

**Doctoral Dissertation**

MICROSCALE BLOOD FLOWS AND RHEOLOGY

—

SURFACE TENSION DRIVEN FLOW APPLICATIONS FOR POINT OF  
CARE DIAGNOSTICS

**Student Name Surname**

**Dimitris Pasiias**

**Limassol, April 2022**

**CYPRUS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY**

**Department of Mechanical Engineering and Materials Science and Engineering**

**Doctoral Dissertation**

**MICROSCALE BLOOD FLOWS AND RHEOLOGY**

—

**SURFACE TENSION DRIVEN FLOW APPLICATIONS FOR POINT OF  
CARE DIAGNOSTICS**

**Dimitris Pasis**

**Limassol, May 2022**

## Approval Form

Doctoral Dissertation


MICROSCALE BLOOD FLOWS AND RHEOLOGY

SURFACE TENSION DRIVEN FLOW APPLICATIONS FOR POINT OF CARE  
DIAGNOSTICS

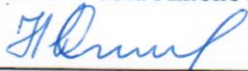
Presented by

Dimitris Pasiias

Supervisor: Efstathios Kaliviotis, Associate Professor, Cyprus University of Technology.

Signature  \_\_\_\_\_

Member of the committee: Nadia Antonova, Professor, Bulgarian Academy of Sciences.

Signature  \_\_\_\_\_

Member of the committee (Chair): Yannis Dimakopoulos, Associate Professor, University of Patras.

Signature  \_\_\_\_\_

Cyprus University of Technology

Limassol, May 2022

## **Copyrights**

Copyright © April 2022 – Dimitris Pasiias

All rights reserved.

The approval of the dissertation by the Department of Mechanical Engineering and Materials Science and Engineering does not imply necessarily the approval by the Department of the views of the writer.

## **Acknowledgments**

First and foremost, I am extremely grateful to my supervisor, Dr. Efstathios Kaliviotis for his invaluable advice, continuous support, and patience during my PhD study. His knowledge and plentiful experience have encouraged me in all the time of my academic research and daily life. I would also like to thank Dr. Loukas Koutsokeras, Dr. Georgios Constantinides, Dr. Panayiotis Keivanidis, Dr. Andreas Passos, Dr. Stavroula Balabani, Dr. Harisson Seidner and the NanoLysis LTD for helping with part of the  $\text{TiO}_2$  coating process, and for their technical support on my study. I would also like to thank Dr. Stephanos Pavlides and the personnel of his haematology laboratory for their help in blood collection. In addition, I would like to thank and all the members in the Biorheology Laboratory for their support.

## Abstract

Surface tension driven blood flow in microfluidic applications for blood diagnostics, is a simple and cost-effective approach, however, the flow and rheological characteristics of blood in such setups is not well understood. The aim of this work is to characterize the blood flow in such applications and to investigate the influence of erythrocyte deformability, aggregation and haematocrit, which dominate the non-Newtonian nature of blood. For this purpose, normal and super-hydrophilic microchannels were produced to accommodate the flow, and whole human blood, as well as erythrocyte suspensions were produced to provide various states of erythrocyte deformability, aggregation and sample haematocrit. The samples were imaged under flow, and their local and bulk velocity characteristics were assessed using micro-Particle Image Velocimetry setups and tracking techniques. Standard methods were utilised to assess the viscosity, aggregation and deformability of the samples, whereas image processing methods were developed to characterize the microstructure of the samples in the microchannel. Fluid mechanics and rheology theory was utilised to model the velocity and viscosity of the fluids. The results, show a clear influence of the viscosity, however, a complex non-monotonic influence of the aggregation, on the velocity in the microchannel affected by moderate to intense shearing conditions in the channel.

Η ροή αίματος, η οποία ωθείται από επιφανειακή τάση σε μικροροϊκές εφαρμογές για διαγνωστικούς σκοπούς, είναι μια απλή και οικονομική προσέγγιση. Ωστόσο, η ροή και η ρεολογία του αίματος σε τέτοιες καταστάσεις δεν έχουν κατανοηθεί εις βάθος. Στόχος αυτής της εργασίας είναι ο χαρακτηρισμός της ροής του αίματος σε μικροροϊκές εφαρμογές παθητικής ροής, και η διερεύνηση της επίδρασης της παραμόρφωσης, συσσωμάτωσης και συγκέντρωσης (αιματοκρίτη) των ερυθροκυττάρων, παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν σημαντικά τη μη-Νευτώνεια φύση του αίματος. Για το σκοπό αυτό, κατασκευάστηκαν ουδέτεροι και υπερ-υδρόφιλοι μικροαγωγοί, χρησιμοποιήθηκαν δείγματα πλήρους ανθρώπινου αίματος, καθώς και διαλύματα ερυθροκυττάρων, για την δημιουργία διαφόρων καταστάσεων παραμόρφωσης, συσσωμάτωσης ερυθροκυττάρων και αιματοκρίτη. Τα δείγματα απεικονίστηκαν υπό ροή και τα χαρακτηριστικά της τοπικής και μέσης ταχύτητας εκτιμήθηκαν χρησιμοποιώντας τεχνικές απεικονιστικής ταχυμετρίας και παρακολούθησης σωματιδίων. Χρησιμοποιήθηκαν τυπικές μέθοδοι για την μέτρηση του ιξώδους, της συσσωμάτωσης και της παραμόρφωσης των δειγμάτων αίματος, ενώ αναπτύχθηκαν εξειδικευμένοι αλγόριθμοι επεξεργασίας εικόνας για τον χαρακτηρισμό της μικροδομής των δειγμάτων στους μικροαγωγούς. Ρευστομηχανική και θεωρία Ρεολογίας χρησιμοποιήθηκαν για τη μοντελοποίηση της ταχύτητας και του ιξώδους των ρευστών. Τα αποτελέσματα δείχνουν μια σαφή επίδραση του ιξώδους, ωστόσο, μια πολύπλοκη μη μονοτονική επίδραση της συσσωμάτωσης στην ταχύτητα αίματος, η οποία επηρεάζεται από τις συνθήκες διάτμησης στους αγωγούς.

**Keywords: Blood rheological properties, surface tension, microchannel flow**