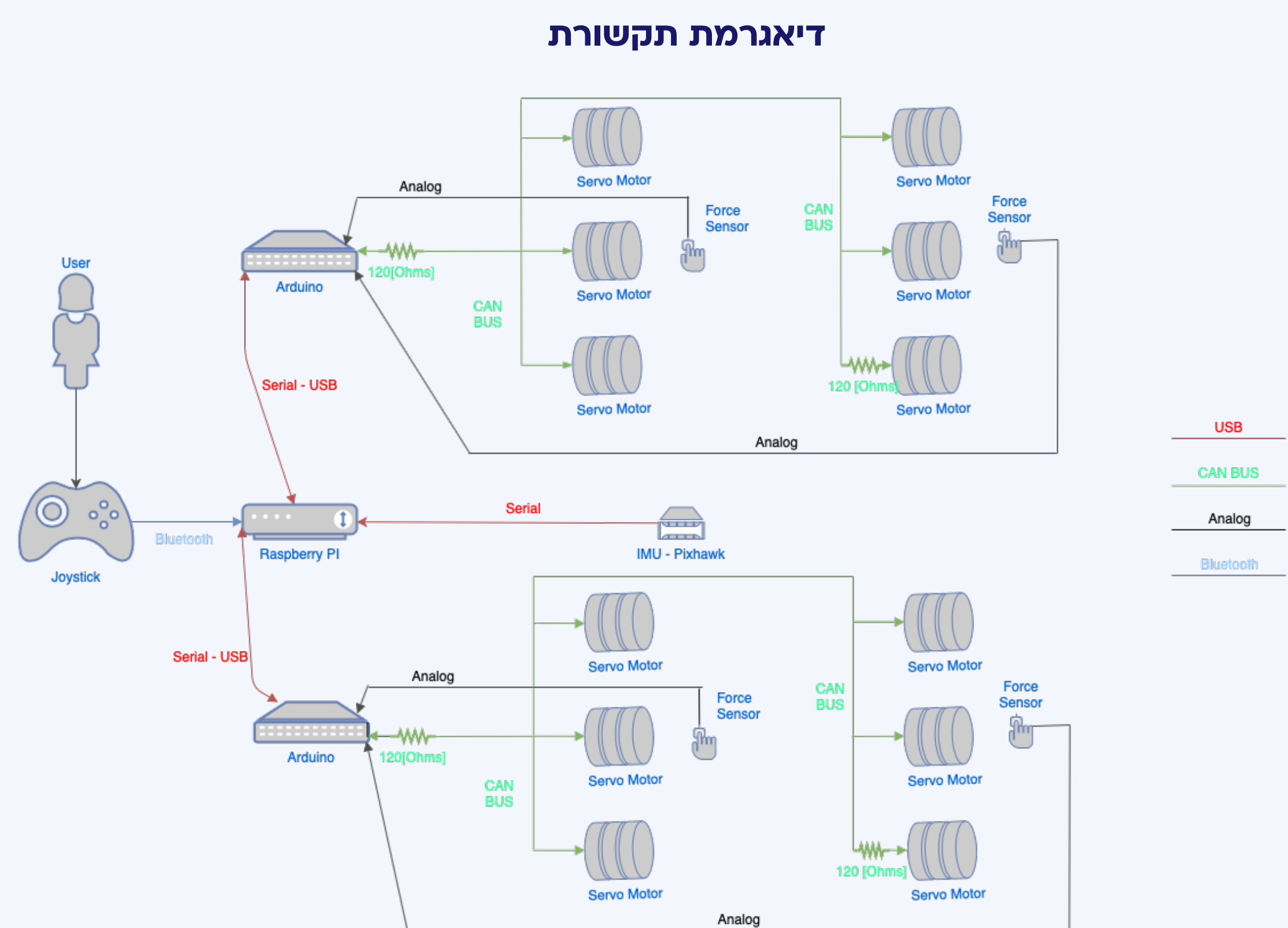


**הלקוח:** ערן ניסים, רפאל

**מנחים:** ד"ר יהודה רוזנברג  
ד"ר נעם ברוק

### מערכת ובקרה המשך



### תקציר

נדרשו לתכנן אבטיפוס לרובוט בעל מבנה ארבע רגלי עבור מרכז היזמות של חברת רפאל.

**השלב הראשון** בפרויקט היה אפיון כלל דרישות המערכת החל ממשקל הרובוט וממדיו ועד לאופן ותנאי הפעולה שלו. לטובת כך, ביצענו סקר ספרות ובחנו את המוצרים הקיימים בשוק, ביניהם: MIT Mini Cheetah, Spot By Boston Dynamics, MIT Doggo, ANYmal by Anybotics.

**לאחר סקר הדרישות, התחלקנו לשני צוותים** – צוות תכן וצוות בקרה ומערכת – כל צוות החל לעבוד על הנושאים שקשורים אליו:

**צוות התכן** – לאחר אפיון הדרישות התחלנו בתכנון ראשוני של רכיבי הרובוט אשר המנגנון העיקרי בו הוא הרגל. התכנון הראשוני בוצע על סמך סקר ספרות ואנליזות שביצענו. לאחר מכן, עברנו לשלב התכן המפורט והרכבה מלאה של כלל הרובוט תוך עמידה בדרישות שהוצבו.

**צוות הבקרה והמערכת** – לאחר אפיון הדרישות בנינו את מבנה המערכת של הרובוט כפי שמוצגת כאן. בנוסף, ביצענו את תכנון התנועה של הרובוט ובנינו סימולציה קינמטית ב-MATLAB שתציג את אופן הליכת הרובוט בכלל מצבי הפעולה. לבסוף, פעלנו למימוש הסימולציה ע"ג הפלטפורמה.

### דרישות הלקוח

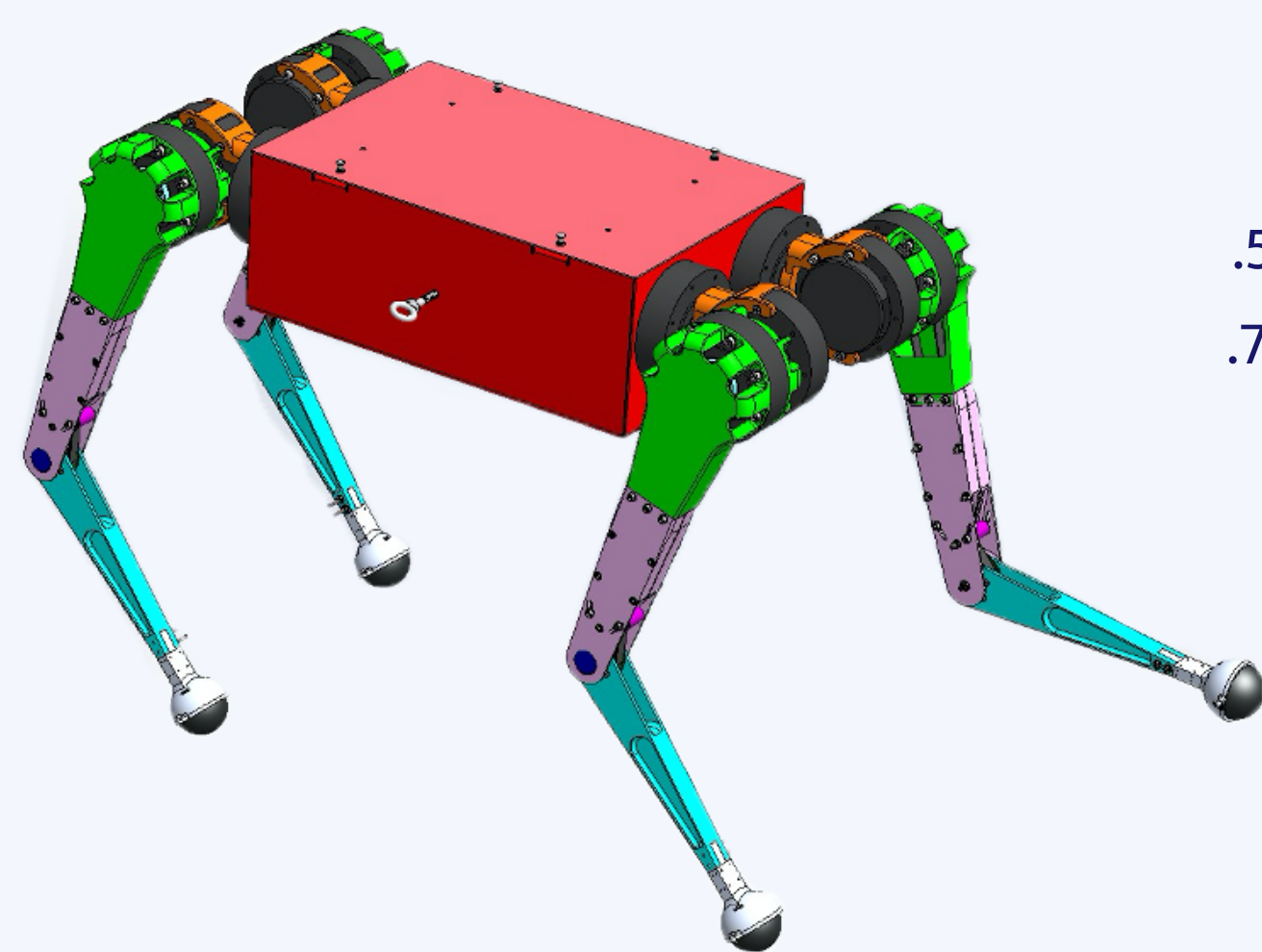
#### דרישות משקל וממדים:

- אורך, רוחב וגובה מקסימליים של הפלטפורמה הינם  $1.3 \times 1 \times 0.9$  [m].
- הפלטפורמה תהיה מסוגלת לעבור בתוך צינור ברדיוס של 60 ס"מ.
- משקל הרובוט לא יעלה על 15 ק"ג.

#### דרישות ביצועים:

- יכולת נשיאת משקל של 1.5 ק"ג בנוסף למשקל העצמי.
- זמן הפעולה מקסימלי של המערכת הינו שעה (20 דק') עמידה, 20 דק' הליכה, 20 דק' עליית מדרגות).
- הרובוט ידע להתנייד על משטח חלק ואופקי בתנאי מעבדה.
- הרובוט ינוע במישור במהירות קונית של לפחות 0.5 מטר לשנייה.
- על הפלטפורמה לנוע כך שהמרכז מוטה עד 5 מעלות לכל כיוון.
- הרובוט יהיה בעל מסוגלות להסתובב במהירות זוויתית של לפחות 5 מעלות בשנייה סביב עצמו.

### תכן מכני

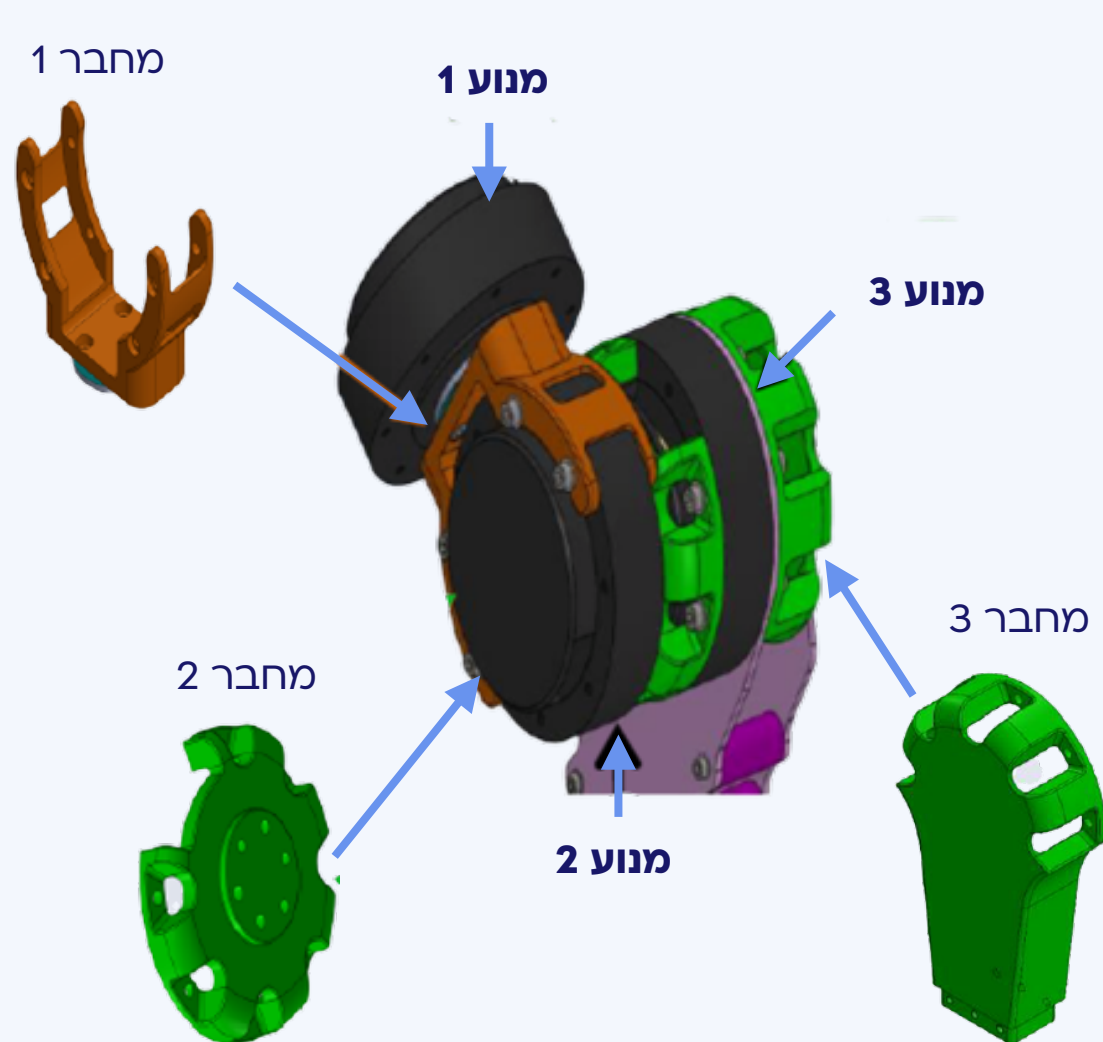


#### חומרי הגלם

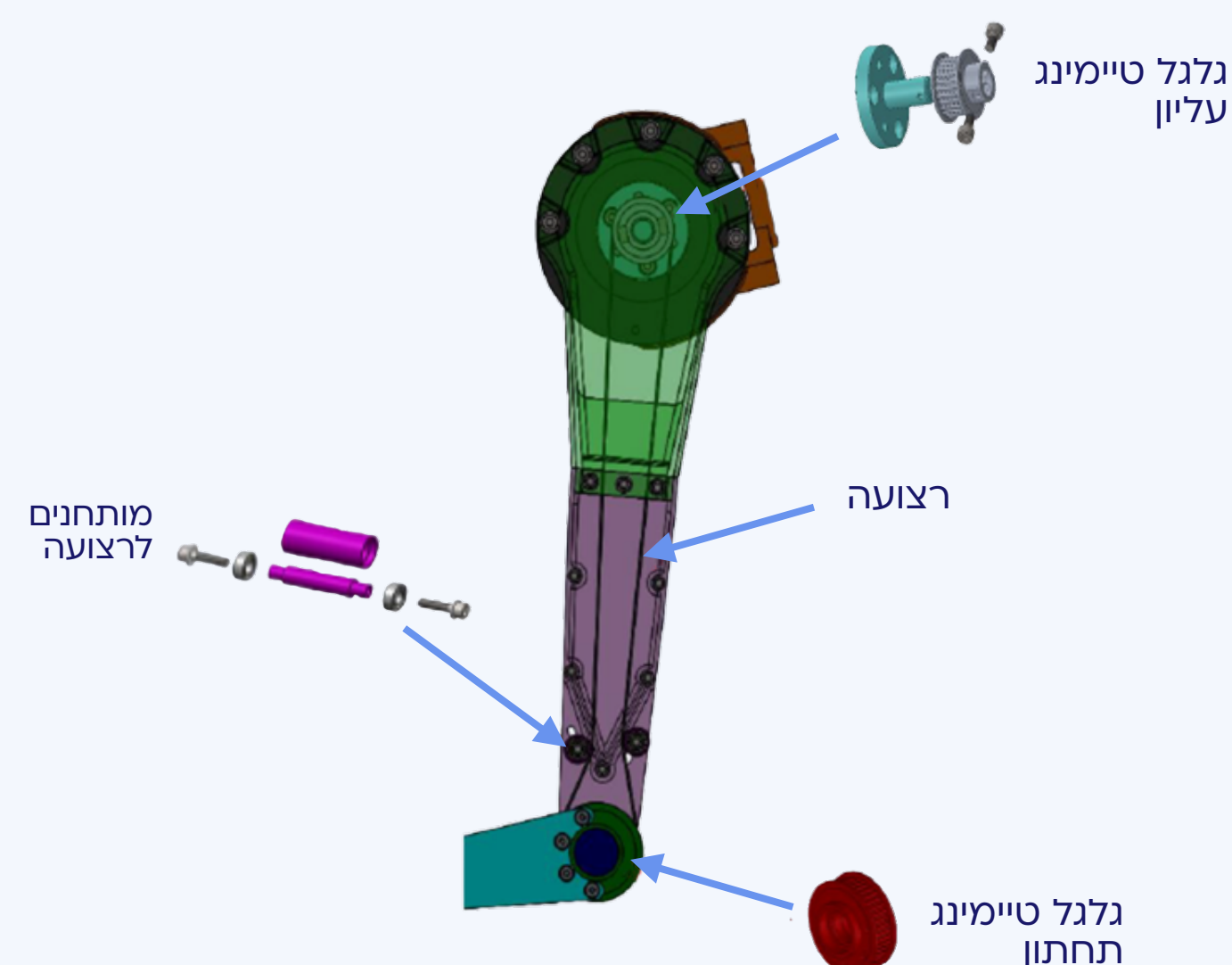
- מרכב:** עשוי אלומיניום 5052-H32.
- רגליים:** עשויות אלומיניום T6 7075.
- צירים למיסביים:** פל"ם 304.

#### מחברי המנועים

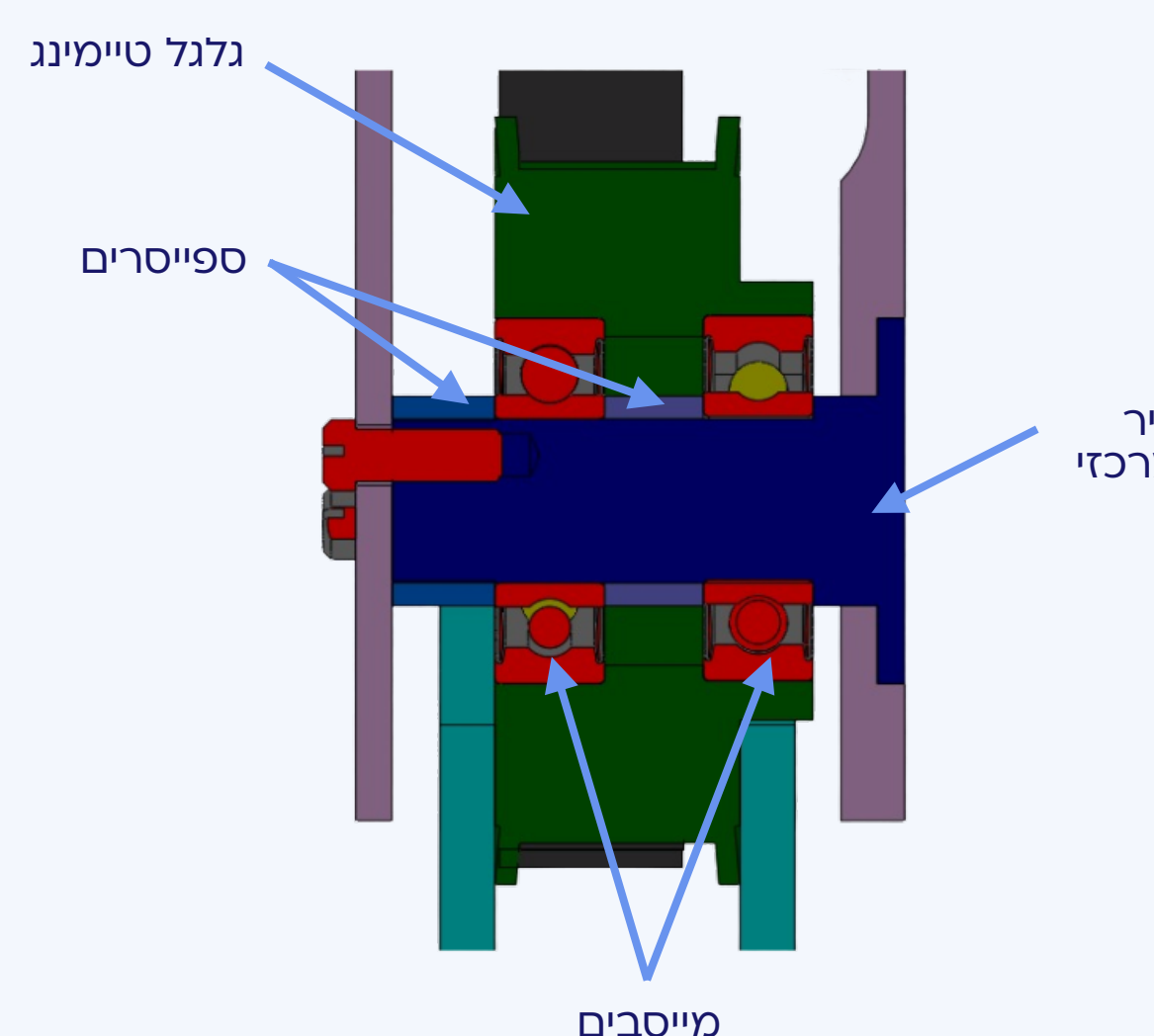
מאפשרים 3 דרגות חופש לתנועת הרגל



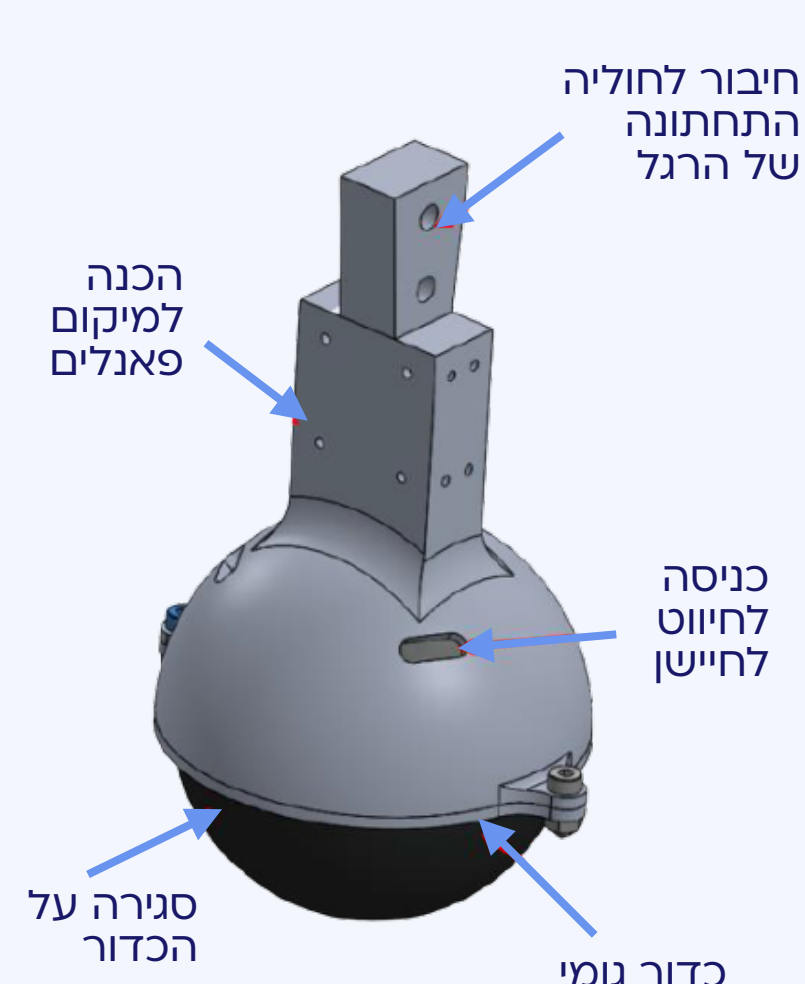
#### רגל חוליה עליונה



#### מפרק תחתון - מרפק



#### כף רגל



### אתגרים

- דרישה כללית של הקונספט כמוצר, ולא של פתרון בעיות מכניות קונקרטיות
- תכן מורכב, בעל כמה מכלולים הצריכים לעבוד במקביל
- צורך בשמירה על וורסטיליות לשימושים עתידיים
- אנליזות מורכבות הדורשות ידע וניסיון על אופן מימושן
- תכן של חלקים בעלי מימדים קטנים, אשר יחד עם זאת עליהם לעמוד בעומסים גבוהים
- מספר רב של דרגות חופש במערכת
- חוסר בידע וכלים מעשיים על מנת להוציא לפועל את הפרוייקט

### מערכת ובקרה

#### קינמטיקה ישירה והפוכה

##### רגל בודדת

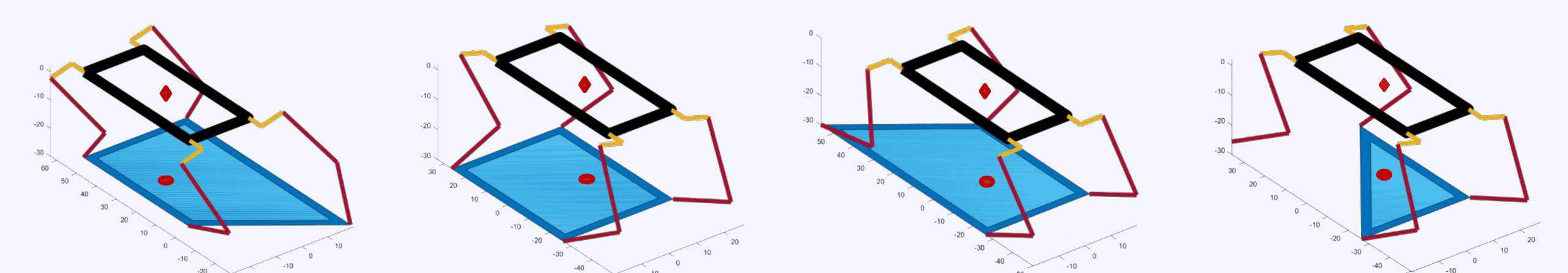
- הקצאת מערכות צירים עבור כל רגל – פתרון בעיית הקינמטיקה הישירה וההפוכה.
- פתרון זה מאפשר לשלוט על כל רגל בנפרד ולקבוע את מיקום כף הרגל בתוך מרחב העבודה שלה.

##### מרכב ורגליים

- הקצאת מערכות צירים עבור כל הרגליים ביחס למרכז המסה וביחס לעולם.
- פתרון בעיית הקינמטיקה הישירה וההפוכה עבור כל הרובוט כרובוט מקבילי.
- בשלב זה, ניתן לקבוע מיקום ואוריינטציה עבור המרכב.

#### תכנון התנועה (GAIT)

- בפרוייקט מידלנו שלושה סוגי תנועה: קדימה-אחורה, סיבוב במקום והליכה צידית (הליכת סרטן).
- תכנון כי התנועה כולה תתבצע במעברים בין מצבים יציבים של הרובוט.
- תנאי הכרחי לשיווי משקל יציב הינו דרישה כי היטל מרכז המסה בכל רגע ימצא בתוך הפוליגון הנקבע ע"י נקודות המגע של הרובוט עם האדמה.
- על מנת להתגבר על אי הוודאות במיקום מרכז המסה דרשנו כי היטלו יהיה בתוך פוליגון פנימי שגודלו נקבע על ידי מקדם ביטחון.



### תודות

מהנדס מעבדה: **מר רומן שמסוטינוב**  
מזכירת המרכז לרובוטיקה: **גב' לאה שטרן**  
יצרן המרכיבים: **מר מרטין דינג**  
כל צוות מעבדת מייקרי רפאל

מנחים: **ד"ר יהודה רוזנברג, ד"ר נעם ברוק**  
ליווי והקמת הפרוייקט: **מר ערן ניסים**  
מהנדס מעבדת תכן לייצור: **מר כפיר כהן**  
מרצה הקורס: **ד"ר חי אזולאי**