

Figure 1-מבט איזומטרי של המערכת

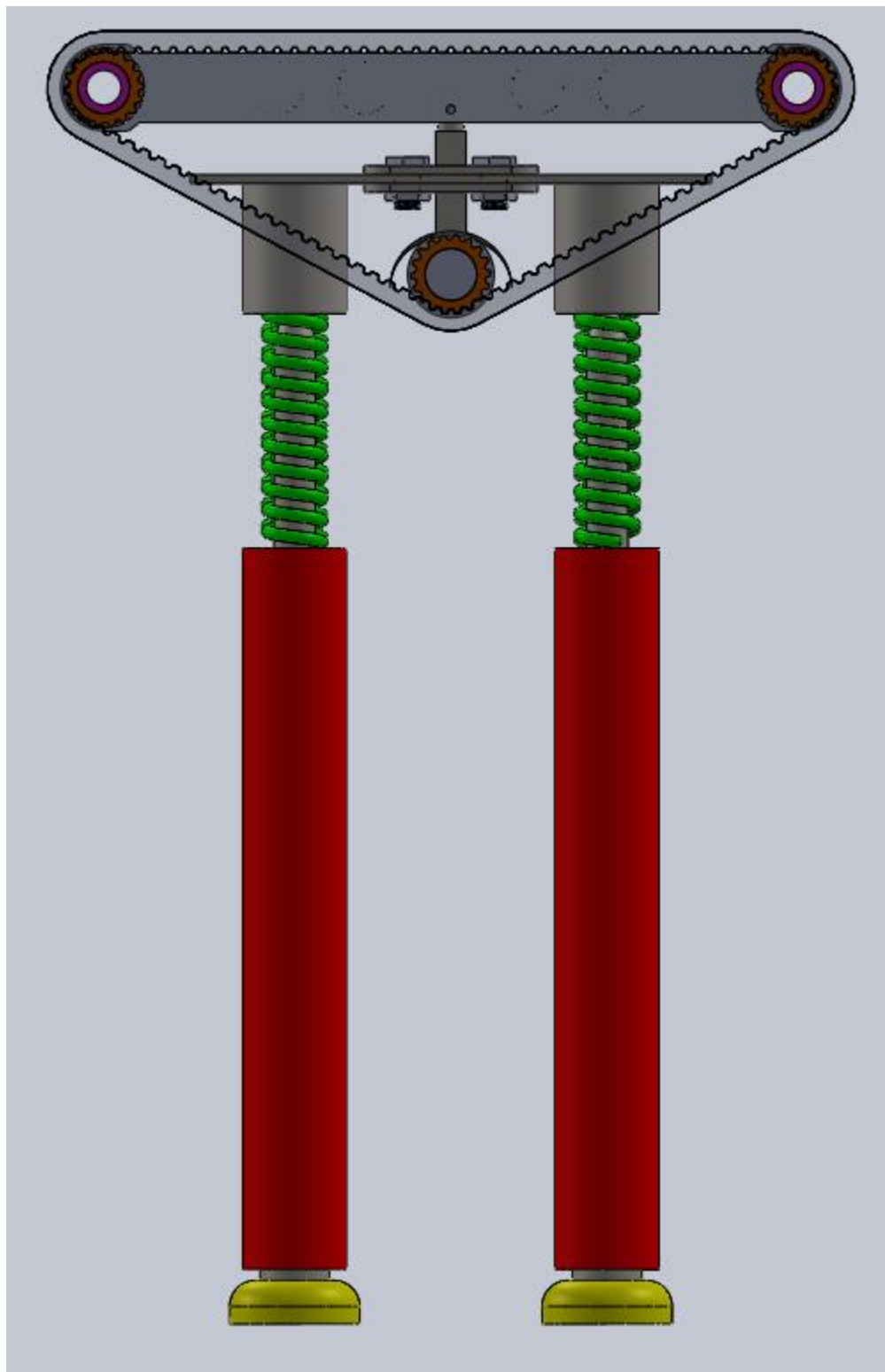


Figure 2-מבט קדמי על המערכת

Contents

6	1. פתיח
7	2. מבוא
7	2.1 סקר ספרות
8	2.2 הגישה המוצעת
10	2.3 העקרונות הפיזיקליים
10	2.3.1 העקרון הפיזיקלי של קפיץ:
11	2.3.2 העיקרון הפיזיקלי של חישן Eddy Current:
12	2.3.3 מנגנון ה-ADC
13	2.4 בטיחות
13	2.4.1 בטיחות אנושית
13	2.4.2 בטיחות הכלים
14	3. מדידות חישובים ותוצאות
14	3.1 אנליזות
15	3.2 חישובים
15	3.2.1 עיקרון מדידת המשקל
20	3.2.2 כוחות הפועלים על משקל
20	3.2.3 חישוב מאמץ של קפיצים
21	3.2.4 מומנט נומינלי של מנוע ה-DC הדרוש למערכת
25	3.2.5 גלילי מסוע המתאימים לעומסים
25	3.2.6 חיי אורך המסב
28	3.2.7 חישובי ברגים
30	3.2.8 חישובי התמסורת הטריזית
33	4. סרטוט המערכת
35	5. בחירת הבקר והממסר
35	5.1 עיקרון הפעולה של ממסר
35	5.2 הבקר הנבחר
38	5.3 אמצעי בטיחות ועצירה
40	5.4 צורת החיבור של הבקר והממסר למנוע
41	5.5 תרשים זרימה של בקרת תהליך
43	6. סיכום מסקנות והמלצות
44	7. ביבליוגרפיה
45	8. נספחים

45.....8.1.אנליזות חוזק

45..... Holder

47.....גליל תמיכה

49.....גליל סיבוב

51.....Connector

53.....8.2.שרטוטים

1. פתיח

הפרויקט בא לתת מענה פשוט לשקילת משקלים כבדים בצורה פשוטה וקלה לפי עקרון של קפיץ מתכווץ.

בפרויקט אנו נתכנן מערכת הנותנת מענה לדרישות שלנו בעזרת תכנון חלקים המתאימים למאמצים שאנו נגדיר ובחירת רכיבים אלקטרוניים ומכניים הזמינים בשוק.

הפרויקט מכיל משקל המונח על משטח שקילה שבו בעזרת התכווצתם של קפיצים משקלו נודע ומנוע חשמלי מופעל לכיוון שמאל או ימין בעזרת בקר PLC בהתאם לתוצאת השקילה. לאחר מכן המשקל ממשיך לטיפול במפעל בהתאם למשקלו והמשקל הבא מונח על משטח השקילה.

השיטה שבה המערכת מסוגלת להסיק מה המשקל של המסה שמקווצת את הקפיצים שלה היא בעזרת חיישן שעובד על עיקרון ה-Eddy-Current שמודד כמה ירד המשטח ובעקבות זאת אנו יכולים להסיק מה המסה של הגוף.

לאחר מכן באמצעות מערכת של ממסרים שמחוברים ל-PLC אני מסוגלים להפעיל מנוע לזרם ישר כך שיזיז את המסה לכיוון אחד מסוים כך שימשיך לנוע במפעל להמשך עיבוד.

2.1 סקר ספרות

בשוק קיימות מכונות שונות המסוגלות לסנן טווח רחב מאוד של משקלים. המכונות האלה פועלות בתעשיית המזון בסינון של בשרים, ביצים, סוגים של אורז, סוגים שונים של תה, גרעינים, בוטנים ועוד[1]. בתעשיית התרופות משתמשים במכונות הללו עבור מדידה מדויקת של גלולות, כדורים וקפסולות כדי לראות אם הם עומדים בסטנדרטים של חברת התרופות[2]. בנוסף ניתן להשתמש במכונות מיון אפילו בשביל מיון במפעלי בגדים[3]. ברמה הבסיסית הרבה מהמכונות בתעשייה עובדות בתהליך של קו מסוע הנע באופן קבוע ואינו מפסיק ותוך כדי הפעולה קורה תהליך הסינון.



Figure 3- מכונת מיון לפי משקל של חברת Shanghai Bofeng Electronics

2.2. הגישה המוצעת

הגישה המוצעת מתבססת על תהליכים מכניים הכוללים קפיצים מתכווצים והנעת מנוע ומתהליכים אלקטרוניים הכוללים ממסרים ומערכת בקרה שאתה מנהל המכונה יכול להפעיל את המערכת ולעצור אותה בהתאם לדרישותיו.
המכונה המתכוננת מכילה:

1. שולחן עם גובה מתכוונן אשר מכיל קפיציות ברגליותיו.
2. מסוע נע שאפשר לבצע בו גם שקילה.
3. מנוע חשמלי הפועל ב-2 כיוונים בהתאם לתוצאת השקילה.
4. מערכת בקרה הפועלת בעזרת ממסרים.
5. מסבים.

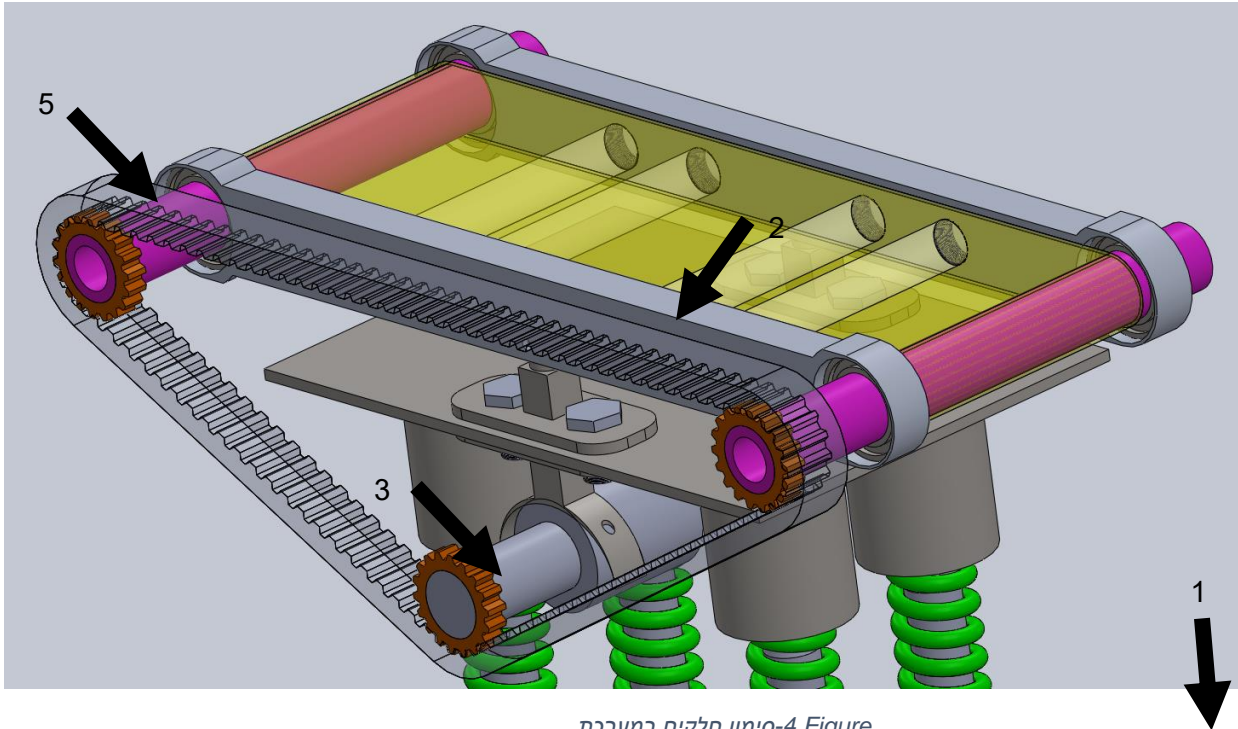


Figure 4-סיומן חלקים במערכת

תהליך העבודה של המערכת הוא תהליך של מספר שלבים בסיסיים:

מוצר מסוים במשקל לא ידוע נופל על המסילה

המוצר נשקל

בהתאם למשקלו הוא מוזז ימינה או שמאלה עד שהוא מגיע למסוע
הבא שם עבודתו ממשיכה בהתאם לצרכים התעשייתיים.

המנוע החשמלי יושב בתוך מחזיק המנוע, מחזיק המנוע מחובר מתחת לפלטפורמה המרכזת עליה 2 מחזיקים
ועליה נוכל למקם את הבקר. הפלטפורמה בטוחה משום שכל המשקל שנוחת על המסוע מועבר דרך המחזיקים
והמחבר מטה אל הקפיצים.

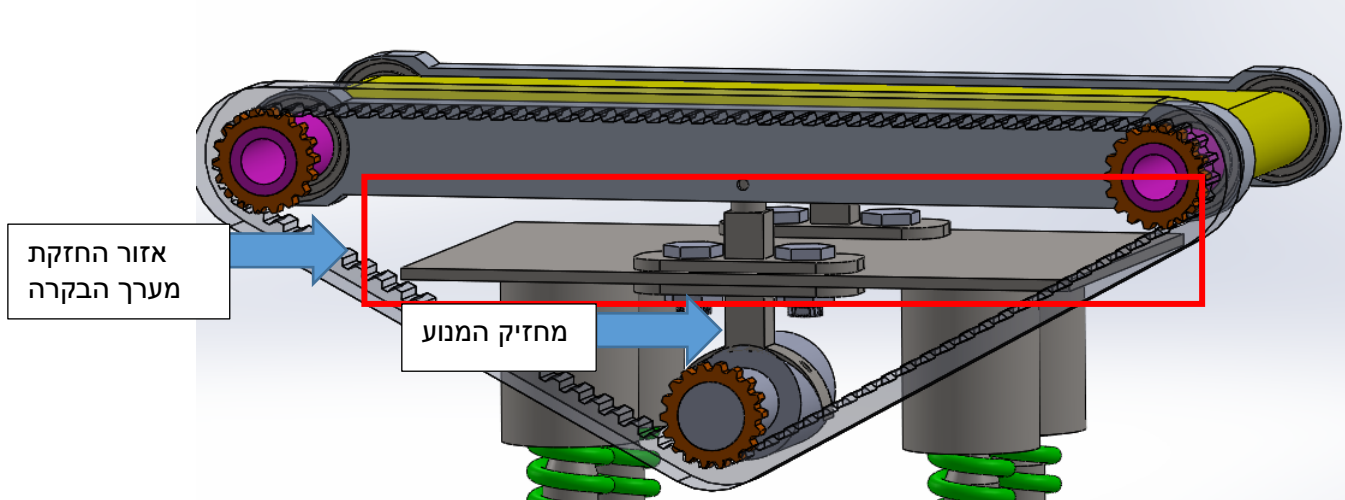


Figure 5-מיקום הפלטפורמה התומכת

2.3. העקרונות הפיזיקליים

העקרונות הפיזיקליים השונים של המערכת כוללים אנליזת בקרה של מערכת קפיץ, עקרון הפעולה של ממסר, עיקרון הפעולה והמאמצים שפועלים ברצועה טריזית וחיישן מסוג Eddy Current.

2.3.1. העקרון הפיזיקלי של קפיץ:

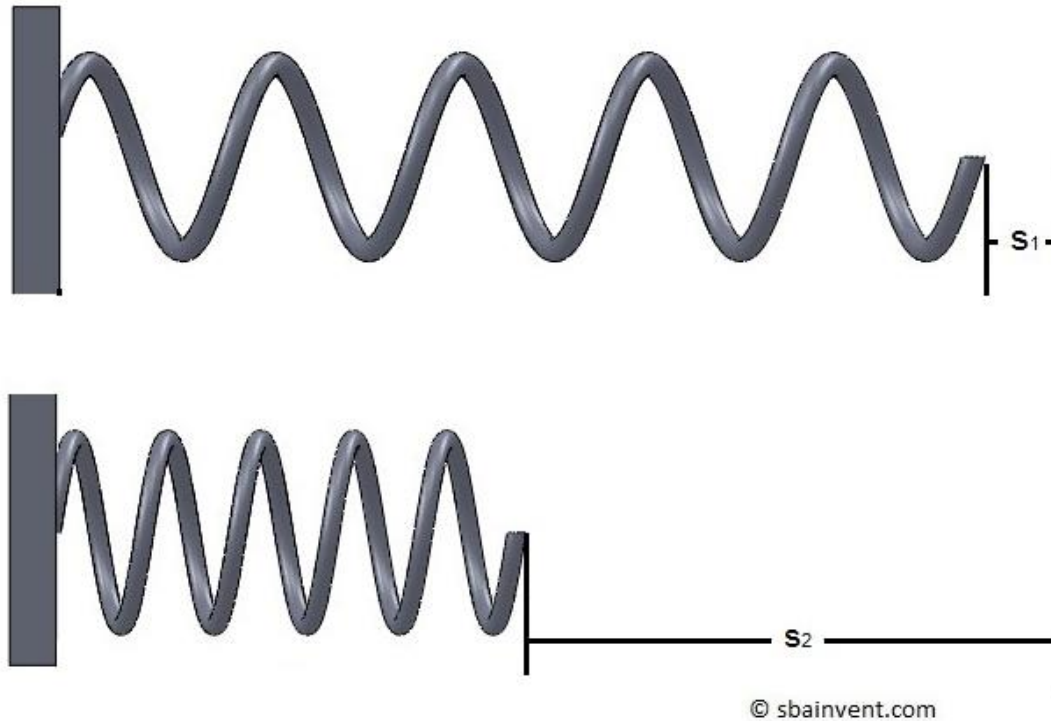


Figure 6-דיאגרמה של קפיץ לפני ואחרי לחיצה

כאשר קפיץ נלחץ הוא מתכווץ (או נמתח) ואוגר בתוכו אנרגיה פוטנציאלית המתנגדת לכוח הלוחץ אותו. המשוואה השולטת בהעברת הכוח לקפיץ והכוח אשר הקפיץ מפעיל בחזרה היא:

$$F = -k\Delta x$$

כאשר F הוא הכוח, Δx הוא המרחק בו הקפיץ התעוות ו- k הוא קבוע הקשיחות של הקפיץ. במערכת שלנו יש 4 קפיצים מחוברים במקביל לכן המשוואה השולטת בהן היא:

$$F = -k_1\delta_1 - k_2\delta_2 - k_3\delta_3 - k_4\delta_4$$

כאשר k הוא מקדם הקשיחות של כל קפיץ ו- δ הוא המרחק אותו הקפיץ עבר, אך משום שאנו משתמשים באותו סוג של קפיץ והתזוזה של כל הקפיצים במקביל היא אותה התזוזה:

$$k_1 = k_2 = k_3 = k_4; \delta_1 = \delta_2 = \delta_3 = \delta_4$$

לכן:

$$F = -4k\delta$$

אנו לא נצטרך להתחשב במשקל הכולל של המערכת כי כאשר מעל הקפיצים משום שהמשוואה לעיל אינה מתחשבת במיקום אלא רק בתזוזה יחסית.

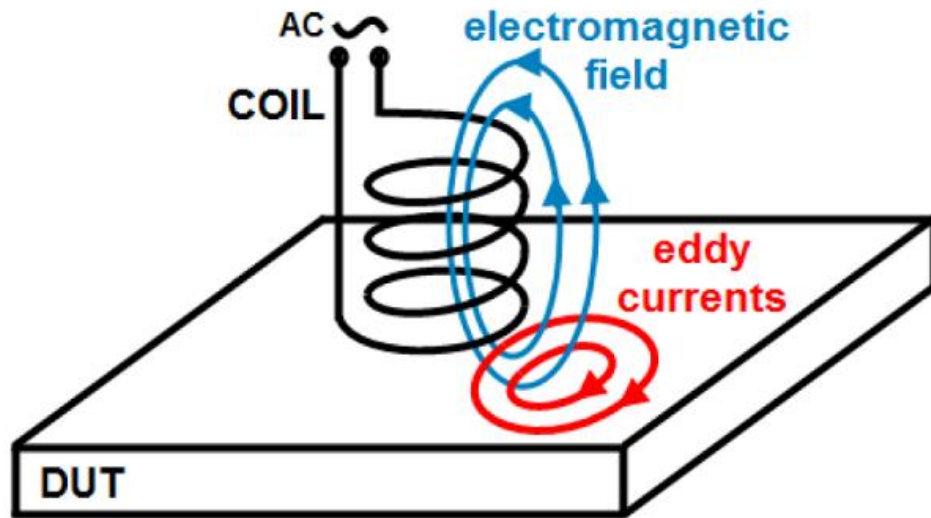


Figure 7-דיאגרמה של Eddy Current

כאשר אנו מזרימים זרם דרך סליל אנו יוצרים שדה אלקטרומגנטי המקיף את הסליל. אילו היינו מקרבים את השדה המגנטי שהסליל מפיק לחומר מוליך מגנטי הוא ייצור בתוכו זרם חשמלי שבתורו ייצור שדה מגנטי שיפריע לשדה המגנטי של הסליל. ככל שאנו מקרבים את הסליל לחומר המוליך, ככה אנחנו נקבל הפרעה גדולה יותר ולכן אנו יכולים להסיק מה המרחק מהסליל למשטח המוליך. [4]

בעיה שעלתה במהלך הצעת הפתרון היא שהתחום תזוזות שהחיישן מסוגל לגלות הוא תחום יחסית מוגבל אך משום שאנו שולטים במערכת אנו יכולים להגדיר קפיצים גדולים יותר כך שנדרש יותר כוח כדי לכווץ אותם ונוכל לקבל כל תזוזה שנרצה.

2.3.3. מנגנון ה-ADC

ADC הוא רכיב אלקטרוני שממיר אות אנלוגי לאות דיגיטלי שמשמעותו analog to digital converter .

אות אנלוגי הוא אות המתקבל כתוצאה ישירה ממדידה של גורם מסויים לדוגמא לחץ בעזרת מד לחץ בסיסי או משקל בעזרת משקולות נגדיות, לעומת זאת אות דיגיטלי הוא אות המתרגם ערך פיזיולוגי מסויים למספר ומתח מסויים בטווח מסויים (בדרך כלל של 0 עד 5 וולט)

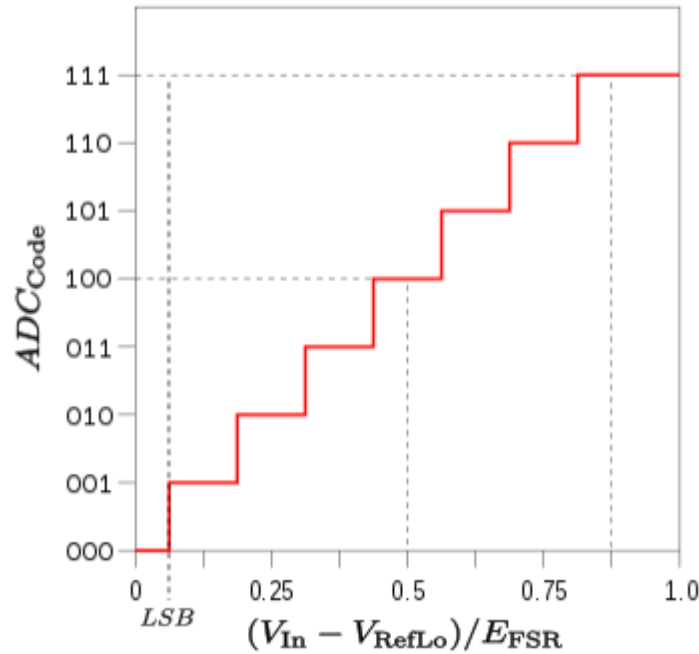


Figure 8-8 רזולוציית מערכת ADC כללית

בעת המרה של אותות נשים לב ל-2 דברים: full scale, sensitivity . הכוונה ב-full scale היא שאם אנו מעוניינים בלהמיר 12 וולט לערך דיגיטלי אנו צריכים לוודא שהממיר שלנו יוכל להמיר ערכים בטווח של 0-12 וולט. הכוונה ב-sensitivity היא הרגישות של המערכת לשינוי אינקרמנטלי בערך האנלוגי, זוהי הרזולוציה של המערכת.

הערה: עבור כל מערכת כללית יש להתחשב בעיקרון נייקוויסט-שאנון : קצב הדגימה צריך להיות גדול פי שניים מהתדר שאנו דוגמים:

$$f_{sample} = 2 \cdot f_{signal}$$

עיקרון זה קיים כדי למנוע סיטואציות בהן אנו נדגום מערכת (כמו לדוגמא מערכת סינוסואדלית) פעם למחזור ולאחר מספר דגימות שבהם נקבל ערך קבוע לא נוכל להגיע לערכים הנכונים.

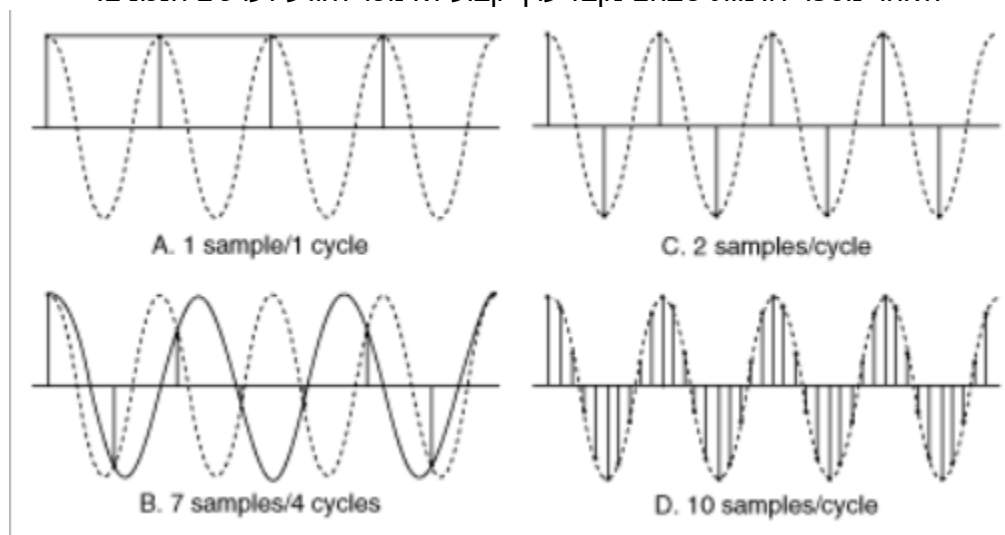


Figure 9-9 שגיאות דגימה ממחזורי דגימה נמוכים

על מנת למדוד משתנים כמו לחץ, משקל וטמפרטורה ולהעביר את המידע הזה לבקר כדי לעשות בו מניפולציות אנו נצטרך להשתמש בממיר אנלוגי לדיגיטלי, אך בפרויקט זה אנו נשתמש בחיישן מרחק המספק ביציאה מתח כתלות במרחק שהוא מודד ובכך הוא מתפקד בתור ממיר אנלוגי דיגיטלי בעצמו, הוא לוקח את המרחק האנלוגי וממיר אותו למתח המתקבל בכניסה לבקר שאנו נשתמש בו.

2.4. בטיחות

2.4.1. בטיחות אנושית

מטרת המערכת להיות יעילה אך מטרת כל מערכת היא להיות בטוחה למשתמש. לשם כך אנו נבחר בפרויקט זה שהמהירויות שאנו נעבוד בהם אינם יהיו מהירויות מסוכנות לבני אדם שבאים במגע עם המערכת. בנוסף נסיף כפתור המתחבר למערכת ויוכל לתפקד בתור כפתור עצירת חירום. ניתן לראות את בחירת הכפתור והמהירויות בפרק 3 חישובים או בפרק 5 בחירת חלקים.

2.4.2. בטיחות הכלים

הבקר, המנוע והחיישנים כולם מרוכזים במקום אחד מתחת למסילה על גבי בסיס המחזיק אותם ומחובר בעזרת ברגים למערכת. על מנת לוודא שהכלים האלה בטוחים אנו נוודא שהמסילה לא תקרוס עליהם, נוודא זאת על ידי ביצוע אנליזות על מנת לראות שהמחברים והתומכים שנמצאים מתחת למסילה יכולים לעמוד בעומסים המסופקים. אנו יודעים שהבדיקות האלו מספקות משום שהמערכת כולה מורכבת על מערך של קפיצים וכל מאמץ המופעל על המסילה עובר דרך המחברים ישירות לקפיצים. ניתן לראות את האנליזות והבחירות השונות בנספחים.

3. מדידות חישובים ותוצאות

3.1. אנליזות

על מנת להבין את המאמצים שפועלים במערכת ואת ההשפעות שלהם על החלקים השונים בהרכבה נבצע אנליזת חוזק ב-SOLIDWORKS ונראה את השפעת הכוחות הפועלים על החלקים השונים:

1. Holder
2. גליל הנועד לחזק את המבנה
3. וגליל הנועד להעברת מומנט ולהזזת המשקל
4. Connector

נציג את המאמצים, העיבורים ומקדם הביטחון למאמצים הפועלים.

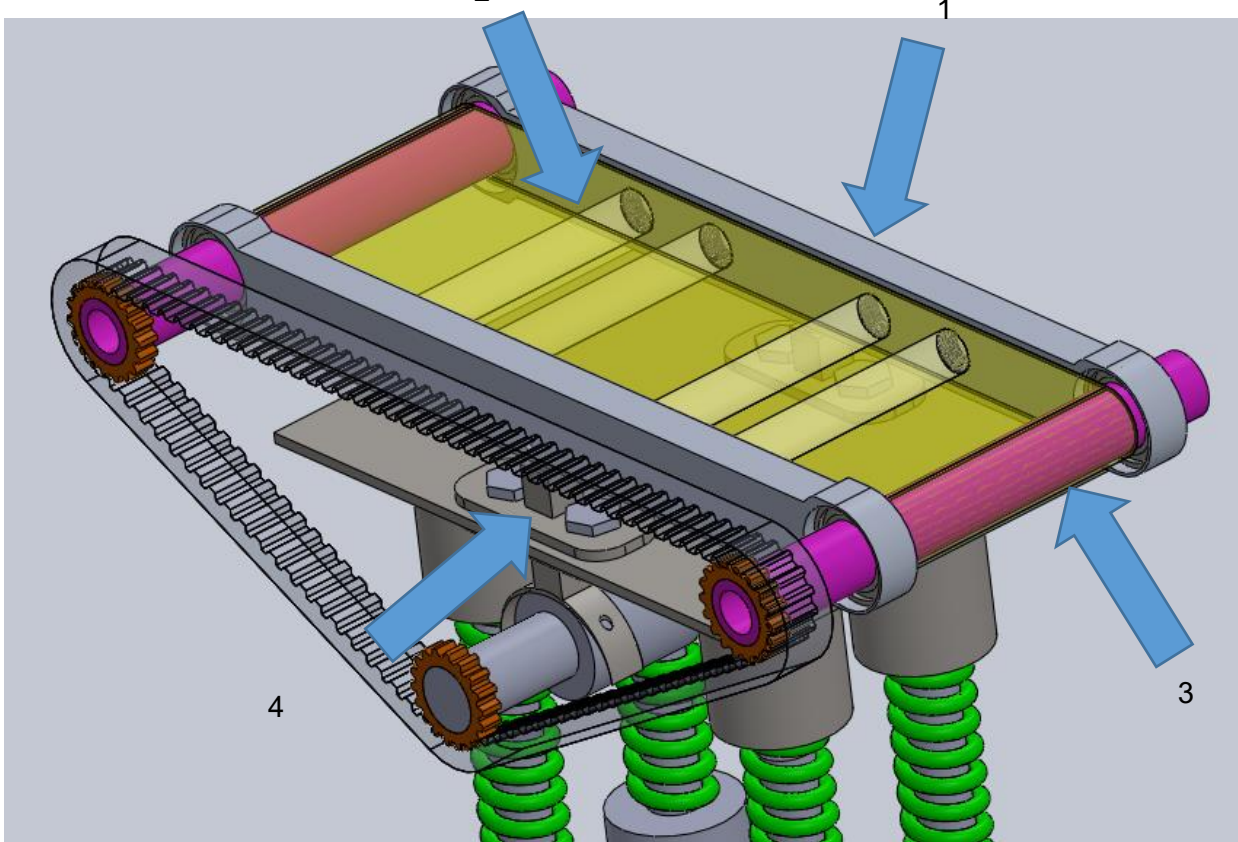


Figure 10-סימון הרכיבים מהאנליזות

האנליזות נמצאות בפרק 8 תחת "נספחים".

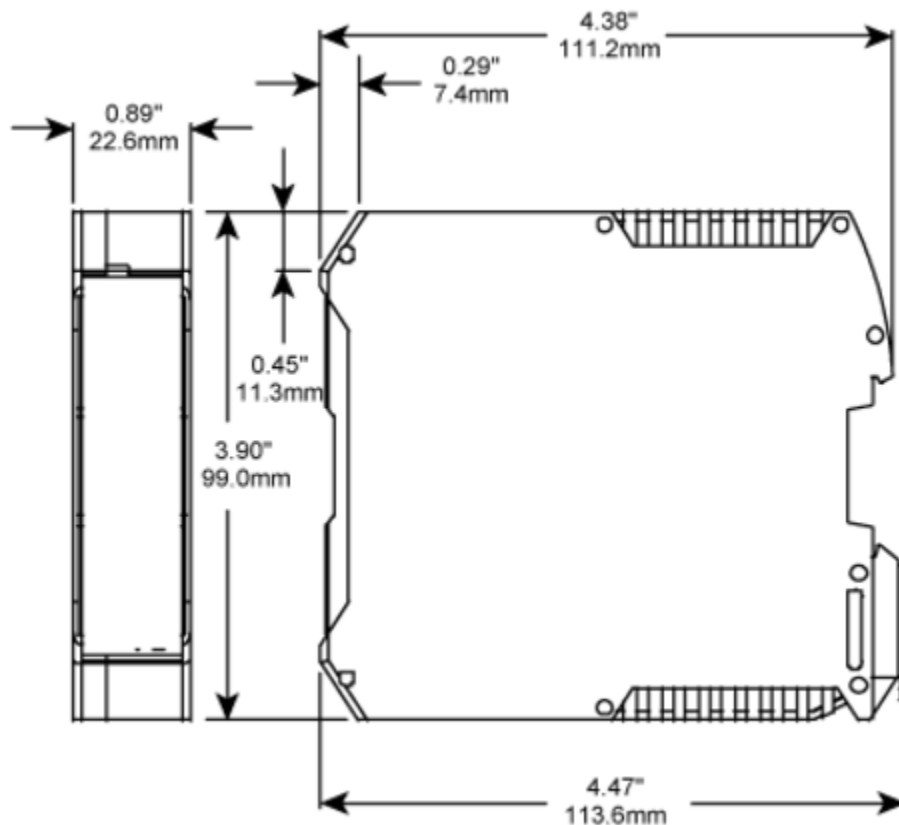
האנליזות נותנות לנו מידע (המסומן בצבע) על המאמצים הפועלים, העיבורים ומקדמי הביטחון הרלוונטיים הקובעים אם החלקים מסוגלים לעמוד בעומס שהם נתונים תחתיו (ועד כמה הם יכולים לעבוד בעומס הזה, כלומר כמה עוד מהעומס ניתן להפעיל עד שהחלק יגיע למצב של כניעה).

3.2 חישובים

3.2.1 עיקרון מדידת המשקל

נבחר אבן פינה שממנה נוכל להתחיל את בחירת החלקים שנשתמש בהם.

הבחירה תהיה בחירת חיישן התזוזה (שדרכו נוכל לחשב את המשקל). נבחר להשתמש בחיישן מסוג: ECL202 של חברת Lion Precision:



Linearity	0.2% of Range
Error Band	0.4% of Range
Bandwidth	ECL202: Selectable: 100 Hz, 1 kHz, 10 kHz, 15 kHz ECL202e: 15 kHz
Driver Temperature Drift (15°C-50°C) Typical. See Range Table chart for details.	0.01% F.S./°C
Probe Temperature Drift (15°C-65°C, except where noted) Typical. See Range Table chart for details.	0.01% F.S./°C
Analog Output	0-10 VDC, 0 Ω , 15 mA
Switched Output	30 VAC/60 VDC/100 mA
Input Power	12-24 VDC 2.5 W
Driver Operating Environment	4°C-50°C IP40

Table 1 -מפרט החיישן- ECL202

החיישן הוא חיישן מרחק ליניארי כלומר ככל שהוא יותר קרוב למטרה המתח ביציאת החיישן גדל.

הטווח של המתח ביציאה של החיישן הוא: 0-10 וולט כאשר הרגישות וטווח המדידות משתנים לפי סוגי הראשים שניתן להשתמש בהם עם החיישן. אנו נבחר את הטווח המקסימלי של 15 מ"מ בשימוש בראש מסוג U50 אשר בעל המפרט המכני הבא:

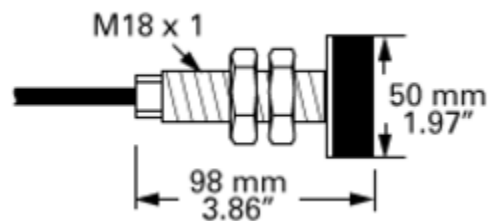


Figure 11-מפרט מכני של ראש החיישן

משום שאנו רוצים שהחיישן יישאר במקום אנו נמקם אותו בדיוק מתחת למתקן אך הוא יוחזק במקום מתחת לקפיצים בעזרת מתקן החזקה בצורה הבאה:

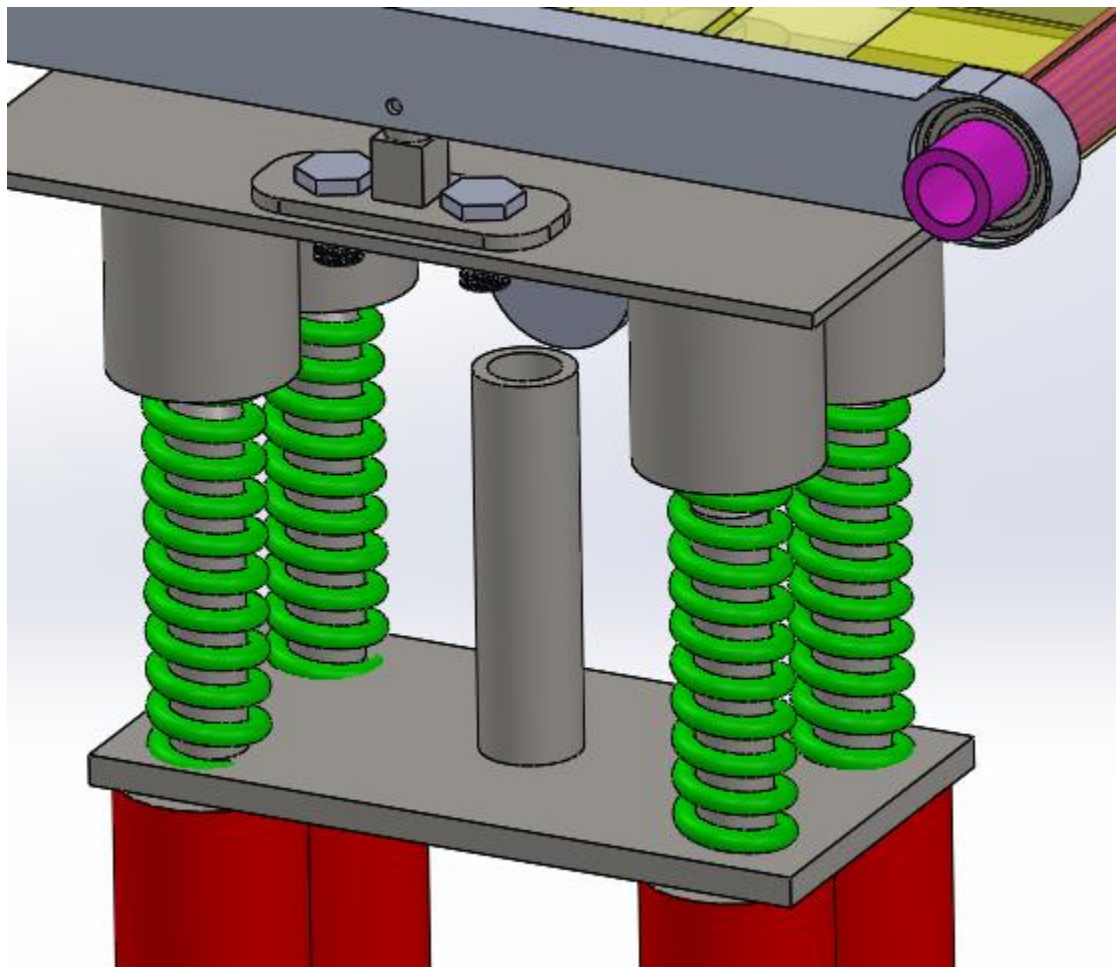


Figure 12-מבט איזומטרי על המתקן המחזיק את החיישן

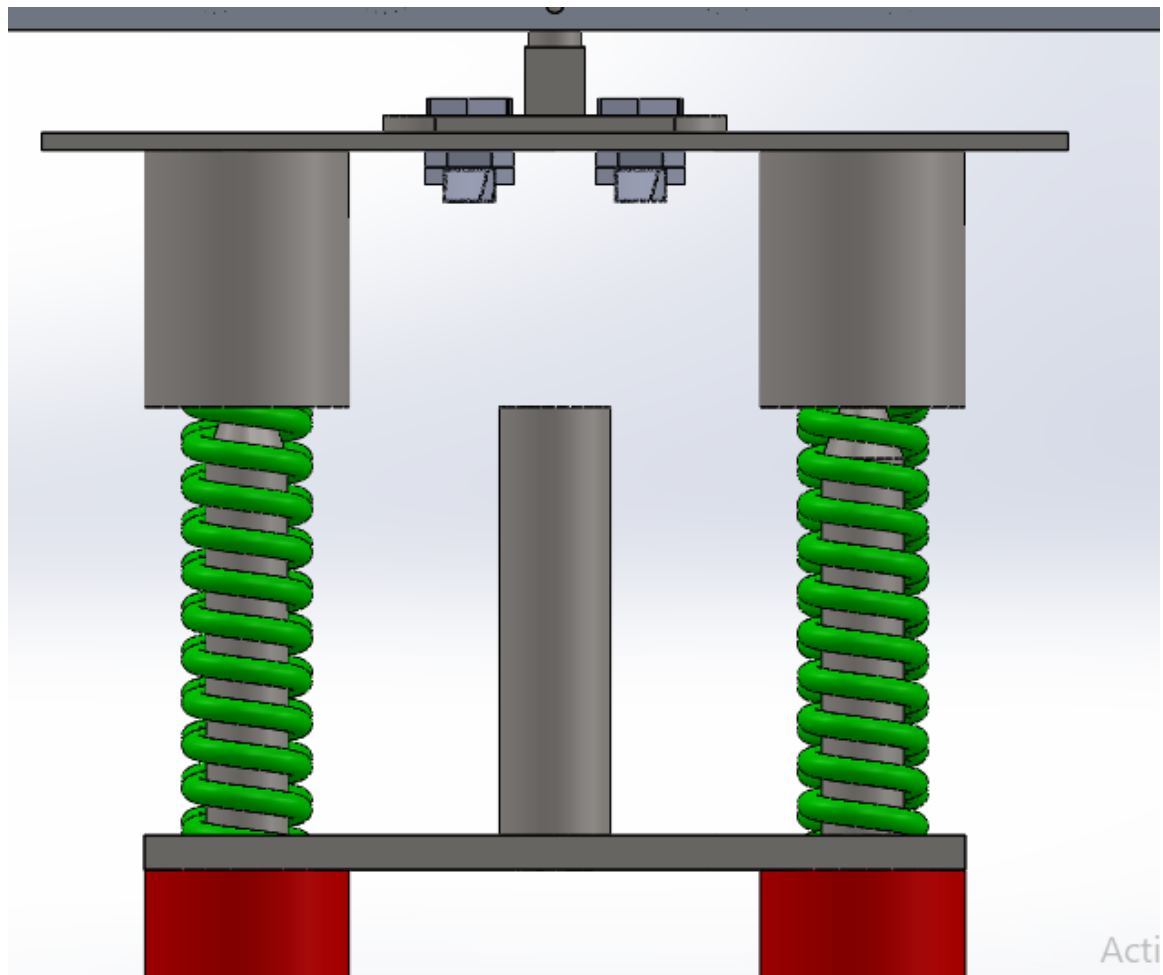
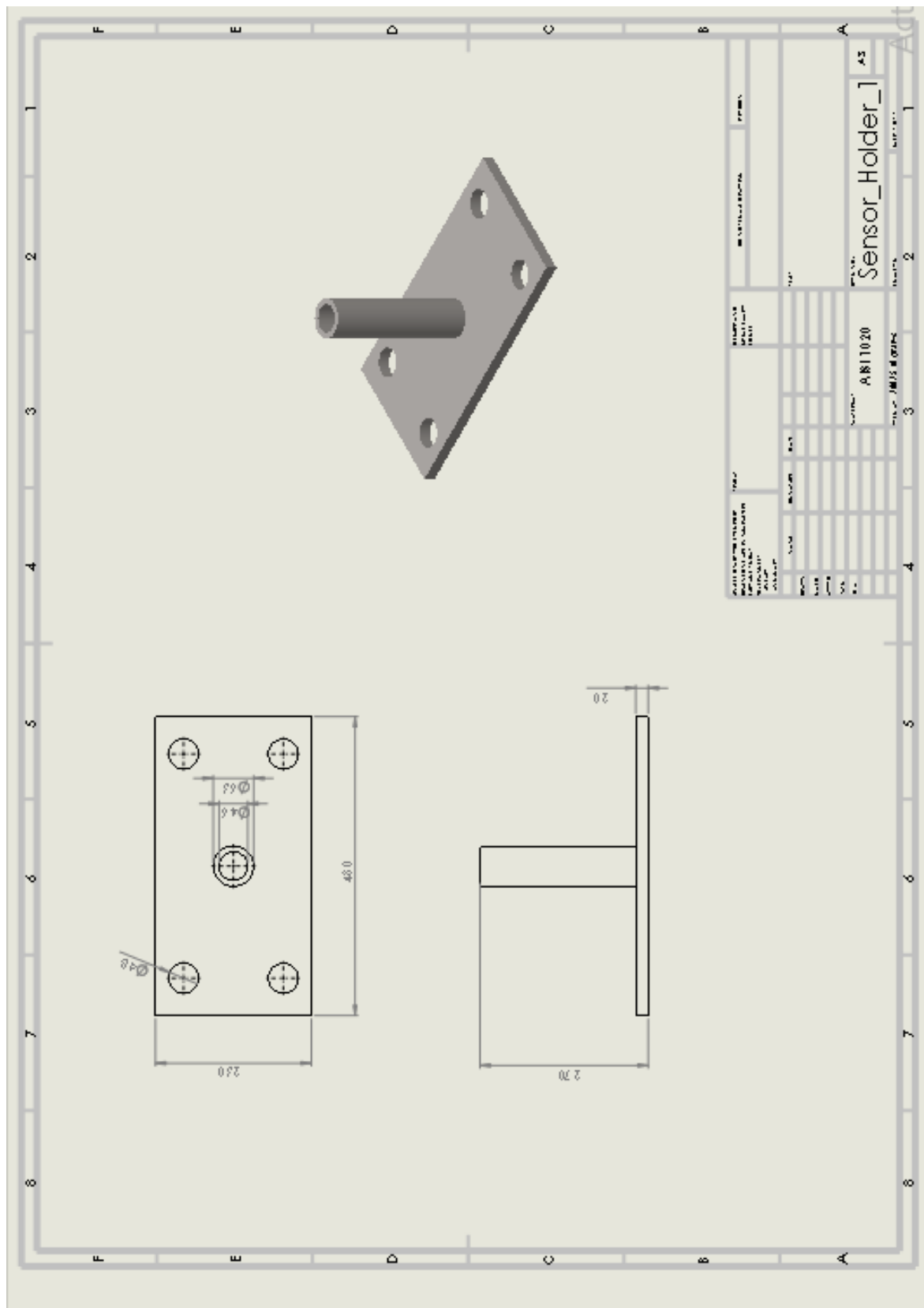


Figure 13- מבט קדמי על מתקן ההחזקה המותקן על המערכת

סרטוט המחזיק:



החומר של המתקן הוא AISI 1020 במשקל של 20825.18 grams.

3.2.2. כוחות הפועלים על משקל

הנחה לצורך פישוט היא שהמשקל הוא סטטי, אינו נע ובעל מקדם חיכוך גבוהה כך שאנו יכולים להניעו בקלות. לכן הכוח הפועל על המשקל הוא כוח המשיכה ונורמל המשקל כתוצאה מהמגע שלו עם המשטח.

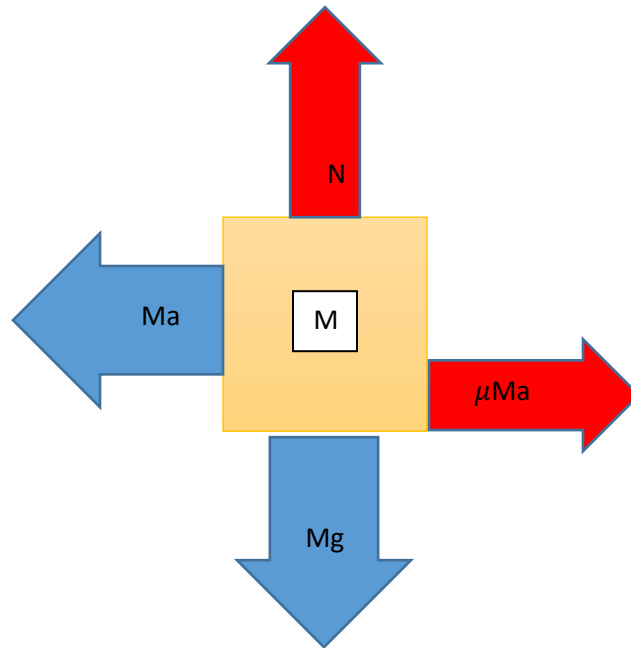


Figure 14- הכוחות הפועלים על המסה

הכוחות שיפעלו על המערכת יהיו:

$$Mg = \sim 2000N; N = \sim 2000N;$$

עבור המסילה אנו נבחר בחומר מסוג PVC ומשום שאנו לא מעוניינים בתזוזה אנו נניח כי לחומר של המסה (או החומר שעוטף את המסה) יש צורה ומקדם חיכוך שמבטיחים שהמסה לא תתגלגל או תתהפך לאחר הפעלת המסילה.

3.2.3. חישוב מאמץ של קפיצים

הנחות חשובות מאוד לפרויקט הזה הן:

1. המשקל שאנו מניעים מגיע בעזרת מסילה ממקור חיצוני מונח על המסילה כלומר הוא לא נשט ממקום גבוהה הוא מונח ממקום הקרוב למסילה כך שהכח שהוא מפעיל בפילה לא יעלה על 10% מהמסה שלו.
 2. הקפיצים כולם נחשפים לכוח באופן שווה, משום שהמשקל העובר אליהם פועל על ה- Connector ודרכו הוא מפעיל כוח על המחזיק אשר בתורו מפעיל את המשקל על הקפיצים באופן סימטרי לגמרי.
- אנו נרצה להבדיל בין 2 סוגים של משקלים- משקל מעל 200 קילוגרם ומתחת ל-200 קילוגרם ולכן אנו יכולים להניח שהכוח הפועל על המסילה הוא $2000N$. הכוח מתפלג בצורה שווה בין 4 הקפיצים וכל קפיץ יתכווץ בהשפעת $500N$, תחת ההנחה שאנו משתמשים בחיישן עם טווח מדידה של 15 מ"מ:

$$F = -k\delta \rightarrow k = \sim \frac{500}{15 \cdot 10^{-3}} = 33.33 \dots \left[\frac{N}{mm} \right]$$

לאחר התבוננות בקטלוג של קפיצים מצאנו קפיץ מתאים בעל המפרט הבא[6]:

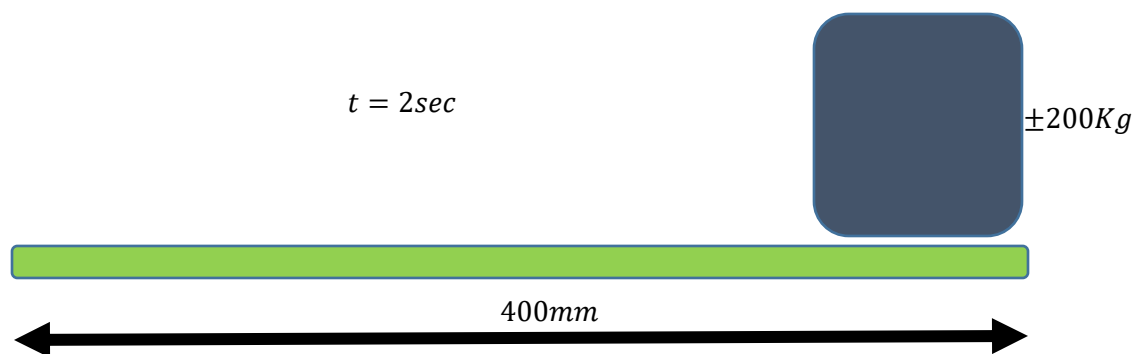
Outer Diameter (mm.)	111.9124
Inner Diameter (mm.)	83.3628
Free Length (mm.)	406.4
Solid Height (mm.)	214.376
Wire Diameter (mm.)	14.2748
Total Coils	15.000
Rate (N./mm.)	33.97460599
Sugg. Max. Load (N.)	4559.42714

Figure 15-מפרט הקפיץ

מתוך המפרט ניתן לראות את המידות, האורך החופשי והקטרים (הפנימי והחיצוני) של הקפיץ הנבחר, המודל של הקפיץ שקיים בsolidworks הוא רק מודל ולכן לא נכלול שרטוט שלו בפרויקט זה.

3.2.4 מומנט נומינלי של מנוע ה-DC הדרוש למערכת

נבחר מנוע DC לפי דרישותינו: אנו יודעים כי כל* העבודה שיוצאת מהמנוע משמשת אותנו להזזת המשקל (*כתלות בנצילות של המנוע התמסורת והחיכוך), לכן נבין מה העבודה שאנו צריכים לעשות:



אנו יודעים שגודל המסילה שהמשקל צריך לעבור הוא 400מ"מ בצד מסוים והמשקל יהיה בערך 200 קילוגרם, נגדיר שאנו מעוניינים שהמסה תעבור את המרחק הזה ב-2 שניות ולכן ההספק הרצוי יהיה:

$$P = \frac{F \cdot x}{t} = \frac{(2000 \cdot 0.4)}{2} = 400[Watt]$$

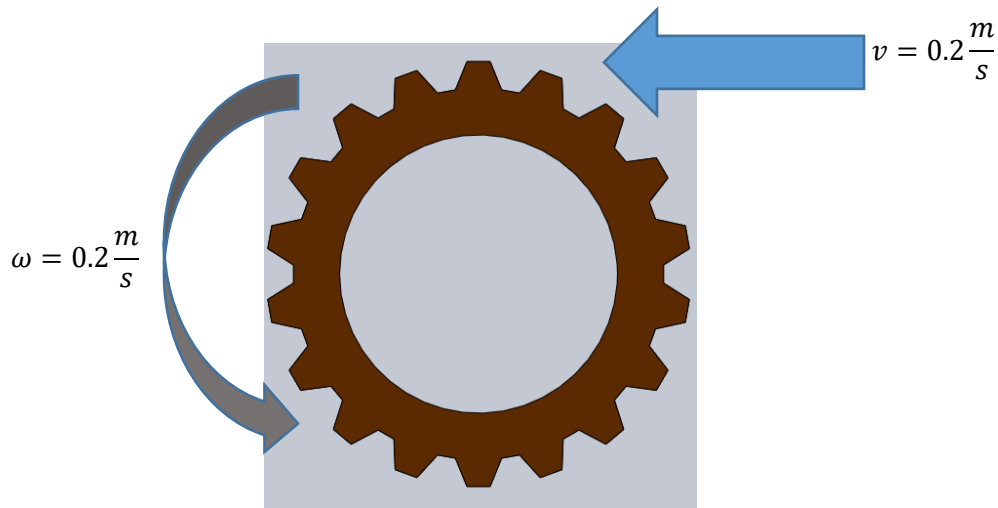
עבור מקדם ביטחון נבחר שהספק המנוע יהיה לפחות 800[Watt].

מהירות הסיבוב של המנוע נקבעת לפי המהירות שאנו קובעים שהמשקל צריך לנוע בה, תוך כדי התחשבות בקשר בין מהירות סיבובית למהירות קווית:

$$v = r \cdot \omega \rightarrow \omega = \frac{v}{r} = \frac{0.2}{0.06} = 3.33 \dots \left[\frac{rad}{s} \right]$$

זוהי המהירות הסיבובית של הגליל, הגליל וגלגל השיניים מסתובבים אותה מהירות סיבובית. ומשום שמערך גלגלי השיניים והרצועה הטריזית באותם גדלים הם מסתובבים באותה מהירות שאותה נמיר לסל"ד:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \rightarrow n = \frac{30\omega}{\pi} = 31.83[rpm]$$



המומנט הנומינלי של המנוע הוא:

$$\tau = \frac{60 \cdot P}{2\pi \cdot n} \cong 130Nm$$

המנוע שנבחר הוא Helical Bevel Gears NORDBLOC.1



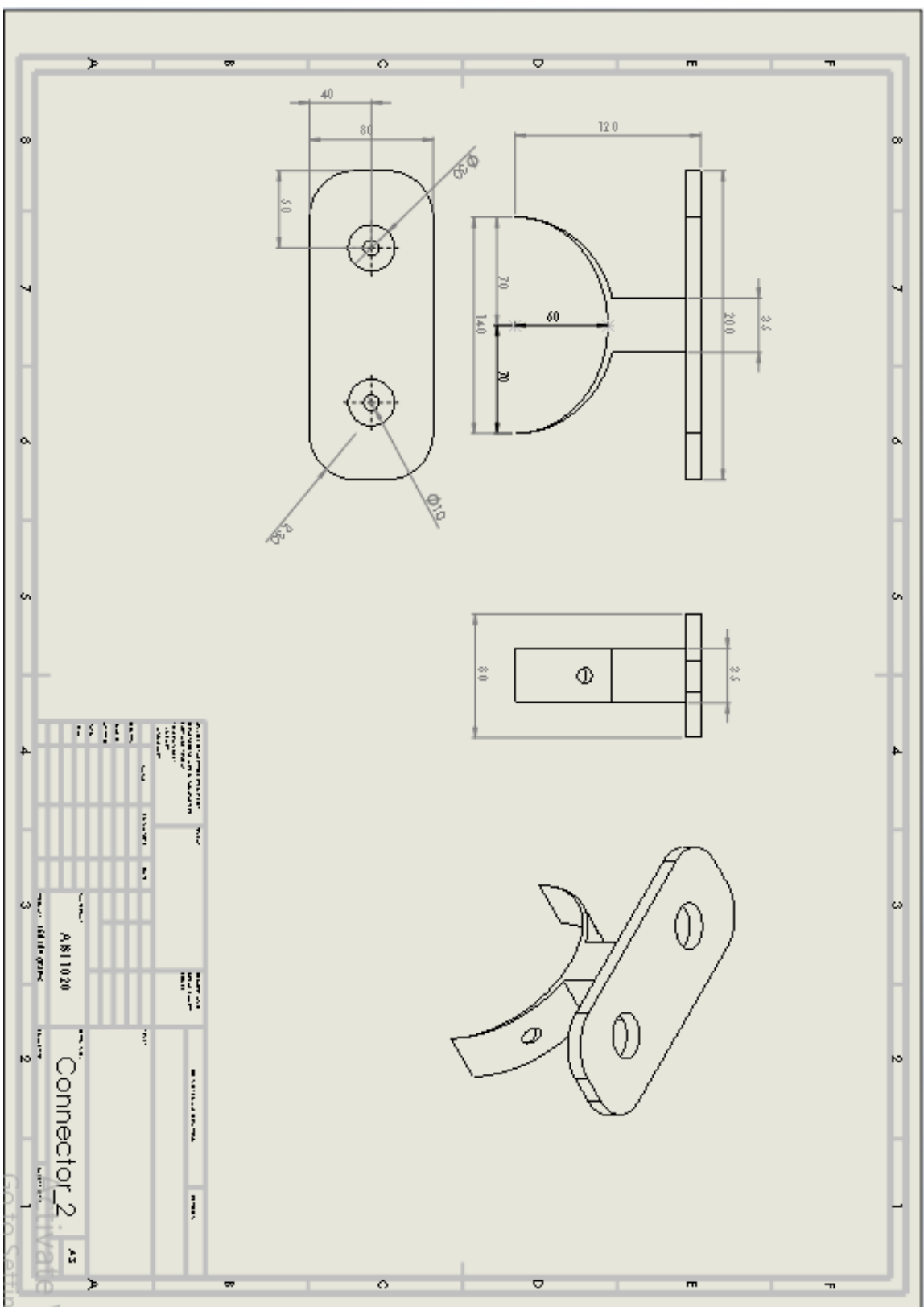
Figure 16-המנוע הנבחר

למנוע המפרט הבא[8]:

Product Name	Helical Bevel Gears NORDBLOC.1
Input Speed	1375 1/min
Motor Inverter Speed Range	Standard Line Powered - Inverter Capable
Ratio	28.11
Output Speed	49 1/min
Service Factor	1.3
Output Torque	146 Nm
Overhung load	6.1 kN
Axial Load	15 kN
Power	0.75 kW
Voltage	230/400 V

Figure 17-מפרט המנוע

המנוע מוחזק במקום באמצעות מחזיק מנוע ומתחבר אליו בעזרת ברגים/רצועות :



3.2.5 גלילי מסוע המתאימים לעומסים



Figure 18-העומסים הפועלים בגליל הסיבוב

מאנליזות חוזק שנעשו מצאנו כי הגלילים העשויים מסוג חומר של פלדה AISI 1020 עומדים בעומס הנוצר בתוכם ונבחר בהם.

3.2.6 חייו אורך המסב

ישנם מספר סוגים שונים של מסבים המשומשים בתעשייה, עבור עומסים מ-2 צירים שונים נוטים להשתמש במסב בשם מסב כדורי. הכוונה היא מסב המכיל כדורים בין הקוטר הפנימי והחיצוני של המסב שיכול לשאת בעומסים מ-2 כיוונים שונים.

אך משום שבפרויקט הזה המשקל נע רק ב-2 כיוונים אפשריים ואין כוח בכיוון הציר של הגליל אנו יכולים לבחור במסב מסוג גלילי המסוגל לעמוד בעומסים גדולים בכיוון הרדיאלי.

נגדיר את הגדלים הבאים:

$$L_{10}; C; P; p; n; L_{10h};$$

כאשר L_{10} – אורך החיים של המיסב במיליוני סיבובים

L_{10h} – אורך החיים של המיסב בשעות

C – העומס הדינמי הבסיסי הפועל על המיסב

P – העומס הדינמי האקוויולנטי הפועל על המיסב

n – המהירות הסיבובית

p – אקספוננט משוואת אורך חייו של המיסב (3 עבור מיסב כדורי ו-10/3 עבור מיסב גלילי)

ובמקרה שלנו:

$$n \cong 32[rpm]$$

$$p = \frac{10}{3}$$

$$C = ?$$

$$P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a \rightarrow F_a = 0 \rightarrow Y = 0; X = 1 \rightarrow P = F_r$$

ככלומר העומס הדינמי הפועל על המיסב תלוי רק בכוח הרדיאלי הפועל אותו נבין מתוך המשקל המשוכלל של החלקים, הנחה סבירה שאנו מניחים היא שהמיסב נחשף לכוחות זעזוע בזמן שהוא נייח, כלומר הוא נע רק לאחר שהמסה הונחה על המשטח והאוסילציות שנגרמו כתוצאה מהפעלת משקל פתאומי על הקפיצים נגמרו.

הכוח שפועל מתפלג על 4 המיסבים באופן שווה.

נתבונן ב-2 מבטים

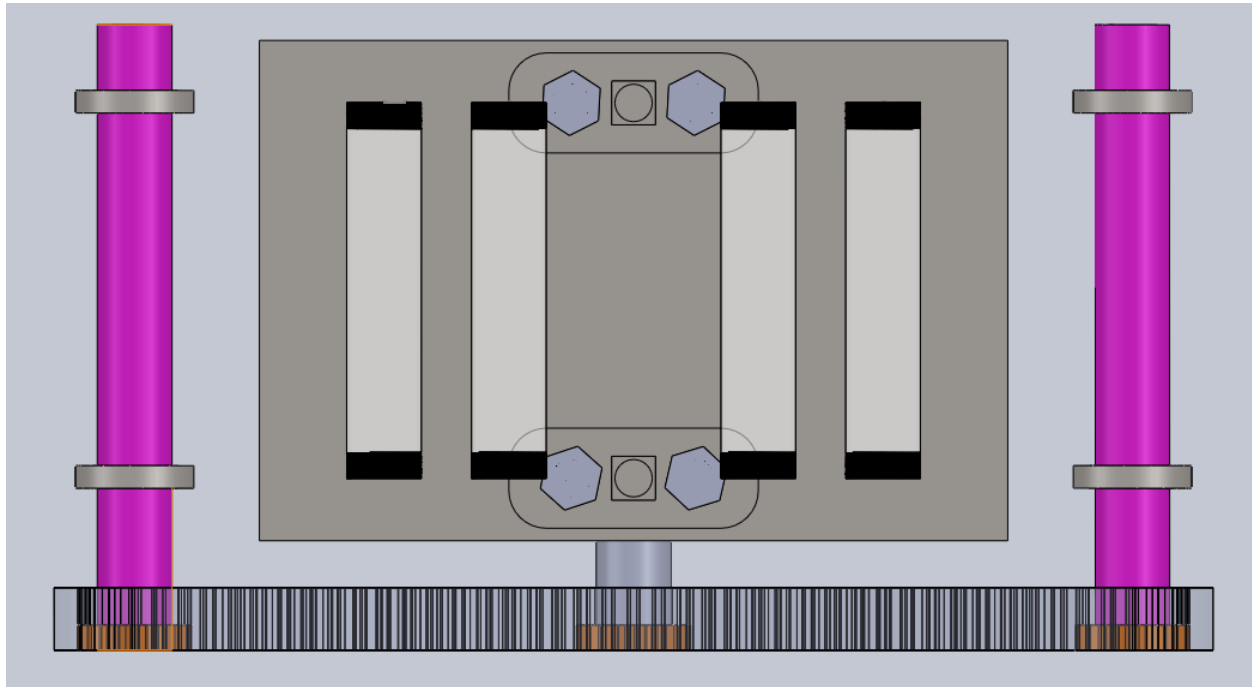


Figure 19-מבט עליון על המערכת

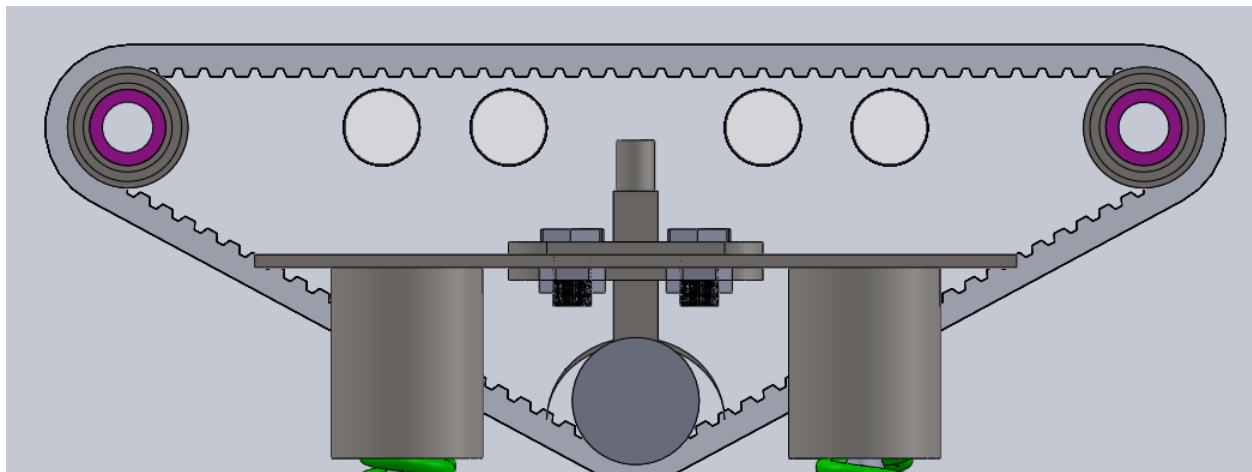


Figure 20-מבט צד של המערכת

מטעמי סימטריה נניח כי המאמצים הפועלים על המיסבים סימטריים לגמרי ולכן כל מיסב נחשף ל- $500N$

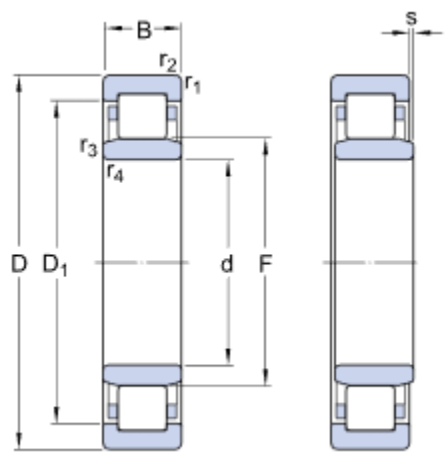
נקבע את הכוחות הבאים כך:

$$F_r = 500N = P$$

משוואת אורך החיים של המיסב ידועה בתור:

$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p$

על מנת לחשב את אורך החיים של המסב נבחר מסב גלילי מתוך הקטלוג של SKF, נבחר את NU 1012 ML



d	60	mm
D	95	mm
B	18	mm
D ₁	≈ 81.8	mm
F	69.5	mm
r _{1,2}	min. 1.1	mm
r _{3,4}	min. 1	mm
s	max. 2.9	mm

Figure 21-מימדי המסבים

מפרט המיסב[7]:

Calculation data			
Basic dynamic load rating	C	37.4	kN
Basic static load rating	C ₀	44	kN
Fatigue load limit	P _u	5.3	kN
Reference speed		8000	r/min
Limiting speed		13000	r/min

Figure 22-מפרט המיסב הנבחר

ממפרט המיסב אנו יכולים למצוא את C ולכן את אורך החיים של המיסב:

$C = 37.4kN \rightarrow L_{10} = \left(\frac{37.4 \cdot 10^3}{500}\right)^{\frac{10}{3}} = 1,763,350.557$

(היחידות הן במיליוני סיבובים)

נמצא את חיי המיסב בשעות עבודה:

$L_{10h} = \frac{10^6}{60n} \cdot L_{10} = 979,639,198.798[Hour] = 111,830.95[Years]$

3.2.7. חישובי ברגים

הברגים שנבחרו הם ברגים מסוג M30 ישנם 4 מהברגים האלה במערכת

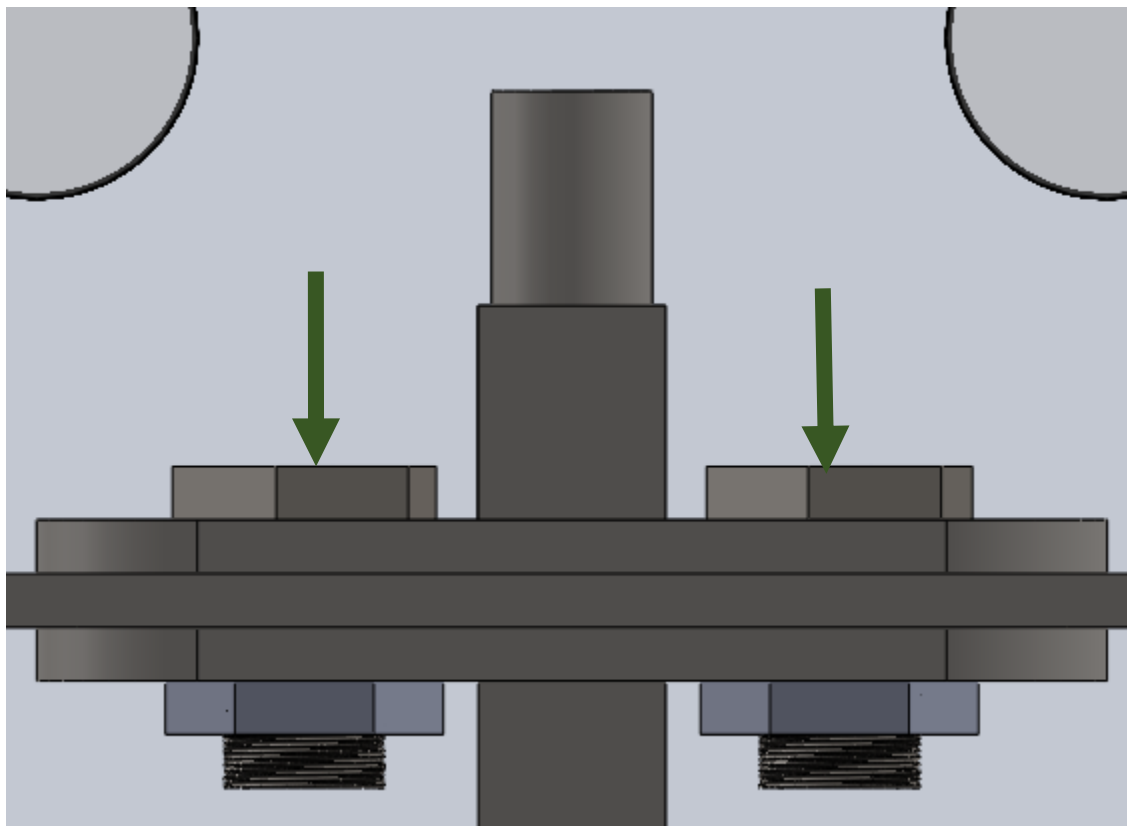


Figure 23-מבט צד למיקום הברגים

מאנליזת מאמצים מחמירה נמצא כי מקדם הביטחון המינימלי של כל בורג הוא 8 לכן אנו נסיק כי הברגים האלה יעמדו בכל מאמץ במערכת.

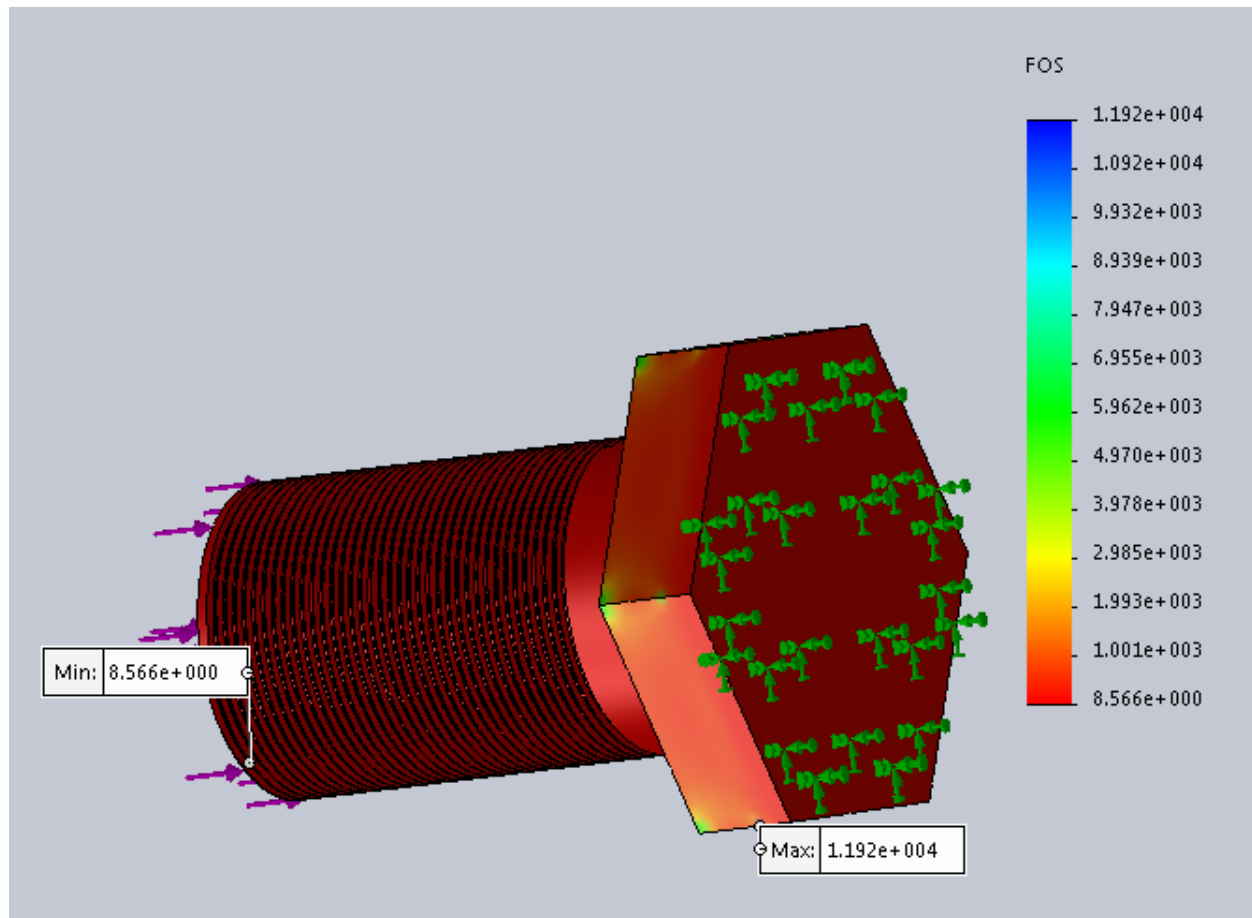


Figure 24-מקדם הביטחון בבורג

בתמונה הבאה ניתן לראות את אנליזה של מקדם הביטחון בבורג, ניתן לראות סימון למקדם ביטחון מקסימלי ומינימלי ואת זה שהמקדם הביטחון גבוהה מאוד מ-2. בנוסף בדיאגרמה ניתן לראות סימוני צבעים שבהם ניתן לראות מה מקדם הביטחון בכל שאר החלקים של הבורג כאשר הצבע האדום מסמל את מקדם הביטחון הקטן ביותר.

3.2.8. חישובי התמסורת הטרזית

בשונה מרצועה שטוחה ורצועות V ורצועות עגולות ברצועה טריזית אין החלקה לכן היחס בין המהירות הזוויתית של הגלגל המניע לגלגל המונע קבוע ושווה ליחס בין קטרי הגלגלות. התמסורת הטרזית מעבירה את כלל הספק המנוע וכל גלגל שיניים מעביר חצי מהספק המנוע.

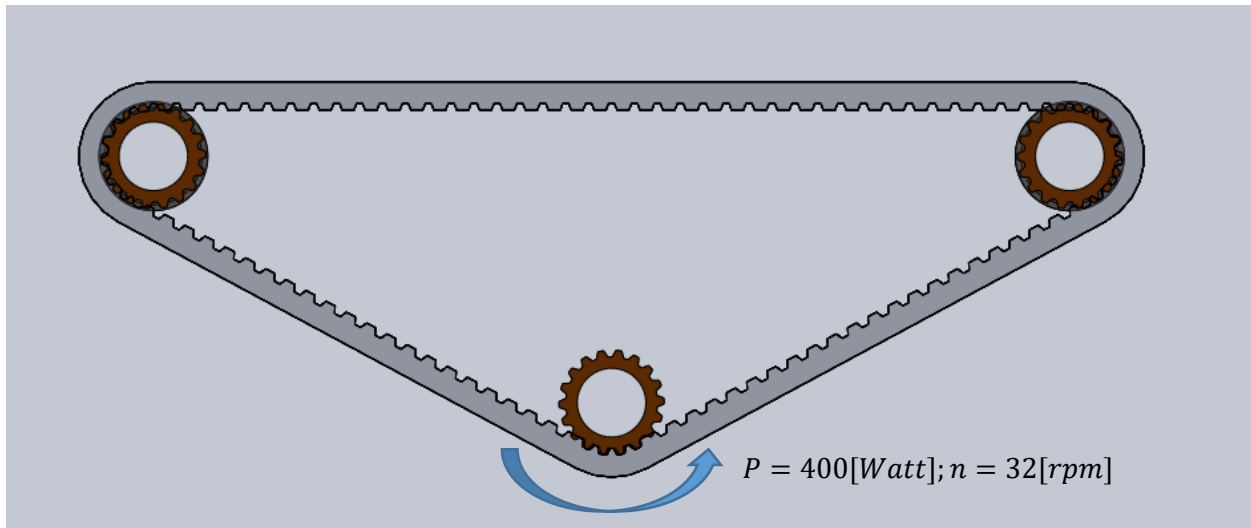
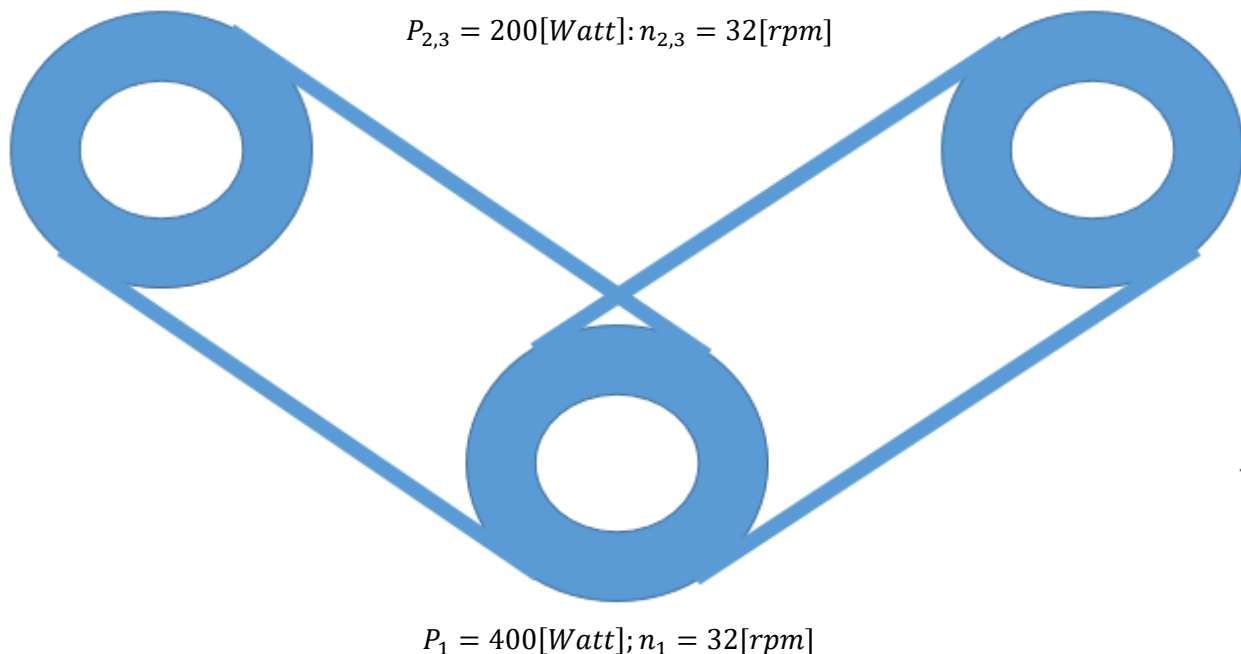


Figure 25-דיאגרמת הרצועה הטרזית

עבור הרצועה הקיימת אנו רוצים למקסם את זווית החביקה של הרצועה סביב גלגל השיניים על מנת להעביר את כל ההספק של המנוע. לשם כך נצטרך להפעיל כוח הטיה שיגדיל את זווית החביקה לפחות ל- 180° .

אך יש דרך נוספת להגדיל את זווית החביקה והיא בלהגדיל את האורך של הגלגל שיניים ולחבר אליו שתי רצועות, וכך בזמן שהוא מסתובב הוא מספק ופיתול לשני גלגלי השיניים הנותרים:



זה נובע מתוך משוואת ההספק הבאה:

$$P \propto M \cdot n$$

כלומר הספק משתנה באופן ליניארי ביחד עם מומנט ומהירות, מכיוון שאנו לא משנים את המהירות והספק המנוע מתחלק באופן שווה אז ההספק מתחלק לכל אחד מגלגלי השיניים ולכן כל אחד מהם מעביר אותו הספק שווה.

לעיל דיאגרמה מופשטת מאוד של ההרכבה.

משום שהגדרנו את ההספק שאנו רוצים להעביר ואת המהירות שאנו רוצים שהגלילים יסתובבו בה אנו יכולים לבחור רצועה שתעמוד בדרישותנו.

בשלב הראשון נבחר מקדם עבודה בעזרת [12]: כאשר נבחר פעולה מתמשכת במנוע במומנט גבוהה ברמת הנעה גבוהה מקדם העבודה המתקבל הוא: $k_d = 2$

בשלב השני נמצא את ההספק האפקטיבי שהרצועה מעבירה:

$$P_E = P \cdot k_d$$

$$P_E = P \cdot k_d = 0.4 \cdot 2 = 0.8[kW]$$

בשלב השלישי נמצא את הפסיעה הרצויה מתוך הגרף הבא:

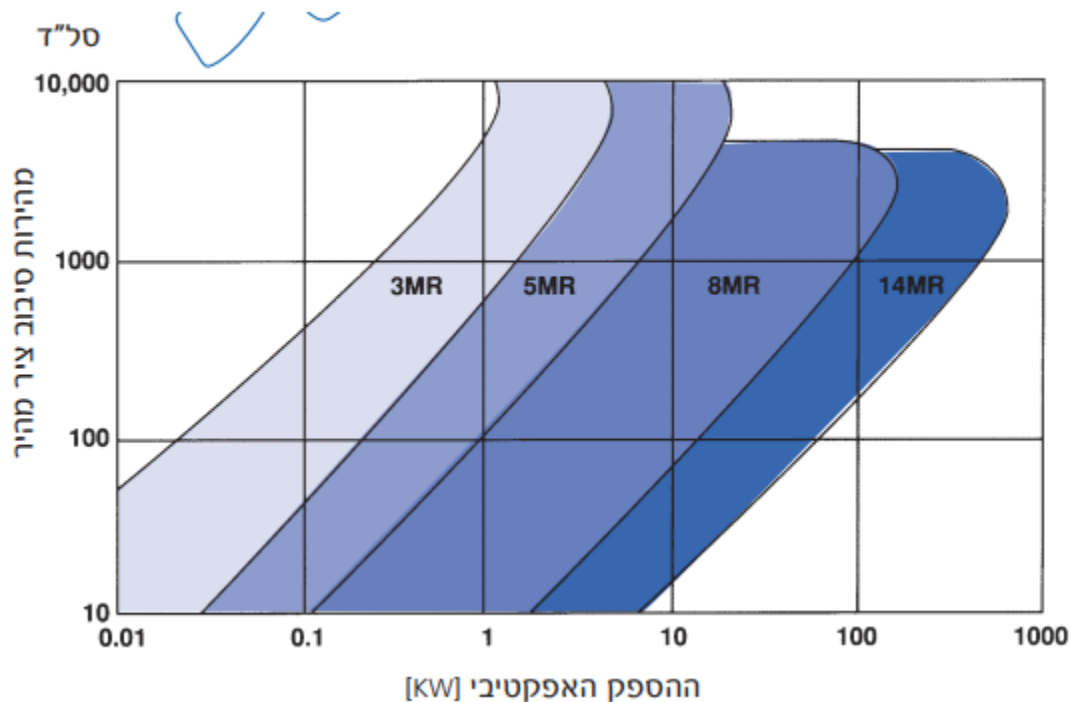


Figure 26-גרף למציאת הפסיעה

(הגרף נלקח מתוך האתר של ג'י-ג'י [12])

מצאנו כי הרצועה הרצויה היא: 8MGT GT3

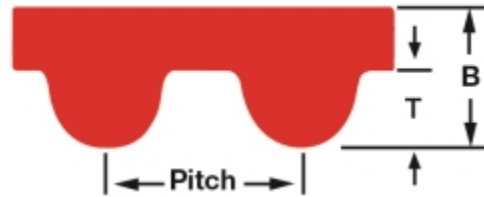


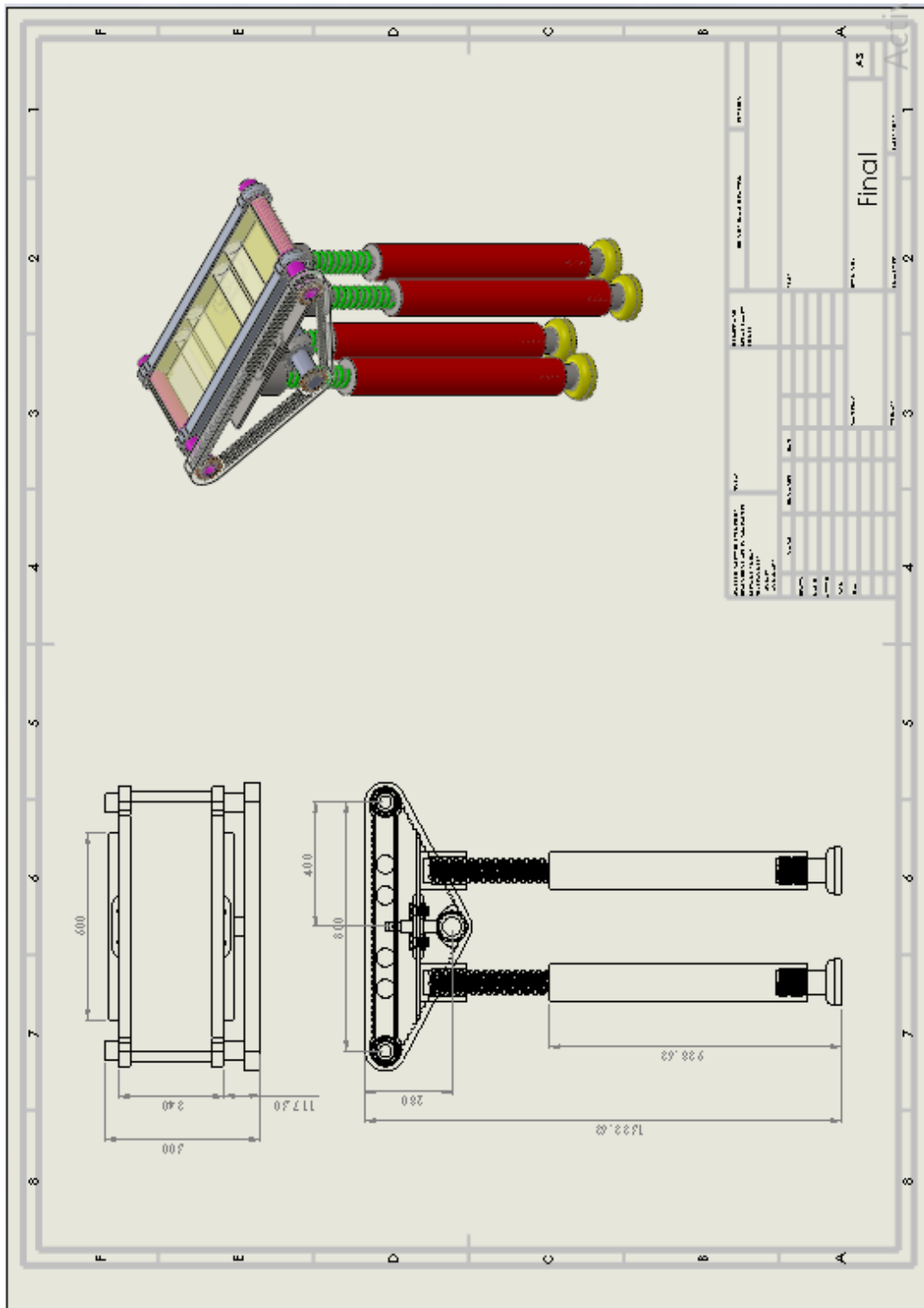
Figure 27-מבנה הרצועה

כאשר: $Pitch = 8[mm]$; $T = 3.4[mm]$; $B = 5.6[mm]$

ניתן להזמין את הרצועה באורכים שונים בין 384-4400 מ"מ [14].

הרצועה המתוארת בתוך שרטוט המערכת ב-solidworks אינה הרצועה שאנו נשתמש בה בפועל ובפרויקט זה אין שרטוט לרצועה הנבחרת עבור המסילה משום שהרצועה היא חלק קנוי.

4. סרטוט המערכת



משקל המערכת הכולל (של התכנן) הוא: 432,246.11 grams

החלקים עשויים מהחומרים הבאים:

AISI 1020	Leg_1
AISI 1020	Leg_2
6061 Alloy	Galil_1
AISI 1020	Holder_1
AISI 1020	Connector_1
AISI 1020	Plate_1
Acrylic	Galil_2

החומרים הנבחרו עומדים בכל העומסים הדרושים בפרויקט כפי שניתן לראות מאנליזות הכוח הנעשו ב-3.1.

5. בחירת הבקר והממסר

5.1. עיקרון הפעולה של ממסר

נצטרך לחבר את המערכת ללוח ממסרי שמסוגל להתמודד עם המתחים הגבוהים שפועלים במערכת- בחירת המנוע דורש מקור מתח של 250 וולט, כלומר ממקור מתח ביתי.

ממסר הוא רכיב "סוויץ'" אלקטרוני. ממסרי משתמשים באלקטרומגנט כדי להפעיל כפתור ולגרום למעבר זרם המאפשר בידוד של שני מעגלים חשמליים. בפרויקט זה יש צורך לבדוד את שני המעגלים החשמליים שכן מערכת אחת אינה מסוגלת לעמוד במתח גבוהה מאוד.

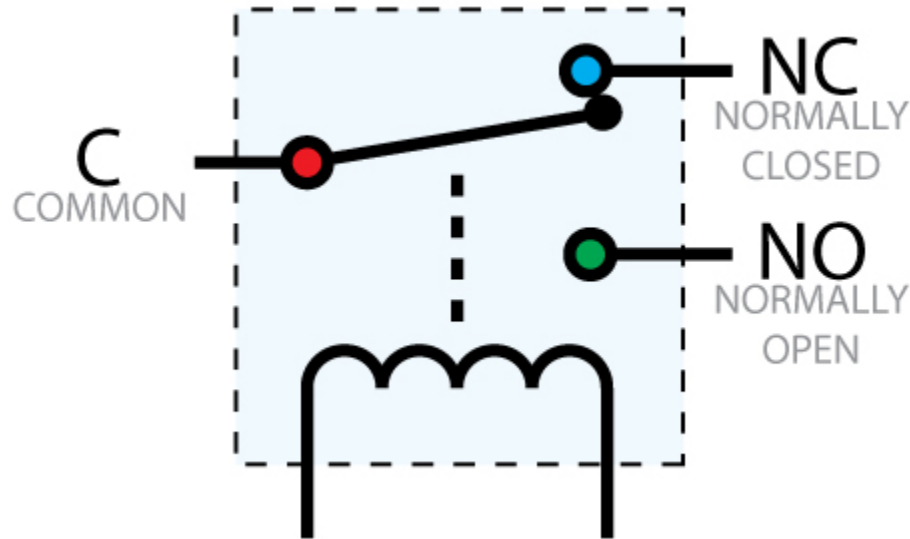


Figure 28- מבנה עקרוני של ממסר

5.2. הבקר הנבחר

מכיוון שהפעולה שנדרשת מהבקר פשוטה מאוד נבחר להשתמש בבקר PLC. בקרי PLC הם בקרים נפוצים המסוגלים לעשות פעולות פשוטות מאוד (לפעולות מרוכבות הדורשות ++C עדיף להשתמש ביחידות בקרה כגון ארדואינו)[11].

ההבדל המהותי בין PLC למיקרו בקר פשוט הוא ש- PLC הוא רכיב לאותות תעשייתיים שמתכנתים עם יואסבי בקלות, יש לו מעבד ומודולים לעומת זאת מיקרו בקר הוא לתכנות רכיבי ציפים על לוחות ועל עשיית עבודות מסובכות בתנאי מתח זרם ספציפיים ולא משתנים.

ל- PLC יש את המבנה הבסיסי הבא:

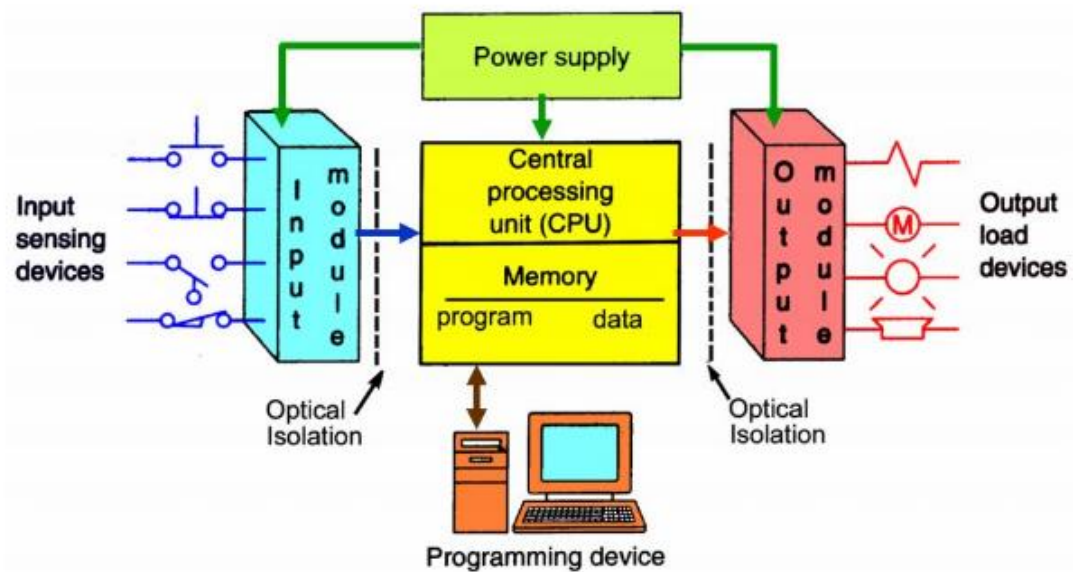


Figure 29-כניסות ויציאות של PLC

הבקר (והממסרים שלו) הנבחר הוא בקר- FX1N-14MR של חברת Mitsubishi:



Figure 30-ה-PLC הנבחר

For Use With	FX1N Series
Number of I/O	14
Manufacturer Series	FX1N
Number of Inputs	8 (Digital)
Input Type	Digital
Voltage Category	100 → 240 V ac
Output Type	Relay
Number of Outputs	6 (Relay)
Program Capacity	8000 Steps
Programming Interface	Computer
Mounting Type	DIN Rail
Programming Language Used	Ladder Logic
Length	90mm
Maximum Operating Temperature	+55°C
Dimensions	90 x 90 x 75 mm
Depth	75mm
Width	90mm
Scan Time	0.55 → 0.7 μs
Minimum Operating Temperature	0°C
Output Current	2 A

Figure 31- מפרט ה-PLC הנבחר

5.3. אמצעי בטיחות ועצירה

על מנת להבטיח שהמערכת תוכל להתחיל לנוע ולעצור מתי שנרצה נתקין כפתורי התחלה, סיום ועצירת ביטחון הפועלים על החוקים הלוגיים הבאים: המערכת תתחיל לפעול רק כאשר כפתור ההתחלה נלחץ. כאשר כפתור ההתחלה מכובה המערכת תבצע איטרציה אחת נוספת ותעצור, כאשר כפתור עצירת הביטחון נלחץ התהליך נעצר בלי הקשר לשלב בתהליך.

כפתור ההדלקה יהיה בעזרת הכפתור Toggle Switch SPST מספר בקטלוג: 70250 [16]:



Figure 32-כפתור ההדלקה והעצירה הנבחר

הכפתור בעל המפרט הבא:

Specifications	
Temperature Rating:	N/A
Voltage Rating:	125/277 VAC
Flammability Rating:	N/A
Amperage Rating:	20 AMP, 125VAC 10 AMP, 277VAC
Motor Load:	3/4 HP, 125/250VAC
InsulationResistance:	500V DC 100 mohm 1 Minute
Contact Resistant:	50 mohm Max
Dialectric Strength:	1500 V AC 1 Minute

Figure 33-מפרט הכפתור הנבחר

5.4. צורת החיבור של הבקר והממסר למנוע

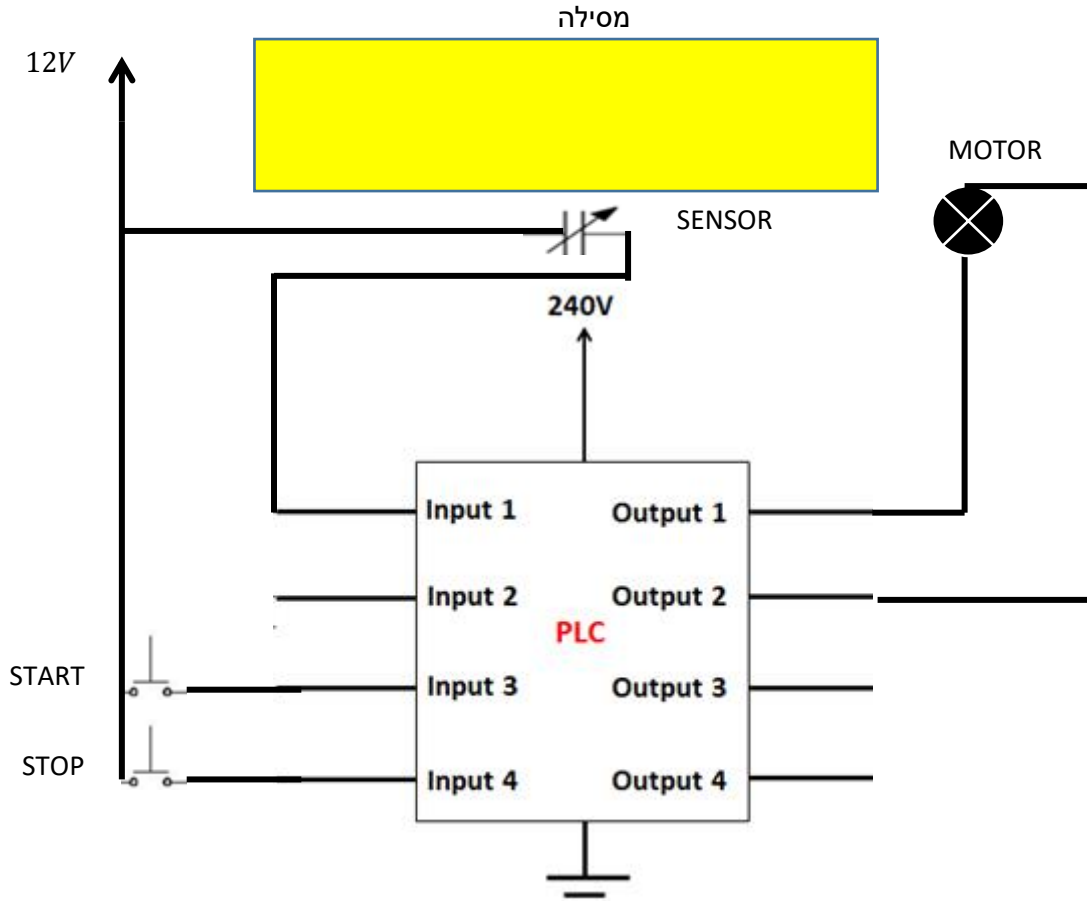
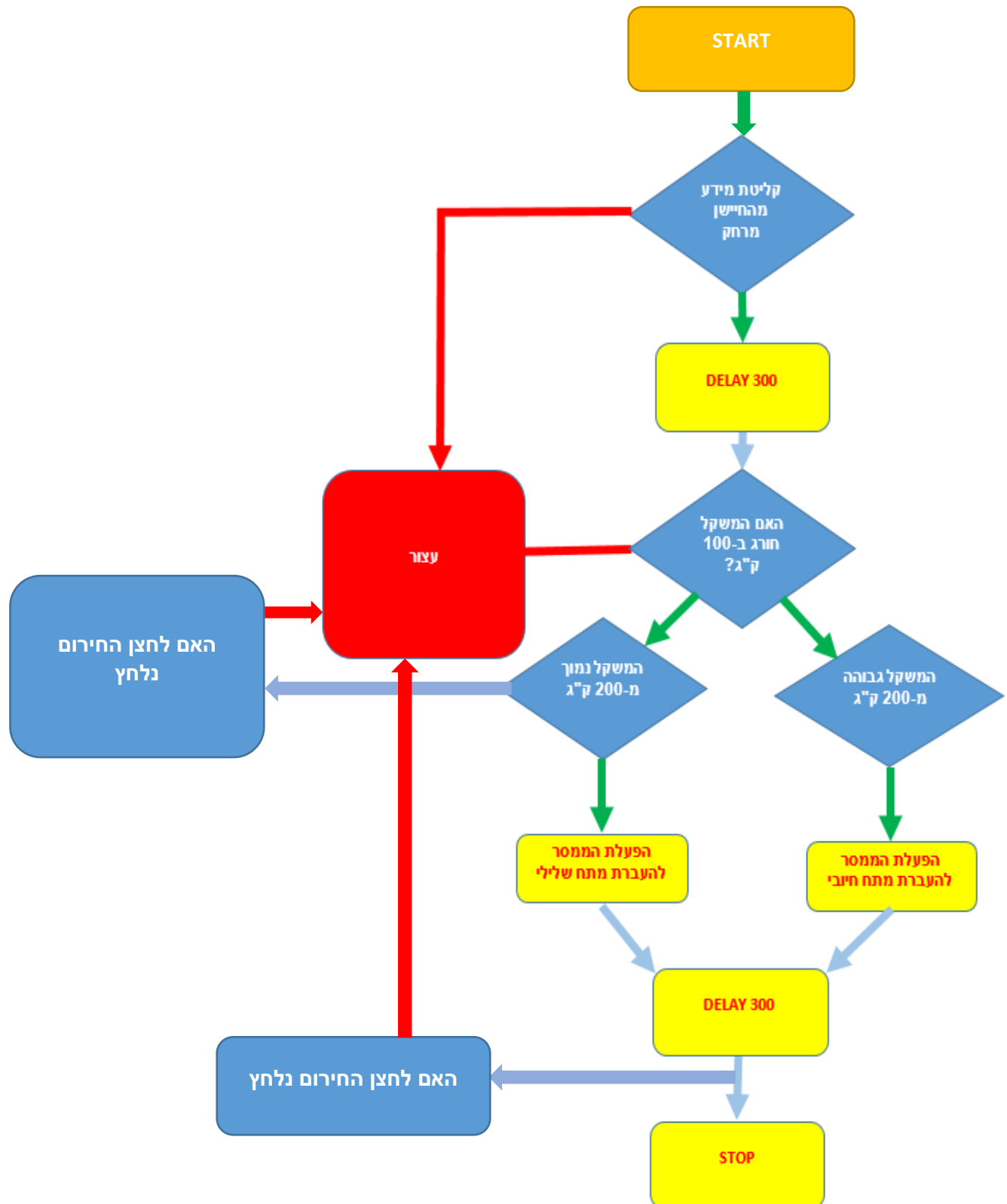


Figure 34-החיבור בין הבקר, הסוויצ'ים, המנוע והחיישן

בדיאגרמה הבאה ניתן לראות כיצד ה-PLC מרכז את כל הכניסות: חיישן המרחק, הכפתורים להדלקה וכיבוי המערכת עם היציאה היחידה שהיא מהירות המנוע. כל ניתוח המידע שצריך להיעשות נעשה בעזרת הבקר, כפתורי ההתחלה והעצירה מעבירים אות בינארי להתחיל או להפסיק והחיישן מעביר אות אנלוגי אותו ה-PLC יכול לזהות.

ה-PLC מקבל את המתח שלו ומעביר את המתח למנוע, בעזרת ה-PLC ניתן להשתמש בקוד כדי לנתח את כל המידע הנכנס אליו ולבצע בו מניפוליציה בסיסית (אם קורה X לבצע את משימה Y) ובכך להפעיל את כל המערכת.

5.5. תרשים זרימה של בקרת תהליך



הבדיקה עבור לחיצה על לחצן החירום נעשית לפני כל איטרציית פקודה לבקר.

המנגנון בתוכו כולל תגובה למקרה שבו אין משקל: התנאי הלוגי של "האם המשקל חורג ב-100 ק"ג תקף ב-2 כיוונים: משקל ששוקל ב-100 קילוגרם **יותר** ממה שהמכונה יכולה לעמוד בו או 100 ק"ג **פחות** ממה שהמכונה יכולה לעמוד בו כלומר כאשר אין משקל החיישן לא יוכל לקלוט מידע ולכן המכונה תעצור, העצירה הראשונית נועדה לחכות להנחה (או הנחתה) של המוצר ולהתייצבות המתקן (כלומר כעבור מספיק זמן הקפיצים יפסיקו לתנוד והמשטח יתייצב על המיקום הסופי שלו ובו אנו נוכל להסיק את המשקל שלו).

6.סיכום מסקנות והמלצות

לסיכום התקבלה מערכת שקילה פשוטה מאוד שאפשר להשתמש בה כדי למיין משקלים גדולים, אפשר ליישם את השיטה הזאת על מנת למיין במהירות מסות שמכילות משקלים גדולים או מסות קשיחות כבדות.

כל הרכיבים שזמינים להזמנה בשוק נבחרו וכל הרכיבים שצריך לייצר אותם זמינים בצורת סרטוטי סולידוורקס.

המערכת מאוד פשוטה להרכבה ועלולה להיות בסיס לשלל מערכות שמתבססות על עיקרון התכווצות קפיצים על מנת למדוד משקלים כבדים מאוד בקנה מידה תעשייתי.

המלצה לפיתוח הפרויקט-לא צריך בקר בשביל המערכת. אופן הפעולה שלה פשוט מאוד, אפשר לבנות מערכת בקרה ספציפית בעזרת גשר H, מספר דיודות ומספר ממסרים, דבר שיכול לעשות את המערכת לזולה מאוד בהמשך הדרך.

השימוש ברצועה טריזית בפרויקט הזה היא לא בהכרח הפתרון האופטימלי של הבעיה, פתרון המשתמש ברצועות V (או שרשרת אופניים) עלול לעבוד בצורה יותר טובה.

7. ביבליוגרפיה

- http://en.hfjiexun.com//article_list_99.html?gclid=EAlaIqobChMIwpPG8Mbq1QIVrhbTCh_0YUAcpEAAYAiAAEgKw5vD_BwE .1
- <http://www.ciprecision.com/en/weight-sorting/> .2
- <http://inwatec.dk/product/automatic-sorting-machine/> .3
- <https://www.olympus-ims.com/en/eddycurrenttesting/> .4
- <http://www.lionprecision.com/eddy-current-sensors/ecl202.html#ranges> .5
- <https://www.thespringstore.com/pc562-4406-15-00-ot-16-000-cg-n-in.html> .6
- <http://www.skf.com/binary/77-121486/SKF-rolling-bearings-catalogue.pdf> .7
- https://www.nord.com/cms/en/documentation/software/configurator/configurator_2.jsp#/configurator/5eb94fdb-b7dc-4d60-9752-3234284a9c5a/data .8
- <http://www.epictinker.com/4-Channel-5V-Relay-Module-p/it-pwr-4ch.htm> .9
- <http://www.megasan.com/service/pdfhandler.ashx?fileid=4480> .10
- <http://www.machinedesign.com/engineering-essentials/engineering-essentials-what-programmable-logic-controller> .11
- http://www.gg.co.il/images/pdf/rezuot_tizmun_galgalei_tizmun/104a.pdf .12
- <http://www.gatesaustralia.com.au/products/industrial-belts-sprockets-and-equipment/synchronous-belts/powergrip-gt3-belts> .13
- <http://www.gatesaustralia.com.au/~media/files/gates-au/industrial/brochures-and-marketing-collateral/4963007--powergrip-gt3-brochure.pdf> .14
- <http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/14ae/0900766b814ae0e6.pdf> .15
- <http://www.morrisproducts.com/images/70250-Spec.pdf> .16

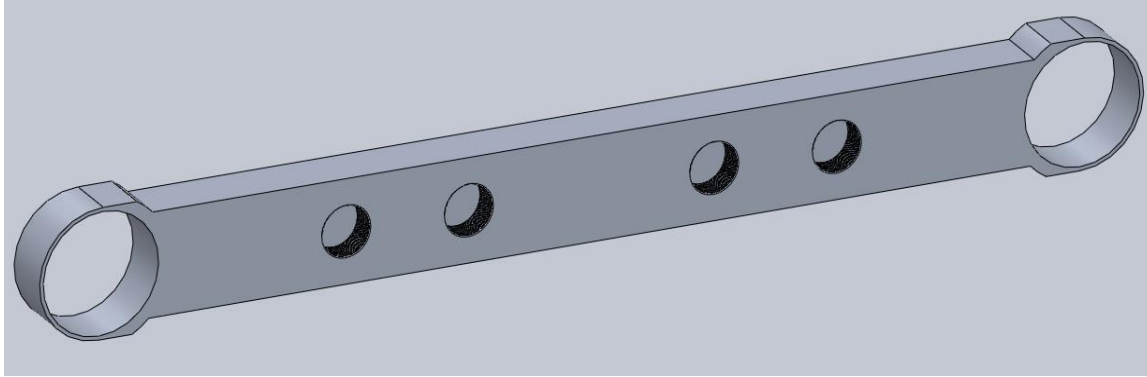


Figure35 -Holder

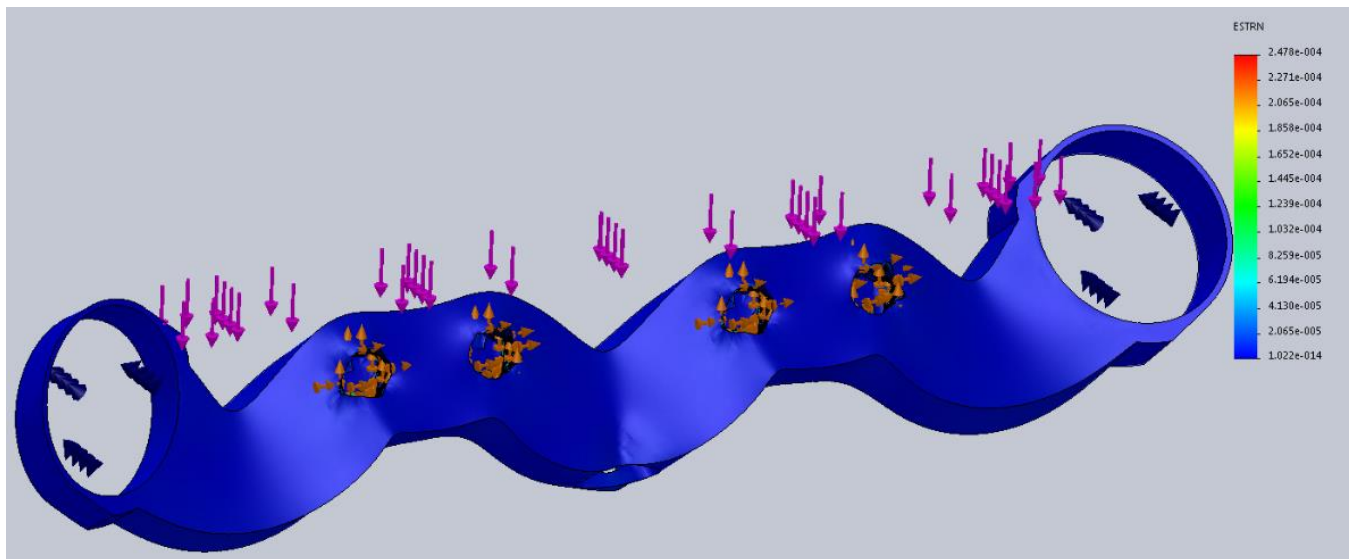


Figure 36-מאמצים ב-Holder

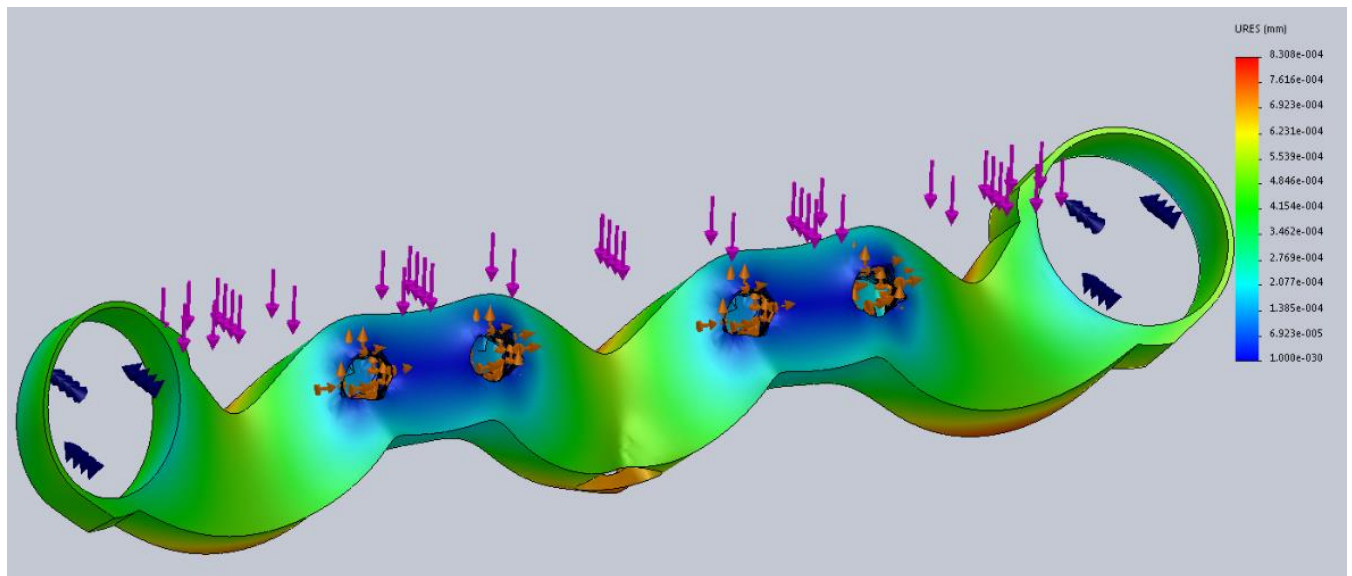


Figure 37-עיבורים ב-Holder

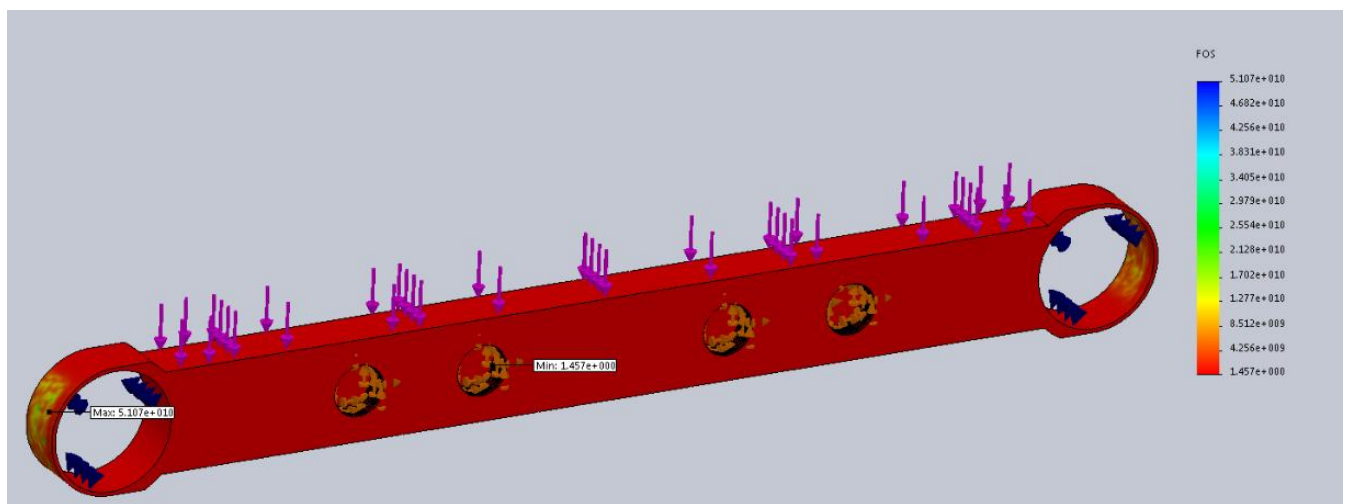


Figure 38-מקדם הביטחון ב-Holder

מקדם הביטחון המקסימלי הוא: 50 ומקדם הביטחון המינימלי הוא: 1.457 והוא בנקודת החיבור וגליל התמיכה.

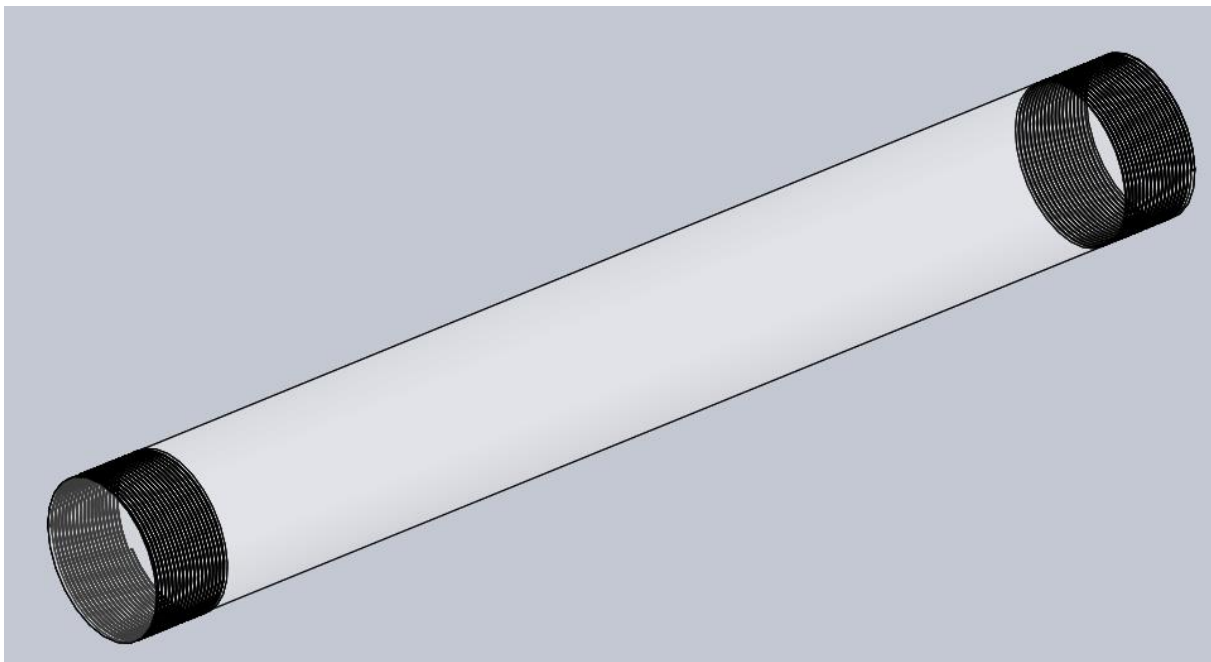


Figure 39-גליל התמיכה

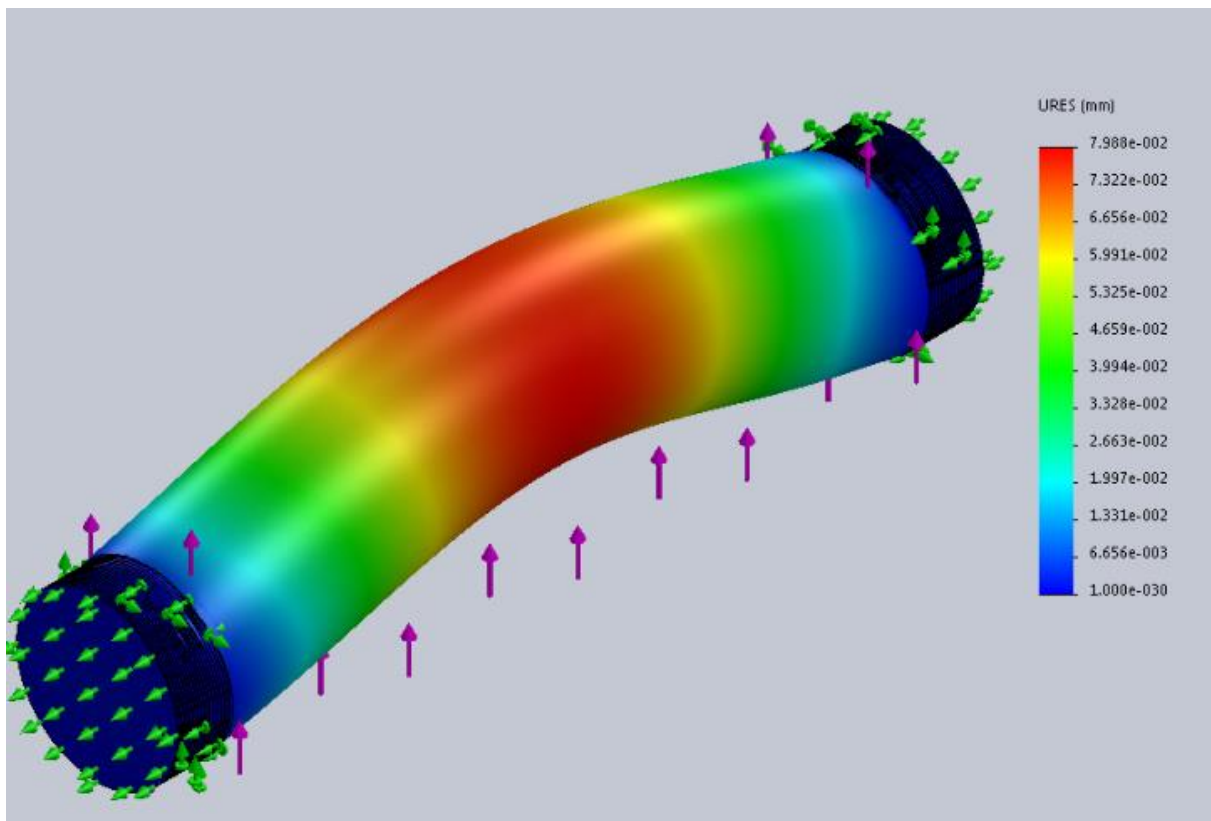


Figure 40-המאמצים בגליל התמיכה

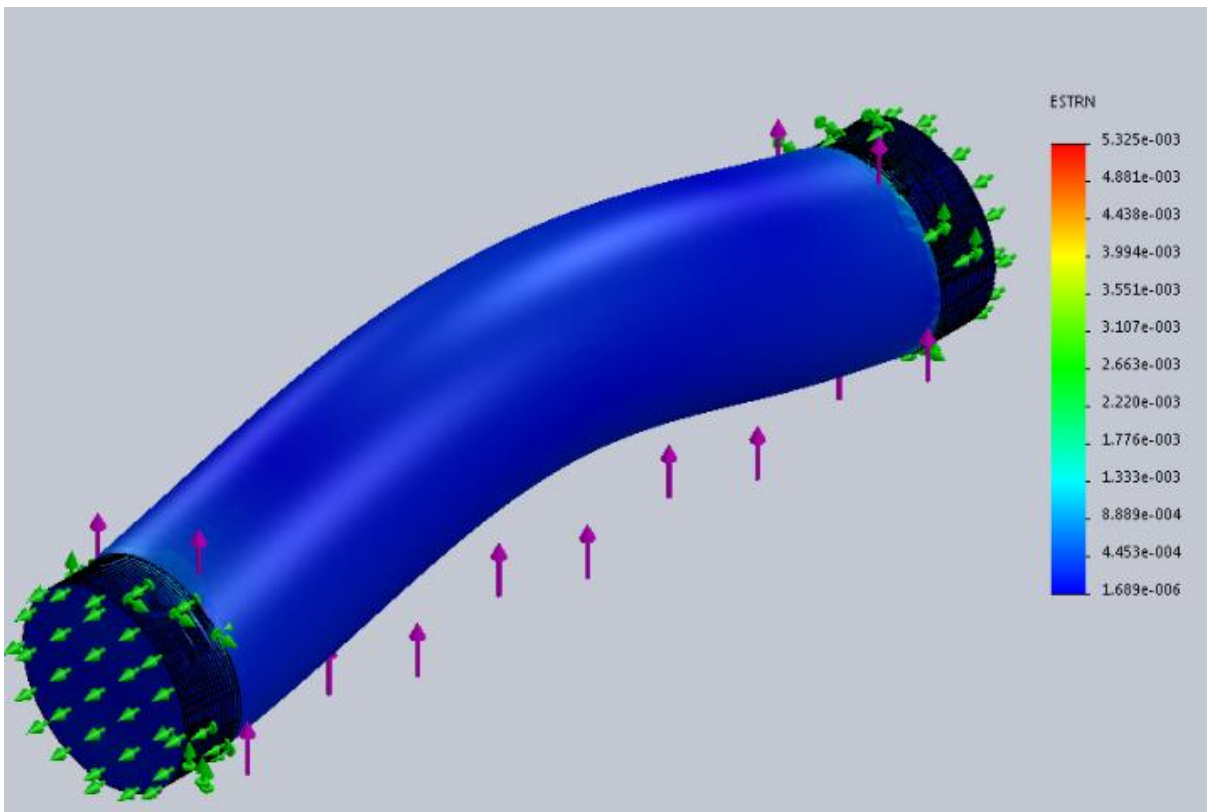


Figure 41-העיבורים בגליל התמיכה

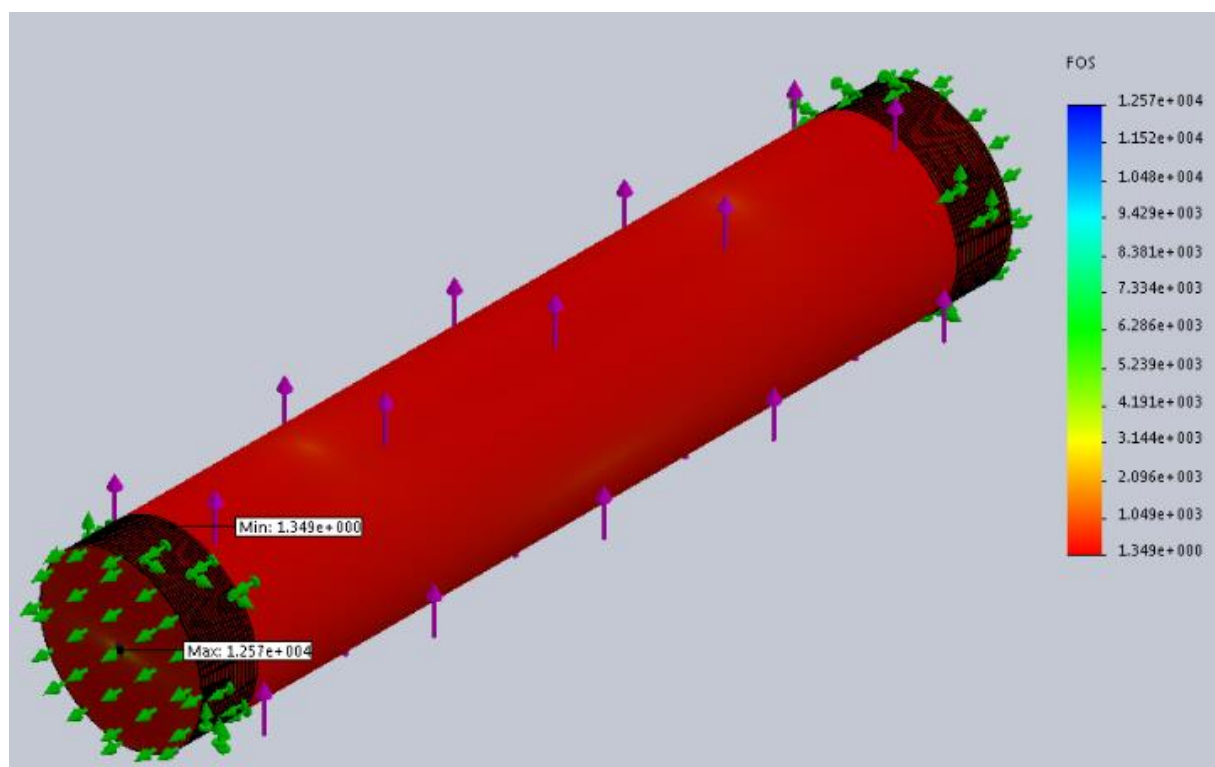


Figure 42-מקדם הביטחון בגליל התמיכה

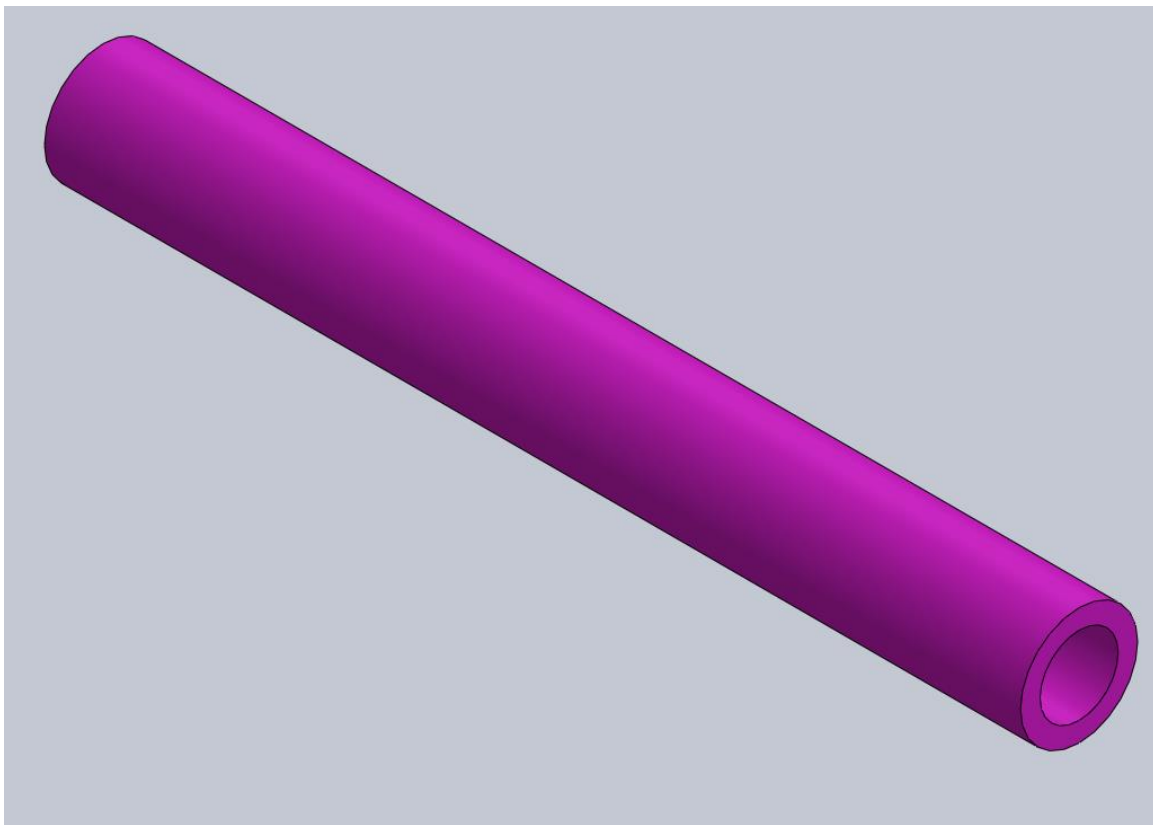


Figure 43-גליל המעביר מומנט

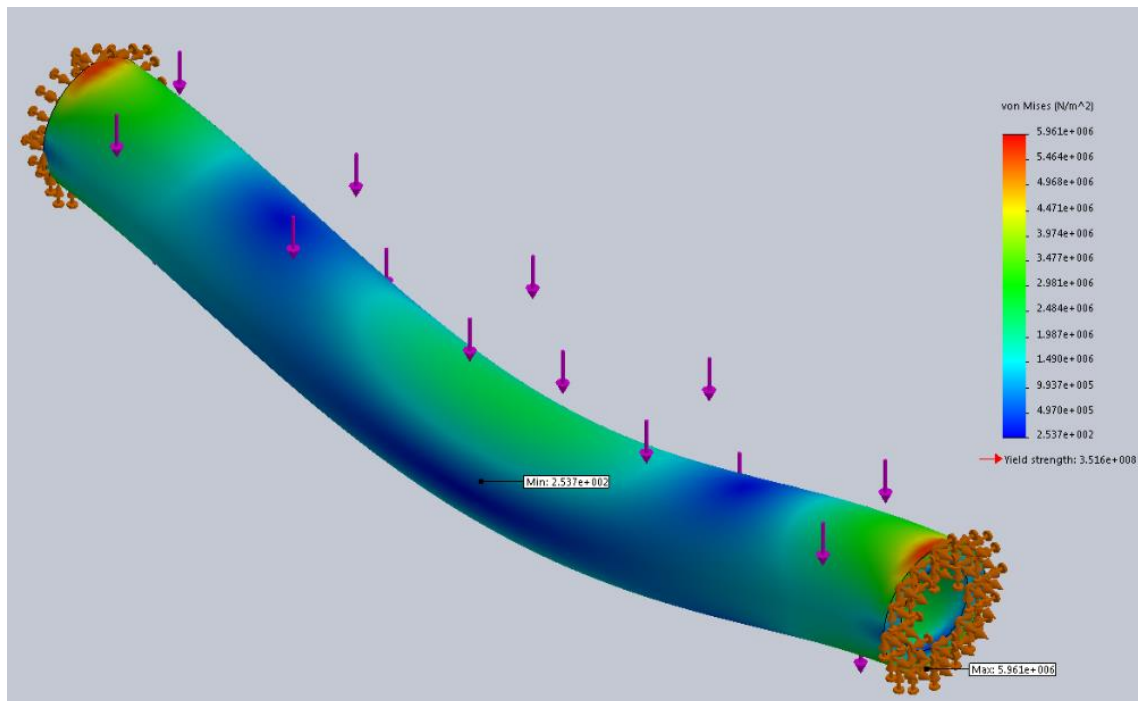


Figure 44-המאמצים בגל הסיבוב

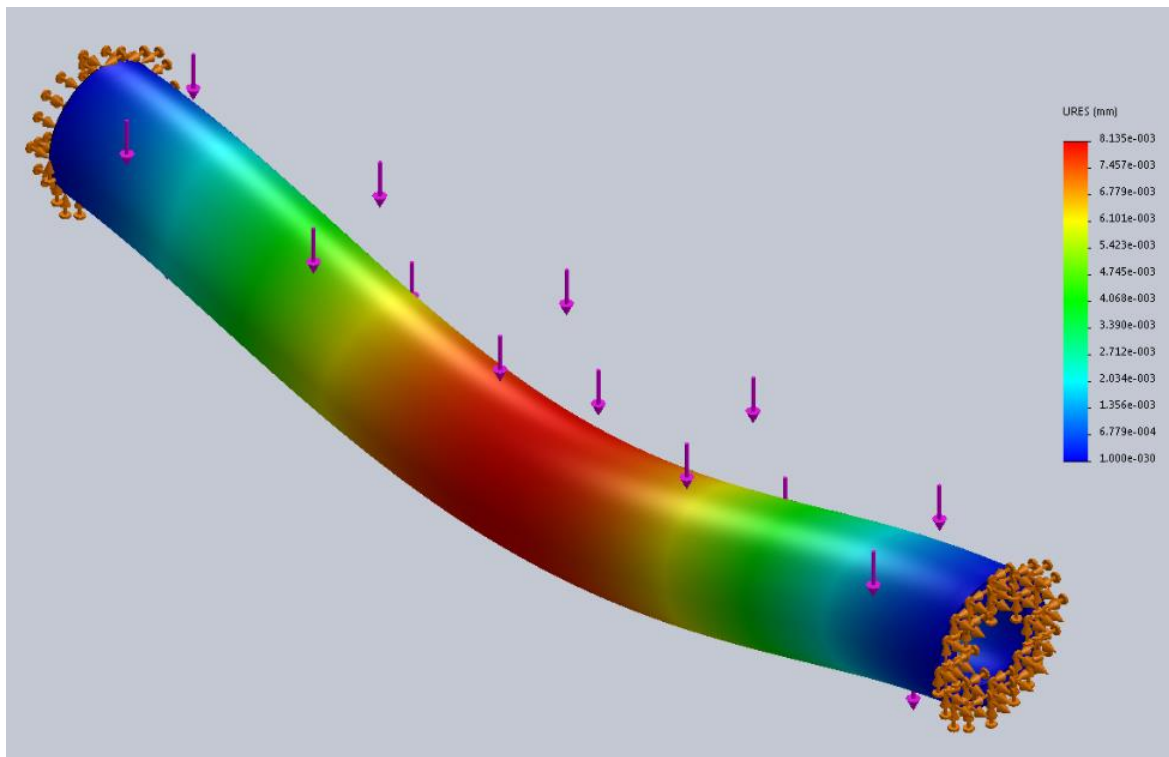


Figure 45-העיבורים בגל הסיבוב

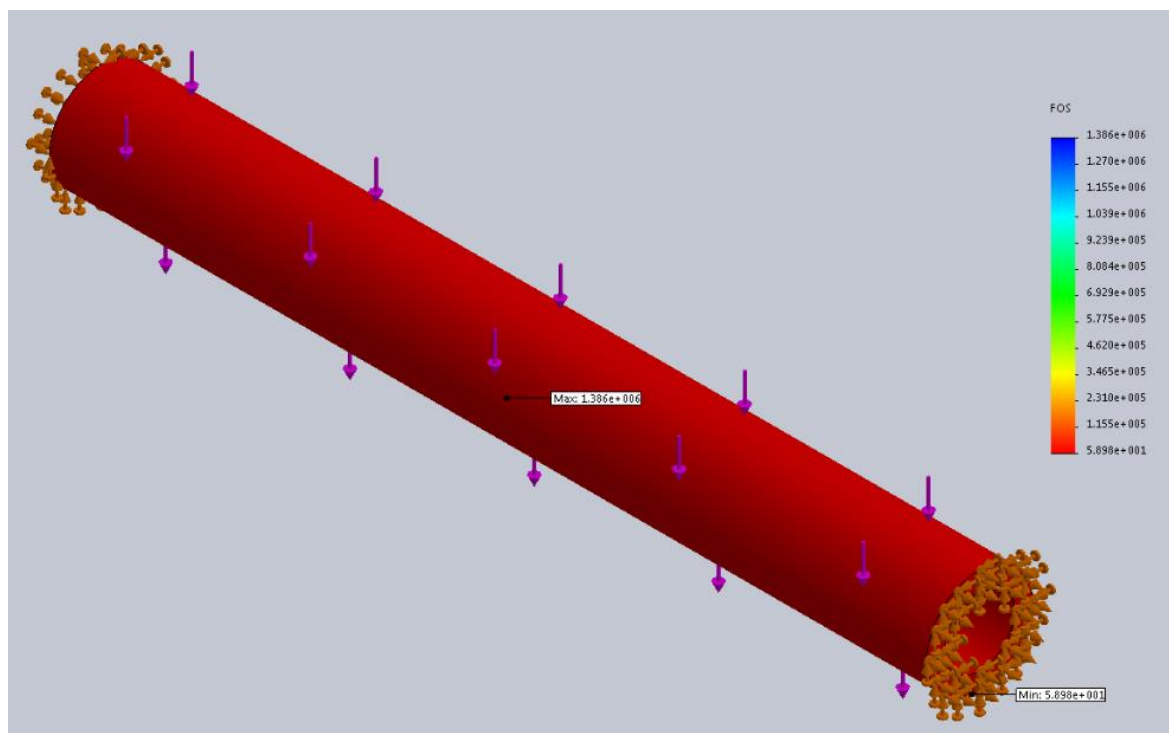


Figure 46-מקדם הביטחון בגל הסיבוב

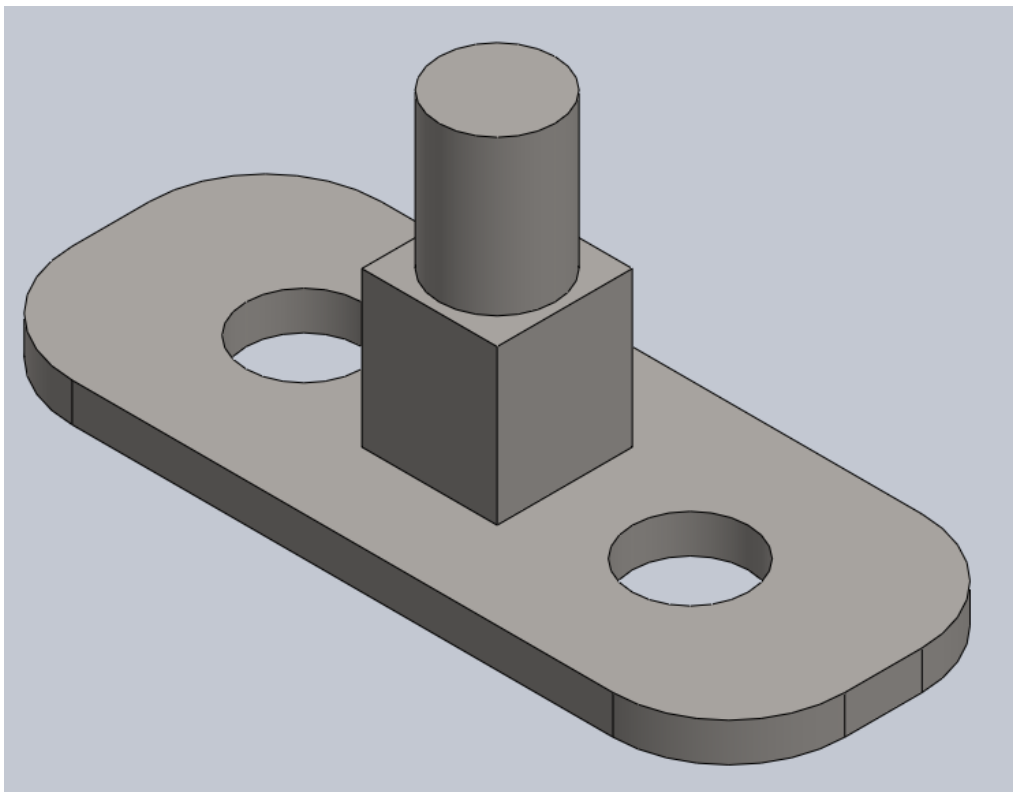


Figure 47-המחבר

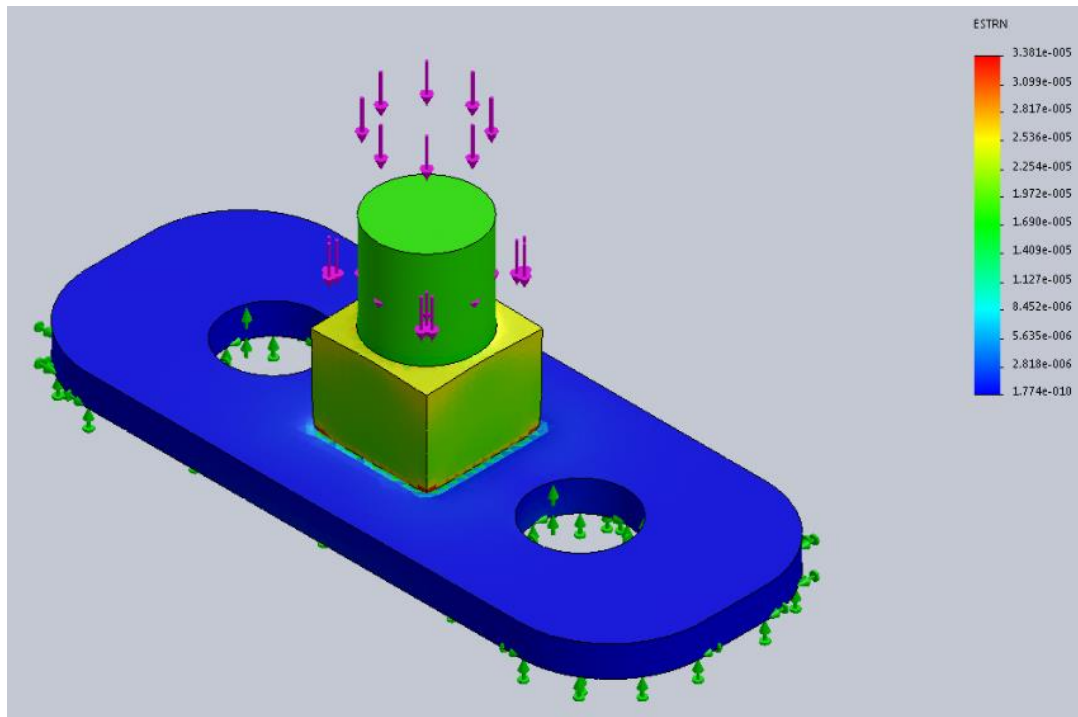


Figure 48-המאמצים במחבר

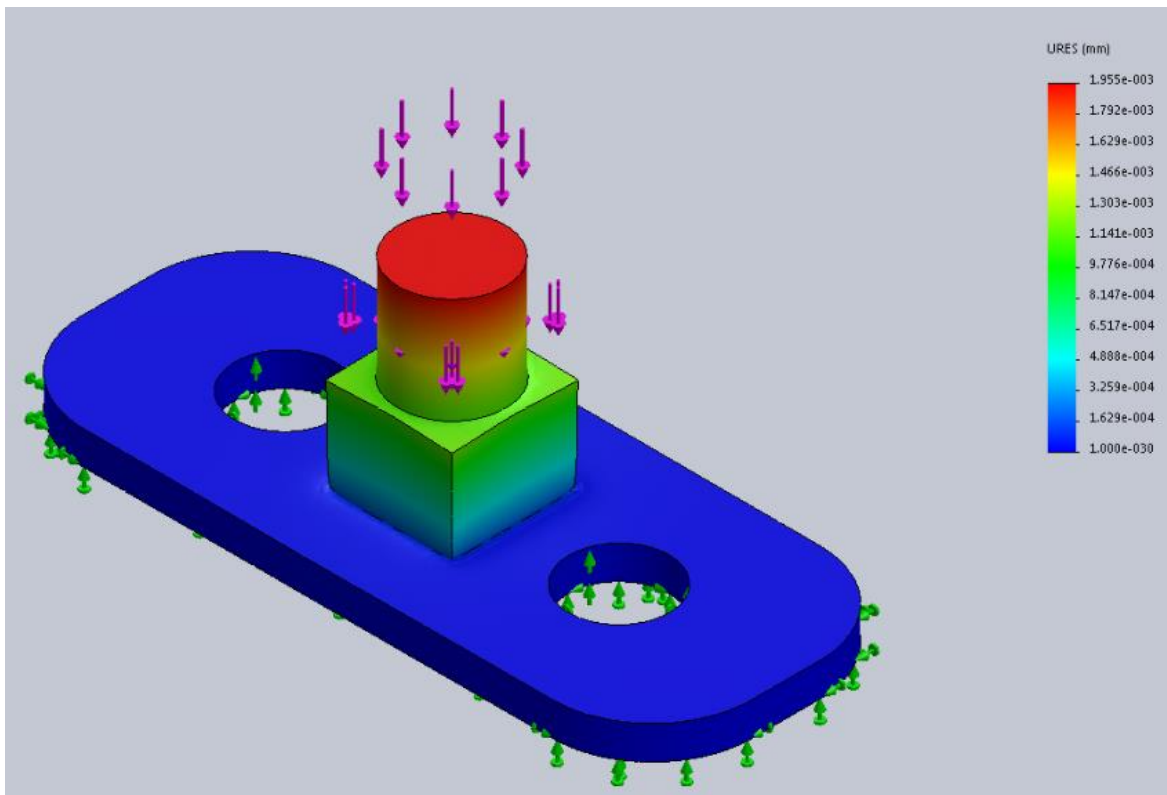


Figure 49-העיבורים במחבר

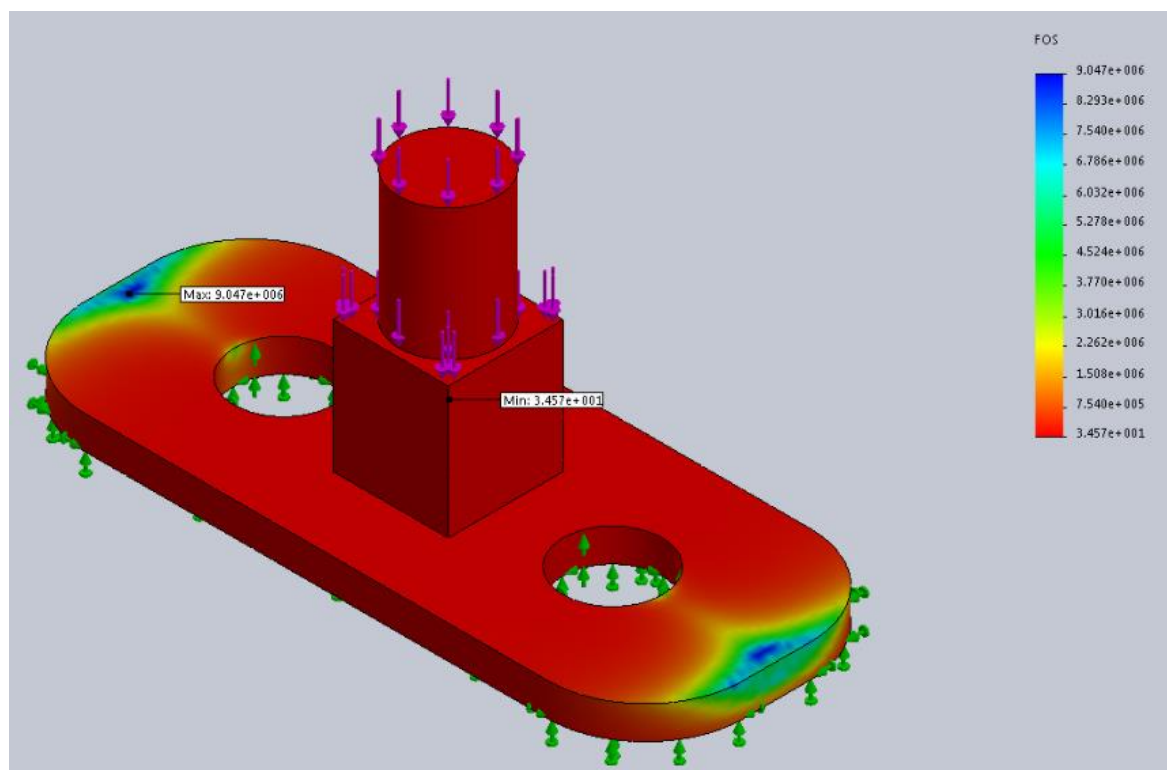
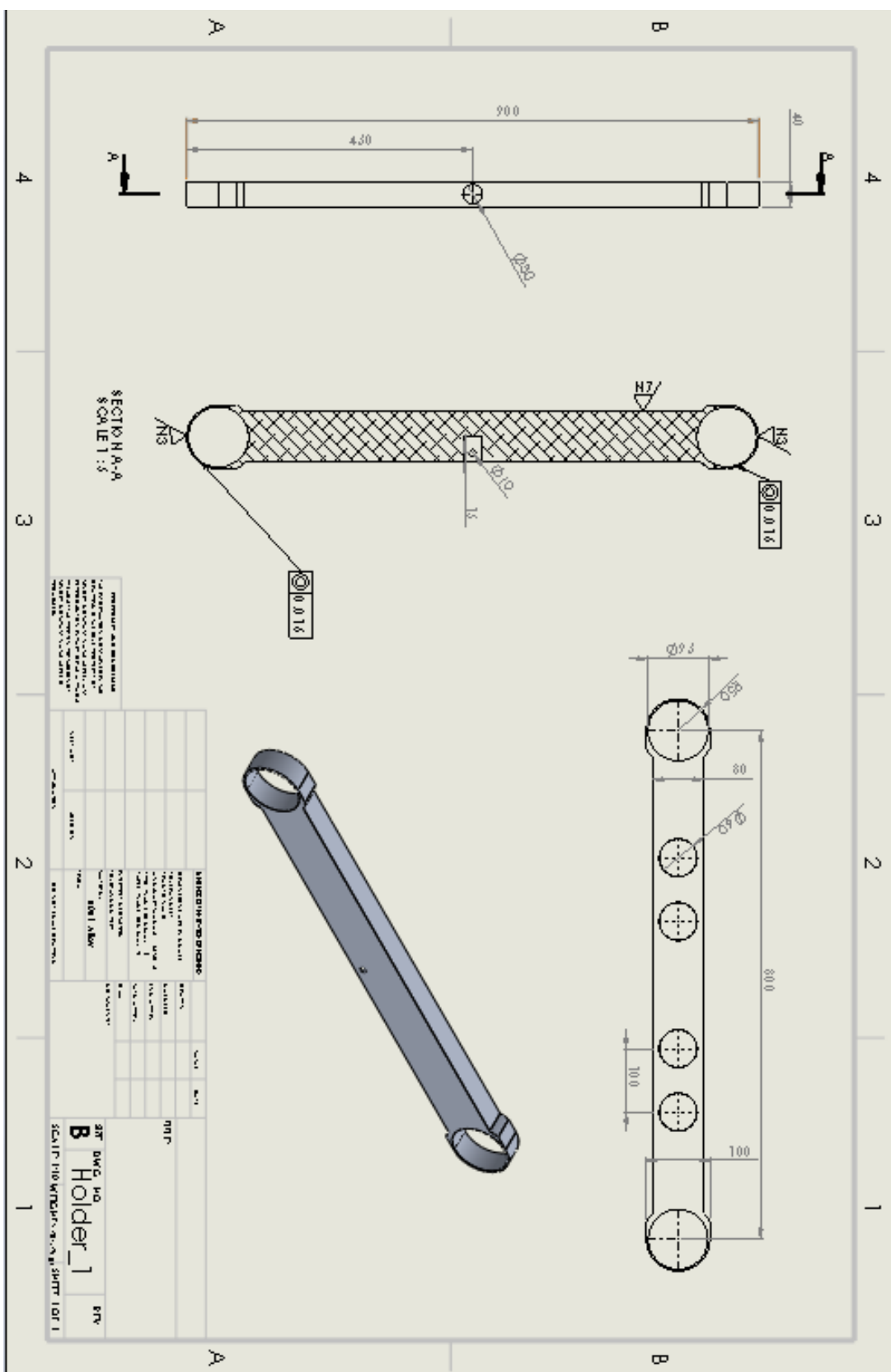
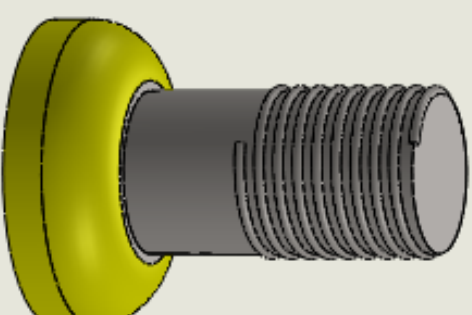
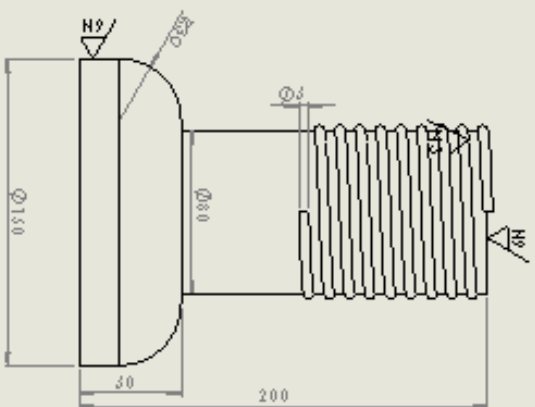


Figure 50-מקדם הביטחון במחבר





NAME		DATE	TIME	LOCATION	REMARKS
1	JOHN DOE	10/10/2023	14:30	Room 101	Normal
2	JANE SMITH	10/10/2023	15:00	Room 102	Normal
3	JOHN DOE	10/10/2023	15:30	Room 101	Normal
4	JANE SMITH	10/10/2023	16:00	Room 102	Normal
5	JOHN DOE	10/10/2023	16:30	Room 101	Normal
6	JANE SMITH	10/10/2023	17:00	Room 102	Normal
7	JOHN DOE	10/10/2023	17:30	Room 101	Normal
8	JANE SMITH	10/10/2023	18:00	Room 102	Normal
9	JOHN DOE	10/10/2023	18:30	Room 101	Normal
10	JANE SMITH	10/10/2023	19:00	Room 102	Normal
11	JOHN DOE	10/10/2023	19:30	Room 101	Normal
12	JANE SMITH	10/10/2023	20:00	Room 102	Normal
13	JOHN DOE	10/10/2023	20:30	Room 101	Normal
14	JANE SMITH	10/10/2023	21:00	Room 102	Normal
15	JOHN DOE	10/10/2023	21:30	Room 101	Normal
16	JANE SMITH	10/10/2023	22:00	Room 102	Normal
17	JOHN DOE	10/10/2023	22:30	Room 101	Normal
18	JANE SMITH	10/10/2023	23:00	Room 102	Normal
19	JOHN DOE	10/10/2023	23:30	Room 101	Normal
20	JANE SMITH	10/10/2023	00:00	Room 102	Normal

