



5. הצגת המודל ההנדסי וביצוע החישובים הרלוונטים –

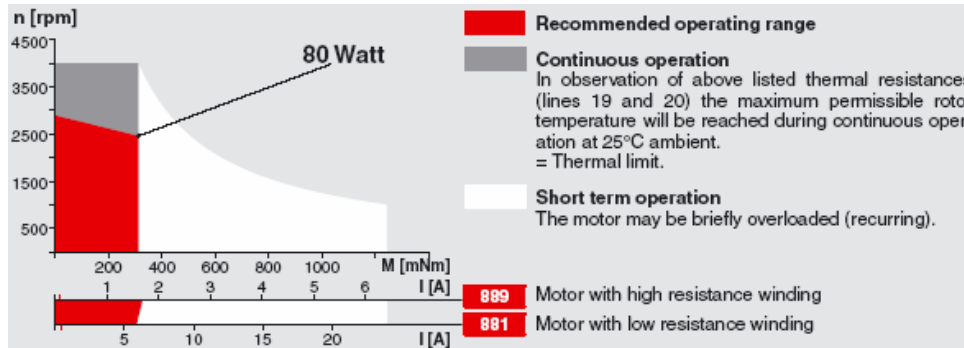
המשך

5.3. בחירת מנוע בהתאם לתוצאות החישובים

בחירת המנוע

בחירת המנוע בפרויקט זה תתבצע ביחס למומנט שחושב בנוסחה 5.22. אין צורך להתחשב בפרמטרים נוספים משום שהשליטה במהירות המנוע תתבצע בעזרת השנאי המכני ולא בעזרת כרטיס מנוע המקבל הוראות מהבקר ולכן יש לדאוג בסך הכל לספק למנוע את הזרם המקסימלי הנדרש.

המנוע המתאים ביותר לדרישות שפותחו בפרקים הקודמים הוא מנוע תוצרת חברת Maxon¹, סדרה F, דגם 2260. לפירוט כל פרמטרי המנוע, ראה נספח 3 עמוד 76. עבור דגם מנוע זה ישנם 11 סוגי ליפוף שונים, סוג הליפוף המתאים ביותר לדרישות הינו סוג מספר 888. בליפוף זה ניתן לקבל מומנט מתמשך מקסימלי של 324mNm , המומנט המקסימלי ביחס לשאר המומנטים שניתן לקבל בדגם זה. למנוע זה יש לספק מתח של 48 וולט, והוא צורך זרם התנעה של 11.5 אמפר. המהירות המקסימלית שניתן לקבל ממנו היא 4000 סיבובים בדקה. להלן גרף העבודה של המנוע:



איור 5.5 – גרף העבודה של המנוע

בגרף זה ניתן לראות את טווחי המהירויות שנקבל בכל מומנט נתון ולהפך, ואת הזרם שיצרך בהתאם. הדרישות המחמירות ביותר של הפלטפורמה עדיין משאירות את ביצועי המנוע בחלק האדום, כלומר בתוך תחום העבודה המומלץ.

¹ <http://www.maxonmotor.com>



בחירת התמסורת

המומנט שיתקבל ביציאה מהמנוע אינו מתקרב למומנט שחושב בנוסחה 5.22 מכיוון שעדיין לא נבחרה תמסורת ביציאה מהמנוע שתפקידה להעלות את המומנט המתקבל ביציאה מהמנוע על חשבון המהירות. התמסורת המתאימה למנוע מסוג זה היא תמסורת פלנטרית אשר מסוגלת להעביר מומנטים גדולים עם יחסי העברה נמוכים.

התמסורת המתאימה ביותר לדרישות היא התמסורת מדגם GP 62 המסוגלת להעביר מומנט הנע בין $8Nm$ ל- $50Nm$. יחס התמסורת אשר ידאג למומנט הנדרש ביציאה הוא יחס של 35:1, כתוצאה מצירוף התמסורת נקבל ביציאה מומנט של $11.34Nm$ המתאים למומנט שחושב בנוסחה 5.22. לפירוט כל פרמטרי התמסורת, ראה נספח 3 עמוד 77. בנוסף לכך נבחר בלם למנוע, ראה נספח 3 עמוד 78

5.4. בדיקת עמידות בדרישה מספר 1 – עבור מהירות מינימלית

הדרישה הראשונה המפורטת במפרט הדרישות מדברת על מהירות מינימלית של $0.5m/sec$ במישור. בכדי להראות דרישה זו יש לחשב את המומנט הנדרש מהמנוע עבור שיפוע של אפס מעלות וללא תאוצה. במידה ונציב גדלים אלה בנוסחה 5.16 היא תצטמצם לנוסחה הבאה:

$$M_{motor(ns)} = 0.1 \cdot r \cdot m_T \cdot g + 2rgm_c \mu_c$$

נוסחה 5.23 – חישוב מומנט נדרש ללא תאוצה בשיפוע אפס

מהצבת הגדלים המופיעים בטבלה 5.1 עם זווית אפס נקבל את הגודל הבא:

$$M_{motor(ns)} = 0.1 \cdot 0.1[m] \cdot 20[kg] \cdot 9.81 \left[\frac{m}{sec^2} \right] + 2 \cdot 0.1[m] \cdot 9.81 \left[\frac{m}{sec^2} \right] \cdot 10[kg] \cdot 0.3 = 7.848m \cdot N$$

נוסחה 5.24 – מציאת גודל המומנט הנדרש לנסיעה ללא תאוצה בשיפוע אפס

כעת יש להוסיף את מקדם הבטחון לקבלת המומנט הנדרש ביציאה מהתמסורת:

$$M_o = n \cdot M_{motor(ns)} = 1.2 \cdot 7.848mN = 9.41mN$$

נוסחה 5.25 – חישוב המומנט האמיתי הנדרש ביציאה מהתמסורת

כפי שניתן לראות בנתוני המנוע, גרדיאנט המהירות ביחס למומנט הוא $1.4rpm / mNm$ מכאן ניתן לחשב את המהירות שנקבל ביציאה מהמנוע עבור עומס מקסימלי לפי הקשר הבא:

$$n_{out} = n_{no\ load} - Grad_{speed / torque} \cdot MaxLoad = 2670rpm - 1.4 \frac{rpm}{mNm} \cdot 324mNm = 2216.4rpm$$

נוסחה 5.26 – חישוב המהירות המתקבלת במוצא המנוע

מהירות זו קטנה משום שהיא עוברת דרך התמסורת של המנוע בפקטור של 35 וערכה ביציאה מהתמסורת הוא:

$$n_{out(after\ gear)} = \frac{2216.4rpm}{35} = 63.32rpm$$

בעלי אתר הרובוטיקה הישראלי לא ישאו באחריות כלשהי לכל נזק, כספי או אחר שייגרם במישורין או בעקיפין משימוש במידע המצוי באתר זה

© כל הזכויות שמורות לאסף פוניס ולגיא יונה
אין להעתיק תכנים מאתר זה ללא רשות בכתב ממנהלי האתר



נוסחה 5.27 – חישוב המהירות ביציאה מהתמסורת של המנוע

על מנת להציב מהירות זו בנוסחה 5.21 יש להפוך אותה למהירות זוויתית:

$$\omega_{out(after gear)} = \frac{\pi \cdot n_{out(after gear)}}{30} = \frac{\pi \cdot 63.32}{30} = 6.63 \frac{rad}{sec}$$

נוסחה 5.28 – חישוב המהירות הזוויתית ביציאה מהתמסורת של המנוע

כעת ניתן להציב בנוסחה 5.21 ביחס לגדלים שחושבו לעיל ולקבל את המהירות הזוויתית ביציאה מהשנאי המכני – כלומר בגלגלים המניעים:

$$\omega_{out} = \frac{M_m \cdot \omega_{out(after gear)}}{f \cdot M_o} = \frac{10.88mN \cdot 6.63 \frac{rad}{sec}}{1.2 \cdot 9.41mN} = 6.38 \frac{rad}{sec}$$

נוסחה 5.29 – חישוב המהירות הזוויתית ביציאה מהשנאי המכני

החישוב האחרון שיש לבצע הוא מציאת המהירות הקווית והשוואתה לדרישה:

$$v_o = r \cdot \omega_{out} = 0.1m \cdot 6.38 \frac{rad}{sec} = 0.63 \frac{m}{sec} > 0.5 \frac{m}{sec}$$

נוסחה 5.30 – חישוב המהירות הקווית ביציאה – עומדת בדרישה!

בעלי אתר הרובוטיקה הישראלי לא ישאו באחריות כלשהי לכל נזק, כספי או אחר שייגרם במישרין או בעקיפין משימוש במידע המצוי באתר זה

© כל הזכויות שמורות לאסף פוניס ולגיא יונה
אין להעתיק תכנים מאתר זה ללא רשות בכתב ממנהלי האתר



5.5. בחירת מיסבים בהתאם לתוצאות החישובים

הגורם הראשי בבחירת מיסבים הוא העומס הרדיאלי המופעל. במערכת המכנית המורכבת מהשנאי המכני המעביר את התנועה לשני גלגלים יש לבחור שני סוגי מיסבים:

- עבור השנאי המכני – מיסבים אלה צריכים להחזיק את המשקל של השנאי המכני ורכיביו, מחושב ע"י סכימת חלקי המערכת המכנית.

- עבור ציר הגלגלים – על מיסבים אלה להחזיק את משקל הפלטפורמה, 30kg.

שאר הנתונים, פרט למקדמי העבודה, זהים בין שני הסוגים שיש לבחור. הנוסחה הבסיסית של מציאת הכושר הדינמי הרצוי של מיסב נתונה להלן:

$$C = P \cdot (L)^{\frac{1}{a}} \cdot f_w \cdot f_T$$

נוסחה 5.30 – חישוב הכושר הדינמי הנדרש מהמיסב

כאשר:

P – העומס הצירי -

L – אורך החיים של המיסב במיליוני סיבובים -

a – מקדם לפי סוג גוף הגלילה -

f_w – מקדם העומס דינאמי (תלוי בתנאי העבודה, נלקח מטבלה ראה נספח 2) -

f_T – מקדם השפעת הטמפר' (תלוי בטמפר' העבודה, נלקח מטבלה ראה נספח 2) -

הערכים המתאימים לתנאים של המערכת המכנית:

<u>גודל</u>	<u>עבור השנאי המכני</u>	<u>עבור ציר הגלגלים</u>
$P[N]$	0.08kN	0.2943kN
$L[mil.rev]$	1	1
a	3	3
f_w	1.2	2.5
f_T	1	1

טבלה 5.3 – הערכים המתאימים לשני סוגי המסבים הנדרשים

בעלי אתר הרובוטיקה הישראלי לא ישאו באחריות כלשהי לכל נזק, כספי או אחר שייגרם במישורין או בעקיפין משימוש במידע המצוי באתר זה

© כל הזכויות שמורות לאסף פוניס ולגיא יונה
אין להעתיק תכנים מאתר זה ללא רשות בכתב ממנהלי האתר



מכאן ניתן לחשב את הכושר הדינמי הנדרש עבור שני סוגי המיסבים :

- עבור השנאי המכני : $C = 0.08[kN] \cdot 1^{\frac{1}{3}} \cdot 1.2 \cdot 1 = 0.096kN$

- עבור ציר הגלגלים : $C = 0.2943[kN] \cdot 1^{\frac{1}{3}} \cdot 2.5 \cdot 1 = 0.73575kN$

סוג המיסב המתאים ביותר לדרישות המערכת, מבחינת התפלגות העומס והמהירות הנדרשת, הוא מיסב Y, עם נעילה בורגית², ניתן לבחור את המיסב הקטן ביותר שקיים בקטלוג חברת SKF³. נתוני המיסב ובית המיסב שנבחר מופיעים בנספח 3, עמוד 85.

² Y-bearings, with grub screw locking
³ <http://www.skf.com>

בעלי אתר הרובוטיקה הישראלי לא ישאו באחריות כלשהי לכל נזק, כספי או אחר שייגרם במישורין או בעקיפין משימוש במידע המצוי באתר זה

© כל הזכויות שמורות לאסף פוניס ולגיא יונה
אין להעתיק תכנים מאתר זה ללא רשות בכתב ממנהלי האתר



5.6. בחירת קפיצי הידוק ביחס לכוח הידוק הנדרש

כפי שהוצג בפרק 4, השנאי המכני הינו תמסורת רציפה אשר מעבירה תנועה בעזרת חיכוך. בכדי להבטיח שהחיכוך יעביר את המומנט הרצוי ולא תבצע החלקה יש להבטיח הידוק בכוח מסוים התלוי במומנט שיש להעביר, בקוטר הגלגל ובמקדם החיכוך, כפי שניתן לראות בנוסחה 4.9.

ההידוק יתבצע בעזרת ארבעה קפיצים הממוקמים מסביב לברגים אשר ניתן בעזרתם לקבוע את מרחק הכיווץ של הקפיצים. מחוק הוק ידוע כי הכוח שנקבל מהקפיץ הינו ביחס ישר לשינוי באורך:

$$F = -k \cdot \Delta x$$

נוסחה 5.31 – חוק הוק לקפיץ

כאשר:

F – הכוח שהקפיץ יפעיל כנגד לשינוי באורך –

k – קבוע הקפיץ –

Δx – השינוי באורך –

כעת יש לחשב את הכוח הנדרש מהקפיץ עבור שינוי של 6mm ביחס למשקל התמסורת וכוח ההידוק הנדרש. נבצע סכום כוחות בציר y:

$$-W - 4 \cdot F + F_n = 0$$

נוסחה 5.32 – סכום כוחות בציר y

כאשר:

W – משקל החלק העליון של התמסורת –

F – כוח הקפיץ –

F_n – כוח ההידוק הדרוש המתקבל מנוסחה 4.9 –

חישוב כוח ההידוק הדרוש:

הערכים שיש להציב בנוסחה הינם:

גודל	ערך
M_e	10.88mN
μ	0.7
D	0.1

טבלה 5.4 – הגדלים המתאימים לנוסחה 5.26

נציב ונקבל:

בעלי אתר הרובוטיקה הישראלי לא ישראו באחריות כלשהי לכל נזק, כספי או אחר שייגרם במישורין או בעקיפין משימוש במידע המצוי באתר זה

© כל הזכויות שמורות לאסף פוניס ולגיא יונה
אין להעתיק תכנים מאתר זה ללא רשות בכתב ממנהלי האתר



$$F_n = \frac{2 \cdot M_e}{\mu \cdot D} = \frac{2 \cdot 10.88 mN}{0.7 \cdot 0.1 m} = 310.85 N$$

נוסחה 5.33 – חישוב כוח ההידוק הדרוש

קעת ניתן להציב בנוסחה 5.25 את הערך אשר חישבנו לעיל, כאשר הערך אשר יש להציב עבור הפרמטר W הינו 80N – כפי שחושב עבור טבלה 5.3 (סכימת משקלם של כל האלמנטים בחלק העליון של התמסורת).

$$-80N - 4 \cdot F + 310.85 = 0 \Rightarrow F = 57.7 N$$

נוסחה 5.34 – חישוב הכוח הנדרש מכל אחד מארבעת הקפיצים

כלומר, יש להפעיל כוח הידוק מעל הערך אשר חושב לעיל על מנת לאפשר מעבר של המומנט הנדרש.

בחירת קפיץ:

על פי חוק הוק הגודל המגדיר את היחס בין התזוזה לכוח בקפיץ הוא קבוע הקפיץ. מכאן, במידה ויש לקבל כוח של 60N עבור הזזה של 6mm יש לבחור בקפיץ בעל מקדם של 10N/mm. מכאן נותר לבחור בקטלוג קפיץ באורך מתאים בעל מקדם קפיץ מתאים ולשלב במערכת. החברה בה בוצע חיפוש הקפיץ היא חברת Lee Spring⁴. באתר החברה ניתן לבחור קפיץ בהתאם לאורך ומקדם קפיץ, לקפיץ שנבחר יש את הנתונים הבאים, המתאימים לדרישות:

<u>גודל</u>	<u>פרמטר</u>
LC-085H-8M	מספר קטלוגי
15.23mm	קוטר חיצוני
2.15mm	קוטר החוט
290.89N	עומס באורך מוצק (בלחיצה מקסימלית)
50.80	אורך חופשי
10.90 N/mm	קבוע קפיץ
24.69mm	אורך מוצק (בלחיצה מקסימלית)

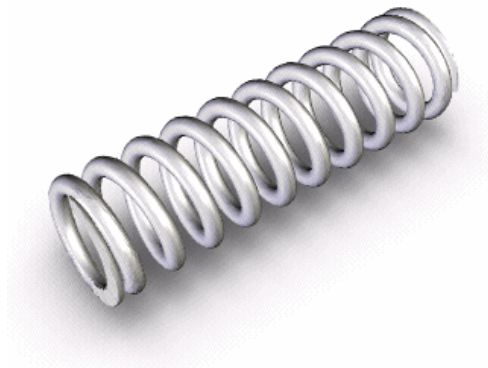
טבלה 5.5 – מפרט הקפיץ

פירוט נוסף של נתוני הקפיץ מופיעים בנספח 3, עמוד 78.

⁴ <http://www.leespring.com>



באיור 5.6 ניתן לראות את הקפיץ המתאים לדרישות שפורטו לעיל:



איור 5.6 – הקפיץ הנבחר

בעלי אתר הרובוטיקה הישראלי לא ישאו באחריות כלשהי לכל נזק, כספי או אחר שייגרם במישורין או בעקיפין משימוש במידע המצוי באתר זה

© כל הזכויות שמורות לאסף פוניס ולגיא יונה
אין להעתיק תכנים מאתר זה ללא רשות בכתב ממנהלי האתר