



# מגמות הנדסת מערכות

## ספר נוסחאות

### בקרת מערכות הנדסיות ותכן הנדסי

11. משוואת התנועה: $x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$	11. משוואת התנועה: $v = v_0 + a t$
12. $v = \frac{dx}{dt}$ - Constant	12. $a = \frac{dv}{dt}$ - Constant
13. $v_0 = \frac{dx}{dt} \Rightarrow dx = v dt \Rightarrow \int dx = \int v dt$	13. $a = \frac{dv}{dt} \Rightarrow dv = a dt \Rightarrow \int dv = \int a dt$
14. $v = \frac{dx}{dt} \Rightarrow dx = v dt \Rightarrow \int dx = \int v dt$	14. $a = \frac{dv}{dt} \Rightarrow dv = a dt \Rightarrow \int dv = \int a dt$
15. $v = \frac{dx}{dt} \Rightarrow dx = v dt \Rightarrow \int dx = \int v dt$	15. $a = \frac{dv}{dt} \Rightarrow dv = a dt \Rightarrow \int dv = \int a dt$
16. $v = \frac{dx}{dt} \Rightarrow dx = v dt \Rightarrow \int dx = \int v dt$	16. $a = \frac{dv}{dt} \Rightarrow dv = a dt \Rightarrow \int dv = \int a dt$
17. $v = \frac{dx}{dt} \Rightarrow dx = v dt \Rightarrow \int dx = \int v dt$	17. $a = \frac{dv}{dt} \Rightarrow dv = a dt \Rightarrow \int dv = \int a dt$
18. $v = \frac{dx}{dt} \Rightarrow dx = v dt \Rightarrow \int dx = \int v dt$	18. $a = \frac{dv}{dt} \Rightarrow dv = a dt \Rightarrow \int dv = \int a dt$
19. $v = \frac{dx}{dt} \Rightarrow dx = v dt \Rightarrow \int dx = \int v dt$	19. $a = \frac{dv}{dt} \Rightarrow dv = a dt \Rightarrow \int dv = \int a dt$
20. $v = \frac{dx}{dt} \Rightarrow dx = v dt \Rightarrow \int dx = \int v dt$	20. $a = \frac{dv}{dt} \Rightarrow dv = a dt \Rightarrow \int dv = \int a dt$

1. $A = \frac{F}{A}$	2. $Q = \frac{P}{A}$	3. $Q = \frac{P}{A}$	4. $Q = \frac{P}{A}$	5. $Q = \frac{P}{A}$	6. $Q = \frac{P}{A}$	7. $Q = \frac{P}{A}$	8. $Q = \frac{P}{A}$	9. $Q = \frac{P}{A}$	10. $Q = \frac{P}{A}$
----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	-----------------------

**מסלול בקרת מערכת:**

1.  $E = O - R$   
 $O = O_1 + O_2 + O_3$

2.  $G = C - R$   
 $C = C_1 + C_2 + C_3$

3.  $U_1 = U_2 = C$   
 $U_2 = \frac{U_1}{2}$   
 $U_3 = \frac{U_1}{3}$

4.  $U_1 = U_2 = U_3 = C$   
 $U_2 = \frac{U_1}{2}$   
 $U_3 = \frac{U_1}{3}$

5.  $U_1 = U_2 = U_3 = C$   
 $U_2 = \frac{U_1}{2}$   
 $U_3 = \frac{U_1}{3}$

6.  $U_1 = U_2 = U_3 = C$   
 $U_2 = \frac{U_1}{2}$   
 $U_3 = \frac{U_1}{3}$

7.  $U_1 = U_2 = U_3 = C$   
 $U_2 = \frac{U_1}{2}$   
 $U_3 = \frac{U_1}{3}$

8.  $U_1 = U_2 = U_3 = C$   
 $U_2 = \frac{U_1}{2}$   
 $U_3 = \frac{U_1}{3}$

9.  $U_1 = U_2 = U_3 = C$   
 $U_2 = \frac{U_1}{2}$   
 $U_3 = \frac{U_1}{3}$

10.  $U_1 = U_2 = U_3 = C$   
 $U_2 = \frac{U_1}{2}$   
 $U_3 = \frac{U_1}{3}$

**משוואות:**

1.  $M_1 = \frac{F_1}{A_1}$   
 $M_2 = \frac{F_2}{A_2}$   
 $M_3 = \frac{F_3}{A_3}$

2.  $M_1 = \frac{F_1}{A_1}$   
 $M_2 = \frac{F_2}{A_2}$   
 $M_3 = \frac{F_3}{A_3}$

3.  $M_1 = \frac{F_1}{A_1}$   
 $M_2 = \frac{F_2}{A_2}$   
 $M_3 = \frac{F_3}{A_3}$

4.  $M_1 = \frac{F_1}{A_1}$   
 $M_2 = \frac{F_2}{A_2}$   
 $M_3 = \frac{F_3}{A_3}$

5.  $M_1 = \frac{F_1}{A_1}$   
 $M_2 = \frac{F_2}{A_2}$   
 $M_3 = \frac{F_3}{A_3}$

6.  $M_1 = \frac{F_1}{A_1}$   
 $M_2 = \frac{F_2}{A_2}$   
 $M_3 = \frac{F_3}{A_3}$

7.  $M_1 = \frac{F_1}{A_1}$   
 $M_2 = \frac{F_2}{A_2}$   
 $M_3 = \frac{F_3}{A_3}$

8.  $M_1 = \frac{F_1}{A_1}$   
 $M_2 = \frac{F_2}{A_2}$   
 $M_3 = \frac{F_3}{A_3}$

9.  $M_1 = \frac{F_1}{A_1}$   
 $M_2 = \frac{F_2}{A_2}$   
 $M_3 = \frac{F_3}{A_3}$

10.  $M_1 = \frac{F_1}{A_1}$   
 $M_2 = \frac{F_2}{A_2}$   
 $M_3 = \frac{F_3}{A_3}$

**משוואות:**

1.  $M_1 = \frac{F_1}{A_1}$   
 $M_2 = \frac{F_2}{A_2}$   
 $M_3 = \frac{F_3}{A_3}$

2.  $M_1 = \frac{F_1}{A_1}$   
 $M_2 = \frac{F_2}{A_2}$   
 $M_3 = \frac{F_3}{A_3}$

3.  $M_1 = \frac{F_1}{A_1}$   
 $M_2 = \frac{F_2}{A_2}$   
 $M_3 = \frac{F_3}{A_3}$

4.  $M_1 = \frac{F_1}{A_1}$   
 $M_2 = \frac{F_2}{A_2}$   
 $M_3 = \frac{F_3}{A_3}$

5.  $M_1 = \frac{F_1}{A_1}$   
 $M_2 = \frac{F_2}{A_2}$   
 $M_3 = \frac{F_3}{A_3}$

6.  $M_1 = \frac{F_1}{A_1}$   
 $M_2 = \frac{F_2}{A_2}$   
 $M_3 = \frac{F_3}{A_3}$

7.  $M_1 = \frac{F_1}{A_1}$   
 $M_2 = \frac{F_2}{A_2}$   
 $M_3 = \frac{F_3}{A_3}$

8.  $M_1 = \frac{F_1}{A_1}$   
 $M_2 = \frac{F_2}{A_2}$   
 $M_3 = \frac{F_3}{A_3}$

9.  $M_1 = \frac{F_1}{A_1}$   
 $M_2 = \frac{F_2}{A_2}$   
 $M_3 = \frac{F_3}{A_3}$

10.  $M_1 = \frac{F_1}{A_1}$   
 $M_2 = \frac{F_2}{A_2}$   
 $M_3 = \frac{F_3}{A_3}$

**משוואות:**

1.  $M_1 = \frac{F_1}{A_1}$   
 $M_2 = \frac{F_2}{A_2}$   
 $M_3 = \frac{F_3}{A_3}$

2.  $M_1 = \frac{F_1}{A_1}$   
 $M_2 = \frac{F_2}{A_2}$   
 $M_3 = \frac{F_3}{A_3}$

3.  $M_1 = \frac{F_1}{A_1}$   
 $M_2 = \frac{F_2}{A_2}$   
 $M_3 = \frac{F_3}{A_3}$

4.  $M_1 = \frac{F_1}{A_1}$   
 $M_2 = \frac{F_2}{A_2}$   
 $M_3 = \frac{F_3}{A_3}$

5.  $M_1 = \frac{F_1}{A_1}$   
 $M_2 = \frac{F_2}{A_2}$   
 $M_3 = \frac{F_3}{A_3}$

6.  $M_1 = \frac{F_1}{A_1}$   
 $M_2 = \frac{F_2}{A_2}$   
 $M_3 = \frac{F_3}{A_3}$

7.  $M_1 = \frac{F_1}{A_1}$   
 $M_2 = \frac{F_2}{A_2}$   
 $M_3 = \frac{F_3}{A_3}$

8.  $M_1 = \frac{F_1}{A_1}$   
 $M_2 = \frac{F_2}{A_2}$   
 $M_3 = \frac{F_3}{A_3}$

9.  $M_1 = \frac{F_1}{A_1}$   
 $M_2 = \frac{F_2}{A_2}$   
 $M_3 = \frac{F_3}{A_3}$

10.  $M_1 = \frac{F_1}{A_1}$   
 $M_2 = \frac{F_2}{A_2}$   
 $M_3 = \frac{F_3}{A_3}$

פיתוח כתיבה ועריכה: דר' ירון דופלט - מפמ"ר מגמת הנדסת מכונות  
 מהדורת תשפ"ה 2025

## תוכן עניינים

3	<b>ריכוז נוסחאות בבקרת מערכות הנדסיות</b>
3	נוסחאות בלוגיקה
3	פעולות לוגיות
4	שערים לוגיים בסיסיים
4	שערים לוגיים מורכבים
5	אלגברה בוליאנית
6	כללי דה-מורגן
6	מפת קרנו? (Karnaugh map)
7	נוסחאות בבקרה
8	נוסחאות בהידראוליקה
10	<b>ריכוז נוסחאות: במכניקה הנדסית ((Engineering Mechanics</b>
10	סטטיקה (Statics)
11	סמכים (Supports) וכוחות תגובה (Reaction Forces)
11	ריכוז יחידות מידה עיקריות
12	תורת החוק (Strength Theory)
13	<b>תכן מכני ((Mechanical Design</b>
13	פינים
14	שגמים (Axle Keyways)
15	מסמרות (Rivets)
15	ריתוך - 838/819283
16	תכן מחברי מסמרות
17	גזירה רצויה
17	פיתול (Torsion)
18	כפיפה (Bending)
18	מאמצים משולבים
19	קריסה (Buckling)
20	מבוא למסמרות
21	ממסרת גלגלי שיניים (Tooth Gear Transmission) - 838/819283
22	ממסרת רצועה שטוחה (Flat Belt Drive) - 838/819283
23	ממסרת רצועה קרפית (Timing Belts) - 838/819283
26	מצמדים (Clutch and Couplings) - 838/819283
27	ברגי הידוק (Clamping screws) - 838/819283
28	ברגי הנעה (Drive Screws) - 838/819283
29	מיסבים (Bearings) - 838/819283
30	קפיץ לחיצה (Compression Spring) - 838/819283
31	קפיץ עלה - 838/819283
31	קפיץ מוט פיתול - 838/819283
32	<b>נספחים לבקרת מערכות הנדסיות</b>
32	נספח 1: דיאגרמת זמן-תנועה
33	נספח 2: דף הרגול לתלמיד: מערך פיקוד ודיאגרמת זמן תנועה לשתי בוכנות
34	נספח 3: מערך פיקוד לשלוש בוכנות
34	נספח 4: מפת קרנו
35	נספח 5: צמיגות
36	<b>נספחים לתכן מכני</b>
36	נספח 1: חומר, צפיפות, מאמץ כניעה ומודל אלסטיות
37	נספח 2 בחירת מימדי שגמים לפי קוטר גל נתון
37	נספח 3: שטח, היקף, מודול חתך ומומנט התמדה של שטחים בסיסיים
39	נספח 4: תברייגי הידוק מטריים ("ת" 665, Din 13)
40	נספח 5: דרגות חוזק (של חומר הבורג) שונות ומאמצים מקובלים
40	נספח 6: מומנטי הידוק מומלצים לברגים בדרגות חוזק שונות של חומר הבורג
41	נספח 7: מאמצי כניעה, מאמצים מותרים, וקשיות של פלדות ואלומיניום.
42	<b>מילון מושגים (א-ב)</b>

**הערה:** הנוסחאות עד עמוד 21 כוללות את מושגי הליבה לשאלונים 819/838-387/381 הנוסחאות בעמודים 22-32 עבור 819/838283

## ריכוז נוסחאות בבקרת מערכות הנדסיות

### נוסחאות בלוגיקה

**טבלת המרה כללית:**

עשרוני	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
בינארי	0	1	10	11	100	101	110	111	1000	1001	1010
עשרוני	20	30	40	50	60	70	80	90	100	500	1000
בינארי	10100	11110	101000	110010	111100	1000110	1010000	1011010	1100100	111110100	1111101000

במעבר מבסיס בינארי לעשרוני נשתמש בטבלה הבאה:

חזקות 2 (1,2,4,8,16,32,64,128,...)	
מספר בינארי נתון	תוצאה בסיס 10 (סכום החזקות שהן 1)

נשתמש בטבלה הנתונה לפי השלבים הבאים

- רשום חזקות 2.
- רשום מתחתם את המספר הבינארי הנתון.
- חבר את ערכי החזקות שמתחתם כתובות הספרות של המספר הבינארי.
- תוצאת הסכום הוא הערך העשרוני של המספר הבינארי שקיבלנו.

**פעולות לוגיות**

פעולת וגם:  $A \text{ and } B = A \times B$       פעולת או:  $A \text{ or } B = A + B$

את פעולת NOT מקובל לתאר בעזרת קו מעל למשתנה כלומר:  $A + \bar{A} = 1$ .

קיימים מספר שערים בסיסים בלוגיקה:

שער "כן" (Yes): מפסק כזה מוגדר "מפסק רגיל פתוח (N.O) - Normally Open".

שער "לא" (Not): מפסק חשמלי מסוג "מפסק רגיל סגור (N.C) - Normally Closed".

שער "וגם" (And): אות המוצא של השער יהיה שווה 1 אם קלט אחד וגם קלט שני יהיה 1.

שער "או" (Or): אות המוצא של השער יהיה שווה 1 אם אחד משני הקלטים של השער יהיה 1.

ניתן להבין מה יהיה המוצא של השער כאשר מנתחים את השפעת המבואות של השער על המוצא באמצעות טבלת אמת.

טבלת אמת של שני משתנים נראית כך:

מצב	A	B	$f(A,B)$	
0	0	0	1	$\Rightarrow \bar{A} \cdot \bar{B}$
1	0	1	1	$\Rightarrow \bar{A} \cdot B$
2	1	0	0	
3	1	1	1	$\Rightarrow A \cdot B$

אם נחבר את התוצאה המתקבלת מכל שורה (עבורה הפונקציה מקבלת ערך 1) נקבל את הפונקציה הבאה:

$$f(A, B) = \bar{A} \cdot \bar{B} + \bar{A} \cdot B + A \cdot B$$


**שערים לוגיים בסיסיים**

סימול תיקוני	טבלת אמת	מעגל חשמלי
--------------	----------	------------

	<table border="1"> <tr> <th>A</th> <th><math>\bar{Y}</math></th> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </table>	A	$\bar{Y}$	0	1	1	0	<p>שער NOT</p>									
A	$\bar{Y}$																
0	1																
1	0																
	<table border="1"> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th><math>Y=A \cdot B</math></th> </tr> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </table>	A	B	$Y=A \cdot B$	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	<p>שער AND</p>
A	B	$Y=A \cdot B$															
0	0	0															
0	1	0															
1	0	0															
1	1	1															
	<table border="1"> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th><math>Y=A+B</math></th> </tr> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </table>	A	B	$Y=A+B$	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	<p>שער OR</p>
A	B	$Y=A+B$															
0	0	0															
0	1	1															
1	0	1															
1	1	1															
	<table border="1"> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th><math>AB</math></th> </tr> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </table>	A	B	$AB$	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	<p>שער Exclusive Or- XOR</p>
A	B	$AB$															
0	0	0															
0	1	1															
1	0	1															
1	1	0															

שערים לוגיים מורכבים

	סימול תיקוני																				
<table border="1"> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th><math>A+B</math></th> <th><math>\overline{A+B}</math></th> </tr> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </table>	A	B	$A+B$	$\overline{A+B}$	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0	<p>שער NOR</p>
A	B	$A+B$	$\overline{A+B}$																		
0	0	0	1																		
0	1	1	0																		
1	0	1	0																		
1	1	1	0																		

<table border="1"> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th><math>A \cdot B</math></th> <th><math>\overline{A \cdot B}</math></th> </tr> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </table>				A	B	$A \cdot B$	$\overline{A \cdot B}$	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	<p style="text-align: center;"><b>שער NAND</b></p> 
A	B	$A \cdot B$	$\overline{A \cdot B}$																					
0	0	0	1																					
0	1	0	1																					
1	0	0	1																					
1	1	1	0																					

**אלגברה בוליאנית**

להלן פירוט של הכללים הבסיסיים של האלגברה הבוליאנית:

הביטוי הבוליאני	הכלל
$A + \overline{A} = 1$	כלל היפוך 1
$A \cdot \overline{A} = 0$	כלל היפוך 2
$\overline{\overline{A}} = A$	כלל השלילה הכפולה

$A+0=A$	$0=0 \cdot A$	כללי האפס:
$A+1=1$	$A=1 \cdot A$	כללי היחידה:
$A=A+A$	$A \cdot A=A$	כללי הכפילות:
$C \cdot B + A \cdot B + C = A \cdot A$	$(A+C) \cdot (C) = (A+B) \cdot A + (B$	כללי הפילוג:
$A+B=B+A$	$A \cdot B=B \cdot A$	כללי החילוף:
$C \cdot (B \cdot C) = (A \cdot B) \cdot A$	$A+(B+C)=(A+B)+C$	כללי הקיבוץ:

כללי צמצום:

$A+A \cdot B = A \cdot (1+B) = A \cdot 1 = A$	הוכחת כלל צמצום ראשון:
$A \cdot (A+B) = A \cdot A + A \cdot B = A + A \cdot B = A \cdot (1+B) = A \cdot 1 = A$	הוכחת כלל צמצום שני:
$A \cdot (\overline{A} + B) = A \cdot \overline{A} + A \cdot B = 0 + A \cdot B = A \cdot B$	הוכחת כלל צמצום שלישי:
$A + (\overline{A} \cdot B) = (A + \overline{A}) \cdot (A + B) = 1 \cdot (A + B) = A + B$	הוכחת כלל צמצום רביעי:

הוכחת כלל צמצום רביעי (נבצע בעזרת טבלת אמת):

הוכחת כלל צמצום רביעי					
$A + \overline{A} \cdot B$	A	$\overline{A}$	B	$\overline{A} \cdot B$	A+B
0	0	1	0	0	0
1	0	1	1	1	1
1	1	0	0	0	1
1	1	0	1	1	1

<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th><math>A</math></th> <th><math>B</math></th> <th><math>\overline{A + B}</math></th> <th><math>\overline{A} \cdot \overline{B}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	$A$	$B$	$\overline{A + B}$	$\overline{A} \cdot \overline{B}$	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	<p>כלל ראשון כלל היפוך OR או NOT OR ובקיצור NOR:</p>
$A$	$B$	$\overline{A + B}$	$\overline{A} \cdot \overline{B}$																		
0	0	1	1																		
0	1	0	0																		
1	0	0	0																		
1	1	0	0																		
<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th><math>A</math></th> <th><math>B</math></th> <th><math>\overline{A \cdot B}</math></th> <th><math>\overline{A} + \overline{B}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	$A$	$B$	$\overline{A \cdot B}$	$\overline{A} + \overline{B}$	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	<p>כלל שני כלל היפוך AND או NOT AND ובקיצור NAND:</p>
$A$	$B$	$\overline{A \cdot B}$	$\overline{A} + \overline{B}$																		
0	0	1	1																		
0	1	1	1																		
1	0	1	1																		
1	1	0	0																		

**מפת קרנו? (Karnaugh map)**

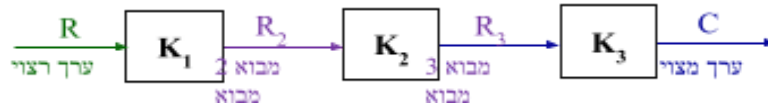
מפת קרנו - שיטה לצימצום פונקציה לוגית (בוליאנית), נקודת המוצא תהיה פונקציה שכל איבר בה מכיל את כל המשתנים של הפונקציה. פונקציה כזו נקראת בשם: "פונקציה קנונית".

## נוסחאות בבקרה

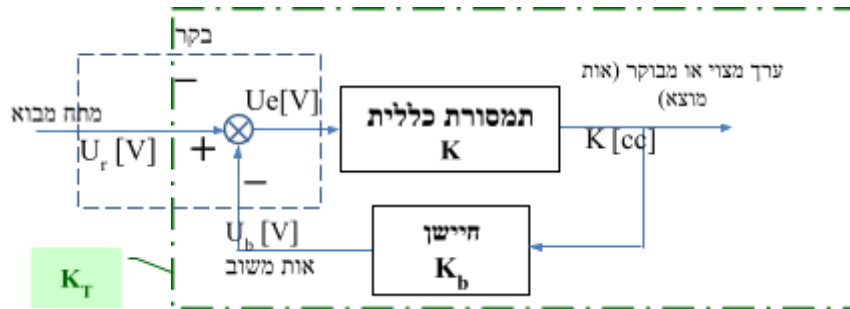


1. התמסורת של רכיב בודד:  $C = K \cdot R$

2. תמסורת חוג פתוח:  $K = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3$



3. יחסי תמסורת בחוג סגור (כאשר מתח מסומן באות U):



$U_b = K_b \cdot C$	3.1. חיישן: מנגנון הממיר אות מצוי, C, שהחיישן מודד לאות משוב, $U_b$ , שעובר למסכם שנמצא בבקר:
$K_T = \frac{C}{U_r} = \frac{K}{1+KK_b}$	3.2. יחס תמסורת, $K_T$ , של מערכת בחוג סגור:
$\frac{U_e}{U_r} = \frac{1}{1+KK_b}$	3.3. יחס התמסורת בין אות השגיאה, $U_e$ , לאות הרצוי, $U_r$ :

הערה: הגבר של חיישן מסומן בספר זה בסימון  $K_b$  (משוב Feedback) ולא בסימון H, שכן האות H שמורה למושג הספק.

בדרך כלל לפני מתח המבוא,  $U_r$ , קיים ממיר שתפקידו להמיר את הערך הרצוי, R, למתח רצוי,  $U_r$ . בדרך כלל בתוך הבקר, לאחר רכיב המסכם, יש מגבר שתפקידו להמיר את אות השגיאה,  $U_e$ , למתח מבוא,  $U_m$ , המפעיל מנוע (מדחס, או כל מנגנון אחר שמספק ערך כניסה למערכת).

4. נוסחאות לבקרה "מוגבר" (819283):

4.1. התגובה כפונקציה של הזמן,  $Y(t)$  לאילוף מדרגה D של תהליך, עם הגבר סטטי, K, וקבוע זמן,  $\tau$ , בעל פיגור מסדר ראשון:

$$Y(t) = K \cdot D \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \quad K = \frac{\Delta Y_0}{\Delta Y_i} \quad \Delta Y_i - \text{שינוי באילוף בתגובה} - \Delta Y_0$$

4.2. הזמן הדרוש למערכת להגיע לתגובה  $Y(t)$ , בתהליך בעל קבוע זמן  $\tau$ :

$$t = \tau \cdot \ln \ln \left[ \frac{Y(\infty) - Y(0)}{Y(\infty) - Y(t)} \right]$$

נוסחאות בהידראוליקה

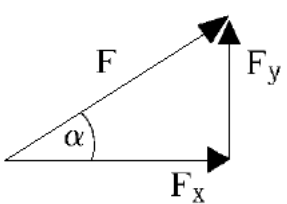
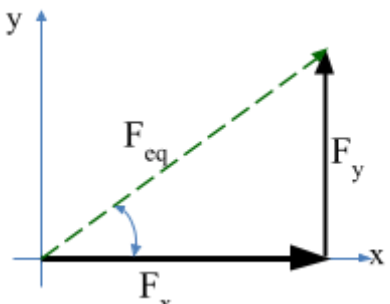
$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$	<p>1. <b>שטח חתך</b> (Area), A, של עיגול בעל קוטר, D:</p>
$Q \left[ \frac{m^3}{sec} \right] = \frac{V[m^3]}{t[sec]}$	<p>2. הגדרת <b>הספיקה</b> (Quantity), Q, כנפח (Volume), V, הזורם, בזמן (time), t:</p>
$Q \left[ \frac{m^3}{sec} \right] = v \left[ \frac{m}{sec} \right] A [m^2]$	<p>3. <b>ספיקה</b>, Q, היא מכפלה של מהירות (velocity), v הזורם דרך שטח, A, ב:</p>
$Q_{in} = Q_{out} \rightarrow v_{in} A_{in} = v_{out} A_{out}$	<p>4. <b>משוואת הרציפות</b>:</p>
$F[N] = p \left[ \frac{N}{m^2} \right] A [m^2]$ $\left[ \frac{N}{m^2} \right] = Pascal = Pa$	<p>5. <b>הכוח</b> (Force), F, שווה למכפלה של <b>לחץ</b> (Pressure) בשטח החתך, A:</p>
<p>1[bar] = 10<sup>5</sup> [Pa] = 0.987[atm] = 14.5 [P.S.I.]      P.S.I. = Pound Square Inch = <math>\frac{Pound}{Inch^2}</math></p> <p>14.5 <math>\frac{Pound}{inch^2} = \frac{14.5 \cdot 4.45N}{0.000645m^2} = \frac{64.52N}{0.000645m^2} = 100,000 \frac{N}{m^2}</math>      1Pound force = 4.45N</p> <p>14.5 P.S.I. = 100,000 <math>\frac{N}{m^2} = 10^5 Pa \approx 1atm</math>      1Inch = 0.0006452m<sup>2</sup></p>	
$m[Kg] = \left[ \frac{Kg}{m^3} \right] \cdot V [m^3]$ <p>מסה היא כמות החלקיקים הצפופים בנפח</p>	<p>6. <b>מסה</b> (mass), m, שווה למכפלה של <b>צפיפות</b> (Density), ρ, בנפח (Volume):</p>
$\gamma \left[ \frac{N}{m^3} \right] = \left[ \frac{Kg}{m^3} \right] \cdot g \left[ \frac{m}{sec^2} \right] \quad g = 9.81 \frac{m}{sec^2}$	<p>7. <b>משקל סגולי</b>, γ, הוא מכפלה של הצפיפות בתאוצת הכובד, g:</p>
<p>8. <b>צמיגות</b> דינמית, <math>k \left[ \frac{N \cdot sec}{m^2} \right]</math></p> $k \left[ \frac{N \cdot sec}{m^2} \right] \rightarrow N \cdot \frac{sec}{m^2} = \left[ \frac{kg \cdot m}{sec^2} \right] \cdot \frac{sec}{m^2} = \left[ \frac{kg \cdot m \cdot sec}{sec^2 \cdot m^2} \right] = \left[ \frac{Kg}{sec \cdot m} \right]$ <p>9. <b>צמיגות קינמטית</b>, <math>\left[ \frac{m^2}{sec} \right]</math>, <math>k \left[ \frac{N \cdot sec}{m^2} \right] = \rho \left[ \frac{kg}{m^3} \right] \cdot \left[ \frac{m^2}{sec} \right] \rightarrow \left[ \frac{kg}{m^3} \right] \cdot \left[ \frac{m^2}{sec} \right] = \left[ \frac{kg \cdot m^2}{m^3 \cdot sec} \right] = \left[ \frac{Kg}{sec \cdot m} \right] : \left[ \frac{m^2}{sec} \right]</math></p> <p>הוכחנו שהצמיגות (Viscosity) הדינמית, μ (זאת אות יוונית שנקראת מיו), שווה למכפלה של הצמיגות הקינמטית, ν (זאת אות יוונית שנקראת ני), בצפיפות הזורם, ρ (רו).</p>	
$F[N] = k \left[ \frac{N \cdot sec}{m^2} \right] \cdot A [m^2] \cdot \frac{\Delta v \left[ \frac{m}{sec} \right]}{\Delta h [m]}$	<p>10. הכוח הנדרש להזרים זורם שווה למכפלת הצמיגות בשטח החתך ובמנה של הפרש המהירויות בעובי שכבת הזורם:</p>

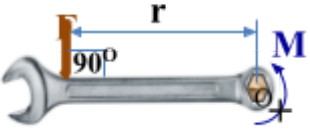


	<p>11. מספר ריינולדס: מספר המאפיין את סוג הזרימה של הזורם.</p>
	<p>1. זרימה למינרית: <math>Re &lt; 2300</math>          2. זרימה לא למינרית, זרימת מעבר: <math>2300 &lt; Re &lt; 4000</math>          3. זרימה עירבולית (יש הקוראים לה טורבולנטית): <math>Re &gt; 4000</math></p>
$h + \frac{v^2}{2g} + \frac{P}{\gamma} = Constant$ <p>גובה הנקודה, h, בה מודדים את הלחץ מעל פני ציר ייחוס מסוים (בדרך כלל הקרקע)</p>	<p>12. חוק ברנולי (בהזנחת הצמיגות):</p>
$h_A + \frac{v_A^2}{2g} + \frac{P_A}{\gamma} = h_B + \frac{v_B^2}{2g} + \frac{P_B}{\gamma}$	<p>13. משוואת ברנולי בין שתי נקודות:</p>
<p>המתח שווה למכפלת הזרם בהתנגדות <math>U = I \cdot R</math></p> <p><b>אמפר = וולט × אוהם</b> <math>Volt = Ampere \times \Omega</math></p>	<p>14. חוק אוהם:</p>
	<p>15. הספק מופק (<math>H_{Out}</math>) שווה למכפלה של ההספק המושקע (<math>H_{In}</math>) בבנצילות (האות היוונית אתה) <math>\eta</math></p>
$H_v [Watt] = F[N] \cdot v \left[ \frac{m}{sec} \right] \rightarrow Watt = \frac{N \cdot m}{sec}$	<p>16. הספק מכני בתנועה קווית:</p>
$H_l [Watt] = U[Volt] \cdot I[Ampere] \rightarrow$ $\rightarrow \frac{N \cdot m}{Coulomb} \cdot \frac{Coulomb}{sec} = \frac{N \cdot m}{sec} = Watt$	<p>17. הספק חשמלי: <math>Ampere = \frac{Coulomb}{sec}</math></p> $Volt = \frac{Joul}{Coulomb} = \frac{N \cdot m}{Coulomb}$
$H_n [W] = M[N \cdot m] \cdot n \left[ \frac{Rounds}{Min} \right]$ $\left[ \frac{N \cdot m}{\frac{60}{2\pi} sec} \right] = \left[ \frac{N \cdot m}{\frac{60}{6.28} sec} \right] = \left[ \frac{N \cdot m}{9.55 sec} \right]$ $H_n [W] = \frac{M[N \cdot m] \cdot n [R.P.M.]}{9.55}$	<p>18. הספק מכני בתנועה סיבובית:</p> <p>R.P.M. = Revolutions Per Minute</p> $N \cdot m \cdot \left[ \frac{2 \cdot \pi}{60 sec} \right] = N \cdot m \cdot \left[ \frac{6.28}{60 sec} \right]$ $H[kW] = \frac{M[N \cdot m] \cdot n [R.P.M.]}{9550}$

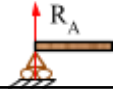
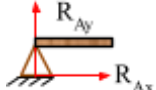
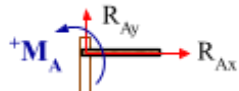
$H_Q[W] = \Delta P \left[ \frac{N}{m^2} \right] \cdot Q \left[ \frac{m^3}{sec} \right] \rightarrow W = \frac{N \cdot m}{sec}$	19. הספק בזרימה ( $\Delta P$ ) הפרש הלחצים בין הנקודות ביניהן מתבצעת הזרימה):
$H_Q = \frac{\Delta P \cdot Q}{\eta}$	20. הספק של משאבה ( $\eta$ - נצילות):
$Q_n \left[ \frac{m^3}{sec} \right] = n \left[ \frac{Round}{sec} \right] \cdot C \left[ \frac{m^3}{Round} \right]$	21. ספיקת משאבה כתלות בהדחק המשאבה, C, ומהירות הסיבוב, n:

**ריכוז נוסחאות: במכניקה הנדסית (Engineering Mechanics) סטטיקה (Statics)**

1. הגדרת המסה (Mass):				
מסה	=	צפיפות	×	נפח
m	=	$\rho$	•	V
Kg	=	$\frac{Kg}{m^3}$	•	$m^3$
2. כוח הכבידה (Gravity):				
כבידה	=	מסה	×	תאוצת כובד
G	=	m	•	g
N	=	Kg	•	$\frac{m}{sec^2}$
3. רכיבי הכוח:				
	$(F_x = F \cdot \cos(\alpha)$		רכיב הכוח בכיוון ציר x	
	$(F_y = F \cdot \sin(\alpha)$		רכיב הכוח בכיוון ציר y	
4. עוצמת הכוח השקול של מספר כוחות וכיוון הכוח השקול (F <sub>eq</sub> ):				
				

	$F_{Eq} = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$	עוצמת השקול
	$\sin(\gamma) = \frac{F_y}{F_{Eq}}$	כיוון השקול
	מומנט, M, שווה למכפלה של זרוע, r, (מרחק בין ציר הסיבוב למקום הפעלת הכוח) בעוצמת הכוח, F. $[M[mN] = r[m] \cdot F[N]$	מומנט: בתעשייה מקובל [M[Nm]
$\Sigma F_x = 0 \quad \Sigma F_y = 0 \quad \Sigma M_o = 0$	5. משוואות שיווי משקל:	
6. מרכז כובד של חלק העשוי מחומרים בעלי צפיפויות שונות		
$x_{F_{Eq}} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot A_{xy_i}}{\sum_{i=1}^n A_{xy_i}}$	$y_{F_{Eq}} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i \cdot A_{xy_i}}{\sum_{i=1}^n A_{xy_i}}$	
7. מרכז כובד של חלק מחומר אחד		
$x_c = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n A_i}$	$y_c = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \cdot y_i}{\sum_{i=1}^n A_i}$	

### סמכים (Supports) וכוחות תגובה (Reaction Forces)

שם הסמך	סמל וכוחות תגובה	מספר משוואות נדרש
סמך נייך		$\Sigma F_y = 0$
סמך נייח		$\Sigma F_x = 0$ וגם $\Sigma F_y = 0$ או $\Sigma M_A = 0$
ריתום		$\Sigma F_x = 0 \quad \Sigma F_y = 0 \quad \Sigma M_o = 0$

### ריכוז יחידות מידה עיקריות

גודל	אנגלית	סימול	יחידת מידה	המרת יחידות	נוסחה
------	--------	-------	------------	-------------	-------

1Hour = 60Min = 3,600Sec	sec	t	Time	זמן
$v = a \cdot t$	$\frac{m}{sec}$	$v$ האות v קטנה	Velocity	מהירות
1m = 100cm = 1,000mm $x = v_0 \cdot t + \frac{a \cdot t^2}{2}$ $x = v t$	m	x	Distance	מרחק
תאוצת הכובד - $g = 9.80665 \frac{m}{sec^2} \sim 9.81 \frac{m}{sec^2} \sim 10 \frac{m}{sec^2}$	$\frac{m}{sec^2}$	a	Acceleration	תאוצה
$m^2 = 10^4 cm^2 = 10^6 mm^2$ 1	m <sup>2</sup>	A	Area	שטח
$m^3 = 10^6 cm^3 = 10^9 mm^3$ 1	m <sup>3</sup>	V	Volume	נפח
משקל סגולי: $\left[ \frac{N}{m^3} \right] = \left[ \frac{Kg}{m^3} \right] g \left[ \frac{m}{sec^2} \right]$	$\frac{Kg}{m^3}$	$\rho$ (האות היוונית ר)	Density	צפיפות
1Ton = 1,000Kg    1Kg = 1,000Gr	Kg	m	Mass	מסה
1kN = 10 <sup>3</sup> N =    1N = $1 \frac{Kg \cdot m}{sec^2}$ 1,000N	N	F	Force	כוח
M=r.F    1Nm = 1,000Nmm	Nm	M	Moment	מומנט
$v = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60,000}$ $\left[ \frac{Round}{Min} \right] = \left[ \frac{Round}{60sec} \right]$	.R.P.M	n	Rotational velocity	מהירות סיבוב
$[\sigma_v] = [S] \cdot [\sigma_t]$	MPa	$\sigma_v$	Yield stress	מאמץ כניעה
$F = \sigma_t \cdot A_t$ $1MPa = 1 \cdot 10^5 \frac{N}{mm^2}$	MPa	$\sigma_t$	Tension stress	מאמץ מתיחה
$\frac{\sigma_v}{[S]} = [\sigma_t]$	MPa	$[\sigma_t]$	Allowable stress	מאמץ מותר
$[\sigma_s] = 0.6 \cdot [\sigma_t \tau]$ $\frac{F}{A_s} \leq [\tau_s] = \tau$	MPa	$\tau_s$	Shear stress	מאמץ גזירה
$[\sigma_b] = 2 \cdot [\sigma_t]$ $\frac{M_b}{Z_x} \leq [\sigma_b] \sigma_b =$	MPa	$\sigma_b$	Bending stress	מאמץ בכפיפה
$[\sigma_{lc}] = 1.2 \cdot [\sigma_t]$ $\frac{F}{A_{lc}} \leq [\sigma_{lc}] \sigma_{lc} =$ $\frac{N}{m^2}$	$\frac{N}{m^2}$	$\sigma_{lc}$	Local compression stress	מאמץ מעיכה
$[\sigma_t] = 0.7 \cdot [\tau_t]$ $\tau_t = \frac{M_t}{Z_o} \leq [\tau_t]$	MPa	$\tau_t$	Torsion stress	מאמץ בפיתול
	MPa	$\sigma_{uts}$	Ultimate Tensile Stress	מאמץ קיצון (מקסימלי)

תורת החוזק (Strength Theory)

1. הגדרת מאמץ מתיחה (Tension):				
שטח	×	מאמץ מתיחה	=	כוח
A	•	$\sigma_t$	=	F
$m^2$	•	$\frac{N}{m^2}$	=	N
2. היקפים ושטחים בסיסיים:				
היקף מעגל		היקף ריבוע		היקף מלבן
Perimeter = $\pi d$		Perimeter = 4a		Perimeter = 2a + 2b
רוחב	•	אורך	=	שטח מלבן
a	•	a	=	A
		ריבוע הצלע	=	שטח ריבוע
		$a^2$	=	A
שטח עיגול		שטח טבעת		$A = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4}$
$A = \frac{\pi d^2}{4}$				
3. התארכות $\Delta L$ ועיבור $\epsilon$ (התארכות יחסית) במתיחה:				
אורך התחלתי	-	אורך סופי	=	התארכות
$L_0$	-	$L_1$	=	$\Delta L$
אורך התחלתי		התארכות יחסית		התארכות
$L_0$	•	$\epsilon$	=	$\Delta L$
4. מודול יאנג - E:				
התארכות יחסית		מודל אלסטיות		מאמץ מתיחה
$\epsilon$	•	E	=	$\sigma_t$
%		MPa		MPa
$\frac{F}{A} = E \frac{L}{L_0}$		$= \frac{L}{L_0}$		$\sigma_t = E \cdot \epsilon$
$L = \frac{FL_0}{EA}$		$r = \frac{F}{A}$		$FL_0 = E \cdot A \cdot L$
5. הגדרת מאמץ כניעה כמכפלה של מקדם בטיחות במאמץ שמותר להפעיל על החומר				
מאמץ מותר		מקדם בטיחות		מאמץ כניעה
$[\sigma_t]$	•	[S]	=	$\sigma_y$
6. תנאי חוזק למתיחה				
$[\sigma_t] = \frac{\sigma_y}{[S]}$		$A_t \geq \frac{F}{[\sigma_t]}$		קיים $\sigma_t = \frac{F}{A_t} \leq [\sigma_t]$
7. תנאי חוזק לגזירה				
$[s] = \frac{0.6 \cdot \sigma_y}{[S]}$		$A_s \geq \frac{F}{[s]}$		קיים $s = \frac{F}{A_s} \leq [s]$

**תכן מכני (Mechanical Design)**

בכל מקרי התכנון המכני (תכן מכני – Mechanical Design) בהם ידוע סוג החומר ניתן למצוא את מאמצי הכניעה עבור חומרים שונים, מתוך נספח מאמצים, ולחשב את המאמצים המותרים.

$[\sigma_b] = \frac{1.2 \cdot \sigma_y}{[S]}$ כפיפה:	$[\tau_t] = \frac{0.7 \cdot \sigma_y}{[S]}$ פיתול:	$[\sigma_{LC}] = \frac{2 \cdot \sigma_y}{[S]}$ מעיכה:	$[\tau_s] = \frac{0.6 \cdot \sigma_y}{[S]}$ גזירה:	$[\sigma_t] = \frac{\sigma_y}{[S]}$ מתיחה/לחיצה:
--	--	---	--	--

התכן המכני מחולק לשלושה סוגים: תכן לפי תכונות החומר הנתונות, תכן לפי העומס המרבי שניתן להפעיל על החלק, ותכן לפי מידות החלק הרצויות

**פינים**

1. תכן לפי תכונות החומר הנתונות: מאמץ כניעה, מקדם בטיחות, מאמץ מותר לתכנון. בעיות מהסוג הזה יוצאות מההנחה שמידות החלק נתונות, העומס נתון ואנו נדרשים לבדוק האם המאמץ שנוצר אינו גדול מהמאמץ המותר שמוגדר על-ידי מאמץ הכניעה של החומר ומקדם הבטיחות שהמתכנן קובע.

א. תחילה מחשבים מאמץ מותר	א. חישבו שטחי גזירה ומעיכה	א. מחשבים מאמץ גזירה קיים	א. 4 בודקים שהמאמץ הקיים קטן מהמאמץ המותר
$[\tau_s] = \frac{0.6 \cdot \sigma_y}{[S]}$	$A_s = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$	$\sigma_s = \frac{F}{A_s}$ קיים	$\sigma_s \leq [\tau_s]$ קיים
$[\sigma_{LC}] = \frac{2 \cdot \sigma_y}{[S]}$	$A_{LC} = dt$	$\sigma_{LC} = \frac{F}{A_{LC}}$ קיים	$\sigma_{LC} \leq [\sigma_{LC}]$ קיים

2. תכן לפי העומס המרבי שניתן להפעיל על החלק. בבעיות מסוג זה דרוש למצוא את העומס (כוח או מומנט) המרבי שמותר להפעיל על החלק כאשר נתונים המאמץ המותר והמידות של החלק. אם לא נתון המאמץ המותר אז יהיו נתונים מאמץ הכניעה של החומר ומקדם הבטיחות. ניתן לדעת את מאמץ הכניעה של חומר מסוים לפי הסימול של החומר בטבלת התקן. מוצאים את סמל החומר בטבלת התקן ומוציאים את הנתון לגבי מאמץ הכניעה.

ב. תחילה מחשבים את הכוח המקסימלי שניתן להפעיל:	ב. ואז בודקים שהכוח המקסימלי שחישבנו מהגזירה לא יגרום למעיכה:
$F_{max} \leq [\tau_s] \cdot A_s$	$\sigma_{LC} = \frac{F_{max}}{A_{LC}} \leq [\sigma_{LC}]$

3. תכן לפי מידות החלק הרצויות: בבעיות אלו נדרש לקבוע את מידות החלק (שטח החתך) לפי העומס והמאמץ המותר הנתונים.

ג. תחילה מחשבים את קוטר הפין המינימלי מתוך תנאי החוזק לגזירה:	ג. ואז בודקים שקוטר הפין המינימלי שבחרנו יתאים גם למעיכה:
$s = \frac{F}{A_s} \leq [\tau_s] \rightarrow A_s \geq \frac{F}{[\tau_s]} \rightarrow \frac{\pi \cdot d^2}{4} \geq \frac{F}{[\tau_s]} \rightarrow d \geq \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi \cdot [\tau_s]}}$	$\sigma_{LC} = \frac{F_t}{A_{LC}} \leq [\sigma_{LC}] \rightarrow \frac{F_t}{dt}$

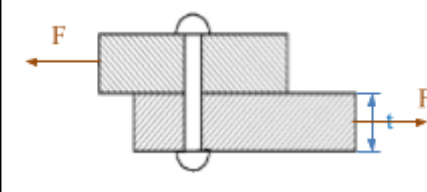
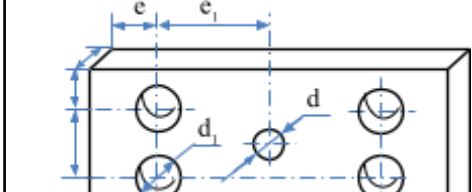
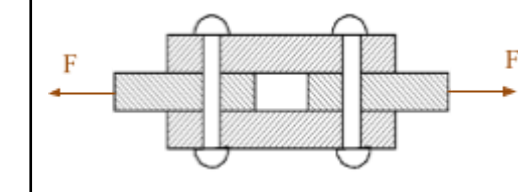
**סגמים (Axle Keyways)**

נוסחאות לשימוש בכל סוג		סוג התכנ המכני
<p>1. <math>\tau_s = \frac{F}{A_s}</math>      2. <math>[\tau_s] = 0.6 \frac{\sigma_y}{ S }</math>      3. <math>\tau_s \leq [\tau_s]</math></p> <p style="text-align: center;">בדיקה האם המאמץ הקיים קטן או שווה למאמץ הגזירה המותר</p>		<p>1. בדיקה האם המאמץ הקיים קטן מהמאמץ המותר נתונים:</p> <p>1. עומס: F</p> <p>2. מימדי השגם ממנו ניתן לחשב את שטח החתך.</p>
2. ידוע קוטר המסמרה ונדרש לקבוע את העומס המקסימלי מתוך תנאי החוזק לגזירה ומעיכה:		
$\tau_s = \frac{F}{A_s} \leq [\tau_s] \quad F \leq A_s \cdot [\tau_s] \quad F \leq b \cdot l \cdot [\tau_s]$	$A_s = b \cdot l$	<p>תנאי חוזק לגזירה:</p> <p>בנוסחת השטח אורך השגם, l, ואת רוחב השגם, b, מוציאים לפי קוטר הגל מתקן שגמים.</p>
$\sigma_{LC} = \frac{F}{A_{LC}} \leq [\sigma_{LC}] \quad F \leq A_{LC} \cdot [\sigma_{LC}] \quad F \leq \frac{h}{2} \cdot l \cdot [\sigma_{LC}]$	$A_{LC} = \frac{h}{2} \cdot l$	<p>תנאי החוזק למעיכה:</p> <p>בנוסחת השטח את גובה השגם, h, מוציאים לפי קוטר הגל מתקן שגמים.</p>
בוחרים את הכוח הקטן מבין שתי התוצאות שחושבו והוא יהיה הכוח המירבי שהמסמרות מסוגלות לשאת.		
3. ידוע העומס החיצוני, וקוטר הגל. נדרש להוציא את מידות חתך השגם מתקן שגמים ולחשב את אורך השגם המזערי מתוך תנאי החוזק לגזירה ומעיכה:		
$\tau_s = \frac{F}{A_s} \leq [\tau_s] \quad \frac{F}{b \cdot l} \leq [\tau_s] \quad l \geq \frac{F}{b \cdot [\tau_s]}$		תנאי חוזק לגזירה:
$\sigma_{lc} = \frac{F}{A_{lc}} \leq [\sigma_{lc}] \quad \frac{2 \cdot F}{h \cdot l} \leq [\sigma_{lc}] \quad l \geq \frac{2 \cdot F}{h \cdot [\sigma_{lc}]}$		תנאי החוזק למעיכה:

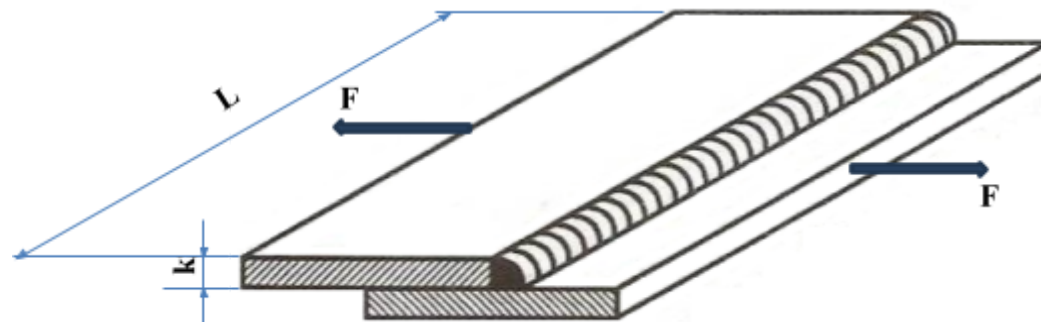
בוחרים את האורך הגדול יותר מבין שתי התוצאות שחושבו והוא יהיה האורך המינימלי |.

מקובל לרכוש שגם באורך  $L$  לפי החישוב:  $L = | + b$

סמרות (Rivets)


		
מחבר חפייה	מחבר השקה	מחבר חפייה
<p>מידות מומלצות</p> $D = (1.8 - 2.2)t \quad d_1 = d + \Delta d \quad \rho = 3d - 6d$ $e = 1.5d \quad d < 10\text{mm} \rightarrow \Delta d = 0.5\text{mm}$ $e_1 = 2d \quad d > 10\text{mm} \rightarrow \Delta d = 1\text{mm}$		

ריתוך - 838/819283



חישוב האורך L הדרוש לתפרי הריתוך.

$$a = \sqrt{2k^2}$$

$$\delta = \frac{a}{2} = 0.707k$$


מאמץ גזירה בריתוך ( $\tau_w$ , Welding):  $[\tau_s] = 0.65 \frac{\sigma_y}{[S]}$

$$\tau_w = \frac{F}{A} \leq [\tau_w] \rightarrow A \geq \frac{F}{[\tau_w]} \rightarrow 0.707 \cdot k \cdot L \geq \frac{F}{[\tau_w]} \rightarrow L \geq \frac{F}{0.707 \cdot k \cdot [\tau_w]}$$

נוסחאות לשימוש בכל סוג		סוג התכן המכני
$1. \tau_s = \frac{F}{A_s}$ $2. [\tau_s] = 0.6 \frac{\sigma_y}{[S]}$ $3. \tau_s \leq [\tau_s]$ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;">                     בדיקה האם המאמץ הקיים קטן או שווה למאמץ הגזירה המותר                 </div>	1. בדיקה האם המאמץ הקיים קטן מהמאמץ המותר נתונים: 1. עומס: F 2. שטח החתך – A או המידות של שטח החתך של החלק מהן ניתן לחשב את השטח.	
2. ידוע קוטר המסמרה ונדרש לקבוע את העומס המקסימלי מתוך תנאי החוזק לגזירה ומעיכה:		
$\tau_s = \frac{F}{A_s} \leq [\tau_s] \quad F \leq A_s \cdot [\tau_s] \quad F \leq \frac{\pi d^2}{4} i n [\tau_s]$	$A_s = \frac{\pi d^2}{4} i n$	תנאי חוזק לגזירה: בנוסחאות מספר המסמרות הוא: i ומספר שטחי הגזירה (אלו השטחים במסמרה בין המשטחים המחוברים) הוא: n
$\sigma_{lc} = \frac{F}{A_{lc}} \leq [\sigma_{lc}] \quad F \leq A_{lc} \cdot [\sigma_{lc}] \quad F \leq i d t [\sigma_{lc}]$	$A_{lc} = i t d$	תנאי החוזק למעיכה: עובי המשטח הממוסמר: t
בוחרים את הכוח הקטן מבין שתי התוצאות שחושבו והוא יהיה הכוח המירבי שהמסמרות מסוגלות לשאת.		
3. ידוע העומס החיצוני ונדרש לחשב את קוטר המסמרה מתוך תנאי החוזק לגזירה ומעיכה:		
$\tau_s = \frac{F}{A_s} \leq [\tau_s] \quad A_s \geq \frac{F}{[\tau_s]} \quad \frac{\pi d^2}{4} i n \geq \frac{F}{[\tau_s]} \quad d \geq \sqrt{\frac{4 F}{\pi i n [\tau_s]}}$		תנאי חוזק לגזירה:
$\sigma_{lc} = \frac{F}{A_{lc}} \leq [\sigma_{lc}] \quad A_{lc} \geq \frac{F}{[\sigma_{lc}]} \quad i d t \geq \frac{F}{[\sigma_{lc}]} \quad d \geq \frac{F}{i t [\sigma_{lc}]}$		תנאי החוזק למעיכה:
$\sigma_t = \frac{F_n}{(b-i \cdot d) \cdot t} \leq [\sigma_t]$		4. בדיקת החלקים המתחברים למאמץ מתיחה

5. בדיקת החלקים המתחברים למאמץ גזירה

$$\tau_s = \frac{F}{2 \cdot (e - \frac{d}{2}) \cdot t \cdot i} \leq [\tau_s]$$

בוחרים את הקוטר הגדול יותר מבין שתי התוצאות שחושבו והוא יהיה קוטר המסמרה המינימלי שעדיין יבטיח שהמחבר יעמוד בעומסים החיצוניים.

## גזירה רצויה

זהו תהליך ייצור בו אנחנו רוצים שהמכשש יוריד מקב שיגרום לגזירת צורה מסוימת מחומר הגלם.

$$F_{max} \geq \sigma_{UTS} \cdot A_s \quad \text{כוח הניקוב מחושב לפי מכפלת מאמץ הקיצון בשטח הגזירה לפי הנוסחה:}$$

## פיתול (Torsion)

1. סוג תכן ראשון	2. סוג תכן שני	3. סוג תכן שלישי
$Z_o = \frac{d^3}{16} \rightarrow \tau_{max} = \frac{M_t}{Z_o}$	$M_t \leq [\tau] \cdot Z_o$	$[\tau_t] = 0.7 \frac{\sigma_y}{[S]} \quad Z_o \geq \frac{M_t}{[\tau]}$
<b>מציאת המאמץ הקיים:</b> כשנתונים: מידות החלק ומומנט הפיתול שפועל עליו	<b>מציאת המומנט המקסימלי:</b> המומנט שמותר להפעיל על החלק כשנתונים: המאמץ המותר ומידות החלק	<b>מציאת מידות החלק:</b> כשנתונים: מאמץ הכניעה של החומר ומומנט הפיתול שפועל עליו
4. אם מומנט הפיתול אינו נתון לנו אך נתונים ההספק ומהירות הסיבוב של החלק שמסתובב אז:		
$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60,000} \rightarrow n = \frac{60,000 \cdot v}{\pi \cdot D}$	$M[N \cdot mm] = \frac{9,550,000 \cdot H[KW]}{n[r.p.m]}$	$M[N \cdot m] = \frac{9,550 \cdot H[KW]}{n[r.p.m]}$
5. חישוב המומנט אם נתון הכוח ההיקפי/משיקי		$M_t = \frac{d}{2} \cdot F_t$

6. בסוג התכן השלישי מומלץ למצוא את קוטר הגל הנתון לפיתול באמצעות הנוסחה הבאה:

$Z_o \geq \frac{M_t}{[\tau_t]} \rightarrow d \geq \sqrt[3]{\frac{16 \cdot M_t}{[\tau_t]}}$	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>[\tau_t]</math>[MPa] – מאמץ גזירה בפיתול</li> <li><math>[M_t]</math>[N · mm] – מומנט הפיתול (Torque)</li> <li><math>[d]</math>[mm] – קוטר הגל</li> <li><math>[Z_o]</math>[mm<sup>3</sup>] – מודול חתך צירי</li> </ul>
--	--

7. אם לחלק המסתובב יש שטח חתך טבעתי אז מודול החתך הצירי בפיתול הוא:

$$\alpha = \frac{d}{D} \quad \text{כאשר:} \quad Z_o = \frac{\pi \cdot D^3 \cdot (1 - \alpha^4)}{16}$$

8. העיווי בפיתול:

$\phi[rad] = \frac{M_t \cdot L}{G \cdot I_o}$	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>[\phi]</math>[rad] – העיווי – זווית הפיתול</li> <li><math>[M_t]</math>[N · mm] – העומס – מומנט הפיתול</li> <li><math>[L]</math>[mm] – אורך התחלתי של החלק</li> <li><math>[G]</math>[MPa] – מודול האלסטיות לגזירה</li> <li><math>[I_o]</math>[mm<sup>4</sup>] – מומנט האינרציה הקוטבי</li> </ul>
$\phi[^\circ] = \phi[rad] \cdot \frac{180}{\pi}$	זווית הפיתול $\phi$ מחושבת לפי הנוסחה האחרונה ברדיאנים. כדי לקבל את זווית הפיתול במעלות יש לבצע המרת יחידות:
$\phi[^\circ] = \frac{180}{\pi} \cdot \frac{M_t \cdot L}{G \cdot I_o}$	כלומר, הנוסחה לחישוב זווית הפיתול תקבל את צורתה הזאת:
$I_o = \frac{\pi \cdot d^4}{32}$	מומנט אינרציה קוטבי לחתך עגול

## כפיפה (Bending)

1. סוג תכן ראשון	2. סוג תכן שני	3. סוג תכן שלישי
$Z_x = \frac{d^3}{32} \rightarrow \sigma_{b_{max}} = \frac{M_b}{Z_x}$	$Z_x \cdot [\sigma_b] \geq M_b$	$[\sigma_b] = \frac{1.2 \cdot \sigma_y}{[S]} \quad Z_x \geq \frac{M_b}{[\sigma_b]}$
<b>מציאת המאמץ הקיים:</b> כשנתונים: מידות החלק ומומנט הפיתול שפועל עליו	<b>מציאת המומנט המקסימלי:</b> המומנט שמותר להפעיל על החלק כשנתונים: המאמץ המותר ומידות החלק	<b>מציאת מידות החלק:</b> כשנתונים: המאמץ המותר של החומר ומומנט הפיתול שפועל עליו

4. בסוג התכן השלישי מומלץ למצוא את קוטר הגל הנתון לפיתול באמצעות הנוסחה הבאה:

$$Z_x \geq \frac{M_b}{[\sigma_b]} \rightarrow \frac{d^3}{32} \geq \frac{M_b}{[\sigma_b]} \rightarrow d^3 \geq \frac{32M_b}{[\sigma_b]} \rightarrow d \geq \sqrt[3]{\frac{32M_b}{[\sigma_b]}}$$

5. אם לחלק המסתובב יש שטח חתך טבעתי אז מודול החתך הצירי בפיתול הוא:

$$\alpha = \frac{d}{D} \quad \text{כאשר: } Z_o = \frac{\pi \cdot D^3 \cdot (1 - \alpha^4)}{16}$$

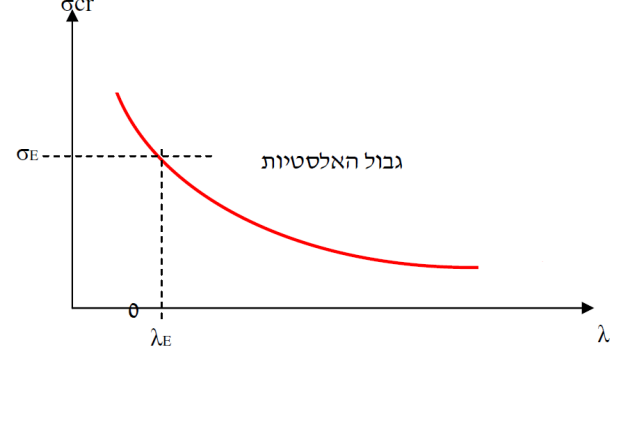
6. העיווי כפיפה:

$y_f = \frac{F \cdot L^3}{3E \cdot I} = \left[ \frac{N \cdot mm^3}{\frac{N}{mm^2} \cdot mm^4} \right] = mm$	[φ]rad – העיווי – שקיעה [F]N – הכוח שיוצרים כפיפה [L]mm – אורך הקורה [E]MPa – מודול האלסטיות [I]mm <sup>4</sup> – מומנט אינרציה צירי
$y_f = \frac{F \cdot a}{24 \cdot E \cdot I} \cdot (3 \cdot L^2 - 4 \cdot a^2)$	שקיעת קורה כאשר מופעלים שני כוחות במרחק שווה (a) מהסמכים
$I_{xx} = \frac{\pi \cdot d^4}{64}$	מומנט אינרציה צירי לחתך עגול
$I_{xx} = \frac{b \cdot h^3}{12}$	מומנט אינרציה צירי לחתך מלבני

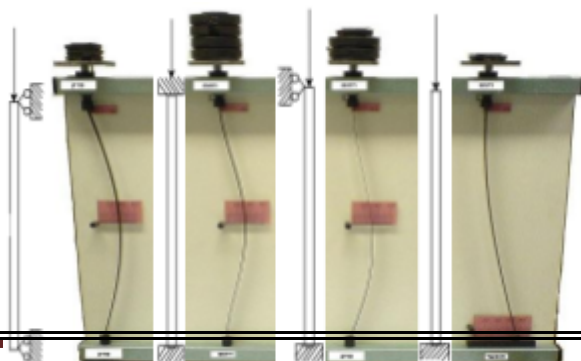
## מאמצים משולבים

$[\sigma_{eq} = \sigma_t + \sigma_b \leq [\sigma_t]$	1. מאמץ מתיחה ומאמץ בכפיפה
$M_{eq} = \sqrt{M_b^2 + M_t^2}$	2. מומנט כפיפה ומומנט פיתול על גל
$\sigma_{eq} = \frac{M_{eq}}{Z_x} = \frac{M_{eq}}{\frac{\pi \cdot d^3}{32}}$ $\sigma_{eq} = \frac{32 \cdot M_{eq}}{\pi \cdot d^3} \leq [\sigma_t]$	[M <sub>eq</sub> ]N·mm – מומנט שקול [M <sub>t</sub> ]N·mm – מומנט הפיתול [M <sub>b</sub> ]N·mm – מומנט הכפיפה [d]mm – קוטר הגל [Z <sub>x</sub> ]mm <sup>3</sup> – מודול חתך צירי
$\sigma_{max} = \sqrt{\sigma_t^2 + 3 \cdot \tau_t^2} \leq [\sigma_t]$	3. עומס מתיחה ועומס פיתול בעת הידוק בורג

## קריסה (Buckling)

$i_{min} = \sqrt{\frac{I}{A}}$	<b>1. רדיוס ההתמד, <math>i_{min}</math></b>
$\lambda = \frac{\mu \cdot L}{i_{min}} \leq [\lambda_E]$	<b>2. חישוב תמירות (גבהות), <math>\lambda</math></b>
	<b>3. גרף אוילר:</b> המאמץ בקריסה הוא פונקציה היפרבולית התלוי בתמירות. 1. אם: $\lambda_E \leq 60$ מחשבים את כוח הקריסה לפי מאמץ לחיצה. 2. בפלדות פחמן אם: $60 < \lambda_E < 100$ משתמשים בנוסחת טטמאייר ואם $\lambda_E \geq 100$ משתמשים בנוסחת אוילר. 3. בפלדות מסג אם: $60 < \lambda_E < 80$ משתמשים בנוסחת טטמאייר ואם $\lambda_E \geq 80$ משתמשים בנוסחת אוילר. 4. באלומיניום אם $\lambda_E \geq 60$ משתמשים בנוסחת אוילר.
הגרף של אוילר מתנהג לפי הפונקציה הבאה: $[\sigma_{cr}] = \pi^2 \cdot E \cdot \frac{1}{\lambda^2} \rightarrow [\sigma_{cr}] = \pi^2 \cdot E \cdot \frac{1}{\left(\frac{\mu \cdot L}{i_{min}}\right)^2} \rightarrow$ $\rightarrow [\sigma_{cr}] = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot i_{min}^2}{(\mu \cdot L)^2} \quad \{ [\sigma_{cr}] = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{(\mu \cdot L)^2 \cdot A} \quad \sigma_{cr} = \frac{F}{A}$ $\rightarrow \frac{F}{A} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{(\mu \cdot L)^2 \cdot A} \rightarrow F_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{(\mu \cdot L)^2}$	
$F_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{(\mu_{cr} \cdot L)^2} \geq F_Q \cdot [S_{cr}]$	<b>4. נוסחת אוילר לחישוב כוח הקריסה הקריטי:</b>
$\frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{(\mu_{cr} \cdot L)^2} \geq F_Q \cdot [S_{cr}] \rightarrow I \geq \frac{F_Q \cdot [S_{cr}] \cdot (\mu_{cr} \cdot L)^2}{\pi^2 \cdot E}$ $\frac{\pi \cdot d^4}{64} \geq \frac{F_Q \cdot [S_{cr}] \cdot (\mu_{cr} \cdot L)^2}{\pi^2 \cdot E} \rightarrow d \geq \sqrt[4]{\frac{64 \cdot F_Q \cdot [S_{cr}] \cdot (\mu_{cr} \cdot L)^2}{\pi^3 \cdot E}}$	<b>5. מציאת קוטר מזערי</b>
– העומס הפועל על המוט $[F_Q]$ [N]	– תמירות (Slenderness) גבולית $[\lambda_E]$
– מקדם בטיחות לקריסה $[S_{cr}]$	– רדיוס ההתמד $[i_{min}]$ [mm]
– הכוח הקריטי הגורם לקריסה $[F_{cr}]$ [N]	– שטח החתך $[A]$ [mm <sup>2</sup> ]
– מודול האלסטיות $E$	– מומנט ההתמד של השטח $[I]$ [mm <sup>4</sup> ]
– מקדם הקריסה לפי אחיזת המוט $\mu_{cr}$	– אורך העמוד בין התמיכות $[L]$ [mm]

**6. ערכי  $\mu$  לשיטות השונות של אחיזת המוט:**



1. ריתום – חופשי:  $\mu_{cr}=2$

2. ריתום – מפרק:  $\mu_{cr}=0.67$

3. ריתום – ריתום:  $\mu_{cr}=0.5$

4. מפרק – מפרק:  $\mu_{cr}=1$

נוסחת אוילר נכונה רק בתחום האלסטי. ולכן אם התמירות (Slenderness) קטנה מהתמירות הקריטית המסומנת בגרף ב-  $\lambda_E$  יש להשתמש בנוסחה שפיתח טטמאייר:  $\sigma_{cr} = a - b \cdot \lambda$ . כאשר  $\lambda_E < 100$ .

כאשר המקדמים משתנים בהתאם לסוג הפלדה:

סוג הפלדה	a	b
פלדת פחמן	MPa 589	MPa 3.82
St37	MPa 335	MPa 0.62
St52 – פלדה דלת פחמן	MPa 310	MPa 1.14

טטמאייר הגדיר, עבור פלדות מסג כאשר  $\lambda_E \geq 80$ , נוסחה קצת שונה:  $\sigma_{cr} = 762 - 11.8 \cdot \lambda - 0.052 \cdot \lambda^2$

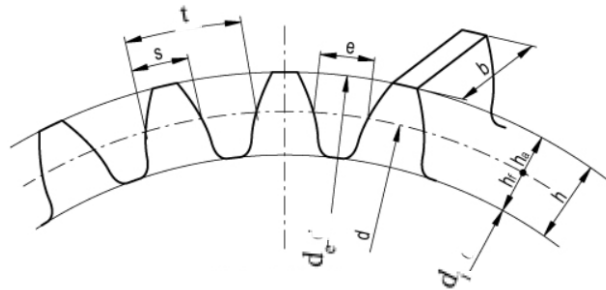
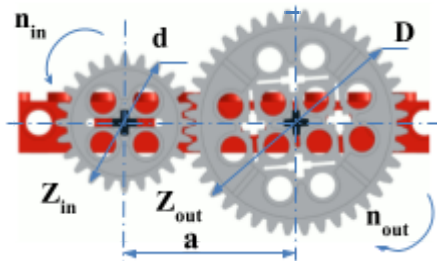
### מבוא למסרות


$$H_{in} [kW] = \frac{M_{t_{in}} [Nm] \cdot n_{in} [r.p.m]}{9550} \rightarrow M_{in} = \frac{9550 \cdot H_{in}}{n_{in}}$$

<p>איור ב'</p>	<p>איור א'</p>														
$v = \frac{\pi \cdot d_1 \cdot n_{in}}{60,000} \quad v = \frac{\pi \cdot D_2 \cdot n_{out}}{60,000}$ $\frac{\pi \cdot d_1 \cdot n_{in}}{60,000} = \frac{\pi \cdot D_2 \cdot n_{out}}{60,000}$ $\frac{d_1}{D_2} = \frac{n_{out}}{n_{in}}$	$Mt_{in} = F_t \cdot \frac{d_1}{2} \quad Mt_{out} = F_t \cdot \frac{D_2}{2}$ $F_t = \frac{Mt_{in}}{2 \cdot d_1} = \frac{Mt_{out}}{2 \cdot D_2}$ $\frac{2 \cdot Mt_{out}}{D_2} = \frac{2 \cdot Mt_{in}}{d_1}$ $\frac{d_1}{D_2} = \frac{Mt_{in}}{Mt_{out}}$														
$i = \frac{d_1}{D_2} = \frac{Mt_{in}}{Mt_{out}} = \frac{n_{out}}{n_{in}}$ <p>אם נתונה נציילות הממסרת:</p> $H_{out} = H_{in} \rightarrow \frac{M_{t_{out}} \cdot n_{out}}{9550} = \frac{M_{t_{in}} \cdot n_{in}}{9550} \rightarrow M_{t_{out}} \cdot n_{out} = M_{t_{in}} \cdot n_{in}$	<table border="0"> <tr> <td>מהירות משיקית</td> <td>[v [mm<sup>2</sup></td> </tr> <tr> <td>קוטר גלגל קטן</td> <td>[d<sub>1</sub> [mm<sup>2</sup></td> </tr> <tr> <td>קוטר גלגל גדול</td> <td>[D<sub>2</sub> [mm<sup>2</sup></td> </tr> <tr> <td>מהירות סיבוב כניסה</td> <td>[.N<sub>in</sub> [R.P.M</td> </tr> <tr> <td>מהירות סיבוב יציאה</td> <td>[.N<sub>out</sub> [R.P.M</td> </tr> <tr> <td>מומנט בכניסה</td> <td>[Min [Nm</td> </tr> <tr> <td>מומנט ביציאה</td> <td>[Mout [Nm</td> </tr> </table>	מהירות משיקית	[v [mm <sup>2</sup>	קוטר גלגל קטן	[d <sub>1</sub> [mm <sup>2</sup>	קוטר גלגל גדול	[D <sub>2</sub> [mm <sup>2</sup>	מהירות סיבוב כניסה	[.N <sub>in</sub> [R.P.M	מהירות סיבוב יציאה	[.N <sub>out</sub> [R.P.M	מומנט בכניסה	[Min [Nm	מומנט ביציאה	[Mout [Nm
מהירות משיקית	[v [mm <sup>2</sup>														
קוטר גלגל קטן	[d <sub>1</sub> [mm <sup>2</sup>														
קוטר גלגל גדול	[D <sub>2</sub> [mm <sup>2</sup>														
מהירות סיבוב כניסה	[.N <sub>in</sub> [R.P.M														
מהירות סיבוב יציאה	[.N <sub>out</sub> [R.P.M														
מומנט בכניסה	[Min [Nm														
מומנט ביציאה	[Mout [Nm														

$\rightarrow i = \frac{n_{out}}{n_{in}} = \bullet \frac{Mt_{in}}{Mt_{out}}$	– הספק – נצילות	[H [KW $\eta$
---	--------------------	------------------

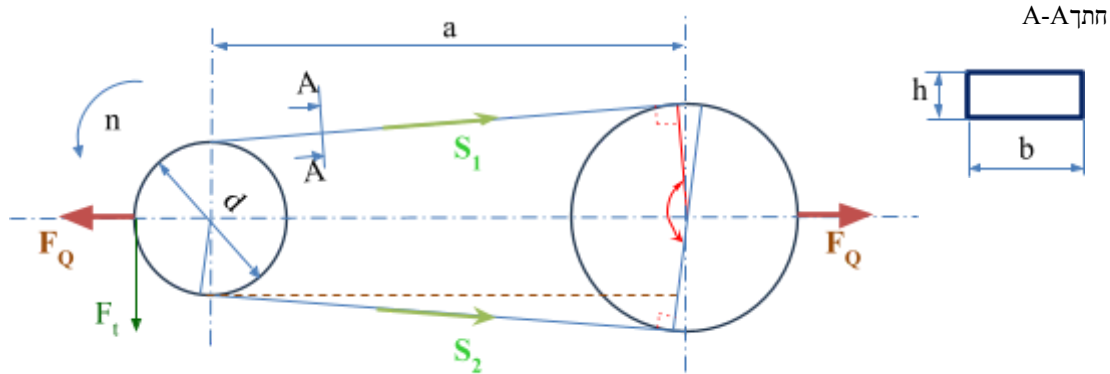
**ממסרת גלגלי שיניים (838/819283) – Tooth Gear Transmission)**



$i = \frac{d}{D} = \frac{z_{in}}{z_{out}} = \frac{Mt_{in}}{Mt_{out}} = \frac{n_{out}}{n_{in}}$	m – מודל השן ביחידות מ"מ Z – מספר השיניים בגלגל																		
$d = m \cdot z = \frac{t}{\pi} \cdot z \quad t = \bullet m$ $d_e = m \cdot (z + 2)$ $d_i = m \cdot (Z - 2.5)$	קוטר מעגל החלוקה, [d[mm פסיעת השיניים בגלגל, [t[mm קוטר מעגל ראשי השיניים, De קוטר מעגל עיקרי השיניים, Di																		
$h = h_a + h_f = m + 1.2m = 2.2 \cdot m$	גובה השן, [h[mm גובה ראש השן, h <sub>a</sub> , גובה עיקר השן h <sub>f</sub>																		
$a = m \cdot \frac{Z_{in} + Z_{out}}{2} = \frac{d + D}{2}$	המרחק בין צירי הגלגלים, [a [mm																		
$b = m \cdot \lambda$	רוחב גלגל השיניים, [b[mm																		
$m = 490 \cdot \sqrt[3]{\frac{H_{in} \cdot f \cdot q}{n \cdot Z \cdot \lambda \cdot [\sigma_b]}}$	חישוב מודל השן, m, מתוך תנאי חוזק f – מקדם עומס יתר, בד"כ f=2 q – מקדם מספר שיניים (טבלה למטה) λ – רוחב הגלגל, λ ≤ 15 ≥ 10																		
$H_{in} = \left(\frac{m}{490}\right)^3 \cdot \frac{n \cdot Z \cdot \lambda \cdot [\sigma_b]}{f \cdot q}$	חישוב הספק מתוך תנאי חוזק																		
$i = \frac{n_{out}}{n_{in}} = \bullet \frac{Mt_{in}}{Mt_{out}}$	במקרה שנתונה נצילות של הממסרת																		
$i_{tot} = \frac{Z_1}{Z_2} \cdot \frac{Z_3}{Z_4}$	בממסרת מורכבת מיותר משני גלגלי שיניים																		
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Z</th> <th>q</th> <th>Z</th> <th>q</th> <th>Z</th> <th>q</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>13</td> <td>0.621</td> <td>20</td> <td>0.530</td> <td>50</td> <td>0.371</td> </tr> <tr> <td>14</td> <td>0.614</td> <td>25</td> <td>0.473</td> <td>60</td> <td>0.366</td> </tr> </tbody> </table>	Z	q	Z	q	Z	q	13	0.621	20	0.530	50	0.371	14	0.614	25	0.473	60	0.366
Z	q	Z	q	Z	q														
13	0.621	20	0.530	50	0.371														
14	0.614	25	0.473	60	0.366														

	15	0.596	30	0.439	80	0.335
	16	0.573	33	0.416	100	0.332
	17	0.542	40	0.383	100<	0.328

ממסרת רצועה שטוחה (838/819283) - Flat Belt Drive



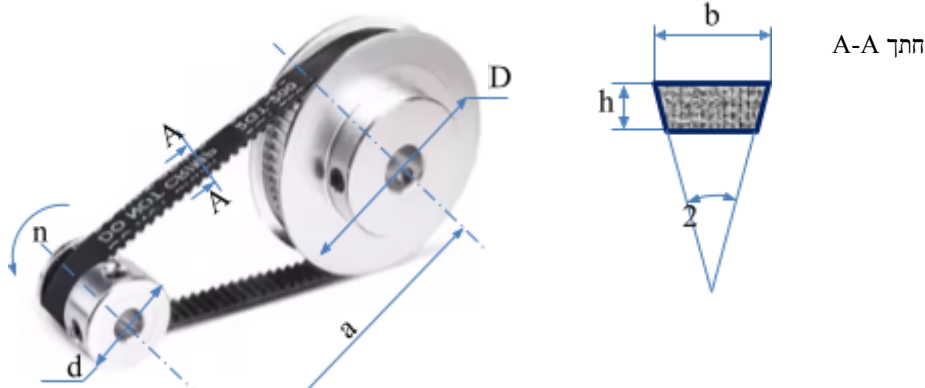
$\sin\beta = \frac{D-d}{a} \rightarrow \sin\beta = \frac{D-d}{2a} \rightarrow \beta = \arcsin\left(\frac{D-d}{2a}\right)$	$\alpha = 180 - 2\beta$ – זווית החביקה $\beta$ – זווית הנטייה של הרצועה
$L = \pi \frac{(D+d)}{2} + 2\sqrt{a^2 + \left(\frac{D-d}{2}\right)^2}$	אורך הרצועה
$i = \frac{d}{D} = \frac{Mt_{in}}{Mt_{out}} = \frac{n_{out}}{n_{in}}$	יחס תמסורת בין גלגל קטן, d, לבין גלגל גדול, D
$v_{in} = \frac{\pi \cdot d \cdot n_{in}}{60,000}$	מהירות משיקית, $V_{in}$ , מהירות סיבוב גלגל מניע, $n_{in}$
$F_t = \frac{1,000 \cdot H_{in}}{v_{in}}$	כוח משיקי (היקפי), $F_t$ , הספק מושקע, $H_{in}$
$Ke = \frac{e^{\mu\alpha}}{e^{\mu\alpha} - 1}$ $S_1 = Ke F_t$ $S_2 = S_1 - F_t$	$Ke$ – מקדם כוח המתיחה $e=2.718282$ – מספר אוילר: $\mu$ – מקדם חיכוך ( $0.15 < \mu < 0.5$ ) $S_1$ – כוח מתיחה בענף הפעיל $S_2$ – כוח מתיחה בענף הסביל
$F_Q = (S_1 + S_2) \cdot \cos\beta$	כוח מתיחה מוקדם
$\sigma_{t_1} = \frac{S_1}{b \cdot h}$ $\sigma_{b_1} = E \cdot \frac{h}{d}$ $\sigma_c = v \cdot \rho \cdot 10^{-6}$	$\sigma_t$ – מאמץ המתיחה, המאמץ בכפיפה, $\sigma_b$ $b$ – רוחב הרצועה $h$ – גובה הרצועה $\sigma_b$ – מאמץ צנטריפוגלי, $\rho$ – צפיפות חומר הרצועה

$\sigma_e = \sigma_t + \sigma_b + \sigma_c \leq [ ]$ $e = \frac{S_1}{b \cdot h} + \sigma_{b_1} [ ]$	תנאי חוזק תנאי חוזק בחישוב מקורב
--	-------------------------------------

$b = \frac{S_1}{h \cdot (1 - \sigma_{b_1})} = \frac{K_e F_t}{h \cdot (1 - \sigma_{b_1})}$	קביעת רוחב הרצועה משיקולי חוזק
---	--------------------------------

הערה: ברצועות העשויות גומי, כותנה, או חומר סינתטי ניתן להניח מאמץ מותר,  $5\text{MPa} = [ \quad ]$

ממסרת רצועה טריזית (838/819283) - Timing Belts)



$A = b \cdot h - h^2 \cdot \tan \gamma$	A – שטח חתך הרצועה, בד"כ $\gamma = 18^\circ$
$a = \frac{D+3d}{2}$	a – המרחק המומלץ בין הצירים
$i = \frac{d}{D}$	יחס תמסורת בין גלגל קטן, d, לבין גלגל גדול, D
$M_{t_{in}} [Nmm] = \frac{9,550,000 \cdot H_{in} [kW]}{n_{in} [r.p.m]}$	חישוב מומנט מתוך הספק ומהירות סיבוב
$v_{in} = \frac{\pi \cdot d \cdot n_{in}}{60,000}$	מהירות משיקית, $v_{in}$ , מהירות סיבוב גלגל מניע, $n_{in}$
$F_t = \frac{1,000 \cdot H_{in}}{v_{in}}$	כוח משיקי (היקפי), $F_t$ , הספק מושקע, $H_{in}$
$b = \frac{10 \cdot F_t}{Z_e \cdot F_{U_{spez}}}$	קביעת רוחב הרצועה (Ze ו-Fu נלקחים מטבלה)
$L = \pi \frac{(D+d)}{2} + 2a + \frac{(D-d)^2}{4a}$	חישוב אורך הרצועה
$n = \frac{S_1}{([l] - \frac{b}{b} - \frac{b}{b}) \cdot A}$	חישוב מספר הרצועות הנדרש או רוחב הרצועה מתנאי חוזק
$b = \frac{S_1}{([l] - \frac{b}{b} - \frac{b}{b}) \cdot h}$	
$\sigma_{b_1} = E \cdot \frac{h}{d} \quad \sigma_c = \frac{\rho \cdot v_{in}^2}{10^6}$	$S_1 = \frac{K_e F_t}{K_e - 1} \quad K_e = e^{\mu \alpha_{rad}}$ $\alpha = 180 - 2\beta$ זווית החביקה $\beta = \arcsin\left(\frac{D-d}{2a}\right)$ זווית הנטייה של הרצועה

הכוחת נוסחת  $F_t = \frac{1,000 \cdot H_{in}}{v_{in}}$

$M_t = \frac{d}{2} \cdot F_t \rightarrow F_t = \frac{2M_t}{d}$	$M_{t_{in}} [Nmm] = \frac{9,550,000 \cdot H_{in} [kW]}{n_{in} [r.p.m]}$
$v_{in} = \frac{\pi \cdot d \cdot n_{in}}{60,000} \rightarrow n_{in} = \frac{60,000 \cdot v_{in}}{\pi \cdot d}$	

$$F_t = \frac{2M_t}{d} = \frac{2 \cdot \frac{9,550,000 \cdot H_{in}}{n_{in}}}{d} = \frac{19,100,000 \cdot H_{in}}{d \cdot n_{in}} = \frac{19,100,000 \cdot H_{in}}{d \cdot \frac{60,000 \cdot v_{in}}{\pi \cdot d}} \rightarrow F_t = \frac{1,000 \cdot H_{in}}{v_{in}}$$

## שלב 1 - הערכת סוג הרצועה

בבחירת הרצועה המתאימה להינע, יש להתחשב בשדה היישום וכן בכוח, מהירות סיבוב ומהירות. גלגל השיניים הקטן ביותר במסרת צריך לקבל תשומת לב מיוחדת. הקוטר המינימלי או מספר השיניים המינימלי  $Z_{1min}$  יהיה בעל השפעה משמעותית על סוג הרצועה, במיוחד לרצועות צרות.

פרופיל הרצועה	$Z_{1min}$	יישומים	n [R.P.M.]	$v_{max}$ [m/s]	H [kW]
T5 – XL	10	מכונות משרדיות, כלי עבודה לבית, טכנולוגית בקרה	≤10000	80	≤5
AT3	15	ממסרות קטנות, טכנולוגית טיפול	≤20000	80	≤5
AT5	15	כלי עבודה, משאבות, מכונות טקסטיל	≤10000	80	≤15
T10 – L – H	12	ממסרות עיקריות ומשניות, כלי עבודה, מכונות טקסטיל ודפוס	≤10000	60	≤30
AT10 – SFAT10 – BAT10 – BATK10	15	משאבות, מדחסים, נהיגות טבלה, בנייה, מכונות נייר וטקסטיל	≤10000	60	≤70
ATP10	15	מכונות ליטוש, נהיגות כוח, כלי עבודה	≤10000	60	≤100
T20 – XH	15	מכונות בנייה כבדות, משאבות, מכונות נייר וטקסטיל	≤6500	40	≤100
SFAT15	20	מכונות בנייה, משאבות, מדחסים, מכונות נייר	≤8000	48	≤135
BAT15 – BATK15	20	ממסרות כוח, מכונות דפוס וליטוש	≤8000	48	≤140
ATS15	25	ממסרות כוח, מכונות נייר, אחסון גבוה, מכשירי הרמה	≤8000	48	≤160
ATP15	20	ממסרות כוח, כלי עבודה	≤10000	50	≤200
AT20 – SFAT20	18	ממסרות כבדות, מכונות טקסטיל ודפוס, כלי עבודה	≤6500	40	>200

טבלה 1: תכן רצועות תזמון מיוחדות מאפשר להעלות את מהירות הסיבוב ומהירות ההיקפית.

$$M_{t, in} [Nmm] = \frac{9,550,000 \cdot H_{in} [kW]}{n_{in} [r.p.m]} \quad \text{שלב 2 - הישוב מומנט}$$

המומנט מחושב מתוך ההספק הזמין. עבור ממסרות שמתחילות ועוצרות לעיתים קרובות, מומלץ להשתמש במומנט ההתחלתי לחישוב. מומנטי התחלה של מנועים הם בדרך כלל גבוהים פי 2.5 (או יותר) מהמומנט הנמדד.

$$M_t = \frac{d}{2} \cdot F_t \rightarrow F_t = \frac{2M_t}{d} \quad \text{שלב 3 - כוח היקפי}$$

עם המומנט הידוע  $M_t$  וקוטר גלגל השיניים המניע  $d$ , ניתן לחשב את כוח ההיקפי  $F_t$ . יש להתנגד לכוח זה עם כוח מקדים נכון כדי למנוע רצועה רפויה.

$$S_2 = S_1 - F_t \quad \text{כאשר:} \quad Q = (S_1 + S_2) \cos \beta \quad F_Q: \text{ כוח מתיחה מקדים,} \\ \alpha = 180 - \beta \quad \text{זווית הנטייה של הרצועה} \quad \beta = \arcsin\left(\frac{D-d}{2a}\right) \quad \text{זווית החביקה} \\ 2\beta$$

$$S_1 = \frac{K_e F_t}{K_e - 1} \quad K_e = e^{\mu \alpha_{rad}}$$

$$b = \frac{10 \cdot F_t}{Z_e \cdot F_{U, spez}} \quad \text{שלב 4 - קביעת רוחב הרצועה}$$

רוחב הרצועה תלוי בכוח השיניים הספציפי,  $F_{U, spez}$ , התלוי במהירות הסיבוב, כמתואר בטבלה. מספר השיניים במגע  $Z_e$  תלוי בתכן התמסורת, בדרך כלל:  $16 \leq Z_e \leq 66$ . הרוחב המחושב בדרך כלל מעוגל לערך רוחב רצועה סטנדרטי.

הטבלה להלן היא דוגמא לרצועה HTD 5M שנפוצה בשימוש בעולם הרובוטיקה:

### Tooth shear strength

rpm	$F_{U, spez}$ [N/cm]	rpm	$F_{U, spez}$ [N/cm]	rpm	$F_{U, spez}$ [N/cm]	rpm	$F_{U, spez}$ [N/cm]
0	36,80	800	27,21	1900	22,24	4500	16,40
20	36,25	900	26,61	2000	21,91	5000	15,64
40	35,75	1000	26,05	2200	21,30	5500	14,95
60	35,30	1100	25,52	2400	20,72	6000	14,32
80	34,89	1200	25,03	2600	20,19	6500	13,74
100	34,52	1300	24,56	2800	19,69	7000	13,19
200	33,13	1400	24,13	3000	19,23	7500	12,68

משרד  
אתר הב

**שלב 5 - קביעת אורך הרצועה**

אורך הרצועה תלוי בקטרי גלגלי התיזמון d ו-D והמרחק, a, בין מרכזי הגלגלים. האורך המחושב L מעוגל לאורך תקני של הרצועה הסטנדרטית.

$$L = \pi \frac{(D+d)}{2} + 2a + \frac{(D-d)^2}{4a}$$

על ידי ביצוע שלבים אלה, הרצועה נבחרת על פי כוח השיניים שלה. יש לבצע אימות נוסף עבור: חוזק מתיחה של חברי המתח – גמישות – גורמי בטיחות

**שלב 5 - קביעת מספר הרצועות, n, משיקולי חוזק**

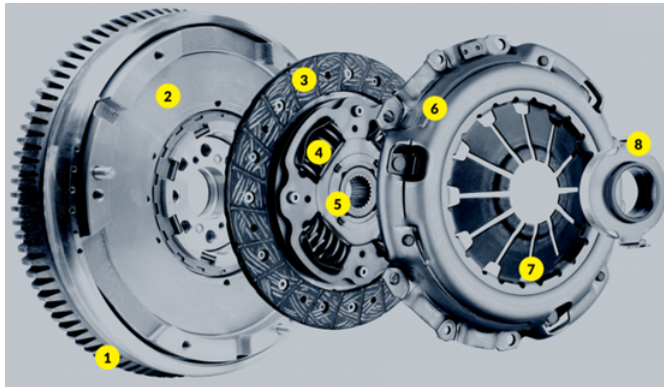
$$n = \frac{S_1}{(1 - \frac{b}{b_1}) \cdot A} \quad \sigma_{b_1} = E \cdot \frac{h}{d} \quad \sigma_c = \frac{\rho \cdot v_{in}^2}{10^6}$$

$$v_{in} = \frac{\pi \cdot d \cdot n_{in}}{60,000} \quad \text{מהירות קווית מותרת } 15 \leq v \leq 80$$

ניתן להשתמש בנוסחה האחרונה גם כדי לחשב את רוחב הרצועה הנדרש אם יש רק רצועה אחת:

$$b = \frac{S_1}{(1 - \frac{b}{b_1}) \cdot h}$$

**מצמידים (Clutch and Couplings) - 838/819283**



1. גלגל
2. משטח חיכוך
3. דיסקת המצמד
4. קפיצי המצמד
5. טבור המצמד
6. דיסקת לחץ
7. דיאפרגמת קפיץ
8. מיסב

בלאי אחיד (pv=const)	שטח אחיד (p=const)	
$D = \sqrt{\frac{8 \cdot M_f}{i_m \cdot \pi \cdot d \cdot [p]} + d^3}$	$D = \sqrt[3]{\frac{12 \cdot M_f}{i_m \cdot \pi \cdot [p]} + d^3}$	מימדי המצמד
$i_m = \frac{8 \cdot M_f}{\pi \cdot d \cdot (D^2 - d^2) \cdot [p]}$	$i_m = \frac{12 \cdot M_f}{\pi \cdot d \cdot (D^3 - d^3) \cdot [p]}$	מספר שטחי מגע נדרשים
$[F_a] = \pi \cdot d \cdot \frac{D-d}{2} \cdot [p]$	$[F_a] = \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} \cdot [p]$	כוח הצמדה מותר בין דיסקיות המצמד
$r_f = \frac{D+d}{4}$	$r_f = \frac{1}{3} \cdot \frac{D^3 - d^3}{D^2 - d^2}$	רדיוס חיכוך
$F_a = \frac{4 \cdot M_f}{i_m \cdot \pi \cdot (D+d)}$	$F_a = \frac{3 \cdot M_f \cdot (D^2 - d^2)}{i_m \cdot (D^3 - d^3)}$	כוח הצמדה נדרש להעברת ההספק
$p = \frac{2 \cdot F_a}{\pi \cdot d \cdot (D-d)} \leq [p]$	$p = \frac{4 \cdot F_a}{\pi \cdot (D^2 - d^2)} \leq [p]$	תנאי חוזק

$Me = K_f \cdot M_t$ $K_f$ – מקדם תנאי העבודה $M_f$ – מומנט חיכוך	חישוב מומנט יעיל (Effective) Me) עבור מכונות הרמה, מכונות תרמיות, מנועים, מדחסים $K_f = 3$ עבור מכונות שינוע, מכונות שיכוב, מאווררים $K_f = 2$
$M_f = F_a \cdot i_m \cdot r_f$	חישוב מומנט חיכוך מירבי $F_a$ – כוח הצמדה (כוח צירי) $r_f = \frac{D+d}{4}$ – רדיוס חיכוך $i_m$ – כוח הצמדה (כוח צירי)
$Z = i_m + 1$	מספר (שלם) דיסקיות מצמד נדרש
$H = \frac{M_f \cdot n}{9.55 \cdot 10^6 \cdot K_f}$	הספק מירבי המועבר באמצעות המצמד

### ברגי הידוק (Clamping screws) - 838/819283

	$F_Q = \frac{F}{i}$	<b>1. חישוב הכוח, <math>F_Q</math> [N]</b> , שמהדק על כל בורג (בהזנחת החלקה) – מספר הברגים
	$F_Q = \frac{f_k \cdot F}{i \cdot \mu}$	מקדם בטיחות להחלקה – $f_k$ מקדם החיכוך – $\mu$ כוח צירי בבורג – $F_Q$
	$d_1 = 0.8 \cdot d$	<b>2. חישוב הקוטר הפנימי, <math>d_1</math> [mm]</b> , של הבורג
	$A_t = \frac{\pi \cdot d_1^2}{4}$	<b>3. שטח החתך של כל בורג, <math>A_t</math> [mm<sup>2</sup>]</b>
$\sigma_t = \frac{F_Q}{A_t}$	<b>4. מאמץ מתיחה, <math>[\sigma_t]</math> [MPa]</b> , הפועל בכל בורג	
$M_t = 0.1 \cdot F_Q \cdot d$	<b>5. חישוב מקוצר של מומנט סגירה, <math>[M_t]</math> [Nmm]</b>	
$\tau_t = \frac{M_t}{Z_o} = \frac{16 \cdot M_t}{\pi \cdot d_1^3}$	<b>6. חישוב מאמץ גזירה בפיתול</b>	
$\sigma_{Eq} = \sqrt{\sigma_t^2 + 3 \cdot \tau_t^2} \leq [\sigma_t]$	<b>7. בדיקה לפי תנאי חוזק למאמץ שקול</b>	

### חישוב מתקדם של ברגי הידוק

$[\sigma_e] = \frac{1.25 \cdot F_Q}{A_t} \leq [\sigma_t] \rightarrow A_t \geq \frac{1.25 \cdot F_Q}{[\sigma_t]}$	<b>מציאת שטח מתיחה מינימלי מתנאי חוזק</b>
$[\sigma_e] = \frac{1.25 \cdot F_Q}{A_t} \leq [\sigma_t] \rightarrow F_Q \leq \frac{A_t \cdot [\sigma_t]}{1.25}$	<b>מציאת כוח הידוק, <math>F_Q</math>, מתוך תנאי חוזק מקורב</b>
$A_t \geq \frac{1.25 \cdot F_Q}{[\sigma_t]} \rightarrow \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} \geq \frac{1.25 \cdot F_Q}{[\sigma_t]}$ $d_1 \geq \sqrt{\frac{5 \cdot F_Q}{\pi \cdot [\sigma_t]}}$	<b>מציאת קוטר מתוך תנאי החוזק</b>
$\tan \tan(\gamma) = \frac{h}{\pi \cdot d_2} \rightarrow \gamma = \arctan\left(\frac{p}{\pi \cdot d_2}\right)$	<b>מומנט סגירה מדויק</b> $\gamma$ – זווית המעלה (בד"כ $2.5^\circ < \gamma < 3^\circ$ ) $\phi$ – זווית החיכוך, $\mu$ – מקדם חיכוך בד"כ $\mu = 0.15$

$\phi' - \text{זווית חיכוך מתוקנת}$ $\phi' = \arctan \arctan(\mu')$ $M_t = F_q \cdot \tan \tan(\gamma + \phi') \cdot \frac{d_2}{2} \rightarrow$ $M_t = F_q \cdot \tan \tan(\gamma + \phi') \cdot \frac{d}{2} \cdot \frac{1.15}{1.15} \rightarrow$ $M_t = F_q \cdot \tan \tan\left(\gamma + \arctan \arctan\left(\frac{\mu}{\cos \alpha}\right)\right)$ $M_t = F_q \cdot \tan \tan\left(2.5 + \arctan \arctan\left(\frac{0}{\cos \alpha}\right)\right)$ $M_t = F_q \cdot \tan \tan\left(2.5 + \arctan \arctan\left(\frac{0}{\cos \alpha}\right)\right)$ $\rightarrow M_t = 0.1 \cdot F_q \cdot d$	$\mu' - \text{מקדם חיכוך מתוקן } \mu' = \frac{\mu}{\cos \alpha}$ $\alpha = 30^\circ$ $p = d - d_1$ - מעלה (Lead) - פסיעת התברג $h = i_p \cdot p$ - מספר ההתחלות שיש לבורג כאשר $i_p = p$ $h = p$ - ברגי הידוק בד"כ יש התחלה אחת כלומר $h = i_p \cdot p$ כאשר $d_2 - \text{קוטר יעיל}$ $d_2 = \frac{d}{1.15}$ <b>הוכחת נוסחת מומנט מקוצרת (בהצבת גדלים אופייניים)</b>
$\gamma > \phi$	אין נעילה עצמית אם:
$M_t = F_q \cdot \frac{d_2}{2} \cdot \left[ \tan \tan(\gamma + \phi) + 1.44\mu_1 \right]$ $M_t = \left[ 0.1 + \frac{1.3\mu_1}{2} \right] F_q d_2$	מומנט סגירה עם חיכוך בין המשטח לאום בדרך כלל: $\mu = \mu_1$ מומנט סגירה מקורב (עם חיכוך בין המשטח לאום)
	לבצע את סעיפים 6 ו-7 מהטבלה העליונה

חלק מטבלה תקן ברגים:

תברגים רגילים				תברגים עדינים				
קוטר חיצוני	פסיעה	שטח חתך למתיחה	קוטר פנימי	קוטר אפקטיבי	פסיעה	שטח חתך למתיחה	קוטר פנימי	קוטר אפקטיבי
d (mm)	p (mm)	A (mm <sup>2</sup> )	d <sub>1</sub> (mm)	d <sub>2</sub> (mm)	p (mm)	A (mm <sup>2</sup> )	d <sub>1</sub> (mm)	d <sub>2</sub> (mm)
16	2	144	13.546	14.701	1.5	157	14.160	15.026

ברגי הנעה (838/819283) - Drive Screws

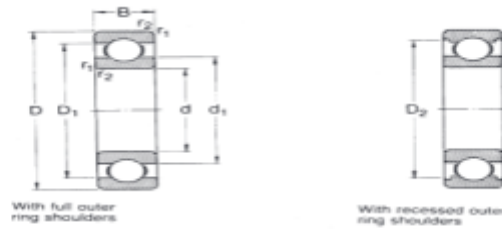
$\lambda = \frac{\mu \cdot L}{\sqrt{\frac{I}{A}}} \leq [\lambda_E]$	בדיקת תמירות הבורג קוטר חיצוני, [d] [mm], של בורג (הנעה והידוק)
$d \geq \sqrt{\frac{64 \cdot F_Q \cdot [S_{cr}] \cdot (\mu \cdot L)^2}{\pi^3 \cdot E}}$	חישוב קוטר מזערי מתנאי חוזק לקריסה
$M_t = 0.1 \cdot F_Q \cdot d$	חישוב מומנט בבורג הנעה
$A_t \geq \frac{1.25 \cdot F_Q}{[\sigma_t]} \rightarrow \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} \geq \frac{1.25 \cdot F_Q}{[\sigma_t]}$ $d_1 \geq \sqrt{\frac{5 \cdot F_Q}{\pi \cdot [\sigma_t]}}$	מציאת קוטר הבורג מתוך תנאי החוזק למתיחה
$[\sigma_t] = \frac{4 \cdot F_Q}{\pi \cdot d_1^2}$	חישוב מאמץ מתיחה/לחיצה בבורג
$\tau_t = \frac{M_t}{Z_o} = \frac{160.1 F_Q d}{\pi \cdot d_1^3}$	חישוב מאמץ גזירה כתוצאה ממומנט הפיתול בבורג
$\sigma_{Eq} = \sqrt{\sigma_t^2 + 3 \cdot \tau_t^2} \leq [\sigma_t]$	בדיקת מאמץ משולב

$H_{in} = \frac{M_t \cdot n}{9,550,000}$	חישוב הספק מושקע להנעת הבורג
$h = \pi \cdot d_2 \cdot \tan \tan (\gamma) \quad v = \frac{h}{t} = \frac{\pi \cdot d}{6}$	פסיעה - $p = d - d_1$ מספר ההתחלות $i_p=1$ מעלה - $h$ כאשר $h = i_p \cdot p$
$H_{out} = \frac{F_q \cdot v}{1,000} = \frac{F_q \cdot \pi \cdot d_2 \cdot \tan \tan (\gamma)}{60,000}$	חישוב הספק מופק מבורג ההנעה
נצילות בורג הנעה:	
$\eta = \frac{H_{out}}{H_{in}} = \frac{F_q \cdot \pi \cdot d_2 \cdot n(\gamma)}{60,000,000} \cdot \frac{9,550,000}{F_q \cdot \tan \tan (\gamma + \varphi) \cdot \frac{d_2}{2} \cdot n} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 9,550(\gamma)}{60,000(\gamma + \varphi)} = \frac{\tan \tan (\gamma)}{\tan \tan (\gamma + \varphi)}$	

**מיסבים (Bearings) - 838/819283**

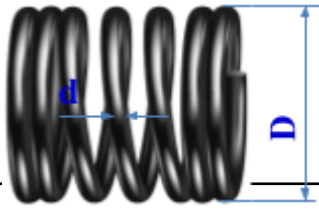
$L = \left(\frac{C}{F}\right)^3 \rightarrow C = F \cdot \sqrt[3]{L}$	חישוב כושר דינמי, [C][N], של מיסב כדורים רדיאלי
$C_0 = 1.8P_0 \rightarrow P_0 = \frac{C_0}{1.8}$	חישוב עומס סטטי, [P <sub>0</sub> ][N] מהכושר הסטטי, [C <sub>0</sub> ][N]
$L_h = \frac{L \cdot 10^6}{60 \cdot n}$	חישוב אורך החיים, L <sub>h</sub> של מיסב בשעות עבודה
$v = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60,000}$ $\rho = \frac{F}{A} = \frac{F}{d \cdot L}$ $\rho \cdot v \leq [p \cdot v]$	בדיקת לחץ מגע, [ρ][MPa], ממאמץ מותר במיסבי החלקה בדיקת מיסב החלקה להתחממות יתר
$F = 0.4 \cdot F_r + Y \cdot F_a$	חישוב כוח משולב (רדיאלי + צירי)
$L = \left(\frac{C}{F}\right)^{\frac{10}{3}}$	חישוב אורך חיים, [L][mil · rev], של מיסב (מיליוני סיבובים)

דוגמא בחירת מיסב מתוך תקן מיסבים



Principal dimensions	Basic load ratings		Fatigue load limit P <sub>u</sub>	Speed ratings		Mass	Designation		
	dynamic	static		Lubrication	oil				
d D B	C	C <sub>0</sub>	N	grease	r/min	kg			
35	47	7	4 750	3 200	166	13 000	16 000	0.030	61807
	55	10	9 580	6 200	290	11 000	14 000	0.060	61907
	62	9	12 400	8 150	375	10 000	13 000	0.11	6007
	62	14	15 900	10 200	440	10 000	13 000	0.16	6007
	72	17	25 800	15 300	655	8 500	11 000	0.39	6207
	80	21	34 200	19 000	815	8 500	11 000	0.56	6307
	100	25	55 300	31 000	1 250	7 000	8 500	0.95	6407

קפיץ לחיצה (838/819283) - Compression Spring



$F = K \cdot \Delta f$	חוק הוק בקפיצים: קבוע הקפיץ $K \left[ \frac{N}{mm} \right]$ , התארכות $[\Delta f]$ [mm]	
$K = \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot D^3 \cdot n}$	חישוב קבוע הקפיץ, K (קשיחות הקפיץ, לעיתים מסמנים ב-C)	
$n = \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot D^3 \cdot K}$	חישוב מספר כריכות פעילות n	
המאמץ הפועל בקפיץ ללא מקדם בטיחות		
$\tau_t = \frac{M_t}{Z_o} = \frac{M_t}{\frac{d^3}{16}} = \frac{16 \cdot M_t}{d^3} = \frac{16 \cdot M_t}{d^3} = \frac{16 \cdot r \cdot F}{d^3} = \frac{16 \cdot \frac{D}{2} \cdot F}{d^3} = \frac{8 \cdot D \cdot F}{d^3}$		
$e = \frac{D}{d} \rightarrow [S_K] = \frac{4e-1}{4e-4}$	חישוב מקדם תיקון מאמץ, $[S_K]$	
$\tau_{max} = [S_K] \cdot \frac{8 \cdot D \cdot F}{d^3}$	מאמץ מקסימלי עם מקדם בטיחות (מקדם תיקון מאמץ)	
$d = \sqrt[3]{\frac{[S_K] \cdot 8 \cdot F_{max} \cdot D}{\pi \cdot \tau_{max}}}$	חישוב קוטר התיל, $d$ [mm], של הקפיץ מתוך נוסחת המאמץ	
$W = F \cdot \Delta f$	חישוב עבודת הקפיץ, $[W]$ [Nmm]	
חישוב מספר הכריכות הפעילות n בהתחשב באורך הנתון של קפיץ לחיצה בורגי במצבו המורכב $L_1$		
$L_0 = L_1 + f_1 = L_2 + f_2$ $L_2 = 1.1L_s$ $L_1 = L_2 + \Delta f = 1.1L_s + \Delta f = 1.1(n+1) \cdot d + \Delta f$ $f = f_2 - f_1 = \frac{F_2 - F_1}{K}$ $L_s \{ (n+1)d : n_{tot} = n \} \leftarrow$	$[L_1]$ [mm] – אורך הקפיץ בעומס התחלתי $[L_2]$ [mm] – אורך הקפיץ בעומס מירבי $[L_0]$ [mm] – אורך הקפיץ במצבו החופשי $[L_s]$ [mm] – אורך הקפיץ במצבו הנעול $[f_1]$ [mm] – שיעור השקיעה בעומס התחלתי $[f_2]$ [mm] – שיעור השקיעה בעומס מירבי $[\Delta f]$ [mm] – מידת השקיעה (התכווצות הקפיץ)	
$K = \frac{F}{f} = \frac{F_2 - F_1}{f}$	חישוב קשיחות הקפיץ, $K \left[ \frac{N}{mm} \right]$ , אם נתון $[\Delta f]$ [mm]	
$L_s = (N_{tot} + 1) \cdot d$ $L_0 = L_1 + 2 \cdot L_H$	חישוב אורך קפיץ מתיחה בורגי	
$L_H = \{ 0.75D_i, 0.7D_i, 0.8D_i, D_i \}$ ביתר המקרים $D_i$	$D_i = D - d$	

קפיץ עלה - 838/819283

$M_b = L \cdot F$	חישוב מומנט הכפיפה, [Mb][Nmm]
$\sigma_{b_{max}} = \frac{M_b}{Z_x} = \frac{12 \cdot M_b}{b \cdot t^2} \leq [\sigma_b]$	חישוב מאמץ כפיפה מקסימלי, $[\sigma_b]$ [MPa], עובי הקפיץ, [t][mm], רוחב הקפיץ, [b][mm]
$I = \frac{b \cdot t^3}{12}$	חישוב מומנט האינרציה, [I][mm <sup>4</sup> ]
$\Delta f = \frac{4 \cdot F \cdot L^3}{E \cdot b \cdot t^3} = \frac{F \cdot L^3}{3 \cdot E \cdot I}$	חישוב שקיעת הקפיץ, [ $\Delta F$ ][mm]
$F \leq K \cdot [\Delta f] \rightarrow K \geq \frac{F}{[\Delta f]}$	חישוב קבוע הקפיץ, K מתוך שקיעה מקסימלית מותרת, [ $\Delta F$ ]

קפיץ מוט פיתול - 838/819283

$[\tau_t] = \frac{0.7 \cdot \sigma_y}{[S]}$	חישוב מאמץ מותר, $[\tau_t]$
$M_{t_{max}} \leq [\tau_t] \cdot Z_o$	חישוב מומנט מקסימלי, $M_{t_{max}}$ [Nmm]
$\phi[rad] = \frac{M_t \cdot L}{G \cdot I_o}$	חישוב העיווי, $\phi[rad]$ , כתוצאה מפיתול המוט
$W = \frac{M_t \cdot \phi[rad]}{2}$	חישוב עבודת הקפיץ, [W][Nmm]

## נספחים לבקרת מערכות הנדסיות

נספח 1: דיאגרמת זמן-תנועה

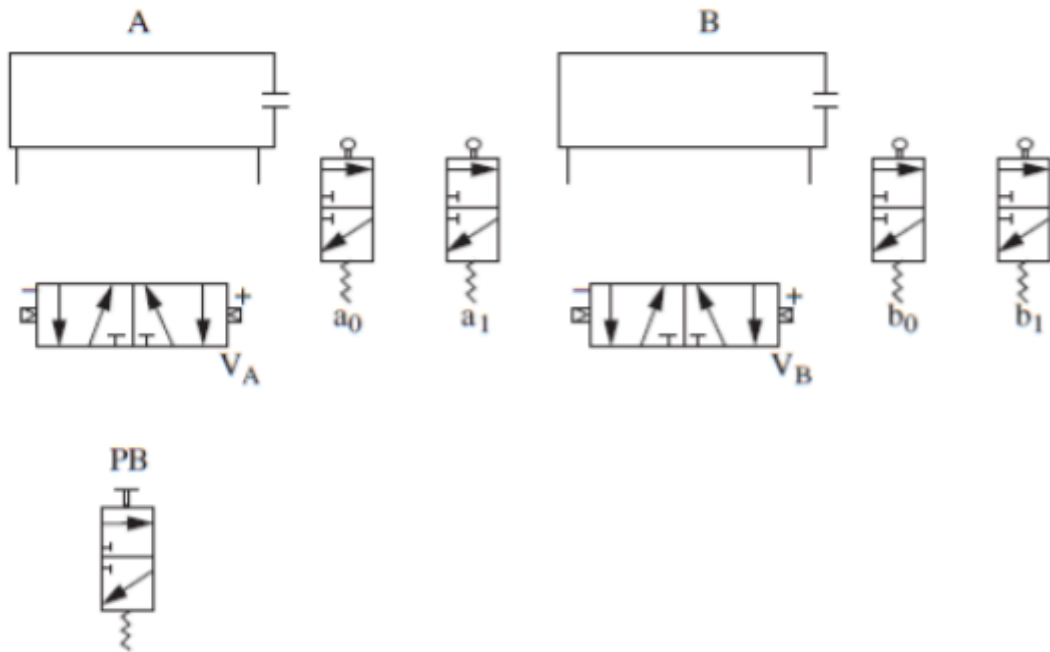
	I	II	III	IV	V	VI	VII
A	+						
	-						
B	+						
	-						
$a_1$							
$a_0$							
$b_1$							
$b_0$							
$V_A$	+						
$V_A$	-						
$V_B$	+						
$V_B$	-						

נספח 2: דף תרגול לתלמיד: מערך פיקוד ודיאגרמת זמן תנועה לשתי בוכנות

שם התלמיד: \_\_\_\_\_

כיתה: \_\_\_\_\_

← מחזור חיצים



תנועת הבוכנות

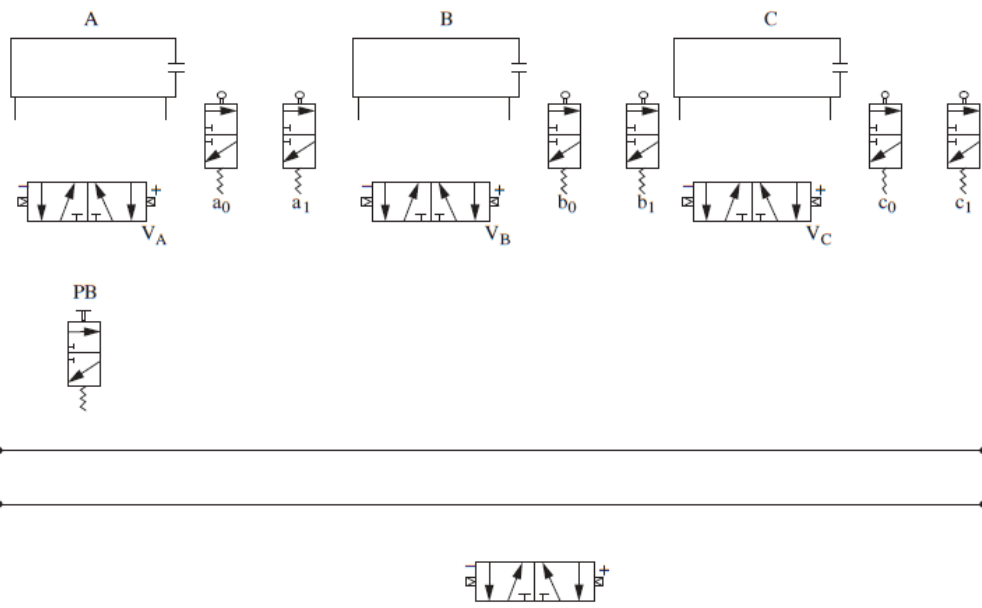
- יציא: →
- כניסה: →
- ללא תנועה: →

זמני הפעלת שסתומי הגבול 3/2

	I	II	III	IV	V
A	+				
	-				
B	+				
	-				
a	a <sub>1</sub>				
	a <sub>0</sub>				
	b <sub>1</sub>				
	b <sub>0</sub>				
V <sub>A</sub>	+				
	-				
V <sub>B</sub>	+				
	-				



נספח 3: מערך פיקוד לשלוש בוכנות

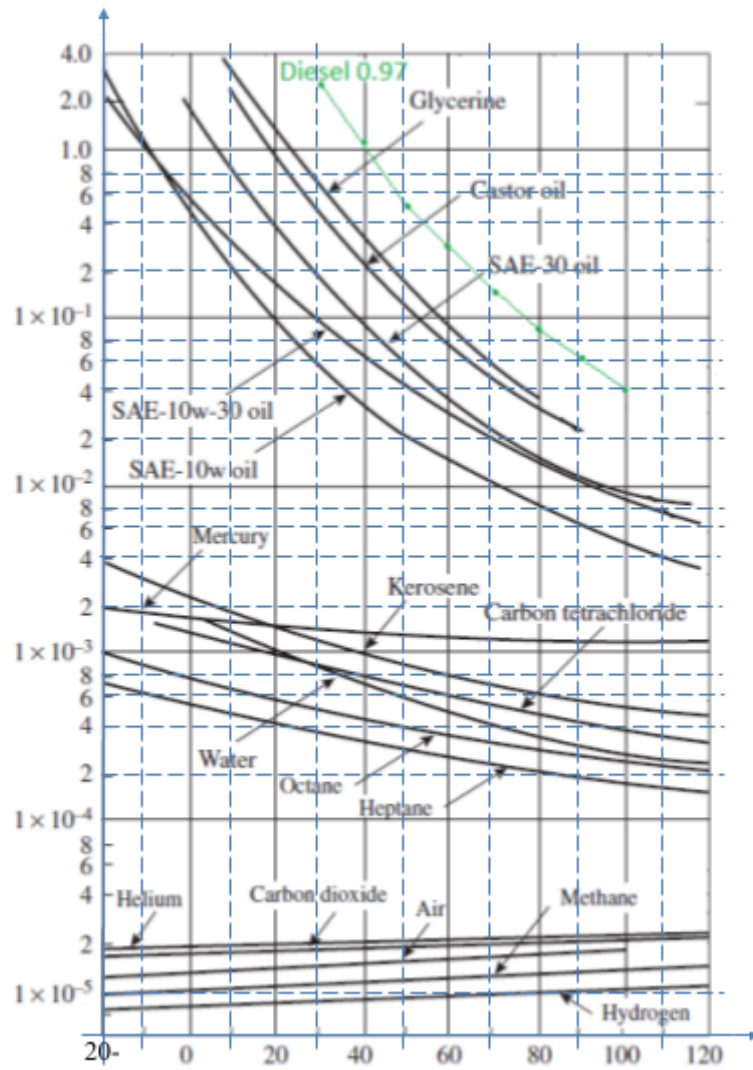


נספח 4: מפת קרנו

A,B \ C,D	00	01	11	10
00				
01				
11				
10				



מקור: <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9781260462845/back-matter/appendix4>

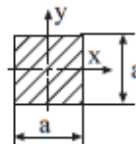
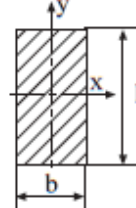
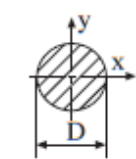
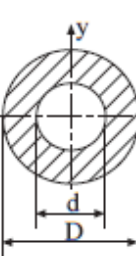


## נספחים לתכנ מכני

נספח 1: חומר, צפיפות, מאמץ כניעה ומודל אלסטיות

שם החומר עברית	שם החומר אנגלית	צפיפות החומר $\left[ \frac{kg}{m^3} \right]$	מודול אלסטיות $E[MPa]$	מאמץ כניעה $\sigma_y[MPa]$
עץ (סוגים שונים)	Wood	650	600	30
פלסטיק (לגו)	PPO - PolyPhenylene Oxide	1140	2000	40
פוליאסטר	PS - poly styrene	1030	3250	48
בטון דחוס	Concrete, dense	2320	25000	50
פוליקרבונט	PC - poly carbonate	1200	2500	55
ברזל יציקה	Cast Iron	7200	165000	172
נחושת	Copper	8810	120000	140
אלומיניום	Aluminum	2710	80000	200
פלב"מ	Stainless Steel	8000	193000	215
ניקל	Nickel	8940	205000	225
פלדה	Steel	7860	200000	250
ברונזה	Bronzes	8900	105000	300
טיטניום	Titanium	4730	100000	730
סיבי פחמן	Carbon Fiber	3510	150000	1000

הערכים בטבלה הם ערכים ממוצעים, לערכים מדויקים יש לפנות ליצרני החומרים. בנספח 7 מפורטים ערכים לפלדות מסוגים שונים.

מומנט התמדה קוטבי, $[mm^4] I_o$	מומנט התמדה, $[mm^4] I$	מומנט התנגדות לפיתול, $[mm^3] Z_o$ (מודול החתך)	מומנט התנגדות לכפיפה, $[mm^3] Z$ (מודול החתך)	שטח, $[mm^2] A$	היקף $[mm]$	
	$I_x = I_y = \frac{a^4}{12}$		$Z_x = Z_y = \frac{a^3}{6}$	$a^2$	$4a$	
	$I_x = \frac{bh^3}{12}$ $I_y = \frac{hb^3}{12}$		$Z_x = \frac{bh^2}{6}$ $Z_y = \frac{hb^2}{6}$	$b \cdot h$	$2(h + b)$	
	$I_x = I_y = \frac{\pi D^4}{64} = 0.05 D^4$	$Z_o = \frac{\pi D^3}{16} \approx 0.2 D^3$	$Z_x = Z_y = \frac{\pi D^3}{32} \approx 0.1 D^3$	$\frac{\pi \cdot D^2}{4}$	$\pi \cdot D$	
	$I_o = \frac{\pi (D^4 - d^4)}{32} \approx 0.1 (D^4 - d^4)$	$I_x = I_y = \frac{\pi (D^4 - d^4)}{64} \approx 0.05 (D^4 - d^4)$	$Z_o = \frac{\pi (D^4 - d^4)}{16 D} \approx \frac{0.2 (D^4 - d^4)}{D}$ $Z_x = Z_y = \frac{\pi (D^4 - d^4)}{32 D} \approx \frac{0.1 (D^4 - d^4)}{D}$	$\frac{\pi}{4} (D^2 - d^2)$	$\pi(D + d)$	

החריץ בגל

ת

החריץ בטבור

קדחים עבור ברגי קביעה ברגי חילוץ ותותבי מרווח

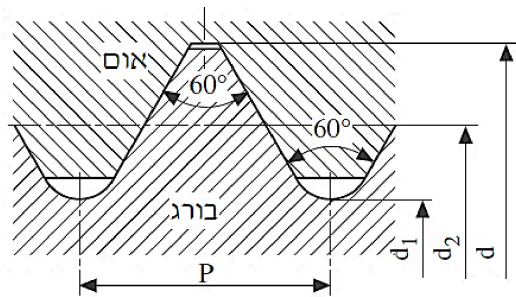
לי לפי (DIN) DIN

L	6	6	8	10	14	18	22	28	36	45	50	56	63	70	80	90	100	110	125	140	160	180	200	220	250	280	
מ-עד	20	36	45	56	70	90	110	110	160	180	200	220	250	280	320	360	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400

חומר: לשגמים בגובה h עד 25 מ"מ: פל' St-50  
 לשגמים בגובה h מעל 25 מ"מ: פל' St-60-2K  
 \* הערך d<sub>2</sub> מתאים לקוטר מינימלי של חלק אותו אפשר להעביר קונצנטרית מעל השגם.

נספח 3: שטח, היקף, מודול חתך ומומנט התמדה של שטחים בסיסיים

נספח 4: תבריגי הידוק מטריים (ת"י 665, Din 13)



חצי זווית פרופיל שן  $\alpha=30^\circ$

מקדם עובי בסיס השן  $k=0.8$

כל עוד לא צוין אחרת הבורג הוא בעל תבריג רגיל.  
 במידה וצוינה פסיעה יש לבדוק בעמודת הפסיעה האם היא מתאימה לבורג מסוג רגיל.  
 אם לא אז לחפש בעמודת הפסיעה של תבריגים עדינים.

תבריגים רגילים					תבריגים עדינים			
קוטר חיצוני	פסיעה	שטח חתך למתיחה	קוטר פנימי	קוטר אפקטיבי	פסיעה	שטח חתך למתיחה	קוטר פנימי	קוטר אפקטיבי
d (mm)	p (mm)	A (mm <sup>2</sup> )	d <sub>1</sub> (mm)	d <sub>2</sub> (mm)	p (mm)	A (mm <sup>2</sup> )	d <sub>1</sub> (mm)	d <sub>2</sub> (mm)
2	0.4	1.79	1.509	1.740				
2.5	0.45	2.98	1.948	2.200				
3	0.5	4.47	2.387	2.675				
3.5	0.6	6	2.764	3.110				
4	0.7	7.75	3.141	3.545				
5	0.8	12.70	4.079	4.420				
6	1	17.9	4.773	5.350				
8	1.25	32.8	6.466	7.188	1	36.0	6.773	7.350
10	1.5	52.3	8.16	9.062	1.25	56.3	8.466	9.188
12	1.75	76.3	9.853	10.863	1.25	86.0	10.466	10.647
14	2	104	11.546	12.701	1.5	116	12.160	13.026
16	2	144	13.546	14.701	1.5	157	14.160	15.026
20	2.5	225	16.933	18.376	1.5	259	18.760	19.026
24	3	324	20.319	22.051	2	365	21.546	22.701
30	3.5	519	25.706	27.727	2	596	27.546	28.701
36	4	759	31.092	33.402	2	884	33.546	34.701
42	4	1050	36.779	39.077	2	1230	39.546	40.701
48	5	1380	41.866	44.752	2	1630	45.456	46.701
56	5.5	1910	49.252	52.428	2	2250	53.516	54.701
64	6	2520	56.639	60.639	2	2980	61.546	62.701

**נספח 5: דרגות חוזק (של חומר הבורג) שונות ומאמצים מקובלים**

**תכונות החוזק של הפלדות המשמשות לבורגי הידוק**

קבוצת חוזק	תחום השימוש	גבול אלסטיות $\sigma_e$ (MPa)	חוזק גבולי למתיחה $\sigma_B$ (MPa)	גבול כניעה $\sigma_y$ (MPa)	חומר בורג	סימן הראש	דרגת חוזק אום	חוזק גבולי מזערי-אום (MPa)
4.6	M5-M36	225	400	240	פלדה דלת-פחמן או פלדה בינונית	4.6	4	400
4.8	M1.6-M16	310	420	340	פלדה דלת-פחמן או פלדה בינונית	4.8	4	400
5.8	M5-M24	380	530	420	פלדה דלת-פחמן או פלדה בינונית	5.8	5	500
8.8	M1.6-M36	600	830	660	פלדת פחמן בינונית	8.8	8	800
9.8	M1.6-M16	650	900	720	פלדה פחמן בינונית	9.8	9	900
10.9	M5-M36	830	1040	940	פלדה פחמן בינונית	10.9	10	1000
12.9	M1.6-M36	970	1220	1100	*פלדת מסג	12.9	12	1200

\* לאחר טיפול תרמי (חיסום והרפיה).

**נספח 6: מומנטי הידוק מומלצים לברגים בדרגות חוזק שונות של חומר הבורג**

Thread	Bolt grade						
	3.6	4.6	4.8	5.8	8.8	10.9	12.9
	Nm						
M1.6	0.05	0.065	0.086	0.11	0.17	0.24	0.29
M2	0.10	0.13	0.17	0.22	0.35	0.49	0.58
M2.2	0.13	0.17	0.23	0.29	0.46	0.64	0.77
M2.5	0.20	0.26	0.35	0.44	0.70	0.98	1.20
M3	0.35	0.46	0.61	0.77	1.20	1.70	2.10
M3.5	0.55	0.73	0.97	1.20	1.90	2.70	3.30
M4	0.81	1.10	1.40	1.80	2.90	4.00	4.90
M5	0.60	2.20	2.95	3.60	5.70	8.10	9.70
M6	2.80	3.70	4.90	6.10	9.80	14.0	17.0
M8		8.90	10.50	15.0	24.0	33.0	40.0
M10		17.0	21.0	29.0	47.0	65.0	79.0
M12		30.0	36.0	51.0	81.0	114.0	136.0
M14		48	58	80	128	181	217

נספח 7: מאמצי כניעה, מאמצים מותרים, וקשיות של פלדות אלומיניום.

חישוב מאמצים מותרים לפי מאמץ חישוב מאמצים מותרים לפי מאמץ

קיצוץ -  $[\sigma_{ult}]$  כניעה -  $[\sigma_y]$  ערכי המאמצים ב-MPa

זאת השורה של מקדמי

סוג הפלדה	מאמץ כניעה	מאמץ קיצוץ	HB	הבטיחות							
				2	0.6	1.2	2	3.5	0.6	1.2	2
[S]				מתיחה $[\sigma_t]$	גזירה $[\tau_s]$	כפיפה $[\sigma_b]$	מערכה $[\sigma_{ic}]$	מתיחה $[\sigma_t]$	גזירה $[\tau_s]$	כפיפה $[\sigma_b]$	מערכה $[\sigma_{ic}]$
St34	210	340	1000	105	63	126	210	97	58	117	194
St37	240	370	1100	120	72	144	240	106	63	127	211
St42	230	420	1550	115	69	138	230	120	72	144	240
St44	260	440	1300	130	78	156	260	126	75	151	251
St50	300	500	1725	150	90	180	300	143	86	171	286
St60	360	600	2025	180	108	216	360	171	103	206	343
SAE1010	180	355	950	90	54	108	180	101	61	122	203
SAE1015	230	400	1425	115	69	138	230	114	69	137	229
SAE1020	330	448	1400	165	99	198	330	128	77	154	256
SAE1030	300	500	1725	150	90	180	300	143	86	171	286
SAE1040	350	550	2050	175	105	210	350	157	94	189	314
SAE1050	400	625	2350	200	120	240	400	179	107	214	357
SAE1060	482	812	2400	241	145	289	482	232	139	278	464
SAE1080	375	615	1740	188	113	225	375	176	105	211	351
SAE3140	422	690	1900	211	127	253	422	197	118	237	394
SAE4130	360	560	1500	180	108	216	360	160	96	192	320
SAE4140	700	1000	2800	350	210	420	700	286	171	343	571
SAE4320	424	580	1600	212	127	254	424	166	99	199	331
SAE4340	700	1000	2800	350	210	420	700	286	171	343	571
SAE4620	372	512	1500	186	112	223	372	146	88	176	293
SAE5140	292	572	1600	146	88	175	292	163	98	196	327
SAE5150	355	670	1970	178	107	213	355	191	115	230	383
SAE5160	276	722	1900	138	83	166	276	206	124	248	413
SAE6150	410	660	1900	205	123	246	410	189	113	226	377
SAE8650	386	715	2100	193	116	232	386	204	123	245	409
SAE9260	480	770	2220	240	144	288	480	220	132	264	440
C10	250	370	1300	125	75	150	250	106	63	127	211
C15	300	575	1400	150	90	180	300	164	99	197	329
C22	360	600	1550	180	108	216	360	171	103	206	343
C35	420	775	1720	210	126	252	420	221	133	266	443
C45	480	825	2060	240	144	288	480	236	141	283	471
C60	570	950	2430	285	171	342	570	271	163	326	543
Al5052 <sub>H32</sub>	276	310	60								
Al6061 <sub>T6</sub>	193	228	95								

הערה: בטבלה (מבוססת על **מונח אקסט**) זו החישובים לפי:  $[\tau_s]=0.6 \cdot [\sigma_t]$ ,  $[\sigma_{ic}]=2 \cdot [\sigma_t]$ ,  $[\sigma_b]=1.2 \cdot [\sigma_t]$

ניתן להשתמש בערך של  $E=200000\text{MPa}$  עבור מודול האלסטיות לפלדות ומודול גזירה  $G=80000\text{MPa}$

$E_{Al5052}=70300\text{MPa}$

$G_{Al5052}=25900\text{MPa}$

$E_{Al6061}=68900\text{MPa}$

$G_{Al6061}=26000\text{MPa}$

נספח 8: נתוני חוזק, קשיות ויישומים של סגסוגות אלומיניום

שם החומר					
AI 7075-T6	AI 2024-T3	AI 6061-T6	AI 5052-H32	AI 1050-H14	קטגוריה
500	345	276	193	80	מאמץ כניעה $\sigma_y$ [MPa]
570	485	310	228	105	מאמץ קיצון $\sigma_{uts}$ [MPa]
150	120	95	60	25	קשיות [HB]
71,700	73,000	69,000	70,300	70,000	מודול אלסטיות [E] [MPa]
תעופה, חלל, אופני קצה	גופי מטוסים	שלדות אופניים, חלקי מכונות	מיכלי דלק, ציוד ימי, מארזים	תעשיית המזון, שלטים	יישום עיקרי
חוזק גבוה במיוחד ביחס למשקל	עמידות גבוהה לעייפות	איזון מצוין בין חוזק, משקל ועיבוד	חומר "נח" לכיפור, עמיד מאוד בקורוזיה	אלומיניום טהור, רך מאוד ונוח לעיבוד	הסבר

## מילון מושגים (א-ב)

המושג	אנגלית	סימול	יחידות מידה	המרת יחידות או נוסחה	נוסחה בסיסית
אנרגיה קינטית (של מהירות)	Kinetic Energy	Ek	Joule	Joul = 1 NM 1	$E_k = \frac{m \cdot v^2}{2}$
אנרגיה פוטנציאלית (של גובה)	Potential Energy	Eh	Joule	Joul = 1 NM 1	$E_p = m \cdot g \cdot h$
אנרגיה של לחץ	Pressure	Ep	Joule	Joul = 1 NM 1	
בקר	Controller			PLC – Programmable Logical Controller	
בקרה	Control				
בקרה בחוג פתוח	Open-Loop Control				
בקרה בחוג סגור	Closed-Loop Control				
בקרת PID				בקרה המשלבת בקר פופרציונלי (יחסי), אינטגרלי ונגזרת	
גובה	Hight	h	m		
הגבר (תמסורת)	Transmission	K		הגבר חיישן (משוב): $K_b$	יחידות משתנות
היקף מעגל	Perimeter	P	mm	Perimeter= $\pi \cdot D$	
הספק (יחידות היסטוריות)	Horse-Power	H	HP	1HP=735.5Watt	
הספק חשמלי	Power	H	Watt	$\frac{N \cdot m}{Coulomb} \cdot \frac{Coulomb}{sec} = \frac{N \cdot m}{sec} =$	$H_I = U \cdot I$
הספק הידראולי	Power	Hp	KW	1KW = 1000watt	$H_Q = P \cdot Q$
הספק בתנועה קווית		Hv	KW		$H_v = F \cdot v$
הספק בתנועה סיבובית		Hn	KW	$H_n = \frac{M_i \cdot n}{9,550}$ $\left[ \frac{N \cdot m}{\frac{60}{2 \cdot \pi} \cdot sec} \right] = \left[ \frac{N \cdot m}{9.55 \cdot sec} \right] = \left[ \frac{N \cdot mm}{9550 \cdot sec} \right]$	
התנגדות חשמלית	Resistance	R	$\Omega$	$U = I \cdot R$	
זמן	Time	t	sec	$x = v \cdot t$	
זרם	Current	I	Ampere	$\left[ \frac{coulomb}{sec} \right] [A] = ]$	
חום סגולי	Specific heat	c <sub>p</sub>	$\frac{Joul}{Celvin \cdot Kg}$		
חיישן	Sensor				
יחס תמסורת	Transmission ratio	i			$i = \frac{Z_1}{Z_2} = \frac{Mt_1}{Mt_2} = \frac{n_2}{n_1}$

$F=m \cdot a$	$Kg \cdot \frac{m}{sec^2} \cdot N =$	N	F	Force	<a href="#">כוח</a>
		N	T	Tension force	<a href="#">כוח מתיחות</a>
	$f=\mu \cdot N$	N	f	Friction force	<a href="#">כוח חיכוך</a>
				Inertial force	כוח התמדה
	$\frac{m \cdot v^2}{R} F_R =$	N	$F_R$	Centrifugal force	כוח צנטריפוגלי
	$G=m \cdot g$	N	G	Gravitation force	<a href="#">כוח הכובד</a>
		N	R	Reaction force	כוח תגובה
	$C = \frac{\Delta Q}{\Delta T}$	$\frac{Joul}{Kelvin}$	C	Heat capacity	כמות חום
$1atm=1.013bar=14.7P.S.I.=101,325 Pa$		Atm	Po	Atmospheric pressure	<a href="#">לחץ אטמוספרי</a>
$P=\gamma \cdot h$		Pa	P	Hydrostatic pressure	<a href="#">לחץ הידרוסטטי</a>
$101,325 \frac{N}{m^2} = \frac{101.325 \cdot 2.205}{9.81 \cdot 39.3701^2} = 14.693 P. S. I.$		$\frac{N}{m^2}$	P	Pressure	<a href="#">לחץ</a>
$1kg=2.205pound$	$1m=39.3701inch$	.P.S.I	P	Manometric pressure	<a href="#">לחץ מנומטרי</a>
$F=\sigma \cdot A$	$1MPa = 1 \cdot 10^5 \frac{N}{mm^2}$	MPa	$\sigma$	Stress	<a href="#">מאמץ</a>
$\tau_s = \frac{F}{A_s} \leq [\tau_s] ; [\tau_s] = 0.6 \cdot [\sigma_t]$		MPa	$\tau_s$	Shear stress	מאמץ גזירה
$[\sigma_y]=[S] \cdot [\sigma_t]$		MPa	$\sigma_y$	Yield stress	<a href="#">מאמץ כניעה</a>
$\sigma_b = \frac{M_b}{Z_x} \leq [\sigma_b] ; [\sigma_b] = 1.2 \cdot [\sigma_t]$		MPa	$\sigma_b$	Bending stress	מאמץ בכפיפה
$\sigma_{LC} = \frac{F}{A_{LC}} \leq [\sigma_{LC}] ; [\sigma_{LC}] = 2 \cdot [\sigma_t]$		$\frac{N}{m^2}$	$\sigma_{lc}$	Local compression stress	מאמץ מעיכה
$\frac{\sigma_y}{[S]}=[\sigma_t]$		MPa	$[\sigma_t]$	Allowable stress	<a href="#">מאמץ מותר</a>
$\tau_s = \frac{M_t}{Z_x} \leq [\tau_t] ; [\tau_t] = 0.7 \cdot [\sigma_t]$		MPa	$\tau_t$	Torsion stress	מאמץ בפיתול
		MPa	$\sigma_{uts}$	Ultimate Tensile Stress	מאמץ קיצון (מקסימלי)
		MPa	$\sigma_t$	Tension stress	<a href="#">מאמץ מתיחה</a>

$v = a \cdot t$	$v_t = v_0 + a \cdot t$	$\frac{m}{sec}$	v	Velocity	מהירות קווית
	$v = \omega \cdot r$	$\frac{rad}{sec}$	$\omega$	Angular velocity	מהירות זוויתית
	$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60,000}$	R.P.M	n	Rotation rate	מהירות סיבוב
	$\sigma = E \cdot \epsilon$	MPa	E	Modulus of elasticity	<a href="#">מודול אלסטיות</a>
	$Z_o = \frac{\pi \cdot D^3}{16}$	mm <sup>3</sup>	Z <sub>o</sub>		מודול חתך בפיתול
	$Z_x = \frac{\pi \cdot D^3}{32}$	mm <sup>3</sup>	Z <sub>x</sub>		מודול חתך בכפיפה
	$M = r \cdot F$	N·m	M	Torque - Moment	<a href="#">מומנט</a>
	בספרות מקובל גם Nm	m·N	Mt	Torsion torque	מומנט פיתול
		m·N	Mb	Bending torque	מומנט כפיפה
1ton = 1000kg	1 kg = 1000Gr 1kg=2.205Pound	Kg	m	Mass	<a href="#">מסה</a>
			[S]	Factor of safety	מקדם בטיחות
<b>הערה: הסימול <math>\mu</math> משמש גם למושג צמיגות קינמטית וגם כמקדם צורת האחיזה בקריסה</b>			$\mu$	Friction coefficient	מקדם חיכוך
			$\mu_s$	Static coefficient of friction	<a href="#">מקדם חיכוך סטטי</a>
			$\mu_k$	Kinetic coefficient of friction	<a href="#">מקדם חיכוך קינטי</a>
$x = v \cdot t$ $x = v_0 \cdot t + \frac{a \cdot t^2}{2}$	1inch =25.4mm 1m=39.3701inch 1km=1000m 1m=10cm=1000mm	m	x	Distance	מרחק (דרך בתנועה קווית)
	$Q = v_{in} \cdot A_{in} = v_{out} \cdot A_{out}$			Continuity Equation	<a href="#">משוואת הרציפות</a>
	$h_A + \frac{v_A^2}{2g} + \frac{P_A}{\gamma} = h_B + \frac{v_B^2}{2g} + \frac{P_B}{\gamma}$				משוואת ברנולי
		N	W	Weight	משקל
	$\gamma = \rho \cdot g$	$\frac{N}{m^3}$	$\gamma$	Specific weight	<a href="#">משקל סגולי</a>
	$U = I \cdot R$	V	U	Voltage	מתח
	1liter = 10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	V	Volume	נפח
	Hin·Hout=η		η	Efficiency	נצילות
A·Q=v	$Q = \frac{V}{t}$	$\frac{m^3}{sec}$	Q	Flow rate	<a href="#">ספיקה</a>

[Joul]=[N·m	W=F·x	Joul	W	Work	עבודה		
		m	Z		<a href="#">עומד</a> (אנרגיה סגולית)		
$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{\text{ארכות}}{\text{ך תחילי}}$	$\sigma = E \cdot \epsilon \Rightarrow \frac{F}{A} = E \cdot \frac{\Delta L}{L_0}$ $\Delta L = \frac{F \cdot L_0}{E \cdot A}$	%	$\epsilon$	Longitudinal Strain האות היוונית אפסילון	<a href="#">עיבור</a> (התארכות יחסית)		
$\nu \cdot \rho = \mu$	האות היוונית מיו	$\frac{m^2}{sec}$	$\mu$	Kinematic viscosity	צמיגות קינמטית		
	האות היוונית ניו	$\frac{N \cdot sec}{m^2}$	$\nu$	Dynamic viscosity	צמיגות דינמית		
	האות היוונית רוו	$\frac{Kg}{m^3}$	$\rho$	Density	<a href="#">צפיפות</a>		
$[\sigma_{cr}] = \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda^2} = \frac{\pi^2 \cdot E}{\left(\frac{\mu L}{i_{min}}\right)^2} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{A \cdot (\mu \cdot L)^2}$	$i_{min} = \sqrt{\frac{I}{A}}$			$F_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{(\mu \cdot L)^2}$	Buckling	קריסה	
<a href="#">HRC</a> קשיות לפי ברינל נמדדת ב- <a href="#">HB</a> או בסולם רוקוול				Hardness	קשיות		
				Stiffness	קשיחות		
$r \cdot D = 2$				mm	D	Diameter	קוטר
				mm	r	Radius	רדיוס
$R_e = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} = \frac{v \cdot D}{\nu}$				$R_e$	$R_e$	Reynolds	<a href="#">רינוולדס</a>
$= A a^2$ ריבועי:	$= A \frac{\pi \cdot D^2}{4}$ עיגול:	mm <sup>2</sup>	A	Cross-sectional area	שטח חתך פנים		
					Logical Gate	שער לוגי	
$a = \frac{dv}{dt}$	$v(t) = v_0 + a \cdot t$	$\frac{m}{sec^2}$	a	Acceleration	תאוצה		
$\frac{m}{sec^2} \sim 9.81 \frac{m}{sec^2} g = 9.80665$				$\frac{m}{sec^2}$	g	Gravitational acceleration	<a href="#">תאוצת הכובד</a>
$d = \cdot dt$	$= \cdot t$	$\frac{rad}{sec^2}$		Angular Acceleration	תאוצה זוויתית		
$a_r = \cdot^2 \cdot r$	$a_r = \frac{v^2}{r}$	$\frac{m}{sec^2}$	$a_r$	Centripetal Acceleration	תאוצה רדיאלית		
$i_{min} = \sqrt{\frac{I}{A}}$	$\lambda = \frac{\mu \cdot L}{i_{min}} \leq [\lambda_E]$		$\lambda$	Slenderness האות היוונית למקא	תמירות (גִּבְהוּת)		

הוכחת הנוסחה:  $a_r = \frac{v^2}{r}$  והוכחת הנוסחה:  $a_r = \cdot^2 \cdot r$

תאוצה קווית היא שינוי מהירות בזמן  $a_r = \frac{dv}{dt}$

עבור שינוי זווית קטן גודל השינוי בתאוצה הרדיאלית הוא:  $dv = v_t \cdot d\theta$  מאחר ש:  $d\theta = \cdot dt$  וגם ידוע ש:

$$v_t = \cdot r$$

ולכן:  $dv = v_t \cdot d\theta = v_t \cdot \cdot dt = v_t \cdot \frac{v_t}{r} \cdot dt = \frac{v_t^2}{r} \cdot dt \rightarrow dv = \frac{v_t^2}{r} \cdot dt \rightarrow \frac{dv}{dt} = \frac{v_t^2}{r} \rightarrow a_r = \frac{v_t^2}{r}$

ואם:  $v = \cdot r \rightarrow a_r = \frac{(\cdot r)^2}{r} \rightarrow a_r = \cdot^2 \cdot r$