

רובוט שחיין במספרי רינלודס נמוכים



המנחה

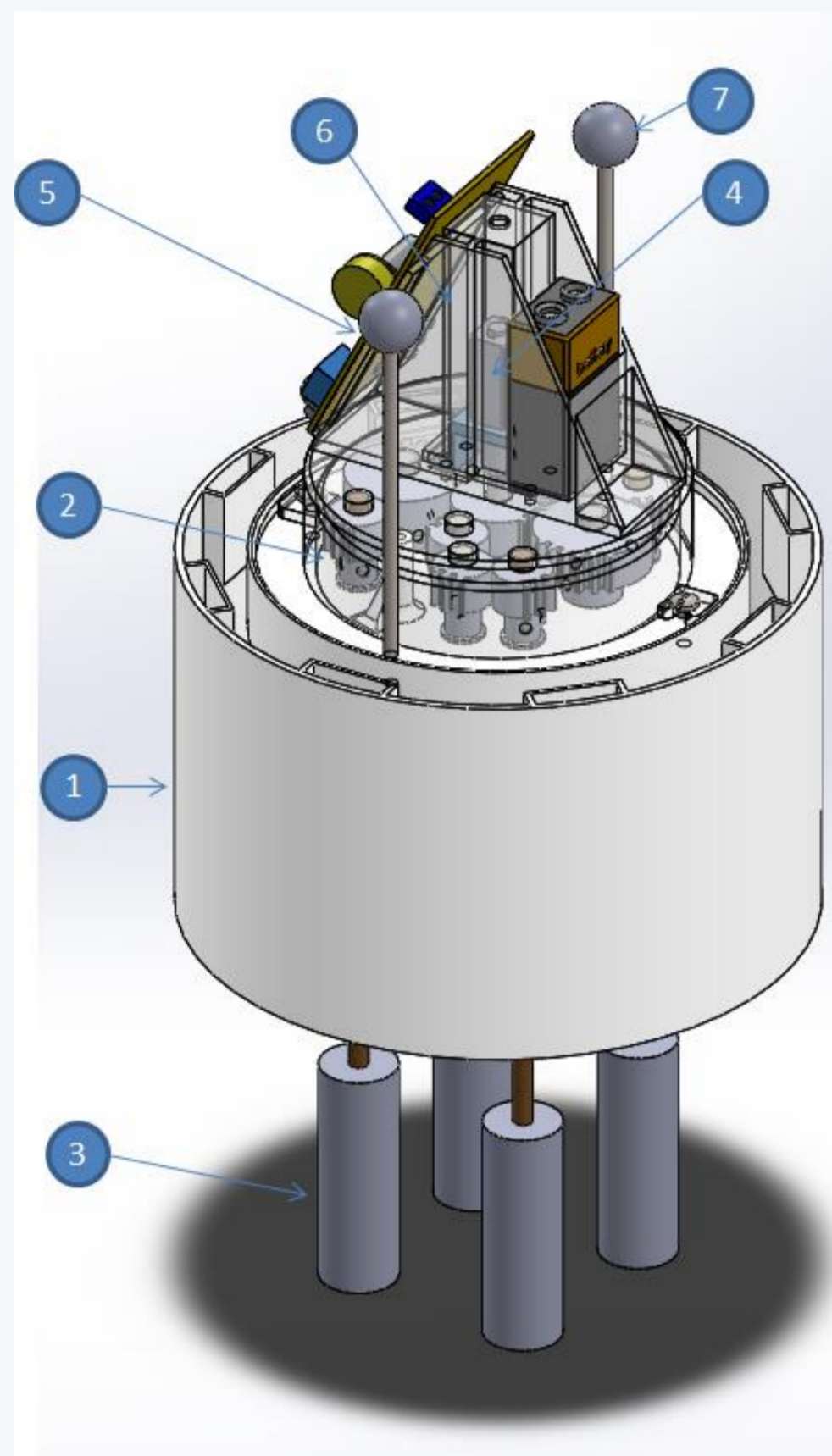
פרופ' משנה יזהר אור

פרויקט ברובוטיקה וביומכניקה

רועי כלב, תומר פיין

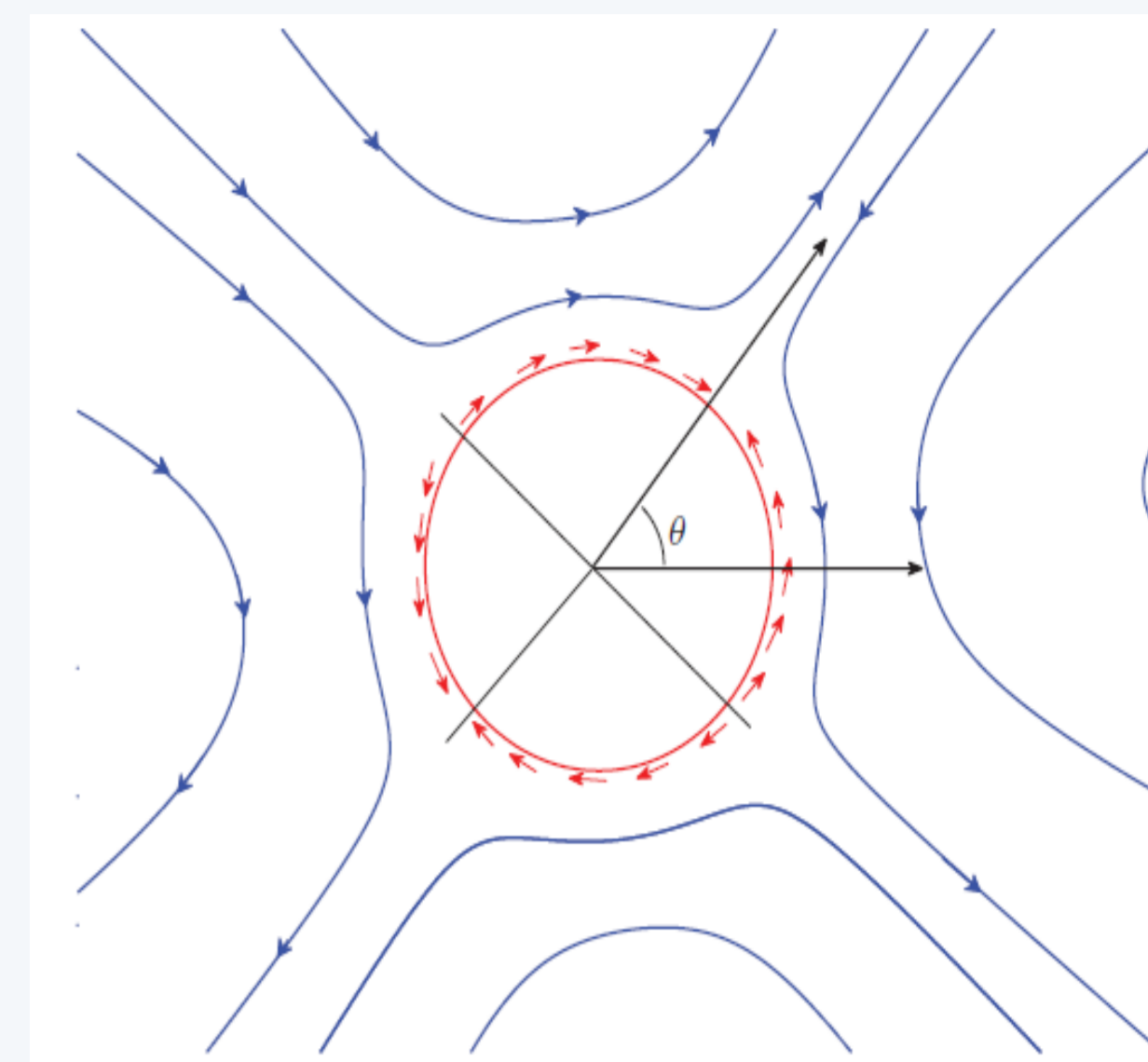
מבנה הרובוט

- מצופ-** המצופ מתוכנן כך שהוא יכיל כמות אוויר מקסימלית ועדיין יאפשר שליטה במרכז המסה. לדפנות מחוברים שמונה תאים אשר איתם ניתן לשלוט במרכז המסה, על ידי הכנסת משקולות.
- מערכת התמסורת-** המערכת התמסורת מחברת את המנוע בציר המרכזי לארבעת הגלילים בהיקף החיצוני, ביחס תמסורת של 19:12. בנוסף, המערכת בנויה כך שכיוון הסיבוב של הגלילים יהיה הפוך זה לזה (שניים עם כיוון השעון, ושניים כנגדו).
- גלילי הנעה-** הגלילים עשויים אצטיל POMMC, ויושבים מתחת לצירים. נעשה שימוש בדבק על מנת למנוע החלקה בין הגליל לציר.
- מנוע-** המנוע מחובר למערכת התמסורת באמצעות מצמד ושני ברגים.
- לוח אלקטרוני-** הלוח מורכב מסוללת 9V, נגד משתנה המאפשר בקרה על מתח המנוע, מתג הפעלה, וכניסת חוטים למנוע.
- מכסה מנוע-** המכסה מגן על המנוע עצמו, ומכיל את הסוללה מצד אחד ומצד שני את הלוח האלקטרוני.
- רפלקטורים-** מצלמת הניסוי קולטת את מיקום הרפלקטורים במישור הדו-ממדי, ועל ידי ידיעת המיקום ניתן לנתח גרפית את תנועת השחיין.



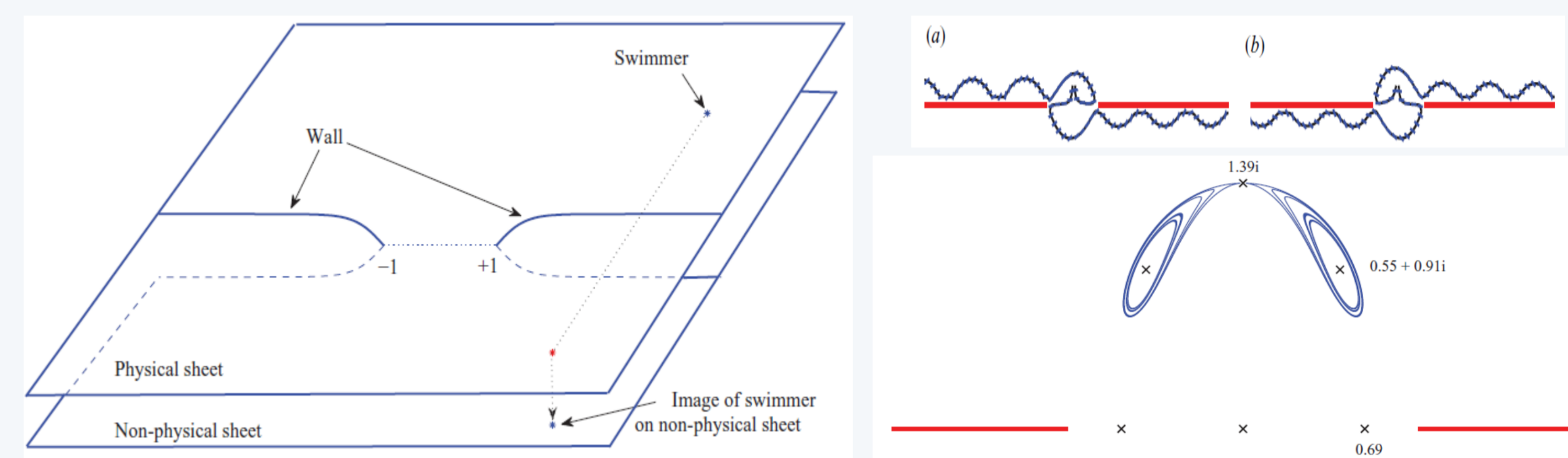
תיאור הפרויקט

AQUAD הרובוט השחיין משמש את המעבדה לביו-דינמיקה בחקר התנהגותם של חלקיקים מיקרוניים אשר נעים בזרימה (בגוף האדם למשל). הרובוט הוא בעל סימטריה גלילית, ולו ארבעה גלילים המשמשים כמנועים המבטלים זה את זה. אנו מפעילים את הרובוט לצד קיר ישר או מעגלי, בבריקה של שמן סיליקון נוזלי בעל צמיגות גבוהה בכדי, ורואים האם התנהגותו תואמת לתיאוריה המתמטית.



רקע תיאורטי

הפרמטרים הגיאומטריים והמכניים של הרובוט תוכננו כך שיתקבל ערך נמוך עבור מספר רינולדס: $Re = \frac{\omega d^2}{2\nu} \approx 0.01$. מתוך עיקרון הדמיות, נבדוק כיצד יתנהג חלקיק בעל תנאי מהירות סימטרי על השפה כאשר הוא יהיה בקרבת קיר ישר אינסופי, עם חריץ בגודל סופי. המודל התיאורטי גורס כי הרכיב ינוע במסלולים מסוימים כתלות ביחס שבין קוטר החלקיק ורוחב החריץ בקיר.

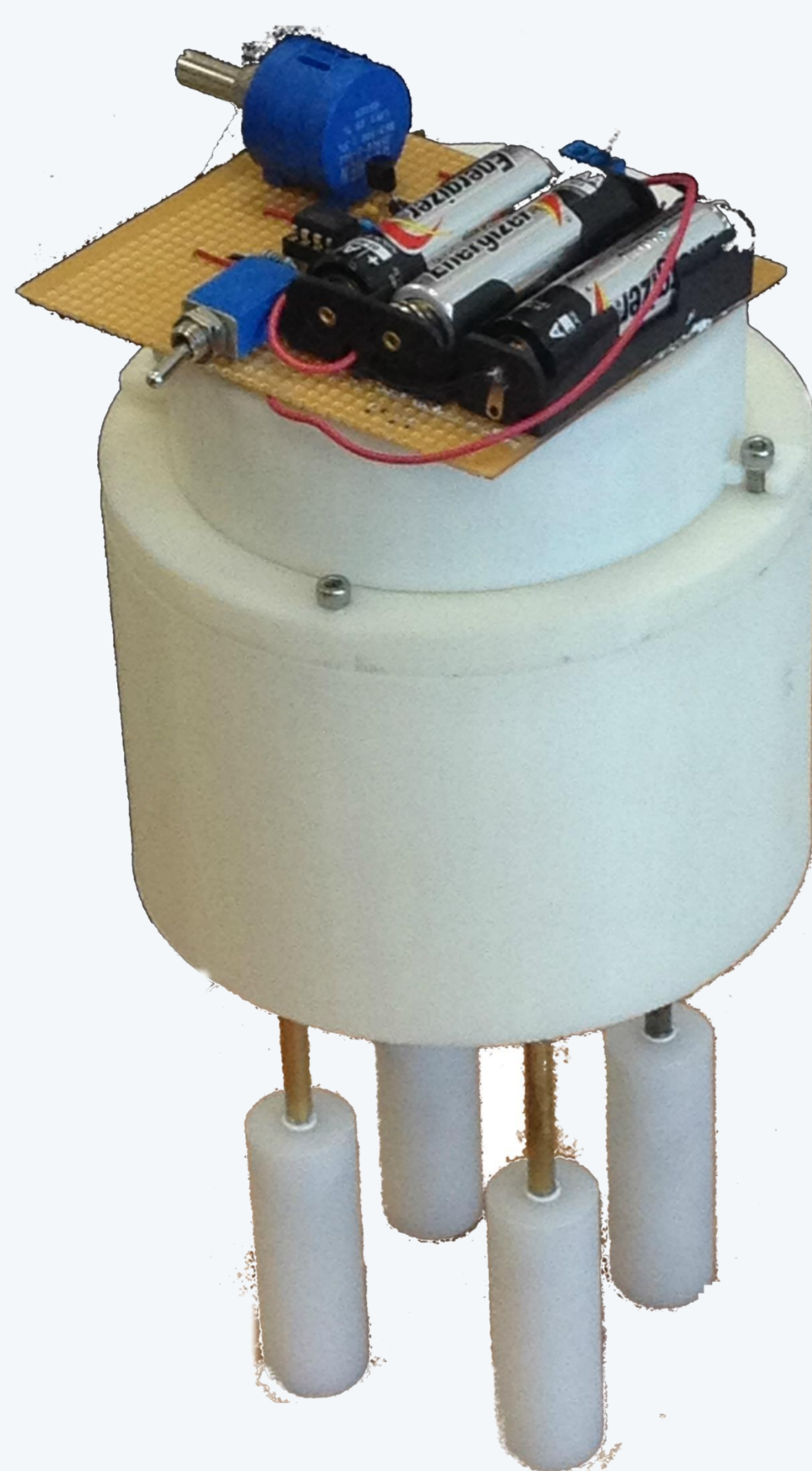


תוצאות הבדיקות והניסויים

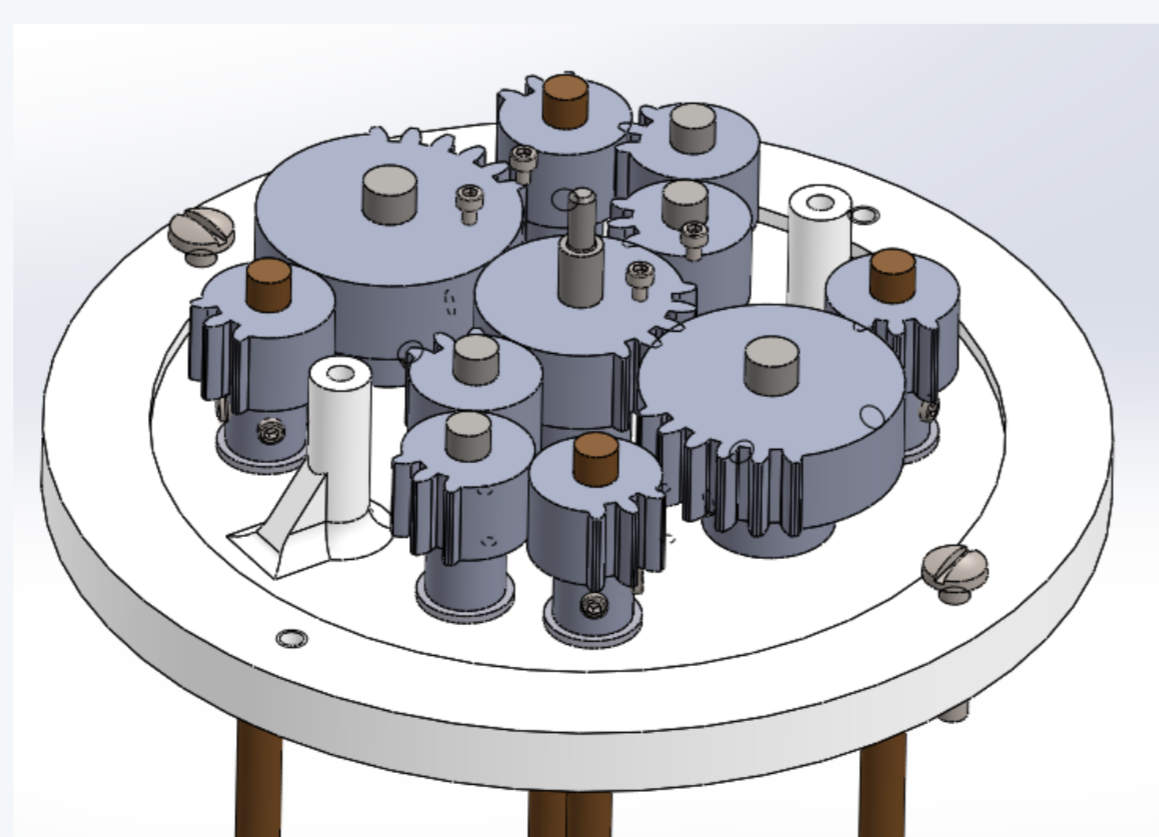
תחילה בדקנו כי המנוע מסוגל להזיז את מערכת התמסורת של הרובוט. המומנט המינימלי לו היינו נחוצים הוא $T = 110[mN * m]$, כאשר מומנט העבודה שלו הוא 150. קיבלנו מהירות סיבוב תונדת (כתוצאה מכוחות החיכוך והלחיצה בין גלגלי השיניים), אך כיוון שהמודל התיאורטי הוא אינווריאנטי בזמן, אין זה מהווה בעיה מבחינתנו.

טבלנו את הרובוט בדלי של מים ולאחר מכן בברכת הסיליקון, וראינו כי הוא צף בשניהם. בגרסה הראשונית שינינו את מרכז המסה של הרובוט על ידי משקולות וקיבלנו כי הרובוט יציב.

בבדיקת הפעולה הדינאמית של הרובוט בתוך הבריקה עצמה העמסנו את הרובוט בתחילה עד חצי מהשוקע, ולאחר מכן בעומק מלא. תוספת הסיליקון הצמיג הגדילה משמעותית את המומנט, והביאה להאטה במהירות הסיבוב של הגלילים, אך המנוע עמד בעומס.

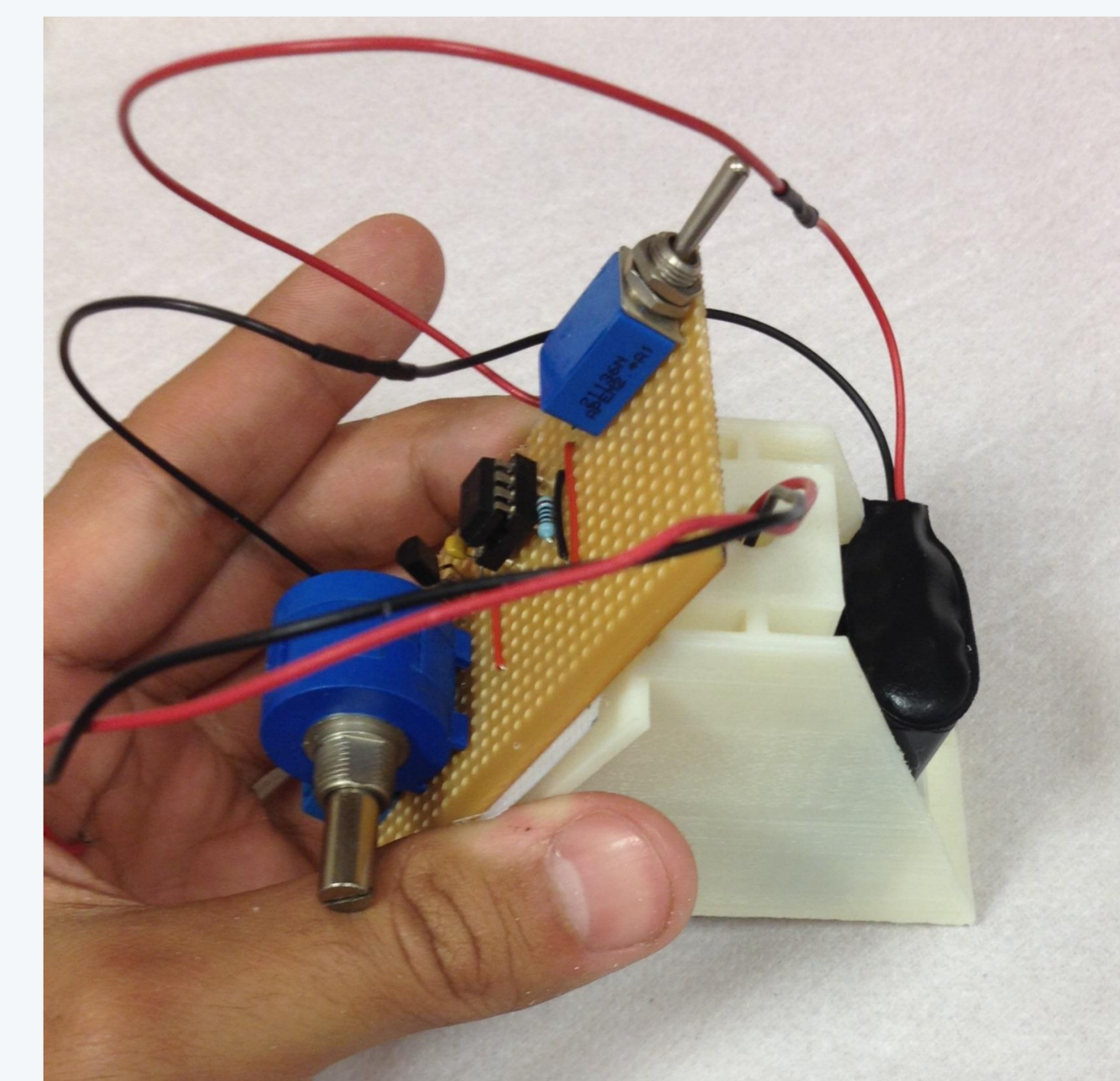
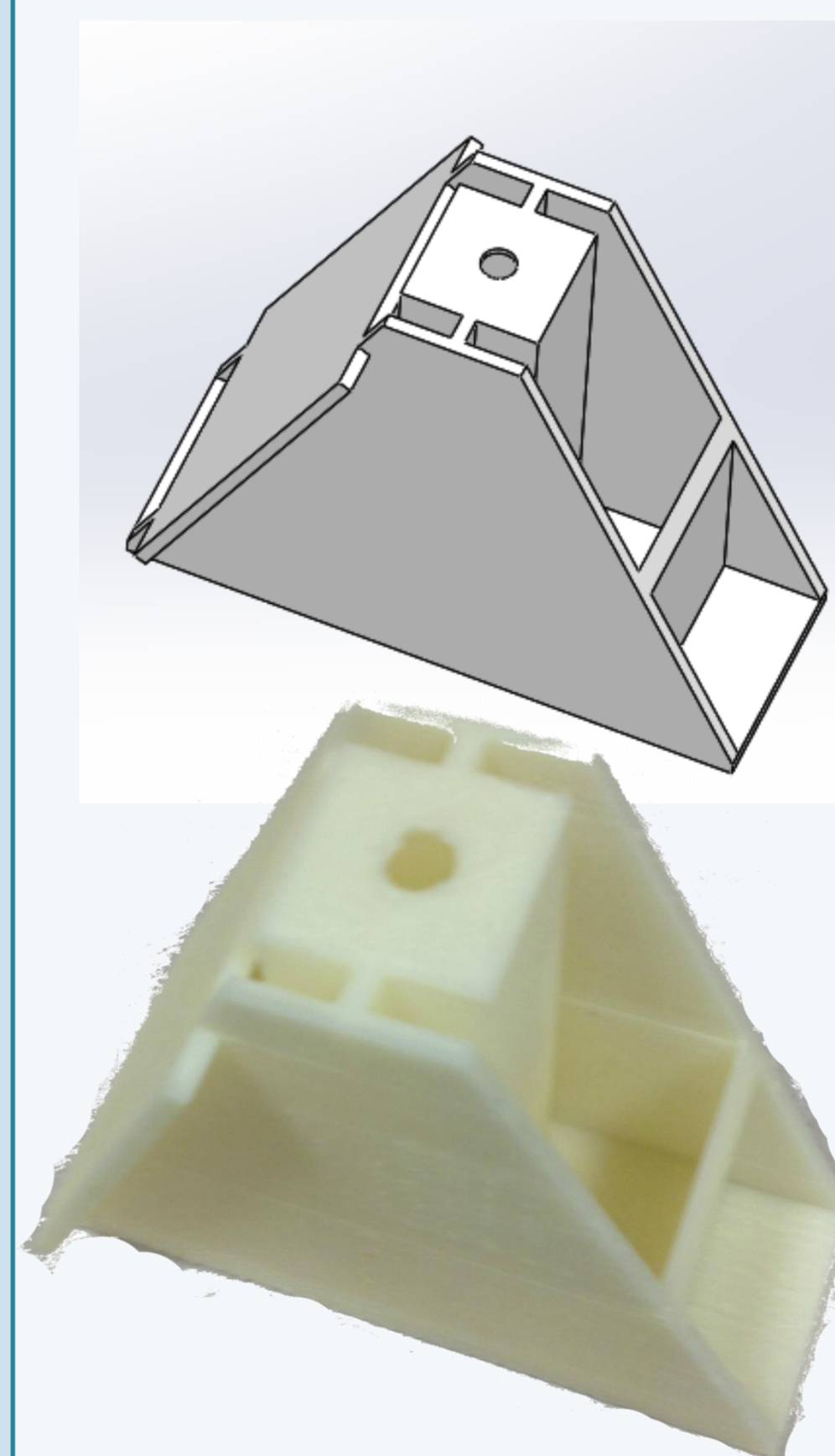


בגרסה הנוכחית של הרובוט מצופ יחליף את גוף הרובוט ויתחבר לחלק עליו יושבת מערכת התמסורת. המנוע יחובר מעל המכסה, ולא בתוך גוף הרובוט, ומעליו ישב מכסה עם הלוח האלקטרוני (כפי שניתן לראות בתמונה העליונה).



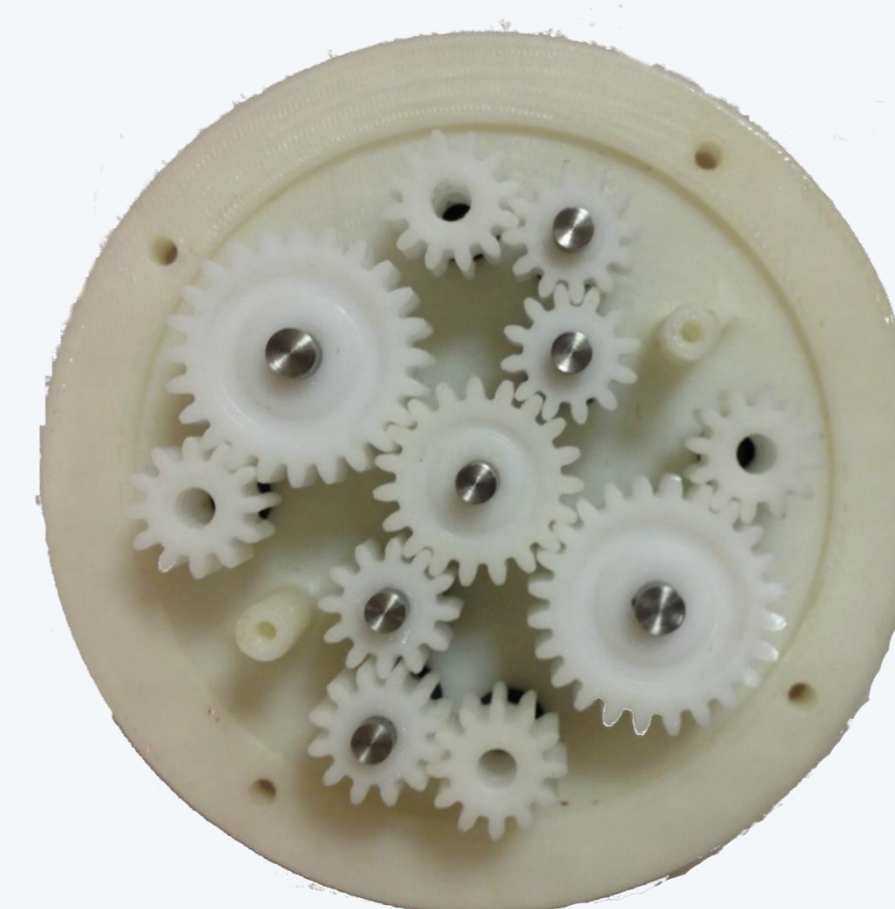
דרישות התכ

- על הרובוט להיות בקוטר מסוים ובעל מהירות סיבוב מסוימת במנועיו, וזאת על מנת לשמור על מספר רינולדס נמוך שיידמה את המצב האמיתי. שניים מהגלילים מסתובבים עם כיוון השעון, ושניים כנגדו.
- הרובוט צריך לצוף על פני הנוזל ולא להתהפך בעמידה (יציבות הידרוסטטית), ובתנועה (יציבות הידרודינמית).
- על הרובוט לתפקד לאורך זמן (ניסויים של כחצי שעה).



האתגרים

- תכן מערכת התמסורת- חיבור של מנוע אחד ל-4 גלילים אשר מסתובבים בכיוונים מנוגדים, וקביעת יחס התמסורת.
- לדאוג שהנוזל הצמיג (60,000 cSt) לא יחדור אל תוך המסבים, ויגרם לחיכוך מוגבר.
- תכן הידרוסטטי- מה יהיו ממדי הרובוט ומסתו, כך שמצד אחד לא ישקע, ומצד שני יהיה שקוע מספיק כדי לא להתהפך. כל זה נעשה תוך התחשבות בצפיפות ובצמיגות של הנוזל.
- תכנון סביבת הניסוי כך שנוכל להכניס ולהוציא את הרובוט בהתאם לצורך שלנו בקלות ובלי ללכלך את המעבדה.
- בניית לוח אלקטרוני מספיק קטן אשר יספק שליטה במתח המוצא על המנוע.



תודות

- לפרופ' יזהר אור על ההנחיה אותנו לאורך הפרויקט.
- למעייני גנדלמן ולינוי מזגאנוקר על תכנון תכן האב טיפוס המקורי של השחיין.
- למר כפיר כהן על הייעוץ וההכוונה בתכן הרובוט.
- ליעקב האוזר, אורלי לוצקי, ומשה גולן על ייצור ועיבוד החלקים המכניים.
- לאסף פוקס על חייווט המעגל האלקטרוני.
- לאילת אלטמן על עזרה בעיצוב הלוגו.