

Warszawa, 15 września 2023

Recenzja rozprawy doktorskiej
Pana mgr. inż. Damiana Zaremby
pt.: Sequential Logic and Iterative Systems in Droplet Microfluidics

wykonanej pod opieką dr. hab. Piotra Korczyka
 w Instytucie Podstawowych Problemow Techniki Polskiej Akademi Nauk w Warszawie

Pan **mgr inż. Damian Zaremba** w 2012r. rozpoczął studia magisterskie na Kierunku Inżynieria Biomedyczna, na Wydziale Mechatroniki Politechniki Warszawskiej, które ukończył w 2015r. W czasie studiów Pan Zaremba odbywał staż i równolegle był zatrudniony w Instytucie Podstaw Techniki PAN, w którym realizował prace badawcze pokrewne z tematyką jego pracy magisterskiej, czyli aparaturą ultradźwiękową. Po obronie pracy magisterskiej Pan Damian Zaremba był współwykonawcą projektu Sonata BIS, którego kierownikiem był jego obecny promotor **prof. Piotr Korczyk**. Następnie Pan Zaremba zaczął studia doktoranckie, których program realizował do 2021r, będąc ponadto, od 4-go roku studiów, zatrudnionym na stanowisku asystenta w IPPT PAN. Efektem studiów III-go stopnia Doktoranta są m.in. osiągnięte efekty kształcenia poziomu 8 PRK (poświadczone stosownym zaświadczeniem) wśród których wspomnę, tylko te najbardziej istotne:

- współautorstwo **9 publikacji** naukowych o łącznym współczynniku oddziaływania **IF ponad 46!**,
 - pięć wystąpień konferencyjnych (3 w formie prezentacji ustnej)
 - aktywny udział kursach i szkołach letnich oraz stażach zagranicznych w renomowanych grupach badawczych,
 - realizację 3 projektów badawczych (w projekcie Prelludium Doktorant był kierownikiem),
- i oczywiście, z punktu widzenia Pana Zaremby, efekt najważniejszy – przygotowanie rozprawy doktorskiej „**Sequential Logic and Iterative Systems in Droplet Microfluidics**”, której mam przyjemność być recenzentem. Promotorem rozprawy jest prof. Piotr Korczyk.

Na wstępie swojej recenzji chciałbym zaznaczyć, że w przypadku recenzji rozprawy doktorskiej w postaci cyklu publikacji naukowych, jako dość krytyczny recenzent, mam niestety znacznie utrudnione zadanie. Recenzji, zgodnie z ustawą, podlega bowiem **dorobek naukowy Doktoranta opatrzony stosownym komentarzem**, a nie, opracowany przez Doktoranta na jego podstawie, „syntetyczny opis najważniejszych wyników”. Trzeba zatem mieć na uwadze, że **opublikowane dobre artykuły naukowe** poddawane są wielokrotnej korekcie nie tylko przez pierwszego autora, ale także przez wszystkich współautorów. Następnie, w wydawnictwie, są także krytycznie oceniane przez recenzentów niezależnych, wyznaczanych przez redaktora czasopisma. Są to przeważnie doskonali eksperci w danej tematyce. Stąd trudno recenzentowi rozprawy doktorskiej w formie cyklu publikacji, w opublikowanych artykułach doszukać się błędów merytorycznych, językowych, czy graficznych. Dlatego też uwagi do rozprawy jako całości mają charakter dość ogólny i podyktowany raczej ciekawością recenzenta niż koniecznością formułowania krytycznych komentarzy tak jak w przypadku klasycznych rozpraw doktorskich.

Na przedłożoną do recenzji rozprawę doktorską autorstwa mgr. inż. Damiana Zaremby, składa się cykl **sześciu spójnych tematycznie publikacji naukowych (IF=39,3!)**, oraz ponad 40-sto stronicowy opis (w języku angielskim) najważniejszych wyników zawartych w cyklu artykułów, wsparty 178 odnośnikami literaturowymi. Autor, spośród publikacji składających się na jego dysertację, zdecydował się wyróżnić **cztery główne** artykuły naukowe, których jest **pierwszym autorem** oraz **dwie** publikacje określił jako **pomocnicze**. Artykuły te opublikowane są w renomowanych czasopismach naukowych, wśród których wyróżnić można czasopisma takie jak: *Microfluidics and Nanofluidics*, *Lab on a Chip*, *Chemical Engineering Journal*, *Nature Communications*. Doktorant, w stosownym oświadczeniu, określił swój wkład w każdą publikację ze swojego dorobku naukowego, z tego oświadczenia jasno wynika, że jego udział w przygotowaniu czterech głównych publikacji, które wybrał jako cykl będący podstawą do uzyskania stopnia doktora, jest wiodący. Nie mniej jednak, moim zdaniem, dołącznie dwóch „pomocniczych” publikacji do cyklu było zasadne, pokazało bowiem, jak bardzo rozwinął się warsztat eksperymentalny Kandydata. W przesłanych dokumentach nie znalazłem oświadczeń pozostałych współautorów o ich udziale w przygotowaniu publikacji składających się na rozprawę doktorską Pana Zaremby. Rozumiem, że nie jest to wymóg formalny przy procedowaniu postępowań o nadanie stopnia doktora. Takie oświadczenia pomagają jednak ocenić wkład pracy Doktoranta na tle innych współautorów i jeszcze bardziej go docenić. Mam nadzieję, że przy składaniu wniosku habilitacyjnego, już Pan doktor inżynier Damian Zaremba, będzie o tym pamiętał. Przy tak wysokiej aktywności naukowej Kandydata na pewno nie będzie to odległa przyszłość.

Wyniki badań zawarte w cyklu publikacji naukowych składających się na rozprawę doktorską Pana Damiana Zaremby dotyczą opracowania mikrosystemów przepływowych, z przepływem

dwufazowym z generowanymi w sposób kontrolowany mikrokroplkami. Jest to bardzo dynamicznie rozwijający się obszar nauki ze względu na jego ogromny potencjał aplikacyjny szczególnie w obszarach związanych z diagnostyką medyczną, badaniami biologicznymi, i wszędzie tam, gdzie dostępna objętość próbki przeznaczonej do analizy jest bardzo mała. Doktorant w przygotowanym „komentarzu” do swoich publikacji, po wprowadzeniu czytelnika w najważniejsze zagadnienia mikrofluidyki kroplowej, przedstawił trzy główne cele prowadzonych badań:

1. Zbadanie podstawowych mechanizmów wewnątrz geometrii mikroprzepływowych i opracowanie nowych które które będą przydatne w manipulowaniu kroplami.
2. Opracowanie koncepcji sekwencyjnych obwodów logicznych do sterowania przepływem kropelek wewnątrz złożonej sieci mikrokanałów.
3. Opracowanie urządzenia łączącego strukturę mikroprzepływową ze złożonymi algorytmami do uzyskiwania kropelek o konkretnym i w pełni kontrolowanym stężeniu.

Następnie Kandydat przedstawił te cele bardziej szczegółowo i na ich podstawie sformułował główną tezę swojej pracy naukowej, która mówi że: „W mikroprzepływowych systemach kropekowych możliwe jest tworzenie struktur, które wykazują logikę sekwencyjną w oparciu o trzy podstawowe geometrie: regularne kanały, szczeliny, i przeszkody. Możliwe jest zintegrowanie takich geometrii w bardziej rozległe sieci, aby tworzyć systemy mikroprzepływowe, które wykonują bardziej złożone operacje na kroplach.” Kolejne opublikowane prace pokazują, że mgr inż. Damian Zaremba konsekwentnie realizował cele, które sobie postawił, jednocześnie weryfikując prawidłowości postawionej tezy swojego doktoratu.

Badania zachowania mikrokropelek (tworzenia się kropli, jej ucinania i unieruchamiania w określonym miejscu), w pojedynczych geometriach mikroprzepływowych takich jak: rozgałęzienia mikrokanałów, połączenie mikrokanałów typu T, pozwoliły Doktorantowi zaobserwować bardzo ciekawe zjawisko, że sama obecność kropli w mikrokanale o określonej geometrii może prowadzić do wymuszenia (aktywacji) przepływu fazy olejowej. Ta obserwacja pozwoliła Kandydatowi zaprojektować nowe rozgałęzienie mikrokanałów wzbogacone o tzw szczelinę boczną. W złączu tym pojedyncze krople w całości transportowane są przez fazę olejową do konkretnego mikrokanalu, co nie było możliwe bez, zaprojektowanej przez p. Zarembę, specjalnej modyfikacji obszaru rozgałęzienia mikrokanalu. Precyzja zaprojektowania nowego złącza wsparta obliczeniami matematycznymi i modelowaniem pozwoliła na wykorzystanie geometrii tej mikrostruktury w bardzo zaawansowanych, opartych o algorytmy logiki sekwencyjnej, mikroukładach kropekowych opracowanych przez p. Zarembę. Kolejnym, z pozoru bardzo prostym elementem w strukturach mikroprzepływowych, którego duży potencjał dostrzegł Doktorant, była precyzyjnie zaprojektowana przeszkoda w mikrokanale. Takie przeszkody

wykonane w mikrokanałach, w połączeniu z mikrokanalami (szczelinami) umożliwiającymi odpływ fazy olejowej, dają szereg możliwości kontroli nad pojedynczymi mikrokroplami oraz ich wzajemnego oddziaływania ze sobą. Doktorant doskonale wykorzystał ten fakt i opracował szereg ciekawych mikrokonstrukcji przepływowych opartych na algorytmach logiki sekwencyjnej. Najciekawsze moim zdaniem to: (i) **liczniki pierścieniowe** i ich powielone zintegrowane struktury dające w efekcie zarówno liczniki binarne, jak i dziesiętne; (ii) mikrostruktury pozwalające na wykonanie operacji **permutacji** na strumieniach kropeł; (iii) mikroukłady „**concentration on demand**” oparte na strukturach dwóch pułapek (tnącej i łączącej), które odpowiednio powielone i zintegrowane dają możliwość uzyskania pojedynczych kropeł o precyzyjnie zdefiniowanym stężeniu danej substancji. Dla mnie, jako chemika analityka, który niezliczoną ilość razy musiał w kolbkach miarowych przygotowywać setki roztworów do rejestracji krzywych wzorcowych, do analiz prowadzonych większością technik analitycznych, system „concentration on demand” ma największy potencjał analityczny i bioanalityczny. W związku z tym, że wszystkie wyniki uzyskane przez Doktoranta opierają się na „modelowych roztworach” na publicznej obronie rozprawy doktorskiej chciałbym poprosić Kandydata o komentarz na temat „realnych” możliwości analitycznych zaprojektowanych przez niego mikrosystemów. Nie od dziś wiadomo, że opracowane procedury analityczne i bioanalityczne znakomicie sprawdzają się na wzorcach, roztworach modelowych, czy syntetycznych próbkach. Prawdziwe problemy zaczynają się gdy próbujemy nowe narzędzia / procedury zaimplementować w analizach próbek rzeczywistych. Stąd przykładowe pytania praktyka:

- czy np. konieczne byłoby przeprojektowanie mikrostystemu „concentration on demand” jeśli planowalibyśmy wykorzystanie go do uzyskiwania różnych steżeń białek w kropli, albo próbowali analizować np. próbki zawierające naturalne surfaktanty?
- co należałoby uwzględnić, lub jak dopasować procedury dozowania cieczy żeby w takich mikrosystemach móc analizować np. populacje komórek lub „uwięzione” w kroplach ich agregaty?
- czy np. zmiana właściwości fizykochemicznych fazy wodnej (mikrokropeł) takich jak np. siła jonowa lub gęstość mogłaby zmienić / wpłynąć na położenie mikrokropeł w opracowanych przez Kandydata licznikach kropeł, a w konsekwencji powodować błędne odczyty policzonych kropeł?

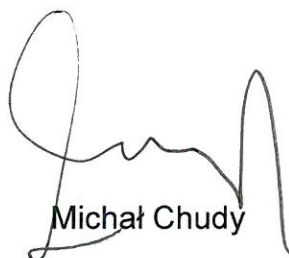
Takie pytania praktycy mogliby oczywiście jeszcze długo mnożyć, ale stawiając je, chodzi mi przede wszystkim o to, by w czasie obrony Pan Damian Zaremba spróbował przekonać obecnych, że świadomy jest trudności wynikających z analizy próbek rzeczywistych. Byłoby to znakomitym uzupełnieniem materiału zawartego w cyklu publikacji.

Muszę przyznać, że jestem pod **ogromnym wrażeniem dociekliwości Doktoranta** i jej efektów. Obserwując i wnikliwie analizując, tak naprawdę niekorzystne zjawiska zachodzące w

pojedynczych mikrostrukturach – np. rozdzielanie kropli w obrzazie rozgałęzienia mikrokanalów, wspierając się zaawansowanymi obliczeniami matematycznymi i elementami modelowania, był w stanie wykorzystać te zjawiska do opracowania funkcjonalnych elementów mikrostrur przepływowych. Nie byłby w stanie tego dokonać, gdyby nie jego **znakomity warsztat eksperymentalny** – począwszy od projektowania elementów mikrosystemów, ich wytwarzania techniką mikrofrezowania, integracji pojedynczych elementów w zaawansowane struktury mikroprzepływowe, poprzez modelowanie matematyczne, znajomość środowisk do analizy danych, zastosowanie algorytmów logicznych w mikrofluidyce, po samodzielną budowę zautomatyzowanych stanowisk pomiarowych z oprogramowaniem także jego autorstwa. Jestem przekonany, że Kandydat wykonał „kawał dobrej roboty” - przepraszam za potoczny język, ale on akurat do inżyniera w tym przypadku szczególnie pasuje.

Podsumowując stwierdzam, że przedłożona do recenzji rozprawa doktorska autorstwa Pana mgr. inż. Damiana Zaremby, przedstawia wyniki badań opublikowane sześciu artykułach naukowych, w czasopismach o wysokim współczynniku oddziaływania (**łącznie IF=39,3**). Stwierdzam także, że recenzowana rozprawa doktorska w postaci cyklu sześciu spójnych tematycznie publikacji naukowych odpowiada warunkom określonym, w art. 13 ustawy z dn. 14 marca 2003r o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. Nr 65/2003 poz. 595 z późniejszymi zmianami) i wnoszę do Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Instytutu Podstawowych Problemów Techniki Polskiej Akademii Nauk o dopuszczenie Doktoranta do dalszych etapów postępowania o nadanie stopnia doktora.

Ponadto, ze względu na wysoki poziom naukowyrecenzowanej rozprawy, opracowanie przez Kandydata innowacyjnych zintegrowanych konstrukcji mikrosystemów kroplowych, których działanie opiera się na algorytmach logiki sekwencyjnej, wnikliwą analizę zjawisk zachodzących w mikrokanalach (wspartą stosownymi obliczeniami) oraz duży wkład uzyskanych wyników w rozwój mikrofluidyki kroplowej, **występuję z wnioskiem formalnym do Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna IPPPT PAN o wyróżnienie rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Damiana Zaremby.**



Michał Chudy