



קורס תיב"ם ( מס' הקורס 30333 )

## צוות 9

### פרויקט: רובוט לניקוי אולמות סופרמרקט

#### הmgrיצים:

ד"ר מיכאל פרישמן  
ד"ר ולדימיר אורלייך  
מר אילן זילברמן

שם הסטודנט:	תעודת זהות:
ניצן כהן	312494602
מתן פיגנבלט	308242851

## תוכן עניינים

<b>רשיונות אירופים.....</b>	
<b>5.....</b>	
<b>רשימות טבלאות .....</b>	
<b>5.....</b>	
<b>6..... מבוא לרובוטיקה .....</b>	<b>1.</b>
<b>6..... מהו רובוט .....</b>	<b>1.1</b>
<b>7..... מטרות .....</b>	<b>2.</b>
<b>7..... מטרות פיתוח המוצר .....</b>	<b>2.1.</b>
<b>8..... רקע שיווקי וסקירת המצב הנוכחי .....</b>	<b>3.</b>
<b>8..... סקר שוק.....</b>	<b>3.1.</b>
<b>8..... שוואב אבק - eufy by Anker .....</b>	<b>3.1.1.</b>
<b>9..... שוטף רצפתה - Edge Mocha by EVERYBOT .....</b>	<b>3.1.2.</b>
<b>9..... שוטף רצפתה - Hydrobot by Intellibot Robotics .....</b>	<b>3.1.3.</b>
<b>10..... סקר מערכות הנעה.....</b>	<b>4.</b>
<b>10..... מנוע בעירה פנימית.....</b>	<b>4.1.</b>
<b>10..... מנוע חשמלי .....</b>	<b>4.2.</b>
<b>11..... סוג ניהוג .....</b>	<b>5.</b>
<b>11..... ניהוג דיפרנציאלי .....</b>	<b>5.1.</b>
<b>11..... גלגלי אומני .....</b>	<b>5.2.</b>
<b>11..... הנעת חול .....</b>	<b>5.3.</b>
<b>12..... מסמך מערכת, מפרט דרישות ותיאור המערכת .....</b>	<b>6.</b>
<b>12..... דרישות המערכת .....</b>	<b>6.1.</b>
<b>12..... תיאור המערכת.....</b>	<b>6.2.</b>
<b>12..... מפרט טכני .....</b>	<b>6.3.</b>
<b>13..... השרירות לבחירת נתוני המפרט: .....</b>	<b>6.4.</b>
<b>13..... ניתוח חלופות .....</b>	<b>7.</b>
<b>13..... ניתוח לפי סוג מנועים.....</b>	<b>7.1.</b>
<b>13..... מנוע בעירה פנימית בנזין: .....</b>	<b>7.1.1.</b>
<b>13..... מנוע חשמלי DC ללא מברשות .....</b>	<b>7.1.2.</b>
<b>13..... מנוע חשמלי DC עם מברשות .....</b>	<b>7.1.3.</b>
<b>14..... השוואת בין המנועים .....</b>	<b>7.2.</b>
<b>14..... בדיקה לפי שיטות ניהוג .....</b>	<b>7.3.</b>
<b>14..... דיפרנציאלי זהול .....</b>	<b>7.3.1.</b>
<b>15..... דיפרנציאלי גלגולים .....</b>	<b>7.3.2.</b>
<b>15..... הנעת H עם גלגלי אומני .....</b>	<b>7.3.3.</b>
<b>15..... השוואת בין שיטות ניהוג .....</b>	<b>7.4.</b>

<b>16.</b>	<b>תכן ראשוני PDR</b>	<b>8.</b>
16.....	תרשים קינטמי .....	8.1.
17.....	תרשים סכמי .....	8.2.
17.....	דרישות המערכת לתנועה:.....	8.3.
18.....	חישוב כוח משיכה על מישור אופקי.....	8.3.1.
19.....	חישוב כוח משיכה עברו מישור משופע:.....	8.3.2.
19.....	בדיקה תנאי אי-החלקה הרובוט בעמידה:.....	8.3.3.
20.....	בדיקה תנאי אי-החלקה גלגלי הרובוט בתנועה:.....	8.3.4.
20.....	קביעת מידות כלולות.....	8.3.5.
22.....	חישובים לבחירת מנוע ותמסורת:.....	8.4.
22.....	חישובי הספק המנוע:.....	8.4.1.
22.....	חישובי מהירות המנוע:.....	8.4.2.
23.....	חישובי מומנטים למערכת הנעה:.....	8.4.3.
23.....	המנוע הנבחר:.....	8.4.4.
23.....	הגיר הנבחר:.....	8.4.5.
24.....	בחירת מצבר:.....	8.5.
24.....	חישוב קיבולת עברו מצבר:.....	8.5.1.
24.....	המצבר הנבחר:.....	8.5.2.
25.....	בחירת גלגלים.....	8.6.
25.....	גלגל הנעה הקדמי .....	8.6.1.
25.....	גלגל Castor .....	8.6.2.
<b>26.</b>	<b>בחירה חומרים.....</b>	<b>9.</b>
27.....	בחירת חומרים עברו גל.....	.9.1
27.....	תכונות החומר הנדרש:.....	.9.1.1
27.....	בחירה החומר:.....	.9.1.2
28.....	בחירת חומרים עברו שלדה.....	.9.2
28.....	תכונות החומר הנדרש:.....	.9.2.1
28.....	בחירה החומר:.....	.9.2.2
<b>29.</b>	<b>תכן מפורט – CDR</b>	<b>10.</b>
29.....	גלאי .....	10.1.
29.....	תכן הגל:.....	10.1.1.
31.....	חישוב קוורר גל להטייה:.....	10.1.2.
32.....	אנליזה עומס סטטי לגל .....	10.2.
33.....	בדיקה עמידות בעומס סטטי:.....	10.2.1
33.....	בדיקה עמידה בהטייה:.....	10.2.2
34.....	שלדה .....	10.3
34.....	אנליזה שלדה .....	10.3.1
35.....	ריתוך .....	10.3.2
36.....	בחירת חלקים סטנדרטים:.....	10.4
36.....	מספר .....	10.4.1
37.....	בית מסב .....	10.4.2.
37.....	שגם .....	10.4.3
38.....	מצמד .....	10.4.4.
39.....	טבעת סגר .....	10.4.5

<b>39.....</b>	<b>דרישות מערכת בקרה.....</b>	<b>.11</b>
<b>41.....</b>	<b>אופטימיזציה.....</b>	<b>.12</b>
<b>44.....</b>	<b>סיכון ומסקנות.....</b>	<b>.13</b>
<b>45.....</b>	<b>ביבליוגרפיה.....</b>	<b>.14</b>
<b>45.....</b>	<b>מקורות ספרותיים.....</b>	<b>.14.1</b>
<b>45.....</b>	<b>מקורות אינטרנטיים.....</b>	<b>.14.2</b>
<b>47.....</b>	<b>נספחים:.....</b>	<b>.15</b>
<b>47.....</b>	<b>רישומות נספחים.....</b>	
<b>48.....</b>	<b>דף חיוך ונתונים:.....</b>	<b>.15.1</b>
<b>61.....</b>	<b>תיק שרטוטים:.....</b>	<b>.15.2.</b>

## רשימות איורים

6 .....	איור 1-1 רובוט נייח .....
8 .....	איור 1-3 שואב אבק - eufy by Anker .....
9 .....	איור 2-3 שוטף רצפות - Edge Mocha by EVERYBOT .....
9 .....	איור 3-3 שוטף רצפות - Hydrobot by Intellibot Robotics .....
10 .....	איור 4-1 מנוע ללא מברשת .....
10 .....	איור 4-2 מנוע צעדים .....
10 .....	איור 4-3 מנוע עם מברשת .....
14 .....	איור 1-7 רובוט בהנעת זחל .....
15 .....	איור 2-7 רובוט בהנעת גלגלים .....
15 .....	איור 3-7 רובוט בהנעת גלגלים אומניים .....
16 .....	איור 1-8 תרשימים ק'ינטטי .....
17 .....	איור 2-8 תרשימים סכמטי .....
18 .....	איור 3-8 כוח משיכה במישור אופקי .....
19 .....	איור 4-8 כוח משיכה במישור משופע .....
20 .....	איור 5-8 מידות כלויות .....
23 .....	איור 6-8 גראף מהירות סיבוב ומומנט פיתול .....
27 .....	איור 1-9 פלדה מסוגגת 4340 .....
28 .....	איור 2-9 אלומיניום 6061 – T6 .....
30 .....	איור 1-10 גיאומטריה הגל .....
31 .....	איור 2-10 גראפי מומנטים .....
32 .....	איור 3-10 אנליזת מקדם בתייחות .....
32 .....	איור 4-10 אנליזת עומס סטטי לגל .....
33 .....	איור 5-10 אנליזת התעוייפות .....
34 .....	איור 6-10 אנליזת מאמצ .....
34 .....	איור 7-10 אנליזת דפורמציה .....
40 .....	איור 11-1 מערכת בקרה .....

## רשימות טבלאות

26 .....	טבלה 1-9 בחירת חומרים – טבלת נתונים: .....
27 .....	טבלה 2-9 בחירת חומרים עבור גל – שיטת דלפי: .....
28 .....	טבלה 3-9 בחירת חומרים עבור שלדה – שיטת דלפי: .....
29 .....	טבלה 1-10 תכון מפורט – CDR – טבלת נתונים: .....
35 .....	טבלה 4-10 טבלת מומנטים לחישובי ריתוך .....
36 .....	טבלה 5-10 בחירת מסב – טבלת נתונים .....

## 1. מבוא לרובוטיקה

### 1.1 מהו רובוט

רובוטיקה הוא תחום מולטידיסציפלנרי בהנדסה המשלב הנדסת מכונות, הנדסת אלקטרוניקה ותוכנה. ייצור ובניית רובוט מתאפשר באמצעות טכנולוגיות עיצוב, תכנון מבנה ובקרה הכוללת קבלת מידע מחיישנים ועיבודו. ניתן להשתמש ב Robbinsים למגוון רחב של סיטואציות ומטרות. כיום, ישנו שימוש גדול ב Robbinsים המיועדים למטרות או סביבות אשר מהוות סיכון לחיה אדם (לדוגמה: נטרול מטען חבלה, ניקוי חומרים מסוכנים, איסוף מודיעין וכו').

בעזרת התקדמות טכנולוגיות בתחום האינטלקטואלית, ניתן לראות גידול ב Robbinsים אוטונומיים שייעדים "לנתח" מצבים, להפעיל "שיקול דעת" כמעט אנושי, לקחת החלטות ולבצע פעולות בהתאם.

בעזרת הטכנולוגיות הקיימות כיום, ניתן לפתח Robbinsים המיועדים לביצוע משימות מורכבות באופן דינמי, בנוסף כתזאה מהצורך ב Robbins למסכים מורכבים, גידל גם הצורך ב Robbinsים ניידים, Robbinsים אשר מסוגלים לנوع מרחב באופן דינמי בהתאם לדרישות.

### סוגי Robbinsים

קיימות שתי הבחנות בין סוג Robbinsים

- Robbinsים נייחים – Robbins אשר מקובל לבסיס קבוע אשר בעזרת מגנוני תנועה שונים, מסוגל ליצור לעצמו סביבת עבודה נגישה, Robbinsים מסוג זה, נפוצים בעיקר בפסי ייצור במפעלים (נקראים גם Cobots).



איור 1-1 רובוט נייח

- Robbinsים ניידים – Robbins אשר מסוגל לנوع בחופשיות על תוואי השטח שלו והוא נועד לנوع. אופן תנועתו נקבע לרוב לפי תכנית הבניה על ידי האדם המפעיל ולפעמים גם באופן אוטונומי - סקירה הסביבה באמצעות חיישנים וקבלת החלטות על פי תוכנית.



איור 3-1 רובוט נייד אוטומטי



איור 2-1 רובוט נייד הדורש מפעיל

## 2. מטרות

### 2.1. מטרות פיתוח המוצר

בפרויקט זה בחרנו במוצר – רובוט לניקוי אולמות סופרמרקטים. אוכלוסיית העולם גדלה באופן קבוע ואייתה גדל הצורך בייצור ומכירת האוכל בסופרמרקטים. מטבע הדברים, מקומות כמו סופרמרקטים מתליכים בדרך כלל קבע ויש צורך בניקוי תכוף שלהם. כמו כן, יש קושי במצבה כוח עבודה זול לתפקידים כאלה, וכך הרובוט שלנו מציע פתרון לביעות אלה. על מנת להגיע ליעילות מרבית, נרצה להגיע לתכנון ועיצוב מינימלי של הרובוט, כך יוכל לעבוד בקלות בין מעברי המدافים בסופר, בין לקוחות ויהה בעל גישה לחלקים מתחת למدافיו הסופר. נרצה שהרובוט יהיה בעל יכולת ניוט עצמאית למרחב (במתכונת "שגר ושכח"), ישא את כל חומרו הניקוי עלייו, יוכל להתחבר למערכת שליטה ובקרה מרכזית.

כמו כן, המטרות הלימודיות בפרויקט הן:

- יישום הידע הנצבר בלימודים בתכנון מנגן מכני.
- הכנה לפריקט הגמר.
- הבנתה תהליכי פיתוח המשלב עבודה בצוות.
- הכרת שלבי הבניה מרענון מופשט לתכנון מפורט.
- הכנת תיקشرطוט מסודר כנדרש לפני התקן.
- התמצאות בקטלוגים מקצועיים שונים ובחירה חלקים מתאימים לצורך מענה על הדרישה.

### 3. בקע שיווקי וסקירת המצב הנוכחי

#### 3.1. סקר שוק

בכדי לשמר על ניקיון איכותי תוך שימוש בכוח אדם ועלויות מופחתות קיימים בתעשייה הרובוטים לא מעט רובוטים המיועדים לצרכים אלו. לא רק שה מוצר נדרש בתעשייה הסופרים הגדולים, אלא יכול לשמש גם במכוורות קטנות וסופרים שכונתיים.

קיימים מספר רובוטים לנקיוי חללים:

##### 3.1.1. שואב אבק - eufy by Anker

ה- eufy הינו רובוט חכם המאפשר לנו שאיבת אבק בצורה יעילה ושקטה, אשר נכל ברשימת שובי האבק הטובים ביותר לשנת 2019.

- רובוט זה הונדק במיוחד להיות הרובוט הטוב ביותר ועוד ביותר בעל עובי מקסימלי של 2.85 אינץ' בלבד.
- בעל טכנולוגיית BoostIQ המאפשרת עלייה בכוח השאייה בתוך 1.5 שניות כאשר נדרש שאיבה בעוצמה גבוהה לצורך לקבל שאיבה מצוינית.
- בעל טכנולוגיית Quiet Clean A אשר מאפשר לו לשאוב בצורה חזקה גם משטחים רועשים כמו עץ למשך 100 דקות לפחות ומרעיש בצורה מינימלית.

נתונים טכניים:

- הספק: 1300 פסקל.
- זמן פעולה: כ-100 דקות פעולה בטעינה אחת.
- סוללות: ליטיום.
- משקל: 2.6 ק"ג.
- מידות כלירות: 7.24 x 32.51 x 32.51 ס"מ.



איור-3 שואב אבק - eufy by Anker

### 3.1.2. שוטף רצפות - Edge Mocha by EVERYBOT

- ה- Edge Mocha הינו רובוט חכם המאפשר לשטיפה יסודית ללא השארת סימנים.
- ו- רובוט בעל אפשרות לניקוי חזק ועדיין,
  - ו- בעל טכנולוגיית Dynamic dual-spinning המאפשרת תזוזה ללא גלגלים לצורך מניעת סימנים, מבצע ניקוי בזמן שהוא זז על רוחבי השטח על ידי שימוש בשני פדים של סחבה.
  - ו- מצויד בטכנולוגיות Smart cleaning הכוללת בתוכנה חיישנים נגד התנגשות וחישנים למניעת נפילה לצורך ניקיון בתוך וחום.
  - ו- בעל מחלשי קול המאפשר לרובוט לנוע בرعש מופחת עד לגובה של 46 דבילים.

נתונים טכניים:

- ו- מהירות ניקיון של 1 מטר רבע.
- ו- זמן פעולה: כ-100 דקות פעולה בטעינה אחת.
- ו- סוללות: ליטיום.
- ו- משקל: 1.6 ק"ג.
- ו- מידות כלליות: 13.59 x 32.69 x 16.51 ס"מ.



איור 2-3 שוטף רצפות - Edge Mocha by EVERYBOT

### 3.1.3. שוטף רצפות - Hydrobot by Intellibot Robotics

- ה- Hydrobot רובוט נייד המשמש לשטיפה אוטומטית ייחודית ללא צורך במפעיל.
- ו- בעלת טכנולוגיות מתקדמות המאפשרת מכשולים נעים ונחיכים במרחב כגון חפצים ובני אדם.
  - ו- בעל יכולות מיפוי מסלולים המאפשרת לו לננות בשטחים גדולים ללא צורך בסיווע מפעיל המאפשרת בנוסף למניעת מהتانגשיות ומניעה מניפולות.

נתונים טכניים:

- ו- הספק: 930 מטר רבע לשעה.
- ו- מחזור: בעל יכולת מחזור של כ-85% מהמים.
- ו- משקל: 327 ק"ג.
- ו- מידות כלליות: 122 x 109 x 81 ס"מ.



איור 3-3 שוטף רצפות - Hydrobot by Intellibot Robotics

## 4. סקר מערכות הנעה

בפרק זה נבחן את סוגי המנועים המתאימים עבור הרובוט אותנו אנחנו מתקנים. העדיפות שלנו תהיה עבור מנוע צבאי כיוון שהוא נדרש לעבוד בסביבה קשה מכאן שמרכזי מנוע יידידותי לסביבה.

### 4.1. מנוע בעירה פנימית

מנוע אשר מנצל אנרגיה חום הנוצרת עקב שריפת דלק (בנזין או דיזל) בתוך חלל סגור, החום מתורגם לחץ שמתורגם לתנועה סיבובית (עבודה מכנית).

יתרונות: טעינה מהירה (תדלוק), טווח נסיעה גדול, קל משקל באופן יחסוי.  
חרונות:iesel רך בטוויח סלדי מסויים, רועש, זיהום סביבתי, גדול באופן יחסוי.

### 4.2. מנוע צבאי

(נפוץ ברובוטים) - מכלול הממיר אנרגיה חשמלית לאנרגיה סיבובית, מבוסס על עקרון האלקטרומגנטיות.

מנוע צבאי מורכב משני חלקים עיקריים 1. סטטור (STATOR): מערכת שלילים המולופפים סביב ליבה פרומגנטית המקובעת במקום. הסטטור יכול להיות גם מרכיב שני מגנטיים מאוד חזקים כאשר סידור הקטבים מנוגד לכיוון המופנה לרוטור.

2. רוטור (ROTOR): ציר העובר בתוך הסטטור ועליו או שנמצאים מגנטים או שלילים. ציר זה חופשי להסתובב. כאשר זורם זרם צבאי דרך הסלילים שברוטור (או בסטטור), נוצר שדה מגנטי סיבים (דרך הלייטה). שדה מגנטי זה מפעיל כוח על הציר העובר דרכו, וזה מסתובב עקב המומנט (כח סיבובי). העברת זרם צבאי מוקוטע, בדומה מבוקרת, מאפשרת צירוף תנומות זוויתיות קטנות לסיבובים שלמים.

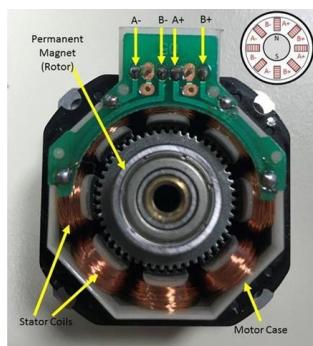
סוגים עיקריים של מנוע צבאי  
1. מנוע מברשת (DC - Brushed)

- המשמשות לייצור המגע וסיגרת המעלים לאלקטרו-מגנטיים המפעילים את המנוע

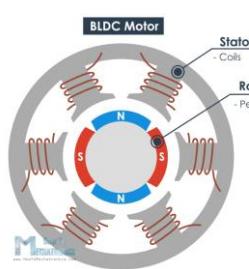
2. ללא מברשת (DC - Brushless) - בהן סיגרת המעלים נעשית באופן ממוחשב, בעזרת חיישני מיקום, או על ידי זיהוי ההשראה המגנטית מהмагנטים הקבועים (אין דוקציה).

3. מנוע צעדים (DC - Stepper) - בהן העברת הכוח אל הסלילים מבוקרת מטה איזה סליל קיבל זרם ומתי על מנת לבדוק את התנועה הסיבובית של המנוע  
יתרונות: שקט מואוד, מומנט ועכלי קשת הסלדי, אין צורך בגיר הפתחה, אפשרות לטעינה סולרית, זול לתחזוקה.

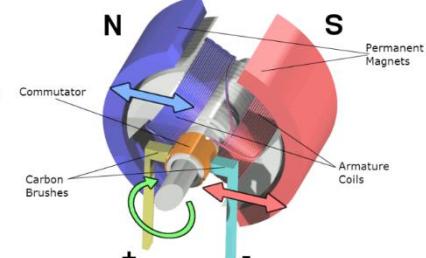
חרונות: צורך בטעינה שלוקחת הרבה זמן, סוללה מאוד כבדה, נזילות נמוכה ודרישה שטח גדולה.



איור 4-2 מנוע צעדים



איור 4-1 מנוע ללא מברשת



איור 4-3 מנוע עם מברשת

## 5. סוג ניהוג

קיימות מספר שיטות ניהוג להנעת רובוטים.

### 5.1. ניהוג דיפרנציאלי

הניהוג פשוט ביותר מבחןת תכונות, בניה והפעלה. הניהוג הדיפרנציאלי מבוסס על שני גלגלים הנמצאים על ציר דמיוני משותף, כל גלגל מונע באופן בלתי תלוי בשני. באמצעות סידור זה, הרובוט מסוגל לנوع ישיר, להסתובב במקום או לנוע במסלול קשתי.

בעיה עיקרית בתכנון רובוט מבוסס ניהוג דיפרנציאלי הינה כיצד להבטיח את יציבותו. חוץ משני גלגלי הניהוג, נדרשת ת מכיה נוספת נספת כדי שהרובוט לא יאבך את שיווי משקלו. לרוב, בעיה זו נפתרת ע"י גלגל עזר אחד או שניים אשר יוצר מערכ גלגלים בצורת משולש (במקרה של אחד) או מעוין (במקרה של שניים).

אם הרובוט בניו ללא גלגל העזר האופציונלי, ונו קדימה (ימינה) ב מהירות ולפטע עצור, הוא יאבך את שיווי משקלו בכוון התנועה, ניתן לפטור על-ידי מיקום מרכז המסה שלו לצד האחורי. בפועל, מיקום מירב התקנים בעלי המשקל הגדול לצד האחורי של הרובוט, כדוגמת סוללות ובקר הרובוט.

### 5.2. גלגלי אומני

גלגלי אומני הם גלגלים משלבים המאפשרים תנועה בשני מישורים. ZX הגלגל המרכזית עשוי ממספר גללים הבנויים בתוכו וביחד יוצרים גלגל אחד גדול. כאשר הגלגל מסתובב סביב צירו נוצר גלגול רגיל. כאשר הגלגל "נمشך" לצדדים, הגלגלות שנמצאות ב מגע עם הקרקע הן אלה שמתגללות ומאפשרות תנועה לצדים כאשר בפועל הגלגל הגדול לא מסתובב

### 5.3. הנעת זחל

בהנעת זחל, לרובוט יהיו שני מנועים, המסובבים בעזרת גלגלי שניים הממוקמים באחוריו הרובוט שני זחלים, או רצועות כלשהן שיופיעו ב מגע עם הרצפה. יהיו גם גלגלים פאטיים בקדמת הרובוט שתפקידם להחזיק את רצועות מתוחות.

רובוט זה יכול לעלות על מכשולים רבים ובעל עבירות גבוהה ורדיויס סיבובו קטן יחסית, משומם שהפניות יתבצעו בעזרת שינוי המהירות של המנועים לצדדים הרצויים.

יתרונות:

- יכולת עבירות גבוהה.
- ניתן לייצר שייפה בעל עמידות גבוהה.

חסרונות:

- מהירות נמוכה.
- צורך להشكיע הרבה אנרגיה
- יכולת סיבוב צרי נמוכה.
- שחיקה בנסיעה על כבישים.

## 6. מסמך מערכת, מפרט דרישות ותיאור המערכת

### 6.1. דרישות המערכת

- רובוט הפעול בהפעלה מרוחק ובצורה עצמאית - "שגר ושכח".
- בעל יכולות אוטונומיות לביצוע בדיקות פנימיות ושליחת הנתונים לענן.
- יכולה לסחוב חומר ניוקו.
- תנאי סביבה - אולמות סגורים.
- סוג קרקע - רצפות סטנדרטיות, אספלט.
- מסת ציוד – 5 ק"ג כולל בתוכו כ- 450 מיליליטר פח אשפה, 450 מיליליטר מיכל מים וצידן נלווה נוסף.
- יכולות ניוט ותמרון למרחב.
- יכולה זיהוי לכלוכים עצימים למרחב ואסיפתם למיכל על גבי הרובוט.
- יכולה שטיפת רצפה ויבוש מייד'.
- עבודה רציפה.

### 6.2. תיאור המערכת

- רובוט המיעוד להחליף את פעילות העובדי הניקיון שנמצאים בסופרמרקטים ודרש לנوع למרחב בצורה עצמאית לחלווטין.
- לרובוט תהיה נקודת "בית" שיחזור אליה בסיום כל סבב ניקיון, כאשר יגמרו לו חומר הניקוי או יתמלא מיכל האשפה.
- הרובוט ישדר את כל התהילה ליחידת בקרה, לשם ניתוח נתונים ובקרה בזמן אמיתי .

### 6.3. מפרט טכני

טבלה 1-6 מפרט טכני

פירוט המפרט		
ירידות	ערך	
סנטימטר	35-50	קוטר
סנטימטר	10-40	גובה
סנטימטר	5-20	מרכז כובד
ニיטון	49.05-147.15	משקל עצמי של הרובוט
ニיטון	14.715-49.05	משקל ציוד הרובוט
סנטימטר	3	גובה גחון מהקרקע
מטר לשניה	0.8	מהירות מינימלית
מטר לשניה	1.5	מהירות מקסימלית
סנטימטר	מחצית המרחק בין האגללים	רדיווס סיבוב
-	אולמות סגורים	תנאי סביבה
-	בטון/אספלט	סוג הקרקע
מעלות	4.5	SHIPוע מקסימלי
שעות	1.5-3	זמן עבודה רצוף
שעות	3-5	זמן טעינה דרוש

## **6.4. השערות לבחירת נתוני המפרט:**

הרובוט מיועד לעובדה באולמות של סופרמרקטים סגורים על רצפות מסוג בטון. מידות הרובוט הצפויות נעות בטווח של קוטר 35-50 סנטימטר וגובה של 10-40 סנטימטר, מידות המוצר נבחרות מתוך התחרבות בגודל המנווע, חיישנים, וצד האומר להיות קיימם בתוך מבנה הרובוט, למשל תא לאיסוף אבק במקורה של רובוט שואב או תא לאחסון נוזל השטיפה במקורה של רובוט שטיפה, במידה ונראה מוצר המוצע לפועלה אחת כגון שטיפה או שאיבת נוזל לבחור מוצר יותר קטן וקומפקטי, אך במידה וニיצר מוצר המוצע לביצוע שטיפה ושאיבת יחדי נרצה להגדיל את גודל המוצר. מתוך המדידות שנבחרו ניתן לראות כי מרכז הכבד אמרות להיות בטווח של 20-5 ס"מ בהנחה שהמוצר הוא במצב מעגל סימטרי.

בהתאם למחשבה על זמן העבודה, וגודל התא אותו נרצה נוכל לראות כי טווח המשקלים הראליים עבור הרובוט יכול לנوع בטווח של 15-5 ק"ג למרות המשקל הנמוך הרובוט הוא בעל תא איסוף אבק ו/או תא לאחסון נוזל נקי מספיק גדול המאפשר לו לבצע עבודה רצופה בטווח של 3-1.5 שעות ולהזור לעמדת הטעינה שלו בכדי לרוקן את תא האיסוף ו/או להחליף את נוזל הנקי.

טווח המהירויות הנבחר הוא 0.8-1.5 מטר לשנייה, טווח יחסית נמוך המאפשר לנו להימנע מנזק במקורה של התנgesות בין אדם למורות הקיום של חיישנים נגד התנgesות. חישוב שיפוע הסביבה מחושב כשיגיא אפשרות של ישרות המשטח, בהנחה שרצתת המבנה היא אופקית וישראל.

רדיוווס הסיבוב הוא אףוי עקב היומו של הרובוט במבנה עגול.

## **7. ניתוח חלופות**

פרק זה אנו נבצע ניתוח של חלופות תכנון באמצעות שיטה הנקרואט שיטת דלפי, שיטה זה מבוססת על כתיבת פתרון על ידי מומחים, הפתרון המוצע מועבר שוב לעיון עד לצמצום הפעירים וקבלת פתרון מוגמר. במקורה שלנו אנו נבצע השוואה בין החלופות ונבחר את החלופה הטובה ביותר.

### **7.1. ניתוח לפי סוג מנועים**

#### **7.1.1. מנוע בעירה פנימית בנזין:**

מנוע שעבוד ע"י שריפת דלק לייזרת אנרגיה מכנית.

יתרונות: טעינה מהירה, טוביה בסל"ד מסוים.

חסרונות: יקר, לא ידידותי לסביבה, אורך חיים קצר, רועש, גדול.

#### **7.1.2. מנוע חשמלי DC ללא מברשות**

מנוע הממיר אנרגיה חשמלית לאנרגיה מכנית, במנועים חשמליים ללא מברשות סגירת המעגלים נעשית באופן ממוחשב, בעזרת חיישני מיקום, או על ידי זיהוי ההשראה המגנטית מהмагנטים הקבועים (איינדוקציה).

יתרונות: זולה, ידידותי לסביבה, קלטה, יעילותBINONIOT.

חסרונות: אורך חיים קצר, תחזוקה תכופה, רועש.

#### **7.1.3. מנוע חשמלי DC עם מברשות**

במנועים חשמליים עם מברשות, המברשות משמשות ליצור מגע וסגירת המעגלים לאלקטרו- מגנטים המפעילים את המנוע.

יתרונות: ידידותי לסביבה, אורך חיים ארוך, שקט, קטן, יעילות טוביה.

חסרונות: יקר

## 7.2. השוואת המנוועים

טבלה 7-1 השוואת המנוועים – שיטת דלפי

קריטריון	משקל	פנימית בנzin	מנוע בעירה	מנוע חשמלי DC ללא מברשות	מנוע חשמלי DC עם מברשות	2
עלות	0.1	2	5	4	4	2
מדדים	0.05	3	4	4	4	4
מסה	0.2	3	4	4	4	4
אורח חיים	0.15	2	2	2	2	2
ידידותי לסביבה	0.2	1	5	3	3	3
רעש	0.1	1	3	3	3	3
יעילות	0.2	3	4	4	4	4
<b>סיכום</b>	<b>1</b>	<b>2.15</b>	<b>3.9</b>	<b>4.45</b>		

מפתח ציון: 1-גרוע. 5-טוב מאוד.

### מסקנה:

לאחר השוואת המנוועים, ניתן לראות כי המנווע המומלץ עבור רובוט זה הוא מנווע חשמלי מסווג DC ללא מברשות.

ນבחר להשתמש במנווע חשמלי מסווג DC ללא מברשות, ניתן לראות כי מנווע בעירה פנימית מסווג בנzin אינו מתאים כיון שהוא לא ידידותי לסביבה ואינו נדרש לעבוד באולמות סגורים שכן הבחירה היא בין מנווע עם מברשות לבין מנווע ללא מברשות בלבד.

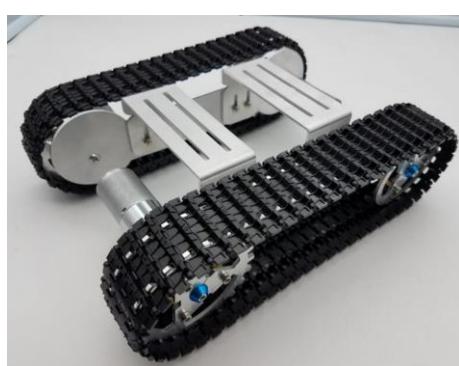
למרות העובדה של מנווע DC ללא מברשות עדין נבחר אותו עקב רעש מופחת, טווח חיים ארוך ותחזוקה גבוהה כתוצאה בഗלן שלא נדרש בהחלפת מברשות.

## 7.3. בדיקה לפי שיטות ניוהג

### 7.3.1. דיפרנציאלי זחל

בהתנה זו לרובוט יהיו 2 מנוועים (אחד כל צד), המסייעים בעזרת גלגלי שינוי שני זחלים, או רצונות כלשהן שייהו ב嚷ע עם הרצפה. יהיו גם גלגלים פאטייביים שתפקידם להחזיק את הרצונות מתחוזות.

יתרונות: סיבוב קל במקום, עבירות גבוהה.  
חסרונות: מרכיב מכאנית, אילוצים עיצוביים, קושי בפניות חדות.



איור 7-1 רובוט בהנעת זחל

### 7.3.2. דיפרנציאלי גלגלי

בנהעה זו לרובוט 2 מנועים (אחד בכל צד), המסובבים בעזרת שרשראות או רצועות טיימינג, גלגלי כוכב הנמצאים בmagic עם הרצפה.

יתרונות: פשוט לישום, מהירות תנואה שונה של שני גלגליים, זול.  
חסרונות: מרכיב מכנית, קושי יציבות בזמן מעבר מכשול.

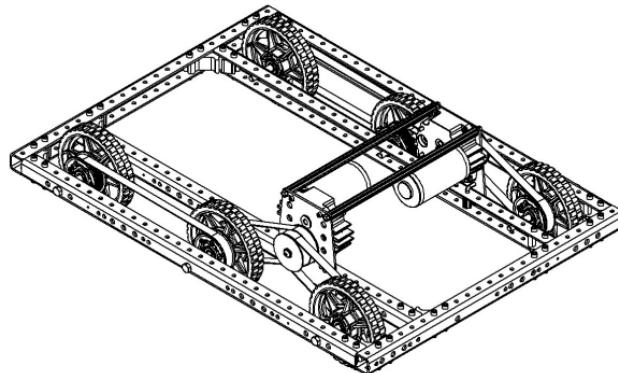


איור 7-2 רובוט בהנעת גלגליים

### 7.3.3. הנעת H עם גלגלי אומני

בנהעה זו 3 מנועים, 2 מנועים המסובבים בעזרת שרשראות או רצועות טיימינג, את הגלגלים אומני שבצד' הרובוט ומנוע אחד המסובב בעזרת גלגלי שניים גלגלי אומני המאונכים לגלגלים שבצד' הרובוט.

יתרונות: פשוט מכנית, תנואה לכל הצדדים, יכולת תמרון גבוהה.  
חסרונות: קושי בנסיעה על משטחים לא ישרים.



איור 7-3 רובוט בהנעת גלגליים אומניים

## 7.4. השוואה בין שיטות ניהוג

טבלה 7-2 בדיקה לפי שיטות ניהוג – שיטת דלפי

קריטריון		משקל	מסה	מדדים	עלות	יציבות	תמרון	אמינות	אורכי חיים	סיכום
דיפרנציאלי	4	0.05	3	0.05	4	0.05	4	0.15	5	4.05
זחל	4	0.05	3	3	3	0.2	4	0.2	6	3.5
אונמי	4	0.15	5	5	5	0.25	5	0.2	7	4.1
		1								

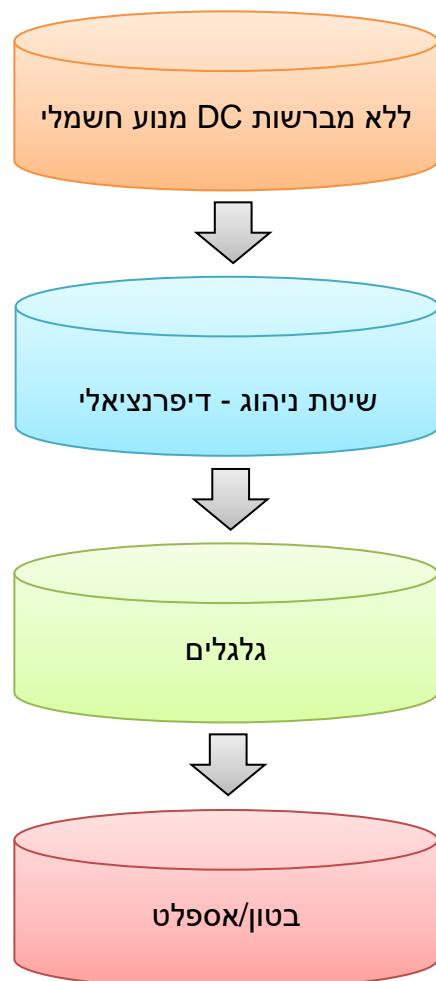
מפתח ציון: 1-גרוע. 5-טוב מאוד.

מסקנה:

לאחר השוואה בין מספר שיטות נהוג, ניתן לראות כי שיטת הנהוג המומלצת עבור רובוט זה היא מסוג דיפרנציאלי גלגולים. החלטנו לבחור בשיטת הנהוג هذا, תוך שימוש של גלגול מסוג Caster בחלק האחורי של הרובוט.

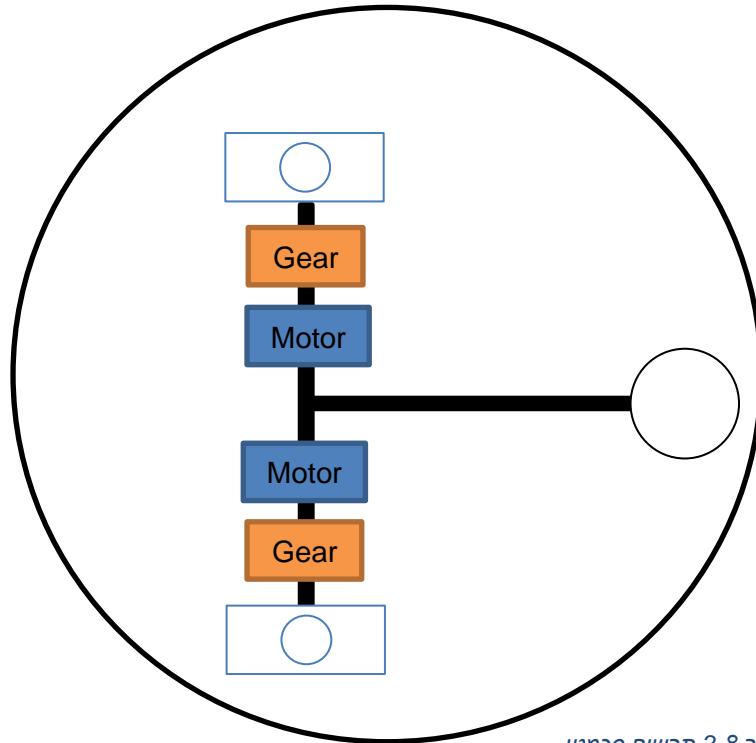
8. תכנן ראשוני PDR

8.1. תרשימים קינמטי



איור 8-1 תרשימים קינמטי

## תרשים סכמטי 8.2



איור 8-2 תרשים סכמטי

## 8.3. דרישות המערכת לתנועה:

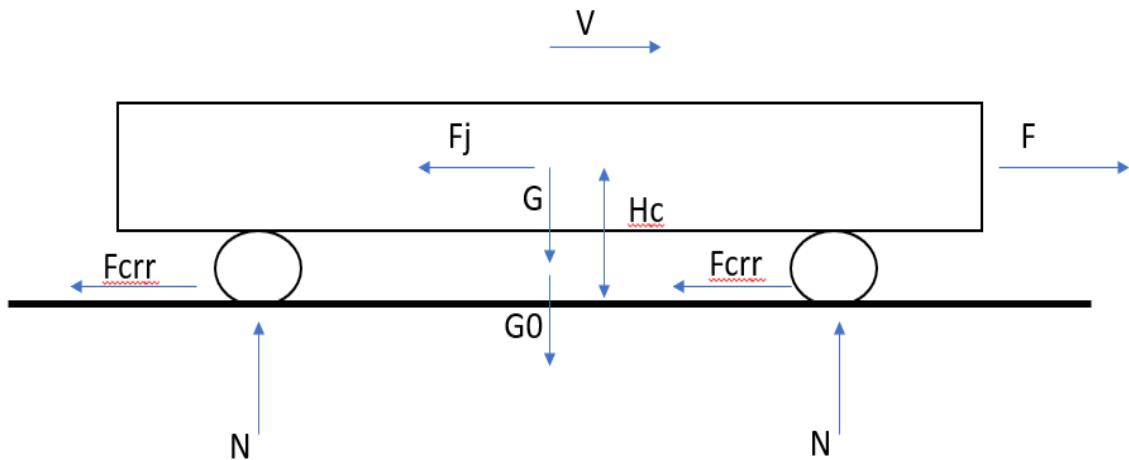
טבלה 1-8 דרישות המערכת לתנועה - טבלה נתונים:

יחידות	ערך	סימן	פירוט
$kg$	15	$m_0$	משקל בסיס של הרובוט
$kg$	5	$m$	משקל ציוד הרובוט
$N$	147.15	$G_0$	משקל עצמי של הרובוט
$N$	49.05	$G$	ציוד הרובוט
$m$	0.2	$C_H$	מרכז כובד
$N$	יתקבל מחישוב	$F$	כוח משיכה של הגלגלים (במשור אופקי)
$N$	יתקבל מחישוב	$F_{max}$	כוח משיכה של הגלגלים (במשור משופע)
$N$	יתקבל מחישוב	$F_j$	כוח מרכז הכבד
$N$	יתקבל מחישוב	$F_f$	כוח חיכוך הגליליה
-	תקבל ממאפיין הגלגל	$\mu_s$	מקדם החיכוך הסטטי
$N$	יתקבל מחישוב	$F_{crr}$	כוח התנגדות הגליליה
$m$	תקבל ממאפיין הגלגל	$C_{rr}$	מקדם ההתנגדות הגליליה
$\frac{m}{sec^2}$	יתקבל מחישוב	$a$	תאוצה
$\frac{m}{sec}$	0.8	$V_{min}$	מהירות מינימלית
$\frac{m}{sec}$	1.5	$V_{max}$	מהירות מקסימלית
$m$		$R$	רדיו גלגל מניע
$Grad$	4.5	$\alpha_{max}$	שיעור מקסימלי
-	1.5	-	מקדם בטיחות

אנו נבחר מקדם התנגדות גלגלי עבורי קרייק מסוג אספלט/בטון יבש וגלגלי ב- $m$  [ $c_{rr} = 0.014$ ]. נחלק את תנועת הרובוט לשני מצבים: תנועת הרובוט במישור אופקי ותנועתו במישור משופע.

### 8.3.1 חישוב כוח משיכה על מישור אופקי

dag'h כוחות הפעילים על המערכת



איור 8-3 כוח משיכה במישור אופקי

#### חישוב תאוצה:

עלינו בשלב ראשון למצוא את תאוצת הגוף ולכן נדרש להניח את הזמן בו יאיץ הרובוט ממהירות התחלתית של 0 מטר לשנייה ל מהירות של 1.5 מטר לשנייה, נניח כי הזמן הוא  $\Delta t = 3.5 [sec]$ .

$$a = \frac{V_{max}}{\Delta t} = \frac{1.5}{3.5} = 0.43 \left[ \frac{m}{sec^2} \right]$$

#### חישוב כוח מרכז הכביד:

$$F_j = (m + m_0) \cdot a = (15 + 5) \cdot 0.43 = 8.6[N]$$

#### חישוב כוח התנגדות הגליליה:

$$\sum F_y = 0$$

$$N_1 + N_2 - G_0 - G = 0$$

$$N_1 + N_2 = G_0 + G$$

$$F_{crr} = (N_1 + N_2) \cdot C_{rr} = (G_0 + G) \cdot C_{rr} = (147.15 + 49.05) \cdot 0.014 = 2.75[N]$$

#### חישוב כוח המשיכה:

$$\sum F_x = \sum m \cdot a$$

$$F - F_{crr} = F_j$$

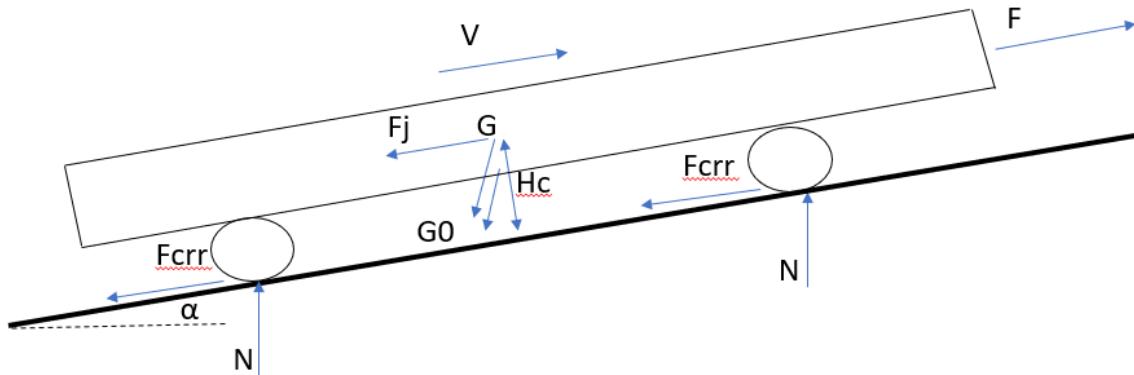
$$F = F_{crr} + F_j = 2.75 + 8.6 = 11.35[N]$$

כעת נכפיל את כוח המשיכה שהתקבל במקדם בטיחות כדי להבטיח כי הכוח יספיק לתנועות הרובוט.

$$F_{max} = F \cdot k = 11.35 \cdot 1.5 = 17 [N]$$

### **8.3.2 חישוב כוח משיכה עבור מישור משופע:**

dag'h כוחות הפעילים על המערכת:



איור 8-4 כוח משיכה במישור משופע

### **חישוב כוח מרכז קבוע:**

$$F_j = (m + m_0) \cdot a = (15 + 5) \cdot 0.43 = 8.6[N]$$

### **חישוב כוח התנגדות הגלילה:**

$$\sum F_y = 0$$

$$N_1 + N_2 - G_0 \cdot \cos(\alpha) - G \cdot \cos(\alpha) = 0$$

$$N_1 + N_2 = (G_0 + G) \cdot \cos(\alpha)$$

$$F_{crr} = (N_1 + N_2) \cdot C_{rr} = (G_0 + G) \cdot \cos(\alpha) \cdot C_{rr}$$

$$F_{crr} = (147.15 + 49.05) \cdot \cos(4.5) \cdot 0.014 = 2.74[N]$$

### **חישוב כוח המשיכה:**

$$\sum F_x = \sum m \cdot a$$

$$F - (G_0 + G) \cdot \sin(\alpha) - F_{crr} = F_j$$

$$F = (G_0 + G) \cdot \sin(\alpha) + F_{crr} + F_j$$

$$F = (147.15 + 49.05) \cdot \sin(4.5) + 2.74 + 8.6 = 26.73[N]$$

כעת נכפיל את כוח המשיכה שהתקבל במקדם בטיחות כדי להבטיח כי הכוח יספיק לתנועות הרובוט.

$$F_{max} = F \cdot k = 26.73 \cdot 1.5 = 40.095 [N]$$

### **8.3.3 בדיקת תנאי אי-החלקה הרובוט בעמידה:**

כעת נבדוק אם תנאי לעצירה עצמית מתקיים:  $\mu < \tan(4.5)$  על גלגל גומי עליון ישנו שערך בין 0.7 ו-0.9. מקדם החיכוך של גלגל גומי עליון ישנו שערך בין 0.7 ו-0.9.

$$\tan(4.5) = 0.079 < \mu = 0.7$$

ניתן לראות כי התנאי לא-החלקה הרובוט בעמידה אכן מתקיים.

#### **8.3.4. בדיקת תנאי אי-החלקה גלגלי הרובוט בתנועה:**

כעת נבדוק אם התנאי הבא מתקיים:  $F_{max} \leq F_\mu$ :  
הנחה : העומס מתחלק שווה בין הגלגלים.

$$F_{max} \leq \frac{N}{Z} \cdot (G_0 + G) \cdot \mu_s \cdot \cos(\alpha)$$

כאשר:

- N – מספר הגלגלים הממונעים (במקרה שלנו 2).
- Z – מספר הגלגלים הכלול (במקרה שלנו 3).

$$F_{max} = F_\mu = \left(\frac{2}{3}\right) \cdot (147.15 + 49.05) \cdot 0.7 \cdot \cos(4.5) = 91.28[N]$$

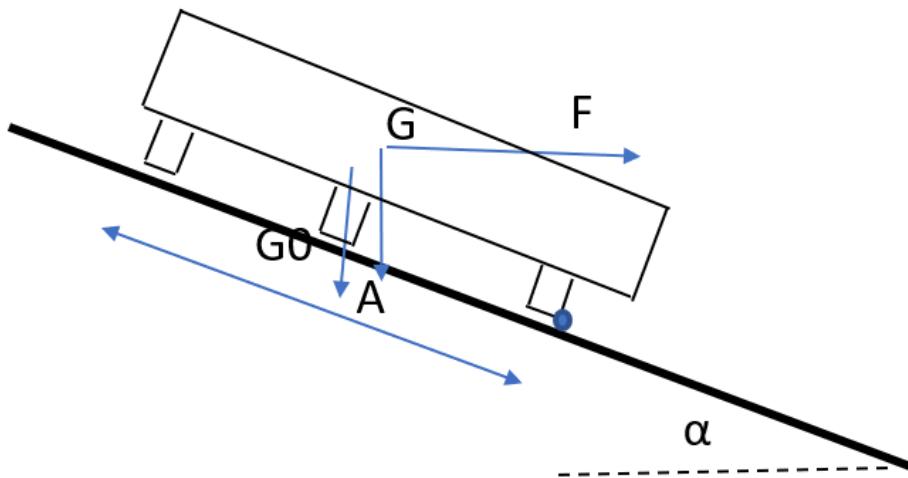
כעת נציב את העומס שהתקבל ואת כוח משיכה עבור מישור משופע בתנאי:

$$F_{max} = 40.095[N] \leq F_\mu = 91.28[N]$$

ניתן לראות כי התנאי לא-החלקה גלגלי הרובוט בתנועה אכן מתקיים.

#### **8.3.5. קביעת מידות כלליות**

נבחר מרחק בין הגלגלים:  $A = 0.35[m]$   
מכאן שרדיוס הסיבוב המינימלי:  $R_{min} = \frac{A}{2} = 0.175[m]$



איור 8-5 מידות כלליות

cut נבדוק אם תנאי יציבות הרובוט מתקיים:

$$\sum M_0(G, G_0) > \sum M_0(F_c)$$

תנאי יציבות שנבחר על מנת להבטיח את יציבות הרובוט:  $S = 1.2$

$$\frac{\sum M_0(G, G_0)}{\sum M_0(F_c)} \geq S$$

חישוב מומנט המופעל על ידי כוח מרכזיופוגן:

$$F_c = (m_0 + m) \cdot \frac{V^2}{R} = (15 + 5) \cdot \frac{0.8^2}{0.175} = 73.14[N]$$

$$\sum M_0(F_c) = F_c \cdot h \cdot \cos(\alpha) + F_c \cdot \frac{A}{2} \cdot \sin(\alpha)$$

$$\sum M_0(F_c) = 73.14 \cdot 0.2 \cdot \cos \cos(1.5) + 73.14 \cdot \frac{0.35}{2} \cdot \sin \sin(1.5) = 14.96[N \cdot m]$$

חישוב מומנט המופעל על ידי כוח האינרציה:

$$F_{(G, G_0)} = G + G_0 = 49.05 + 147.15 = 196.2[N]$$

$$\sum M_0(G, G_0) = F_{(G, G_0)} \cdot \frac{A}{2} \cdot \cos(\alpha) - F_{(G, G_0)} \cdot h \cdot \sin \sin(\alpha)$$

$$\sum M_0(G, G_0) = 196.2 \cdot \frac{0.35}{2} \cdot \cos(1.5) - 196.2 \cdot 0.2 \cdot \sin(1.5) = 33.29[N \cdot m]$$

cut נציב את המומנטים שהתקבלו בתנאי:

$$\frac{\sum M_0(G, G_0)}{\sum M_0(F_c)} = \frac{33.29}{14.96} = 2.23 \geq S = 1.2$$

ניתן לראות כי התנאי יציבות הרובוט אכן מתקיים.

## 8.4. חישובים לבחירת מנוע ותמסורת:

טבלה 8-2 לבחירת מנוע ותמסורת - טבלת נתונים:

יחידות	ערך	סימן	פירוט
$N$	17.025	$F$	כוח משיכה של הגלגליים (במשור אופקי)
$N$	40.095	$F_{max}$	כוח משיכה של הגלגליים (במשור משופע)
$N \cdot m$	תקבל מחישוב	$M_{t_0}$	מומנט הסיבוב הנדרש לתנועה (במשור אופקי)
$N \cdot m$	תקבל מחישוב	$M_{t_{max}}$	מומנט הסיבוב הנדרש לתנועה (במשור משופע)
$W$	תקבל מחישוב	$P$	הספק מנוע (במשור אופקי)
$W$	תקבל מחישוב	$P_{max}$	הספק מנוע (במשור משופע)
$R.P.M$	תקבל מחישוב	$n_w$	מהירות סיבוב של גלגליים
$R.P.M$	תקבל מחישוב	$n_m$	מהירות סיבוב של מנוע
$\frac{m}{sec}$	0.8	$V_{min}$	מהירות מינימלית
$\frac{m}{sec}$	1.5	$V_{max}$	מהירות מקסימלית
-	2	$N$	מספר גלגליים מניעים
$m$	0.078	$R$	רדיווי גלגל מניע
-	0.75	$\eta$	נצילות מערכת

קוטר הגלגל הוא גדול באופן משוערך פי 2.6 מגובה הגחון:  $D = 0.03 \cdot 2.6 = 0.08[m]$  מגובה הגחון:  
 לכן הרדיוס:  $[m] = \frac{D}{2} = \frac{0.08}{2} = 0.04[m]$ .  
 מוגעים DC הם בעלי נצילות הנעה בין 0.7-0.85 ל-0.75 נבחר נצילות בגובה של 0.75.

### 8.4.1. חישובי הספק המנוע:

חישוב הספק כולל הנדרש של מוגעים לתנועה במשור:

$$P = \frac{F \cdot V_{max}}{\eta} = \frac{17.025 \cdot 1.5}{0.75} = 34[W]$$

חישוב הספק כולל הנדרש של מוגעים לתנועה בעלייה:

$$P_{max} = \frac{F_{max} \cdot V_{min}}{\eta} = \frac{40.095 \cdot 0.8}{0.75} = 42.8[W]$$

הספק הנדרש למנוע בודד:

$$P_m = \frac{P_{max}}{N} = \frac{42.77}{2} = 21.4[W]$$

### 8.4.2. חישובי מהירות המנוע:

חישוב מהירות סיבוב של גלגליים:

$$n_w = 60 \cdot \frac{V}{\pi \cdot D} = 60 \cdot \frac{1.5}{\pi \cdot 0.08} = 358.09 \approx 360[R.P.M]$$

### чисוב מהירות סיבוב של מנוע:

יחס התמסורת שנבחר עבור תמסורת פלנטרית הוא  $17 \div 1 = 17$ .

$$n_m = \frac{n_w}{i} = \frac{360}{\frac{1}{17}} = 6000 [R.P.M]$$

### 3. חישובי מומנטים למערכת הנעה:

מומנט סיבוב הנדרש למנוע אחד לתנועה במשור:

$$M_{t_0} = \frac{F \cdot R}{N} = \frac{17.025 \cdot 0.04}{2} = 0.34 [N \cdot m]$$

מומנט סיבוב הנדרש של מנוע אחד לתנועה בעלייה:

$$M_{t_{max}} = \frac{F_{max} \cdot R}{N} = \frac{40.095 \cdot 0.04}{2} = 0.8 [N \cdot m]$$

### 4. המנוע הנבחר:

AM-BL2845AE Series 1210

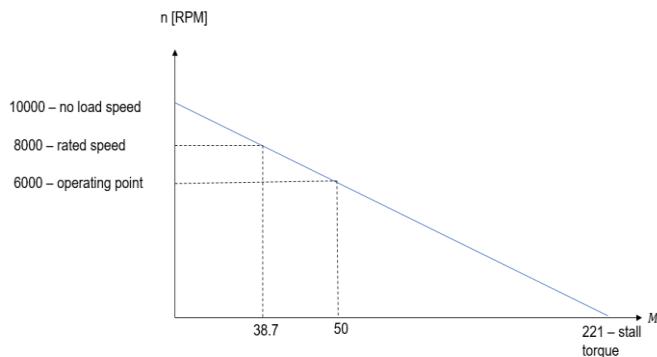
.ראה נספח 1-13.

### 5. הגיר הנבחר:

AM-25GP Series

.ראה נספח 2-13.

בדיקה עמידת המנוע בתנאים נדרשים:



איור 8-6 גרפ' מהירות סיבוב ומומנט פיתול

נבחן האם המנוע עומד בתנאים הנדרשים:

$$n_{catalog} = 8250 > n_0 \rightarrow [R.P.M] > 6000 [R.P.M]$$

$$Max Power = 57.8 > 42.77$$

$$M_{t \text{ catalogue}} = 50 [N \cdot m] \rightarrow \frac{M_{t \text{ catalogue}}}{i} = \frac{50}{\left(\frac{1}{17}\right)} = 0.85 \geq 0.8 [N \cdot m]$$

המנוע שבחרנו עומד בתנאים הנדרשים.

## 8.5. בחירת מctr:

טבלה 8-3 בחירת מctr – טבלת נתונים:

יחידות	שם	סימן	פירוט
$Amh$	תקבל מחישוב	$Q_{motor}$	קיבולת המctr למערכת הנעה
$Amh$	12	$Q_{equipment}$	קיבולת המctr לציוד נלווה
$W$	תקבל מחישוב	$P_m$	הספק מנוע משוקלל
$N$	תקבל מחישוב	$F_m$	כוח משיכה משוקלל
$h$	3	$L_h$	שעות פעילות הרובוט
$V$	12	$U$	מתוך עבודה
$\frac{m}{sec}$	תקבל מחישוב	$V_m$	מהירות נסיעה ממוצעת
-	0.75	$\eta$	נצילות מערכת הנעה

### 8.5.1. חישוב קיבולות עבור מctr:

חישוב קיבולת מctr למערכת הנעה:

$$F_m = \frac{F_{horizontal} + F_{incline}}{LH} = \frac{17.025 + 40.095}{3} = 19.04[N]$$

$$V_m = \frac{0.8 + 1.5}{2} = 1.15 \left[ \frac{m}{sec} \right]$$

$$P_m = \frac{F_m \cdot V_m}{\eta} = \frac{19.04 \cdot 1.15}{0.75} = 29.19[W]$$

חישוב קיבולות של ציוד נלווה:

לאחר סקירה בשוק המוצרים, נבחר מנוע מברשת ניקיון בעל הספק  $P_{brush} = 35[W]$ , משאבת מים בעלת הספק של  $P_{pump} = 45[W]$  וושואב בעל הספק של  $P_{vacuum} = 30[W]$ .

$$Q_{brush} = \frac{P_{brush}}{U_{brush}} \cdot L_h = \frac{35}{12} \cdot 3 = 8.75[Amh]$$

$$Q_{pump} = \frac{P_{pump}}{U_{pump}} \cdot L_h = \frac{45}{12} \cdot 3 = 11.25[Amh]$$

$$Q_{vacuum} = \frac{P_{vacuum}}{U_{vacuum}} \cdot L_h = \frac{30}{12} \cdot 3 = 7.5[Amh]$$

$$Q_{equipment} = Q_{brush} + Q_{pump} + Q_{vacuum} = 8.75 + 11.25 + 7.5 = 27.5[Amh]$$

חישוב קיבולות המנווע והקיבות הדרישה למctr:

$$Q = Q_{motor} + Q_{equipment} = \left( \frac{P_m}{U} \right) \cdot L_h + Q_{equipment} = \left( \frac{42.77}{12} \right) \cdot 3 + 27.5 = 38.19[Amh]$$

### 8.5.2. המctr הנבחר:

12V 40AH Lithium ion battery

.ראה נספח 3-13.

## **8.6. בחירת גלגלים**

### **8.6.1. גלגל הנעה הקדמי**

הgelgal הנבחר: Easy-turn polyurethane wheel .  
חברת ייצור: McMaster-Carr .  
מ"ט: 22286T51

#### מאפיינים:

- בעל יכולת סיבוב קלה.
- בעל ליבה קשיחה לחזק.
- עשוי מחומר Polyurethane המשלב עמידות שחיקתית עם בלימת צעדים אינטיטית.
- מיועד לריצפות חלוקות, מחותפסות ובאזורים בעלי משטחי פסולת.
- בעלי מסבי גלילה המספקים גלגול חלק יותר.

ראה נספח 4-13.

### **8.6.2. גלגל Castor**

את גלגל זה נבחר בהתאם למידת הגובה של גלגל הנעה, ב כדי שלא יהיה לנו הפרשי גבהים.

הgelgal הנבחר: Polypropylene plastic easy-roll caster .  
חברת ייצור: McMaster-Carr .  
מ"ט: 27075T57

#### מאפיינים:

- בעלי כושר תנעה טוב במשטחים חלקים ומחוספסים.
- בעלי ליבת נילון קשיחה.
- משטח הגלגל עשוי מגומי רך ומרופד.
- מסבים כדוריים בגלגל מספקים גלגול חלק ועמידות לאבק ופסולת.

ראה נספח 5-13.

## 9. בחירת חומרים

דרישות:

הרובוט מתוכנן לעבוד בתוך אולם כלומר בסביבה מישורית ללא ותנאי שטח נוחים, אבל אף על פי כן נתקנן את הרובוט כך שיוכל לעמוד במקומות וצעוזעים שכן הסביבה יכולה להיות בלתי צפופה ורוצפת מכשולים.

טבלה 9-1 בחירת חומרים – טבלת נתונים:

שם המכלול	דרישות מהחומר	בחירת חומרים ראשונית
שלדה	חזק גובה, כשר ריתוך גובה, עמידות לשקיעה, אל חלד, עמידות בחום ולחות, מסה נמוכה ככל האפשר.	פלדת פחמן (אחז נמוך כי גם כקה יש ריתוך), אלומיניום
גלים (20مم)	חזק גובה, עמידות להתקיעיות, כפיפה, פיתול, ממץ' גזירה, עמידות בחום ולחות, מסה נמוכה ככל האפשר ואורך קצר.	פלב"מ, פלדת פחמן, סגסוגת

חלופות המוצעות הן:

- פלדה AISI 1045
- פלדה AISI 4340
- אלומיניום 6061-T6/T6 דריש זיקון מלאכותי.

(1) אלומיניום 6061- סגסוגת אלומיניום המוקשית בהתקבלות, המכילה בעיקר מגנזיום וסיליקון. בעלת תכונות מכניות ויכולות ריתוך טובות. בעלת משקל נמוך יחסית לפלדות.

➤ 4-T-מטופל תרמית ומיוון באופן טבעי.

➤ 6-T- טיפול בתמייה וזיקון מלאכותי: (Ageing) בשלב בו מייצרים את הפרופיל הדרוש ולאחר חיתוך הפרופיל למידה הרצויה, מוכנס הפרופיל לתנור למספר שעות בטמפרטורה של בין 200-300 מעלות.

(2) פלדת פחמן 1045- פלדות פחמן הן סגסוגות של ברזל ופחמן המכילות אחוז פחמן גבוה יחסית (בטווח שבין 0.04%-2.5%). ריכוז הפחמן הגבוה מעניק לפלדה כוח מוגבר, במיוחד בטמפרטורות גבוהות. פלדה בעלת כושר חיסום גבוה, בעלת כשר ריתוך טוב מאוד.

(3) פלדה מסוגגת 4340- בסגסוגות פלדה משקל האלמנטים שהושיפו להן נע בין 1%-50%. לפלדות אלה גם דרישים טיפולים תרמיים שונים. פלדה מסוגגת בעלת כושר חיסום נמוך עד בינוני, תכונה השומרת על תכונות מכניות ועמידות בפני התקיעיות טובות.

## 9.1. בחירת חומרים עבור גל

חלק מהותי במנגנון המכני של הרובוט הינו הגל.  
לצורך בחירת החומר המתאים ביותר אנו נבחן מספר חומרים בעלי תכונות שונות המתאימים ביותר לתכונות החומר הנדרש.

### 9.1.1. תכונות החומר הנדרש:

- משקל נמוך ככל האפשר.
- חזק גבואה.
- עמידות לעומסים שונים: סטטיים, דינמיים.
- עמידות למומנטים שונים: פיתול, כפיפה.

### 9.1.2. בחירת החומר:

את החומר המתאים נבחר מתוך רשימה שנבנה מראש הנזכרת [לעיל](#):

טבלה 9-2 בחירת חומרים עבור גל – שיטת דלפין

Aluminum 6061-T6	AISI 1045 Steel	AISI 4340 Alloy Steel	משקל	קריטריון	
3	4	5	0.5	חזק	1
5	5	5	0.2	התאמה לעיבוד	2
5	3	3	0.2	מסה	3
3	5	4	0.1	עלוות	4
3.8	4.1	4.5	1	סיכון	

מפתח ציון: 1-גרוע. 5-טוב מאוד.

מניתוח נתוני הטבלה עולה כי ישנה עדיפות לבחירת פלדה 4340 ולן נבחר בו כחומר גלם עבור ייצור הגל.

לסיכום: החלופה הנבחרת ליצירת הגל היא פלדה מסוגגת AISI 4340.



איור 9-1 פלדה מסוגגת 4340

## 9.2. בחירת חומרים עבור שלדה

את שלדת הרובוט אנו נבנה מפרופילים שונים, החלטנו לבנות את השלדה מפרופילים מרובעים חלולים ומפרופילים עגולים חלולים המורותכים זה לזה. לצורך בחירת החומר המתאים ביותר אנו נבחן מספר חומרים בעלי תכונות שונות המתאימים ביותר לתכונות החומר הנדרש.

### 9.2.1. תכונות החומר הנדרש:

- משקל נמוך ככל האפשר.
- חזק גבורה.
- עמידות בספיגת מכיה.
- הפחיתה בעוצמת המעיכה.
- אל-חלד.
- יציבות בתנועה ובעמידה על הקרקע.
- כשר ריתוך גבוהה.

### 9.2.2. בחירה החומר:

את החומר המתאים נבחר מtower רשימה שנבחנה מראש המזכרת [לעיל](#):

טבלה 9-3 בחירת חומרים עבור שלדה – שיטת דלפי:

קריטריון	משקל	AISI 4340 Alloy Steel	AISI 1045 Steel	Aluminum 6061-T6
חזק	1	0.3	5	3
ריתוך/מחברים	2	0.2	5	5
מסה	3	0.4	3	3
עלות	4	0.1	4	5
סיכון	1	4.1	3.9	4.2

מפתח ציון: 1-גרוע. 5-טוב מאוד.

מניתוח נתוני הטבלה עולה כי ישנה עדיפות לבחירת אלומיניום 6061 – T6 ולכן נבחר בו כחומר גלם עבור ייצור השלדה. לשיכום: החלופה הנבחנת לייצור השלדה היא אלומיניום 6061 – T6.



איור 9-2 אלומיניום 6061 – T6

## 10. תקן מפורט – CDR

בפרק זה נקבע את צורות ו מידות חלקו הרובוט בהתאם לחישובים והדרישות שנקבעו בפרק התכנון הראשוני PDR.

טבלה 10-1 תקן מפורט – CDR – טבלת נתוני:

יחידות	ערך	סימן	פירוט
$N$	17.025	$F$	כוח משיכה של הגלגים (במשור אופקי)
$N$	40.095	$F_{max}$	כוח משיכה של הגלגים (במשור משופע)
$N \cdot m$	<b>יתקבל מחישוב</b>	$M_{t_0}$	מומנט סיבוב במישור אופי
$N \cdot m$	<b>יתקבל מחישוב</b>	$M_{t_{max}}$	מומנט סיבוב במישור משופע
$RPM$	<b>יתקבל מחישוב</b>	$n_w$	מהירות סיבוב גלגים
$RPM$	<b>יתקבל מחישוב</b>	$n_m$	מהירות סיבוב מנוע
$\frac{m}{sec}$	1.5	$V_{max}$	מהירות סיבוב מקסימלית
-	2	$N$	מספר גלגים מניעים
-	3	$Z$	מספר גלגים כולל
$m$	0.078	$R$	רדיוויל גלג מניע
-	0.75	$\eta$	נצילות מערכות

### 10.1. gal הנעה:

#### 10.1.1. תקן gal:

מהירות סיבוב גלגל : [RPM]  
 חומר gal: AISI 4340  
 אורך חיים של הרובוט: 30 שניות עבודה.

את נתונים החומר נחלץ מתוך מפרט תכונות פלדה מסווגת AISI 4340.  
 ראה נספח 6-13.

$$\sigma_{uts} = S_{uts} = 1255 [MPa]$$

$$\sigma_{yt} = S_{yt} = 1165 [MPa]$$

#### חישוב הכוח הרדייאלי הפועל על גלגל:

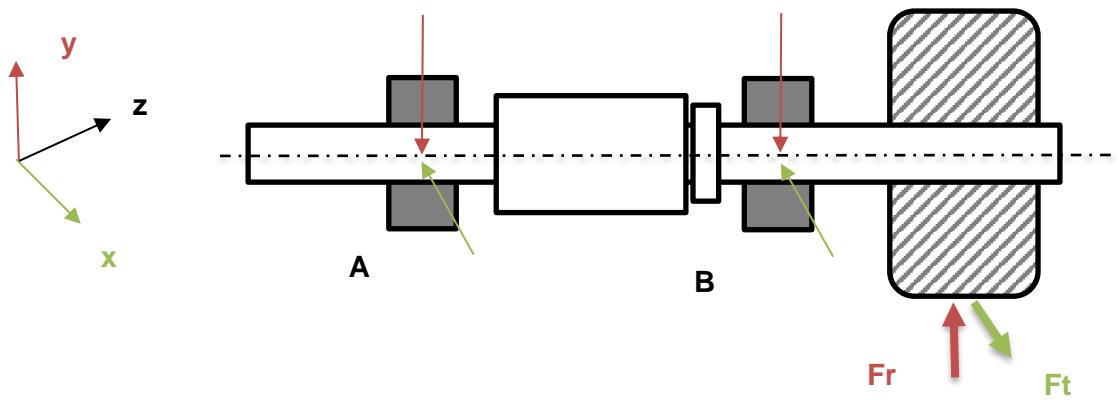
$$F_r = \frac{W_{tot}}{Z} = \frac{G_0 + G}{Z} = \frac{147.15 + 49.05}{3} = 65.5 [N]$$

#### חישוב כוח המשיכה הפועל על גלגל בשיפוי:

$$F_t = \frac{F_{max}}{Z} = \frac{40.095}{3} = 13 [N]$$

#### חישוב כוח שקול הפועל על גלגל:

$$F_e = \sqrt{F_r^2 + F_t^2} = \sqrt{65.4^2 + 13.36^2} = 66.75 [N]$$



איור 10-1 גיאומטריה הגל

חישוב כוחות – מישור ZY:

$$\sum F_y = 0$$

$$F_R - F_{Ay} - F_{By} = 0$$

$$\sum M_A = 0$$

$$-85 \cdot F_{By} + 130 \cdot F_R = 0$$

$$F_{By} = 100 \text{ [N]}$$

$$F_{Ay} = -34 \text{ [N]}$$

חישוב כוחות – מישור ZX:

$$\sum F_x = 0$$

$$F_t - F_{Ax} - F_{Bx} = 0$$

$$\sum M_A = 0$$

$$-85F_{Bx} + 130F_t = 0$$

$$F_{Bx} = 20 \text{ [N]}$$

$$F_{Ax} = -7 \text{ [N]}$$

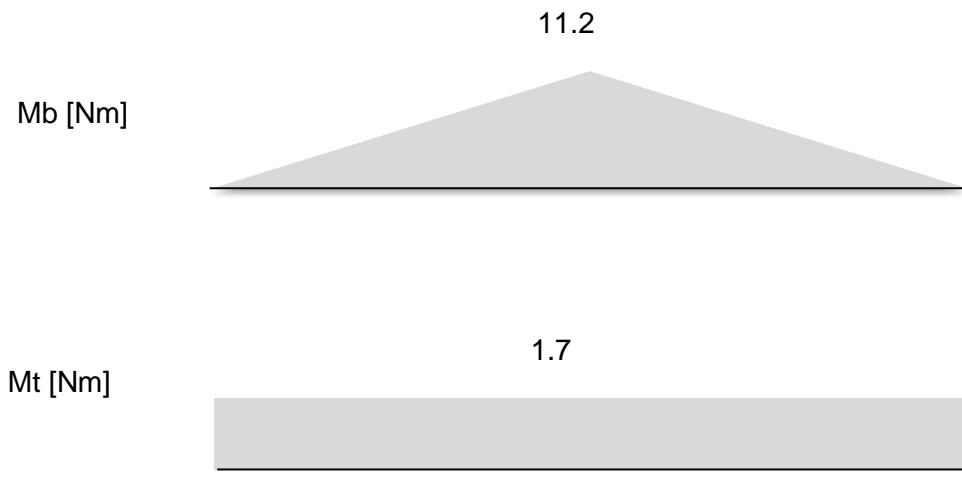
$$|F_A| = \sqrt{(F_{Ay})^2 + (F_{Ax})^2} = \sqrt{(-34)^2 + (-7)^2} = 35 \text{ [N]}$$

$$|F_B| = \sqrt{(F_{By})^2 + (F_{Bx})^2} = \sqrt{(100)^2 + (20)^2} = 102 \text{ [N]}$$

### חישובי מומנטים:

$$M_b = F_r \cdot R = 66 \cdot 0.17 = 11.2[N \cdot m]$$

$$M_t = F_t \cdot 0.13 = 8.5 \cdot 0.13 = 1.7[N \cdot m]$$



איור 10-2 גרפי מומנטים

#### **10.1.2. חישוב קוטר גל להתעויות:**

מקדמי ריכוז מאמצים עבור מדרגה:

$$K_{fb} = 2.1$$

$$K_{fs} = 2$$

מומנט שקויל:

$$M_e = \sqrt{(K_{fb} \cdot M_b)^2 + 0.75 \cdot (K_{fs} \cdot M_t)^2} = \sqrt{(2.1 \cdot 11.2)^2 + 0.75 \cdot (2 \cdot 1.7)^2} = 23.7 [m \cdot N]$$

מאמצז מותר להתעויות:

מקדם בטיחות נבחר מטבלת חישובים מקורבים של גלים, על פי מחזור פועם.  
ראה סוף 13-7.

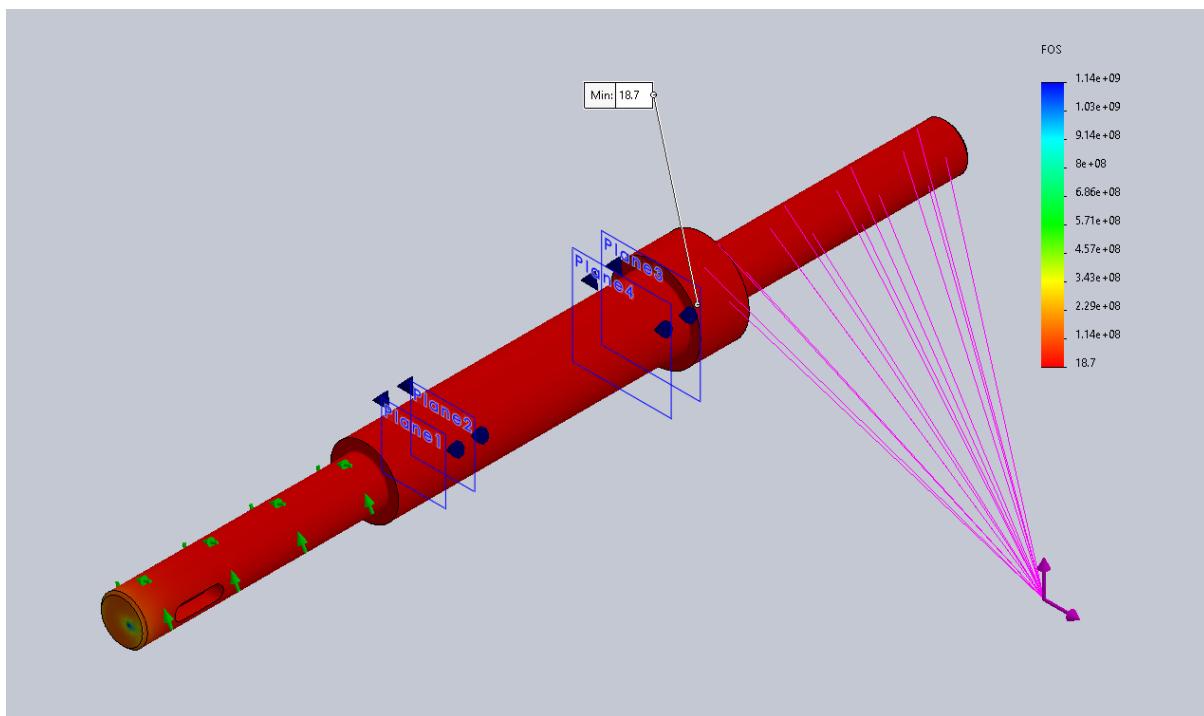
$$[s] = 4$$

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{yt}}{s} = \frac{1165}{4} = 291.25$$

חישוב קוטר גל:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_e \cdot 10^3}{\pi \cdot [\sigma]}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 23.7 \cdot 10^3}{\pi \cdot 291.25}} = 9.4 [mm] \approx 9.5 [mm]$$

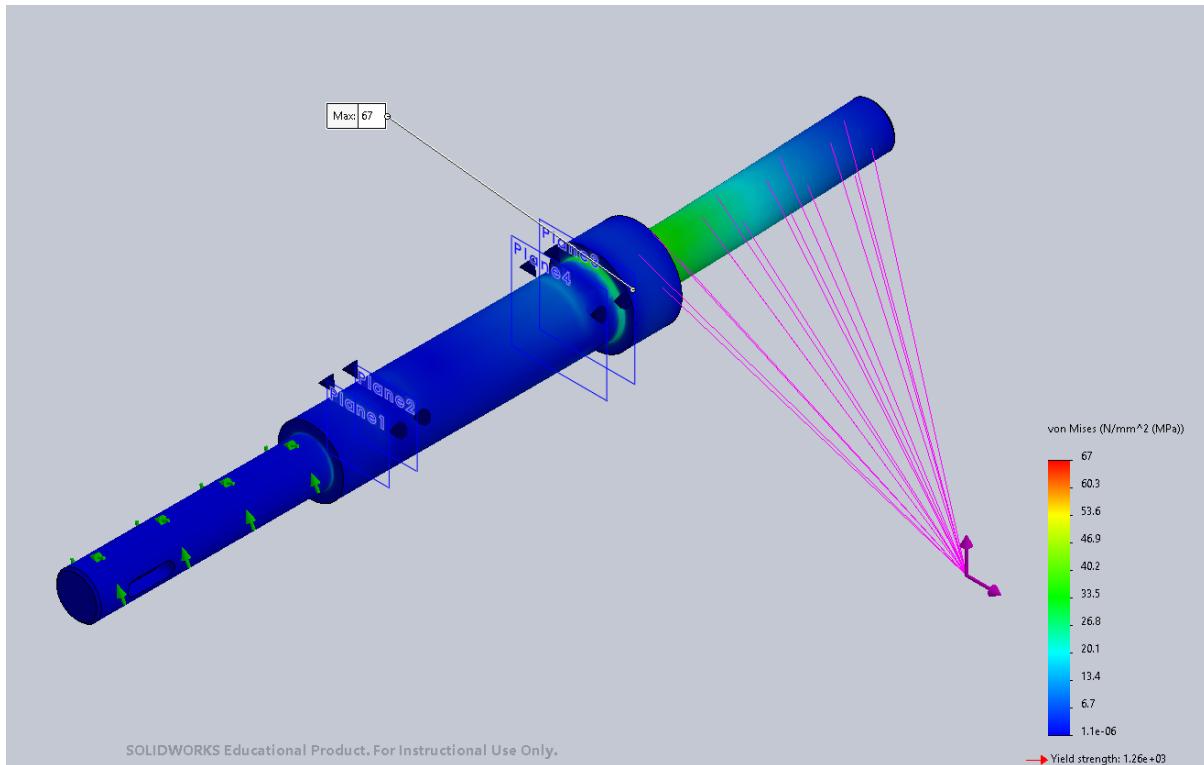
## 10.2. אנליזת עומס סטטי לגל



איור 10-3 אналיזת מקדם בטיחות

ניתן לראות כי מקדם הבטיחות המתקבל הוא:

$$[FOS] = 18.7$$



איור 10-4 אналיזת עומס סטטי לגל

### .10.2.1 בדיקת עמידות בעומס סטטי:

$$\sigma_{max} = 67 [Mpa]$$

$$\sigma_y = 1165 [Mpa]$$

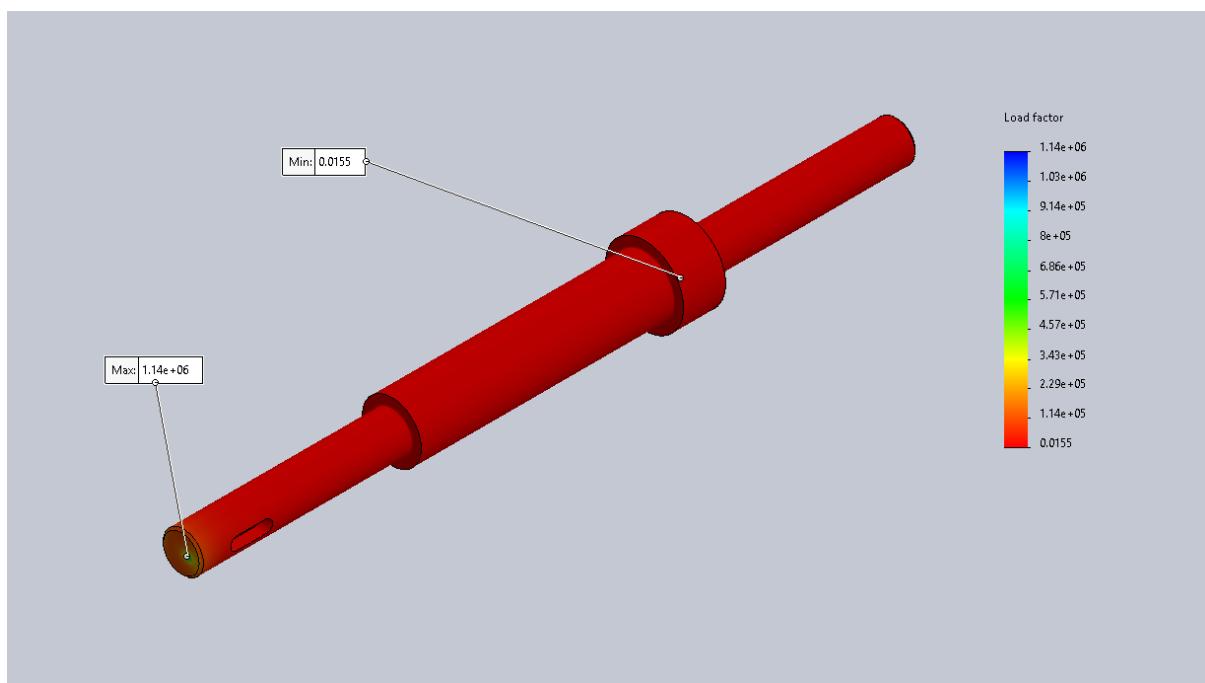
חישוב מקדם בטיחות:

cut נבדוק אם אנו עומדים במקדם הבטיחות שנבחר:

$$\frac{\sigma_y}{\sigma_{max}} = \frac{1165}{67} = 17.4 \geq [FOS] = 18.7$$

ניתן לראות כי הגל עומד בעומס סטטי.

### .10.2.2 בדיקת עמידה בהתעוייפות:

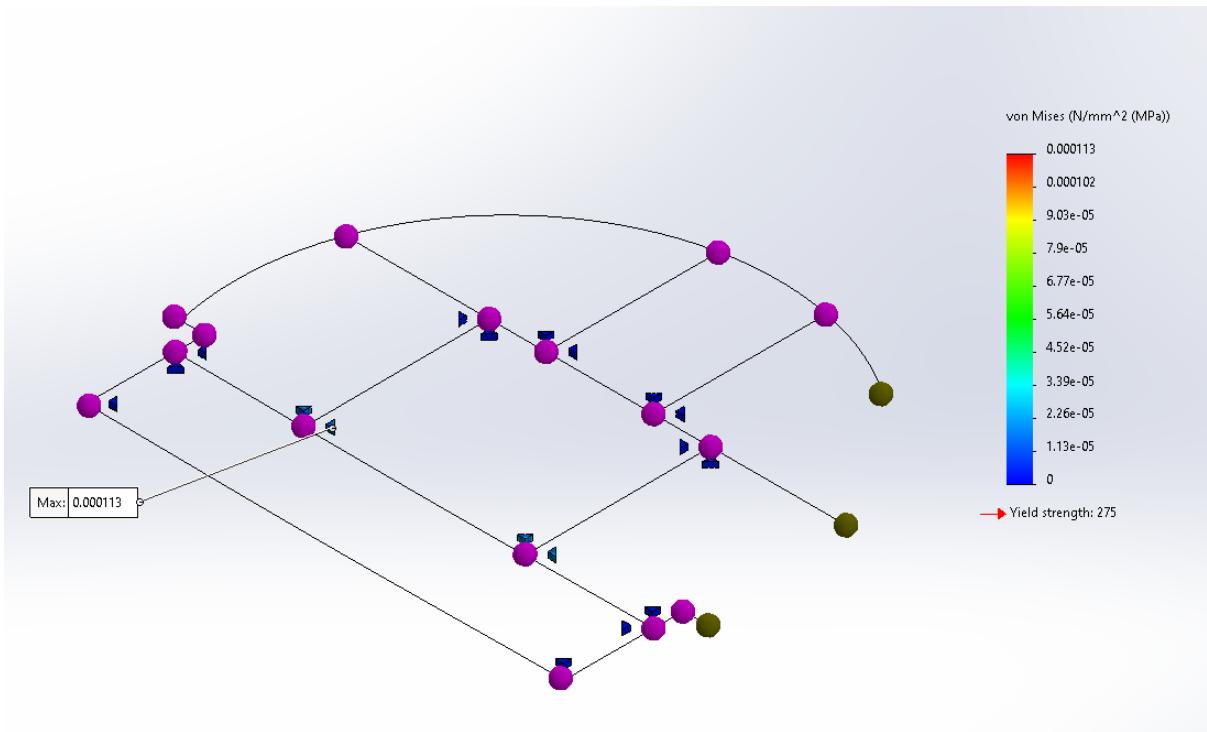


איור 10-5 אנליזת התעוייפות

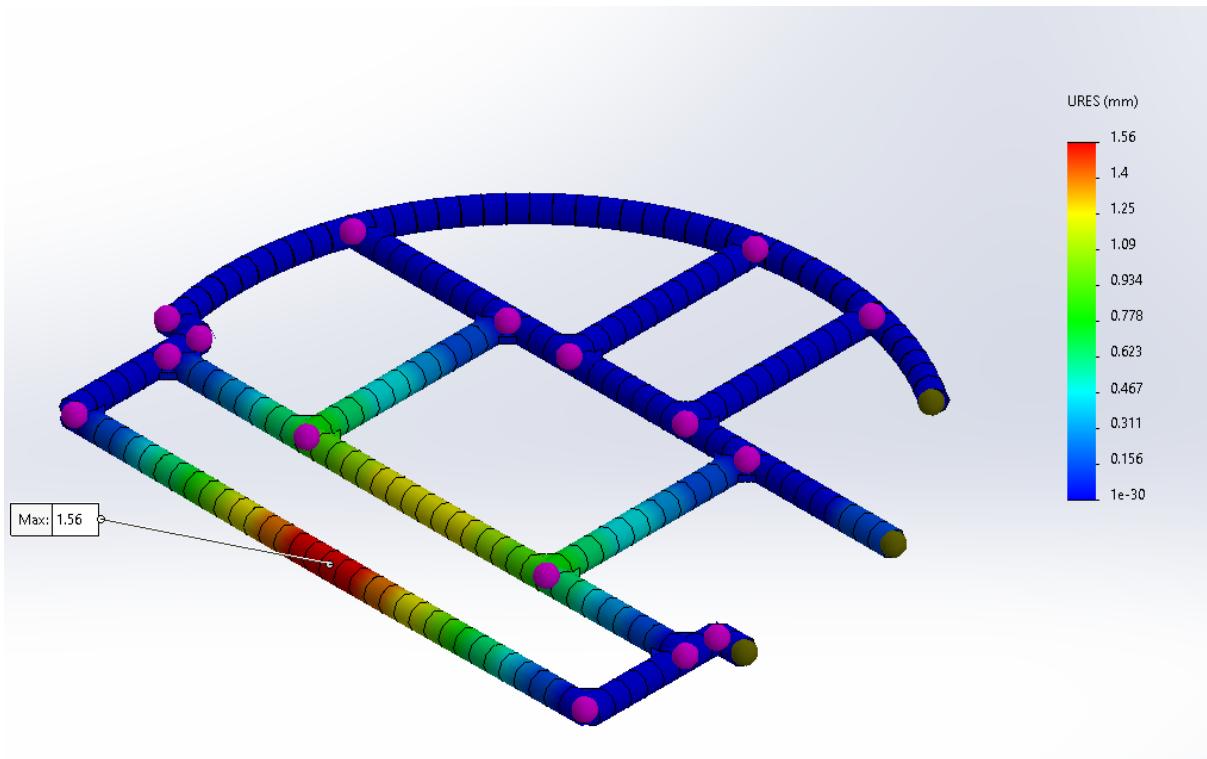
מתוך האנליהזה ניתן לראות כי מקדם התעוייפות מינימאלי הוא:

$$[Load_f] = 0.0155$$

**10.3. שלדה  
10.3.1. אנליזת שלדה**



איור 10-6 אналיזת ממץ



איור 10-7 אналיזת דפורמציה

### 10.3.2 ריתון

פרופיל שלדת הבסיס (ריבועי) הנושא בעומס: 20x20x2.3

פרופיל קורות (צינור) עטיפה: 21.3x2.3

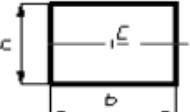
חומר הפרופילים: אלומיניום T6 – 6061.

את המאמצים ניקח ממפרט הטכני של אלומיניום T6 – 6061.

ראה ספק 8-13.

$$\sigma_y = 276 \text{ [Mpa]}$$

טבלה 10-2 טבלת מומנטים לחישובי ריתון

מרכז כובד	$\text{זמומנט התנגדות קוו}$	צורת הריתון
$x_c=0, y_c=0$	$bh + \frac{h^2}{3}$	

חישוב מאץ קוו לגזירה:

המסה מרכבתת מ:

מצבר: 6 [kg]

2 מנועים: 0.3 [kg]

ציוד נלווה: 5 [kg]

הכוח שנגרם מכך הוא:  $F = 110.85 \text{ [N]}$

$$\sum l = 2 \cdot 20 + 2 \cdot 20 = 80 \text{ [mm]}$$

$$\rho_s = \frac{\left(\frac{F}{4}\right)}{\sum l} = \frac{110.85}{80 \cdot 4} = 0.346 \left[ \frac{N}{mm} \right]$$

חישוב מאץ כפיפה:

$$Z_b = 20 \cdot 20 + \frac{20^2}{3} = 533.33 \text{ [mm}^3]$$

$$M_b = l \cdot \frac{F}{2} = 30 \cdot \frac{110.85}{2} = 1662.75 \text{ [N} \cdot \text{mm}]$$

$$\rho_b = \frac{M_b}{Z_b} = \frac{1662.75}{533.33} = 3.12 \left[ \frac{N}{mm} \right]$$

חישוב מאץ שקול בתפר:

$$\rho_e = \sqrt{(\rho_s)^2 + (\rho_b)^2} = \sqrt{0.346^2 + 3.12^2} = 3.14 \left[ \frac{N}{mm} \right]$$

חישוב מאץ מותר בתפר:

$$[\tau] = 0.65 \cdot \frac{\sigma_y}{[n]} = 0.65 \cdot \frac{276}{2} = 89.7 \text{ [Mpa]}$$

עובי התפר המינימלי:

$$a \geq \frac{\rho_e}{[\tau]} = \frac{3.14}{89.7} = 0.035 \text{ [mm]}$$

עובי התפר שהתקבל נמוך, ולכן נבחר עובי תפָר של 5 מ"מ.

## 10.4. בחירת חלקים סטנדרטיים:

### 10.4.1. מסב

הчисובים יוצאו לפי מסב B:

טבלה 10-3 מסב – טבלת נתונים

יחידות	ערך	סימן	פירוט
$N$	102	$P_{load}$	עומס על מסב B
$mm$	9.5	$d$	קוטר הגל
$Hours$	יתקבל מחישוב	$L_h$	אורך חי המסלב בשעות עבודה
$Mill \cdot rev$	יתקבל מחישוב	$L$	אורך חי המסלב
$RPM$	360	$n$	מהירות סיבוב הגל
-	יתקבל מטבלה	$f_w$	מקדם עומס דינامي
-	יתקבל מטבלה	$f_T$	מקדם טפרטוריה
-	3	$a$	מקדם צורת גוף הגלילית עבור כדור

#### אורך חי המסלב

זמן עבודה רצוף: 3 שעות.  
מספר הפעולות ביום: 3 פעמיים.  
מספר הפעולות בשבוע: 6 ימים.  
מספר שבועות בחודש: 4 שבועות.  
מספר חודשים בשנה: 12 חודשים.  
מספר שנים: 8 שנים.

$$L_h = Hours \text{ per day} \cdot Days \text{ per week} \cdot Weeks \text{ per months} \cdot Months \text{ per year} \cdot years \\ = (3 \cdot 3) \cdot 6 \cdot 4 \cdot 12 \cdot 8 = 20736 [Hours]$$

$$L = L_h \cdot n \cdot 60 \cdot 10^{-6} = 20736 \cdot 360 \cdot 60 \cdot 10^{-6} = 448 [Mill \cdot rev]$$

#### מקדמים

את המקדים נבחר מתוך טבלת מקדמי מסב.  
ראה נספח 9-13.

עבודת הרובוט היא רצופה ובעלת תנודות וחבטות ולכן נבחר:

$$f_w = 1.5$$

טמף העבודה של המסלב הינה נמוכה, קלומר  $C < 150^\circ$  לכן נבחר:

$$f_T = 1$$

### כושר דינמי הנדרש למסב

$$C = P_{load} \cdot L^{\frac{1}{a}} \cdot f_w \cdot f_T = 102 \cdot 448^{\frac{1}{3}} \cdot 1.5 \cdot 1 = 1170.71 [N] < C_{catalogue} = 4670.63 [N]$$

המסב הנבחר: Permanently lubricated ball bearing  
 חברת ייצור: McMaster-Carr  
 מק"ט: 2349K414

#### מאפיינים:

- חומר סיכת פולימרי מקיף את הגדורים, מבוטל את הצורך בשימון נוסף.
- חומר הסיכת חוסם כניסה של מים ואבק ומאריך את חי' מסב.
- המסב אטום ובכך מספק עמידות טוביה יותר נגד כניסה מים, אבק ומצחמים אחרים.

ראה נספח 10-13.

#### הערה:

בין המסב לאילו שלנו ניתן לב שיש לנו הפרשים במרקחים, עקב חוסר בספיבס בעלי המידות המתאימות לדרישות שלנו, אנו ניציר ספיבס המתאים לקוטר הגל (העבה) [mm] 14.5 בין קוטר המסב שהוא [mm] 15 ובהתאם לעובי המסב שהוא [mm] 9.  
 החומר ממנו יהיה בניי הספיבס הוא אלומיניום 6061 אשר יוניק לנו עמידות בפני קורוזיה.

### **10.4.2. בית מסב**

את בית המסב נבחר בהתאם לקוטר החיצוני של המסב שנבחר שהוא [mm] 22.23 [mm] = 0.875 [inch]  
 של המסב הנבחר.

בית המסב הנבחר: Ready-mount bearing housing  
 חברת ייצור: McMaster-Carr  
 מק"ט: 3971N198

#### מאפיינים:

- בעל משקל קל.
- בעל עמידות בפני עומס טוביה.
- בעל עמידות בפני קורוזיה.

ראה נספח 11-13.

### **10.4.3. שגם**

מידות השגם,  $h$ ,  $b$  יבחרו לפי קוטר הגל [mm]  $\approx 10$  [mm]  $\approx 9.5$  [mm].  
 נעזר בטבלת מידות לשגם.  
 ראה נספח 12-13.

לכן מידות הנבחרות הן:

$$b = 3 [mm]$$

$$h = 3 [mm]$$

את אורך השגם נבחר בהתאם לשיקולי מבנה:  
 $l = 10$  [mm]

חומר השגם הנבחר: .316 Stainless steel  
חומר זה נותן לשלגים עמידות מצוינת לקורוזיה, בחירה זו נובעת עקב קיומו של מיל מים.  
ראה סופח 13-13.

השגם הנבחר: Rounded machine key  
חברת ייצור: McMaster-Carr  
מ"ט: 2977N13

#### מאפיינים:

- בניי מפלדת אל-חלד 316 העמידה בפני קורוזיה הנגרמת כתוצאה מגע עם מים.  
ראה סופח 13-14.

כasher מומנט הפיתול של הגל הוא:  $1.7 [N \cdot m] = 1700 [mm]$

#### בדיקה שגם למעיכה:

$$\sigma_{lc} = \frac{4 \cdot M_t}{d \cdot h \cdot l} = \frac{4 \cdot 1700}{9.5 \cdot 3 \cdot 10} = 23.8 [Mpa] \leq [\sigma_{lc}]$$

#### בדיקה שגם לגזירה:

$$\tau_s = \frac{2 \cdot M_t}{d \cdot b \cdot l} = \frac{2 \cdot 1700}{9.5 \cdot 3 \cdot 10} = 11.9 [Mpa] \leq [\tau_s]$$

#### **10.4.4 מצמד**

בהתאם לקוטר הגל  $[mm]$  9.5 ובהתאם ליקוטר הגיר שהוא:  $[mm]$  6

המצמד הנבחר: Machinable-bore clamping shaft coupling  
חברת ייצור: McMaster-Carr  
מ"ט: 3084K103

#### מאפיינים:

- בעל קדח אחד בקוטר קבוע של  $[mm]$  10 ובעל קדח שני שניtin לעיבוד מראש בטוחים של  $[mm]$  6 עד  $[mm]$  10.
- בניי מפלדת אל-חלד 303 העמידה בפני קורוזיה הנגרמת כתוצאה מגע עם מים.
- בעלת בורג הידוק שמבטיחים אחיזה בטוחה ולא פוגעים בגל.

ראה סופח 15-13.

מקדם העומס הדינמי הנבחר הוא:  
ראה סופח 13-16.

$$k_1 = 1.2$$

מקדם מספר תנועות המנוע במשך שעה הנבחר הוא:  
ראה סופח 13-17.

$$k_2 = 1$$

מקדם הטמפרטורה של הסביבה הנבחר הוא:  
ראה סופח 13-18.

$$k_3 = 1$$

#### מומנט אפקטיבי מקרוב:

כאשר מומנט הפיתול של המונע בעלייה הוא:  $[m \cdot N] \cdot 0.8$

$$M_e = (k_1 \cdot k_2 \cdot k_3) \cdot M_t = (1.2 \cdot 1 \cdot 1) \cdot 0.8 = 0.96 [N \cdot m]$$

$$M_e = 0.96 [N \cdot m] < [M_e] = 45 [lbs \cdot inch] = 5.08[N \cdot m]$$

המצמד עומד במומנט הפיתול המותר.

#### 10.4.5. טבעת סגר

אנו נosis טבעת סגר למסב בקרבת המנוע לצורך מניעת החלקה, טבעת הסגר תבחר בהתאם למידת הגל שהיא:  $9.5 [mm]$ .

טבעת הסגר הנבחרת: External retaining ring  
חברת ייצור: McMaster-Carr  
מתק"ט: 91590A117

#### מאפיינים:

- בניי מפלדת אל-חלד PH 7-15 בעלת חזק גבהה.
- עמידה בפני קורוזיה.

ראה נספח 13-19.

#### 11. דרישות מערכת בקרה

ברובוט זה כמו בכל רובוט יש צורך במערכת בקרה, שתפקידו ותנהל את תנועת הרובוט ואת המערכות השונות המורכבות על גביו.

לשם כך נדרש כמה חישנים:

חישון LIDAR - מטרתו לזהות עצמים הנמצאים מול הרובוט על מנת שיוכל לתרמן סבירם או לעצום. בעזרתו קרון לייזר המשודרים מהחישון ובהתאם בזמן הלוקח לאור לחזוץ עצמים סביבו יודע החישון לתרגם זאת למרחק.

מצלמה - בשילוב עם ה-LIDAR נקבל תמונה מלאה של המרחב ובאמצעות AI נוכל לזהות בני אדם, מכשולים ודיהוי מקודם ליתקלויות העומדות להתרחש. בכך ניתן למונע פגיעה באדם הולך או עצם אחר הנמצא במסלול התנגשות עם הרובוט. בנוסף, הרובוט יוכל לבחור את המסלול האופטימלי לתנועה.

חישון ג'ירו - מטרתו לתת חיווי כאשר הרובוט מגיע לזרoit גדולה מיד', כדי למנוע התהprecות.

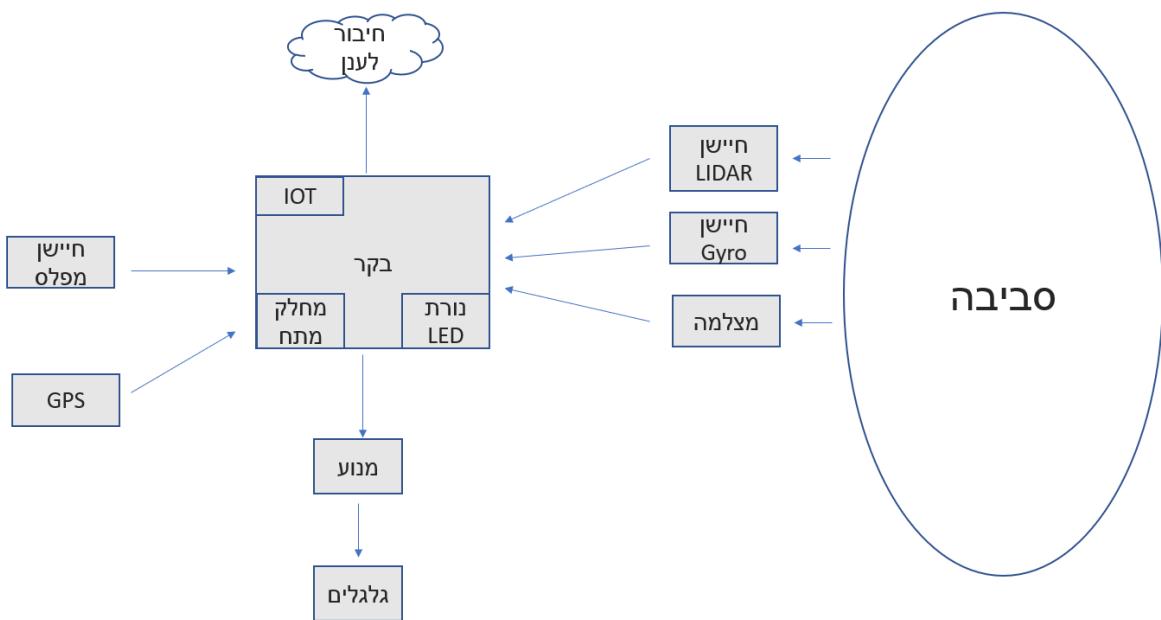
חישון מפלס – לצורך בקרה מפלס נזול הניקוי במערכת.

חישון GPS – לצורך ניוט אוטונומי במרחב.

מחשב/בקר – מקבל אליו את הנתונים מכל החישונים ומבצע קבלת החלטות בזמן אמת לפי תנאים המוגדרים מראש. נבחר בברker 4 pi Raspberry Pi לזרוך ניהול המערכת – בקר Pi Raspberry עובד עם פיתון ולכן מתאים מאד לעיבוד תמונה (בפיתון ישן ספריות מובנות לעיבוד תמונה).

חיבור אינטרנט IoT – הרובוט יתחבר לענן ולמערכת שליטה מרכזית שבה המפעיל יוכל להגדיר מסלולים וזמן פעולה עבור פעלת אוטונומית גם מחוץ לשעות הפעילות של האולם.

מנגנון בדיקה נוספת:  
מחלק מתח – ניעזר במחלק מתח פנימי כדי לבדוק שהmarshabot והרכיבים הנוספים מקבלים מתח גבוה מספיק לצורך רציפה ותקינה וכן בשבייל לבדוק את המתח היוצא מהמצבר.  
נורת LED לצורך חיווי מצב המערכת במקרה של תקלת או סוללה נמוכה.



איור 1-11 מערכת בקרה

# Simulation of Tube, Square 20 X 20 X 20

יום שישי 13 מאי 2022

Designer: Nitzan C. & Matan F.

Study name: Design Study 1

Analysis type: Design Study

## Table of Contents

Description 42

Assumptions 42

Model Information 42

Study Properties 42

Units 42

Design Study Setup 42

Study Results 43

Conclusion 43



## Description

Profile optimization

## Assumptions

-

## Model Information

Document Name	Configuration	Document Path	Date Modified
Tube,Square 20 X 20 X 20 (lg 443.81)	Default<As Machined>	C:\Users\nitza\AppData\Local\Temp\Tube,Square 20 X 20 X 20 (lg 443.81).SLDPRT	May 13 11:17:50 2022

## Study Properties

Study name	Design Study 1
Analysis type	Design Study(Optimization)
Design Study Quality	High quality (slower)
Result folder	SOLIDWORKS document(C:\Users\nitza\AppData\Local\Temp)

## Units

Unit system:	SI (MKS)
Length/Displacement	mm
Temperature	Kelvin
Angular velocity	Rad/sec
Pressure/Stress	N/m^2

## Design Study Setup

### Design Variables

Name	Type	Value	Units
a1	Range with Step	Min:10 Max:30 Step:5	mm
a2	Range with Step	Min:1 Max:3 Step:1	mm

### Constraints

Sensor name	Condition	Bounds	Units	Study name
Stress1	is less than	Max:70	N/mm^2 (MPa)	Static 1

## Goals

Name	Goal	Properties	Weight	Study name
Mass1	Minimize	Mass	10	-

## Study Results

11 of 17 scenarios ran successfully.

Component name	Units	Current	Initial	Optimal	Scenario1	Scenario2
a1	mm	30	30	25	10	15
a2	mm	3	3	3	1	1
Stress1	N/mm <sup>2</sup> (MPa)	92.0036	92.0036	68.7454	-	-
Mass1	g	345.082581	345.082581	280.927926	-	-

Component name	Units	Scenario3	Scenario4	Scenario5	Scenario6	Scenario7
a1	mm	20	25	30	10	15
a2	mm	1	1	1	2	2
Stress1	N/mm <sup>2</sup> (MPa)	488.782	563.289	614.527	-	-
Mass1	g	78.962855	100.773439	122.07868	-	-

Component name	Units	Scenario8	Scenario9	Scenario10	Scenario11	Scenario12
a1	mm	20	25	30	10	15
a2	mm	2	2	2	3	3
Stress1	N/mm <sup>2</sup> (MPa)	150.624	158.36	174.44	-	-
Mass1	g	150.715262	194.416076	237.106204	-	-

Component name	Units	Scenario13	Scenario14	Scenario15
a1	mm	20	25	30
a2	mm	3	3	3
Stress1	N/mm <sup>2</sup> (MPa)	113.057	68.7454	92.2652
Mass1	g	215.257198	280.927926	345.082581

## Conclusion

The optimal scenario is scenario 14.

## 13. סיכום וסיכום

בפרויקט זה תכננו רובוט שתפקידו לנוקות את ריצף סופרמרקט בצורה אוטונומית. הרובוט תוכנן על פי הידע אשר רכשנו בקורס ובמהלך התואר בקורסים השונים, לרבות חזק חומריים, תורה החומריים, גרפיקה הנדסית וחלקי מכונות.

### **דברים שלמדנו במהלך הפרויקט:**

- בחירת מוצר מדף מקטולוג בהתאם לדרישות.
- ביצוע אנליזות והשוואתן לחישובים התיאורטיים.
- העמקנו את הידע בתוכנת SolidWorks.
- יישום הידע התיאורטי.
- כלים וידע תכנוני.

### **מסקנות עיקריות מהפרויקט :**

- נדרשת חשיבה עמוקה לפני כל שלב בתכנון.
- על המהנדס לדעת לשלב בין תחומים רבים תחת אילוצי זמן ומגבליות אמצעים וידע.
- עבודה צוות ותקשורת רציפה היא הכרחית.
- תכנון נכון חוסך זמן וcosa בעtid.

### **בעיות עיקריות :**

- מציאת רכיבים במידות והספקים מתאימים.
- שמיירה על תנאי הרובוט המקדים שקבענו.

### **פתרונות לעתיד :**

- ביצוע אופטימיזציה כללית לכל ההרכבה לצורכי הורדת משקל הרובוט, חיסכון בחומרים וכך גם את מחיר היצור.
- ביצוע אנליזות תנודות ומעבר חום.
- הוספת מערכות בקרה לרובוט כך שיוכל לתקן בהתאם לדרישות.

### **לkehim :**

- ניהול זמן נכון הכרחי להצלחת הפרויקט.
- חלוקת עבודה בהתאם לכישורי האישים.
- תכנון מكيف מקדים של בניית החלק בתוכנת Solid Works .

לסיום, אנחנו מרגשים שהקורס הביא אותנו לרמה חדשה בסוליד וכן רמה הנדסית חדשה, גבואה בהרבה. בנוסף, קיבלנו טעימה כיצד מפותח פרויקט ואת החיבור בין תיאוריה לפракטיקה. קיבלנו הרבה מידע, תמיכה ועזרה מרצה הקורס, ד"ר מיכאל פרישמן, ד"ר ולדימיר אורליק ומר אילן זילברמן, אשר עמדו לעזרתנו וננתנו לנו יד מכונת לכל אורך הפרויקט.

## .14.ביבליוגרפיה

### 14.1. מקורות ספרותיים

- a) Asafa, T., Afonja, T., Olaniyan, E., & Alade, H. (2018, December 27). *Development of a vacuum cleaner robot*. Retrieved from ScienceDirect:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110016818300899>
- b) Redmile, L., & Forte, C. (2022, April 27). *8 Best Robot Mops of 2022*. Retrieved from Good House Keeping:  
<https://www.goodhousekeeping.com/home/cleaning/g31789666/best-robot-mops/>
- c) Uysal, C. (2021, November 2). *7 Cleaning Robots That Will Reshape Your Daily Routine*. Retrieved from Interesting Engineering:  
<https://interestingengineering.com/7-cleaning-robots-that-will-reshape-your-daily-routine>

### 14.2. מקורות אינטרנט

1. מנוע הנעה:

<https://assunmotor.com/online-shop/brushless-coreless-motor/am-bl2845ae-series>

2. גיר:

<https://assunmotor.com/online-shop/planetary-gearbox/am-28gp-series>

3. משאבות מים:

<https://grabcad.com/library/12v-micro-diaphragm-pump-1>

4. מצבר:

<https://www.lithiumion-batteries.com/products/product/12v-40ah-lithium-ion-battery.php>

5. גלגל הנעה קדמי:

<https://www.mcmaster.com/2286T51>

6. גלגל castor אחריו:

<https://www.mcmaster.com/27075T57>

7. תכונת AISI 4340 steel :

<https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=129aba095dd64413981fd979ed2ee6b1>

8. תכונות Aluminum 6061-T6 :

<https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=b8d536e0b9b54bd7b69e4124d8f1d20a>

9. מוט:

<https://www.mcmaster.com/2349K414>

10. בית מסב:

<https://www.mcmaster.com/3971N198>

11. שגמ:

<https://www.mcmaster.com/2977n13>

12. תכונות :316 stainless steel

<https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=131865c47f1841e88e9932bd7f546156>

13. מצמד:

<https://www.mcmaster.com/3084K103>

14. טבעת סגר:

<https://www.mcmaster.com/91590A117>

רשימות נספחים

48 .....	AM-BL2845AE Series 1210 13.1-1
49 .....	נספח AM-25GP Series 13.1-2
50 .....	נספח 12V 40AH Lithium ion battery 13.1-3
51 .....	נספח Easy-turn polyurethane wheel 13.1-4
52 .....	נספח easy-roll caster Polypropylene plastic 13.1-5
53 .....	נספח 13.1-6 מפרט תכונות steel AISI 4340
53 .....	נספח 13.1-7 מקדמי בטיחות – מאמצי כפיפה
53 .....	נספח 13.1-8 מפרט תכונות Aluminum 6061-T6
54 .....	נספח 13.1-9 טבלת מקדמי מסב
54 .....	נספח 13.1-10 Permanently lubricated ball bearing
55 .....	נספח 13.1-11 Ready-mount bearing housing
56 .....	נספח 13.1-12 טבלת מידות לשגט
56 .....	נספח 13.1-13 מפרט תכונות 316 Stainless steel
57 .....	נספח 13.1-14 Rounded machine key
58 .....	נספח 13.1-15 Machinable-bore clamping shaft coupling
59 .....	נספח 13.1-16 מקדם העומס הדינמי
59 .....	נספח 13.1-17 מקדם מספר תנועות המנוע במשך שעה
59 .....	נספח 13.1-18 מקדם הטמפרטורה של הסביבה
60 .....	נספח 13.1-19 External retaining ring
61 .....	נספח 13.2-1 הרכבת רובוט
62 .....	נספח 13.2-2 פיצוץ רובוט
63 .....	נספח 13.2-3 כיסוי
64 .....	נספח 13.2-4 שלדה
65 .....	נספח 13.2-5 פרופיל ריבועי
65 .....	נספח 13.2-6 פרופיל ריבועי
66 .....	נספח 13.2-7 פרופיל ריבועי
67 .....	נספח 13.2-8 פרופיל ריבועי
67 .....	נספח 13.2-9 פרופיל מעוגל
68 .....	נספח 13.2-10 פרופיל מעוגל
69 .....	נספח 13.2-11 הרכבת גל
70 .....	נספח 13.2-12 פיצוץ גל
71 .....	נספח 13.2-13 גל
72 .....	נספח 13.2-14 תא ניקוי

## 15.1. דפי תיעוד ונתוניים:

תומך AM-BL2845AE Series 1210 1-15.1

DC BRUSHLESS MOTOR  
HIGH TEMPERATURE SERIES



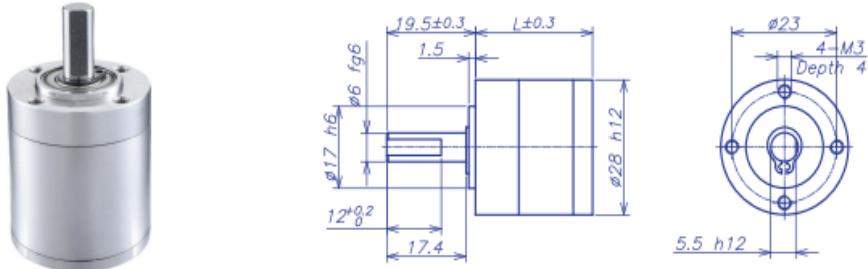
### AM-BL2845AE Series

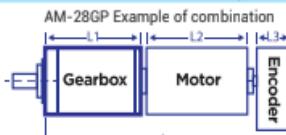
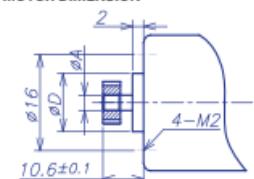
		Brushless Motor		Ball Bearings				
Motor Model		1215	1210	1813	1810	2412	2409	
Nominal voltage	V	12	12	18	18	24	24	
No load speed	±12%	rpm	14800	10000	12520	9680	11680	
No load current	Max 150%	mA	300	190	170	120	85	
Recommend limit for continuous operating	Max cont. torque	mNm	33.8	38.7	37.2	40.1	36.6	
	Rated Speed	rpm	13105	8250	10913	7985	10055	
	Rated Current	mA	47000	3600	2900	2400	2000	
	Rated Power	W	46.4	33.4	42.6	33.5	38.5	
Starting current	mA	38710	19672	21687	13139	13636	8727	
Stall torque	mNm	295	221	293	229	263	216	
Maximum power output	W	114.3	57.9	96.1	58.0	80.4	51.3	
Maximum Efficiency	%	83	81	83	82	82	81	
Terminal resistance	±12%	Ω	0.31	0.61	0.83	1.37	1.76	
Inductance (1KH <sub>z</sub> )	mH	0.034	0.086	0.126	0.22	0.27	0.46	
Mechanical time constant	ms	3.3	2.9	2.8	2.7	2.9	2.7	
Moment of inertia	gcm <sup>2</sup>	6.19	6.19	6.19	6.19	6.19	6.19	
Torque constant	mNm/A	7.7	11.3	13.6	17.6	19.4	25.0	
Speed constant	rpm/V	1243	1324	701	543	491	382	
Speed/torque gradient	rpm/mNm	50.2	45.2	42.7	42.3	44.4	42.0	
Weight	g	138.8	138.7	139.1	140.1	138.4	139.2	
ADDITIONAL INFORMATION								
Motor thermal resistance:	10.2K/W	Motor thermal time constant:	822S					
Axial (dynamic):	4.0 N	Radial (5mm from mounting face):	16.0 N					
Press-fit force (static):	50 N	Max allowable screw depth into flange:	3.0 mm					
Maximum radial play (5mm from mounting face):	<0.02 mm	Axial play:	0 (<4.0N)					
Maximum winding temperature:	125°C	Ambient temperature range:	-30 to 65°C					
Standard rear shaft diameter:	4 mm	Standard rear shaft length "L":	0/3.7/5.5 mm					
Connection (AWG 22#)	Total Length: L=L <sub>1</sub> +L <sub>2</sub> +L <sub>3</sub>				AM-BL2845AE Combination Scheme			
Cable 1: Yellow Winding A	L1:28GP	L1:32GP	L2:BL28	L3:EN16S	L3:EN16T			
Cable 2: Red Winding B	25.9	27.4	45.0	10.7	12.0			
Cable 3: Blue Winding C	33.1	35.9						
Plug definition (AWG 28#) Molex: 51021-0500	40.3	44.4						
Plug 1: Red Hall 3-16V								
Plug 2: Black Hall GND								
Plug 3: Yellow Hall A						Recommended Gearbox: Planetary Gearbox: AM-28GP AM-32GP		
Plug 4: Red Hall B						Recommended Encoder: Encoder S: AM-EN1615*** 2-3 Channels Encoder T: AM-EN1612*** 2-3 Channels		
Plug 5: Blue Hall C						For more combination specs, visit Assun Motor website.		
Remarks: Client can choose gearbox and encoder to match with this motor. Some combinations are listed here for reference.								
Motor data tested at 25°C. Motor operation exceeding continuous limits will reduce life or result in damage. At elevated ambient temperatures, load current must be reduced.								

Download datasheet: <https://assunmotor.com/documents-download>

Visit Our Website and Online Shop at <https://assunmotor.com> Contact: info@assunmotor.com

## AM-28GP Series



GEARBOX CHARACTER																													
Gear type		Straight teeth		Radial Play (10mm from flange)																									
Output shaft		Stainless steel hardened		Permissible force press fits																									
Main gear		Alloy steel hardened		Permissible axial load (dynamic)																									
Ring gear		Stainless steel hardened		Recommended input speed																									
Adapter plate		Stainless steel		Operating temperature range																									
Bearing AT output		Ball bearing		Operating humidity range																									
Axial play		0-0.3		Number of stages																									
Directions		CW/CCW		Permissible load (13mm from flange)																									
GEARBOX DATA																													
Number of stage		1	2	3	4																								
Reduction ratio X:1	3.4	4.2	5.8	11 14 17 19 24	38 47 59 65 138																								
	27/8	25/6	23/4	729/64 225/16 625/36 621/32 575/24	19683/512 6075/128 1875/32 14375/144 16767/256																								
	15625/216	5175/64	15625/216	12167/64	531441/4096 164025/1024 50625/256 452709/2048 15625/64 139725/512																								
	301 160 198 221 244 273	642 337 377 416 465 574	301 160 198 221 244 273	642 337 377 416 465 574	1093																								
	390625/1296 43125/128 385641/1024 359375/864 119025/256 330625/576 328509/512 304175/384	279841/256																											
Reduction ratio absolute		27/8	25/6	23/4																									
Motor shaft max. diametre (mm)		4	3	4	3																								
Gearbox lenght "L" (mm)		26.1		33.3	40.5																								
Max. continuous torque (N.m)		0.6		0.8	2.0																								
Max. intermittent torque (N.m)		0.9		1.2	3.0																								
Average backlash no load		0.8°		1.0°	1.0°																								
Gearbox efficiency		90%		81%	73%																								
Max. mass inertia (g.cm²)		0.89		0.94	0.95																								
Gearbox weight approx (g)		140		170	200																								
gearbox model		AM-28GPB-X		AM-28GPC-X	AM-28GPD-X																								
AM-28GP Example of combination																													
																													
INPUT GEARBOX DATA																													
<table border="1"> <tr><td>Modulus</td><td>0.4</td></tr> <tr><td>Press angle</td><td>20°</td></tr> <tr><td>Teeth number</td><td>12 18 24</td></tr> <tr><td>Max gear hole "A"</td><td>3 4 4</td></tr> <tr><td>Max motor shaft</td><td>3 4 4</td></tr> <tr><td>Motor dimension "D"</td><td>6 8.5 10.5</td></tr> </table>						Modulus	0.4	Press angle	20°	Teeth number	12 18 24	Max gear hole "A"	3 4 4	Max motor shaft	3 4 4	Motor dimension "D"	6 8.5 10.5												
Modulus	0.4																												
Press angle	20°																												
Teeth number	12 18 24																												
Max gear hole "A"	3 4 4																												
Max motor shaft	3 4 4																												
Motor dimension "D"	6 8.5 10.5																												
MOTOR DIMENSION																													
																													
GEARBOX MOTOR LENGTH "LT"																													
<table border="1"> <tr><td>Gear motor length <math>L_T</math></td><td>67.8</td><td>89</td><td>105.5</td></tr> <tr><td>Gear box length <math>L_1</math></td><td>26.1</td><td>33.3</td><td>40.5</td></tr> <tr><td>Motor length <math>L_2</math></td><td>31</td><td>45</td><td>53</td></tr> <tr><td>Encoder length <math>L_3</math></td><td>10.7</td><td>10.7</td><td>12</td></tr> </table>						Gear motor length $L_T$	67.8	89	105.5	Gear box length $L_1$	26.1	33.3	40.5	Motor length $L_2$	31	45	53	Encoder length $L_3$	10.7	10.7	12								
Gear motor length $L_T$	67.8	89	105.5																										
Gear box length $L_1$	26.1	33.3	40.5																										
Motor length $L_2$	31	45	53																										
Encoder length $L_3$	10.7	10.7	12																										
<table border="1"> <tr><td>Recommend Motor:</td><td></td></tr> <tr><td>Coreless Motor (w/E)</td><td>Brushless Motor (w/E)</td></tr> <tr><td>AM-CL2532MAN</td><td>AM-BL2453AN</td></tr> <tr><td>AM-CL2545MAN</td><td>AM-BL2845AN</td></tr> <tr><td>AM-CL2831MAN</td><td></td></tr> <tr><td>AM-CL2845MAN</td><td></td></tr> <tr><td>Recommend Encoder:</td><td></td></tr> <tr><td>Suitable for Coreless Motor</td><td></td></tr> <tr><td>Encoder S: AM-EN1611S***</td><td></td></tr> <tr><td>Suitable for Brushless Motor</td><td></td></tr> <tr><td>Encoder S: AM-EN1611S***</td><td></td></tr> <tr><td>Encoder T: AM-EN2412T***</td><td></td></tr> </table>						Recommend Motor:		Coreless Motor (w/E)	Brushless Motor (w/E)	AM-CL2532MAN	AM-BL2453AN	AM-CL2545MAN	AM-BL2845AN	AM-CL2831MAN		AM-CL2845MAN		Recommend Encoder:		Suitable for Coreless Motor		Encoder S: AM-EN1611S***		Suitable for Brushless Motor		Encoder S: AM-EN1611S***		Encoder T: AM-EN2412T***	
Recommend Motor:																													
Coreless Motor (w/E)	Brushless Motor (w/E)																												
AM-CL2532MAN	AM-BL2453AN																												
AM-CL2545MAN	AM-BL2845AN																												
AM-CL2831MAN																													
AM-CL2845MAN																													
Recommend Encoder:																													
Suitable for Coreless Motor																													
Encoder S: AM-EN1611S***																													
Suitable for Brushless Motor																													
Encoder S: AM-EN1611S***																													
Encoder T: AM-EN2412T***																													

Download datasheet: <https://assunmotor.com/documents-download>



## TECHNOLOGY ADVANTAGE

Usable Capacity (AH)	40AH
Depth of Discharge	100% DOD
Reserve Minutes @ 20A	120 min
Self Discharge	<3% per mo
Chemistry	Lithium Iron Phosphate (LiFePO4)
Cell Type	Cylindrical
Modular	Series or Parallel Connection

## SAFETY & PROTECTION ADVANTAGE

Built in Automatic Battery Protection System	Internal
Automatic Low Voltage Disconnect	8V
Automatic Short Circuit Protection	Instant
Automatic Over Voltage Protection	15.8V
Automatic Reverse Polarity Protection	Instant
Internal Cell Thermal Safety Fuse	Yes
Flame Retardant Electrolyte	Yes
Length Way Circuit Boards	Yes
Automatic Internal Cell Balancing	Yes
Automatic Fault Recovery	Yes
Explosion Proof Stainless Steel Cells	Yes

## POWER & ENERGY THE ELECTRIC ADVANTAGE

Nominal Voltage	12.8V
Charge Voltage	14.4V - 14.6V
Peak Discharge (5 Sec)	400A
Continuous Charge / Discharge Rate	40A
Capacity (amp hours)	40AH
Capacity (watt hours)	480WH

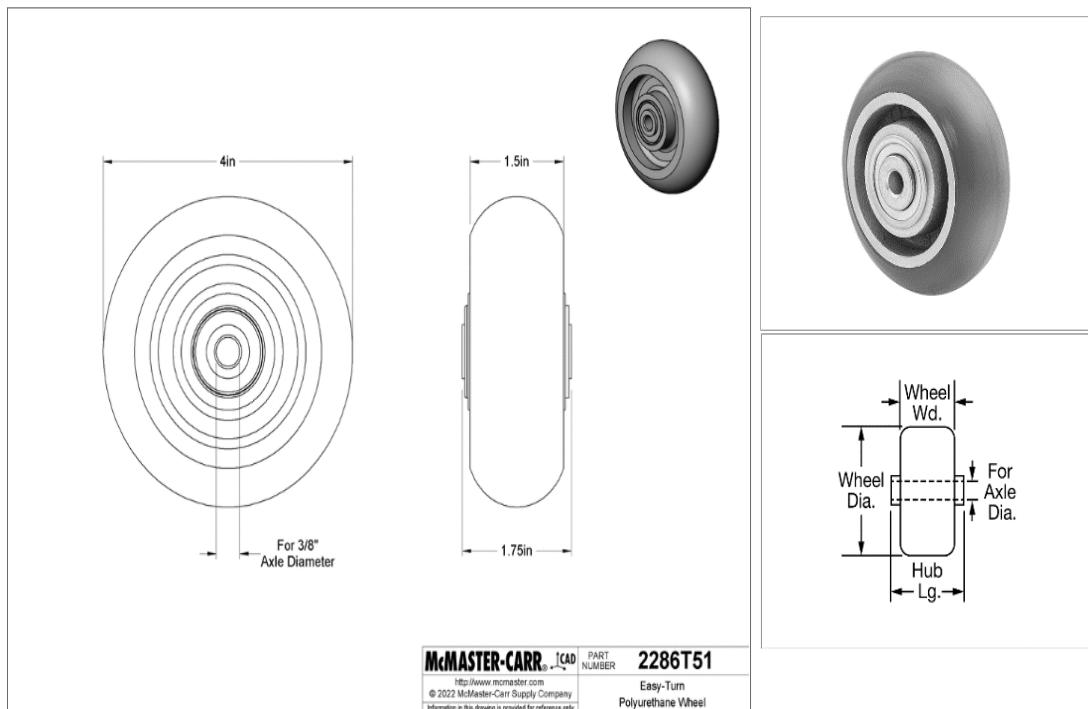
## SIZE & WEIGHT ADVANTAGE

Model	12V40AH
Group Size	N/A
Weight	13 Lbs
Length	7.7"
Width	6.45"
Height	6.75"

## TEMPERATURE PERFORMANCE ADVANTAGE

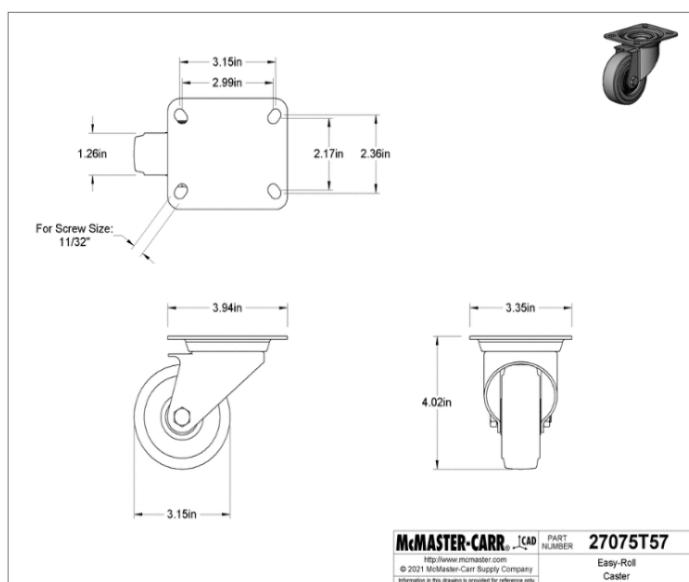
Celsius	Fahrenheit	Usable Capacity
60	140	103%
50	122	102%
40	104	100%
30	86	100%
20	68	98%
10	50	92%
0	32	83%
-10	14	80%
-20	-4	70%
-30	-22	60%
-40	-40	10%
-50	-58	0%

Easy-turn polyurethane wheel 4-15.1 n90



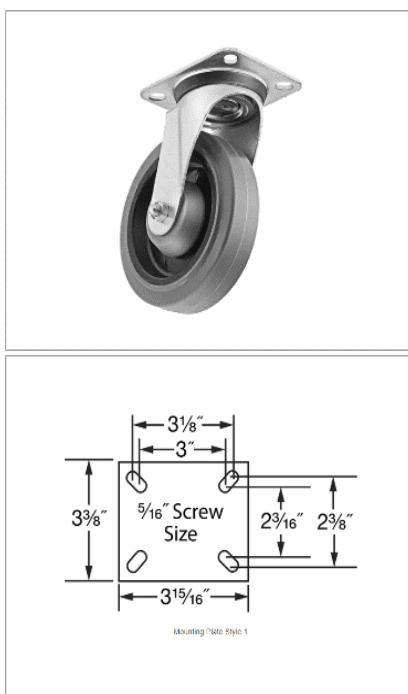
Wheel Type	Tread on Core
Wheel/Tread Material	Polyurethane Rubber
<b>Wheel</b>	
Diameter	4"
Width	1 1/2"
Hub Length	1 3/4"
Capacity per Wheel	400 lbs.
Hardness Rating	Firm
Hardness	Durometer 95A
Tread Shape	Rounded
Wheel Color	Red
Nonmarking Wheels	Yes
<b>Wheel Bearing</b>	
Type	Ball
Seal Type	Open
Material	Steel
<b>Wheel Core</b>	
Style	Solid
Material	Aluminum
Temperature Range	-30° to 200° F
For Surface Type	Asphalt, Bar Grating, Brick, Concrete, Hardwood, Linoleum, Steel, Tile
For Use With	Grease, Mild Acids, Mild Alkalines, Oil, Solvents
Choose For Axle Dia.	3/8"
RoHS	Not Compliant
REACH	Not Compliant
DFARS	Specialty Metals COTS-Exempt
Country of Origin	United States
USMCA Qualifying	Yes
Schedule B	871690.0000
ECCN	EAR99

easy-roll caster Polypropylene plastic 5-15.1 790



**McMASTER-CARR** PART NUMBER 27075T57  
 http://www.mcmaster.com  
 © 2021 McMaster-Carr Supply Company  
 Information in this drawing is provided for reference only.

Mount Type	Plate
Wheel	
Diameter	3 1/4"
Width	1 1/4"
Number of	1
Mount Height	4"
Capacity per Caster	300 lbs.
Hardness Rating	Soft
Hardness	Durometer 85A
Mounting Plate	
Length	3 15/16"
Width	3 3/8"
Mounting Holes	
Center-to-Center Length (A)	3 1/8"
Center-to-Center Length (B)	3"
Center-to-Center Width (A)	2 3/8"
Center-to-Center Width (B)	2 3/16"
For Screw Size	5/16"
Mounting Fasteners Included	No
Wheel/Tread Material	Rubber
Tread Shape	Flat
Nonmarking Wheels	Yes
Wheel Color	Gray
Wheel Type	Tread on Core
Wheel Core Material	Nylon Plastic
Wheel Bearing	
Type	Ball
Seal Type	Shielded
Material	Steel
Frame Fabrication	Stamped
Frame Material	Zinc-Plated Steel
For Surface Type	Asphalt, Bar Grating, Brick, Concrete, Hardwood, Linoleum, Steel, Tile
Mounting Plate Style	1
Caster Type	Swivel
Swivel Construction	Kingpin
Swivel Bearing	
Type	Ball
Seal Type	Sealed
RoHS	RoHS 3 (2015/863/EU) Compliant
REACH	REACH (EC 1907/2008) (07/08/2021, 219 SVHC) Compliant
DFARS	Specialty Metals COTS-Exempt
Country of Origin	Germany
Schedule B	871690.0000
ECCN	EAR99



נספח 6-15.1 מפרט תכונות AISI 4340 steel

Physical Properties	Metric
Density	7.85 g/cc
Mechanical Properties	Metric
Hardness, Brinell	363
Hardness, Knoop	392
Hardness, Rockwell B	100
Hardness, Rockwell C	40
Hardness, Vickers	384
Tensile Strength, Ultimate	1255 MPa
Tensile Strength, Yield	1165 MPa
Elongation at Break	13.7 %
Reduction of Area	45 %
Modulus of Elasticity	200 GPa
Bulk Modulus	159 GPa
Poissons Ratio	0.29
Machinability	50 %
Shear Modulus	78.0 GPa

נספח 7-15.1 מקרמי בטיחות – מאמצוי כפיפה

מקדמי בטיחות - מאמצוי כפיפה - חישובים מקורבים של גלים		תכונות סכמטיות		
חווט NL	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	מחוזר מאמצאים סימטרי
$\sigma_s \leq 600 [MPa]$	2.5 + 1.8	4.0 + 3.0	7.0 + 5.0	
$\sigma_s > 600 [MPa]$	3.5 + 2.5	5.0 + 3.5	8.0 + 6.0	

נספח 8-15.1 מפרט תכונות Aluminum 6061-T6

Physical Properties	Metric	English
Density	2.70 g/cc	0.0975 lb/in <sup>3</sup>
Mechanical Properties	Metric	English
Hardness, Brinell	95	95
Hardness, Knoop	120	120
Hardness, Rockwell A	40	40
Hardness, Rockwell B	60	60
Hardness, Vickers	107	107
Tensile Strength, Ultimate	310 MPa @Temperature 371 °C	45000 psi @Temperature 700 °F
	24.0 MPa @Temperature 204 °C	3480 psi @Temperature 212 °F
	32.0 MPa @Temperature 316 °C	4640 psi @Temperature 601 °F
	51.0 MPa @Temperature 260 °C	7400 psi @Temperature 500 °F
	131 MPa @Temperature 204 °C	19000 psi @Temperature 399 °F
	234 MPa @Temperature 149 °C	33900 psi @Temperature 300 °F
	290 MPa @Temperature 100 °C	42100 psi @Temperature 212 °F
	310 MPa @Temperature 24.0 °C	45000 psi @Temperature 75.2 °F
	324 MPa @Temperature -28.0 °C	47000 psi @Temperature -19.4 °F
	338 MPa @Temperature -80.0 °C	49000 psi @Temperature -112 °F
	414 MPa @Temperature -196 °C	60000 psi @Temperature -321 °F
Tensile Strength, Yield	276 MPa	40000 psi

נספח 1-9. טבלת מקדמי מוט

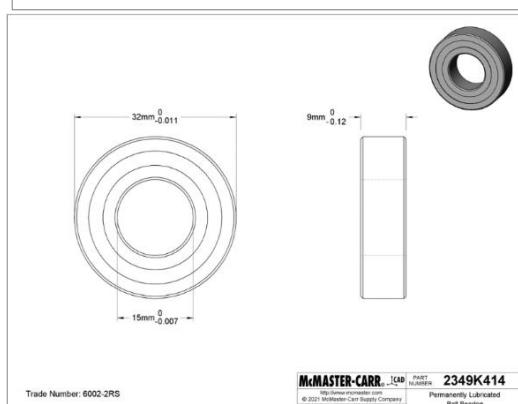
מקדם העומס הדינמי  $F_T$

מקדם העומס הדינמי $F_T$	דוגמאות שימוש	תנאי העבודה
1+1.2	מנועים חשמליים, מכונות עיבוד, מנוררים ומוגנים	עבודה רציפה, ללא תנודות וחבשות
1.2+1.5	מסרים גלילי שיניים, מושגים, מתקני הרמה,	עבודה עם תנודות בייניות
3.0+1.5	מכונות ערגול, מסרות רכעה, מנועי שריפה פנימית	עבודה עם תנודות וחבשות

מקדם הטמפרטורה  $T_0$

300	250	200	<150	טמפרטורת העבודה של המסב [°C]
1.7	1.3	1.1	1.0	מקדם הטמפרטורה $T_0$

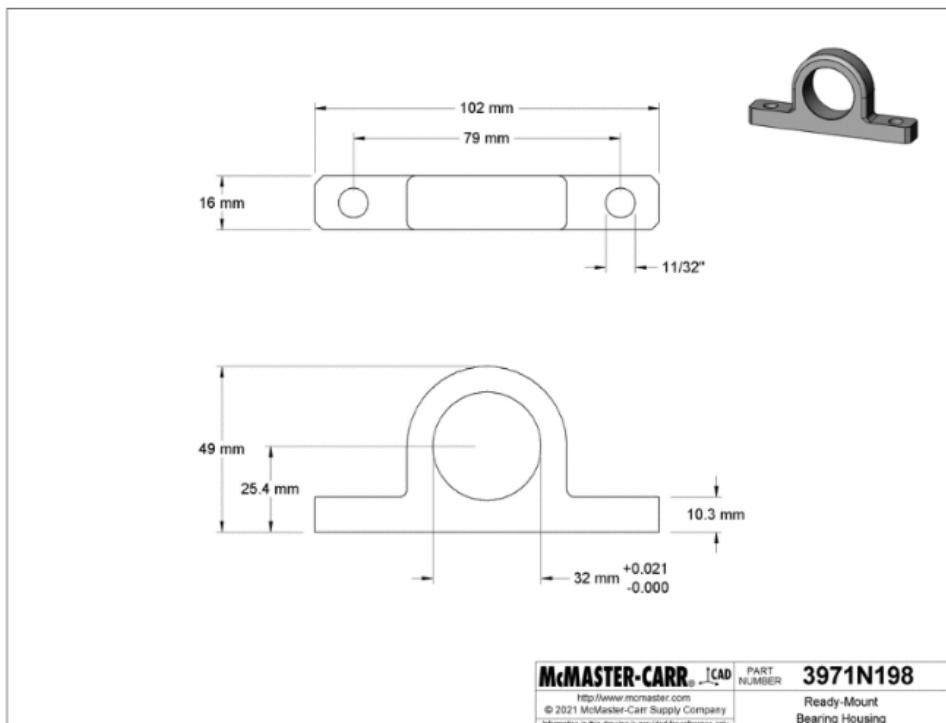
נספח 1-10.1 Permanently lubricated ball bearing 10-15.1



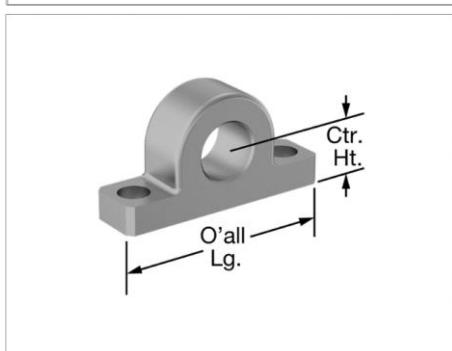
McMASTER-CARR, INC. PART NUMBER 2349K414  
© 2021 McMaster-Carr Supply Company  
McMaster-Carr is a registered trademark of McMaster-Carr Co., Inc.

Bearing Trade Number	6002-2RS
Bearing Type	Ball
For Load Direction	Radial
Construction	Single Row
Seal Type	Sealed
Inner Ring Type	Standard
Ball Bearing Type	Standard
For Shaft Type	Round
For Shaft Diameter	15mm
ID	15mm
ID Tolerance	-0.007mm to 0mm
For Housing ID	32mm
OD	32mm
OD Tolerance	-0.011mm to 0mm
Width	9mm
Width Tolerance	-0.12mm to 0mm
Ring Material	Steel
Ball Material	Steel
Cage Material	Steel
Seal Material	Buna-N Rubber
Radial Load Capacity, lbs.	
Dynamic	1,050
Static	510
Maximum Speed	12,500 rpm
Lubrication	Lubricated
Lubricant	Solid Polymer
Shaft Mount Type	Press Fit
Temperature Range	10° to 200° F
ABEC Rating	ABEC-1
Radial Clearance Trade No.	C0
Radial Clearance	0.003mm to 0.018mm
RoHS	RoHS 3 (2015/863/EU) Compliant
REACH	REACH (EC 1907/2008) (07/08/2021, 219 SVHC) Compliant
DFARS	Specialty Metals COTS-Exempt
Country of Origin	Japan
Schedule B	848210.5048
ECCN	1C999

Ready-mount bearing housing 11-15.1 n90



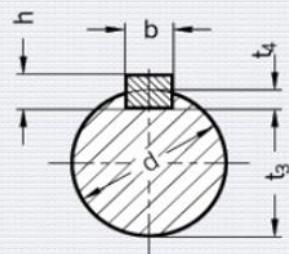
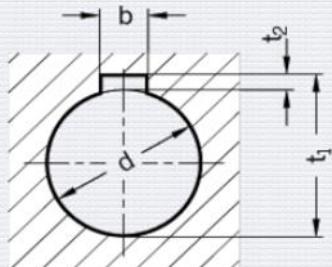
**McMASTER-CARR** CAD PART NUMBER **3971N198**  
http://www.mcmaster.com  
 © 2021 McMaster-Carr Supply Company  
 Information in this drawing is provided for reference only.



System of Measurement	Metric
Mounted Bearing Type	Base Mount
Housing Material	2014 Aluminum
For Bearing Width	16mm
For Bearing OD	32mm
ID	32mm
ID Tolerance	0mm to 0.021mm
Center Height	25.4mm
Overall	
Height	49mm
Length	102mm
Width	16mm
Mounting	
Hole Diameter	11/32"
Center-to-Center	79mm
Number of	2
Fasteners Included	No
RoHS	RoHS 3 (2015/863/EU) Compliant
REACH	REACH (EC 1907/2006) (01/17/2022, 223 SVHC) Compliant
DFARS	Specialty Metals COTS-Exempt
Country of Origin	United States
USMCA Qualifying	No
Schedule B	848330.5040
ECCN	EAR99

## Keyway and key details

DIN 6885/1

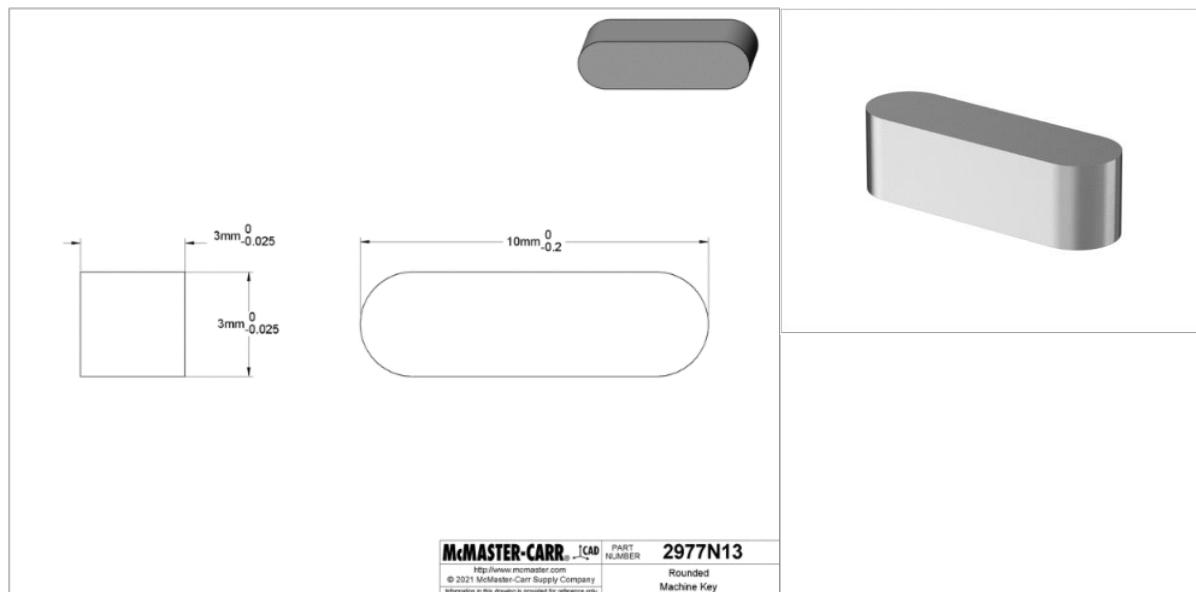


d	b P9 Hub-keyway	b P9 Shaft-keyway	h	$t_1 = d + t_2$	$t_2$	$t_3 = d - t_4$	$t_4$
7	2	2	2	8	1 + 0,1	5,8	1,2 + 0,1
8	2	2	2	9	1	6,8	1,2
9	3	3	3	10,4	1,4	7,2	1,8
10	3	3	3	11,4	1,4	8,2	1,8
11	4	4	4	12,8	1,8	8,5	2,5
12	4	4	4	13,8	1,8	9,5	2,5
13	5	5	5	15,3	2,3	10	3
14	5	5	5	16,3	2,3	11	3
15	5	5	5	17,3	2,3	12	3
16	5	5	5	18,3	2,3	13	3
17	5	5	5	19,3	2,3	14	3
18	6	6	6	20,8	2,8	14,5	3,5
20	6	6	6	22,8	2,8	16,5	3,5

נוף 1-13-15.1 מפרט תכונות 316 Stainless steel

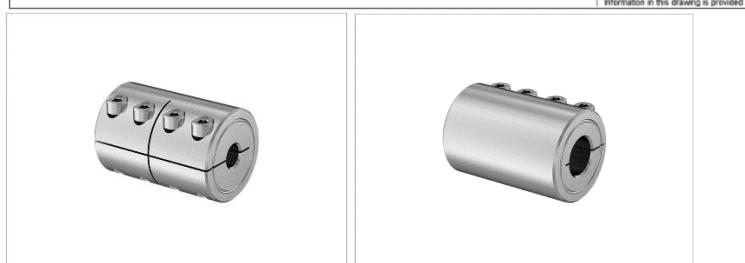
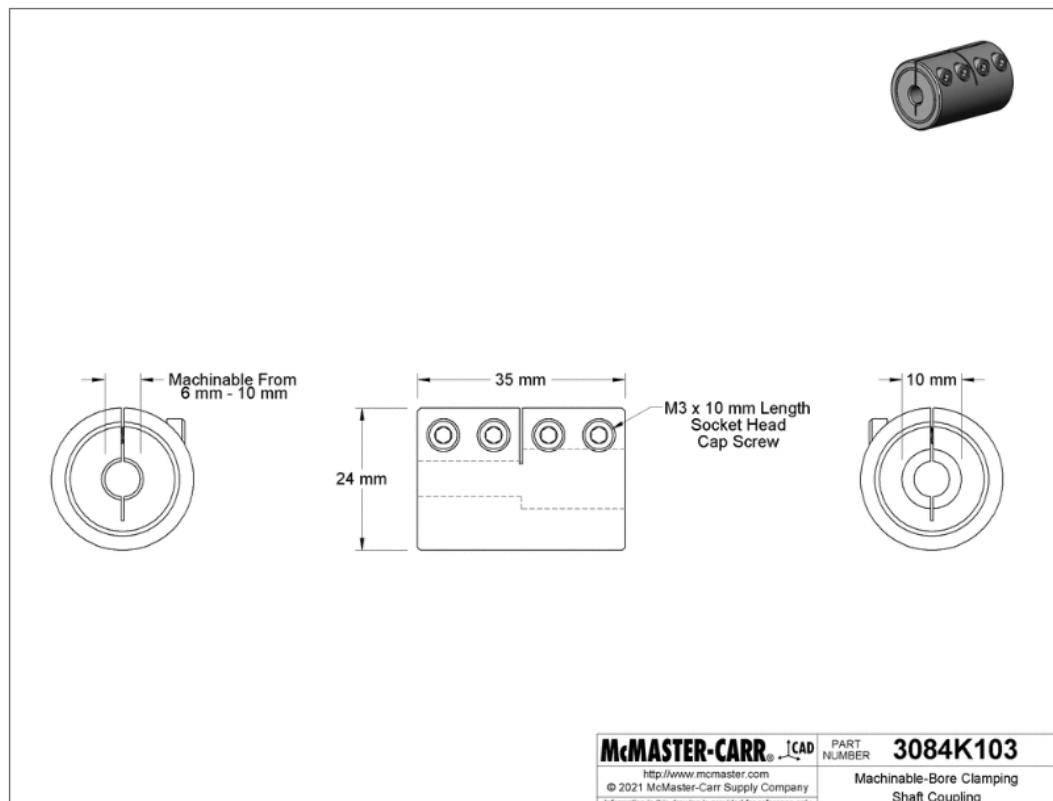
Mechanical Properties	Metric	English
Hardness, Rockwell B	69,5	69,5
Tensile Strength, Ultimate	538 MPa	78000 psi
Tensile Strength, Yield	200 MPa	29000 psi
Elongation at Break	54 %	54 %
Reduction of Area	54 %	54 %
Charpy Impact, Unnotched	216 J	159 ft-lb

Rounded machine key 14-15.1 nro



Key Type	Rounded
System of Measurement	Metric
Material	316 Stainless Steel
Height	3mm
Width	3mm
Length	10mm
Tolerance Rating	Undersized
Tolerance	
Height	-0.025mm to 0.000mm
Width	-0.025mm to 0.000mm
Length	-0.200mm to 0.000mm
Minimum Hardness	Not Rated
Specifications Met	DIN 6885
RoHS	RoHS 3 (2015/863/EU) Compliant
REACH	REACH (EC 1907/2006) (01/17/2022, 223 SVHC) Compliant
DFARS	Specialty Metals Compliant (252.225-7009)
Country of Origin	United States
USMCA Qualifying	No
Schedule B	731824.0000
ECCN	EAR99

Machinable-bore clamping shaft coupling 15-15.1 n90



Material	303 Stainless Steel
For Shaft Diameter	10mm x 6.000mm-10.000mm
Overall Length	35mm
OD	24mm
Maximum Speed	Not Rated
Maximum Torque	45 in.-lbs.
For Shaft Type	Round
For Shaft Misalignment Type	None
For Motion Type	Forward/Reverse, Start/Stop, Continuous
Shaft Coupling Type	Rigid
Construction	One Piece
Shaft Mount Type	Clamp On
Clamping Screw	
Type	Socket Head Screw
Material	18-8 Stainless Steel
Number Included	4
RoHS	RoHS 3 (2015/863/EU) Compliant
REACH	REACH (EC 1907/2006) (07/08/2021, 219 SVHC) Compliant
DFARS	Specialty Metals COTS-Exempt
Country of Origin	United States
USMCA Qualifying	No
Schedule B	848380.8000
ECCN	EAR99

**נוף 15.1-16 מוקדם העומס הדינמי**

<b>K<sub>1</sub></b>	<b>תנאי העבודה</b>
1	עבודה אחידה ומסות קטנות להאצה משאבות הידראוליות עם גלגלי שניינים, משאבות ריק.
1.2	עבודה אחידה ומסות בינוגיות להאצה משאבות עם בוכנה צירית, משאבות עם בוכנה רדיאלית, מכונות כלים, מכונות טקסטיל, מערבי נזולים, מכונות עיבוד עץ, מכונות לכיפוף פלטות, מכונות להשזה, מודחס תבריגgi.
1.3	עבודה לא אחידה ומסות בינוגיות להאצה מסועים, גרטוררים, מעליות מסע.
1.4	עבודה לא אחידה עם נגיפות מתונות ומסות בינוגיות להאצה מערבי מלט, מסועי שרשרת, מעליות, מגרסות, מכונות כביסה.
1.6	עבודה לא אחידה עם נגיפות חזקות ומסות גדולות להאצה מכבשי חיתוך, מכבשים לחישול, מכונות ערגול גומי, משאבות בוכנה.
1.8 + 2.0	עבודה לא אחידה עם נגיפות חזקות ומסות מאוד גדולות להאצה מכונות ערגול מתקנות, מגרסות אבניים, מסועי שרשרת, גללים ופלטות עמוסים מאוד.

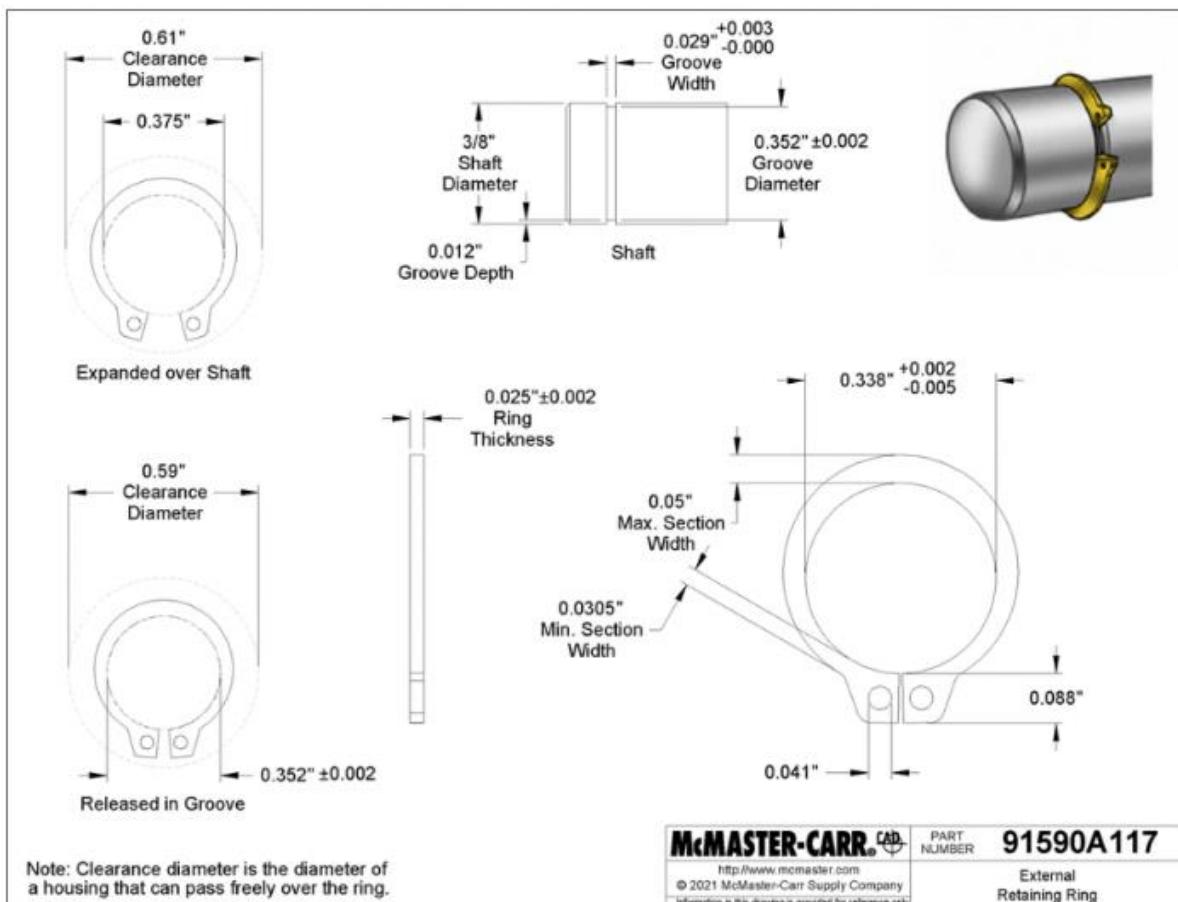
**נוף 15.1-17 מוקדם מספר תנעות המנווע במשר שעיה**

800	400	200	עד 100	מספר התנועות בשעה
1.6	1.4	1.2	1	K <sub>2</sub>

**נוף 15.1-18 מוקדם הטמפרטורה של הסביבה**

+100°	+60°	+40°	+30°-30°	טמפרטורת הסביבה
1.8	1.4	1.2	1	K <sub>3</sub>

External retaining ring 19-15.1 n90



Note: Clearance diameter is the diameter of a housing that can pass freely over the ring.

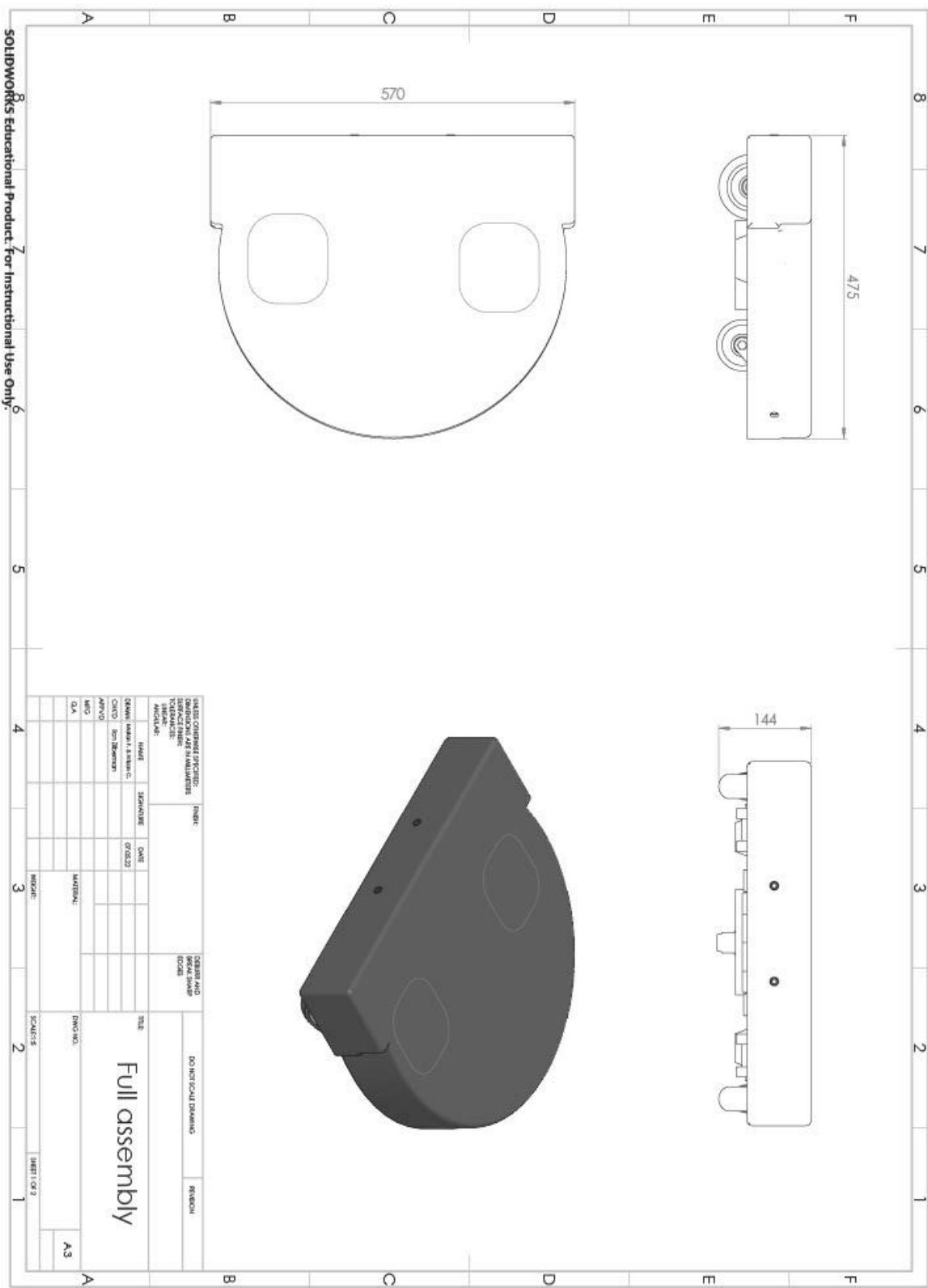
**McMASTER-CARR** CAD PART NUMBER **91590A117**  
<http://www.mcmaster.com>  
 © 2021 McMaster-Carr Supply Company  
 Information in this drawing is provided for reference only.

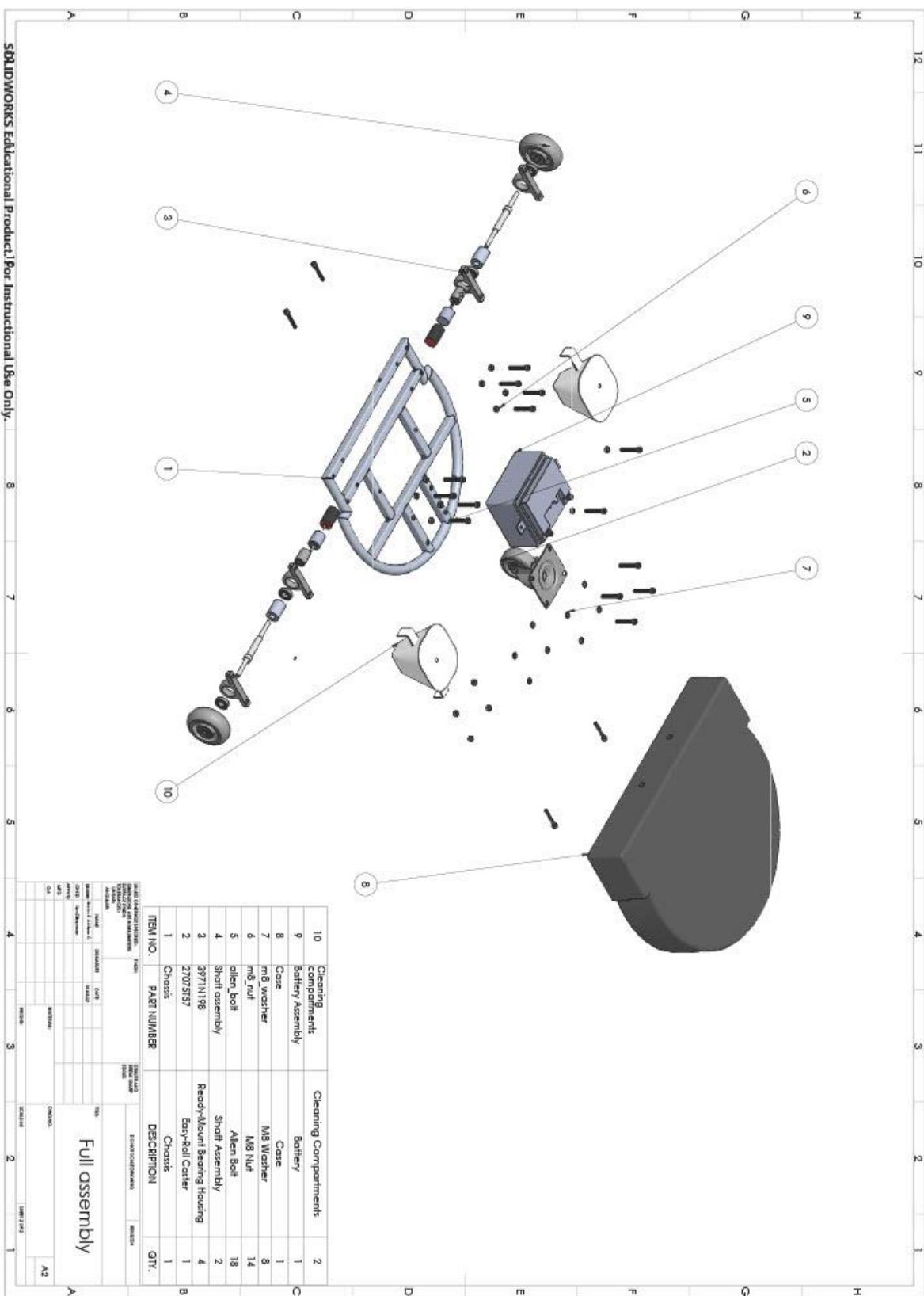
Retaining Ring Type	External
Retaining Ring Style	Standard
System of Measurement	Inch
Material	15-7 PH Stainless Steel
Passivation	Passivated
For OD	$3/8"$
For Groove	
Diameter	$0.352"$
Diameter Tolerance	$-0.002"$ to $0.002"$
Width	$0.029"$
Width Tolerance	$0"$ to $0.003"$
Ring	
ID	$0.338"$
ID Tolerance	$-0.005"$ to $0.002"$
Thickness	$0.025"$
Thickness Tolerance	$-0.002"$ to $0.002"$
Min. Hardness	Rockwell C44
Thrust Load Capacity	880 lbs.
Magnetic Properties	Magnetic
Specifications Met	ASME B18.27.1
RoHS	RoHS 3 (2015/863/EU) Compliant
REACH	REACH (EC 1907/2006) (01/17/2022, 223 SVHC) Compliant
DFARS	Specialty Metals Compliant (252.225-7009)
Country of Origin	United States
USMCA Qualifying	No
Schedule B	731824.0000
ECCN	EAR99

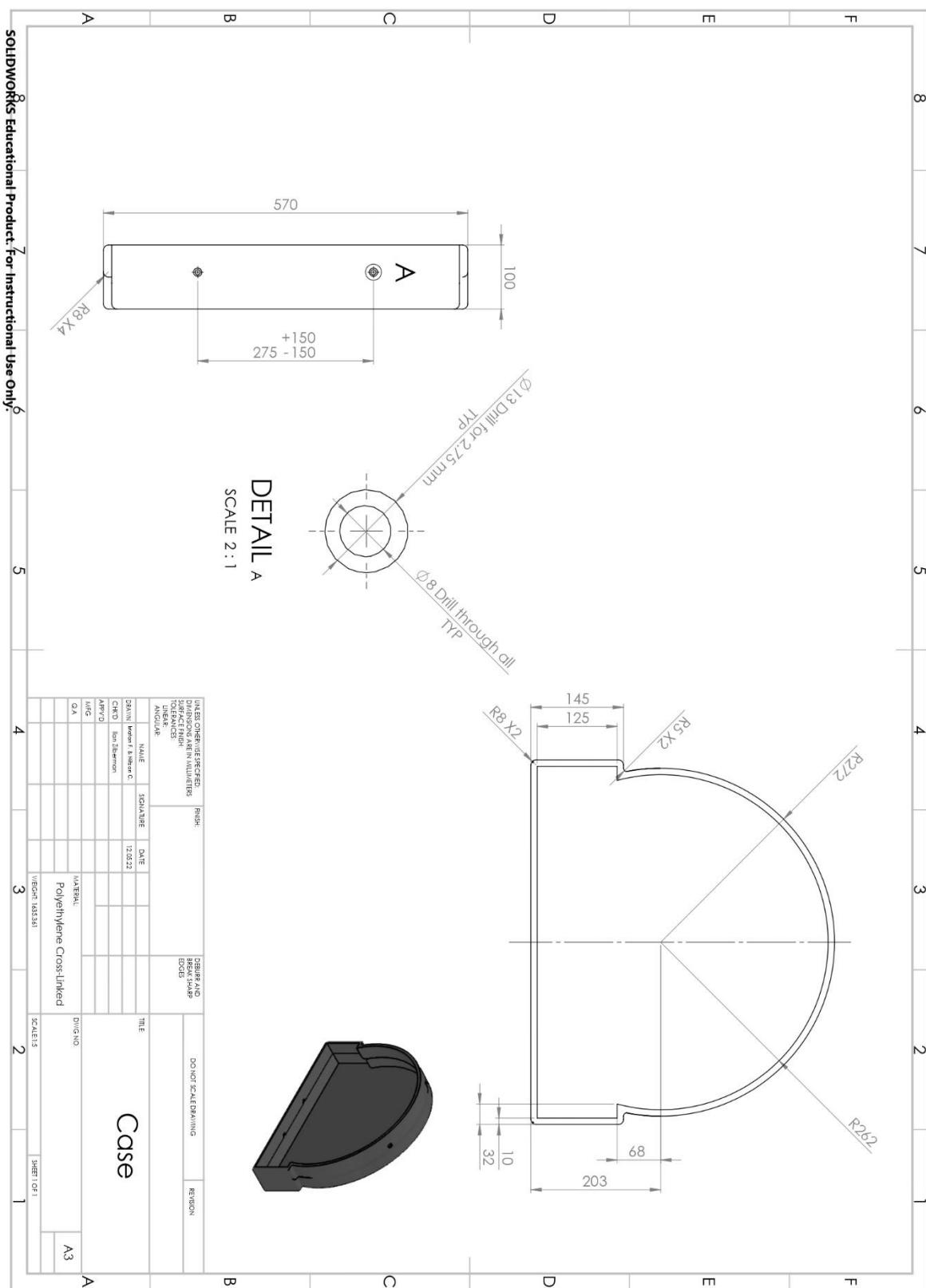


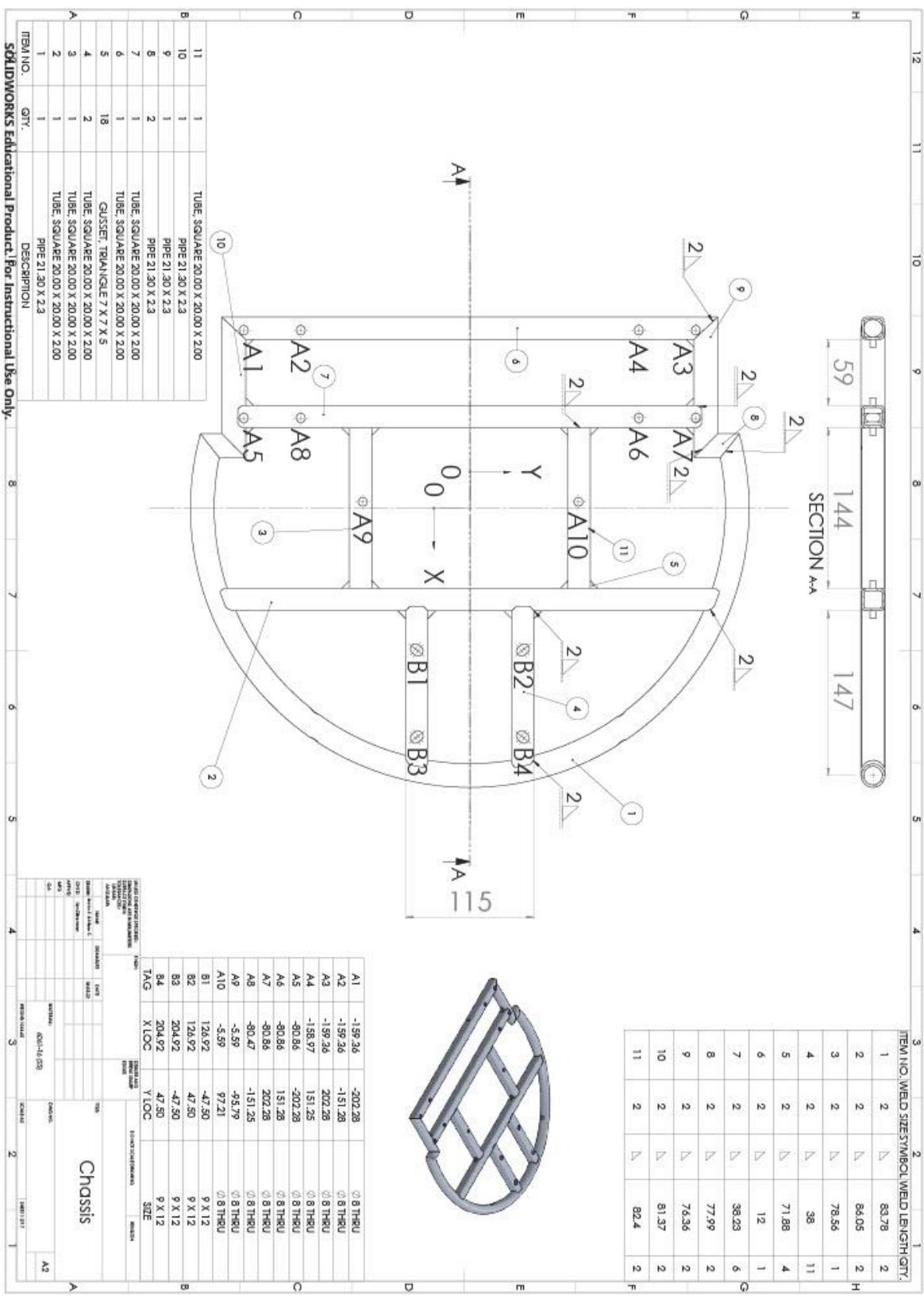
## 15.2. תיק שרטוטים:

טופח 2-15.2 הרכבת רובוט

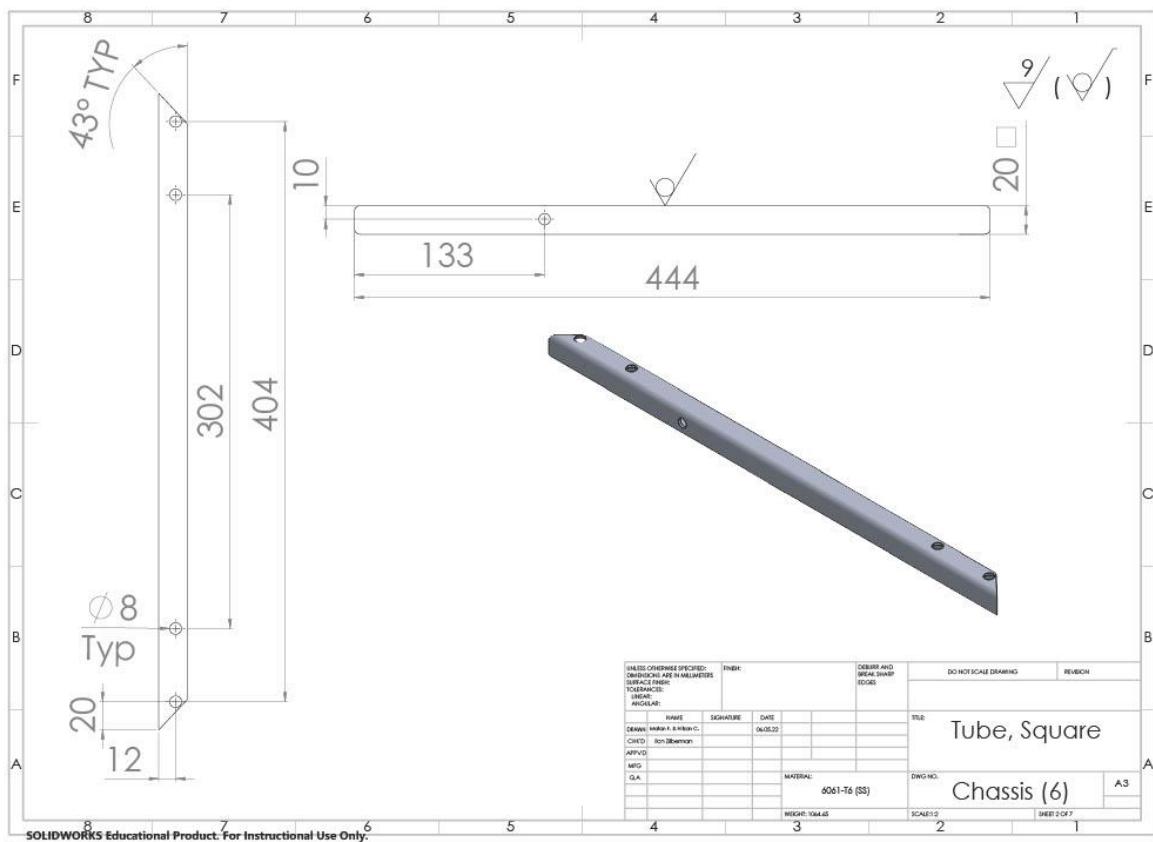




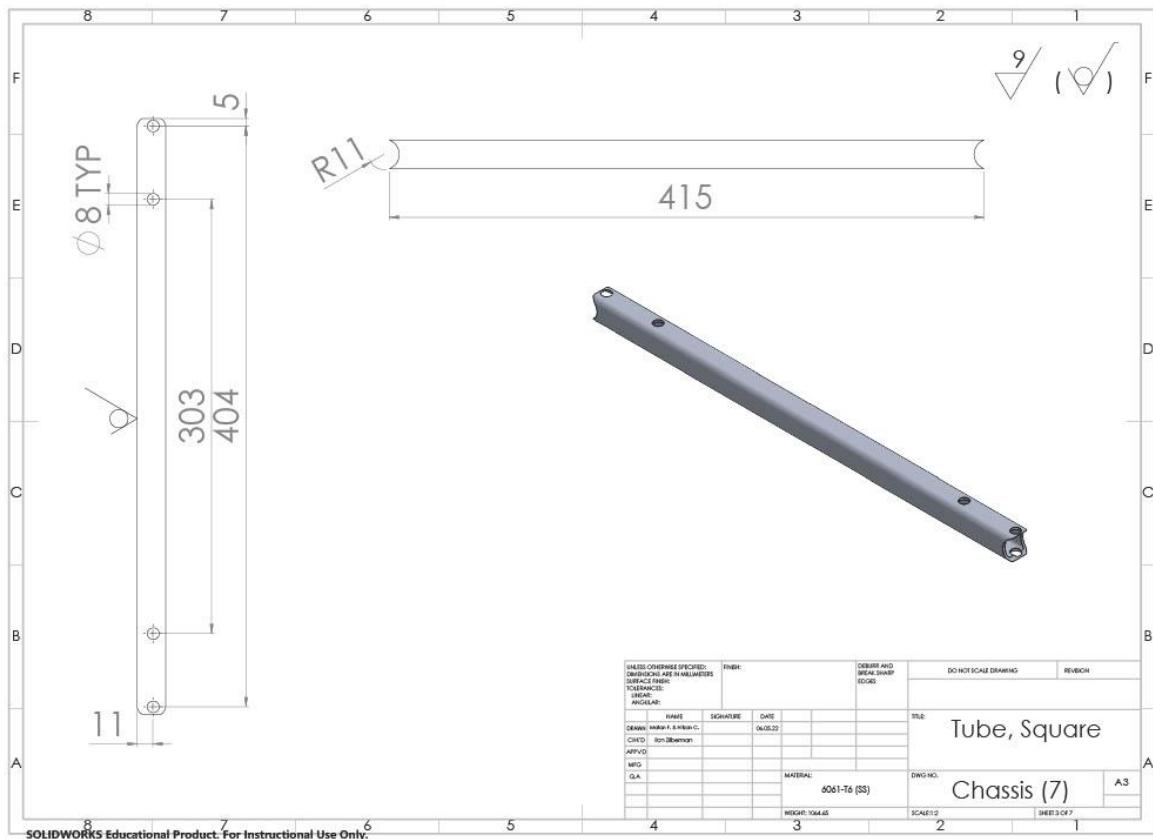


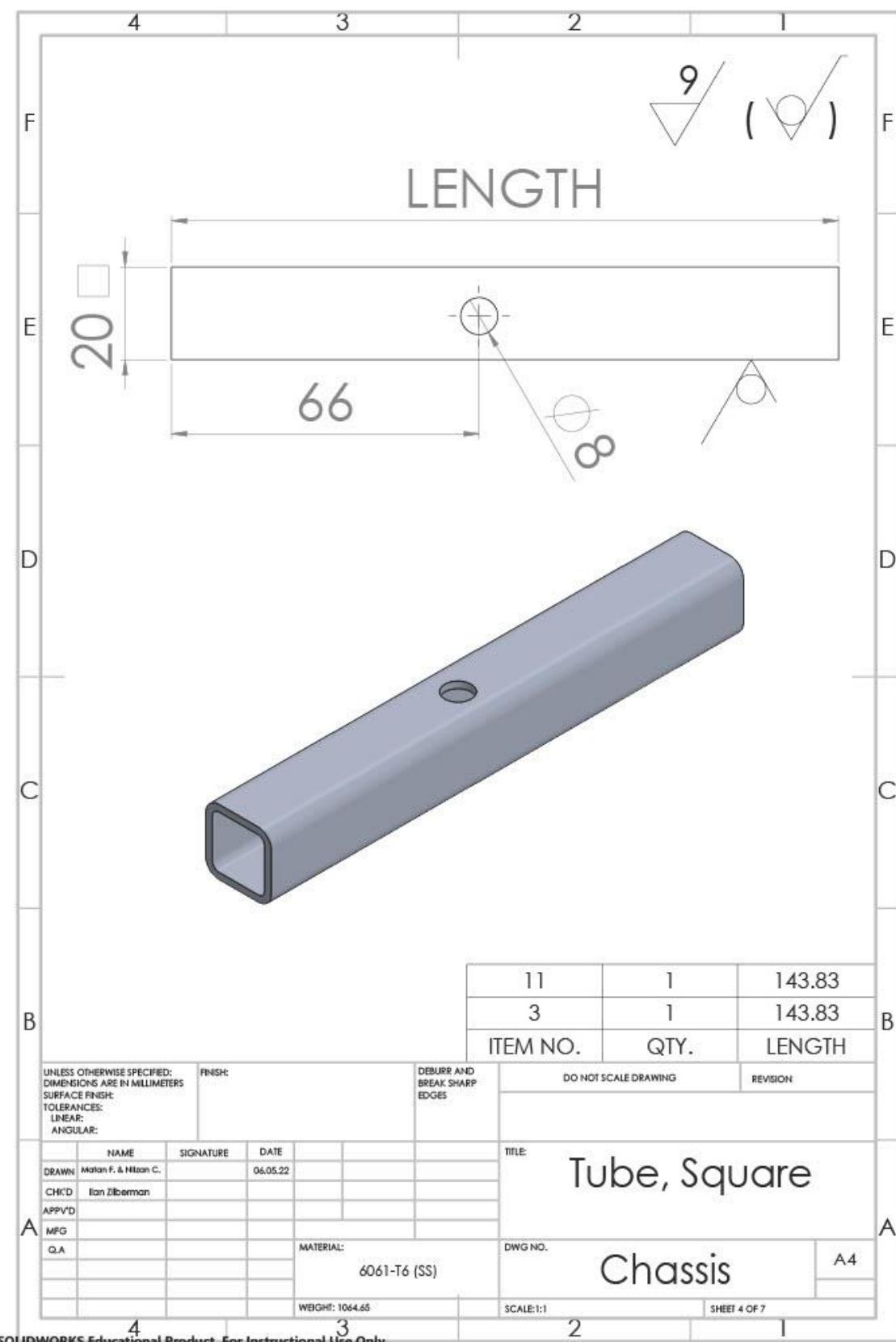


נספח 2-15.2 פרופיל ריבועי

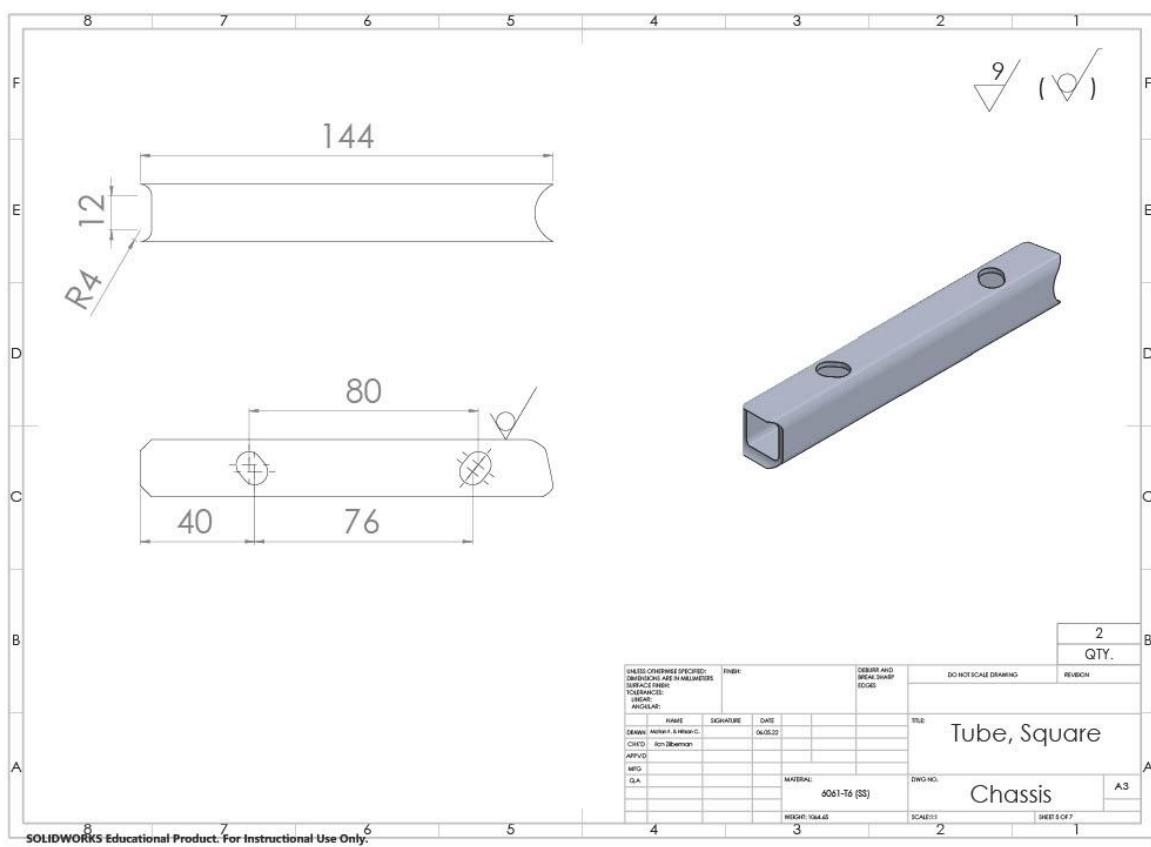


נספח 2-15.6 פרופיל ריבועי





סוכח 2-8 פרויל ריבועי



סוכח 9-15.2 פרויל מעוגל

