# הצעת פרויקט - סימולציה של מערכת מיקרופלואידיקה

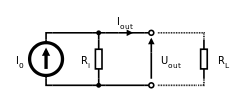
## מבוא - רקע כללי על התחום

אנו מתעסקים במערכת מִיקְרוֹפלואידיקָה. מיקרופלואידיקה (באנגלית Microfluidics) עוסקת בהתנהגות, בקרה ושליטה של זורמים, לרוב נוזלים, בממדים קטנים, בסדר גודל של מיקרונים (ובננופלואידיקה ננומטרים). זהו חלק מענף הפלואידיקה. המחקר משלב היבטים שונים ולוקח כלים מתחומי רבים, ביניהם הנדסה, פיזיקה, כימיה, מיקרו טכנולוגיה וביוטכנולוגיה.

לתחום חשיבות רבה בהקשר של מערכות טכנולוגיות הפועלות בתווך נוזלי, בפרט בשימושים ביולוגיים כגון BioMEMS - רכיבים אלקטרונים ביולוגיים זעירים המשמשים למשל כביו-חיישנים תוך גופיים לניטור וטיפול ברקמות ותאים. התחום החל להתפתח בשנות ה-80 ונמצא בשימוש של ראשי מדפסות הזרקת דיו, שבבי DNA, טכנולוגיית מעבדה על שבב, מיקרו-הנעה ומיקרו-תרמודינמיקה.

כפי שנפרט בהמשך מטרתנו היא להציג מערכת מיקרופלואידיקה באמצעות מעגל חשמלי. ישנה אנלוגיה בין מערכת מיקרופלואידיקה לבין מעגל חשמלי: כל תעלה היא כמו נגד, כל מקור לחץ הוא כמו מקור מתח, וזרם הנוזלים הוא כמו זרם חשמלי העובר דרך רכיבי המעגל.

מעגל חשמלי מורכב מאוסף של [רכיבים חשמליים](https://he.wikipedia.org/wiki/%D7%A8%D7%9B%D7%99%D7%91_%D7%97%D7%A9%D7%9E%D7%9C%D7%99) כמו [נגדים](https://he.wikipedia.org/wiki/%D7%A0%D7%92%D7%93), המחוברים ביניהם בעזרת [מוליכים](https://he.wikipedia.org/wiki/%D7%9E%D7%95%D7%9C%D7%99%D7%9A), בצורה שמאפשרת זרימה של [זרם חשמלי](https://he.wikipedia.org/wiki/%D7%96%D7%A8%D7%9D_%D7%97%D7%A9%D7%9E%D7%9C%D7%99) דרכם.



*איור סכמתי של מעגל חשמלי*

כדי שיזרום זרם במעגל צריכים להתקיים שני תנאים:

1. המעגל צריך להיות מחובר למקור [אנרגיה](https://he.wikipedia.org/wiki/%D7%90%D7%A0%D7%A8%D7%92%D7%99%D7%94). האנרגיה יכולה להיות מסופקת למעגל בצורה של [מתח חשמלי](https://he.wikipedia.org/wiki/%D7%9E%D7%AA%D7%97_%D7%97%D7%A9%D7%9E%D7%9C%D7%99) (בעזרת מקור מתח), בצורה של זרם חשמלי (בעזרת מקור זרם), או בצורה של אנרגיה מכנית בעזרת [מנוע](https://he.wikipedia.org/wiki/%D7%9E%D7%A0%D7%95%D7%A2).
2. במעגל צריך להיות לפחות מסלול סגור אחד העובר דרך מקור האנרגיה.

## תיאור הבעיה

תהליך העיצוב של מערכות מיקרופלואידיקה הוא יקר מאוד, כי מהנדסים ומדענים צריכים להנדס, לייצר, לבדוק, ולייצר שוב את המערכת. לכן יש צורך בסימולציה של מערכות מיקרופלואידיקה, כדי שיהיה אפשר לבנות מערכת טובה יותר מלכתחילה במקום להסתמך על ניסוי וטעייה. הבעיה היא שסימולציה של מערכות מיקרופלואידיקה איננה דבר פשוט בכלל - פתרון אנליטי או נומרי למערכת כזו הוא מורכב מאוד, ולכן סימולציה כזו תדרוש הרבה מאוד משאבי מחשוב.

## הפתרון המקובל כיום

ישנם כמה פתרונות מקובלים כיום לבעיה הזאת. פתרון אחד הוא לעשות סימולציה על מערכות מיקרופלואידיקה קטנות ופשוטות יותר, כך שנדרשים פחות משאבים לחישוב הפתרון. הפתרון השני פשוט - לבנות מחשבי-על חזקים המסוגלים לבצע פעולות מהר מאוד. הפתרון השלישי הוא שימוש בחישוב מבוזר, אך במקרה הזה יש לציין שמדובר לרוב במחקרי מיקרופלואידיקה לטובת הכלל. מתנדבים מהציבור יכולים להריץ תוכנה (למשל μFluids@Home העובדת על פלטפורמת חישוב מבוזר ידועה בשם BOINC) שתבצע חלק מהחישובים הנדרשים לסימולציה, וכך החישוב יתבצע הרבה יותר מהר.

## הבעיה בפתרון המקובל

כל הפתרונות המקובלים סובלים מבעיות, ואינם פותרים לגמרי את בעיית הסימולציה. הפתרון הראשון אינו מספיק כמובן, כי יש צורך בסימולציה של מערכות גדולות יותר. לפתרון השני יש עלות גבוהה מבחינה כספית (הן לבניית מחשב-על והן לכיסוי צריכת החשמל הגבוהה שלו). הפתרון השלישי לא מתאים לכל מחקר, עדיין דורש הרבה זמן לביצוע הסימולציה (כל מתנדב מבצע חישובים של 20 שעות כל אחד), וגם תלוי בהתעניינות הציבור (אבל לפחות הוא חינמי).

## תיאור הפתרון שלנו

אנחנו פותרים את הבעיה הזו על ידי פתרון בעיה מקבילה שהיא סימולציה של מעגל חשמלי. לסימולציה של מעגל חשמלי ישנו אלגוריתם ידוע בשם Nodal Analysis, וגרסא משופרת בשם Modified Nodal Analysis.

אנו נבנה תוכנה לבנייה והרצה של סימולציות על מערכת מיקרופלואידיקה המוצגת כמעגל חשמלי. התוכנה תאפשר בניית מערכת מיקרופלואידיקה, הרצת סימולציה בזמן אמת על המערכת, והגדרת מצבי המתגים במערכת בזמן הסימולציה בעזרת תרחישים. ניתן לבנות את המערכת על ידי גרירת רכיבים מארגז הכלים והרכבתם בחלון התוכנה, ובזמן הסימולציה יוצג מידע מפורט על כל רכיב במערכת בליווי צבעים הממחישים את רמת הזרם. את מצבי המתגים בזמנים שונים ניתן יהיה להגדיר בעזרת קובץ תרחישים, וניתן לערוך אותו בתוך התוכנה.

הפתרון מורכב משלושה שלבים:

1. אנו ניצור מבנה נתונים לייצוג מעגל חשמלי אשר יאפשר מעקב אחר משתני המעגל בכל רגע נתון על מנת ליצור את הסימולציה הנדרשת למעגל חשמלי מסוים. בנוסף נממש את האלגוריתם של ביצוע הסימולציה ואת מבני הנתונים הנוספים הנדרשים.
2. אנו נבנה ממשק משתמש שיידמה את הסימולציה של המעגל החשמלי ויאפשר בניה נוחה של מעגל חשמלי. מטרתנו היא ליצור ממשק נוח לשימוש וידידותי למשתמש אפילו אם המשתמש לא יודע מה זה מחשב. כמובן שזה האידאל של כל מתכנת, ואנו נשאף לאידאל זה כמו כל אחד שמעצב ממשק משתמש.
3. אנו נוסיף את האופציה של "הוספת מתג". אמנם זה נשמע כמו שלב שולי מפני שזו הוספה קטנה לדבר הקיים, אולם כאשר חושבים על השינוי מבינים שבעזרת שינוי זה ישנה אפשרות לחקור תרחישים שונים במערכת. למשל, כאשר יש לנו שלושה זרמים מה יקרה אם אך ורק שתיים מהם עובדים, ומה יקרה כאשר שלושתם עובדים.

עכשיו שפטרנו את הבעיה בצורתה הפשוטה נרחיב את הפתרון למקרה שההתנגדות לא ידוע, מפני שהזרם איננו משתנה, ניתן לחשב את ההתנגדות על פי הזרם הזורם באותו קטע של המעגל החשמלי.

הפתרון משתמש בשתי נוסחאות ידועות בנושא המעגל החשמלי שהם:

* חוקי קריכהוף:

1. סכום הזרמים הנכנסים שווה לסכום הזרמים היוצאים.
2. סכום המתחים בלולאה סגורה שווה לאפס כאשר נקודת ההתחלה של הלולאה ונקודת הסיום הן אותה נקוה. ההפרש הפוטנציאלי בין נקודה לעצה הוא אפס.

שתי החוקים האלו מסתמכים על חוק שימור מטען / אנרגיה במערכת.

* חוק אוהם:

המתח שווה למכפלה של הזרם בהתנגדות.

נעשה שימוש בנוסחאות אלה בזמן יצירת המטריצה של n משוואות עם n נעלמים שמייצגות את המעגל החשמלי הנתון.

## הנכונות והעדיפות של הפתרון שלנו

כמו שהזכרנו לעיל, ישנה אנלוגיה ברורה בין מעגל חשמלי לבין מערכת מיקרופלואידיקה. סימולציה של מעגל חשמלי היא הרבה יותר פשוטה וניתנת לביצוע במהירות על כל מחשב, אפילו מחשב ביתי. כך נוריד את עלויות הסימולציה של מערכת מיקרופלואידיקה על ידי פתרון הבעיה המקבילה, ולא יהיה צורך בהשקעה כספית על מחשבי-על. פתרון אנליטי מדויק של בעיה מקבילה יביא לפתרון שקול אך מהיר יותר.

## לסיכום

בסימולציה של מערכת מיקרופלואידיקה קיימת בעיה של מורכבות החישובים. אנו נפתור את הבעיה הזאת על ידי בניית תוכנה לסימולציה של מעגל חשמלי השקול למערכת המיקרופלואידיקה. התוכנה שלנו תבצע את הסימולציה במהירות ותכלול ממשק משתמש ידידותי ומתקדם. התוכנה שלנו תספק פתרון זול לבעיית הסימולציה של מערכת מיקרופלואידיקה.

## לוח זמנים מתוכנן

* 20.9.16 הצעת פרויקט
* 15.10.16 סיום מבנה הנותנים והקוד של הסימולציה
* 15.12.16 סיום בניית הUI
* 15.2.16 סיום הוספת מתגים
* 20.6.16 סיום הפרויקט

(לוח זמנים זה יכול להשתנות בהתאם למציאות)

הרצוי: גמירת החלק התכנותי עד ינואר 2017 (כלומר תוך שישה חודשים ובמקרה הגרוע עד פברואר 2017 כלומר שבעה חודשים) ותחילת כתיבת הספר, תיקונים ובדיקת מקרי קיצון לאחר ינואר מטרה לגמור עד מאי 2017 (כלומר עוד 4 חודשים במקרה הגרוע לסיים ביוני 2017).

## תוכן עניינים

* מבוא \ הצעת פרויקט
* תוכן עניינים
* רקע על הפרויקט
* מערכות מיקרופלואידיקה
* הבעיה
* ידע קיים
* הקשר בין המערכת למעגל החשמלי
* למה לפתור דווקא בעזרת הקבלה למעגל חשמלי
* למה בחרנו ב-C#
* תיאור העבודה והאלגוריתמים
* הסבר UI
* דוגמאות לשימוש
* ביבליוגרפיה