

5	1. פתיח
6	2. מבוא
6	2.1 סקר ספרות
8	2.2 הגישה המוצעת
10	2.3 העקרונות הפיזיקליים
10	2.3.1 מנוע צעד
12	2.3.2 מנגנון ה-ADC
14	2.3.3 עיקרון האפקט הפוטוולטאי
15	2.3.4 סכנת הקריסה
16	2.3.5 בקר PLC
17	3. מדידות חישובים ותוצאות
17	3.1 אנליזות
31	3.2 חישובים
31	3.2.1 חישובים גיאומטריים*
32	3.2.2 המומנט הדרוש לסיבוב הפנל*
34	3.2.3 ח"י אורך המסבים
38	4. בחירת החלקים
38	4.1 בחירת המנוע
39	4.1.1 בחירת מכשיר מצמד
40	4.1.2 ריתום המנוע
41	4.2 הבקר הנבחר
42	4.3 ADC הנבחר
44	4.4 התא הסולרי הנבחר
45	4.5 מחזיק התאים הסולריים
47	4.6 בחירת כפתורים
49	4.7 סכמה חשמלית של המערכת
50	4.8 תרשים זרימה של בקרת תהליך
51	5. סיכום מסקנות והמלצות
52	6. ביבליוגרפיה
53	7. נספחים

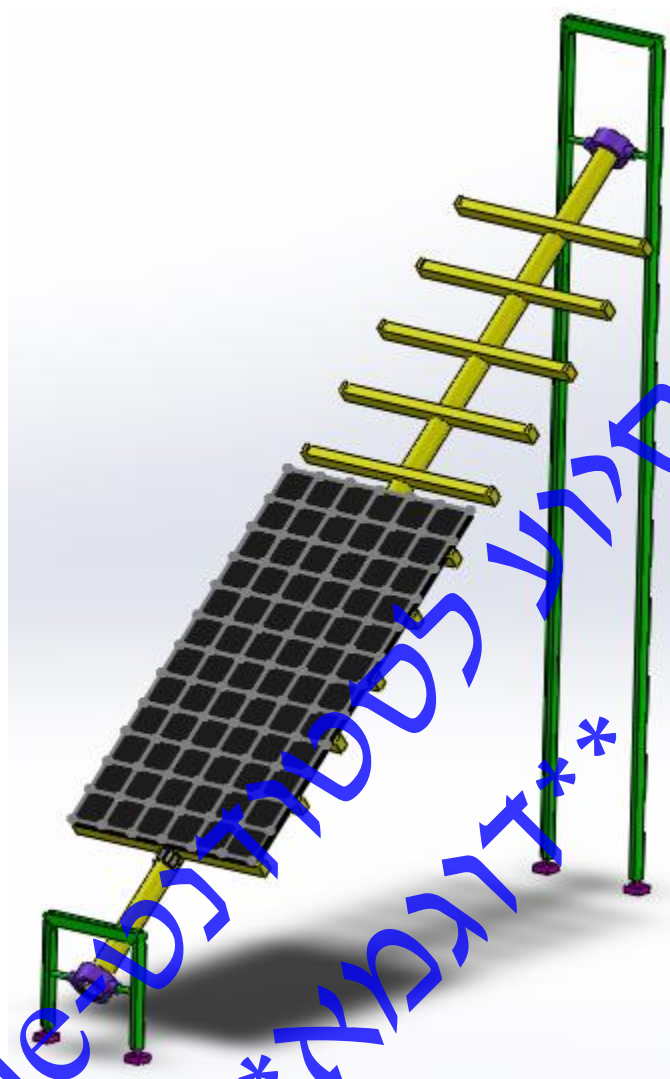


Figure 1-מבט איזומטרי של המערכת

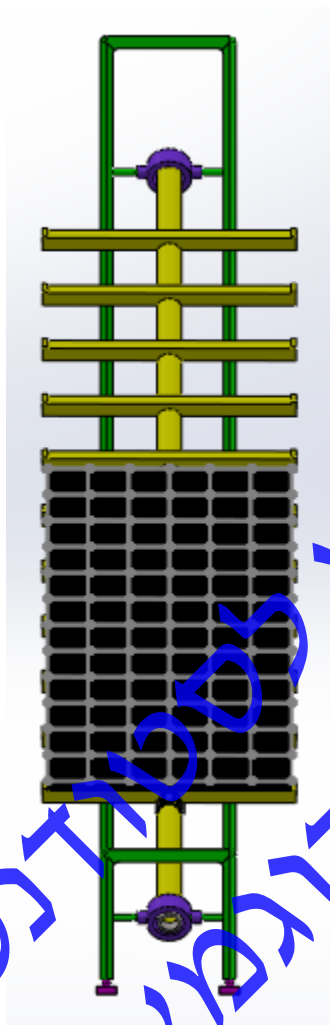


Figure 2-מבט קדמי על המערכת

מרכז סיוע
דואר
EZ-Grade-לדק

1. פתיח

אנרגיה סולארית בעולם המודרני נפוצה יותר ויותר כל שנה ומספקת חשמל למיליוני (אם לא מאות מיליוני) בתים. אך הפאנל הסולרי הוא לא רק הפתרון הפשוט לשאלת האנרגיה העולמית והוא לא מקור מושלם לאנרגיה חופשית.

אנרגיה סולרית מתקבלת מתהליך של המרה של אנרגיית אור לחשמל. יש 2 סוגים של מערכות אנרגיה סולרית: מערכת מרוכזת ומערכת ישירה שמשתמשת באפקט הפוטוולטאי.

התפוקה של פאנל סולארי תלויה באופן ישיר לזווית שבו הוא מכוון לכיוון השמש, כפי שנראה בתמונה ככל שהזווית יותר גדולה (או קטנה) אנו נאבד תפוקה מהפאנל הסולרי.

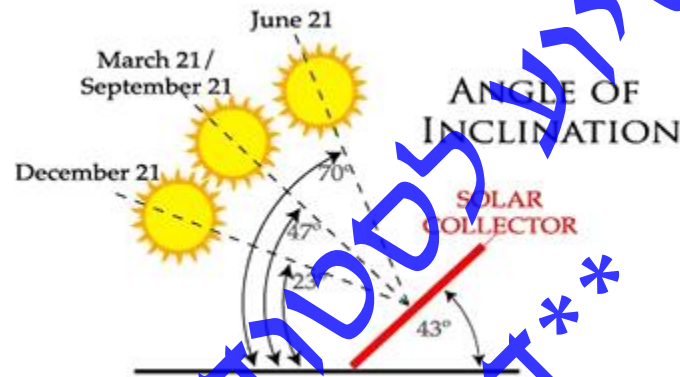


Figure 3-3 זווית הפאנל יכולה להשפיע על קיבול הקרינה

לפתרון הבעיה הזאת, בפרויקט הזה, נציע מערכת המסוגלת לעקוב אחרי תנועת השמש, המסוגלת לגלות את כיוון קרני אור השמש ולהסתובב לכיוון הזה. במערכת סולרית שמש המורכבות בזוויות שונות והקלט מהסוללות שמש משווה במערכת בקרה שממירה את האותות המתקבלים מהם לקלט דיגיטלי ומתחת את הנתונים ומוצאת את כיוון הסיבוב. בנוסף מערכת הבקרה תניע מנוע שיגרום למערכת להסתובב לכיוון השמש.

2.1 סקר ספרות

יש שיטות שהומצאו שמספקות מענה לדרישות הפרויקט. המערכת שקיימות בשוק משתמשות בעיקר במערכת עומדת המכוונת לשמש את הפאנל הסולרי תחת עמוד אחד הדומה במובן מסויים למערכת רדאר, בכך שהמערכת יכולה להתכוון ב-2 כיוונים נפרדים.



Figure 4- מערכת ליעול פאנלים סולריים

בנוסף לכך בשנת 2008 התקיים ניסיון של 2 חוקרים (J. Rizk and Y. Chaiko) שבו הורכבה מערכת עקיבה באמצעות מערכת עקיבה פשוטה, מנוע צעד פאנל סולרי של W9 שבו הם הראו שבשעות מסוימות של היום מערכת העקיבה הצליחה ליצור תוצאות גבוהות הרבה יותר ממערכת פאנל סולרי ניח (V3.5 עבור פאנל ניח ו- V6.31 עבור פאנל נע):



Figure 5- מערכת עבודה סולרית קיימת

2.2. הגישה המוצעת

הגישה המוצעת מתבססת על תהליך מכני שמבקר את הזווית של הפאנל הסולרי המערכת המתכוננת מכילה:

1. פאנל סולרי.
2. מסוע בבקרה המאפשר הזזות של זוויות מדויקות.
3. מערכת בקרה.
4. מסבים.

תהליך העבודה של המערכת הוא תהליך של מספר שלבים בסיסיים:

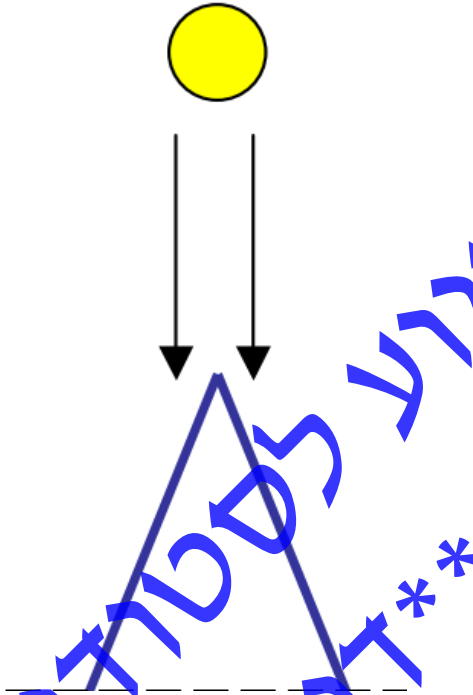


הפרשי המתחים נובעים משימוש בפאנלים סולריים קטנים המכוונים בזוויות שונות לכיוון השמש. מכיוון שאנו מחפשים את הזווית שבה הפאנל הסולרי מקבל כמות מקסימלית של אור שמש הרכיב הכי רגיש שאנו יכולים להשתמש בו הוא פאנל סולרי.

ישנן הרבה אפשרויות לחבר את הפאנלים הסולריים בהטיה אחד מהשני. אחד מהשיטות היא לחבר את הפאנלים הסולריים בהטיה אחד מהשני באופן הבא:

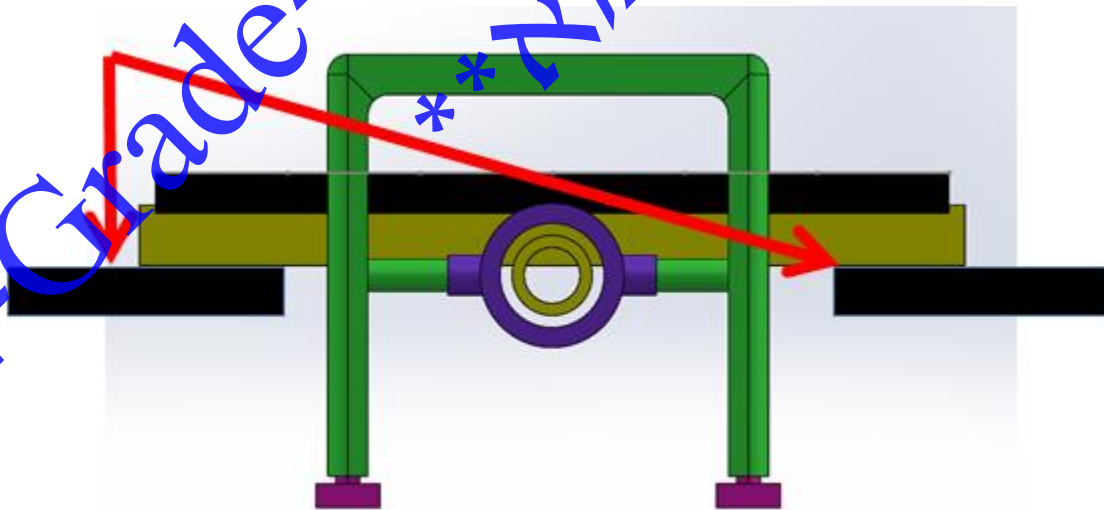


אך אם אנו נרצה להשתמש בכמה שפחות פנלים סולריים (הדבר הזול והעדיף יותר לעשות) ניתן לחבר אותם בצורה הבאה:



כאשר נשאף לכך שהפרש המתחים בין הפאנלים יהיה אפס.

בנוסף קיימת שיטה נוספת והיא למקם את הפאנלים הסולריים מתחת לפאנל הסולרי בצורה הבאה:



במנגנון הבא כאשר קרני השמש פוגעים במתקן בזווית מסוימת נוצר צל על אחד הפאנלים הסולריים מה שמקטין את המתח שהוא מייצר.

אנו נבחר לעבוד בשיטה הראשונה שהוצעה להנחת הפאנלים הסולריים במערך של 3 פאנלים סולריים קטנים שמספקים את הבקרה של המערכת. הפאנלים מורכבים בתוך מתקן המחובר לציר הסיבוב של הפאנל הסולרי הגדול.

עבור הדגשה נציין שבמערכת יש סכ"ה 4 פאנלים סולריים. פאנל סולרי אחד גדול, זהו הפאנל הסולרי המרכזי הוא האחד שאנו צריכים לכוון לכיוון השמש והוא מפיק אנרגיה ההולכת למקור ביתי או למצבר כלשהו בו אנו נאגור את החשמל המופק ממנו למטרה אחרת. 3 הפאנלים הסולריים הנותרים במערכת הם למטרת כיוון הפאנל הסולרי הגדול לכיוון השמש. הפאנלים מפיקים מתח שאנו משווים והפרש המתחים קובע האם כדאי להניע את המנוע-ולאיזה כיוון.

בנוסף המערכת מסוגלת לעבוד לפי 2 משטרים. לפי משטר הפאנלים הסולריים ולפי משטר טיימר לימים מעוננים בהם השמש מתחבאת מאחורי עננים ולכן המערכת תסתובב באופן ידוע מראש בזמן ידוע מראש.

2.3. העקרונות הפיזיקליים

2.3.1. מנוע צעד

מנוע צעד הוא מנוע המסוגל להגיע לחלוציית זווית גבוהה מאוד.

מנוע הצעד מחלק את סיבוב הרוטור למספר חלקים שווים (באנגלית steps לכן באנגלית קוראים לו stepper motor). ניתן לקבוע את מיקום המנוע ישירות ללא צורך בלולאת בקרה או במנגנון סרוו משלו. [10]

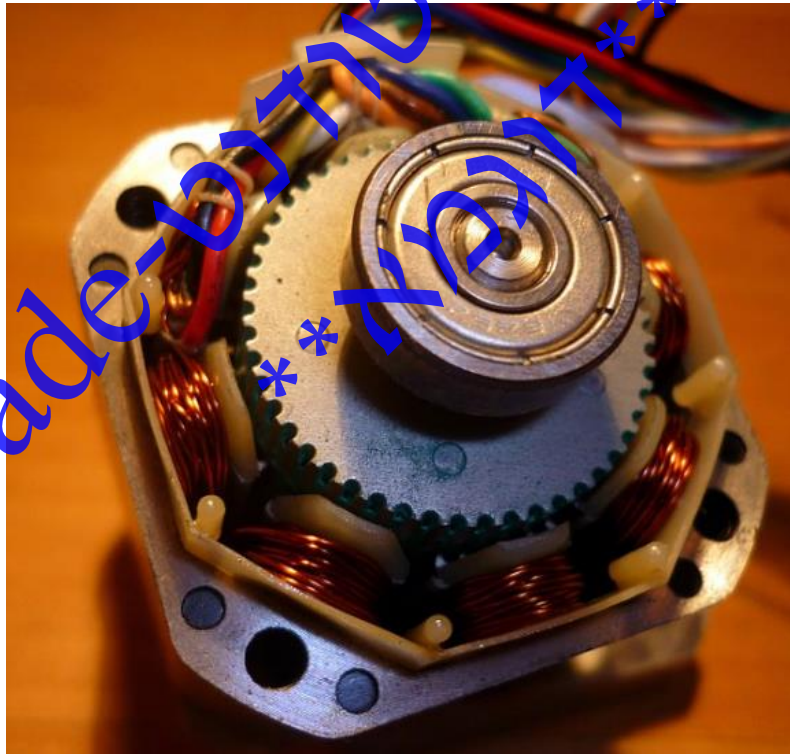


Figure 6-מנוע צעד

עיקרון הפעולה של מנוע צעד מתבסס על מערכת של סלילים וליבה מתמגנטת. כאשר מעבירים זרם דרך הסלילים הללו הם מפעילים שדה מגנטה המפעיל כוח מגנטי [11]:

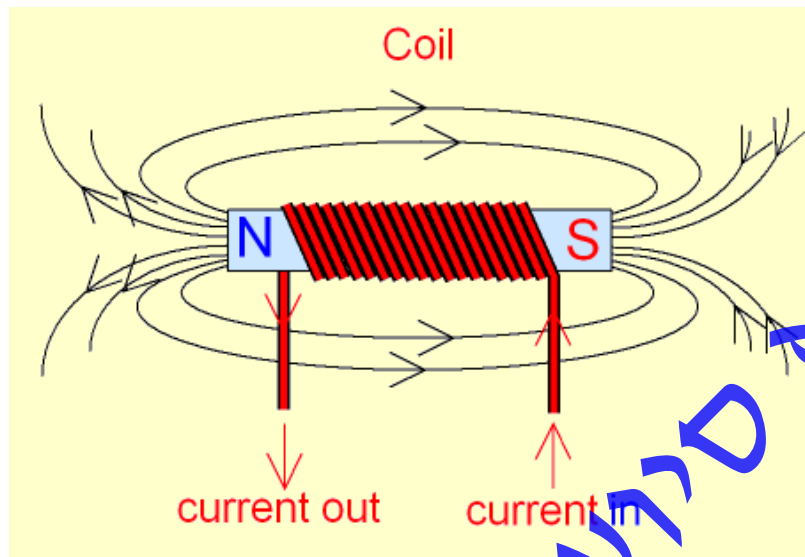


Figure 7 ליבה מגנטית שסביבה ליפפו סליל

הליבה של המנוע מתמגנטת ומסתובבת לכיוון הסליל הממגנט:

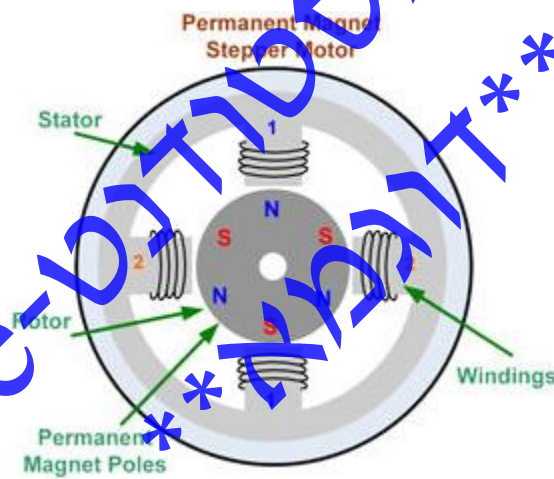


Figure 8-עיקרון פעולת מנוע צעד

בפרויקט זה נבחר להשתמש במנוע צעד משום שאפשר להגיע איתם לדיוקים גבוהים מאוד ולמומנטים גבוהים מאוד.

2.3.2. מנגנון ה-ADC

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

בעת המרה של אותות אנלוגיים לדיגיטליים יש לשים לב ל-2 מאפיינים: 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.

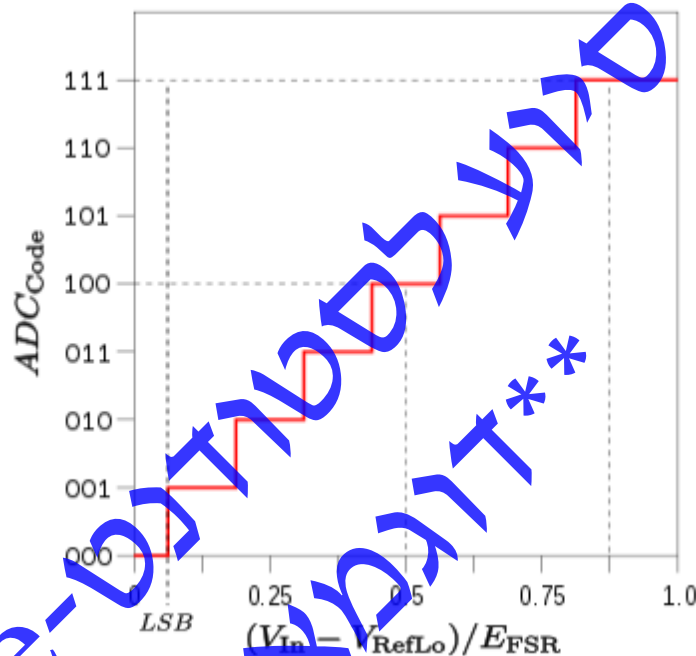


Figure 9-7 רזולוציית מערכת ADC

הערה: עבור כל מערכת כדלית יש להתחשב בעיקרון נייקוויסט-שאנון שכובע כי קצב הדגימה צריך להיות גדול פי 2 מהתדר הנדגם:

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

עיקרון נייקוויסט שאנון קיים כדי למנוע מצבים בהם אנו נדגום מערכת (כמו לדוגמא מערכת סינוסואדלית) פעם למחזור ולאחר מספר דגימות שבהם נקבל ערך קבוע לא נוכל להגיע לערכים הנכונים.

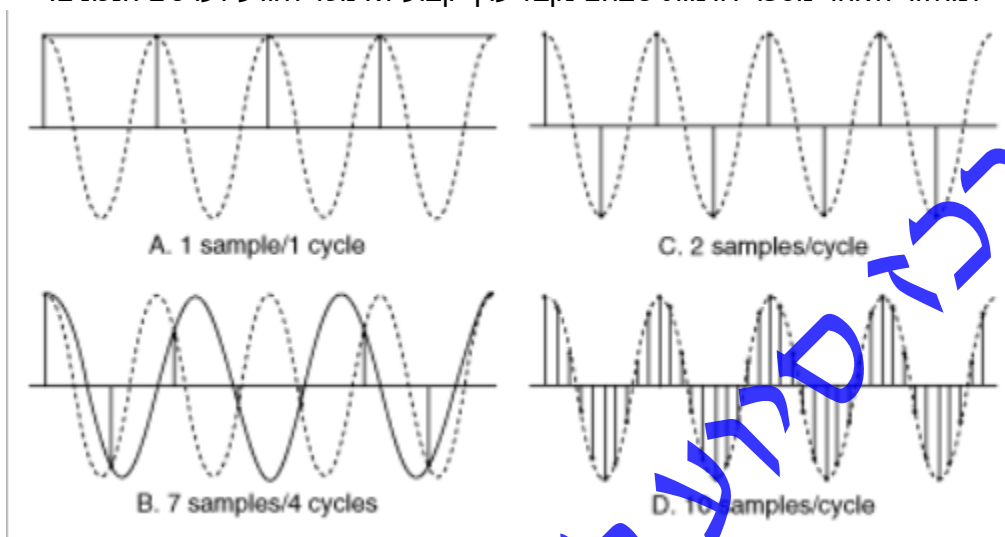


Figure 10 - שיטות דגימה ממחזורי דגימה נמוכים

Ez-Grade-לסטודנט-דוגמא**

2.3.3. עיקרון האפקט הפוטוולטאי

האפקט הפוטוולטאי מתאר יצירה של מתח זרם חשמלי בחומר מסוים כתוצאה מחשיפה לאור. התופעה הזאת היא תגובה פיזית וכימית הקשורה להרכב החומר הנחשף לקרן האור.

בדומה לאפקט הפוטואלקטרי, האור שהחומר נחשף אליו נשאב לתוך החומר וגורם לעירור אלקטרונים לרמת אנרגיה גבוהה יותר.

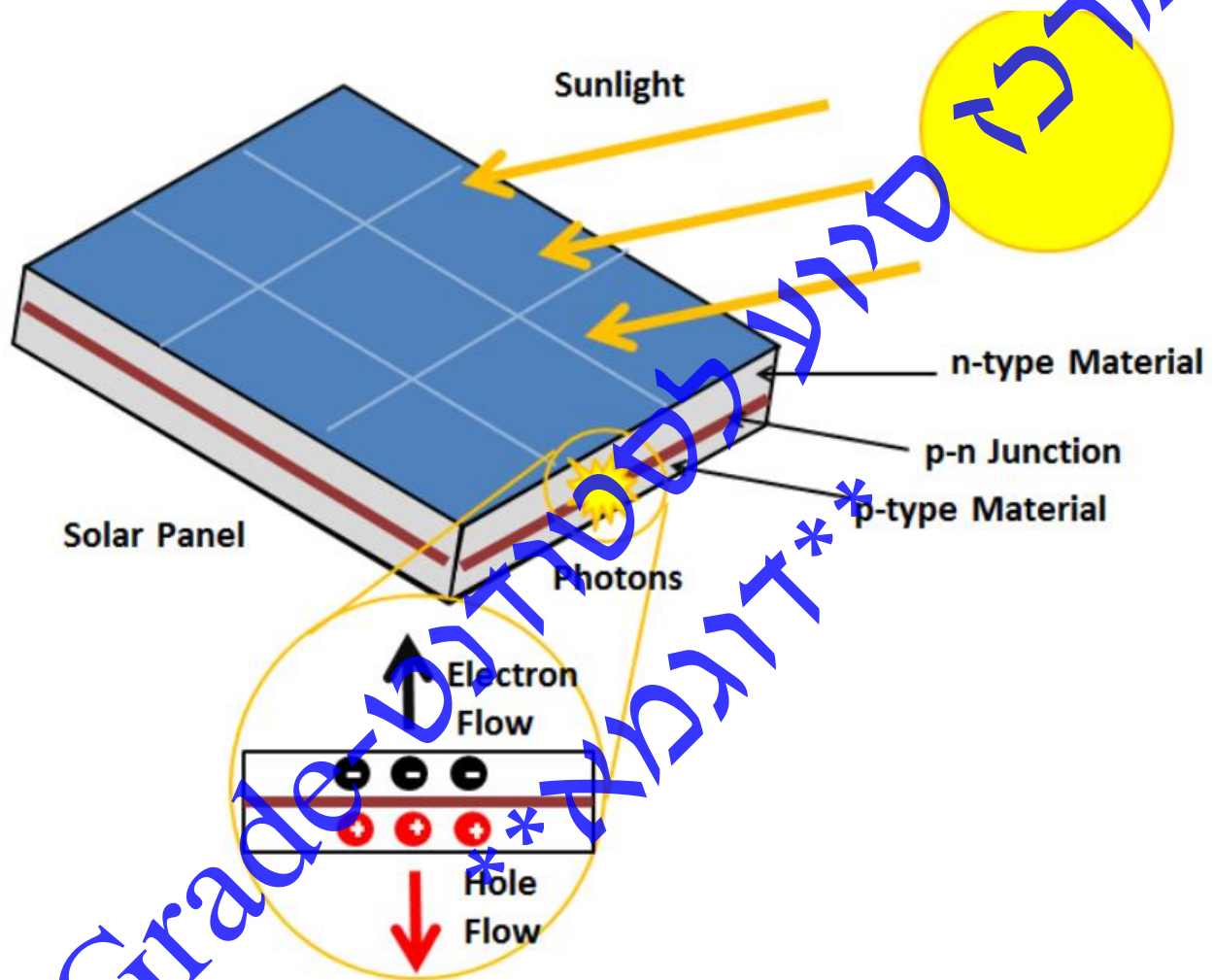


Figure 11-דיאגרמת האפקט הפוטוולטאי

עירור האלקטרונים לרמת אנרגיה גבוהה יותר מובילה אותם לפס ההולכה, פס ההולכה הוא תחום האנרגיה הנמוך ביותר שאינו מאוכלס במלואו, אלקטרונים בפס ההולכה, בדומה לשם, יכולים לנוע ובכך ליצור זרם חשמלי.

בתמונה מתוארות 3 השכבות של תא סולרי: שכבה לאלקטרונים ($n - type$) שכבה ל"חורים" (בעלי מטען חיובי) ($p - type$) ושכבה המתפקדת בתור גבול בין חלקיקים בעלי מטען חיובי ושילי ($pn - type$)

2.3.4 סכנת הקריסה

קריסה היא תופעה שקוראת כאשר גוף כלשהו נחשף למשטר מאמצים ש"דוחסים" אותו עד לנקודת כשל.

לכל חומר יש עקומת מאמץ-מעוות, העקומה מגדירה מה היחס בין הכוח שמפעילים על חלק מסויים לעיבור שיתרחש בחלק כאשר הגדרות העיבור והמאמץ הם:

$$\sigma = \frac{F}{A}; \varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$$

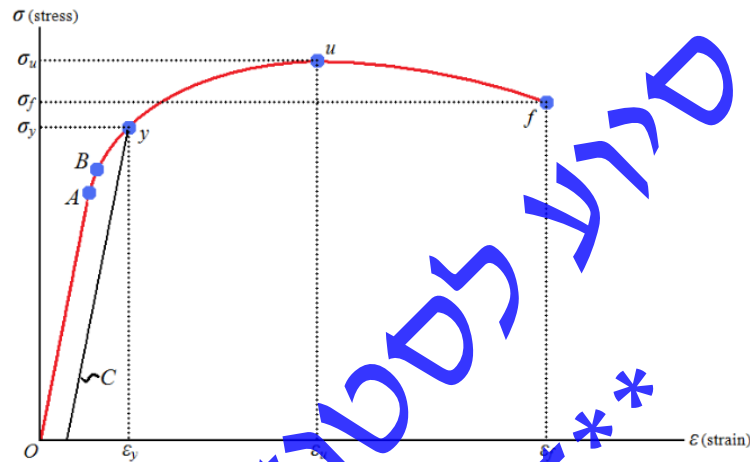


Figure 12-עקומת מאמץ-מעוות

כל מוט בעל כל צורה גיאומטרית הנחשף למשטר כוחות צירי לא מבקר מסוכן בהגעה לקריסה.

בנוסף לקריסה קיימים גם מודים לקריסה. מוד קריסה הוא ה"צורה" שבה הורס מוט מועמס, צורות קריסה תלויות מאוד בתנאי השפה של המוט, כלומר איך מוחזק המוט בשני צידיו.

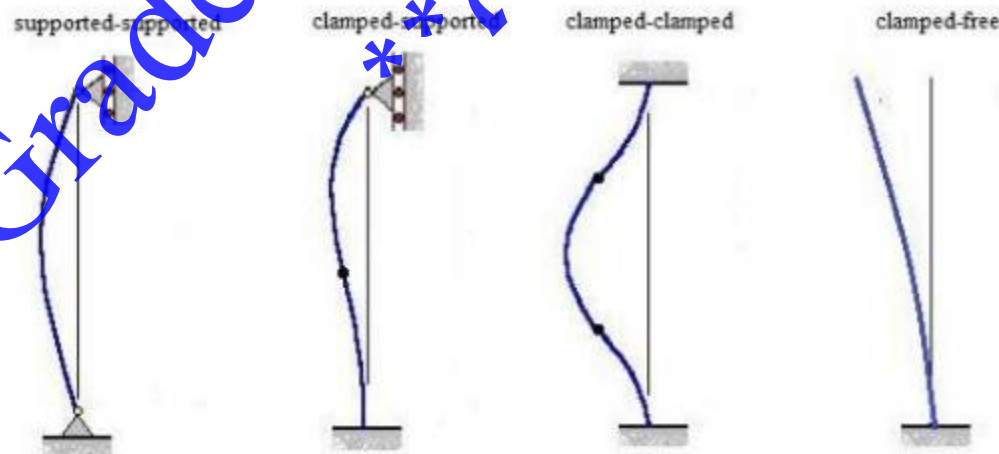


Figure 13-מודי קריסה ותנאי השפה שלהם

תנאי השפה מגדירים מה יכול לקרות בנקודת המוט בו המוט מתחבר לסמך.

שפה חופשית (כאשר לא נמצא סמך) הקצה חופשי לנוע בכל כיוון.

סמך רגיל מגביל את תנועת הקצה אך לא מונע שינויי זווית שעלולים לקרות.

ריתום מונע הזזה וזווית בקצה המרותם.

במערכת שלנו קיים מוט בזווית ואנו נצטרך לבדוק אם המוט הזה יכול להגיע לקריסה עצמית (קריסה כתוצאה ממשקל המוט) או שהוא יקרוס כתוצאה ממשקל הפאנל הסולרי הנתלה עליו כתלות בזווית שבה נמצא המוט.

2.3.5 בקר PLC

כדי לשלוט על המערכות ולנתח את הנתונים שאנו מקבלים מהחיישנים נבחר מערכת בקרה שתצליח לנתח את כל המידע שהיא מקבלת מהחיישנים השונים ולבצע בהם פעולות לוגיות תחת תנאים לוגיים מסויימים.

סוג מערכת הבקרה שנשתמש בה היא מערכת PLC. בקרי PLC הוא בקר נפוץ בתעשייה שמשתמשים בו כדי לנתח נתונים, לבצע פעולות פשוטות ולשלוט במעגלים חשמליים.

ממסר הוא רכיב אלקטרוני בעל 2 מצבים: דלוק ומכובה. בממסר יש אלקטרומגנט המשתמשים בו כדי לחבר 2 מגעים ובכך להעביר בהם חשמל, כשבאלקטרומגנט עובר זרם הוא הופך למגנט והופך את מצב המגעים ממנותק למחובר (או ממחובר למנותק, מערכות כאלו נקראות בשם NC ו-NO בשביל normally open ו- normally closed). מערכות מבוססות ממסרים מאפשרות לנו לבדוד 2 מעגלים חשמליים ממקורות חשמל שונים הפועלים במערכת במקרים בהם רכיבים מסויימים לא מסוגלים לעמוד במתחים הגבוהים במערכת (או דורשים מתח גבוהה יותר כדי לפעול).

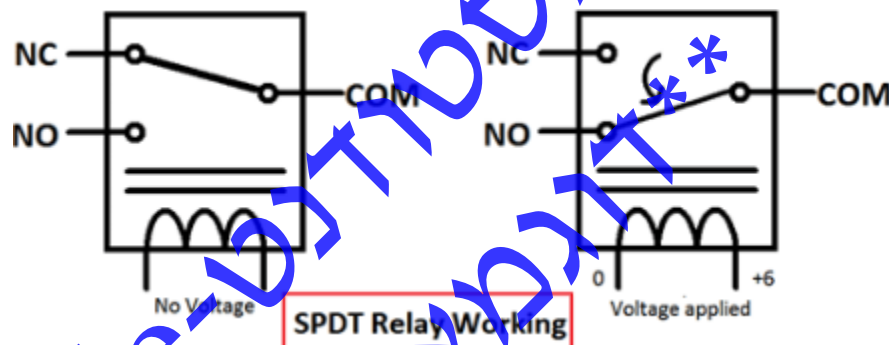


Figure 14-דיאגרמה בסיסית של ממסר

בקר PLC מכיל מספר רב של ממסרים שניתן לחבר לכל חיישן שנצטרך להשתמש בו במערכת הזאת.

3.1.אנליזות

עבור הפאנל הסולרי מסקר שוק[9] ראינו כי רוב יצרני הפאנלים הסולריים לצרכים ביתיים שוקלים עד כ-23 קילוגרמים ומערכת תעשייתית יכולה לשקול עד 40 קילוגרם, לשם מקדם ביטחון של 1.2 נבחר משקל של $50kg$ כלומר הפאנל מפעיל על המערכת משקל של $\sim 500N$

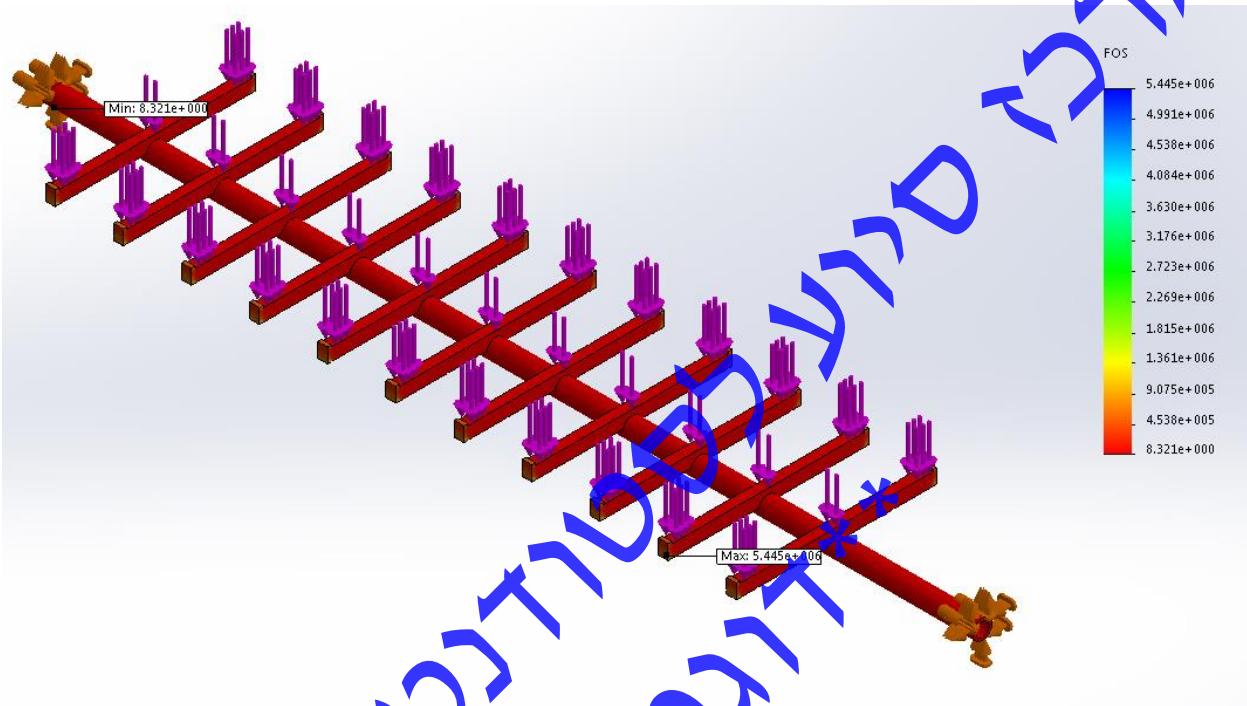


Figure 15-מקדם הביטחון

Ez-Grade-סולרית-אנרגיה

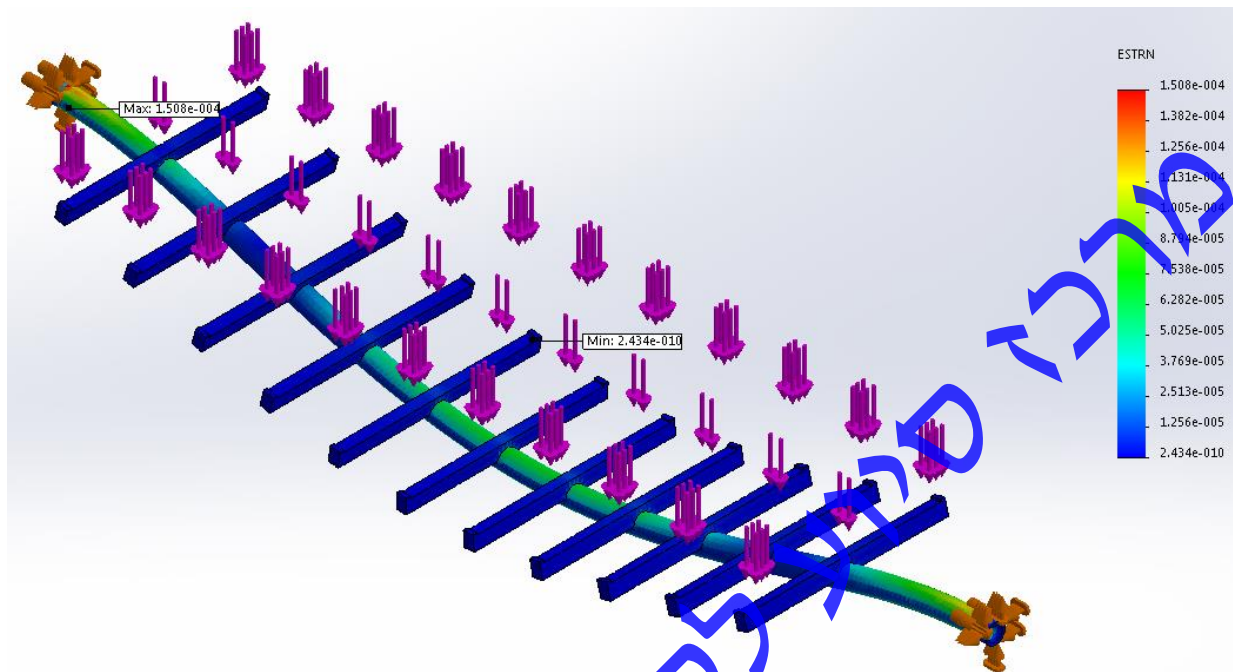


Figure 16-חיבור

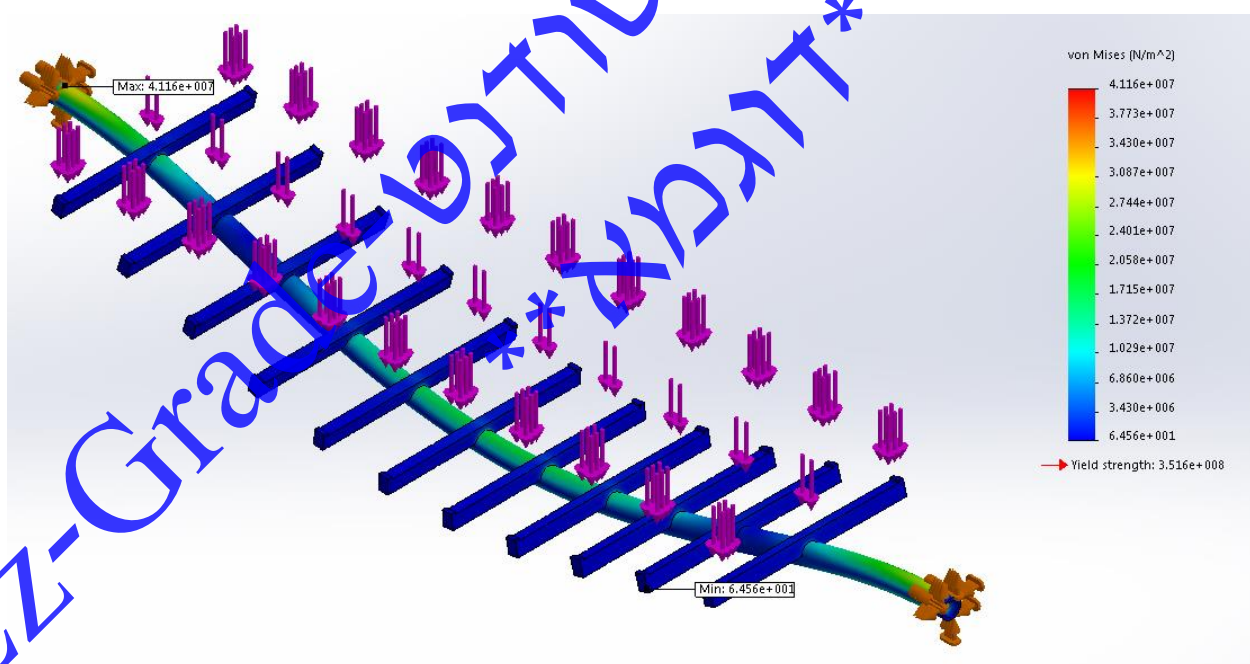
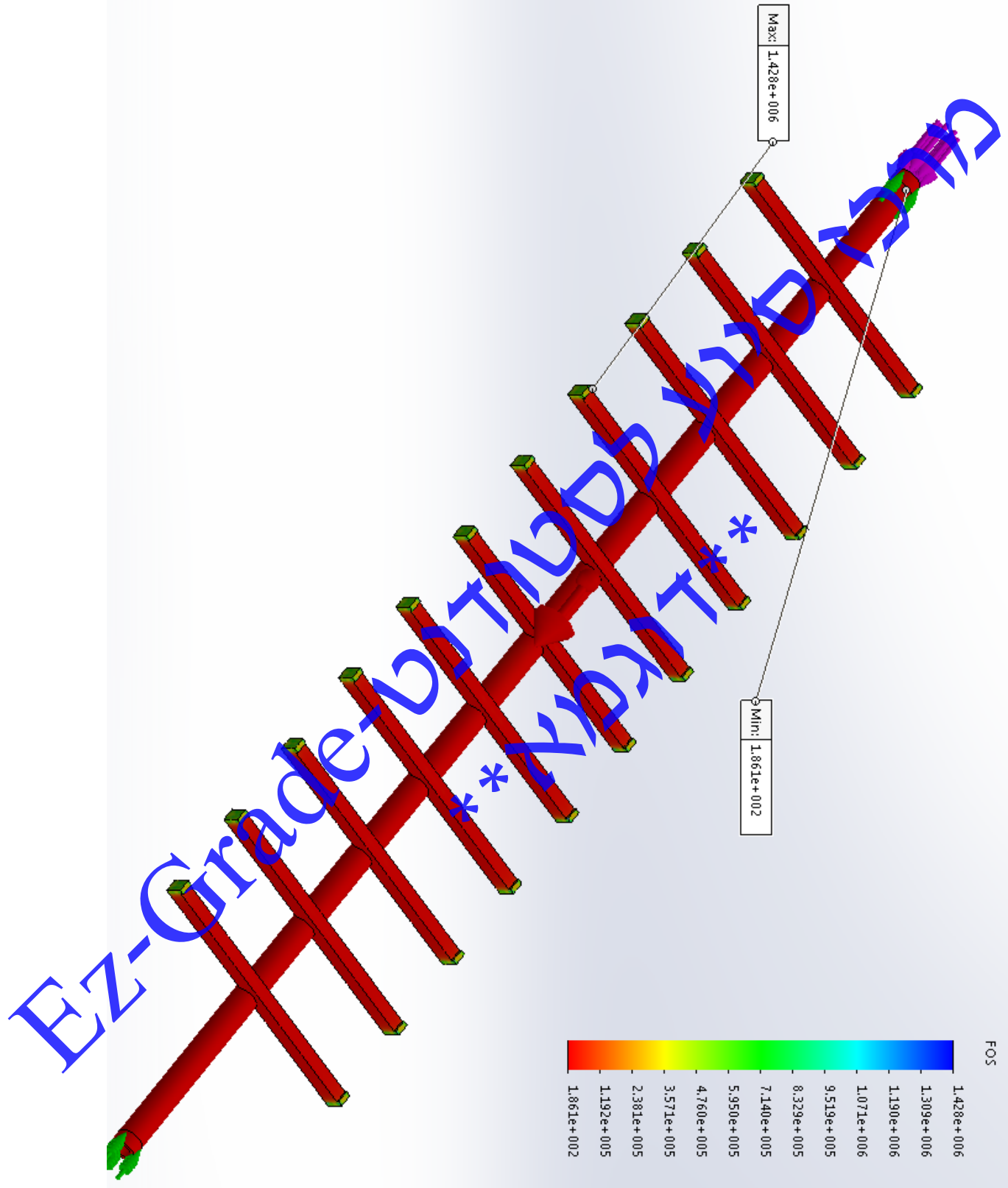
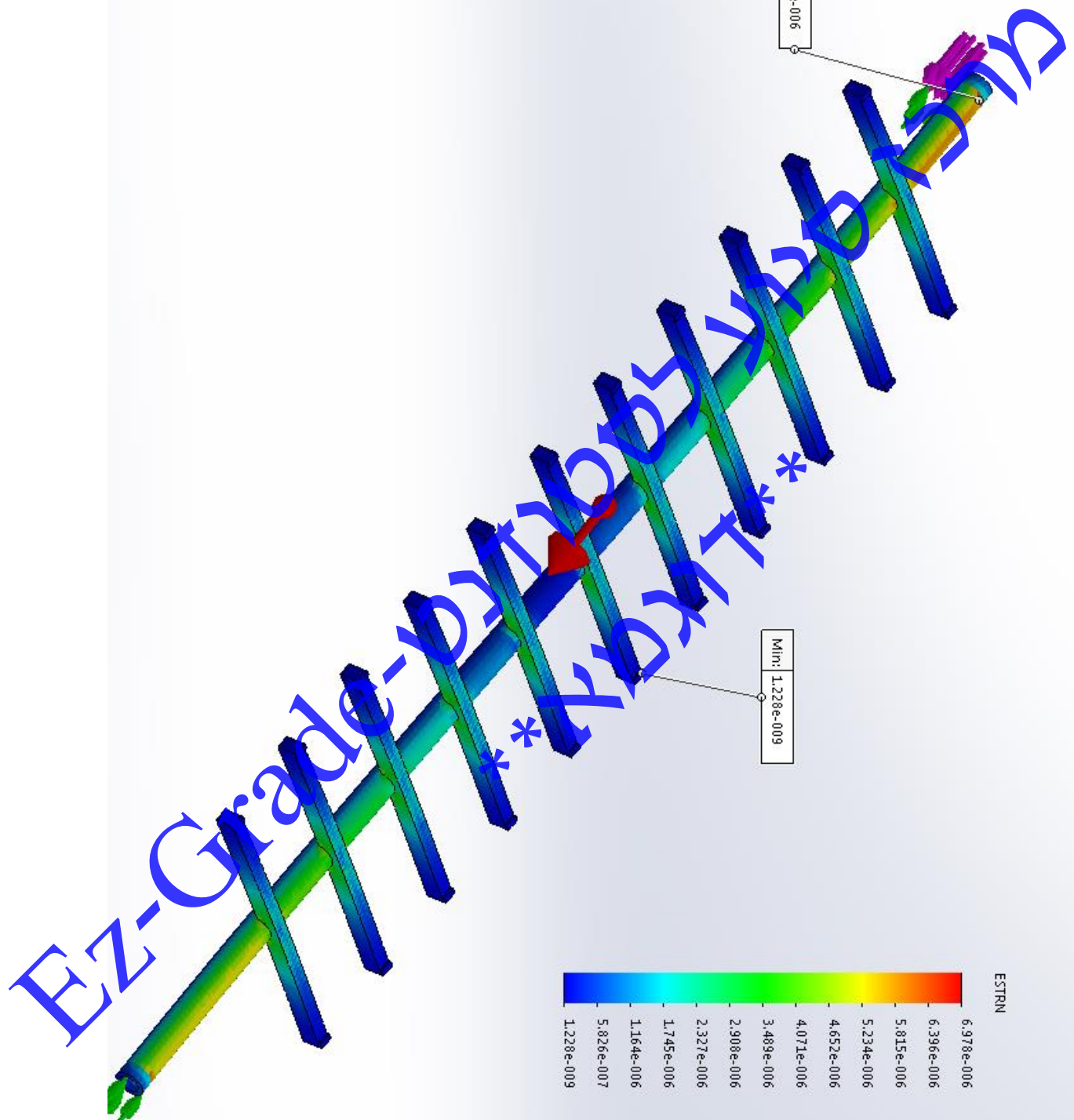


Figure 17

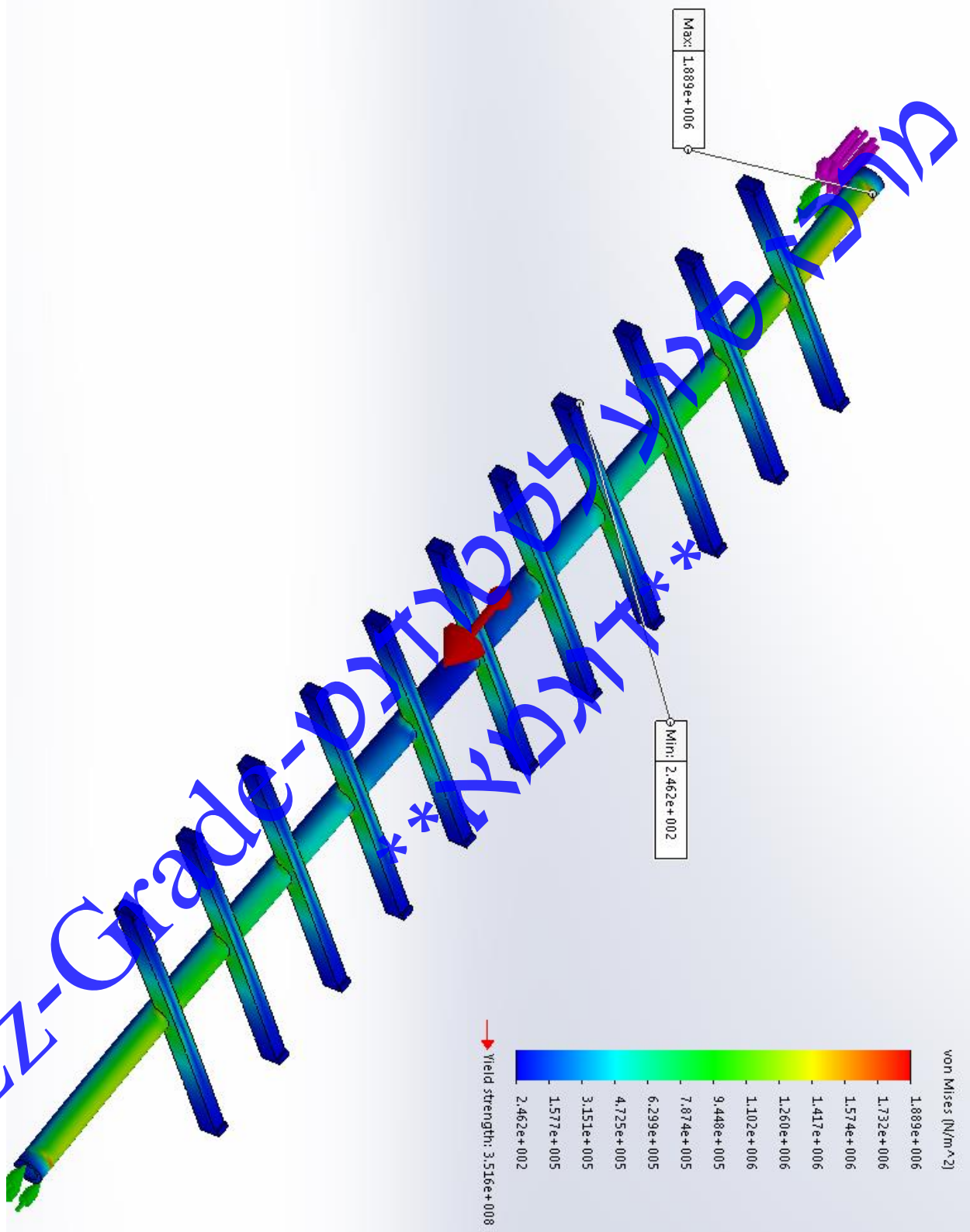
ננתח את תגובת המוט לתופעת הקריסה על מנת לבדוק שהמוט לא יגיע לקריסה עצמית. נחשב את ערך הכוח הנופל על המוט כתוצאה מהכוח ואת עיבוד המוט כתוצאה מכוח המשיכה:



18 Figure



19 Figure



20 Figure

משום שבית המסבים נחשף באופן סימטרי למאמצים כל בית מסבים נחשף לחצי משקל הציר סיבוב והפאנל הסולרי

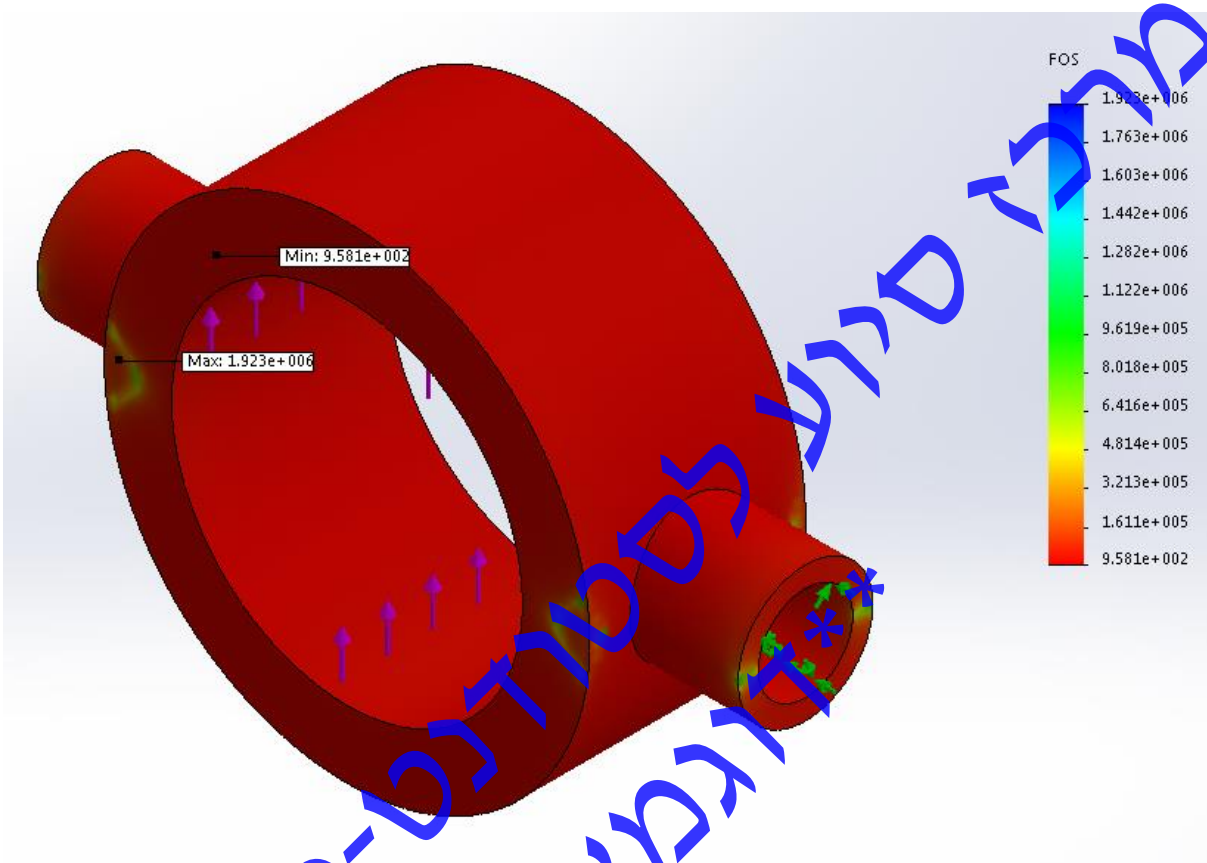


Figure 21-- מקדמי הביטחון

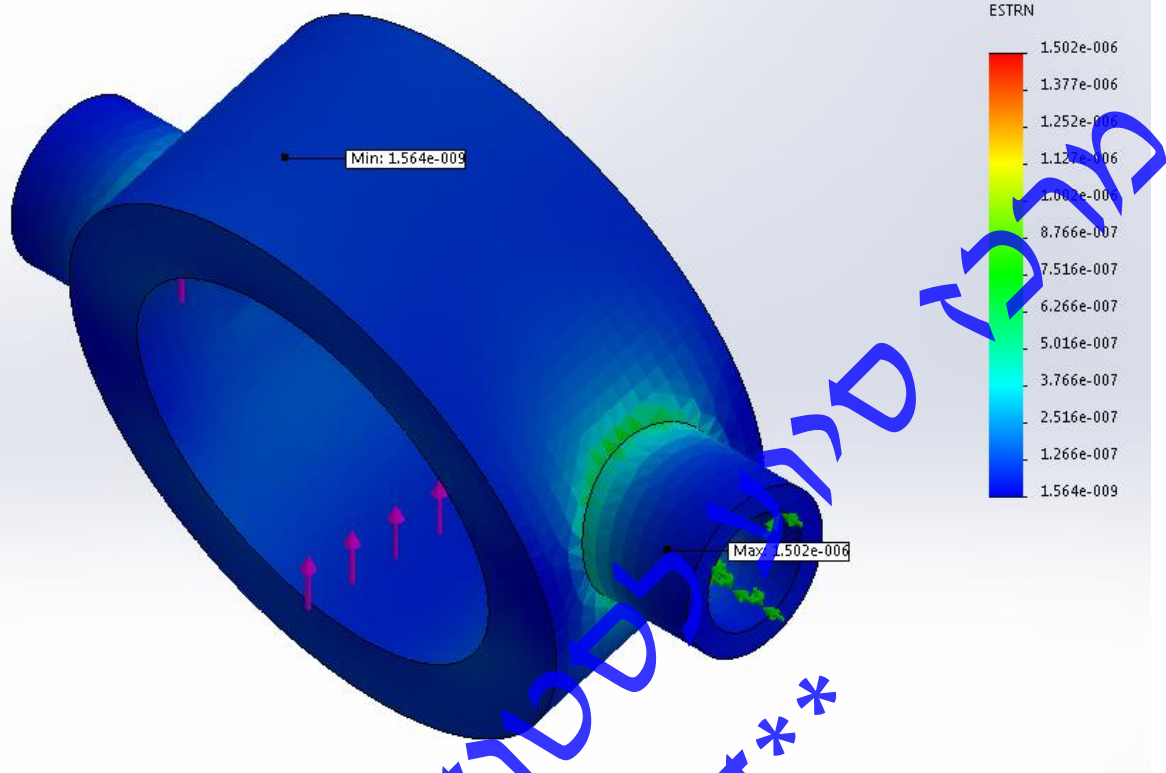
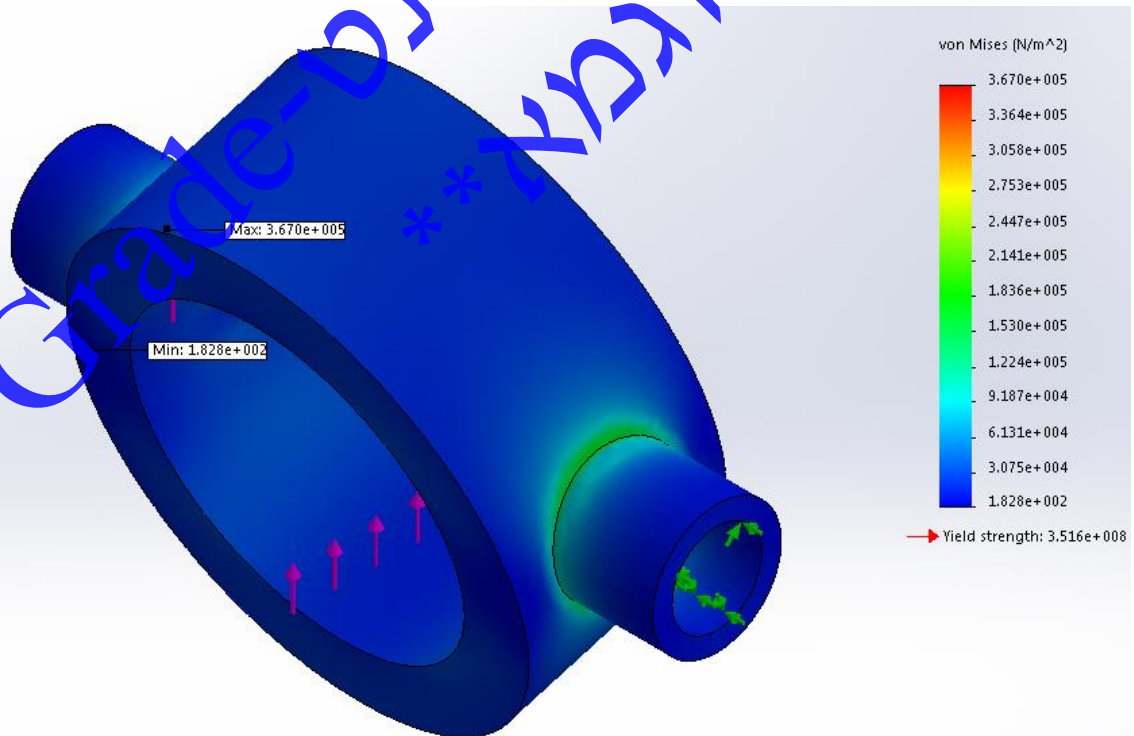


Figure 22



23 Figure

בנוסף לבית המסבים גם בסיסי המבנה חשופים לחצי מהמשקל הכללי של הציר סיבוב והפאנל הסולרי:

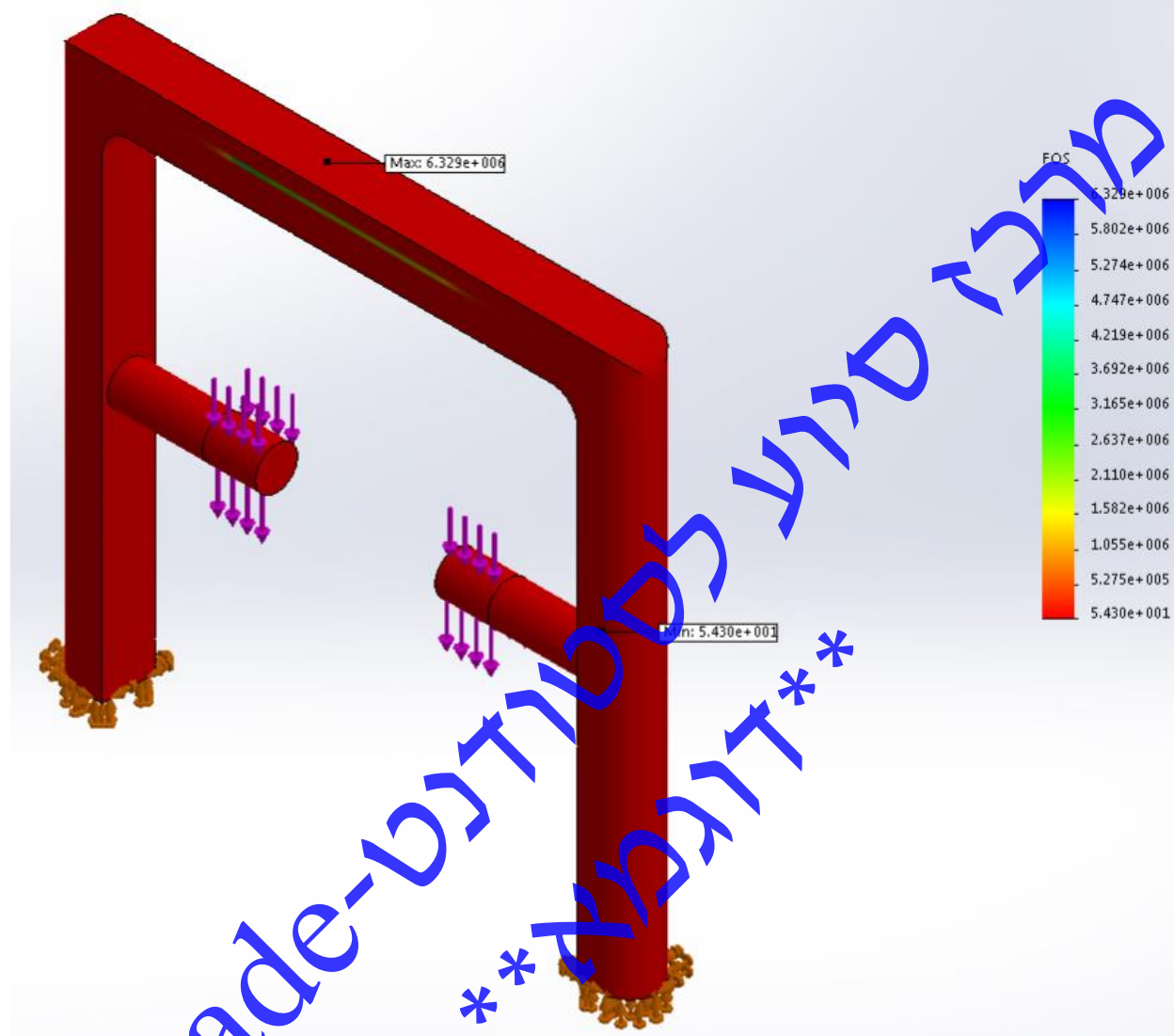


Figure 24 - מקדם הביטחון

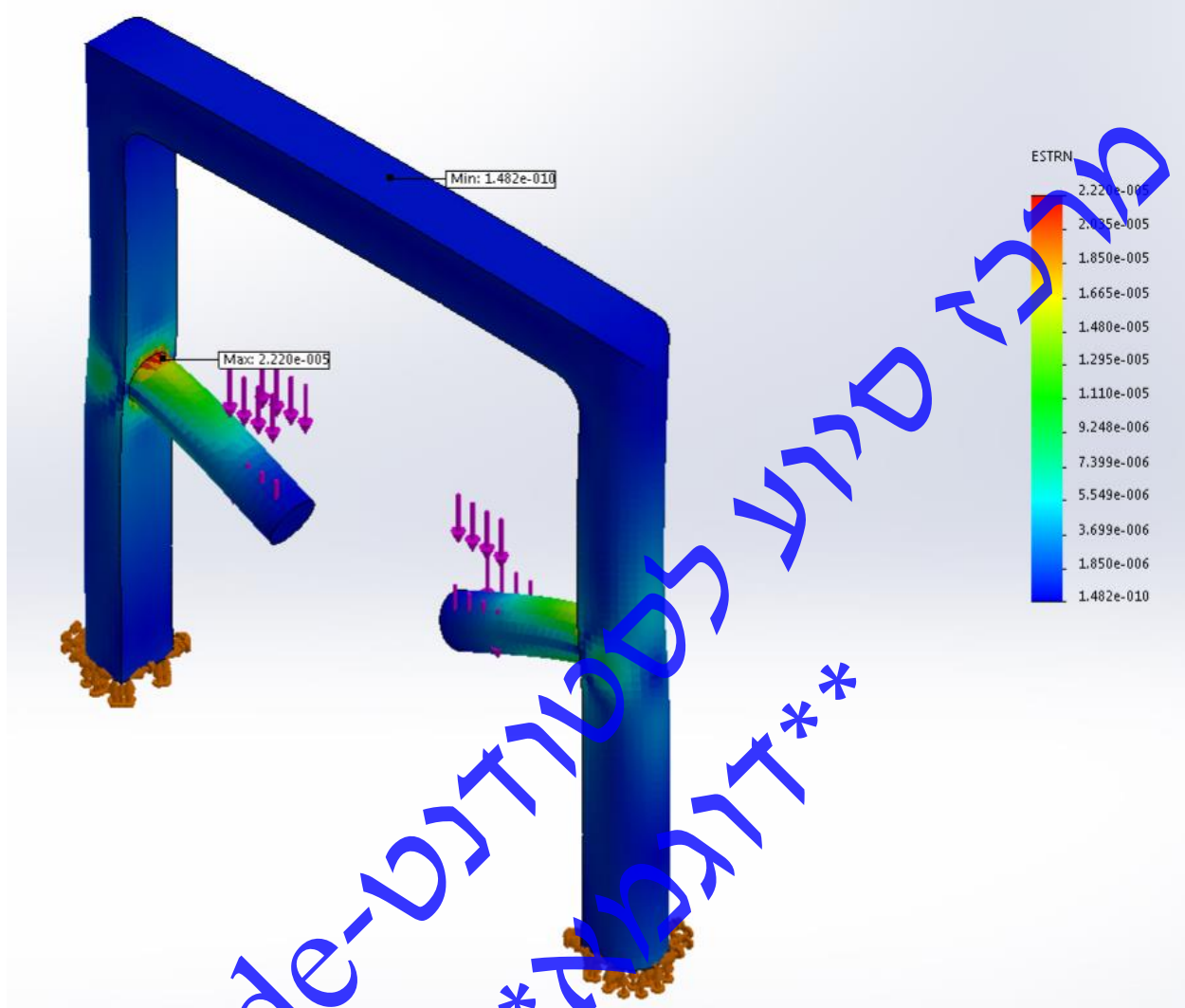


Figure 25-העיבורים בבסיס

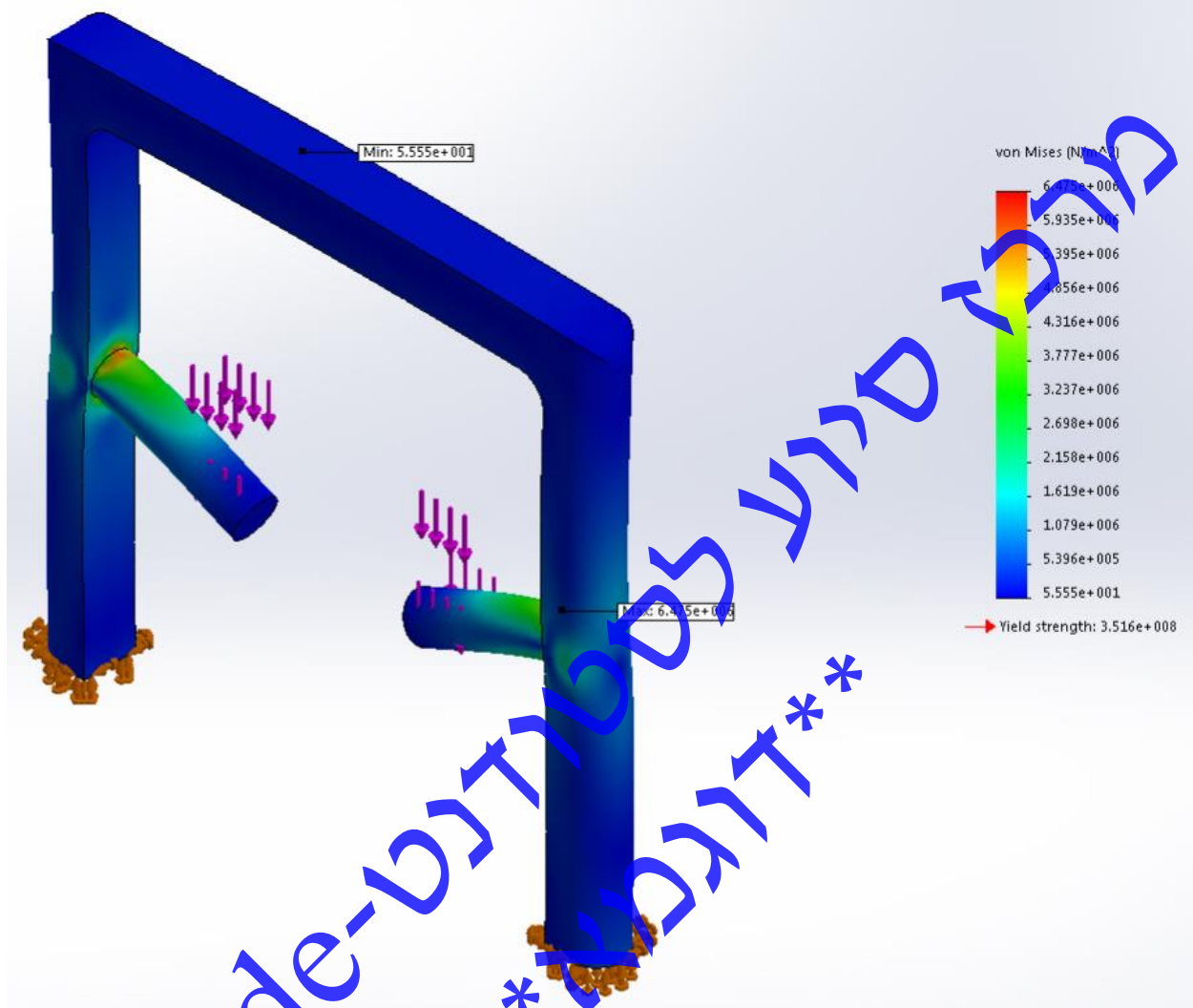


Figure 26-המאמצים בבסיס

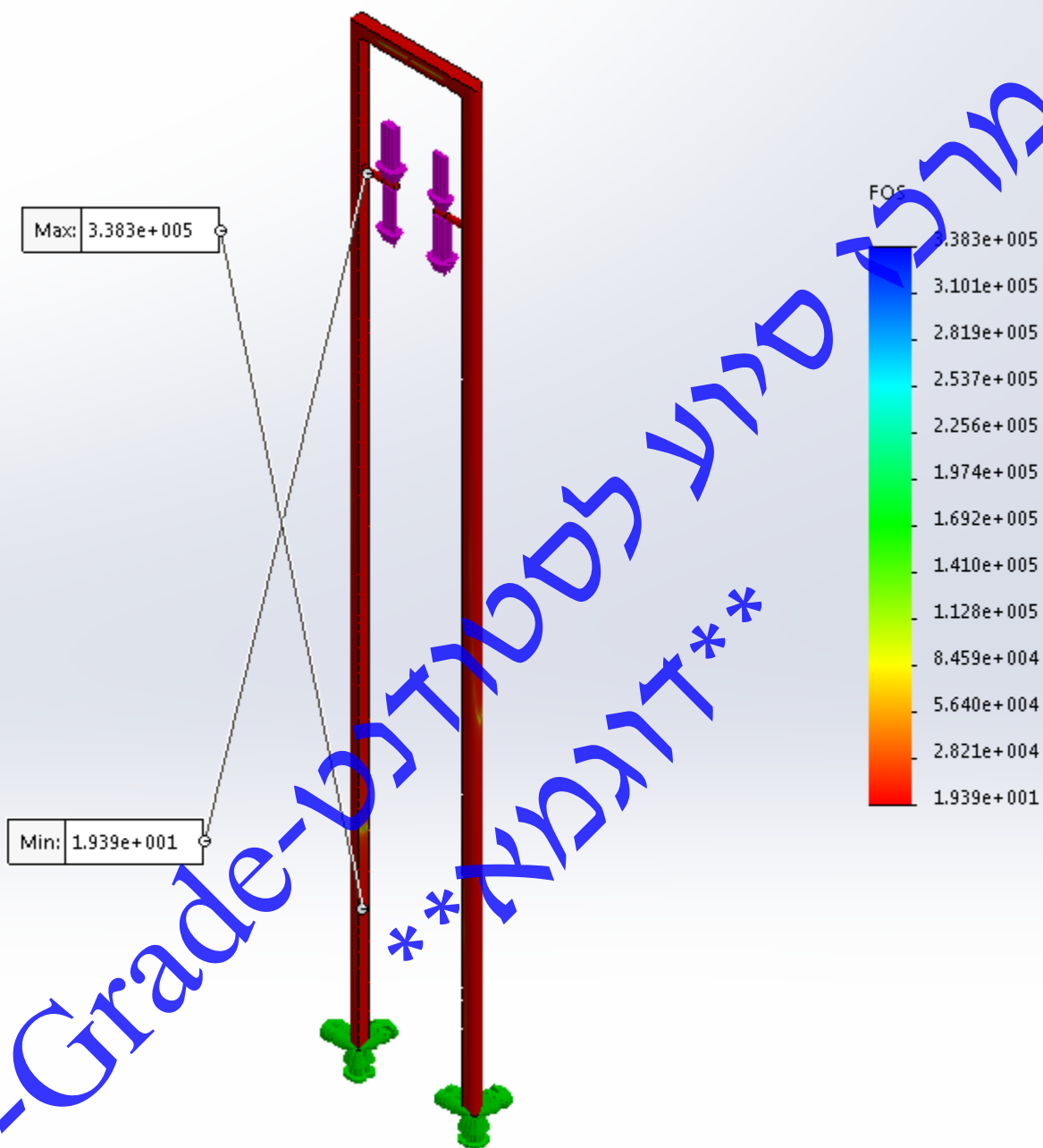


Figure 27 מקדם הביטחון בבסיס הארוך

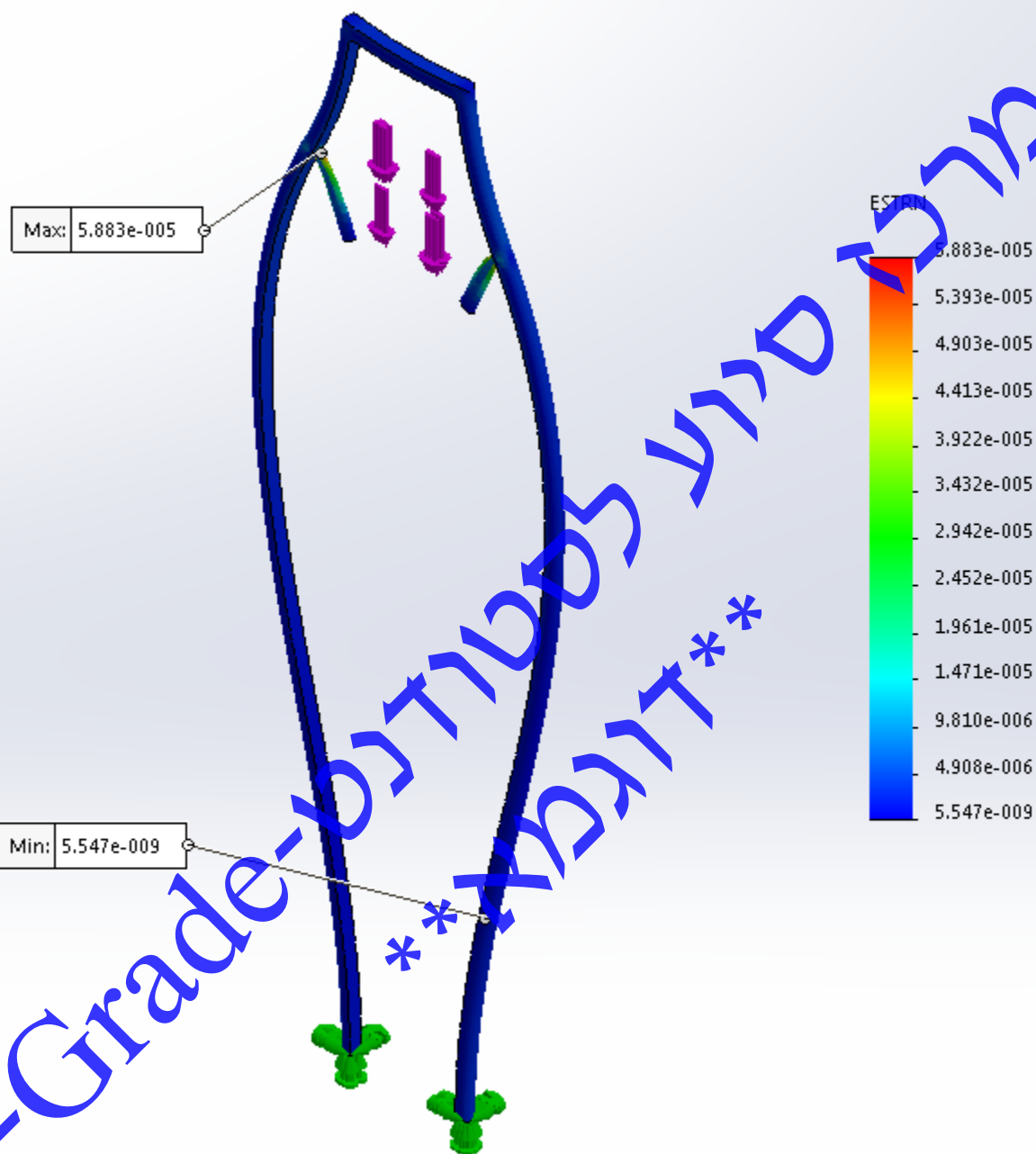


Figure 28-העיבורים בבסיס הארוך

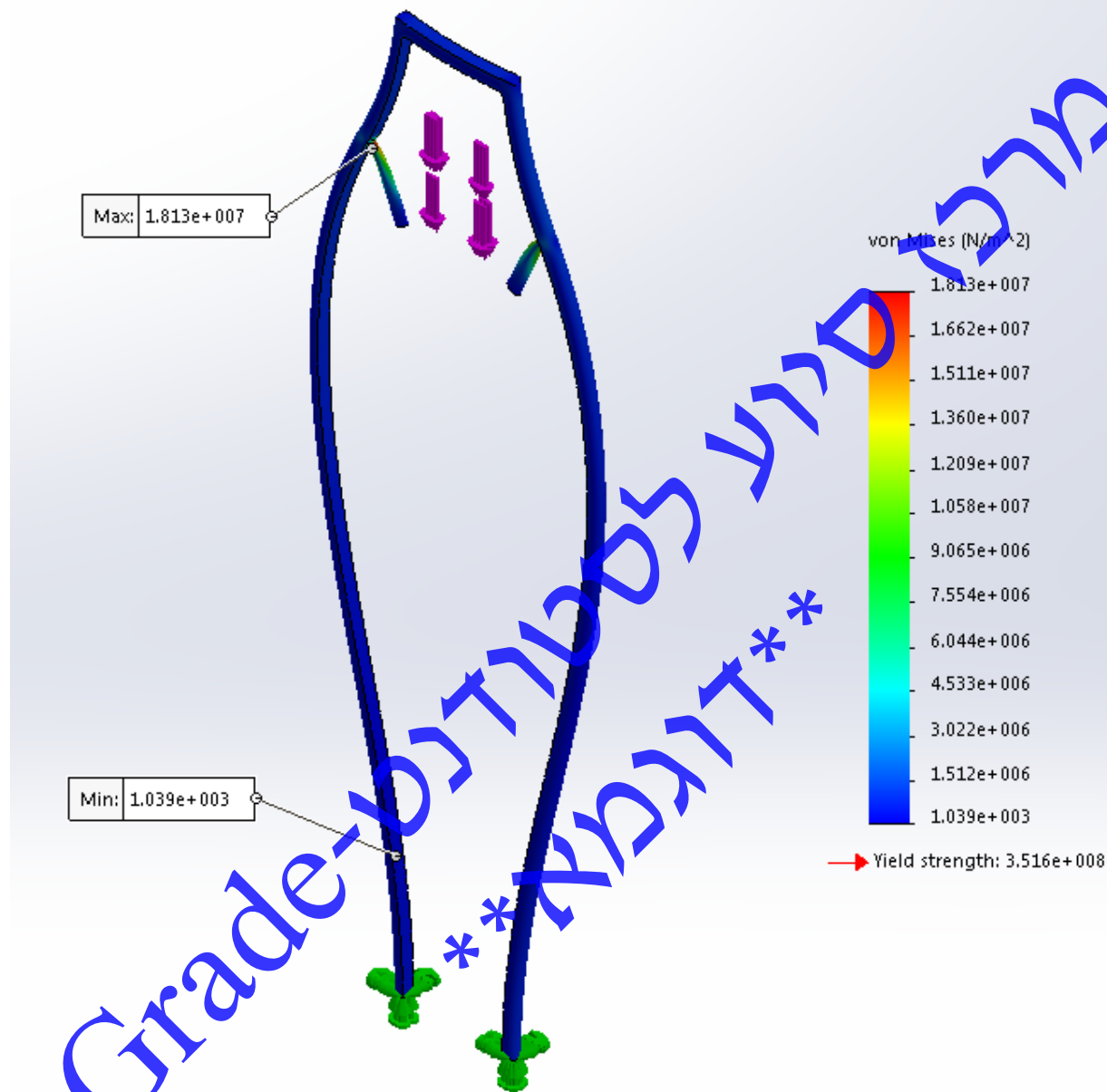


Figure 29- המאמצים בבסיס הארוך

עבור בסיס המסבים, הבסיס ומחזיק הפאנל התקבלו הנתונים הבאים:

עבור מחזיק הפאנל:

$$\begin{matrix} S_{max} = 5.455 \cdot 10^6 \\ S_{min} = 8.321 \end{matrix}; \begin{matrix} \varepsilon_{max} = 1.5 \cdot 10^{-4} \\ \varepsilon_{min} = 2.434 \cdot 10^{-10} \end{matrix}; \begin{matrix} \sigma_{max} = 4.11 \cdot 10^7 MPa \\ \sigma_{min} = 6.456 \cdot 10^1 MPa \end{matrix}$$

עבור מחזיק הפאנל בקריסה:

$$\begin{matrix} S_{max} = 1.428 \cdot 10^6 \\ S_{min} = 186.1 \end{matrix}; \begin{matrix} \varepsilon_{max} = 6.978 \cdot 10^{-6} \\ \varepsilon_{min} = 1.228 \cdot 10^{-9} \end{matrix}; \begin{matrix} \sigma_{max} = 1.89 \cdot 10^6 MPa \\ \sigma_{min} = 2.462 \cdot 10^2 MPa \end{matrix}$$

עבור בסיס המסבים:

$$\begin{matrix} S_{max} = 1.923 \cdot 10^6 \\ S_{min} = 9.581 \cdot 10^2 \end{matrix}; \begin{matrix} \varepsilon_{max} = 1.5 \cdot 10^{-6} \\ \varepsilon_{min} = 1.564 \cdot 10^{-9} \end{matrix}; \begin{matrix} \sigma_{max} = 3.67 \cdot 10^7 MPa \\ \sigma_{min} = 1.828 \cdot 10^2 MPa \end{matrix}$$

עבור הבסיס:

$$\begin{matrix} S_{max} = 6.33 \cdot 10^6 \\ S_{min} = 5.43 \cdot 10^1 \end{matrix}; \begin{matrix} \varepsilon_{max} = 2.22 \cdot 10^{-5} \\ \varepsilon_{min} = 1.482 \cdot 10^{-10} \end{matrix}; \begin{matrix} \sigma_{max} = 6.475 \cdot 10^6 MPa \\ \sigma_{min} = 5.55 \cdot 10^1 MPa \end{matrix}$$

עבור הבסיס הארוך:

$$\begin{matrix} S_{max} = 3.38 \cdot 10^5 \\ S_{min} = 19.939 \end{matrix}; \begin{matrix} \varepsilon_{max} = 5.83 \cdot 10^{-5} \\ \varepsilon_{min} = 5.547 \cdot 10^{-9} \end{matrix}; \begin{matrix} \sigma_{max} = 1.83 \cdot 10^7 MPa \\ \sigma_{min} = 1.039 \cdot 10^3 MPa \end{matrix}$$

3.2. חישובים

3.2.1. חישובים גיאומטריים

המערכת הכיוון צריכה להיות בזווית אופטימלית כלפי השמש, נניח כי אנו משתמשים במערכת כאשר זווית השמש היא 47° לכן הפאנל הסולרי של המערכת צריך להיות בזווית של 43° (מתוך הרקע התיאורטי) נשתמש בנתונים שנקבע בשלב מאוחר יותר בשביל לחשב את הגבהים של המוטות התומכים.

האורך של המוט עליו נשען הפאנל הסולרי הוא $4800[mm]$ בעזרת האורך והזווית נסיק מה גובהי הבסיס המתאימים:

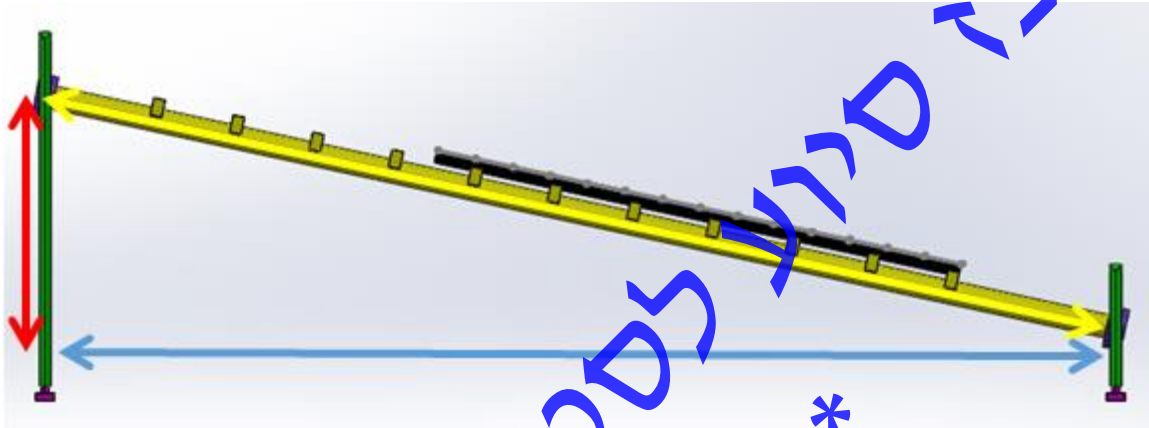


Figure 30-30 אורך מוטות

$$\sin(43^\circ) = \frac{\text{base length}}{4800} \rightarrow \text{base length} = 4800 \cdot \sin(43^\circ) = 3273.6[mm]$$

הגודל הגיאומטרי של הפאנל הסולרי שנבחר הוא של פאנל תעשייתי [9] בעל מימדים של

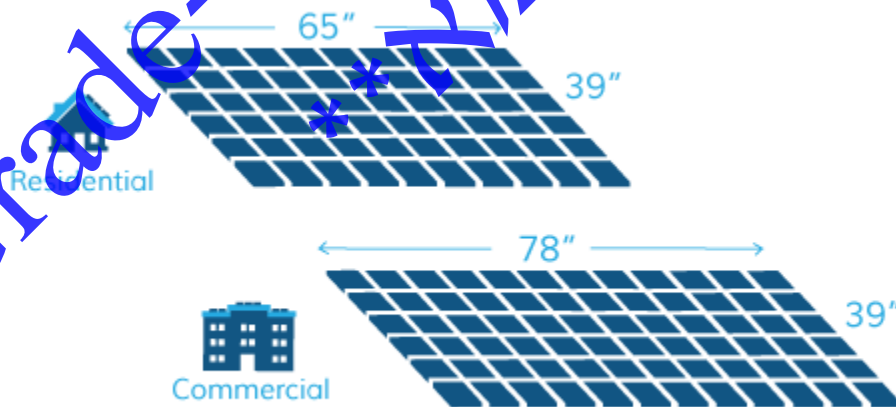


Figure 31-31 מימדים סטנדרטיים של פאנלים סולריים

זהו הגודל של הפאנל הסולרי שאנו נשתמש בו בפרויקט ונמדל אותו ב:solidworks

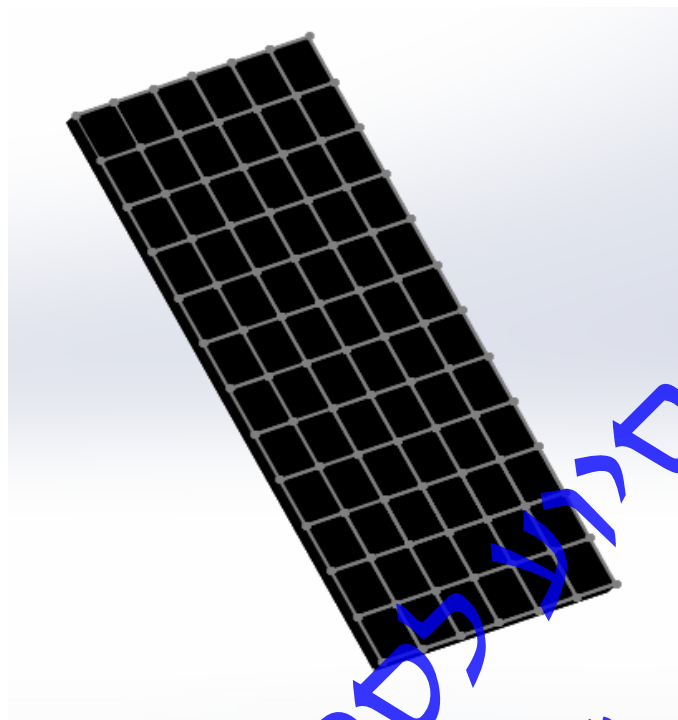


Figure 32-32 ידול פנל סולרי

3.2.2. המומנט הדרוש לסיבוב הפנל

המומנט הדרוש לסיבוב הפנל נובע ממומנט האינרציה של ההרכבה הפאנל, נושא הפאנל וגלאי הקרינה

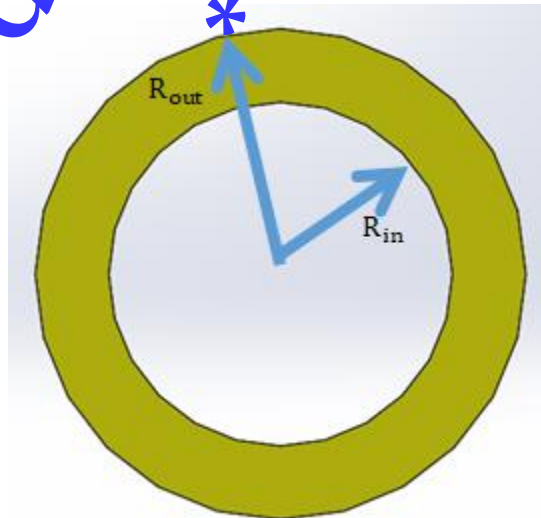
$$M = I \cdot \varepsilon$$

$$I = \int (r^2) dm$$

עבור אינטגרציה על המסה כאשר הצפיפות קבועה המשוואה הופכת ל:

$$I = \rho \int \int (r^2) dV$$

עבור חישוב אינטגרל תלת מימדי בגליל החלל המשוואה תהיה:



$$I = \rho \int r^2 dV \rightarrow dV = 2\pi L r dr \rightarrow I = 2\pi \rho L \int r^3 dr$$

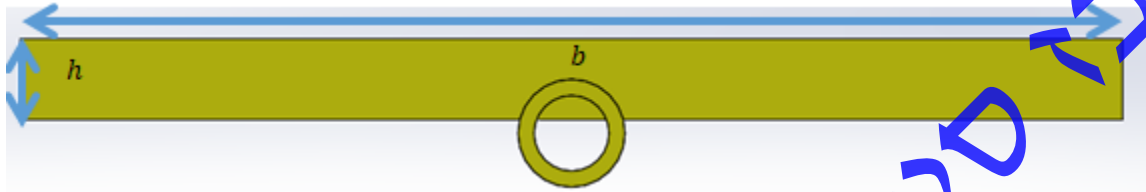
$$I = 2\pi\rho L \cdot \frac{R_{out}^4 - R_{in}^4}{4}$$

נשתמש בקשר הבא כדי לפשט עוד יותר את הביטוי לאינרציה:

$$\rho = \frac{m}{\pi(R_{out}^2 - R_{in}^2)L}$$

$$I = \frac{1}{2}m(R_{out}^2 + R_{in}^2)$$

עבור חישוב מומנט אינרציה למוטות:



$$I = \frac{hb^3}{12}$$

לחישוב מומנט האינרציה הכללי נבצע סופרפוזיציה ופיצוי על הבדלי המרחקים באמצעות קבוע שטיינר:

$$Area \cdot Distance^2 = \text{קבוע שטיינר}$$

נחשב את המומנט הכללי של המערכת:

$$I = I_{cylinder} + 11 \cdot I_{rectangle} + A \cdot (500^2 + 800^2 + \dots + 2800^2)$$

$$I = I_{cylinder} + 11 \cdot I_{rectangle} + b \cdot h \cdot (683.4 \cdot 10^6)$$

נמיר את היחידות החישוביות למטרים וקילוגרמים לשם נוחות:

כאשר השטח A בקבוע שטיינר הוא השטח של כל אחד מהמוטות התומכים (הארוכים) אשר בשטח של $b \cdot h$. בנוסף יש 11 מוטות ארוכים וכל אחד מהמוטות במרחק של 300 אחד מהשני, כאשר המוט הראשון במרחק של 500 מ"מ מתחת ציר הסיבוב, לכן המרחקים של המוטות הם 500, 800, 1100 מ"מ וכן הלאה בקפיצות של 300 מ"מ.

$$I = 1.131 + 11 \cdot 45.5 \cdot 10^{-3} + 0.0515(683.4) = 36.8266 [kg \cdot m^2]$$

מומנט האינרציה של המערכת בעזרת solidworks

$$I_{sw} = 39.855 [kg \cdot m^2]$$

מהשוואה בין מומנטי האינרציה נמצא שמומנט האינרציה ממערכת המידול גבוה יותר באחוז סטייה של:

$$\%error = \frac{39.855 - 36.8266}{39.855} = 7.6\%$$

בגלל שלתוכנת solidworks יש רמת דיוק גבוהה וחישוב של בליטות שמיקמנו בצדי המתקן כדי להחזיק את הפאנל הסולרי נבצע את המשך החישובים באמצעות מומנט האינרציה של solidworks הסיבה שלא נעשה שימוש במתקן המחזיק את הפאנלים הסולריים הוא בגלל שהגודל של הפאנלים הסולריים הקטנים והמחזיק שלהם קטנים בסדר גודל מכל שאר המערכת.

משום שהמערכת פועלת לאורך 24 שעות ולאורך 360 מעלות המהירות הזוויתית תהיה:

$$\omega = \frac{15^\circ}{1[Hour]} = 4.167 \cdot 10^{-3} \left[\frac{rad}{sec} \right]$$

מכיוון שהמהירות של השמש בשמיים היא יחסית קבועה נגדיר תאוצה זוויתית של $\varepsilon = 0.01 \left[\frac{rad}{sec^2} \right]$

לכן המומנט יהיה:

$$M = I \cdot \varepsilon \cong 0.4 [Nm]$$

3.2.3 חיי אורך המסבים

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.

בפרויקט הזה אנו משתמשים ב-6 מסבים. 2 מסבים מאותו הסוג התומכים במוט הסיבוב שעליו נח הפאנל הסולרי ומסב שנותן למוט הסיבוב את דרגת החופש שלו

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 חיי של המיסב (3 עבור מיסב כדורי ו-10/3 עבור מיסב גלילי)

עבור הפרויקט הזה:

$$n \cong \frac{0.5}{16 \cdot 60} = [rpm]$$

$$p = 3$$

$$C = ?$$

עבור מקרה כללי של מסבים היינו צריכים לבחור את העומס הדינמי דרך מציאת מספר e המייצג את היחס בין הכוח הצירי לכוח הרדיאלי נמצא את היחס בין הכוחות ובעזרת היחס בין הכוחות והעזרת בקטלוג של SKF נמצא את Y-X.

הכוח שפועל מתפלג על המסבים באופן הבא:

נתבונן ב-2 מבטים

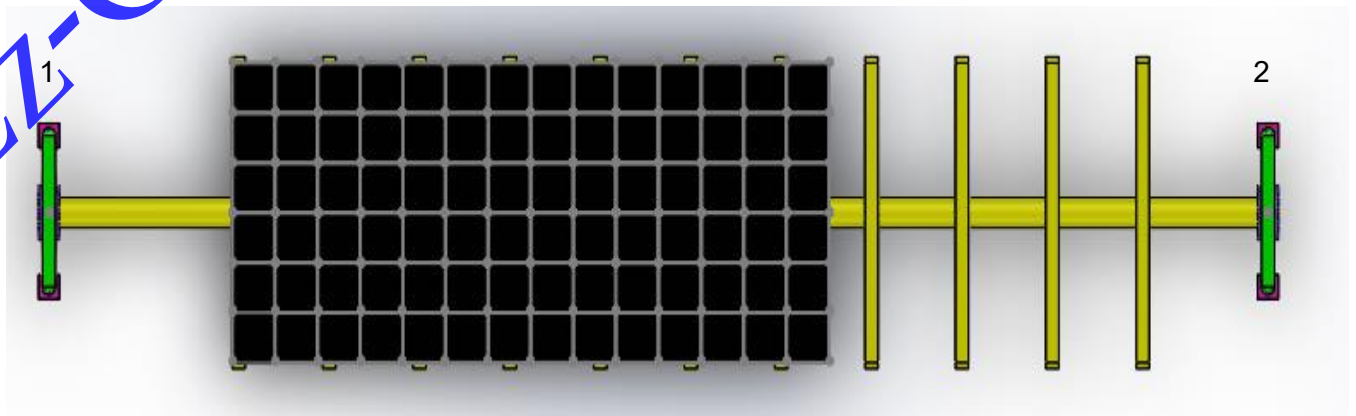


Figure 33-מבט עליון על המערכת

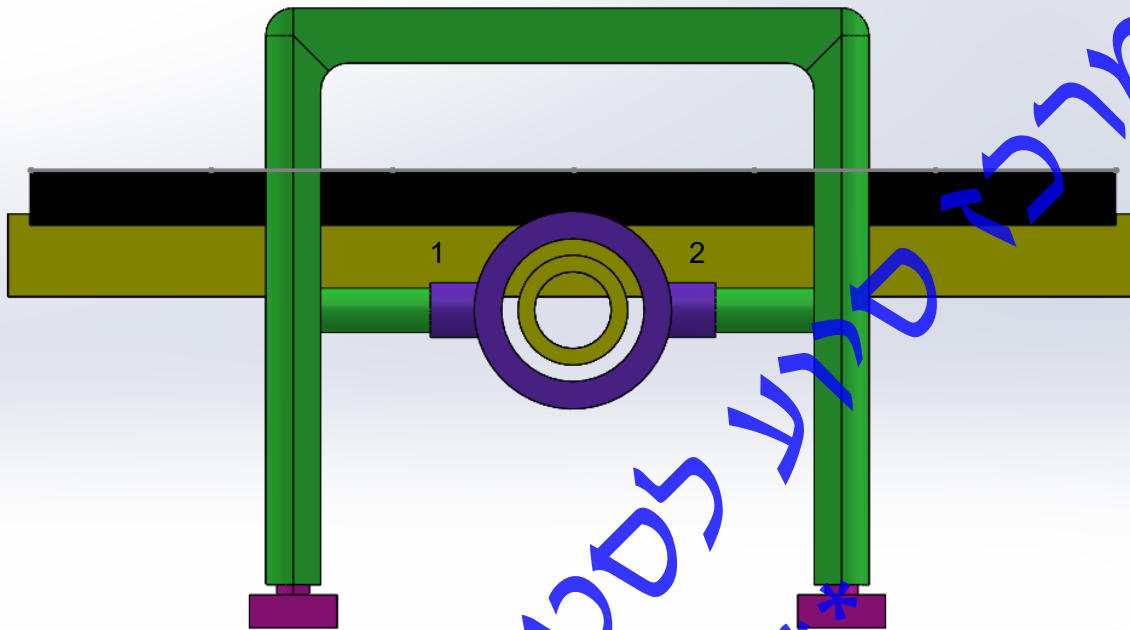


Figure 34-מבט צד של המערכת

בגלל סימטריות המערכת המאמצים הפועלים על המסבים בתוך בית המסב (בסגול) הם:

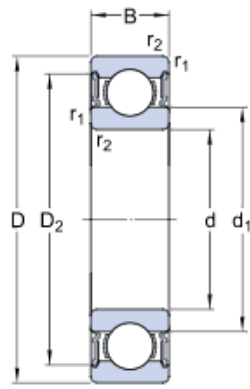
$$F_r = \cos(43^\circ) \cdot (250N + 2175N) = 1773.53[N]; F_a = \sin(43^\circ) \cdot (250N + 2175N) = 1653.9[N]$$

$$\frac{f_0 L_{10}}{C_0} = ?$$

משוואת אורך החיים של המסב ידועה בתור:

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

על מנת לחשב את אורך החיים של המסב נבחר מסב כדורי מתוך קטלוג ה-SKF, נבחר את המסב 61820



d	100	mm
D	125	mm
B	13	mm
d ₁	≈ 108.3	mm
D ₂	≈ 119.3	mm
r _{1,2}	min. 1	mm

Figure 35-ממדי המסב

מפרט המסב:

C	17.8	kN
C ₀	18.3	kN
P _u	0.35	kN

Figure 36-מפרט המסב הנדסאי

מפרט המסב אנו יכולים למצוא את C ולכן את אורך החיים של המסב:

$$\frac{f_0 F_a}{C_0} = 1.2; e = 0.29 \rightarrow X = 0.56, Y = 1.5 \rightarrow P = 3.48 \text{ kN}$$

$$C = 17.8 \text{ kN} \rightarrow L_{10} = \left(\frac{17.8 \cdot 10^3}{3.48 \cdot 10^3} \right)^3 = 133.82$$

(היחידות במיליוני סיבובים)

נמצא את חיי המסב בשעות עבודה ונניח מהירות סיבובית של $n = \frac{0.5}{12 \cdot 60} = 6.95 \cdot 10^{-4}$

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60n} \cdot L_{10} = 3.21 \cdot 10^9 [\text{Hour}] > 366.43 \cdot 10^3 [\text{Years}]$$

עבור 4 המסבים השולטים בתנועה למעלה ולמטה (מסומנים ב-1 ו-2 בתמונת מבט הצד על המערכת) נוכל להסיק מסימטריה שהמסבים נחשפים לחצי מהעומס הכללי:

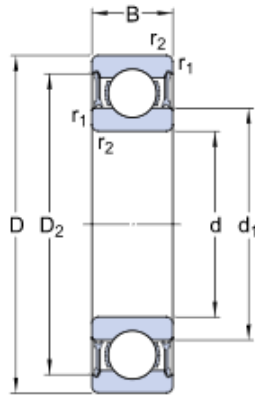
$$F_r = \cos(43^\circ) \cdot (125 \text{ N} + 1087.5 \text{ N}) = 886.76 [\text{N}]; F_a = \sin(43^\circ) \cdot (125 \text{ N} + 1087.5 \text{ N}) = 857.36 [\text{N}]$$

$$\frac{f_0 F_a}{C_0} = ?$$

משוואת אורך החיים של המסב ידועה בתור:

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

על מנת לחשב את אורך החיים של המסב נבחר מסב כדורי מתוך קטלוג ה-SKF, נבחר את המסב 61805



d	25	mm
D	37	mm
B	7	mm
d ₁	≈ 28.5	mm
D ₂	≈ 34.12	mm
r _{1,2}	min. 0.3	mm

Figure 37-ממדי המסב הנבחר

מפרט המסב:

C	4.36	kN
C ₀	2.6	kN
P _u	0.125	kN

Figure 38-מפרט המסב הנבחר

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

$$\frac{f_0 F_e}{C_0} = 4.52; e = 0.4 \rightarrow X = 0.56; Y = 1.08 \rightarrow P = 1420[N]$$

$$C = 4.36kN \rightarrow L_{10} = \left(\frac{4.36 \cdot 10^3}{1.42 \cdot 10^3} \right)^3 = 28.9$$

(היחידות במיליוני סיבובים)

מכיוון שהמסבים הללו אינם אמורים להסתובב אלא אמורים לספק למשתמש את האפשרות להרים את המתקן
לזווית מסוימת נניח מהירות של $n = 0.001[rpm]$ לצורך החישובים

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60n} \cdot L_{10} = 4.817 \cdot 10^8 [Hour] > 54988 [Years]$$

4.בחירת החלקים

4.1.בחירת המנוע

הדרישות שלנו למומנט גבוהה, אחוז דיוק זוויתי גבוהה ומנוע צעד הביאו אותנו לבחירת מנוע צעד מסוג בשם 52NEMA של חברת SUNWIND[8]:



Figure 39- מנוע הצעד הנבחר

למנוע המפרט הבא:

	Unit	Data
Step angle		1.8°
Number of phase		2
Phase Current	A	6
Phase Resistance	Ω	0.87
Inductance Per phase	mH	14.50
Holding Torque	N.M.	30
Shaft Diameter	mm	19
Rotor Inertia	$g \cdot cm^2$	31000
Motor Weight	kg	18.00
Motor Length	L	225

Figure 40-מפרט המנוע הנבחר

המומנט המופק ממנוע הצעד הוא $30 [N \cdot m]$ ורזולוציית הזווית שלו היא 1.8° כלומר על כל תזוזה של השמש בשמיים ב- 1.8° מעלות המערכת תוכל לנוע לכיוון השמש.

4.1.1. בחירת מכשיר מצמד

ידוע כי עבור העברת תנע אנו צריכים להצמיד את המנוע שלנו לציר הסיבוב של הפאנל הסולרי.

לשם כך משתמשים לרוב בפרויקטים מסוג זה במכשיר הנקרא מצמד, מכשיר המצמד כשמו מצמיד בין 2 גלים מסתובבים במטרה להביא את שניהם לאותה המהירות.

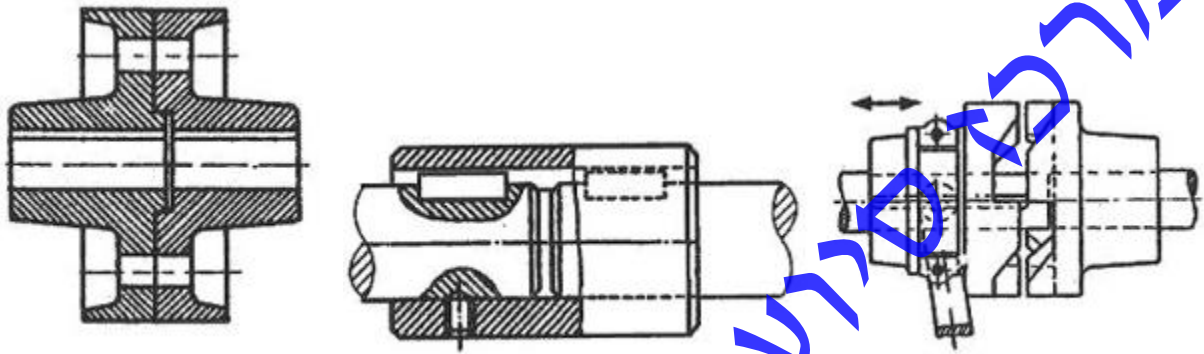


Figure 41- מבנה בסיסי של מצמד

אך בפרויקט זה הוא מקרה מיוחד. משום שאנו מתמודדים עם מצב שבו הגלים צריכים להסתובב רק לכיוון אחד (השמש אינה מחליפה כיוון ונעה תמיד לאותו כיוון בשמיים) לכן אנו יכולים לחסוך בקניה של מצמד ולהשתמש ולבנות מכשיר שיכול לרשתום את ציר המנוע מצידו האחד ולהחזיק את ציר הסיבוב של הפאנל הסולרי בצידו השני:

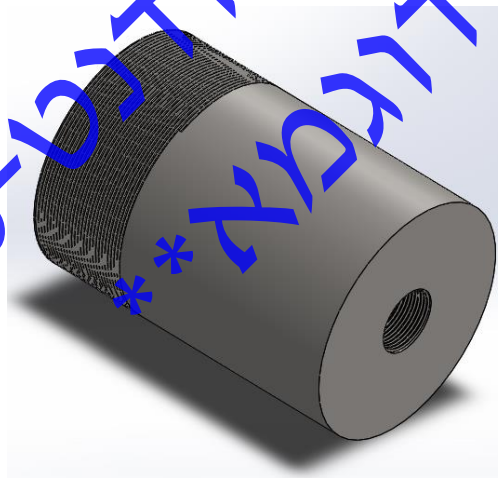


Figure 42- מצמד חד מימדי

המצמד שלנו נוצר באמצעות קדיחה וחריטה חיצונית של גוף גלילי, אנו נכניס את המנוע מצידו האחד ונכניס אותו לציר הסיבוב של מסובב הפאנל הסולרי בצידו השני. הקדיחות הן במידות של 10-24#DIN.

4.1.2. ריתום המנוע

המנוע מוחזק במקום באמצעות ריתום חזק שמרתם אותו מצד אחד לציר הסיבוב של הפאנל הסולרי ומצד שני לקיר/כל ריתום אחר. כל המטרה של ריתום המנוע הוא להחזיק את המנוע במקום בזווית של ארבעים ושבע מעלות יש לו סט של 4 קדחים, 2 זוגות קדחים למנוע ו-2 זוגות קדחים מתחת לריתום כדי לחבר אותו לאדמה:

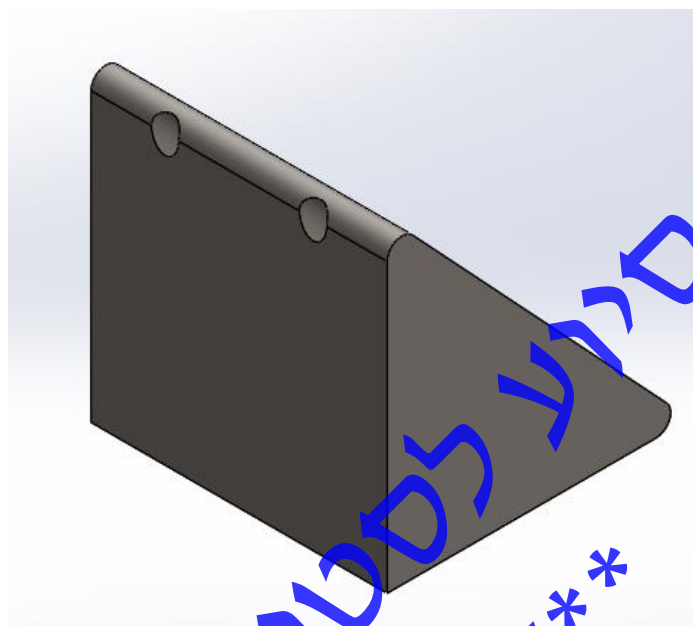


Figure 43-ריתום המנוע

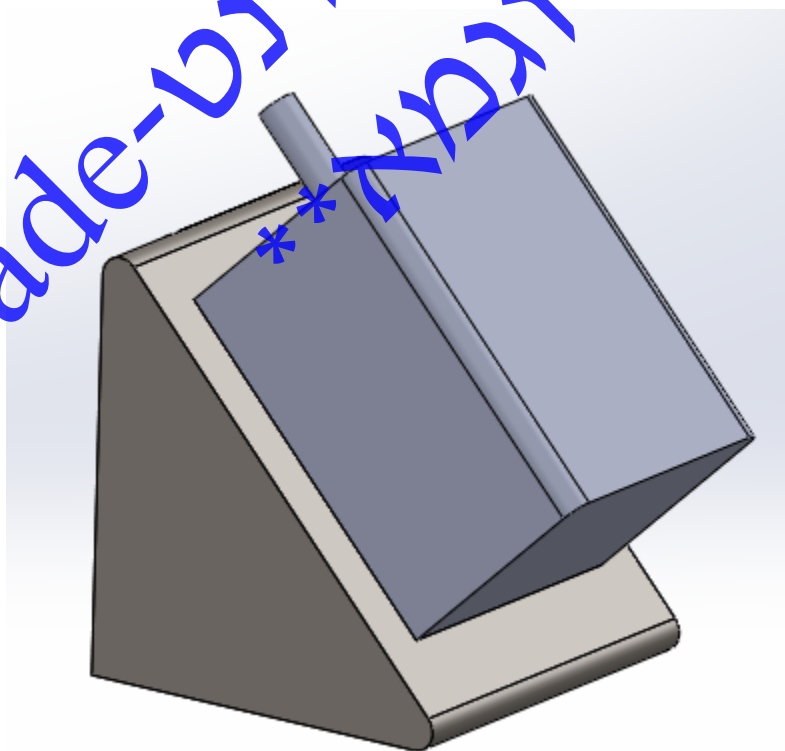


Figure 44-חיבור המנוע לריתום

Number of I/O	30
Manufacturer Series	CPM2A
Number of Inputs	18 (DC)
Input Type	DC
Voltage Category	85 → 264 V ac
Output Type	Relay
Number of Outputs	12 (Relay)
Network Type	CompoBus/S
Communication Port Type	Peripheral, RS432C
Program Capacity	4096 Words
Programming Interface	Computer
Programming Language Used	Ladder Logic
Maximum Operating Temperature	+55°C

Figure 46-מפרט הבקר הנבחר

4.3. ADC הנבחר

הממיר אנלוגי-דיגיטלי הנבחר הוא MX7578KCWG+-ND של חברת Digi-Key Electronics:

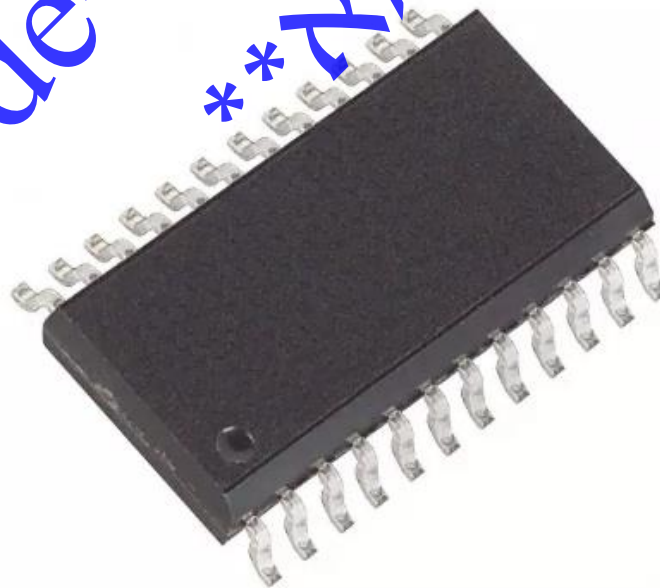


Figure 47-הממיר הנבחר

Number of Bits	12
Sampling Rate (Per Second)	10k
Number of Inputs	1
Input Type	Single Ended
Data Interface	Parallel
Configuration	S/H-ADC
Ratio - S/H:ADC	1:1
Number of A/D Converters	1
Architecture	SAR
Reference Type	External
Voltage - Supply, Analog	15V, -5V
Voltage - Supply, Digital	5V
Features	-
Operating Temperature	0°C ~ 70°C
Package / Case	24-SOIC (0.295" 7.50mm Width)

Figure 48-מפרט הממיר הנבחר

הממיר הנבחר מסוגל להמיר מתחים בטווח הנא הסולרי הנבחר (5 וולט) ובעל קצב דגימה של $f = 10[kHz]$

4.4. התא הסולרי הנבחר

התא הסולרי הנבחר הוא תא סולרי המגיע עד 5V (משום שרוב הגופים האלקטרוניים המודרניים מתמודדים עם מתחים של 5 וולט אידיאלית): SKU: 700-10850-28

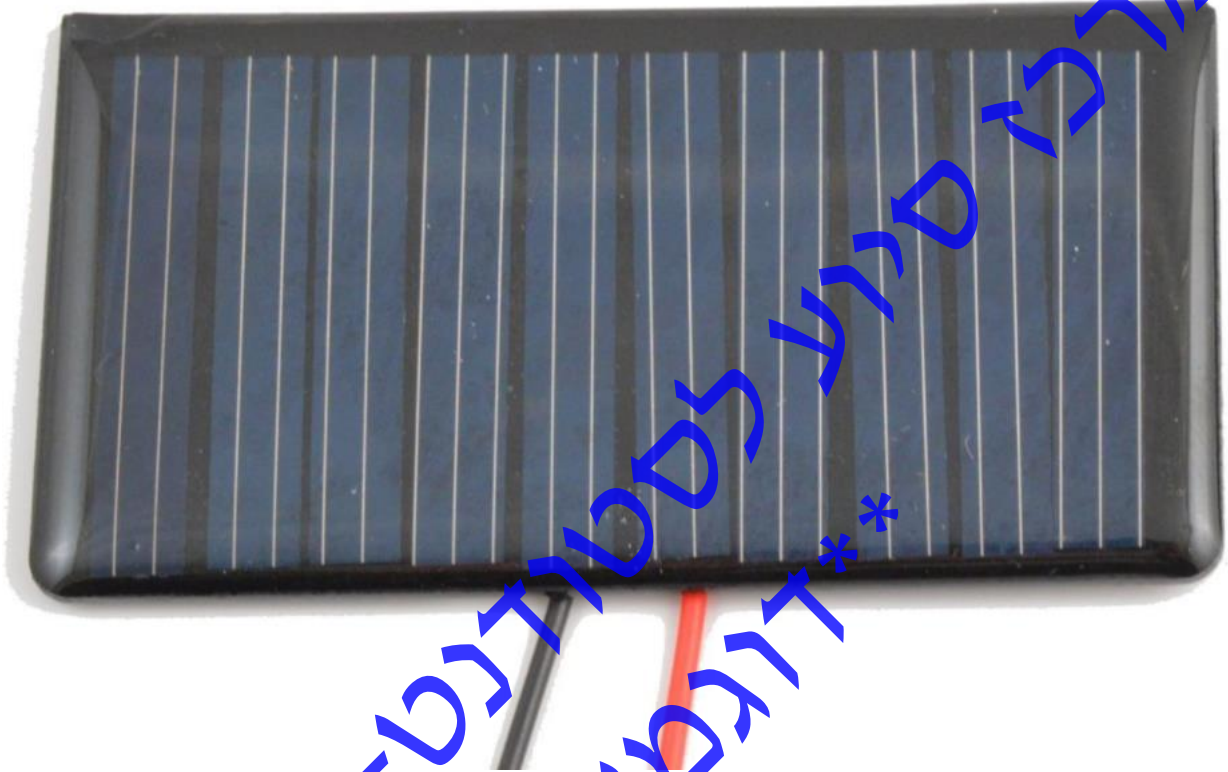


Figure 49-תא הסולרי הנבחר

לתא הסולרי המפרט הבא:

Specifications:
Polycrystalline Solar Cell
Efficiency: 17.0%
Color: Blue
Peak Voltage (Vmp): 5.0V
Open Circuit Voltage (Voc): 6.0V
Peak Current (Imp): 50mA
Short Circuit Current (Isc): 55mA
Dimensions: 68mm X 37mm X 2.5mm

Figure 50-מפרט התא הסולרי הנבחר

4.5. מחזיק התאים הסולריים

מחזיק התאים הסולריים מחולק ל-3 חלקים ועשוי מזכוכית כדי לקבל חשיפה מקסימלית מהשמש מצד אחד ולתמוך בתאים הסולריים ולמנוע מהם ליפול מצד שני.

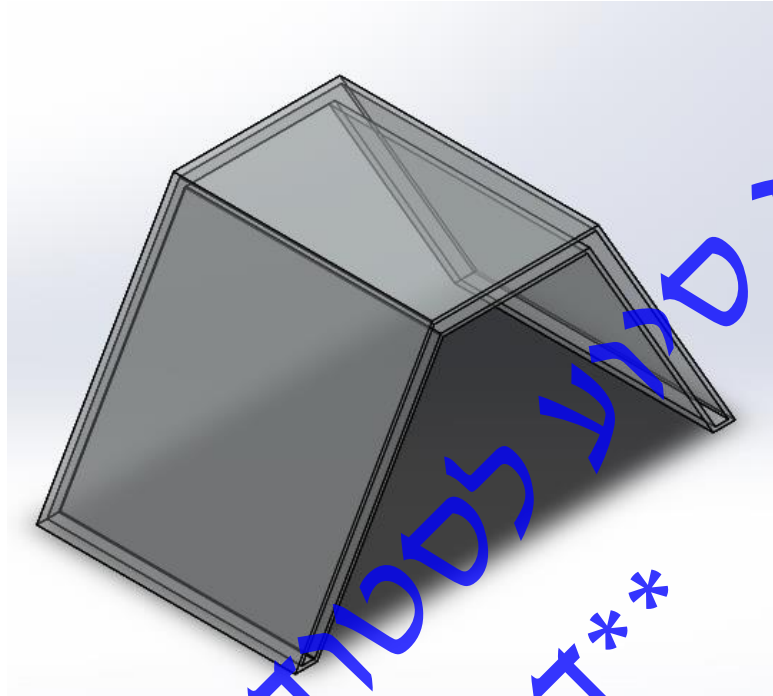


Figure 51-מבט איזומטרי על המחזיק

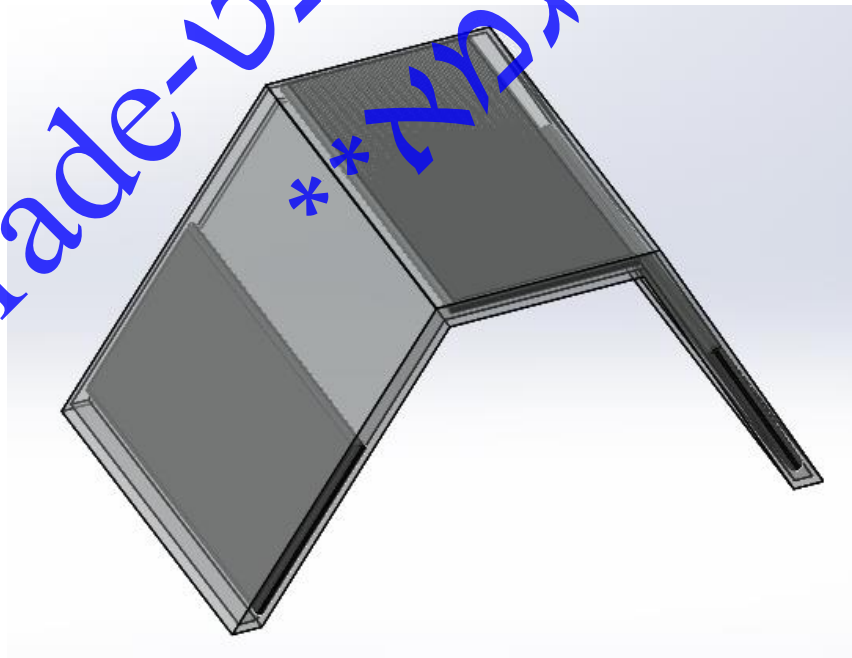


Figure 52-המחזיק עם התאים הסולריים בתוכו

משום שאנו מתכננים להשתמש בזכוכית בעובי של 1 מ"מ חובה עלינו לוודא שהמבנה יוכל להחזיק מעמד. לכן נוסיף למבנה מחזיק למחזיק. כלומר ניצור מבנה שנוכל להניח בתוכו את מחזיק התאים הסולריים:

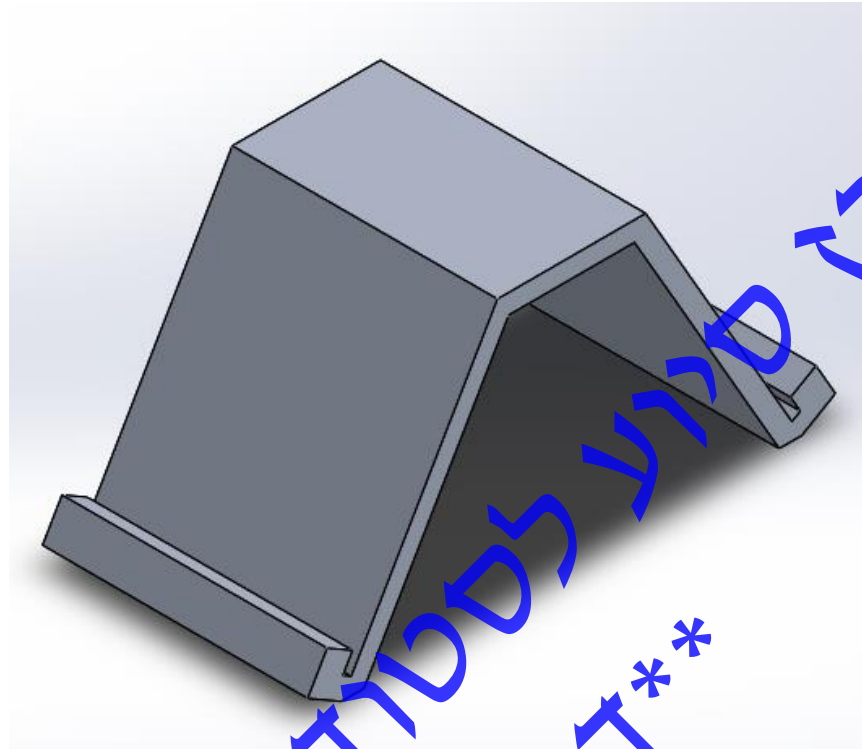


Figure 53-מחזיק התאים הסולריים

המחזיק נעשה מחומר מסוג אלומיניום 1060 לשם קלות ונוחות. ניתן להדביק את צידו השני ישירות לתוך ציר הסיבוב של הפאנל הסולרי או שאפשר לקדוח אותו לתוך הציר. המחזיק מתחבר בקלות למחזיק הזכוכית:

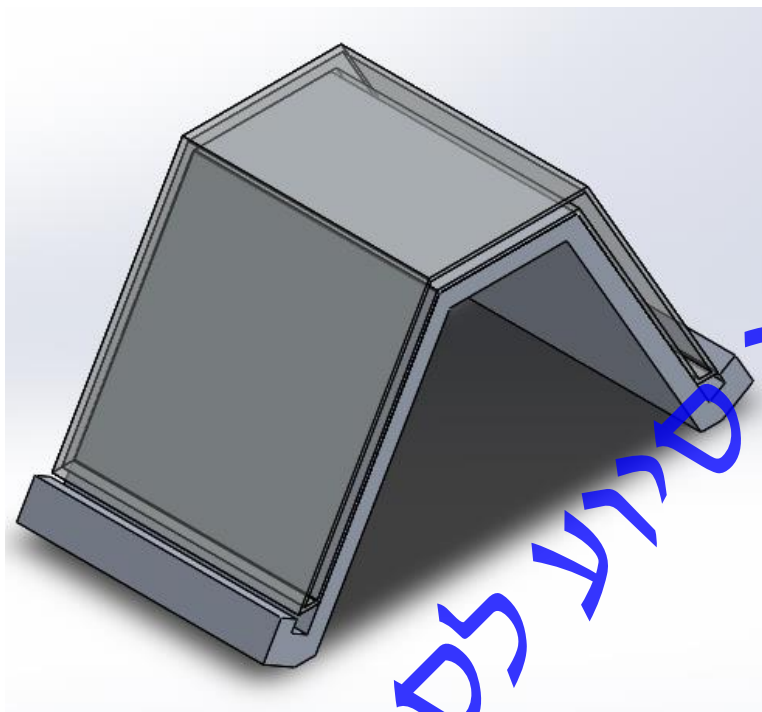


Figure 54-התחברות המחזיקים ביחד

4.6. בחירת כפתורים

תפקיד 2 הכפתורים הנבחרים הוא להתחלה ופעיירה של התהליך (בעצירת ביטחון המערכת מפסיקה לעבוד) ומעבר לשימוש בטיימר במקום הסתמכות על התאים הסולריים (בימים בהם השמש נסתרת וצריך לעקוב אחרי תנועתה לפי זמנים ידועים מראש).

הכפתורים הנבחר הם כפתורי 2LP שיש בתוכם מנורת LED ואנו בחרנו בהם משום שהפתורים האלה, כמו התא הסולרי, יכולים לעבוד אופטימלית במתח של 5 וולט.



Figure 55-הכפתור הנבחר

לכפתור יש את המפרט הטכני הבא[14]:

MECHANICAL SPECIFICATIONS

Operating Life:	300,000 cycles
Force:	125 ± 35 grams
Travel:	1.3mm +/- 0.3mm

ELECTRICAL SPECIFICATIONS

Contact Rating:	20VDC @ 1mA; 5VDC @ 5mA
Contact Resistance (Initial Max.):	200 Ohms Max @ 5VDC, 1mA
Insulation Resistance (min.@100V):	100 Megaohms Min.
Dielectric Strength (1 Min.):	250VAC
Contact Arrangement:	SPST, Normally Open

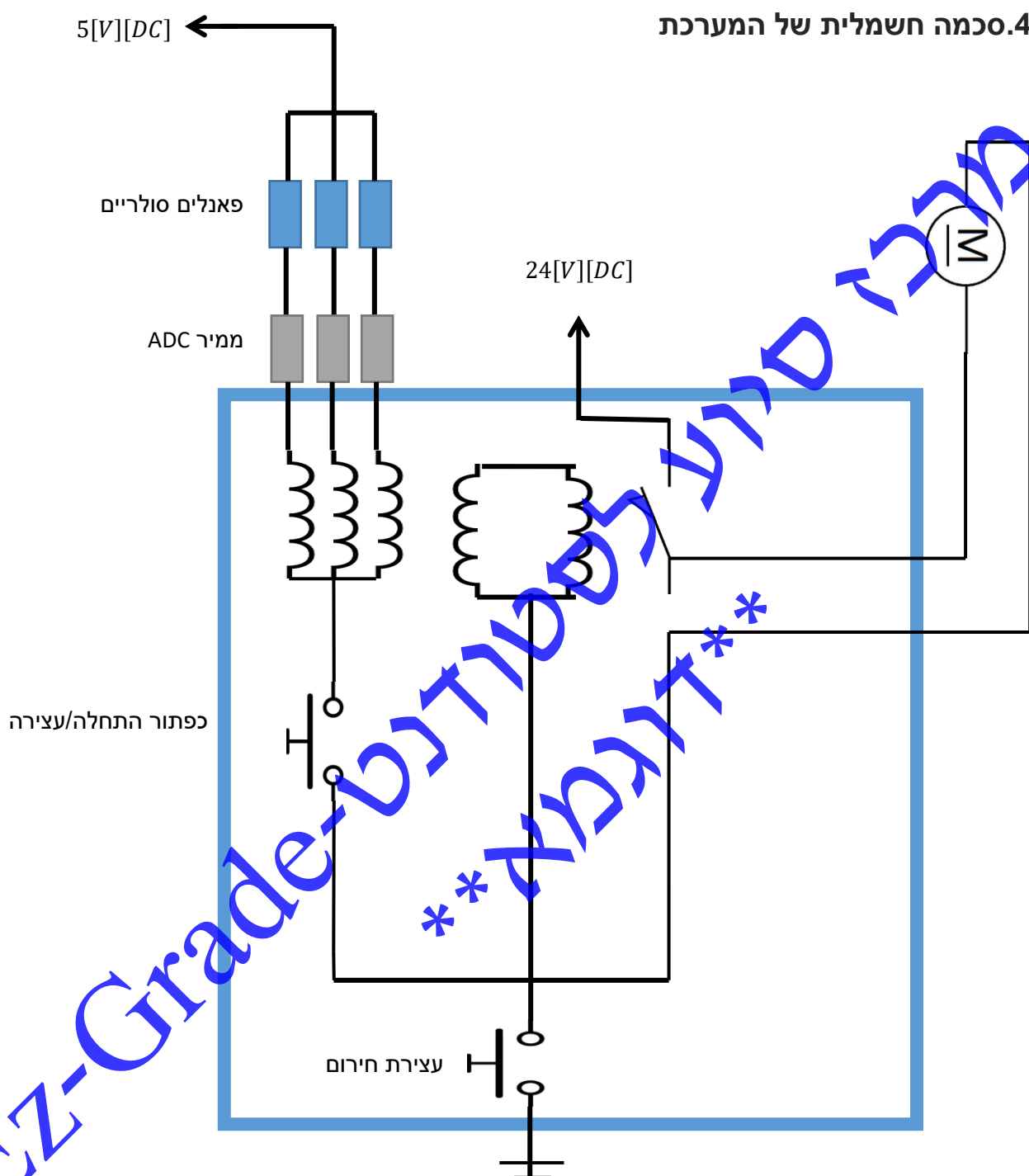
ENVIRONMENTAL SPECIFICATIONS

Operating/Storage Temperature:	-20°C to +70°C *
--------------------------------	------------------

Figure 56-המפרט הטכני של הכפתור הנבחר

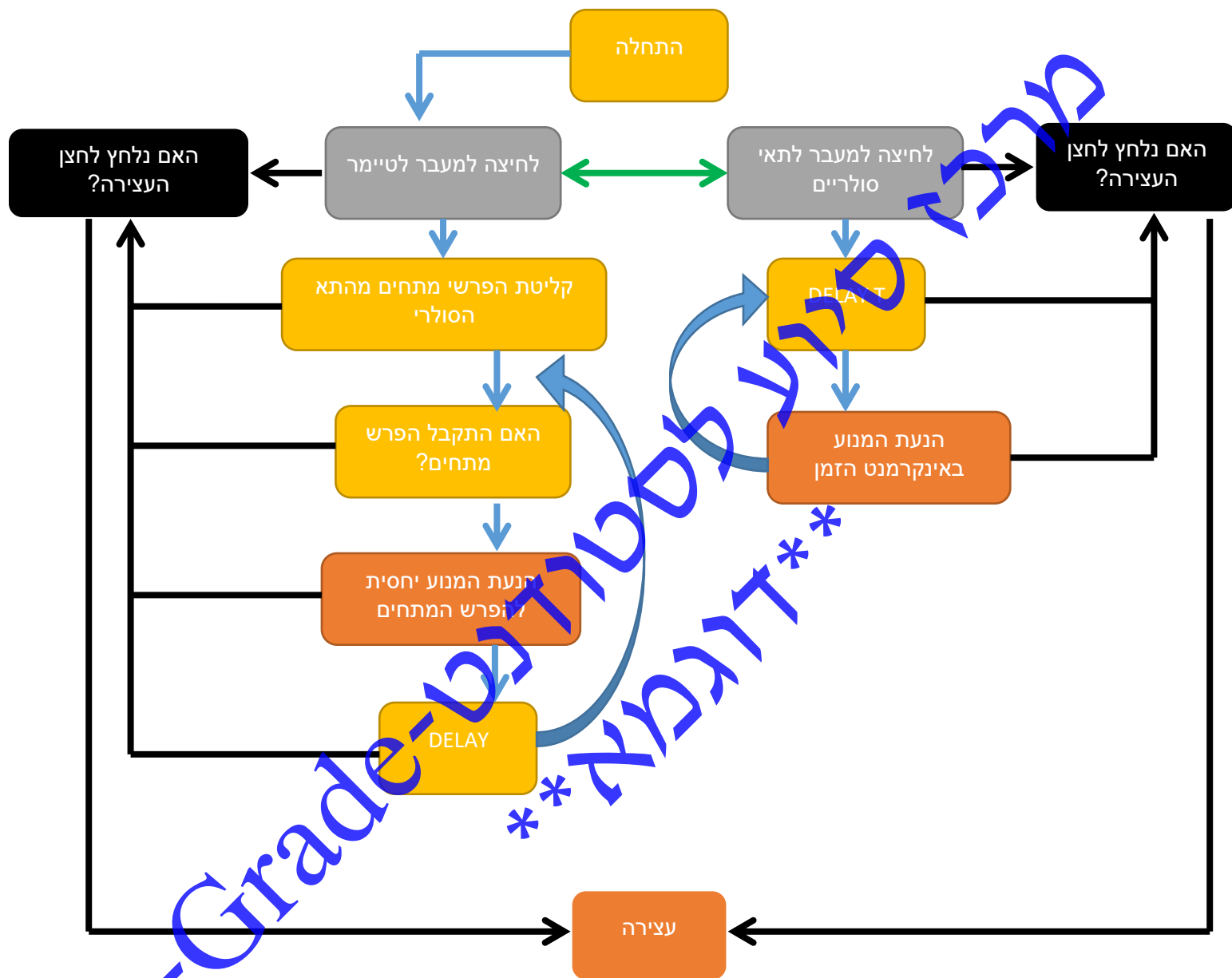
דוגמא **
EZ-Grade-לדוגמה

4.7. סכמה חשמלית של המערכת



לפי הסכמה החשמלית ניתן לראות את כל רכיבי המערכת. הפאנלים הסולריים מפיקים אנרגיה שמועברת דרך הממיר ADC לתוך הבקר, הבקר מתואר בקו מתאר כחול, בתוך הבקר מתבצעים תהליכים מסובכים דרך שערים לוגיים רבים אך הפשטנו את התהליך הזה למעבר דרך סלילים המעבירים את המתח שלהם לסליל שדרך אלקטרומגנטיות מדליק את המעגל החשמלי של המנוע. בנוסף ניתן לראות כפתורי עצירה ועצירת חירום. כפתור העצירה התחלה פשוט מדליק את המערכת אבל כפתור עצירת החירום מכבה את כל המעגלים החשמליים.

4.8. תרשים זרימה של בקרת תהליך



5. סיכום מסקנות והמלצות

לסיכום מצאנו והראינו באופן תאורתי קיום של מערכת פשוטה המסוגלת לעקוב אחרי השמש ולהתאים את מיקום הפאנל הסולרי לאופטימיזציה של פוטנציאל הפאנל הסולרי.

עבור פרויקטים המתבססים על פרויקט זה או בוחרים לבנות עליו הסקנו מספר מסקנות:

1. תנועת השמש בשמים קבועה וידועה. לכן השימוש בתאים סולריים עלול להיות מיותר ובמקומם ניתן להתקין מנוע הפועל על זוויות ידועות בעזרת מערכת הבקרה.
2. השימוש במנוע סרוו מגבילה את זווית הסיבוב ואת רזולוציית הזוויות שניתן להשיג בעזרת המערכת, אך ניתן לייצר מערכת סרוו עם מנוע פשוט לזרם ישר, פוטנציומטר של $10k\Omega$ ומערכת בקרה.
3. ישנם דרכים רבות לחבר את הפאנלים הסולריים, וכדי להמעיט בכמות התאים הסולריים ניתן להשתמש בפאנל הסולרי ובתא סולרי יחיד, כאשר ההשוואה בין המתחים המופקים לא מחושב ישירות מהמתח המיוצר אלא מהמתח המורמל (לדוגמא אם הפאנל הסולרי (הגדול) מפיק 20 וולט מתוך 30 וולט והתא הסולרי (הקטן) מפיק 4 וולט מתוך 5 וולט אז אנו נבצע השוואה של $\frac{20}{30} [Volt]$ לעומת $\frac{4}{5} [Volt]$ ונסיק שהתא הסולרי (הקטן) נחשף ליותר אור שמש ולכן נסובב את המנוע.

דוגמא
Ez-Grade-סטודנט

1. [/http://www.intermtnwindandsolar.com/are-rotating-solar-panels-effective](http://www.intermtnwindandsolar.com/are-rotating-solar-panels-effective)
2. <http://www.skf.com/binary/77-121486/SKF-rolling-bearings-catalogue.pdf>
3. <http://www.skf.com/my/products/bearings-units-housings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/index.html?designation=61820-2RS1>
4. <http://www.skf.com/group/products/bearings-units-housings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/index.html?designation=61805-2RZ>
5. https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_cell
6. ג'רלד וי. צ'ייקו "Solar tracking system: more efficient use of solar panels" World Acad. Sci. Eng. Technol., vol. 41, pp. 313-315, 2008
7. [/http://store.sundancesolar.com/5-0v-50ma-solar-cell](http://store.sundancesolar.com/5-0v-50ma-solar-cell)
8. <http://www.stepmotordriver.com/NEMA52-30NM-2-phase-Stepper-motors-factory-136.html>
9. [/http://news.energysage.com/average-solar-panel-size-weight](http://news.energysage.com/average-solar-panel-size-weight)
10. https://en.wikipedia.org/wiki/Stepper_motor
11. <http://www.godscience.com/pme5.htm>
12. <http://plccompare.com/wp-content/uploads/2011/01/Omron-CPM2A.pdf>
13. <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MX7578.pdf>
14. https://www.e-switch.com/system/asset/product_line/data_sheet/41/LP2.pdf

דוגמא *

סדרות

EZ-Grade-סדרות

מרכז סיוע לסטודנט
Ez-Grade-לוגמא**