

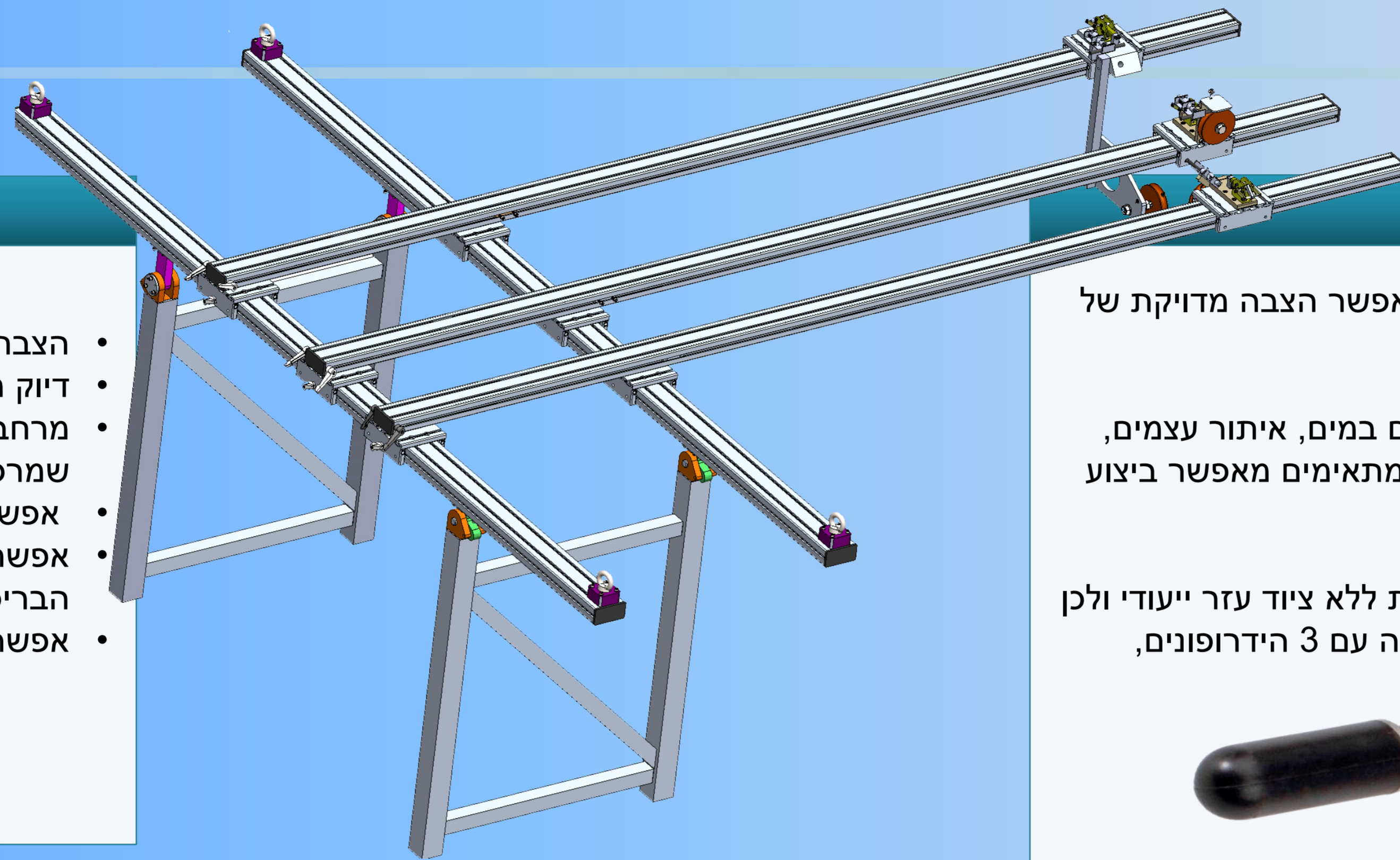
הלקוח

אלכס אלפרין, רפאל

נועם מגני, אודליה סיטבון ואבי לוי

דרישות הלקוח

- הצבת שלושה הידרופונים מסוג TC-4034 בתוך הבריכה.
- דיוק מיקום נדרש ± 20 מ"מ בכל כיוון.
- מרחב פעולה – קובייה בעלת ממדים של $2*2*2$ מטרים, שמרכזה בעומק 5 מטרים.
- אפשרות מיקום רציפה בכל הכיוונים.
- אפשרות הצבה של שלושת ההידרופונים על קו ישר, לאורך הבריכה או בניצב לה.
- אפשרות לקרב את ההידרופונים עד למגע ביניהם.



תקציר

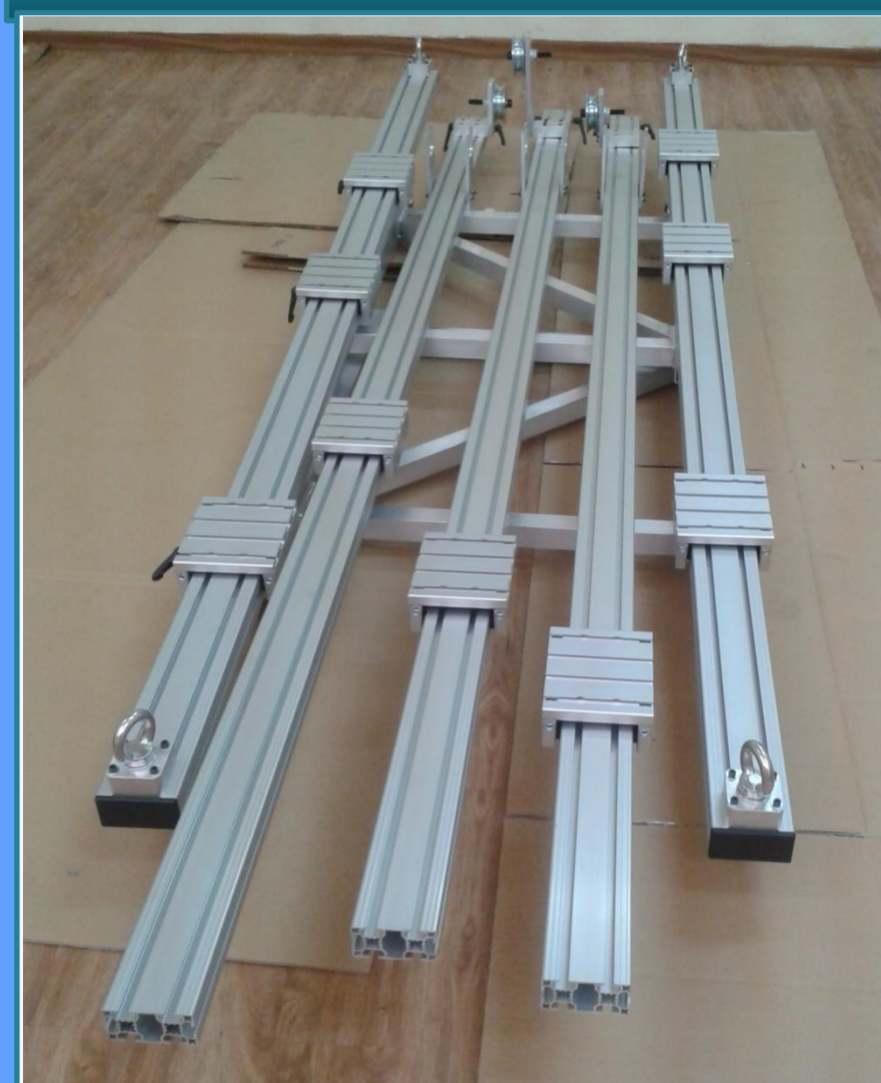
לצורך ביצוע מדידות אקוסטיות בבריכת הניסויים ברפאל דרושה מערכת שתאפשר הצבה מדויקת של שלושה הידרופונים במים בעומק ומיקום משתנה.

רקע: מדידות הנעשות בבריכת הניסויים נובעות מהצורך בחקירת גופים שונים במים, איתור עצמים, איכון מטרות, ניווט תת ימי, מיפוי הקרקעית ועוד. שימוש במערך הידרופונים מתאימים מאפשר ביצוע פעולות אלה בדיוק הנדרש.

המערכת תאפשר ביצוע מדידות בעזרת 3 הידרופונים. הפעולה כיום מתבצעת ללא ציוד עזר ייעודי ולכן מוגבלת לשימוש בהידרופון אחד או שניים. המערכת המוצעת מאפשרת עבודה עם 3 הידרופונים, ובעתיד יהיה ניתן אף להוסיף עוד הידרופונים.



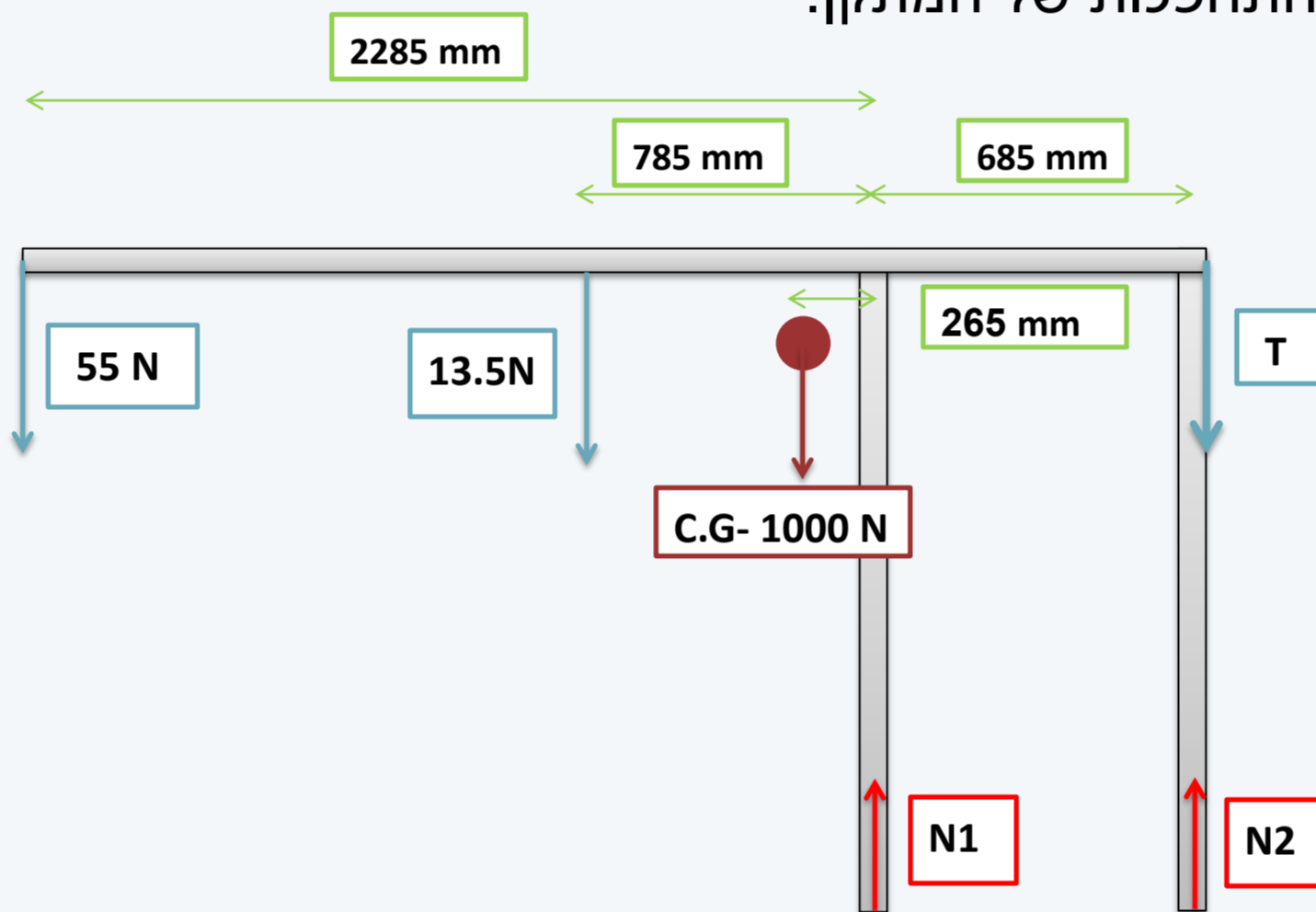
שימוש במערכת



מצב מקופל: במצב זה המתקן מאוחסן ותופס נפח מינימלי. בעת שימוש, עובדי רפאל מרימים את המתקן אל הגשר באמצעות עגורן.

חישובים

מרכז הכובד של המערכת נמצא מחוץ לבסיס (רגלי המתקן), על מנת למצוא את רכיבי הריתום, בוצע חישוב בעזרתו נקבע את הכוחות הנדרשים כך שלא תתרחש התהפכות של המתקן.



בעת התהפכות התגובה ברגליים האחוריות תהיה אפס. החישוב בוצע במצב קיצוני - כאשר כל הזרועות נמצאות בקצה קורות ה-Y (מרחק של 2 מטר מהגשר) וההידרופון נמצא בעומק מרבי של 6 מטרים. לצורך החישוב, מסת המתקן חולקה לשלושה חלקים:

- 1- מרכז הכובד (1000 N) הכולל את משקל רכיבי כל המערכת פרט למשקל ההידרופון והכבל - חלקו האופקי וחלקו האנכי.
- 2- הכוח 55 N הכולל את המשקל של שלושת ההידרופונים עם הכבלים שיוצרים למים (ללא הפחתת כוח הצפיפה):

$$F_{hydrophone} = \left(10[m] \cdot 0.15 \left[\frac{kg}{m} \right] + 0.3[kg] \right) \cdot 3 \cdot 10 \left[\frac{m}{sec^2} \right] = 55[N]$$

- 3- הכוח 13.5 N הכולל את משקל כבל ההידרופון שנמצא על קורת ה-Y:

$$F_{cable} = 3[m] \cdot 0.15 \left[\frac{kg}{m} \right] \cdot 3 \cdot 10 \left[\frac{m}{sec^2} \right] = 13.5[N]$$

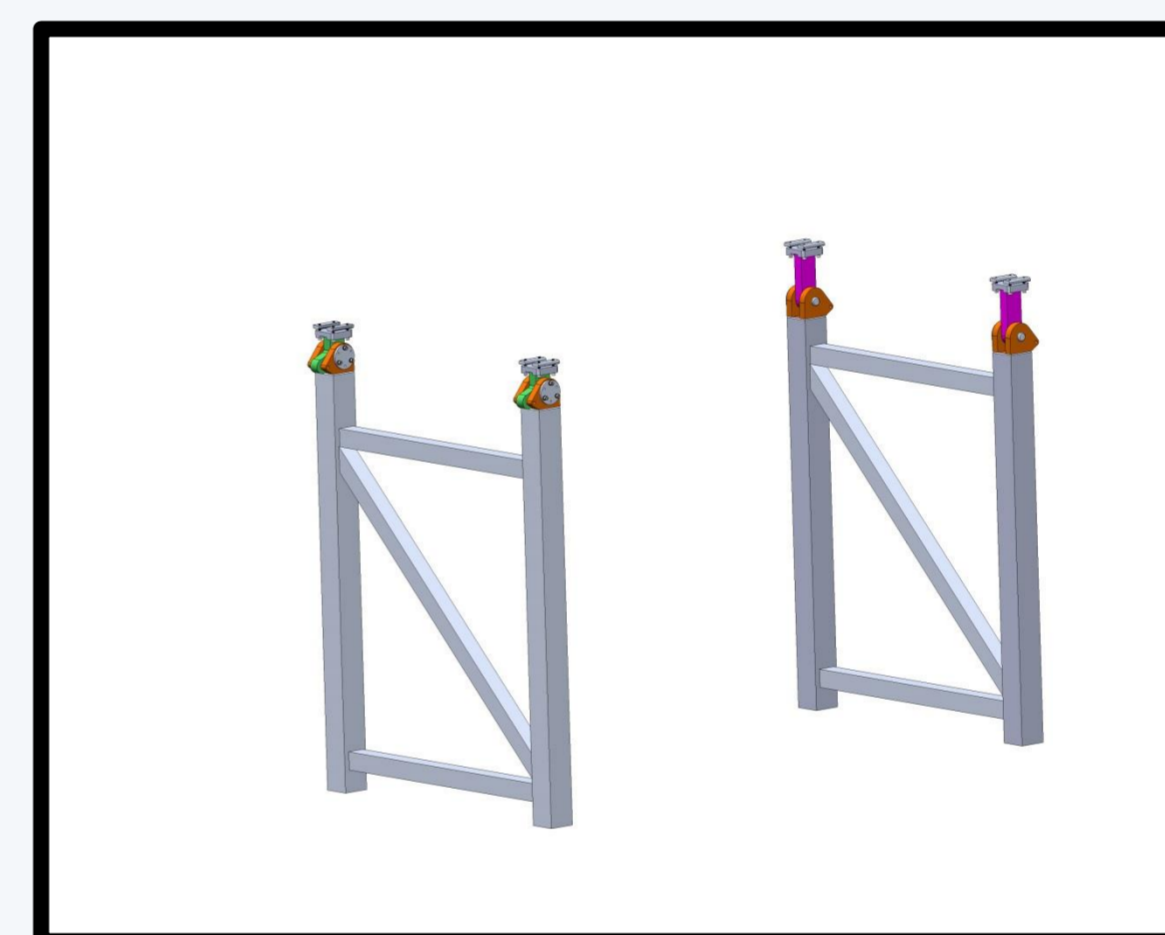
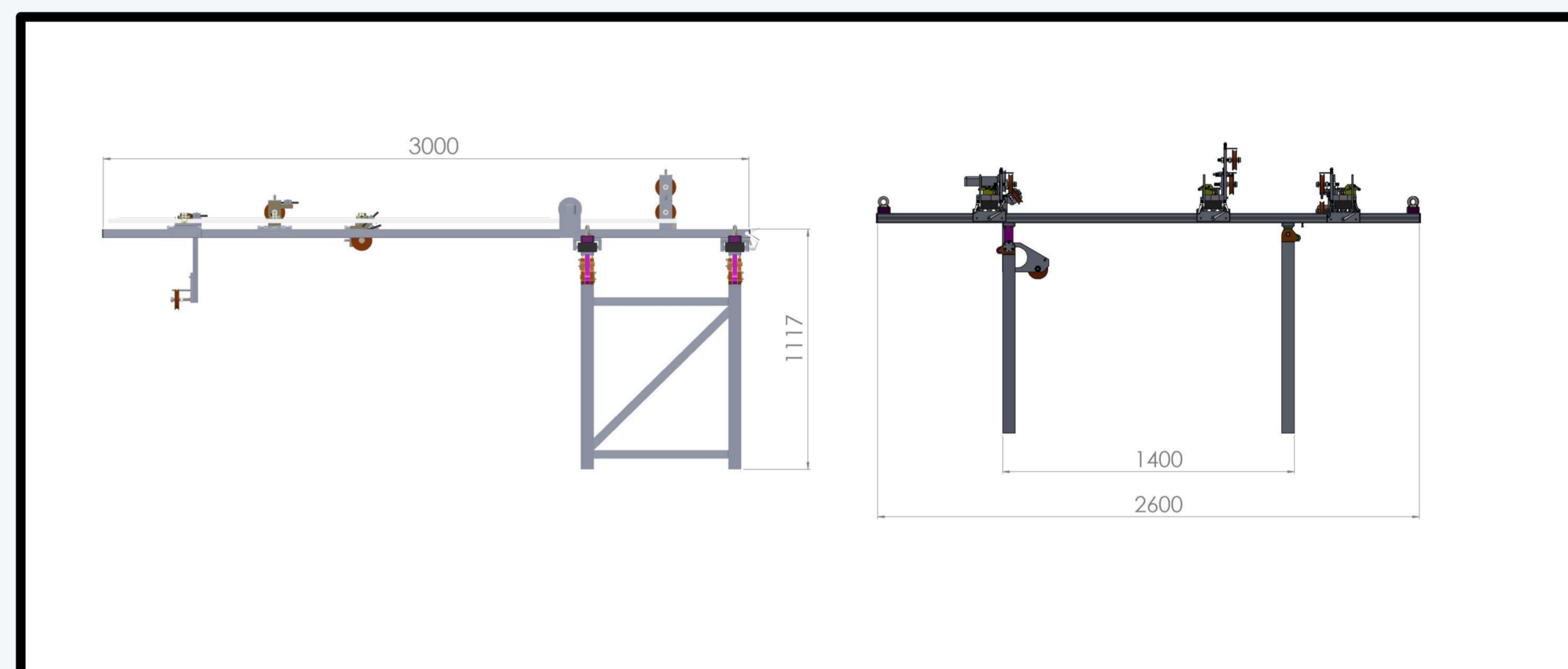
משוואת מומנטים סביב נקודה N1:

$$\sum M_1 = (N_2 \cdot 0.685) - (T \cdot 0.685) + (C.G. \cdot g \cdot 0.265) + (13.5 \cdot 0.785) + (55 \cdot 2.285) = 0$$

$$\rightarrow T = 586[N]$$

כוח הריתום הנדרש:

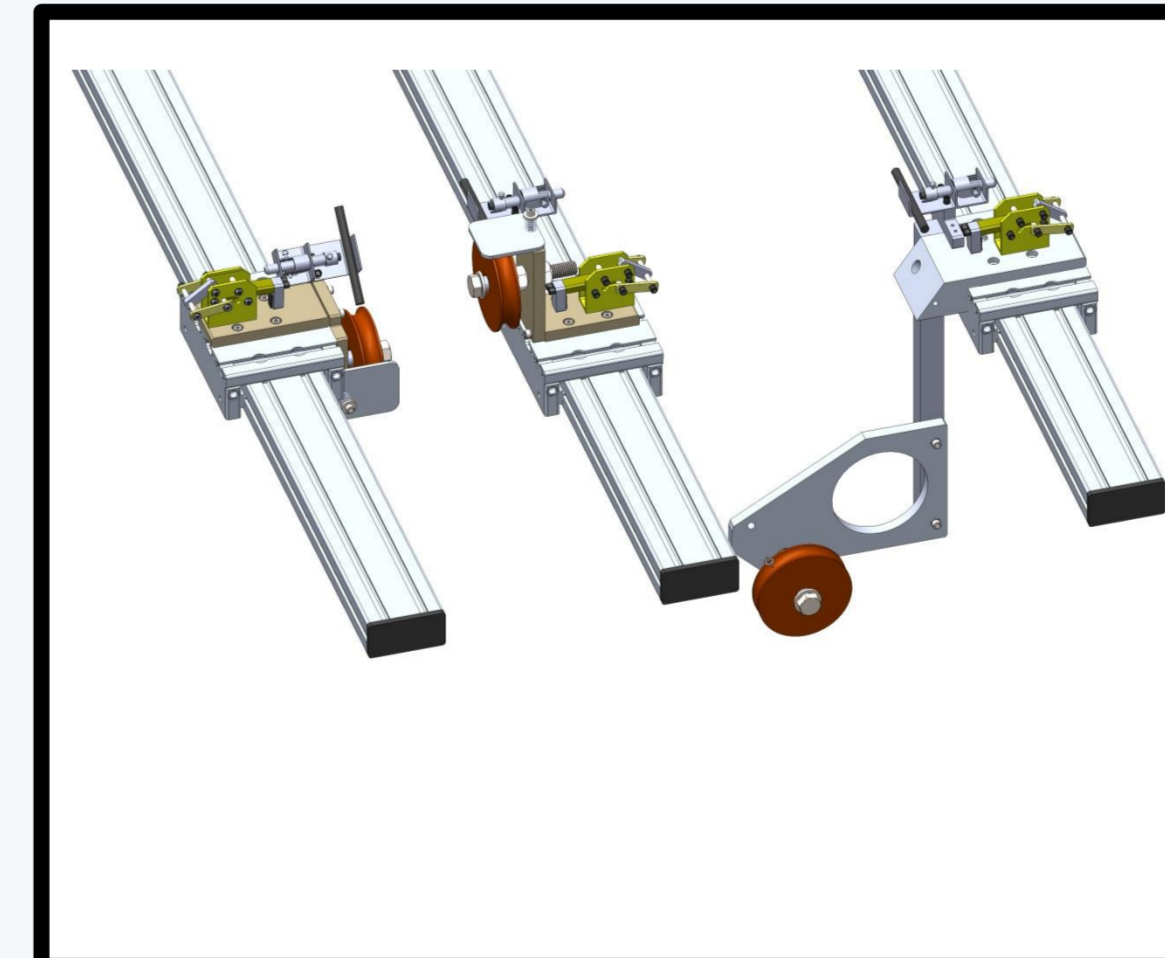
תיאור המערכת



הרגליים תוכנו כך שניתן יהיה לקפלן לצורך שינוע ואחסון. הרגליים מכילות מנגנון נעילה.



הפרופילים שנבחרו למנגנון התנועה בשני הצירים לרוחב הבריכה (הוגדר כציר X) ולאורך הבריכה (הוגדר כציר Y) הנם פרופילים סטנדרטים המיועדים למכלולים מודולריים ומותאמים לצרכי הפרויקט - תנועה בכיוונים X ו-Y. התנועה מושגת בעזרת חיבור לקרניות המתאימות לפרופילים.



הזרועות שדרכן כבל ההידרופון מובל למים תוכנו כך שניתן יהיה להצמיד בין שלושת ההידרופונים עד למגע ביניהם. על הזרועות גם קיימות מערכות הקיבוע בשני כיוונים: הכיוון שבו הן נעות (הוגדר כציר Y) והכיוון של ירידת הכבל למים (הוגדר כציר Z).

תהליך עבודה:

בתחילת העבודה, כל קורות ה-Y יהיו צמודות לאחד מקצוות המתקן.

- **תנועה ב-Z:** המפעיל מוריד את ההידרופון לעומק של 4 מטרים עד אשר מגיע לסימון הנמצא על גבי הכבל. לאחר מכן על מנת להגיע לעומק הרצוי (4-6 מטר) המפעיל משתמש במכשיר ייעודי הסופר אורך כבל, ובהגעה למיקום הרצוי נועל אותו.
- **תנועה ב-X:** המפעיל ממקם את הזרועות בעזרת כלי עזר ייעודי ונועל אותן במקום הרצוי.
- **תנועה ב-Y:** המפעיל דוחף את הקרניות לאורך ציר ה-Y ונועל אותן במקום הרצוי בעזרת מנגנון נעילה.
- ההידרופונים ממוקמים במרחב ומתבצעת המדידה האקוסטית.

תודות

ברצוננו להודות לאנשים הבאים שעזרו, תמכו, ייעצו ותרמו להצלחה במשימה:
מר גיורא גורלי - על אינספור שעות ההנחייה והלימוד.
מר אלכס אלפרין - על הסבלנות וההבנה.
ד"ר חגי במברגר - על ההרצאות המעניינות והמלמדות.
מר כפיר כהן - על הייעוץ והתמיכה.
מר סמיון גוברמן - על המאמץ ועמידה בלוחות הזמנים הצפופים.
גב' לאה שטרן - על העזרה הלוגיסטית.
מר יעקב האזר ועובדי המעבדה לתהליכי ייצור, הנדסת מכונות, הטכניון.
תודה ענקית למשפחות והחברים שתמכו בנו וקיבלו בהבנה לילות לבנים.

האתגרים

- בחירת קונספט אשר יענה על הדרישות הרבות, על דיוקי ההצבה ויאפשר עבודה בטיחותית, נוחה ועל ידי מפעיל בודד.
- תוך כדי הפיתוח דרישות הלקוח הוחמרו: הצבת ההידרופונים בקו ישר לאורך הבריכה או לרוחב הבריכה כאשר המרחקים ביניהם קטנים ככל האפשר, עד כדי מגע.
- הנדסת אנוש - למדנו לתכן חלקים עד הפרט האחרון בכדי למנוע אי נוחות או סכנה מצד המשתמש.