chcę zaproponować w ramach przewodu habilitacyjnego, są krople w pasywnych układach mikroprzepływowych. Zagadnienia związane z kroplami towarzyszyły mi przez niemal cały okres mojej kariery naukowej i zostały przedstawione w omówieniu pozostałych osiągnięć naukowych (patrz sekcja 3). Tutaj chciałbym się skupić na przedstawieniu części mojej działalności naukowej, która poświęcona była badaniom mechanizmów rządzących ruchem kropeł w układach

mikroprzepływowych a w szczególności mechanicznym aspektem oddziaływania przepływów dwufazowych w ograniczonej geometrii kanałów.

Kropla jest naturalnym, powszechnie występującym zjawiskiem, które obserwujemy głównie w małych skalach i przy relatywnie niewielkich prędkościach, gdzie napięcie powierzchniowe dominuje nad: i) siłą grawitacji (mała liczba Bondy^I - Bo), ii) oddziaływaniami lepkiemi (mała liczba kapilarna^{II} - Ca) iii) bezwładnością (mała liczba Webera^{III} - We). Dzięki temu małe objętości cieczy spontanicznie minimalizują powierzchnię, tworząc bryłę, która z uwzględnieniem wszystkich więzów jest najbardziej zbliżona do kuli. Ta właściwość sprawia, że zachowanie małych porcji cieczy jest zupełnie inne niż zachowanie cieczy w dużych skalach. Podczas gdy małe kropelki spontanicznie dążą do zachowania integralności poprzez minimalizowanie powierzchni, duże ilości cieczy dążą do minimalizacji energii potencjalnej i potrzebują pojemnika, żeby nie ulec rozlaniu się.

Kropelka stanowi więc porcję ciekłej materii, która samoistnie zachowuje swoją integralność, nie potrzebuje więc pojemnika. W układach mikroprzepływowych wielkość kropelki może być większa niż wymiary poprzeczne kanału. Wykorzystanie mechaniki tak ograniczonych geometrycznie przepływów dwufazowych otwiera nowe perspektywy dla wszelkich manipulacji na objętościach płynów. Większość protokołów w chemii analitycznej, diagnostyce medycznej czy syntezie chemicznej opiera się na operacjach na płynnych roztworach i próbkach. Przeprowadzenie analizy czy syntezy wymaga zatem wykonania szeregu często iteracyjnych operacji na objętościach płynów. Zastosowanie mikroprzepływowych technologii pozwala na wykonanie tych wszystkich operacji w niewielkich kropelkach (Basova and Foret 2014; Seemann et al. 2012; Shembekar et al. 2016). Zaletą tego podejścia jest miniaturyzacja i bardzo małe zużycie często drogich reagentów oraz możliwość wykonywania sekwencji wielu kropel, w których przeprowadzane mogą być różne reakcje i eksperymenty w dobrze odizolowanych i kontrolowanych środowiskach wewnątrz pojedynczej kropelki.

Cykl publikacji, które zaproponowałem jako osiągnięcie naukowe, poświęcony jest badaniom podstawowych operacji, jakie są potrzebne do zapewnienia prawidłowej i efektywnej pracy mikrolaboratorium takim jak: i) tworzenie kropel [A1,A2,A3,A4]^{IV}, ii) łączenie kropel [A3], iii) dzielenie kropel [A3], iv) mieszanie reagentów wewnątrz kropli [A2,A3,A4], v) przeprowadzanie

I. Liczba Bondy wyraża stosunek sił grawitacji do napięcia powierzchniowego: $Bo = \rho g l^2 / \gamma$ gdzie ρ jest gęstością cieczy, g przyspieszeniem ziemskim, l wymiarem kropli, γ napięciem powierzchniowym.

II. Liczba kapilarna jest stosunkiem lepkich naprężeń ścinających do napięcia powierzchniowego: $Ca = \mu U / \gamma$, gdzie μ to lepkość dynamiczna, U - charakterystyczna prędkość przepływu, γ - napięcie powierzchniowe.

III. Liczba Webera jest stosunkiem sił bezwładnościowych do napięcia powierzchniowego: $We = \rho U^2 l / \gamma$, gdzie ρ to gęstość cieczy, U - charakterystyczna prędkość przepływu, l - wymiar kropli, γ - napięcie powierzchniowe.

IV. Numeracja poprzedzona literą „A” odpowiada liście artykułów przedstawionych jako osiągnięcie naukowe (patrz strona 4, paragraf 2.2).

reakcji chemicznych [A4]. Ograniczyłem się tutaj tylko do publikacji opisujących operacje wykonywane „pasywnie”. Za układy pasywne powszechnie uważa się układy, w których nie używa się żadnych metod pozwalających na sterowanie przepływami poprzez zmianę ich prędkości. Wszystkie procesy zachodzące w układzie pasywnym przebiegają spontanicznie i są wynikiem oddziaływań hydrodynamicznych przy zadanych stałych przepływach i więzach wprowadzonych przez geometrię układów mikroprzepływowych. W odróżnieniu od układów pasywnych, w układach aktywnych wykorzystywane są elementy aktywne, jak na przykład elektrozawory, które pozwalają na włączanie i wyłączanie przepływów w programowalnych sekwencjach. Problematyka układów aktywnych była również przeze mnie podejmowana i jest opisana w paragrafie 3.1.3 na stronie 12.

2.3.2 MECHANIZM TWORZENIA KROPEL W ZŁĄCZU „T”

Najprostszą i powszechnie używaną geometrią mikroprzepływową pozwalającą na tworzenie kropeł jest złącze „T” (Thorsen et al. 2001). Jest to połączenie kanału głównego z kanałem bocznym pod kątem prostym, które razem tworzą charakterystyczny kształt przypominający literę „T”. Do wlotu obu kanałów wprowadza się dwie różne niemieszające się cieczce (na przykład wodę i olej). Gdy zapewniony jest stały przepływ obu cieczy, następuje spontaniczna defragmentacja jednej z faz, która tworzy ciąg kropeł poruszających się w dół kanału głównego. Ciecz, z której tworzą się krople, nazywana jest fazą kropłową, druga faza nazywana jest fazą ciągłą. Spontaniczny podział na dwie różne fazy spowodowany jest właściwościami materiałowymi. Faza ciągła dobrze zwilża ścianki kanału, podczas gdy faza kropłowa zwilża je słabo. Wyrażna różnica zwilżania dla dwóch cieczy jest warunkiem prawidłowego funkcjonowania złącza T jako generatora regularnych kropli. Uzyskuje się to poprzez odpowiednie modyfikacje powierzchni kanałów lub zmianę napięcia powierzchniowego (przy użyciu surfaktantów). Dzięki temu krople nie „przyklejają” się do ścianek i między ścianką a powierzchnią kropli tworzy się cienki film fazy zewnętrznej.

Zagadnienie tworzenia kropeł w typowym złączu T było poruszane w artykułach [A1] i [A4]. Zaletą układów mikroprzepływowych jest możliwość tworzenia długich sekwencji kropeł o bardzo niewielkim rozrzucie wielkości, co jest bardzo istotne w wielu zastosowaniach, gdzie wymagane są monodispersyjne emulsje. Wielkość kropli zależy od prędkości przepływów obu faz, ich lepkości oraz napięcia powierzchniowego (Garstecki, Stone, and Whitesides 2005; Christopher et al. 2008; Glawdel and Ren 2012). Na kroplę w układzie mikroprzepływowym wpływ mają głównie siły lepkie i napięcie powierzchniowe. W zależności od stosunku tych sił (który opisywany jest liczbą kapilarną Ca) wyróżnia się różne reżimy tworzenia kropeł, takie jak: i) „squeezing” (dla małych Ca ; wielkość kropli zależy jedynie od stosunku prędkości obu faz), ii) „dripping” (dla większych Ca ; wielkość kropli zmienia się jak Ca^{-n} gdzie $0.1 < n < 0.3$), dla jeszcze większych liczb kapilarnych obserwujemy reżim „jetting”, w którym faza kropłowa tworzy strugę penetrującą główny kanał na znacznej długości z kroplami, które odrywają się na końcu tej strugi.

Prace [A1] i [A4] koncentrują się na pewnych niezbadanych wcześniej aspektach mechanizmu tworzenia kropeł. Zrozumienie tych procesów jest niezwykle ciekawe ze względów poznawczych, jak również jest istotne ze względów praktycznych – pozwala nam na lepszą kontrolę procesów zachodzących w urządzeniach mikroprzepływowych.

W artykule [A1] przedstawiłem analizę wpływu niewielkich fluktuacji prędkości przepływów na wielkość powstających kropeł. Moja praca pokazała, że nawet niewielkie fluktuacje, w układzie pompującym ciecze mogą w istotny sposób wpływać na rozkład wielkości produkowanych kropeł. Szereg pomiarów pozwolił mi udowodnić, że źródłem oscylacji obserwowanych powszechnie w układach zasilanych pompami strzykawkowymi nie są niestabilności hydrodynamiczne. Wyprowadzona formuła, która wiąże okres fluktuacji z prędkością przepływu i powierzchnią poprzeczną tłoka pozwoliła ostatecznie powiązać oscylacje ze skokiem śruby w mechanizmie przesuwającym tłok strzykawki. Ponieważ pompy strzykawkowe są powszechnie używane do zasilania układów mikroprzepływowych w płyny, moja praca spotkała się z dość dużym zainteresowaniem ze strony środowiska, co odzwierciedlone jest w znacznej liczbie cytowań^I. Wpływ tych fluktuacji ma znaczenie praktyczne (w zastosowaniach gdzie tworzone są krople), jak również w pracach czysto badawczych. Okazuje się, że nie zawsze w badaniach nad mechanizmami tworzenia się kropeł brano było pod uwagę fluktuacje spowodowane zastosowaniem pomp i wpływ tych fluktuacji na wyniki pomiarów. Wyprowadzona przeze mnie formuła na okres oscylacji pozwala na zoptymalizowanie warunków eksperymentu i przeprowadzanie rzetelnego rachunku błędów.

2.3.3 SKALOWANIE WIELKOŚCI UKŁADÓW MIKROPRZEPŁYWOWYCH DLA OPTIMALIZACJI REAKCJI CHEMICZNYCH

W pracy [A4] zbadane zostały możliwości zastosowania układów kroplowych w wielkoskalowej syntezie chemicznej. Przeprowadzanie syntezy w kroplach jako małych, izolowanych reaktorach ma szereg zalet takich jak: i) bardzo wysoki poziom powtarzalności reakcji w każdej kropli; ii) szybkie mieszanie (rzędu milisekund); iii) powtarzalny czas przebywania kropli w kanale; iv) możliwość precyzyjnej kontroli kinetyki reakcji; v) duży stosunek powierzchni do objętości kropli. Dzięki tym zaletom, zastosowanie technik kroplowych w syntezie chemicznej, w szczególności przy reakcjach silnie egzotermicznych lub endotermicznych jest bardzo atrakcyjne (duża powierzchnia kropeł pozwala na efektywną wymianę energii wewnętrznej). Ostatecznie produkty reakcji można odseparować z powstałej emulsji na przykład przez zastosowanie elektrokoalescencji [B7]^{II}. Niestety przeszkodą w zastosowaniu reaktorów mikroprzepływowych jest ich mała wydajność. Zwiększenie tej wydajności może być osiągnięte przez użycie dużej liczby

I. 36 cytowań według Web of Science.

II. Numeracja poprzedzona literą „B” odnosi się do listy pozostałych publikacji zaliczonych do dorobku naukowego (patrz paragraf 3.2).

pojedynczych reaktorów mikroprzepływowych i łączenie ich w układach równoległych. Innym podejściem jest przeskalowanie urządzeń mikroprzepływowych do skali milimetrów. Przeskalowywanie niesie jednak ze sobą ryzyko utraty korzyści, jakie oferują nam małe skale. Celem publikacji [A4] była eksperymentalna weryfikacja możliwości przeskalowywania urządzeń mikroprzepływowych. Zbadaliśmy, jak zwiększanie rozmiarów kanałów mikroprzepływowych wpływa na: i) tworzenie kropeł, ii) mieszanie wewnątrz kropli, iii) ekstrakcję przez powierzchnię międzyfazową, iv) wydajność reakcji chemicznych.

2.3.4 MODYFIKACJE ZŁĄCZA „T”

W pracy [A2], wykonanej we współpracy z badaczami z Uniwersytetu Harvarda, zaproponowano nowatorską modyfikację klasycznego złącza „T”. Poprzednie doświadczenia zainspirowały nas do zmodyfikowania klasycznej konstrukcji w sposób, umożliwiający tworzenie kropli o rozmiarze, który nie zależy od prędkości przepływów. Stabilna praca takiego urządzenia pozwala zniwelować (opisaną wcześniej w pracy [A1]) wrażliwość na fluktuacje prędkości. Zapewnia również niezależność od sposobów zasilania układu. Główna modyfikacja polega na dodaniu dodatkowego kanału, który tworzy bajpas umożliwiający opływanie powstającej kropli przez przepływ fazy ciągłej. W klasycznym złączu „T” oddzielenie się kropli jest spowodowane napieraniem fazy ciągłej na szyjkę łączącą tworzącą się kroplę z resztą fazy ciągłej. Ostatecznie, gdy grubość szyjki spadnie poniżej pewnego krytycznego poziomu, szyjka traci stabilność i pęka. Moment ścięcia „szyjki” można opóźnić, kierując część napływającej fazy ciągłej na przepływ, który zamiast napierać na „szyjkę” będzie opływał kroplę. Taki mechanizm, w ograniczonym zakresie jest zawsze obserwowany w kanałach o przekroju kwadratowym.

Ścianki kanału są dla kropli więzami, które wraz z zasadą minimalizacji powierzchni międzyfazowej przez napięcie powierzchniowe determinują jej kształt. Kształt kropli, przy małych liczbach kapilarnych, zbliżony jest do kształtu równowagowego. Krzywizna powierzchni międzyfazowej dąży do wyrównania swej wartości na całej powierzchni. W przypadku kropli, ograniczonej ścianami kanału, krzywizna ta zdefiniowana jest przez rozmiary poprzeczne kanału. To powoduje, że kropla w kanałach o przekroju prostokątnym nie wypełnia całego przekroju kanału. Narożniki kanału nie mogą być do końca wypełnione przez kroplę, ponieważ wymagałoby to wytworzenia bardzo dużej krzywizny powierzchni. Faza ciągła może więc opływać kroplę przez „kanały” w narożnikach co skutkuje różnicą prędkości przepływu między kroplą a fazą ciągłą. Efekt ten można nawet zwiększyć przez dodanie szczelin wzdłuż kanału. Dzięki temu powstaje bajpas, którym faza ciągła może opływać kroplę. Kropla może się rozwijać, dopóki jej początek nie zrówna się z końcówką bajpasu. Wtedy faza ciągła nie może już dłużej w efektywny sposób opływać kropli i przerywa „szyjkę” łączącą kroplę z resztą fazy kroplowej. W ten sposób wielkość kropli jest uzależniona w dużej mierze od długości bajpasu.

Przy konstrukcji tego urządzenia skorzystaliśmy z podstawowych własności napięcia powierzchniowego. Dla prawidłowej pracy urządzenia konieczne było zastosowanie rozwiązania, w którym przepływ fazy kropłowej jest ściśle ograniczony, podczas gdy przepływ fazy ciągłej powinien mieć zapewnioną dużą swobodę. Rzeczywiście, kropla nie powinna wchodzić do bajpasu, ponieważ wtedy zaburzałaby efektywne opływanie jej przez fazę ciągłą. Ciecz ciągła natomiast musi mieć możliwość swobodnego przepływania do kanału kropłowego, żeby wypełniać przestrzeń pomiędzy kolejnymi kroplami. Warunki te zostały osiągnięte dzięki wykorzystaniu niskiej szczeliny, która łączy kanał, w którym tworzy się kropla oraz kanał spełniający funkcję bajpasu. Mała wysokość kanału w szczelinie nie pozwala kropli na wejście do niej, ponieważ wymagałoby to zwiększenia w tym obszarze krzywizny kropli. W sytuacji, w której rosnąca kropla może się rozwijać wzdłuż kanału o stałych rozmiarach poprzecznych, nie jest możliwe wytworzenie odpowiedniego ciśnienia, które pozwoliłoby kropli na sforsowanie szczeliny. Szczelina nie stanowi jednak przeszkody dla przepływu fazy zewnętrznej. Zmniejszenie światła kanału powoduje oczywiście zwiększenie oporu hydrodynamicznego, jednak przepływ zależy liniowo od ciśnienia, więc może występować nawet przy małych ciśnieniach, podczas gdy przy przepływie kropli przez zwężenie potrzebne jest pokonanie progu ciśnienia związanego z wytworzeniem powierzchni o promieniu krzywizny odpowiadającym przewężeniu. Idea wykorzystania geometrii do separowania przepływu kropli i fazy ciągłej została później rozwinięta przez mnie przy projektowaniu pułapek mikroprzepływowych (patrz praca [A3]).

2.3.5 PUŁAPKI MIKROPRZEPLYWOWE

W pracy [A3] przedstawiłem nowatorskie podejście do układów mikroprzepływowych oparte na kombinacjach pojedynczych modułów wykonujących określone operacje na kroplach. Ich działanie opiera się wyłącznie na wykorzystaniu zależności sił działających na kroplę od lokalnej geometrii układu.

Głównymi zasadami rządzącymi ruchem kropeł w układach mikroprzepływowych są: i) zasada zachowania masy (przepływy nieściśliwe), ii) napięcie powierzchniowe, iii) oddziaływania lepkie. Gdy geometria kanału zmienia się, wpływa to na kształt przepływającej kropli.

Jak już zostało to wspomniane wcześniej, szczeliny zostały zastosowane poprzednio w pracy [A2]. Różnica wymiarów między kanałem a szczeliną sprawia, że kropla nie może wejść do szczeliny, podczas gdy faza ciągła swobodnie przez nią przepływa.

Zastosowanie szczelin wzdłuż kanału powoduje, zwiększenie powierzchni przekroju dla przepływu fazy ciągłej, podczas gdy powierzchnia przekroju kropli pozostaje niezmienną. Powoduje to zmniejszenie gradientu ciśnienia przepływu w porównaniu do kanału bez szczelin i zmniejszenie siły jaka działa na kroplę ze strony przepływu fazy ciągłej. Jak to zostało pokazane w pracy [A3], dodatkowe szczeliny wzdłuż kanału głównego powodują znaczne zmniejszenie

prędkości kropli. Ta prosta modyfikacja pozwoliła nam na stworzenie urządzenia mikroprzepływowego, które opóźnia ruch kropli przez kanał (delay trap).

Dodatkowo, zmienne światło kanału może powodować deformacje kropli zmniejszające jej stabilność, co w konsekwencji może prowadzić do jej zatrzymywania lub pęknięcia w ściśle określonych miejscach. Zastosowanie odpowiednich zwężeń światła kanału pozwoliło nam na zbudowanie układów zatrzymujących i tnących krople (merging trap i metering trap).

Zastosowanie dodatkowych ścianek ograniczających przepływ i wypływ fazy ciągłej ze szczeliny pozwoliło na skonstruowanie pułapki, która zatrzymuje kroplę, a następnie wypuszcza ją w chwili, gdy do urządzenia wchodzi następna kropla („Lock&Shift” trap), przy czym oddziaływanie między kroplami odbywa się za pośrednictwem fazy ciągłej, bez bezpośredniego kontaktu między kroplami.

Wszystko to prowadzi do intrygujących efektów i zachowań kropeł, które są często sprzeczne z intuicją, a przez to niezwykle ciekawe z naukowego punktu widzenia.

Podsumowując, odpowiednie modyfikacje geometrii pozwoliły mi na stworzenie pułapek o różnych funkcjonalnościach, takich jak na przykład: i) odmierzanie określonej objętości kropli (metering trap); ii) zatrzymywanie kropeł o określonej długości (metering trap i merging trap); iii) łączenie kolejnych kropełek (metering trap); iv) zmiana prędkości kropli (delay trap).

Istotną zaletą mikroprzepływowych pułapek jest ich stosunkowo mała wrażliwość na parametry przepływu. Dzięki temu możliwe jest zmniejszenie liczby parametrów, które muszą być dokładnie kontrolowane w celu zapewnienia właściwej pracy systemu. Dodatkowo ogromnym atutem pułapek jest możliwość integrowania pułapek o różnych funkcjonalnościach w systemy, które mogą realizować ciągi operacji, zapewniając przy tym „cyfrową” precyzję. Przykłady takich systemów zostały zaprezentowane przez Korczyk i inni [A3]. Systemy tego typu przypominają układy elektroniczne, które również stanowią kombinacje modułów podstawowych, zorganizowanych w struktury wykonujące samoistnie algorytmy na danych wejściowych.

3 OMÓWIENIE POZOSTAŁYCH OSIĄGNIĘĆ NAUKOWO - BADAWCZYCH

3.1 Ogólna charakterystyka działalności naukowej

3.1.1 PRZED OBRONĄ DOKTORATU

Moja działalność naukowa przed doktoratem dotyczyła głównie analizy oddziaływań hydrodynamicznych w zawieszynie kropelek wody w powietrzu, która stanowiła laboratoryjny model chmury. Oddziaływanie kropelek z turbulentnym polem prędkości jest bardzo ważnym zagadnieniem ze względu na wyjaśnienie mechanizmów prowadzących do kolizji między kropelkami a w konsekwencji do tworzenia się dużych kropeł tworzących deszcz.

Szczególny charakter eksperymentów z zawieszoną kropel wymagał zastosowania i zaadaptowania nieinwazyjnych metod optycznych jak anemometria obrazowa (Particle Image Velocimetry – PIV). Na potrzeby tych badań stworzyłem własne oprogramowanie PIV dostosowane do szczególnych wymagań, jakie stawiały obserwacje badanego obiektu. Wprowadzenie nowych rozwiązań, które pozwoliły na lepsze dostosowanie techniki PIV, było między innymi możliwe dzięki współpracy z prof. Francois Luyserraunt, z Laboratoire d'Informatique pour la Mécanique et les Sciences de l'Ingénieur (LIMSI) CNRS, Paryż. W ramach tej współpracy opracowane zostały również rozwiązania pozwalające na analizę danych doświadczalnych (między innymi zastosowanie takich metod jak POD - Proper Orthogonal Decomposition, SVD - Singular Value Decomposition). Wyniki mojej działalności w tym zakresie zostały opublikowane w trzech artykułach z listy JCR, przy czym dwie prace ukazały się przed obroną doktoratu [B1,B3] a jedna po obronie [B4]. Ponadto wyniki były również prezentowane w referatach konferencyjnych [C1-C5,C7,C8,C10,C11].

3.1.2 PO OBRONIE DOKTORATU

Po obronie doktoratu większość mojej działalności naukowej dotyczyła mikroprzepływów. Zmiana dotychczasowej tematyki była efektem podjęcia pracy w grupie prof. Piotra Garsteckiego z Instytutu Chemii Fizycznej PAN, gdzie zaraz po otrzymaniu tytułu doktora zacząłem trzyletni staż podoktorski. Z tematyką mikroprzepływów zetknąłem się jeszcze przed obroną doktoratu, gdzie byłem zaangażowany w pracę przy projekcie pt. „*CONEX - emulsion with nanoparticles for new materials*” w ramach międzynarodowego programu Ministerstwa Nauki Austrii, wspierającego nowe metody produkcji nanokompozytów [B2,C6,C9]. Podczas odbywania stażu w IChF PAN byłem stypendystą Fundacji na rzecz Nauki Polskiej (FNP) i wchodziłem w skład zespołu powołanego w ramach programu TEAM i finansowanego ze środków FNP. W trakcie stażu

podoktorskiego w IChF PAN brałem udział w projektach, które dotyczyły rozwijania technik kontrolowania mikroprzepływów kroplowych, jak również w badaniach nad fizycznymi aspektami mechanizmów występujących przy przepływach kropeł w ograniczonych geometriach układów mikroprzepływowych.

Po zakończeniu trzyletniego stażu w IChF PAN powróciłem do IPPT PAN, skąd po kilku miesiącach udałem się na roczny staż do Uniwersytetu Południowej Australii w Adelajdzie. Staż ten odbywał się w ramach dwuletniego, międzynarodowego projektu badawczego pt. „*Elucidating the mechanism of lubrication for sliding droplets: hydrodynamics, surface forces, and role of surfactants and polymers*”, w którym byłem głównym wykonawcą. Na czas wykonywania tego projektu otrzymałem stypendium naukowe finansowane przez Komisję Europejską w ramach programu Marie-Curie Action (International Outgoing Fellowship). Projekt ten łączył się tematycznie z poprzednio uprawianą przez mnie tematyką mikroprzepływów, jednak głównym celem projektu było badanie oddziaływań kropli z powierzchniami ciał stałych i wpływu tych oddziaływań na przepływ kropeł w układach mikroprzepływowych.

Poniżej zamieszczam opisy głównych tematów badań, w jakie zaangażowany byłem w czasie mojej pracy naukowej po doktoracie (bez tematów zaliczonych do zgłoszonego osiągnięcia naukowego, które były opisane wcześniej, patrz paragraf 2.3 str. 4).

3.1.3 AKTYWNE METODY TWORZENIA KROPEL NA ŻĄDANIE

Cykl publikacji [B4,B6,B13] dotyczył wykorzystania aktywnych metod do tworzenia kropeł na żądanie (droplet on demand). W tym celu wykorzystane zostały zawory elektromagnetyczne sterowane przy pomocy oprogramowania komputerowego. Dzięki temu możliwe jest zaprogramowane tworzenie dowolnej sekwencji kropeł o zadanym rozkładzie wielkości. Kontrolowane łączenie tak wytworzonych kropeł zawierających różne reagenty pozwala na otrzymywanie kropeł o zmiennym, zadanym stężeniu tych reagentów. Podejście to pozwala na przeprowadzenie dużej liczby kombinatorycznych reakcji (Churski et al. 2012). Z racji tego ma to duży potencjał w analityce chemicznej, biologicznej i medycznej. Oprócz publikacji owocem prac są trzy zgłoszenia patentowe, w tym jeden przyznany patent przez United States Patent and Trademark Office (patrz – lista patentów str. 20).

3.1.4 EMULSJE WIELOSŁADNIKOWE

Cykl publikacji [B9,B14] dotyczył tworzenia złożonych emulsji w przypadku występowania dwóch niemieszających się faz kroplowych. Wykorzystanie poprzednio opracowanych technik „kropli na żądanie” pozwoliło na kontrolowaną konstrukcję wielokrotnych kropeł o różnorodnych morfologiach. Morfologia takich kropeł zależy od napięć powierzchniowych między wszystkimi fazami i stosunku objętości obu faz kroplowych. Badania pozwoliły nam na zbadanie kropeł podwójnych o różnorodnych morfologiach i przetestowanie modelu teoretycznego. Zastosowanie

technik precyzyjnego manipulowania kroplami umożliwiło tworzenie kropeł składających się z dowolnie długich łańcuchów składających się z naprzemiennie połączonych kropeł dwóch niemieszających się faz kropłowych. Automatyczna kontrola nad procesem tworzenia się takich kropeł oraz obliczenia teoretyczne pozwoliły nam na tworzenie kropeł składających się z wielokrotnych soczewkowatych segmentów [B9]. W zależności od właściwości materiałowych możliwe jest również kontrolowane tworzenie trójwymiarowych struktur zbudowanych z kropeł jednego typu zamkniętych w otoczce z innej fazy kropłowej [B14]. Opisane powyżej techniki mogą mieć zastosowanie w projektowaniu nowych materiałów, przy produkcji mikrosoczewek, produkcji emulsji o złożonych właściwościach mechanicznych czy tworzeniu mikrokapsułek do uwalniania leków.

3.1.5 PRĘDKOŚĆ KROPELEK

Cykl publikacji [B5,B8] dotyczył intrygującego problemu prędkości kropli poruszającej się przez kanał prostokątny. Jeśli w kanale umieścimy długą kroplę, tzn. taką, której długość jest większa od wymiarów poprzecznych kanału¹, to taka kropla będzie się poruszała wraz z przepływem otaczającej ją cieczy. Jednak kropla, która nie zwilża ścian kanału, nie może być traktowana jak szczelny tłok, ponieważ nie może ona wypełnić narożników kanału. Rzeczywiście, krzywizna w narożnikach rosłaby do nieskończoności, co prowadziłoby do powstania ogromnych różnic ciśnienia na powierzchni kropli. Ciecz ciągła może zatem opływać kroplę przez narożniki i w efekcie prędkość obu cieczy będzie inna. Co ciekawe, znany jest fakt, że nierówność prędkości występuje również w okrągłych kapilarach o przekroju kołowym, gdzie, wydawałoby się, kropla może wypełnić idealnie cały przekrój kanału (Bretherton 1961). Jednak w tym przypadku między kroplą a ścianką tworzy się warstwa fazy ciągłej, której grubość zależna jest od prędkości. W przypadku kanałów prostokątnych, w których występuje przepływ przez narożniki, złożone oddziaływania pomiędzy przepływami fazy ciągłej i kropli prowadzą do nietrywialnych zależności prędkości kropli od takich parametrów jak: długość kropli, lepkości obu cieczy, napięcie powierzchniowe.

Kanały prostokątne są często stosowane w różnorodnych urządzeniach przepływowych. Ponadto mogą być one traktowane jako uproszczony model substancji porowatej (prostokąt lepiej odpowiada nieregularnej strukturze porów niż przekrój kołowy). Badania mechanizmów wpływających na prędkości kropeł jest więc bardzo ważnym zagadnieniem zarówno z naukowego, jak również z czysto technicznego punktu widzenia.

Szczególnie intrygująca wydaje się możliwość wykorzystania prędkości kropli jako sygnału pomiarowego, dzięki któremu można oszacować właściwości reologiczne kropli i ostatecznie

I. Wydłużenie jest spowodowane ograniczeniem geometrycznym wywołanym obecnością ścianek kanału, które „ściskają” dużą objętość fazy kropłowej. Kropla, żeby się zmieścić w kanale, wydłuża się wzdłuż kanału.

wykryć reakcje, jak na przykład reakcję aglutynacji krwi w testach serologicznych (Makulska, Jakiela, and Garstecki 2013).

3.1.6 ELEKTROKOALESCENCJA

W pracy [B7] badany był efekt elektrokoalescencji kropeł złożonych z wodnego roztworu soli. Przeprowadzone przez nas badania pokazały, że efekt polaryzacji jonowej na powierzchni międzyfazowej (olej – woda), który jest odpowiedzialny za koalescencję kropeł, zależy od częstotliwości oscylacji pola elektrycznego. Powyżej pewnej krytycznej częstotliwości koalescencja nagle zanika. Poniżej tej krytycznej częstotliwości wydajność koalescencji jest rosnącą funkcją zarówno częstotliwości, jak również amplitudy pola elektrycznego.

W ramach pracy wykonany został szereg eksperymentów, w których zmieniane były najważniejsze parametry jak amplituda i częstotliwość pola elektrycznego oraz stężenie soli. Zastosowanie układu mikroprzepływowego z płytkim kanałem pozwoliło na ograniczenie stopni swobody do dwóch wymiarów. Umożliwiło to obserwacje kropli rozłożonych na płaszczyźnie, co znacznie uprościło analizę dynamiki badanego procesu. Specjalnie skonstruowany program komputerowy był w stanie analizować krople widoczne na zdjęciach poklatkowych wykonanych w czasie koalescencji. Jakościowe ujęcie wydajności tego procesu zostało uzyskane przez zliczanie przez program komputerowy aktualnej liczby pojedynczych kropeł. Wraz z postępującą koalescencją liczba ta spadała do osiągnięcia pewnego stałego poziomu. Badania te dostarczają niezwykle ważnych wskazówek pozwalających na optymalizację elektrokoalescencji zarówno w układach mikroprzepływowych, jak również w wielkoskalowych separatorach elektrokoalescencyjnych. Separacja faz jest w przypadku układów mikroprzepływowych konieczna w przypadku przeprowadzania syntezy chemicznej w wielu kroplach, co wcześniej zostało opisane w osiągnięciu naukowym (patrz sekcja 2.3.3 str. 7). Separacja faz przy użyciu elektrokoalescencji jest również na skalę przemysłową używana w przemyśle wydobywczym (Eow and Ghadiri 2002).

3.1.7 ODDZIAŁYWANIE KROPLI Z POWIERZCHNIAMI STAŁYMI

Emulsje złożone z kropeł oleju zawieszonych w fazie wodnej reprezentują znaczną liczbę naturalnych materiałów i produktów przemysłowych. Właściwości tych układów koloidalnych zależą od wielu fizykochemicznych czynników takich jak: stosunek objętości obu faz, ich lepkości, wielkość kropeł, obecność substancji powierzchniowo czynnych (polimery, surfaktanty), kwasowość, siła jonowa. Poprzez manipulowanie tymi czynnikami możliwe jest dostosowanie właściwości emulsji do konkretnych zastosowań. Jednym z takich zastosowań jest flotacja, która polega na zbieraniu cząstek cennych minerałów przy pomocy kropełek lub pęcherzyków powietrza. Dzięki temu cząstki minerałów unoszone są na powierzchnię zawiesiny, skąd mogą być zebrane. Wydajność tego procesu zależy od oddziaływania kropełek z powierzchniami cząstek. Cząstki, do których przykleją się kropełki, zostają uniesione ku górze przez siły wyporu. Modyfikacja

właściwości powierzchni cząstek stałych i optymalizacja pod kątem flotacji może być osiągnięta poprzez wykorzystanie adsorpcji warstwy polimeru.

Zagadnienie to było badane w pracy [B15] na przypadku wpływu adsorpcji polimeru (karboksymetyloceluloza) na powierzchni molibdenitu.

3.2 Lista publikacji z bazy JCR w porządku chronologicznym

(bez 4 publikacji zaliczonych do osiągnięcia naukowego – patrz lista A paragraf 2.2)

Prace przed obroną doktoratu (3 prace):

- B1 P. Korczyk, S. Malinowski, and T. Kowalewski
“Mixing of cloud and clear air in centimeter scales observed in laboratory by means of Particle Image Velocimetry”
Atmospheric Research, vol. 82, pp. 173–182, (2006)
Impact Factor: **2.844 (Q2)**; liczba cytowań: **12**
- B2 S. Blonski, P. Korczyk, and T. Kowalewski
“Analysis of turbulence in a micro-channel emulsifier”
International Journal of Thermal Sciences, vol. 46, pp. 1126–1141, (2007)
Impact Factor: **2.629 (Q1)**; liczba cytowań: **10**
- B3 S. P. Malinowski, M. Andrejczuk, W. W. Grabowski, P. Korczyk, T. A. Kowalewski, and P. K. Smolarkiewicz
“Laboratory and modeling studies of cloud–clear air interfacial mixing: anisotropy of small-scale turbulence due to evaporative cooling”
New Journal of Physics, vol. 10, p. 075020, (2008)
Impact Factor: **3.558 (Q1)**; liczba cytowań: **13**

Prace po obronie doktoratu (12 prac niewymienionych w liście A):

- B4 K. Churski, P. Korczyk, and P. Garstecki
“High-throughput automated droplet microfluidic system for screening of reaction conditions”
Lab on a Chip, vol. 10, p. 816, (2010)
Impact Factor: **6.115 (Q1)**; liczba cytowań: **47**
- B5 S. Jakiela, S. Makulska, P. M. Korczyk, and P. Garstecki
“Speed of flow of individual droplets in microfluidic channels as a function of the capillary number, volume of droplets and contrast of viscosities”
Lab Chip, vol. 11, no. 21, pp. 3603–3608, (2011)
Impact Factor: **6.115 (Q1)**; liczba cytowań: **19**
- B6 J. Guzowski, P. M. Korczyk, S. Jakiela, and P. Garstecki
“Automated high-throughput generation of droplets”
Lab Chip, vol. 11, no. 21, pp. 3593–3595, (2011)
Impact Factor: **6.115 (Q1)**; liczba cytowań: **14**

- B7 T. Szymborski, **P. M. Korczyk**, R. Holyst, and P. Garstecki
“Ionic polarization of liquid-liquid interfaces; dynamic control of the rate of electro-coalescence”
Applied Physics Letters, vol. 99, p. 094101, (2011)
Impact Factor: **3.302 (Q1)**; liczba cytowań: **5**
- B8 S. Jakiela, **P. M. Korczyk**, S. Makulska, O. Cybulski, and P. Garstecki
“Discontinuous Transition in a Laminar Fluid Flow: A Change of Flow Topology inside a Droplet Moving in a Micron-Size Channel”
Phys. Rev. Lett., vol. 108, no. 13, p. 134501, (2012)
Impact Factor: **7.512 (Q1)**; liczba cytowań: **11**
- B9 J. Guzowski, **P. M. Korczyk**, S. Jakiela, and P. Garstecki
“The structure and stability of multiple micro-droplets”
Soft Matter, vol. 8, no. 27, pp. 3269–3278, (2012)
Impact Factor: **4.029 (Q1,Q2)**; liczba cytowań: **30**
- B10 **P. M. Korczyk**, T. A. Kowalewski, and S. P. Malinowski
“Turbulent mixing of clouds with the environment: Small scale two phase evaporating flow investigated in a laboratory by particle image velocimetry”
Physica D: Nonlinear Phenomena, vol. 241, no. 3, pp. 288–296, (2012)
Impact Factor: **1.636 (Q1,Q2)**; liczba cytowań: **4**
- B11 M. Sikora, D. Adam, **P. M. Korczyk**, A. Prodi-Schwab, P. Szymczak, and M. Cieplak,
“Geometrical and Electrical Properties of Indium Tin Oxide Clusters in Ink Dispersions”
Langmuir, vol. 28, no. 2, pp. 1523–1530, (2012)
Impact Factor: **4.457 (Q1)**; liczba cytowań: **2**
- B12 J. Wegrzyn, A. Samborski, L. Reissig, **P. M. Korczyk**, S. Blonski, and P. Garstecki
“Microfluidic architectures for efficient generation of chemistry gradations in droplets”
Microfluidics and Nanofluidics, vol. 14, no. 1–2, pp. 235–245, (2013)
Impact Factor: **2.528 (Q1,Q2)**; liczba cytowań: **6**
- B13 K. Churski, M. Nowacki, **P. M. Korczyk**, and P. Garstecki
“Simple modular systems for generation of droplets on demand”
Lab Chip, vol. 13, no. 18, pp. 3689–3697, (2013)
Impact Factor: **6.115 (Q1)**; liczba cytowań: **8**
- B14 J. Guzowski, S. Jakiela, **P. M. Korczyk**, and P. Garstecki
“Custom tailoring multiple droplets one-by-one”
Lab Chip, vol. 13, no. 22, pp. 4308–4311, (2013)
Impact Factor: **6.115 (Q1)**; liczba cytowań: **3**
- B15 M. Kor, **P. M. Korczyk**, J. Addai-Mensah, M. Krasowska, and D. A. Beattie
“Carboxymethylcellulose Adsorption on Molybdenite: The Effect of Electrolyte Composition on Adsorption, Bubble–Surface Collisions, and Flotation”
Langmuir, vol. 30, no. 40, pp. 11975–11984, (2014)
Impact Factor: **4.457 (Q1)**; liczba cytowań: **1**

3.3 Sumaryczne Dane bibliograficzne

- Liczba wszystkich publikacji z listy JCR 19 (przy czym 3 prace zostały opublikowane przed doktoratem; 16 prac po doktoracie)
 - Sumaryczny impact factor: 85 (impact factor pism z 2014 roku według JCR);
 - Liczba wszystkich cytowań: 241,
 - Liczba cytowań bez samocytowań: 216,
 - Indeks Hirscha: 10
- ResearcherID: [D-8820-2011](https://orcid.org/0000-0001-8820-2011)

3.4 Monografie i rozdziały w monografiach

(Tylko przed obroną doktoratu)

- **Korczyk P.**, *Drobnoskalowa turbulencja w procesie mieszania chmury z otoczeniem – model laboratoryjny*, IPPT Reports, 4, pp.1-131, 2008
- Kowalewski T.A., Błoński S., **Korczyk P.**, *Wybrane zagadnienia przepływu płynów i wymiany ciepła*, rozdział: *Eksperymentalna analiza przepływów w skali mikro i nano*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej (Warszawa), Suchecki W. (Eds.), pp.127-149, 2008

3.5 Opublikowane abstrakty i streszczenia konferencyjne

Przed obroną doktoratu:

- C1 S. P. Malinowski, **P. Korczyk**, T. A. Kowalewski, and A. Jaczewski: "Mixing of cloud and clear air in centimeter scales observed in laboratory by means of particle image velocimetry.," in *EGS-AGU-EUG JOINT ASSEMBLY*, Nicea, Francja, 2003, vol. 1, p. 11142, 2003
- C2 **P. Korczyk**, S. P. Malinowski, T. A. Kowalewski, and A. Jaczewski, "Particle image velocimetry of droplets in turbulent cloud.," *EGS-AGU-EUG JOINT ASSEMBLY*, Nicea, Francja, 2003, vol. 1, p. 11054, 2003
- C3 **P.M. Korczyk**, Sz.P. Malinowski, T.A. Kowalewski: "Particle image velocimetry of cloud droplets in the process of turbulent mixing", *14TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON CLOUDS AND PRECIPITATION*, Proceedings – Volume 1, Bologna, Italy 19-23 July 2004
- C4 **P. M. Korczyk**, S. P. Malinowski, and T. A. Kowalewski, "Particle Image Velocimetry (PIV) for Cloud Droplets–Laboratory Investigations," *21ST INTERNATIONAL CONGRESS OF THEORETICAL AND APPLIED MECHANICS*, Warsaw, August 2004, Abstracts Book and CD-ROM Proceedings, pp. 15–21, 2004

- C5 Sz.P. Malinowski, **P.M. Korczyk**, T.A. Kowalewski: "Mixing of cloud and clear air in centimeter scales observed in laboratory by means of particle image velocimetry", *14TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON CLOUDS AND PRECIPITATION*, Proceedings – Volume 3, Bologna, Italy 19-23 July **2004**
- C6 Kowalewski T.A., Błoński S., **Korczyk P.**: "Turbulent flow in a micro channel", *ASME 4TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON NANOCHANNELS, MICROCHANNELS AND MINICHANNELS*, June 2006, Limerick, CD-ROM Proceedings ISBN 0-7918-3778-5, 96090, pp. 1-8, **2006**
- C7 **Korczyk P.**, Kowalewski T.A., Malinowski S.P.: "Investigations of turbulence statistics in the laboratory model of an atmospheric cloud", *12TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FLOW VISUALIZATION*, CD ROM Proceedings ISBN 0-9533991-8-4, pp. 134.1-10, Goettingen, Optimage Ltd, **2006**
- C8 **P. M. Korczyk**, F. Lusseyran, T. A. Kowalewski, Sz. P. Malinowski: „Investigations of turbulence statistics in the laboratory model of an atmospheric cloud”, *EFMC6 KTH - EUROMECH FLUID MECHANICS CONFERENCE 6*, Royal Institute of Technology Sztokholm, 2006, Abstracts Volume 1 p.25, **2006**
- C9 T.A. Kowalewska, S. Błoński, **P. Korczyk**: „Turbulent flow investigations in a micro-channel”, *EFMC6 KTH - EUROMECH FLUID MECHANICS CONFERENCE 6*, Royal Institute of Technology, Sztokholm, 2006, Abstracts Volume 1 p.301, **2006**

Po obronie doktoratu:

- C10 Malinowski Sz., **Korczyk P.**, Kowalewski T.A.: „Turbulent mixing of cloud with the environment: small scales of two-phase evaporating flow seen by particle imaging velocimetry”, *PROCEEDINGS OF EUROMECH COLLOQUIUM 512*, TORINO, ITALY, pp.75-78, **2009**
- C11 Malinowski S.P., Górka A., Kowalewski T.A., **Korczyk P.**, Błoński S., Kumala W.: „small-scale mixing at cloud top observed in a laboratory cloud chamber - preliminary results”, proceedings of *13TH AMS CONFERENCE ON CLOUD PHYSICS*, Portland, Oregon, USA, vol.P1.22, pp.1-4, **2010**
- C12 Sławomir Jakiela, **Piotr M. Korczyk**, Sylwia Makulska and Piotr Garstecki: ‘Speed of droplets in microfluidic channels’, *15TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON MINIATURIZED SYSTEMS FOR CHEMISTRY AND LIFE SCIENCES*, 2011, Seattle, Washington, USA, preprints: 671-673, **2011**
- C13 Jan Guzowski, **Piotr M. Korczyk**, Sławomir Jakiela and Piotr Garstecki: ‘On-demand techniques for high-throughput generation of emulsions and for design of multiple droplets’, *15TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON MINIATURIZED SYSTEMS FOR CHEMISTRY AND LIFE SCIENCES*, 2011, Seattle, Washington, USA, preprints: 663-665, **2011**
- C14 J. Guzowski, **P. Korczyk**, S. Jakiela, P. Garstecki, and others, “Generation and self-assembly of multiple droplets inside microchannels,” in *APS MEETING*, San Diego, Abstracts, vol. 1, p. 21007, **2012**

- C15 **Korczyk P.M.**, Jakiela S., Derzsi L., Garstecki P., „Microfluidic traps for precise operations on droplets”, *III NATIONAL CONFERENCE OF NANO AND MICROMECHANICS*, WARSAW, Book of Abstracts, p.139, **2012**
- C16 **Korczyk P.M.**: „Microfluidic traps - a new tool for precise manipulation on small droplets”, *4TH NATIONAL CONFERENCE ON NANO- AND MICROMECHANICS*, Wrocław, Polska, 2014, Book of Abstracts, pp.21-22, **2014**
- C17 **Korczyk P.M.**, Van Steijn V., Błoński S., Kowalewski T.A., Garstecki P.: „Mechanism of generation of droplets in a T-junction for low capillary numbers”, *XXI FLUID MECHANICS CONFERENCE*, Kraków, Polska, 2014, Book of Abstracts, pp.117-117, **2014**

3.6 Referaty wygłoszone osobiście na konferencjach

Przed obroną doktoratu:

- D1 **P. Korczyk**, S. P. Malinowski, T. A. Kowalewski, and A. Jaczewski, “Particle image velocimetry of droplets in turbulent cloud.” *EGS-AGU-EUG Joint Assembly*, Nicea, Francja, **2003**
- D2 **P.M. Korczyk**, Sz.P. Malinowski, T.A. Kowalewski: “Particle image velocimetry of cloud droplets in the process of turbulent mixing”, *14TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON CLOUDS AND PRECIPITATION*, Bologna, Italy, **2004**
- D3 **P. M. Korczyk**, S. P. Malinowski, and T. A. Kowalewski, “Particle Image Velocimetry (PIV) for Cloud Droplets–Laboratory Investigations,” *21ST INTERNATIONAL CONGRESS OF THEORETICAL AND APPLIED MECHANICS*, Warszawa, Polska, **2004**
- D4 **P. M. Korczyk**, F. Lusseyran, T. A. Kowalewski , Sz. P. Malinowski: „Investigations of turbulence statistics in the laboratory model of an atmospheric cloud”, *EUROMECH FLUID MECHANICS CONFERENCE 6*, Sztokholm, Szwecja, **2006**
- D5 **Piotr Korczyk**, Szymon P. Malinowski, Tomasz A. Kowalewski: „Wpływ kropelek chmurowych na drobnoskalową turbulencję — model laboratoryjny” *I KONGRES MECHANIKI POLSKIEJ*, Warszawa Polska, **2007**
- D6 **Korczyk P.**, Kowalewski T.A., Malinowski S.P.: “Evidence of anisotropy of small scale turbulence in the laboratory model of an atmospheric cloud”, *XXII INTERNATIONAL CONGRESS OF THEORETICAL AND APPLIED MECHANICS*, Adelajda, Australia, **2008**
- D7 **Piotr Korczyk**, Tomasz Kowalewski, Szymon Malinowski: „IMPACT OF CLOUD DROPLETS ON SMALL SCALE TURBULENCE – LABORATORY MODEL”, *XVIII KRAJOWA KONFERENCJA MECHANIKI PŁYNÓW*, Jastrzębia Góra, Polska, **2008**

Po obronie doktoratu:

- D8 **P. M. Korczyk**, M. Pyzalska, S. Makulska, P. Garstecki: „Up-scaling microfluidics”, *XIX KRAJOWA KONFERENCJA MECHANIKI PŁYNÓW* – Poznań, Polska, **2010**
- D9 **Korczyk P.M.**, Jakiela S., Derzsi L., Garstecki P., „Microfluidic traps for precise operations on droplets”, *III NATIONAL CONFERENCE OF NANO AND MICROMECHANICS*, Warszawa, Polska, **2012**
- D10 **Korczyk Piotr**, Marine Jacquet, Mihail Popescu, Marta Krasowska, David A. Beattie: “Droplet - Surface Interactions in the Absence and Presence of Adsorbed Polymer Layers” *THE SIXTH BIENNIAL AUSTRALIAN COLLOID AND INTERFACE SYMPOSIUM*, Noosa, Australia, **2013**
- D11 **P. Korczyk**: „Experiments in droplet microfluidics”, *SYMPOSIUM EXPERIMENTS IN FLUID MECHANICS - EFM 2013*, Warszawa, Polska, **2013**
- D12 **Korczyk P.M.**: „Microfluidic traps - a new tool for precise manipulation on small droplets” *BOOK OF ABSTRACTS, 4TH NATIONAL CONFERENCE ON NANO- AND MICROMECHANICS*, Wrocław, Polska, **2014 (wykład zaproszony)**
- D13 **Korczyk P.M.**, Van Steijn V., Błoński S., Kowalewski T.A., Garstecki P.: „Mechanism of generation of droplets in a T-junction for low capillary numbers”, *BOOK OF ABSTRACTS, XXI FLUID MECHANICS CONFERENCE*, Kraków, Polska, **2014**

3.7 Patenty

(Tylko po doktoracie)

Przyznane patenty:

- Churski Krzysztof, Garstecki Piotr, Izydorczak Marcin, Jakiela Sławomir, Kaminski Tomasz, **Korczyk Piotr**, Makulska Sylwia: "System and method for automated generation and handling of liquid mixtures ", United States Patent and Trademark Office, nr US 9,132,396, **2015**.
- J. Guzowski, **P. Korczyk**, S. Jakiela, and P. Garstecki, „Urządzenie i sposób do wysokoprzepustowego tworzenia i łączenia kropli na żądanie”, Urząd Patentowy RP PAT.221042, **2015**.

Zgłoszenia:

- K. Churski, **P. Korczyk**, and P. Garstecki, “Method and the system for producing of a drop on request in the microflow system, and for producing of the drop sequences with the arbitrary set combinations of the input solution concentrations,” P.390251, zgłoszenie w **2010**.
- **P. Korczyk**, L. Derzsi, T. Kaminski, S. Jakiela, and P. Garstecki, “Microfluidic device for performing operations on microdroplets,” PCT/EP2013/058644, zgłoszenie w **2011**.

3.8 Uczestnictwo w projektach naukowych

Po obronie doktoratu:

- 2015 - Kierownik projektu: *The study of hydrodynamic interactions of droplets in complex microfluidic structures. The analysis of algorithms encoded in the architecture of microchannels enabling dosing of the reactants with arbitrary precision.*
Grant finansowany przez Narodowe Centrum Nauki w ramach programu Sonata Bis 4 (2014/14/E/ST8/00578), 2015–2018.
- 2012 - 2014 Główny wykonawca międzynarodowego projektu: *Elucidating the mechanism of lubrication for sliding droplets: hydrodynamics, surface forces, and role of surfactants and polymers*, finansowany przez Komisję UE w ramach Marie-Curie Action (PIOF-GA-2011-302803).
W ramach projektu odbyłem jednoroczny staż podoktorski w grupie prof. David'a Beattie w Uniwersytecie Południowej Australii. Drugi etap projektu realizowany był w IPPT PAN.
- 2008 - 2011 Uczestnictwo w projekcie *Droplet microfluidics: fundamentals and applications* prowadzonym w IChF PAN w ramach programu TEAM Fundacji na rzecz Nauki Polskiej
3-letni staż podoktorski w grupie prof. Piotra Garsteckiego

Przed obroną doktoratu:

- 2007-2008 Główny wykonawca grantu promotorskiego KBN Nr. 2870/T02/2007/32 pt. „*Wpływ kropelek chmurowych na drobnoskalową turbulencję – model laboratoryjny*”.
- 2005 Uczestnictwo w projekcie „*Conex -emulsion with nanoparticles for new materials*” w ramach międzynarodowego programu Ministerstwa Nauki Austrii wspierającego nowe metody produkcji nanokompozytów.
- 2003-2006 Główny wykonawca w grantzie KBN Nr 5T07A05224 pt.: „*Analiza oddziaływań hydrodynamicznych w strukturze chmurowej*”.

3.9 Nagrody i wyróżnienia

- Nagroda II stopnia IPPT PAN za osiągnięcia naukowe w 2014 roku
- Wyróżnienia IPPT PAN za osiągnięcia naukowe w latach 2008, 2012, 2013

- Zaproszony wykład na konferencję: 4TH NATIONAL CONFERENCE ON NANO- AND MICROMECHANICS, Wrocław, Polska, 2014.
- 2012-2015 – stypendium naukowe Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego dla wybitnych młodych naukowców
- 2012-2014 – stypendium naukowe Komisji Europejskiej w ramach Marie-Curie Action (International Outgoing Fellowship) na sfinansowanie dwuletniego projektu badawczego: *Elucidating the mechanism of lubrication for sliding droplets: hydrodynamics, surface forces, and role of surfactants and polymers*, w tym rocznego stażu w Uniwersytecie Południowej Australii
- Wyróżnienie w konkursie na najlepszą pracę opublikowaną w IChF PAN w 2012 r. - J. Guzowski, P. M. Korczyk, S. Jakiela, P. Garstecki, *The structure and stability of multiple micro-droplets*. *Soft Matter*, 2012, 8, 7269
- I nagroda w konkursie na najlepszą pracę opublikowaną w IChF PAN w 2011 r. - S. Jakiela, S. Makulska, P.M. Korczyk, P. Garstecki, *Speed of flow of individual droplets in microfluidic channels as a function of the capillary number, volume of droplets and contrast of viscosities*, *Lab on a Chip*, 2011, 11, 3603-3608
- 2008 – stypendium dla młodych naukowców Fundacji na rzecz Nauki Polskiej w ramach projektu *Droplet microfluidics: fundamentals and applications* prowadzonego w IChF PAN
- 2008 – stypendium Fundacji na Rzecz Nauki Polskiej na dofinansowanie uczestnictwa w konferencji ICTAM, Adelajda, Australia, 2008.
- 2002-2003 - stypendium naukowe na Wydziale Fizyki UW

3.10 Współpraca międzynarodowa

Przed obroną doktoratu:

- Prof. Francois Luyserraunt, Laboratoire d'Informatique pour la Mécanique et les Sciences de l'Ingénieur (LIMSI) CNRS, Paryż; współpraca nad rozwijaniem optycznych metod eksperymentalnych w mechanice płynów (Stereo-PIV) i zastosowania metod analizy danych doświadczalnych (POD, SVD). W ramach współpracy odbyłem kilkutygodniowe wizyty w LIMSI w latach 2004-2006.

Po obronie doktoratu:

- Prof. David Beattie, Uniwersytet Południowej Australii. Współpraca w ramach projektu: *Elucidating the mechanism of lubrication for sliding droplets: hydrodynamics, surface forces, and role of surfactants and polymers* finansowanego przez Komisję UE w ramach

Marie-Curie Action. W czasie projektu odbyłem roczny staż podoktorski w grupie prof. Beattie (VIII 2012 – VII 2013).

- Dr Volkert van Steijn, Harvard University (do 2011), Delft University of Technology. Współpraca w ramach projektu *Block-and-break generation of microdroplets with fixed volume* (2011-2013). Bieżąca współpraca w ramach badań nad mechanizmami tworzenia kropeł w złączach T.
- Prof. An-Bang Wang, Institute of Applied Mechanics, National Taiwan University; projekt międzynarodowy: The mechanism and control of bubble/droplet formation in microchannels (NSC 101-2911-I-002-521). Tygodniowy pobyt w National Taiwan University, grudzień 2013.

3.11 Działalność organizacyjna

- 2003/2004 rok – praca w roli wolontariusza przy organizacji konferencji: **XXI International Congress of Theoretical and Applied Mechanics**, 2004, Warszawa.
- 2012 rok – członek Lokalnego Komitetu Organizacyjnego **III Krajowej Konferencji Nano i Mikromechaniki**, 2012 Warszawa.

3.12 Działalność popularyzatorska

- Festiwal Nauki (IX 2014) – opracowanie i poprowadzenie lekcji dla młodzieży gimnazjalnej: „*Od kropelki do mikro-laboratorium*”.
- Piknik Naukowy Polskiego Radia i Centrum Nauki Kopernik 2014 – prowadzenie pokazów popularnonaukowych w ramach warsztatów edukacyjnych pt. „*Podglądamy wodny mikroświat*”

3.13 Działalność dydaktyczna

Ponieważ w czasie mojej kariery zawodowej zatrudniony byłem w instytutach Polskiej Akademii Nauk (IPPT, IChF), gdzie dydaktyka jest prowadzona w bardzo ograniczonym zakresie, nie miałem możliwości prowadzenia regularnych zajęć dla studentów. W pracy nad projektami kierowałem jednak zespołami składającymi się ze studentów i doktorantów, gdzie byłem zaangażowany w szkolenie studentów i nadzór nad ich pracą. Prowadziłem również praktyki studenckie.

3.14 Recenzje artykułów

Recenzowałem prace w następujących pismach z listy JCR:

- Analyst (Royal Society of Chemistry)
- Microsystem Technologies (Springer)
- Archives of Mechanics (PAN)
- Flow Turbulence and Combustion (Springer)
- Physical Review E (American Physical Society)
- Physical Review Applied (American Physical Society)
- Experiments in Fluids (Springer)

4 BIBLIOGRAFIA

- Basova, Evgenia Yurievna, and Frantisek Foret. 2014. "Droplet Microfluidics in (bio) Chemical Analysis." *Analyst*, September. doi:10.1039/C4AN01209G.
- Bretherton, F. P. 1961. "The Motion of Long Bubbles in Tubes." *Journal of Fluid Mechanics Digital Archive* 10 (02): 166–88. doi:10.1017/S0022112061000160.
- Christopher, Gordon F., N. Nadia Noharuddin, Joshua A. Taylor, and Shelley L. Anna. 2008. "Experimental Observations of the Squeezing-to-Dripping Transition in T-Shaped Microfluidic Junctions." *Physical Review E* 78 (3): 036317. doi:10.1103/PhysRevE.78.036317.
- Churski, Krzysztof, Tomasz S. Kaminski, Slawomir Jakiela, Wojciech Kamysz, Wioletta Baranska-Rybak, Douglas B. Weibel, and Piotr Garstecki. 2012. "Rapid Screening of Antibiotic Toxicity in an Automated Microdroplet System." *Lab on a Chip* 12 (9): 1629–37. doi:10.1039/C2LC21284F.
- Eow, John S., and Mojtaba Ghadiri. 2002. "Electrostatic Enhancement of Coalescence of Water Droplets in Oil: A Review of the Technology." *Chemical Engineering Journal* 85 (2–3): 357–68. doi:10.1016/S1385-8947(01)00250-9.
- Garstecki, Piotr, Howard A. Stone, and George M. Whitesides. 2005. "Mechanism for Flow-Rate Controlled Breakup in Confined Geometries: A Route to Monodisperse Emulsions." *Physical Review Letters* 94 (16): 164501. doi:10.1103/PhysRevLett.94.164501.
- Glawdel, Tomasz, and Carolyn L. Ren. 2012. "Droplet Formation in Microfluidic T-Junction Generators Operating in the Transitional Regime. III. Dynamic Surfactant Effects." *Physical Review E* 86 (2): 026308. doi:10.1103/PhysRevE.86.026308.
- Makulska, Sylwia, Slawomir Jakiela, and Piotr Garstecki. 2013. "A Micro-Rheological Method for Determination of Blood Type." *Lab on a Chip* 13 (14): 2796–2801. doi:10.1039/C3LC40790J.

- Seemann, Ralf, Martin Brinkmann, Thomas Pfohl, and Stephan Herminghaus. 2012. "Droplet Based Microfluidics." *Reports on Progress in Physics* 75 (1): 016601. doi:10.1088/0034-4885/75/1/016601.
- Shembekar, Nachiket, Chawaree Chaipan, Ramesh Utharala, and Christoph A. Merten. 2016. "Droplet-Based Microfluidics in Drug Discovery, Transcriptomics and High-Throughput Molecular Genetics." *Lab on a Chip*, March. doi:10.1039/C6LC00249H.
- Thorsen, Todd, Richard W. Roberts, Frances H. Arnold, and Stephen R. Quake. 2001. "Dynamic Pattern Formation in a Vesicle-Generating Microfluidic Device." *Physical Review Letters* 86 (18): 4163. doi:10.1103/PhysRevLett.86.4163.

Warszawa 22.03.2016

