



מכניקה הנדסית חוברת שאלות ופתרונות לכיתה יב'

איסוף, פיתוח, כתיבה, ועריכה פדגוגית ודידקטית
על-ידי דר' ירון דופלט – מפמ"ר מגמות הנדסת מערכות

מהדורת תשפ"ד

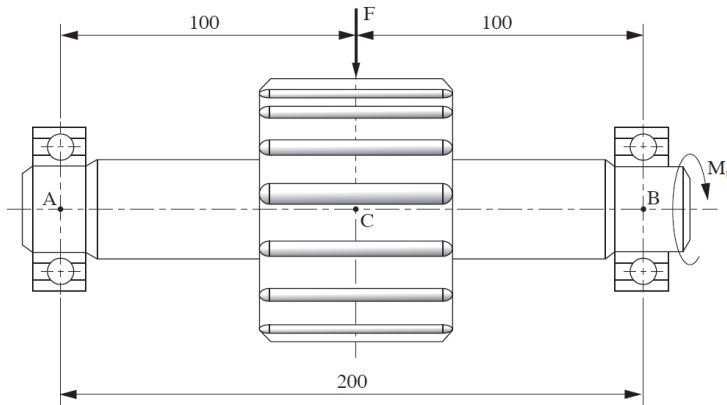


תוכן עניינים

3	מאמצים משולבים
3	שאלה 1: 819282-2021
4	שאלה 2: 838381-2016
5	שאלה 3: 838202-2016
6	שאלה 4: 838202-2015 (התאמה של שאלה למקרה אמיתי)
7	שאלה 5: 838202-2014
8	שאלה 4: 838202-2002 (התאמה של שאלה למקרה אמיתי)
9	מסורות
9	שאלה 1: 838381-2016
10	שאלה 2: 838202-2011
11	שאלה 3: 838202-2008
12	שאלה 4: 838205-2008
13	שאלה 5: 838202-2006
14	שאלה 6: 838202-2004
15	שאלה 7: 838202-2002
16	שאלה 8: 838202-2001
17	שאלה 9: 838202-2001
18	שאלה 10: 838202-2000
19	ברגים
19	שאלה 1: 819282-2023
20	שאלה 2: 838202-2016
21	שאלה 3: 838202-2015
22	שאלה 4: 838202-2012
23	שאלה 5: 819203-2012 וגם 838282-2021
24	שאלה 6: 838282-2009
25	שאלה 7: 838202-2005
26	שאלה 8: 838202-2004
27	שאלה 9: 838205-2003
28	שאלה 10: 838202-2003
29	שאלה 11: 838202-2002
30	שאלה 12: 838105-2002
31	קפיצים
31	שאלה 1: 838202-2004
32	שאלה 2: 838202-2004
33	שאלה 3: 838105-2000
34	שאלה 4: 838202-2000
35	שאלה 5: 838202-2008
36	שאלה 6: 838205-2001
37	שאלה 7: 838202-2001
38	שאלה 8: 838202-2001
39	שאלה 9: 838202-2001
40	שאלה 10: 838202-2001
41	מסבים
41	שאלה 1: 838282-2021 וגם 838202-2006
42	שאלה 2: 838202-2012
43	שאלה 2: 838202-2012
44	שאלה 4: 838202-2007
45	שאלה 5: 838205-2005
46	שאלה 6: 838202-2003
47	שאלה 7: 838202-2003
48	שאלה 8: 838202-2002
49	שאלה 9: 838205-2002
50	שאלה 10: 838202-2001

שאלה 1: 819282-2021

באיור לשאלה זו מתואר גל, שקוטרו $D=25\text{mm}$, שנשמך על שני מסבים ומורכב עליו גלגל שיניים. משקל הגל עם הגלגל זניח. על הגל פועל מומנט פיתול חיצוני $M_t=40\text{Nm}$ ועל גלגל השיניים פועל כוח $F=2500\text{N}$ בכיוון אנכי לגל. מידות האורך באיור נתונות במילימטרים. שני המסבים משמשים כסמכים נידים לגל.



1. חשב את מומנט הכפיפה, M_b , המרבי הפועל בגל.
2. חשב את המומנט השקול (האקוויולנטי), M_e , המרבי הפועל בגל.
3. חשב את המאמץ המרבי השקול, σ_e , בחומר הגל.
4. נתון שהמאמץ המותר בחומר הגל הוא: $[\sigma_t] = 100\text{MPa}$. קבע אם הגל יעמוד במאמץ המרבי הכולל. נמק את קביעתך.

פתרון:

1. חישוב מומנט הכפיפה המקסימלי:

$$M_b = 1250 \cdot 100 = 125,000\text{Nmm} = \mathbf{125\text{Nm}}$$

2. חישוב המומנט השקול, M_{eq} :

$$M_{eq} = \sqrt{M_b^2 + M_t^2} = \sqrt{125^2 + 40^2} = 131.244\text{Nm}$$

3. חישוב המאמץ השקול בגל:

$$\sigma_{b_{max}} = \frac{M_{eq}}{Z_x} = \frac{M_{eq}}{\frac{\pi \cdot d^3}{32}} = \frac{32 \cdot 131,244}{\pi \cdot 25^3} = 85.56\text{MPa}$$

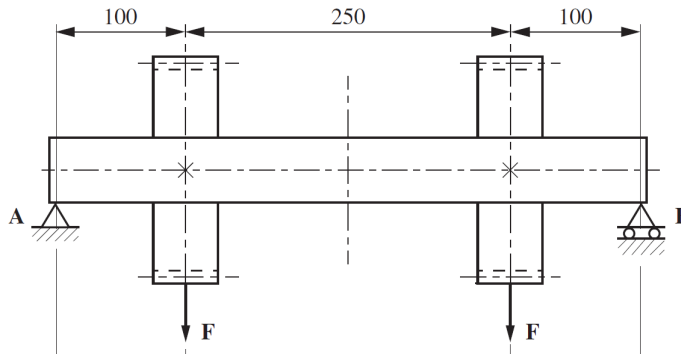
4. בדיקת המאמץ השקול המקסימלי בהשוואה למאמץ המותר:

$$\sigma_{b_{max}} = 85.56\text{MPa} < [\sigma_t] = 100\text{MPa}$$

שאלה 2: 838381-2016

באיור לשאלה מתואר גל שמורכבים עליו שני גלגלי שיניים. מתחת לתיאור הגל נתונים המהלכים של מומנטי הכפיפה והמהלכים של מומנטי הפיתול, לאורך הגל.

נתונים:



מומנט הפיתול המועבר בין גלגלי השיניים הוא: $M_t =$

$$100,000 \text{ Nmm}$$

הכוח הרדיאלי הפועל על כל גלגל שיניים הוא:

$$F = 4,000 \text{ N}$$

מומנט ההתנגדות של חתך הגל:

$$Z_x = 4,287.5 \text{ mm}^3$$

דרוש:

1. חשב את התגובות בסמכים ושרטט את מהלכי מומנטי הכפיפה והפיתול.

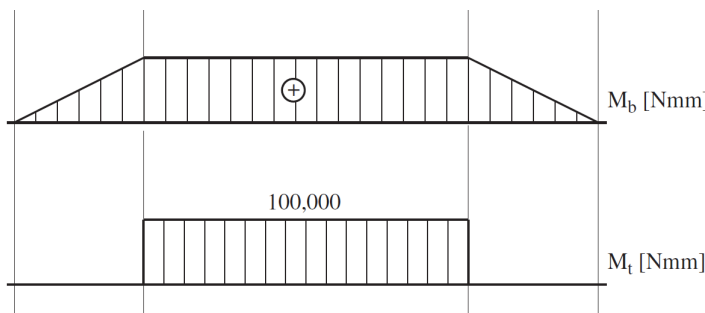
2. חשב את מומנט הכפיפה המרבי לאורך הגל.

3. חשב את המומנט המשולב המרבי לאורך הגל (כפיפה ופיתול).

4. חשב את גודלו של המאמץ המרבי בגל.

ובדיקתו בהשוואה למאמץ מותר בחומר

הגל של: $[\sigma] = 100 \text{ MPa}$.



פתרון:

1. מטעמי סימטריה: $R_A = R_B = 4000 \text{ N}$

2. חישוב מומנט הכפיפה המקסימלי:

$$M_b = 4000 \cdot 100 = 400,000 \text{ Nmm}$$

3. חישוב המומנט השקול:

$$M_{eq} = \sqrt{M_b^2 + M_t^2} = \sqrt{400^2 + 100^2} = 412.31 \text{ Nm} = 412,310 \text{ Nmm}$$

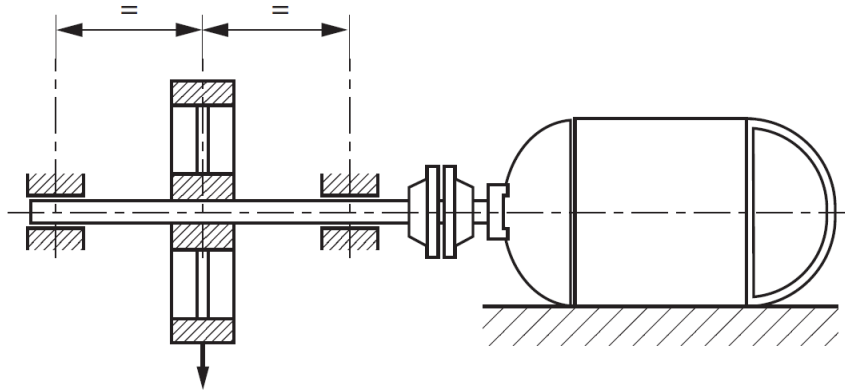
4. חישוב המאמץ השקול בגל:

$$\sigma_{b_{max}} = \frac{M_{eq}}{Z_x} = \frac{412,310}{4,287.5} = 96.17 \text{ MPa} < 100 \text{ MPa}$$

שאלה 3: 838202-2016

באיור לשאלה מתואר מנוע המניע גל. הגל נתמך על שני מסבים ומורכב עליו גלגל רצועה, כמתואר באיור.

למנוע הספק של $H_{in}=15kW$ והוא מסתובב ב- $n_{in}=1,500RPM$. על הגל פועל מומנט פיתול (M_t) ומומנט כפיפה מרבי $M_b = 120,000 Nmm$.



דרוש:

1. חשב את ערכו של מומנט הפיתול (M_t) הפועל בגל.
2. חשב את ערכו של המומנט השקול (האקוויולנטי), M_e , המרבי הפועל בגל.

3. חשב את המאמץ המרבי הכולל בחומר הגל, אם נתון שמומנט ההתנגדות (מודול החתך) של הגל לכפיפה הוא:

$$Z_x=1,800mm^3$$

4. קבע אם הגל יעמוד במאמץ המרבי הכולל. אם נתון שהמאמץ המותר בחומר הגל הוא: $\sigma_p = 90 MPa$

פתרון:

1. מומנט הפיתול שפועל בגל:

$$2. H_{in}[kW] = \frac{M_t[N \cdot m] \cdot n[r.p.m]}{9550} \rightarrow M = \frac{9,550 \cdot H}{n} = \frac{9,550 \cdot 15}{1500} = 95.5 Nm$$

3. המומנט השקול (האקוויולנטי), M_e , המרבי הפועל בגל:

$$M_{eq} = \sqrt{M_b^2 + M_t^2} = \sqrt{120^2 + 95.5^2} = 153.363 Nm = 153,363 Nmm$$

4. חישוב המאמץ השקול בגל:

$$\sigma_{b_{max}} = \frac{M_{eq}}{Z_x} = \frac{153,363}{1,800} = 85.2 MPa < 90 MPa$$

שאלה 4: 838202-2015 (התאמה של שאלה למקרה אמיתי)

באיור לשאלה מתואר גל של מכונית מרוץ מדגם קורבט. על הגל, שנתמך על-ידי שני מיסבים בקצותיו, מותקן גלגל שניים.

נתונים:

— מומנט הסיבוב של הגל: $M_t = 2.8 \text{ kNm}$

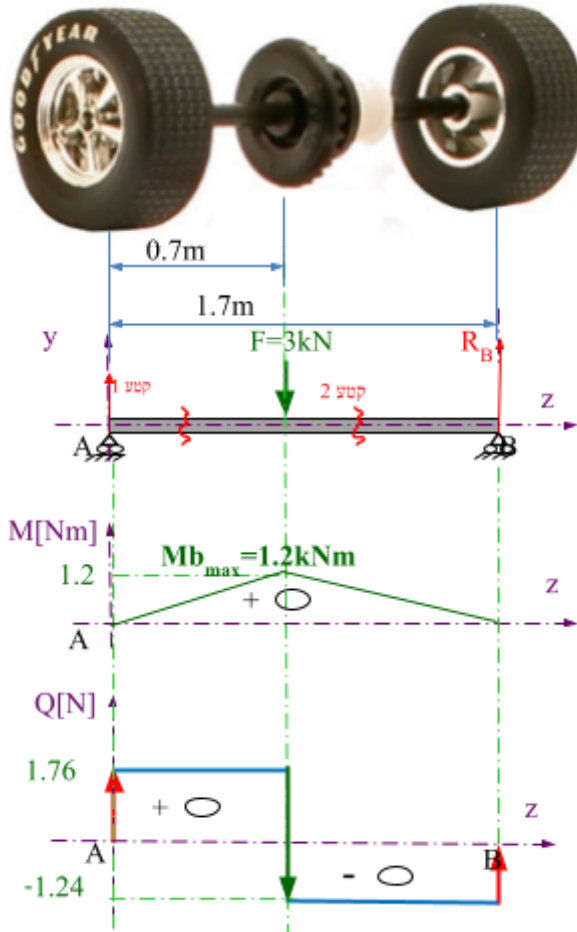
— גודלו של כוח השילוב הרדיאלי $F = 3 \text{ kN}$

דרוש:

1. חשב את ערכו של מומנט הכפיפה, M_b , הפועל בגל.
2. חשב את ערכו של המומנט השקול (האקוויולנטי), M_e , המרבי הפועל בגל.
3. חשב את קוטר הגל הדרוש אם נתון שהמאמץ המותר בחומר הגל הוא: $[\sigma_t] = 180 \text{ MPa}$

פתרון:

1. נמצא את R_A ואת R_B מתוך משוואות שיווי משקל:
 $\Sigma M_A = 0 \Rightarrow 1.7 \cdot R_B - 0.7 \cdot 3 = 0 \Rightarrow R_B = 1.24 \text{ kN}$
 $\Sigma F_y = 0 \Rightarrow R_A + R_B - 3 \Rightarrow R_A = 3 - 1.24 = 1.76 \text{ kN}$
2. נשרטט את מהלך מומנטי הכפיפה ומהלך כוחות הגזירה בגל:



$$M_{O_1} = 0 \rightarrow M_1(z) = R_A z = 1.76z \quad \{z = 0 \quad M_1 = 0 \text{ kNm} \quad z = 0.7 \quad M_1 = 1.2 \text{ kNm}$$

$$M_{O_2} = 0 \rightarrow M_2(z) = R_A z - F(z - 0.7) \rightarrow \\ \rightarrow M_2(z) = 1.76z - 3(z - 0.7) = -1.24z + 2.1 = \{z = 0.7 \quad M_2 = 1.2 \text{ kNm} \quad z = 0 \quad M_2 = 0$$

3. מומנט הכפיפה המקסימלי שפועל בגל הוא: $M_{b\max} = 1.2 \text{ kNm}$

4. המומנט השקול (האקוויולנטי), M_e , המרבי הפועל בגל:

$$M_{eq} = \sqrt{M_b^2 + M_t^2} = \sqrt{1.2^2 + 2.8^2} = 3 \text{ kNm} = 3,000,000 \text{ Nmm}$$

5. מציאת קוטר הגל משיקולי חוזק:

$$\sigma_{b\max} = \frac{M_{eq}}{Z_x} \leq [\sigma_t] \rightarrow Z_x \geq \frac{M_{eq}}{[\sigma_t]} \rightarrow \frac{\pi \cdot d^3}{32} \geq \frac{M_{eq}}{[\sigma_t]} \rightarrow d \geq \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 3,000,000}{\pi \cdot 180}} = 55.4 \text{ mm}$$

שאלה 5: 838202-2014

באיור לשאלה מתואר מנוע, שהספקו, $H_{in}=10kW$ המסוכב גלגל שיניים. גלגל השיניים משולב בממסרה. הממסרה מפעילה על הגלגל את כוח השילוב הרדיאלי, F .

נתונים:

— מהירות הסיבוב של גל המנוע: $n = 1,500 \text{ rpm}$

— אורך הגל של המנוע: $L = 100 \text{ mm}$

— קוטר הגל של המנוע: $d = 30 \text{ mm}$

— גודלו של כוח השילוב הרדיאלי $F = 3,500N$

דרוש:

4. חשב את ערכו של מומנט הפיתול, M_t , הפועל בגל.

5. חשב את ערכו של מומנט הכפיפה, M_b , הפועל בגל.

6. חשב את ערכו של המומנט השקול (האקוויולנטי), M_e , המרבי הפועל בגל.

7. חשב את המאמץ המרבי השקול, σ_e , בחומר הגל.

8. קבע אם הגל יעמוד במאמץ המרבי הכולל. אם נתון שהמאמץ המותר בחומר הגל הוא: $[\sigma] = 180 \text{ MPa}$

פתרון:

1. מומנט הפיתול שפועל בגל:

$$H_{in}[kW] = \frac{M_t[N \cdot m] \cdot n[r.p.m]}{9550} \rightarrow M_t = \frac{9,550 \cdot H_{in}}{n} = \frac{9,550 \cdot 10}{1,500} = 63.67 Nm$$

2. מומנט הכפיפה שפועל בגל:

$$M_b = L \cdot F = 100 \cdot 3,500 = 350,000 mmN = 350 Nm$$

3.

4. המומנט השקול (האקוויולנטי), M_e , המרבי הפועל בגל:

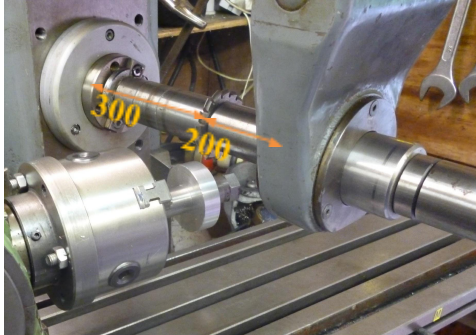
$$M_{eq} = \sqrt{M_b^2 + M_t^2} = \sqrt{350^2 + 64^2} = 356 Nm = 356,000 Nmm$$

5. חישוב המאמץ השקול בגל:

$$\sigma_{b_{max}} = \frac{M_{eq}}{Z_x} = \frac{M_{eq}}{\frac{\pi \cdot d^3}{32}} = \frac{32 \cdot 356,000}{\pi \cdot 30^3} = 134.3 MPa < 180 MPa$$

שאלה 4: 838202-2002 (התאמה של שאלה למקרה אמיתי)

בתמונה לשאלה זו מתואר כרסום גלילי, בקוטר $D=150\text{mm}$, המורכב על גל (מוט) הכרסום. מתחת לאיור מופיע תרשים סכימטי של הגל עליו מופעל כוח שיבוב $F=200\text{N}$.



דרוש:

1. חשב את ערכו של מומנט הפיתול, M_t , בגל כתוצאה מפעולת הכוח F .

2. חשב את ערכו של מומנט הכפיפה, M_b , בגל כתוצאה מפעולת הכוח F .

3. חשב את ערכו של המומנט השקול (האקוויולנטי), M_e , המרבי הפועל בגל.

4. חשב את קוטר הגל הדרוש אם נתון שהמאמץ המותר בחומר הגל הוא: $[\sigma_t] = 50 \text{ MPa}$

פתרון:

1. חישוב מומנט הפיתול:

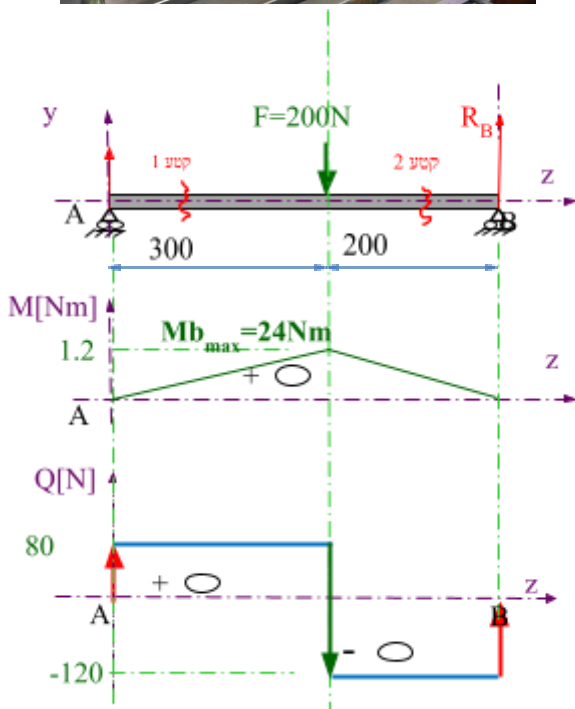
$$M_t = \frac{D}{2} \cdot F = \frac{150}{2} \cdot 200 = 15,000 \text{ Nmm}$$

2. נמצא את R_A ואת R_B מתוך משוואות שיווי משקל:

$$\Sigma M_A = 0 \Rightarrow 500 \cdot R_B - 300 \cdot 200 = 0 \Rightarrow R_B = 120 \text{ N}$$

$$\Sigma F_y = 0 \Rightarrow R_A + R_B - 200 \Rightarrow R_A = 200 - 120 = 80 \text{ N}$$

3. נשרטט את מהלך מומנטי הכפיפה ומהלך כוחות הגזירה בגל:



$$M_{O_1} = 0 \rightarrow M_1(z) = R_A z = 80z \{ z = 0 \quad M_1 = 0 \text{ kNm } z = 300 \quad M_1 = 24 \text{ Nm}$$

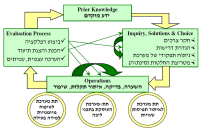
$$M_{O_2} = 0 \rightarrow M_2(z) = R_A z - F(z - 300) \rightarrow \\ \rightarrow M_2(z) = 80z - 200(z - 300) = -120z + 6,000 = \{ z = 300 \quad M_2 = 24 \text{ Nm} \quad z = 500 \quad M_2 = 0$$

4. המומנט השקול (האקוויולנטי), M_e , המרבי הפועל בגל:

$$M_{eq} = \sqrt{M_b^2 + M_t^2} = \sqrt{24^2 + 15^2} = 28.3 \text{ Nm} = 28,300 \text{ Nmm}$$

5. מציאת קוטר הגל משיקולי חוזק:

$$\sigma_{b_{max}} = \frac{M_{eq}}{Z_x} \leq [\sigma_t] \rightarrow Z_x \geq \frac{M_{eq}}{[\sigma_t]} \rightarrow \frac{\pi \cdot d^3}{32} \geq \frac{M_{eq}}{[\sigma_t]} \rightarrow d \geq \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 28,300}{\pi \cdot 50}} = 18 \text{ mm}$$



שאלה 1: 838381-2016

באיור לשאלה זו מתואר מפתח סיבובים דו-דרגתי הכולל את גלגלי השיניים 1 ו-2 בדרגה הראשונה ואת גלגלי השיניים 3 ו-4 בדרגה השנייה. לכל הגלגלים שיניים ישרות. המבוא למפתח הוא בגל a והמוצא ממנו הוא בגל c. גל b הוא גל ביניים. מפתח סיבובים דו-דרגתי הכולל את גלגלי השיניים 1 ו-2 בדרגה הראשונה ואת גלגלי השיניים 3 ו-4 בדרגה השנייה. לכל הגלגלים שיניים ישרות. המבוא למפתח הוא בגל a והמוצא ממנו הוא בגל c. גל b הוא גל ביניים.

נתונים:

ההספק ביציאה ממפתח הסיבובים: $H_o = 15 \text{ kW}$

מהירות הסיבוב בכניסה למפתח: $n_i = 1,500 \text{ RPM}$

מהירות הסיבוב ביציאה מן המפתח: $n_o = 300 \text{ RPM}$

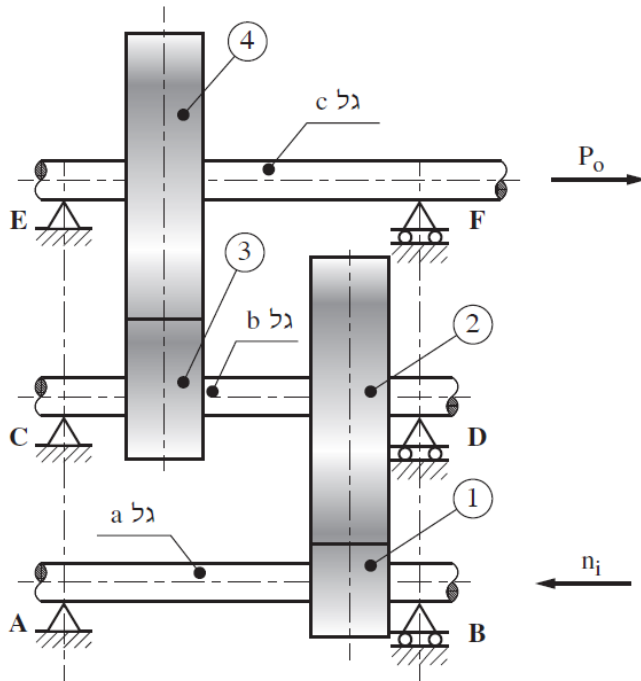
מספרי השיניים בגלגלי הדרגה השנייה:

$$Z_3 = 15, Z_4 = 60$$

הקוטר של גלגל 1: $D_1 = 60 \text{ mm}$

בצילות המפתח: $\eta = 60\%$

מודול השן של גלגלים 1 ו-2: $m_1 = m_2 = m = 3 \text{ mm}$



פתרון:

דרוש:

1. חשב את מספר השיניים בגלגל 1.
2. חשב את יחס התמסורת של מפתח הסיבובים.
3. חשב את מספר השיניים בגלגל 2.
4. חשב את המומנט במבוא למפתח הסיבובים.

$$H_{out} [kW] = \frac{M_{t_{out}} [Nm] \cdot n_{out} [r.p.m]}{9550} \rightarrow M_{out} = \frac{9550 \cdot H_{out}}{n_{out}} = \frac{9550 \cdot 15}{300} = 477.5 Nm$$

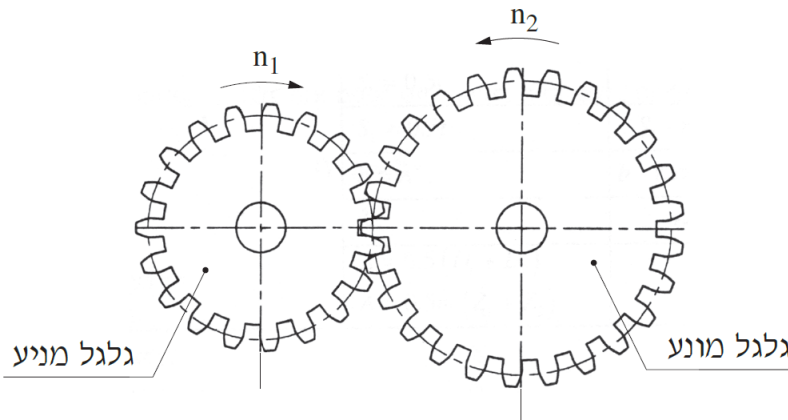
באיור מתוארת ממסרת גלגלי שיניים בעלי שיניים ישרות. הממסרה מעבירה מומנט סיבוב מהגלגל המניע לגלגל המונע.

נתונים:

מספר השיניים בגלגל המניע : $z_1 = 20$

מספר השיניים בגלגל המונע : $z_2 = 60$

מודול השיניים בגלגלים : $m = 3 \text{ mm}$



דרוש:

- חשב את הקטרים של מעגלי החלוקה בשני גלגלי השיניים.
- חשב את מהירות הסיבוב של הגלגל המניע אם נתון שמהירות הסיבוב של הגלגל המונע היא $n=600 \text{ rpm}$.
- חשב את המומנט המתקבל ביציאה מן הממסרה אם נתון שההספק בכניסה לממסרה הוא $H_{in}=10 \text{ kW}$ ונצילות הממסרה היא: $\eta=0.85$.

פתרון:

$D_1=m \cdot Z_1=3 \cdot 20=60_{\text{שיניים}}$	$D_2=m \cdot Z_2=3 \cdot 60=180_{\text{שיניים}}$	1. חישוב הקטרים לפי מודל השיניים:
$i = \frac{Z_1}{Z_2} = \frac{60}{180} = \frac{1}{3}$ נחשב תחילה את יחס התמסורת:		2. מהירות הסיבוב של הגלגל המניע:
$n_{in} = \frac{n_{out}}{i} = \frac{600}{\frac{1}{3}} = 1,800 R. P. M.$		

3. חישוב המומנט ביציאה: תחילה נחשב את הספק היציאה לפי יחס התמסורת והנצילות:

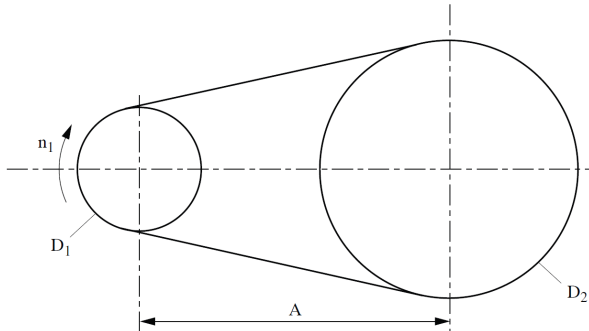
$$H_{out} = \eta \cdot i \cdot H_{in} = 0.85 \cdot \frac{1}{3} \cdot 10 = 2.83 \text{ kW}$$

$$H_{out} [\text{kW}] = \frac{M_{out} [\text{N}\cdot\text{m}] \cdot n_{out} [\text{r.p.m}]}{9,550} \rightarrow M_{out} = \frac{9550 \cdot H_{out}}{n_{out}} = \frac{9,550 \cdot 2.83}{600} = 45 \text{ Nm}$$



שאלה 3: 838202-2008

באיור מתוארת ממסרת רצועה שטוחה.



נתונים:

ההספק המועבר בממסרת: $H=5kW$

מהירות הסיבוב של גלגל השניים: $n_1 = 500 \text{ R.P.M}$

יחס התמסורת: $i = \frac{1}{3}$

קוטר הגלגל הקטן: $D_1=200mm$

המרחק בין צירי הגלגלים: $A=800mm$

דרוש:

1. חשב את קוטר הגלגל הגדול, D_2 .

2. חשב את אורך הרצועה.

3. חשב את המהירות הקווית של הרצועה.

4. חשב את הכוח המשיקי ברצועה.

פתרון:

1. חישוב קוטר הגלגל הגדול: $i = \frac{D_1}{D_2} \rightarrow D_2 = \frac{D_1}{i} = \frac{200}{\frac{1}{3}} = 600mm$

2. חישוב אורך הרצועה:

$$L = \pi \frac{(D_2 + D_1)}{2} + 2A + \frac{(D_2 - D_1)^2}{4A} = \pi \frac{(600 + 200)}{2} + 2800 + \frac{(400 - 200)^2}{4800} = 2890mm$$

3. חישוב המהירות הקווית של הרצועה: $v = \frac{\pi \cdot D_1 \cdot n}{60,000} = \frac{\pi \cdot 200 \cdot 500}{60,000} = 5.24 \frac{m}{sec}$

4. חישוב הכוח המשיקי ברצועה:

$$H = \frac{F \cdot v}{1,000} \rightarrow F = \frac{1,000 \cdot H}{v} = \frac{1,000 \cdot 5}{5.24} = 954.2N$$

שאלה 4: 838205-2008

בתמונה מתוארת ממסרת של גלגלי שיניים בעלי שיניים ישרות.

מתחתיה תיאור סכמתי של הממסרת.

נתונים:

ההספק המועבר בממסרת: $H = 4 \text{ kW}$

מהירות הסיבוב של גלגל השיניים המניע: $n_1 = 500 \text{ R.P.M}$

מודל השן: $m = 4 \text{ mm}$

המרחק בין צירי הגלגלים: $A = 120 \text{ mm}$

מספר השיניים בגלגל המניע: $Z_1 = 20$

מקדם רוחב הגלגל: $\lambda = \frac{b}{m} = 10$

דרוש:

1. חשב את הרוחב של גלגלי השיניים

2. חשב את מספר השיניים, Z_2 בגלגל המונע.

3. חשב את יחס התמסורת בממסרה.

4. חשב את המומנט המועבר בממסרה.

פתרון:

1. חישוב רוחב גלגל השיניים: $\lambda = \frac{b}{m} = 10 \rightarrow b = 10m = 10 \cdot 4 = 40 \text{ mm}$

חישוב מספר השיניים, Z_2 בגלגל המונע:

$$A = \frac{m \cdot (Z_1 + Z_2)}{2} \rightarrow Z_2 = \frac{2 \cdot A}{m} - Z_1 = \frac{2 \cdot 120}{4} - 20 = 40$$

3. חישוב יחס התמסורת בממסרה:

$$i = \frac{Z_1}{Z_2} = \frac{20}{40} = 0.5$$

4. חישוב המומנט המועבר בממסרה:

$$H[\text{kW}] = \frac{M_t[\text{Nm}] \cdot n[\text{r.p.m}]}{9550} \rightarrow M_t = \frac{9550 \cdot H}{n} = \frac{9550 \cdot 4}{500} = 76.4 \text{ Nm}$$

שאלה 5: 838202-2006

באיור מתוארת ממסרת גלגלי שיניים. לממסרה שני גלגלי שיניים עם שיניים ישרות.

מספר השיניים בגג"ש מס' 1 הוא $Z_1=20$ והגג"ש מסתובב במהירות סיבוב של: $n=1000\text{rpm}$. מספר השיניים בגג"ש מס' 2 הוא $Z_2=80$. הגלגלים עשויים מפלדה SAE4140 שבה המאמץ המותר לכפיפה הוא: $[\sigma] = 360\text{MPa}$. בממסרה מועבר הספק של $H=5.1\text{kW}$, ומקדם עומס היתר בה הוא: $f=2$. זווית הלחץ בין השיניים המשולבות היא 20° , ומקדם מספר השיניים הוא: $q=53$. רוחב כל גלגל גדול פי 10 מן המודול שלו.

מקדם רוחב הגלגל:

$$\lambda = \frac{b}{m} = 10$$

דרוש:

1. חשב את מודל הגלגל.
2. חשב את קוטר מעגל החלוקה.
3. חשב את גובה השן של הגג"ש המניע.
4. חשב את המרחק בין צירי הגלגלים.
5. חשב את הרוחב המזערי של גלגלי השיניים.

פתרון:

1. חישוב מודל הגלגל:

$$m = 490 \cdot \sqrt[3]{\frac{H \cdot f \cdot q}{n \cdot Z \cdot \lambda \cdot [\sigma_b]}} = 490 \cdot \sqrt[3]{\frac{5.1 \cdot 2 \cdot 53}{1,000 \cdot 20 \cdot 10 \cdot 150}} = 12.85\text{mm} \rightarrow m = 16\text{mm}$$

2. קוטר מעגל החלוקה: $D = m \cdot Z = 16 \cdot 20 = 320\text{mm}$

3. גובה השן: $h = h_1 + h_2 = m + 1.2m = 2.2 \cdot m = 2.2 \cdot 16 = 35.2\text{mm}$

4. המרחק בין צירי הגלגלים: $A_1 = m \cdot \frac{Z_1 + Z_2}{2} = 16 \cdot \frac{20 + 80}{2} = 800\text{mm}$

5. רוחב הגלגל: $\lambda = \frac{b}{m} = 10 \rightarrow b = m \cdot \lambda = 16 \cdot 10 = 160\text{mm}$



שאלה 6: 838202-2004

באיור מתוארת ממסרת פס שיניים.

נתונים:

ההספק המועבר בממסרת: $H=0.5\text{kW}$

מקדם עומס היתר בממסרת: $f=1.5$

מספר השיניים בגלגל השיניים: $z_1 = 20$

מהירות הסיבוב של גלגל השיניים: $n = 100\text{R.P.M}$

מקדם מספר השיניים בגלגל: $q=0.53$

מאמץ הכפיפה המותר של חומר הגלגל: $[\sigma_b]=150\text{MPa}$

מקדם רוחב הגלגל: $\lambda = \frac{b}{m} = 10$

דרוש:

1. חשב את מודל הגלגל.

2. חשב את קוטר מעגל החלוקה, קוטר מעגל הראשים ורוחב הגלגל.

פתרון:

1. חישוב מודל הגלגל:

$$m = 490 \cdot \sqrt[3]{\frac{H \cdot f \cdot q}{n \cdot Z \cdot \lambda \cdot [\sigma_b]}} = 490 \cdot \sqrt[3]{\frac{0.5 \cdot 1.5 \cdot 0.53}{100 \cdot 20 \cdot 10 \cdot 150}} = 2.45\text{mm} \rightarrow m = 2.5\text{mm}$$

2. רוחב הגלגל: $\lambda = \frac{b}{m} = 10 \rightarrow b = m \cdot \lambda = 2.5 \cdot 10 = 25\text{mm}$

3. קוטר מעגל החלוקה: $D = m \cdot Z = 2.5 \cdot 20 = 50\text{mm}$

4. קוטר מעגל העיקרים: $d_e = m \cdot (z + 2) = 2.5 \cdot (20 + 2) = 55\text{mm}$

5. קוטר מעגל הראשים: $d_e = m \cdot (z - 2.4) = 2.5 \cdot (20 - 2.4) = 44\text{mm}$



שאלה 7: 838202-2002

באיור מתוארת ממסרת גלגלי שיניים.

נתונים:

מקדם עומס היתר בממסרת: $f=2$

מקדם רוחב הגלגל: $\lambda = \frac{b}{m} = 10$

ההספק המועבר בממסרת: $H=20\text{kW}$

מהירות הסיבוב של גלגל השיניים Z_4 : $n_4 = 1,500\text{R.P.M}$

מקדם מספר השיניים בגלגל Z_1 : $q=0.596$

מאמץ הכפיפה המותר של חומר הגלגל: $[\sigma_b]=100\text{MPa}$

מספרי השיניים בארבעת הגלגלים של הממסרה הם אלה: $Z_4 = 60, Z_3 = 20, Z_2 = 30, Z_1 = 15$

דרוש:

1. חשב את מהירות הסיבוב (rpm) של הגלגל Z_1 .

2. חשב את קוטר מעגל החלוקה, קוטר מעגל הראשים ורוחב הגלגל.

3. חשב ובחר את מודול השן של גלגלי השיניים, בתשלובת שבין גלגל Z_1 לגלגל Z_2 .

4. חשב את קוטר מעגל החלוקה, קוטר מעגל הראשים ורוחב הגלגל Z_1 .

פתרון:

1. חישוב מהירות הסיבוב, n_1 :

$$i_{Total} = \frac{Z_1}{Z_2} \cdot \frac{Z_3}{Z_4} = \frac{15}{30} \cdot \frac{20}{60} = \frac{1}{6} \quad i_{Total} = \frac{n_4}{n_1} \rightarrow n_1 = \frac{n_4}{i_{Total}} = \frac{1,500}{\frac{1}{6}} = 9,000\text{R.P.M.}$$

2. חישוב מודל הגלגל:

$$m = 490 \cdot \sqrt[3]{\frac{H \cdot f \cdot q}{n \cdot Z \cdot \lambda \cdot [\sigma_b]}} = 490 \cdot \sqrt[3]{\frac{20 \cdot 2 \cdot 0.596}{9,000 \cdot 15 \cdot 10 \cdot 100}} = 2.75\text{mm} \rightarrow m = 3\text{mm}$$

3. רוחב הגלגל: $\lambda = \frac{b}{m} = 10 \rightarrow b = m \cdot \lambda = 3 \cdot 10 = 30\text{mm}$

4. קוטר מעגל החלוקה: $D = m \cdot Z_1 = 3 \cdot 15 = 45\text{mm}$

5. קוטר מעגל העיקרים: $d_e = m \cdot (Z_1 + 2) = 3 \cdot (15 + 2) = 51\text{mm}$

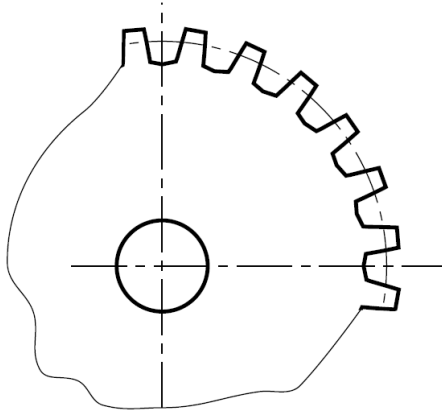
6. קוטר מעגל הראשים: $d_e = m \cdot (Z_1 - 2.4) = 3 \cdot (15 - 2.4) = 37.8\text{mm}$



שאלה 8: 838202-2001

ארכאולוגים מעוניינים לשחזר מכונה עתיקה. לצורך שיחזור המכונה עליהם לשחזר גלגל שיניים. בידי הארכאולוגים שבר של רבע גלגל שיניים מקורי. בשבר שנבדק על-ידי הארכאולוגים (ראה איור) נמדד הגובה הכולל (h) של השן ונספרו השיניים.

התוצאות הן כדלקמן:



1. מספר השיניים ברבע הגלגל: 6.

2. הגובה הכולל (h) של השן: 11 מ"מ.

3. הרוחב (b) של הגלגל: 50 מ"מ.

דרוש:

1. חשב את הגדלים שלהלן, הנחוצים לשיחזור גלגל השיניים:

1. מספר השיניים בגלגל.

2. מודול השן.

3. הקוטר החיצוני של הגלגל.

2. הוחלט לייצר את גלגל השיניים המשוחזר מפלדה SAE 1040. המאמץ המותר למתיחה בפלדה זו הוא:

$$[\sigma] = 140 \text{ MPa}$$

הגלגל מתוכנן ל- 1000 סל"ד.

מקדם עומס היתר: $f = 2$.

מקדם מספר השיניים: $q = 0.484$.

חשב את ההספק המרבי שגלגל השיניים המשוחזר יוכל להעביר.

פתרון:

$$1. \text{ מידות הגלגל המקורי: } \frac{h}{2.2} = h = 2.2m \rightarrow m = \frac{h}{2.2} = \frac{11}{2.2} = 5 \quad Z = 4 \cdot 6 = 24$$

$$2. \text{ קוטר מעגל החלוקה: } D = m \cdot Z_1 = 5 \cdot 24 = 120 \text{ mm}$$

$$3. \text{ רוחב הגלגל: } \lambda = \frac{b}{m} = \frac{50}{5} = 10 \text{ mm}$$

4. מתוך נוסחת מודל הגלגל נחשב את ההספק שהגלגל מסוגל להעביר:

$$m = 490 \cdot \sqrt[3]{\frac{H \cdot f \cdot q}{n \cdot Z \cdot \lambda \cdot [\sigma_b]}} \rightarrow H = \left(\frac{m}{490}\right)^3 \cdot \frac{n \cdot Z \cdot \lambda \cdot [\sigma_b]}{f \cdot q} = \left(\frac{5}{490}\right)^3 \cdot \frac{1,000 \cdot 24 \cdot 10 \cdot 140}{2 \cdot 0.484} = 36.88 \text{ kW}$$

שאלה 9: 838202-2001

באיור לשאלה זו מתוארים הגלגל המניע והמונע של ממסרת רצועה טריזית. מתחת לתמונה תרשים סכימטי בו מצוינים הכוחות שמפעילה הרצועה על הגלגלים

נתונים:

להלן נתונים לגבי ממסרת רצועה טריזית:

— ההספק המועבר: $H = 20 \text{ kW}$

— מהירות הסיבוב של הגלגל המניע: $n_1 = 1500 \text{ rpm}$

— יחס התמסורת: $i = 1/4$

— חתך הרצועה: $V 5$

— הקוטר החיצוני של הגלגל המניע: $d = 261 \text{ mm}$

— מקדם תנאי העבודה של הממסרת: $K_d = 1.2$

— המרחק בין הצירים של הגלגלים: $a = 915 \text{ mm}$

דרוש:

1. חשב את ההספק האפקטיבי המועבר בממסרת.

2. חשב את הקוטר החיצוני של הגלגל הגדול בממסרת.

3. השתמש בנספח ו' ובחר באורך הרצועה התיקני המתאים לממסרת.

4. חשב את המומנט המועבר בממסרת.

פתרון:

1. חישוב ההספק האפקטיבי המועבר בממסרת: $H_{\text{Effectiv}} = K_d \cdot H = 1.2 \cdot 20 = 24 \text{ kW}$

2. חישוב הקוטר החיצוני של הגלגל הגדול בממסרת: $i = \frac{d}{D} \rightarrow D = \frac{d}{i} = \frac{261}{\frac{1}{4}} = 1,044 \text{ mm}$

3. חישוב אורך הרצועה:

$$L = \pi \frac{(D+d)}{2} + 2a + \frac{(D-d)^2}{4A} = \pi \frac{(1,044+261)}{2} + 2 \cdot 915 + \frac{(1,044-261)^2}{4 \cdot 915} = 4047.4 \text{ mm}$$

לפי תקן רצועות האורך התיקני של הרצועה צריך להיות $L=4064 \text{ mm}$

4. חישוב המומנט המועבר בממסרת:

$$v = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60,000} = \frac{\pi \cdot 261 \cdot 1500}{60,000} = 20.5 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad F = \frac{1,000 \cdot H}{v} = \frac{1,000 \cdot 20}{20.5} = 975.6 \text{ N}$$

$$S_1 = K_e \cdot F = 1.3975 \cdot 975.6 = 1268.28 \text{ N}$$

$$S_2 = S_1 - F = 1268.28 - 975.6 = 292.68 \text{ N}$$

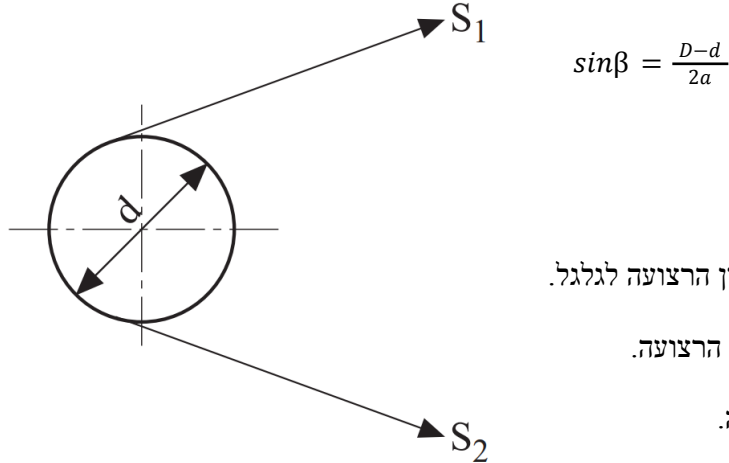
$$M_t = F \cdot \frac{D}{2} = 975.6 \cdot \frac{261}{2} = 127,316 \text{ Nmm}$$

$$H[\text{kW}] = \frac{M_t[\text{Nm}] \cdot n[\text{r.p.m}]}{9550} \rightarrow M_t = \frac{9550 \cdot H}{n} = \frac{9,550 \cdot 20}{1,500} = 127.33 \text{ Nm}$$



שאלה 10: 838202-2000

באיור לשאלה זו מתוארים הגלגל המניע של ממסרת רצועה שטוחה והכוחות שמפעילה עליו הרצועה. קוטר הגלגל הוא: $d=100\text{mm}$, והוא מסתובב במהירות סיבוב של: $n=600\text{R.P.M}$. זווית החביקה היא: $\alpha=180-2\beta=150^\circ$. כוח המתחה בענף הפעיל הוא: $S_1=2\text{kN}$. מקדם החיכוך הוא: $\mu=0.1$.



דרוש:

1. חשב את הכוח ההיקפי (כוח החיכוך) F , שבין הרצועה לגלגל.
2. חשב את כוח המתחות, S_2 , בענף הסביל של הרצועה.
3. חשב את המהירות ההיקפית, v , של הרצועה.
4. חשב את ההספק המועבר על-ידי ממסרת הרצועה.

פתרון:

מקדם כוח המתחה:

$$K_e = \frac{e^{\mu\alpha}}{e^{\mu\alpha}-1} = \frac{e^{0.1150}}{e^{0.1150}-1} = 1$$

$$S_1 = K_e F_t \rightarrow F_t = \frac{S_1}{K_e} = \frac{2}{1} = 2\text{kN}$$

$$S_2 = S_1 - F_t = 2 - 2 = 0\text{kN}$$

$$v = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60,000} = \frac{\pi \cdot 100 \cdot 600}{60,000} = 3.142 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$$

$$H = \frac{F_t \cdot v}{1,000} = \frac{1,000 \cdot 3.142}{1,000} = 3.142\text{Watt}$$

שאלה 1: 819282-2023

תושבת הגלגש המתואר בתמונה מחוברת באמצעות 4 ברגי M6 לבסיס הגלגש. הברגים מהדקים את התושבת לבסיס הגלגש. כוח הידוק התושבת לבסיס הוא $F=5000N$.



1. חשב את מאמץ המתיחה שמופעל על כל בורג.
2. חשב את מאמץ הגזירה בפיתול, T_t , הפועל על כל בורג.
3. חשב את המאמץ השקול, σ_e .
4. חשב את המאמץ המותר, $[\sigma_e]$, לחומר הברגים העשויים מפלדת SAE4130 הנח מקדם בטיחות $[S]=2$.
5. בדוק האם המאמץ השקול שחישבת עומד בתנאי החוזק לפי המאמץ המותר שחישבת בסעיף ד.

פתרון:

1. נחשב את המאמץ שפועל בכל בורג בשלושה שלבים:

1. מציאת הכוח שמהדק על בורג:

$$F_i = \frac{F}{i} = \frac{5,000}{4} = 1250N$$

2. חישוב הקוטר היעיל של הבורג:

$$d_1 = 0.8 \cdot d = 0.8 \cdot 6 = 4.8mm$$

3. נמצא את שטח החתך של כל בורג:

$$A_t = \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} = \frac{\pi \cdot 4.8^2}{4} = 18.1mm^2$$

4. נמצא את המאמץ הפועל בכל בורג:

$$\sigma_t = \frac{F_i}{A_t} = \frac{1,250}{18.1} = 69.06MPa$$

2. נחשב את מאמץ הגזירה בפיתול כתוצאה מהפעלת מומנט הסגירה (מומנט פיתול):

1. תחילה נחשב את מומנט הסגירה:

$$M_t = 0.1 \cdot Q \cdot d = 0.1 \cdot 5000 \cdot 6 = 3,000mmN$$

2. כעת נחשב את מאמץ הגזירה הפועל בפיתול:

$$\tau_t = \frac{M_t}{Z_o} = \frac{16 \cdot M_t}{\pi d_1^3} = \frac{16 \cdot 3,000}{\pi 4.8^3} = 138.16MPa$$

3. נחשב את המאמץ השקול: $\sigma_{max} = \sqrt{\sigma_t^2 + 3 \cdot \tau_t^2} = \sqrt{70^2 + 3 \cdot 138^2} = 249MPa$

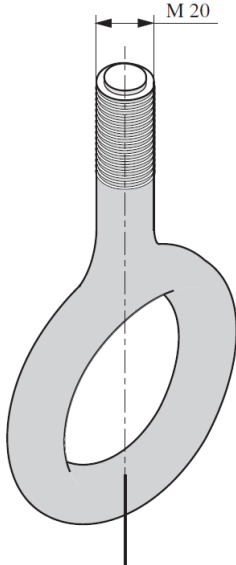
4. מאמץ הכניעה של פלדת SAE4130 הוא: $\sigma_y = 360MPa$; $[\sigma_t] = \frac{\sigma_y}{[S]} = \frac{360}{2} = 90MPa$



5. הברגים לא יעמדו במאמץ המותר. לכן חייבים לקחת דרגת חוזק יותר גבוהה למשל SAE4340 שמאמץ הכניעה

$$[\sigma_t] = \frac{\sigma_y}{[S]} = \frac{700}{2} = 350MPa: \sigma_y=700MPa \text{ שלה הוא:}$$

באיור לשאלה זו מתוארת טבעת הרמה של מנוף. הטבעת עשויה מפלדה SAE 1020 והיא מתחברת לזרוע המנוף באמצעות תבריג M 20. מאמץ הכניעה של חומר הטבעת הוא: $\sigma_y = 240 \text{ MPa}$. מקדם הבטיחות הוא: $[S] = 2.4$. הנח שמקדם החיכוך בכל זוגות החלקים הוא: $\mu = 0.1$.



- היעזר בנספח ג' ורשום במחברתך את הנתונים האלה של הבורג M16: (קוטר חיצוני), d_1 (קוטר פנימי), d_2 (קוטר אפקטיבי), p (פסיעה) ו- A (שטח החתך למתיחה).
 - חשב את מאמץ המתיחה המותר בתבריג.
 - חשב את המשקל המקסימלי, F , שאפשר להרים באמצעות הטבעת.
 - חשב מאמץ מתיחה קיים בתבריג תוך הפחתת המשקל ב- 10%.
 - חשב את מומנט הפיתול, M_t .
 - חשב את מאמץ הגזירה בפיתול, τ_t .
 - חשב את המאמץ השקול, σ_e , ובדוק שהוא קטן מהמאמץ המותר.
- פתרון:

1. מתוך נספח "מידות לתבריגי הידוק מטריים": נוציא את המידות המבוקשות:

תבניות עדינים				תבניות דחילים			
קוטר אפקטיבי	קוטר פנימי	קוטר חיצוני	פסיעה	קוטר אפקטיבי	קוטר פנימי	קוטר חיצוני	פסיעה
d_2	d_1	d	p	d_2	d_1	d	p
18.760	16.9	20	1.5	16.933	16.9	20	1.5

$$d=20\text{mm}, d_1=16.9, d_2=18.376, p=1.5\text{mm}, A=259\text{mm}^2$$

$$2. \text{ מאמץ המתיחה המותר בתבריג: } [\sigma_t] = \frac{\sigma_y}{[S]} = \frac{240}{2.4} = 100 \text{ MPa}$$

3. כוח המתיחה המקסימלי בתבריג מתוך שיקולי חוזק למתיחה:

$$\sigma_t = \frac{F}{A} \leq [\sigma_t] \rightarrow F \leq [\sigma_t] \cdot A \rightarrow F \leq 100 \cdot 259 \rightarrow F \leq 25,900 \text{ N} \rightarrow F = 24 \text{ kN}$$

$$4. \text{ מאמץ מתיחה (עם כוח קטן ב- 10\%): } \sigma_e = \frac{F}{A_i} = \frac{4 \cdot 24,000}{\pi \cdot 18.4^2} = 90.26 \text{ MPa}$$

$$5. \text{ מומנט בגישה מדויקת: } \tan \tan(\gamma) = \frac{p}{\pi \cdot d_2} = \frac{1.5}{\pi \cdot 18.4} = 0.026 \quad (0.026) = 1.49^\circ$$

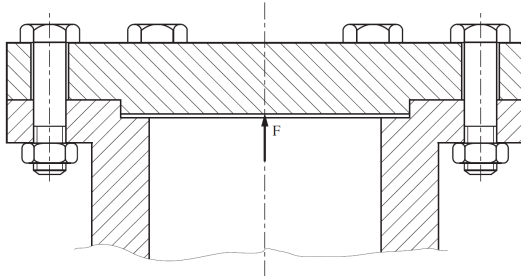
$$(\varphi) \rightarrow \varphi = \arctan \arctan(\mu) \rightarrow \varphi = \arctan \arctan(0.1) \rightarrow \varphi = 5.71^\circ$$

$$M_t = F_q \cdot \tan \tan(\gamma + \varphi) \cdot \frac{d_2}{2} = 24,000 \cdot \tan \tan(1.49 + 5.71) \cdot \frac{18.4}{2} = 27,894 \text{ Nmm}$$

$$6. \text{ מאמץ הגזירה בפיתול בבורג: } \tau_t = \frac{M_t}{Z_o} = \frac{16 \cdot M_t}{\pi \cdot d^3} = \frac{16 \cdot 27,894}{\pi \cdot 18.4^3} = 22.8 \text{ MPa}$$

$$7. \text{ המאמץ השקול: } \sigma_e = \sqrt{\sigma_t^2 + 3 \cdot \tau_t^2} = \sqrt{90.26^2 + 3 \cdot 22.8^2} = 98.52 \text{ MPa} < 100$$

באיור לשאלה זו מתואר חלקו העליון של צילינדר. מכסה הצילינדר מחובר בעזרת 4 ברגים, $M16 \times 1.5$, ופועל עליו הכוח: $F = 75,000 \text{ N}$. הנח שמקדם החיכוך בכל זוגות החלקים הוא: $\mu = 0.12$.



- היעזר בנספח ג' ורשום במחברתך את הנתונים האלה של הבורג $M16$: d (קוטר חיצוני), d_1 (קוטר פנימי), d_2 (קוטר אפקטיבי), ρ (פסיעה) ו- A (שטח החתך למתיחה).
- חשב את מאמץ המתיחה שפועל בכל בורג.
- חשב את מאמץ הגזירה, T_t , הנובע מהידוק הבורג.
- חשב את המאמץ השקול, σ_e .
- בחר פלדה המתאימה למקדם בטיחות $[S]=3.5$.

פתרון:

1. מתוך נספח "מידות לתברייגי הידוק מטריים": נוציא את המידות המבוקשות:

תברייגים חיצוניים					תברייגים פנימיים				
קוטר חיצוני	פסיעה	שטח חתך למתיחה	קוטר אפקטיבי	קוטר	קוטר חיצוני	פסיעה	שטח חתך למתיחה	קוטר אפקטיבי	קוטר
d (mm)	p (mm)	A (mm ²)	d_1 (mm)	d_2 (mm)	d (mm)	p (mm)	A (mm ²)	d_1 (mm)	d_2 (mm)
16	2	144	13.546	14.701	15	1.5	157	14.169	15.026

$$d=16\text{mm}, d_1=13.546, d_2=14.701, \rho=2\text{mm}, A=144\text{mm}^2$$

2. חישוב מאמץ המתיחה בבורג:

$$F_i = \frac{F}{i} = \frac{75,000}{4} = 18,750 \text{ N} \quad \sigma_t = \frac{F_i}{A_i} = \frac{18,750}{144} = 130.2 \text{ MPa}$$

3. חישוב מומנט הפיתול מקורב: $M_t = 0.1 \cdot F_q \cdot d_2 = 0.1 \cdot 18,750 \cdot 14.7 = 27,562.5 \text{ Nmm}$

חישוב מומנט בגישה מדויקת:

$$\tan \tan(\gamma) = \frac{i \cdot \rho}{\pi \cdot d_2} = \frac{1 \cdot 2}{\pi \cdot 14.7} = 0.0433 \quad (0.0433) = 2.48^\circ$$

$$(\varphi) \rightarrow \varphi = \arctan \arctan(\mu) \rightarrow \varphi = \arctan \arctan(0.12) \rightarrow \varphi = 6.84^\circ$$

$$M_t = F_q \cdot \tan \tan(\gamma + \varphi) \cdot \frac{d_2}{2} = 18,750 \cdot \tan \tan(2.48 + 6.84) \cdot \frac{14.7}{2} = 22,617.1 \text{ Nmm}$$

$$\tau_t = \frac{M_t}{Z_o} = \frac{16 \cdot M_t}{\pi \cdot d^3} = \frac{16 \cdot 27,562.5}{\pi \cdot 14.7^3} = 44.2 \text{ MPa} \quad \text{חישוב מאמץ הגזירה בפיתול בבורג:}$$

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma_t^2 + 3 \cdot \tau_t^2} = \sqrt{130^2 + 3 \cdot 45^2} = 151.6 \text{ MPa} \quad \text{נחשב את המאמץ השקול:}$$

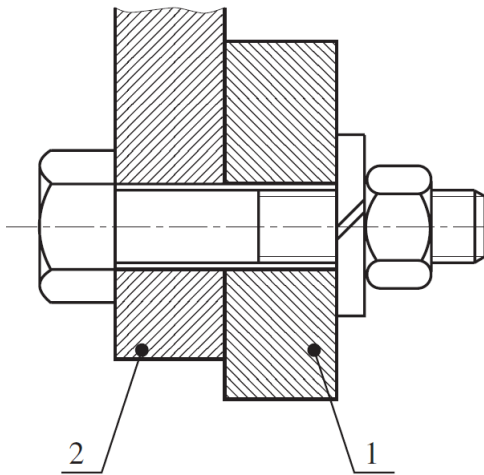
$$\sigma_e = \frac{1.25 \cdot F_q}{A_i} = \frac{1.25 \cdot 18,750}{144} = 163 \text{ MPa} \quad \text{חישוב מאמץ שקול מקורב:}$$

נבחר לחומר הבורג פלדה SAE3140 שמאמץ הכניעה הוא: $\sigma_y = 700 \text{ MPa}$.

$$[\sigma_t] = \frac{\sigma_y}{[S]} = \frac{700}{3.5} = 200 \text{ MPa}$$

שאלה 4: 838202-2012

באיור לשאלה זו מתוארים שני לוחות (1 ו-2) המהודקים ביניהם באמצעות בורג הידוק M16.



6. היעזר בנספח ג' ורשום במחברתך את הנתונים האלה של הבורג

M16: d (קוטר חיצוני), d₁ (קוטר פנימי), d₂ (קוטר אפקטיבי), P (פסיעה) ו-A (שטח החתך למתיחה).

7. חשב את המאמץ השקול, σ_e , בבורג כאשר פועל בו כוח צירי שגודלו $F_q = 28,000 \text{ N}$.

8. חשב את מומנט הפיתול המרבי הפועל על הבורג בסיום פעולות ההידוק של האום. הנח שמקדם החיכוך בכל זוגות החלקים הוא: $\mu = 0.12$.

פתרון:

1. מתוך נספח "מידות לתברגי הידוק מטריים": נוציא את המידות המבוקשות:

תברגים חיצוניים					תברגים פנימיים				
קוטר חיצוני	פסיעה	שטח חתך למתיחה	קוטר פנימי	אפקטיבי	קוטר חיצוני	פסיעה	שטח חתך למתיחה	קוטר פנימי	אפקטיבי
d (mm)	p (mm)	A (mm ²)	d ₁ (mm)	d ₂ (mm)	d (mm)	p (mm)	A (mm ²)	d ₁ (mm)	d ₂ (mm)
16	2	144	13.546	14.701	15	1.5	157	14.160	15.026

$$d = 16 \text{ mm}, d_1 = 13.546, d_2 = 14.701, p = 2 \text{ mm}, A = 144 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_e = \frac{1.25 \cdot F_q}{A_i} = \frac{1.25 \cdot 28,000}{144} = 250 \text{ MPa}$$

2. חישוב מאמץ שקול מקורב:

3. חישוב מאמץ המתיחה בבורג:

$$\sigma_t = \frac{F_i}{A_i} = \frac{28,000}{144} = 194.44 \text{ MPa}$$

4. חישוב מומנט הפיתול מקורב:

$$M_t = 0.1 \cdot F_q \cdot d_2 = 0.1 \cdot 28,000 \cdot 14.701 = 41,163 \text{ Nmm}$$

חישוב מומנט בגישה מדויקת:

$$\tan \tan(\gamma) = \frac{i \cdot p}{\pi \cdot d_2} = \frac{1 \cdot 2}{\pi \cdot 14.7} = 0.0433 \quad (0.0433) = 2.48^\circ$$

$$(\varphi) \rightarrow \varphi = \arctan \arctan(\mu) \rightarrow \varphi = \arctan \arctan(0.12) \rightarrow \varphi = 6.84^\circ$$

$$M_t = F_q \cdot \tan \tan(\gamma + \varphi) \cdot \frac{d_2}{2} = 28,000 \cdot \tan \tan(2.48 + 6.84) \cdot \frac{14.701}{2} = 34,750 \text{ Nmm}$$



$$\tau_t = \frac{M_t}{Z_o} = \frac{16 \cdot M_t}{\pi \cdot d^3} = \frac{16 \cdot 41,163}{\pi \cdot 14.7^3} = 66 \text{ MPa} \quad 5. \text{ חישוב מאמץ הגזירה בפיתול בבורג:}$$

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma_t^2 + 3 \cdot \tau_t^2} = \sqrt{195^2 + 3 \cdot 66^2} = 226 \text{ MPa} \quad 6. \text{ נחשב את המאמץ השקול:}$$

הערה: שימו לב שהגישה המקורבת יותר מחמירה מהגישה המדויקת. אולם בשתי הגישות המאמץ השקול קטן מהמאמץ המותר אם נבחר לחומר הבורג פלדה SAE3140 שמאמץ הכניעה הוא: $\sigma_y = 700 \text{ MPa}$.

$$[\sigma_t] = \frac{\sigma_y}{[S]} \rightarrow [S] = \frac{\sigma_y}{\sigma_e} = \frac{700}{250} = 2.8$$

שאלה 5: 819203-2012 וגם 838282-2021

באיור לשאלה זו מתוארים שני לוחות המחוברים זה לזה באמצעות בורג הידוק. כוח ההידוק הוא: $F_q = 5 \text{ kN}$

נתונים:

— הבורג בעל תברג M12

— קוטר לב הבורג הוא 10.8mm

— מאמץ הכניעה של חומר הבורג הוא: $\sigma_y = 400 \text{ MPa}$

— מקדם הבטיחות הוא $S = 3$

דרוש:

א. חשב את המאמץ המותר בבורג.

ב. חשב את מאמץ המתיחה.

ג. חשב את מאמץ הגזירה, τ_t , שנוצר כתוצאה ממומנט הפיתול המופעל על הבורג בעת הידוקו.

ד. חשב את המאמץ השקול, σ_e , ובדוק האם הבורג יעמוד בתנאי החוזק לפי המאמץ המותר שחישבת.

פתרון:

$$[\sigma_t] = \frac{\sigma_y}{[S]} \rightarrow [S] = \frac{360}{3} = 120 \text{ MPa} \quad 1. \text{ חישוב המאמץ המותר:}$$

2. נחשב את המאמץ שפועל בשלושה שלבים:

$$d_i = 0.8 \cdot d = 0.8 \cdot 12 = 9.6 \text{ mm} \quad 1. \text{ חישוב הקוטר היעיל של הבורג:}$$

$$A_i = \frac{\pi \cdot d_i^2}{4} = \frac{\pi \cdot 9.6^2}{4} = 72.38 \text{ mm}^2 \quad 2. \text{ נמצא את שטח החתך הבורג:}$$

3. נחשב את מאמץ המתיחה הפועל בקנה הבורג כתוצאה מכוח ההידוק:

$$\sigma_t = \frac{F}{A} = \frac{F_q}{A} = \frac{5,000}{72.38} = 69 \text{ MPa}$$

3. נחשב את מאמץ הגזירה בפיתול כתוצאה מהפעלת מומנט הסגירה (מומנט פיתול):



1. תחילה נחשב את מומנט הסגירה: $M_t = 0.1 \cdot F_q \cdot d_i = 0.1 \cdot 69 \cdot 9.6 = 66.24 \text{ mmN}$

2. כעת נחשב את מאמץ הגזירה הפועל בפיתול:

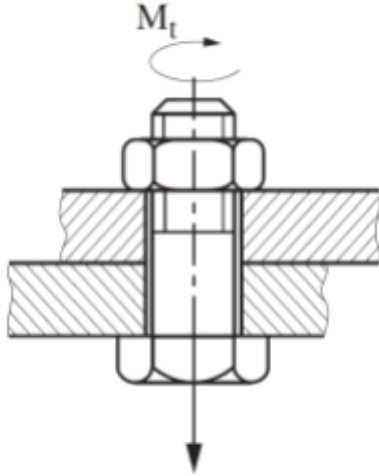
$$\tau_t = \frac{M_t}{Z_o} = \frac{16 \cdot M_t}{\pi \cdot d^3} = \frac{16 \cdot 5,000}{\pi \cdot 9.6^3} = 29 \text{ MPa}$$

4. נחשב את המאמץ השקול ונבדוק אם הוא עומד במאמץ המותר:

$$\sigma_{max} = \sqrt{\sigma_t^2 + 3 \cdot \tau_t^2} = \sqrt{69^2 + 3 \cdot 29^2} = 85.35 \text{ MPa} < 120 \text{ MPa}$$

שאלה 6: 838282-2009

באיור לשאלה זו מתוארים שני חלקים מוצמדים בעזרת אום ובורג: $M12 \times 1.75$. האום מהודק בעזרת מפתח מומנטים המורה בסוף ההידוק מומנט של: $M_t = 18,000 \text{ Nmm}$



דרוש:

1. חשב את כוח המתיחה הצירי, F_q .
2. חשב את מאמץ המתיחה.
3. חשב את מאמץ הגזירה, T_t , הנובע מפיתול הבורג.
4. חשב את המאמץ השקול, σ_e , בבורג בסוף ההידוק.
5. בחר פלדה מתאימה עבור הבורג כדי שתעמוד בתנאי החוזק

פתרון:

1. חישוב כוח ההידוק מתוך מומנט ההידוק בשלושה שלבים:

$$d_i = 0.8 \cdot d = 0.8 \cdot 12 = 9.6 \text{ mm}$$

1. חישוב הקוטר היעיל של הבורג:

$$A_i = \frac{\pi \cdot d_i^2}{4} = \frac{\pi \cdot 9.6^2}{4} = 72.38 \text{ mm}^2$$

2. נמצא את שטח החתך הבורג:

$$M_t = 0.1 F_q d_i \rightarrow F_q = \frac{M_t}{0.1 d_i} = \frac{18,000}{0.1 \cdot 9.6} = 18,750 \text{ N}$$

2. נחשב את מאמץ המתיחה הפועל בקנה הבורג כתוצאה מכוח ההידוק:

$$\sigma_t = \frac{F}{A} = \frac{F_q}{A} = \frac{18,750}{72.38} = 259 \text{ MPa}$$

3. נחשב את מאמץ הגזירה בפיתול כתוצאה מהפעלת מומנט הסגירה (מומנט פיתול):

$$\tau_t = \frac{M_t}{Z_o} = \frac{16 \cdot M_t}{\pi \cdot d^3} = \frac{16 \cdot 18,000}{\pi \cdot 12^3} = 104 \text{ MPa}$$

כעת נחשב את מאמץ הגזירה הפועל בפיתול:

4. נחשב את המאמץ השקול ונבדוק אם הוא עומד במאמץ המותר:

$$\sigma_{max} = \sqrt{\sigma_t^2 + 3 \cdot \tau_t^2} = \sqrt{259^2 + 3 \cdot 104^2} = 315.5 \text{ MPa} < 350 \text{ MPa}$$

5. נבחר פלדה SAE4140 או SAE4340 שמאמץ המתיחה המותר בהנחת מקדם בטיחות 2 הוא: 350 MPa

ניתן לבחור גם לפי דרגת חוזק של בורג: דרגת חוזק של 8.8 תתאים כי מאמץ הכניעה הוא 660 MPa ולכן המאמץ המותר למתיחה יהיה: 330 MPa .

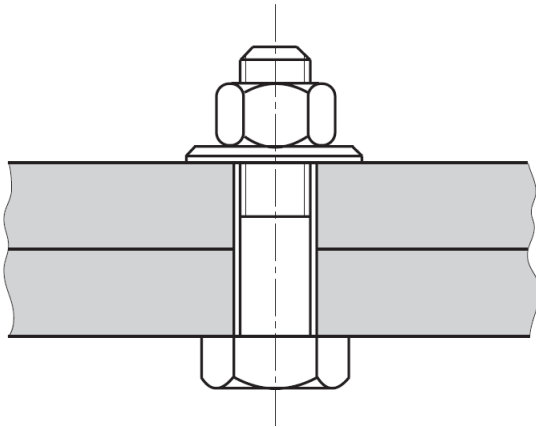
באיור לשאלה זו מתוארים שני לוחות המחוברים זה לזה באמצעות בורג הידוק בעל תבריג מטרי.

נתונים:

— קוטר החיצוני של הבורג הוא: $d=10\text{mm}$

— מאמץ מותר של חומר הבורג הוא: $[\sigma_t] = 120\text{ MPa}$

דרוש:



- לפי תקן הברגים קיימים שני תבריגים בקוטר חיצוני של 10 מ"מ. באמצעות איזה מבין שני התבריגים אפשר להפעיל כוח הידוק גדל יותר? נמק את תשובתך.
- חשב את כוח ההידוק המקסימלי, Q , שאפשר להפעיל באמצעות התבריג שבחרת.
- איזה מבין שני התבריגים מבטיח טוב יותר את החיבור נגד פתיחה עצמית? נמק את תשובתך.

פתרון:

- נבחרת בורג $M10 \times 1.5$ תבריג רגיל. תבריג עדין מסוגל לשאת כוח הידוק נמוך יותר.

תבריגים רגילים					תבריגים עדינים			
קוטר חיצוני	פסיעה	שטח חתך למתיחה	קוטר פנימי	קוטר אפקטיבי	קוטר חיצוני	פסיעה	שטח חתך למתיחה	קוטר פנימי
d (mm)	P (mm)	A (mm ²)	d_1 (mm)	d_2 (mm)	d (mm)	P (mm)	A (mm ²)	d_1 (mm)
10	1.5	52.3	8.160	9.062	1.25	56.3	8.466	9.188

- נחשב את המאמץ שפועל בשלושה שלבים:

$$d_i = 0.8 \cdot d = 0.8 \cdot 10 = 8\text{mm}$$

- חישוב הקוטר היעיל של הבורג:

$$A_i = \frac{\pi \cdot d_i^2}{4} = \frac{\pi \cdot 8^2}{4} = 50.27\text{mm}^2$$

- נמצא את שטח החתך הבורג:

- נחשב את כוח ההידוק המקסימלי משיקולי חוזק:

$$[\sigma_t] = \frac{1.25 \cdot Q}{A} \rightarrow Q = \frac{A \cdot [\sigma_t]}{1.25} = \frac{50.27 \cdot 120}{1.25} = 4825.5\text{N}$$

ניתן גם להתבסס על שטח המתיחה הנתון בטבלה:

$$[\sigma_t] = \frac{1.25 \cdot Q}{A} \rightarrow Q = \frac{A \cdot [\sigma_t]}{1.25} = \frac{52.3 \cdot 120}{1.25} = 5020.8\text{N}$$

שאלה 8: 838202-2004

באיור לשאלה זו מתואר מנוף בורגי להרמת משאות במשקל מרבי של $Q=15\text{ kN}$. אורך הידית הוא: $L=300\text{ mm}$. לבורג תברג ריבועי בעל התחלה אחת. הקוטר החיצוני של התברג הוא $d=32\text{ mm}$ ופסיעת התברג היא: $p=6\text{ mm}$. מקדם החיכוך בין הבורג לאום הוא: $\mu=0.09$.

דרוש:

1. חשב את המומנט המרבי הדרוש להרמת המשא.
2. חשב את הכוח שצריך להפעיל בקצה הידית לקבלת המומנט שמצאת בסעיף א'.
3. בדוק האם קיים מצב נעילה עצמית בתברג.

פתרון:

1. כדי לחשב את המומנט תחילה נחשב את הקוטר היעיל של התברג:

$$d_2 = d - \frac{p}{2} = 32 - \frac{6}{2} = 29\text{ mm}$$

כעת נחשב את מומנט הסיבוב (מומנט פיתול):

$$M_t = 0.1 \cdot F_q \cdot d_2 = 0.1 \cdot 15,000 \cdot 29 = 43,500\text{ mmN}$$

2. חישוב הכוח שיש להפעיל על הידית כדי לקבל את המומנט שחושב בסעיף א':

$$M = L \cdot F \rightarrow F = \frac{M}{L} = \frac{43,500}{300} = 145\text{ N}$$

3. בדיקת נעילה עצמית:

$$\tan \gamma = \frac{i \cdot p}{\pi \cdot d_2} = \frac{1 \cdot 6}{\pi \cdot 29} = 0.066 \rightarrow \gamma = 3.78^\circ$$

$$\mu = \tan \phi \rightarrow 0.09 = \tan \phi \rightarrow \phi = \tan^{-1} 0.09 \rightarrow \phi = 5.14^\circ$$

אין נעילה עצמית כי: $\phi < \gamma$



שאלה 9: 838205-2003

באיור לשאלה זו מתוארים שני לוחות המחוברים זה לזה באמצעות בורג הידוק.

נתונים:

— הבורג הוא: M10

— מאמץ מותר של חומר הבורג הוא: $[\sigma_t] = 120 \text{ MPa}$

דרוש:

א. חשב את כוח ההידוק המקסימלי.

פתרון:

3. נחשב את המאמץ שפועל בשלושה שלבים:

$$d_i = 0.8 \cdot d = 0.8 \cdot 10 = 8 \text{ mm}$$

1. חישוב הקוטר היעיל של הבורג:

$$A_i = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 8^2}{4} = 50.27 \text{ mm}^2$$

2. נמצא את שטח החתך הבורג:

3. נחשב את כוח ההידוק המקסימלי משיקולי חוזק:

$$[\sigma_t] = \frac{1.25 \cdot Q}{A} \rightarrow Q = \frac{50.27 \cdot 120}{1.25} = 4825.5 \text{ N}$$

באיור לשאלה זו מתואר מחבר ובו שני ברגים בעלי תברג מטרי רגיל. על המחבר פועל הכוח F (מתואר באיור) שערכו הוא: $F=12\text{kN}$. המאמץ השקול בכל אחד מהברגים שווה למאמץ המתיחה המותר בחומר הברגים הוא: $[\sigma_t] = \sigma_y$. נתוני הבורג מופיעים בטבלה הבאה:

נתונים:

1. דרגת החוזק הנדרשת לחומר הבורג: 4.6

2. מקדם הבטיחות הנדרש: $S=2$

3. מקדם החיכוך בין המשטחים המהודקים: $\mu=0.2$

דרוש:

1. קבע את סוג התברג ואת הקוטר של הבורג המתאים למחבר.

2. חשב את המאמץ השקול בבורג ובדוק את חוזק הבורג.

פתרון:

1. חישוב המאמץ המותר לפי דרגת החוזק בה מאמץ הכניעה

הוא: $\sigma_y = 240\text{MPa}$

$$[\sigma_t] = \frac{\sigma_y}{S} = \frac{240}{2} = 120\text{MPa}$$

2. כדי לחשב את השטח הנדרש נדרש תחילה לחשב את כוח ההידוק מתוך כוח המתיחה F :

$$Q = \frac{F}{\mu \cdot n \cdot i} = \frac{12,000}{0.2 \cdot 4 \cdot 2} = 7,500\text{N}$$

$$\sigma_t = \frac{1.25 \cdot Q}{A} \leq [\sigma_t] \rightarrow A \geq \frac{1.25 \cdot Q}{[\sigma_t]} = \frac{1.25 \cdot 7,500}{120} = 78.125\text{mm}^2$$

3. מתוך טבלת המידות של ברגים נבחר את הבורג

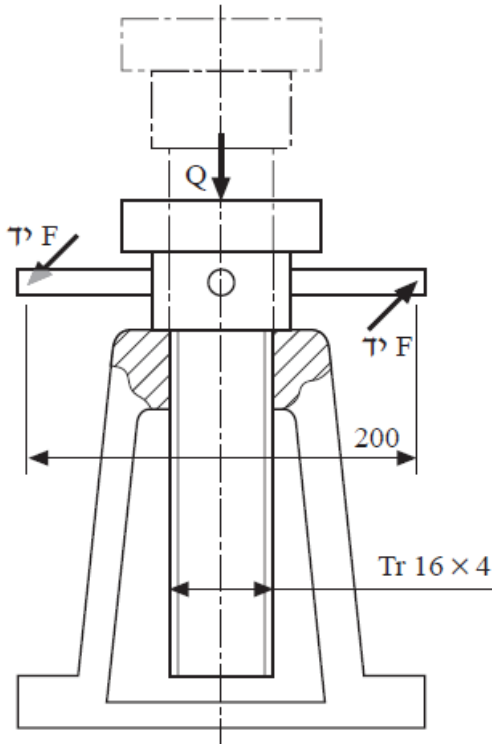
המתאים לשטח החתך שחישבנו:

ולכן, קוטר הבורג המתאים הוא: $M14 \times 2$

תברגים רגילים				
קוטר אפקטיבי	קוטר פנימי	שטח חתך למתיחה	פסיעה	קוטר חיצוני
d_2 (mm)	d_1 (mm)	A (mm ²)	P (mm)	d (mm)
12.701	11.546	104	2	14

שאלה 11: 838202-2002

במתקן ההרמה המתואר באיור לשאלה זו כלול בורג הנעה בעל תברג $Tr16 \times 4$. המתקן מרים משא שמשקלו הוא: $Q=8kN$. המאמץ המותר בחומר הבורג הוא: $[\sigma]=120MPa$ מידות הבורג נתונות בטבלה.



קוטר חיצוני [mm] d	פסיעה p [mm]			d ₁ [mm]	d ₂ [mm]
	גדולה	רגילה	עדינה		
10		3	2	7.0 6.5	9.0 8.5
12		3	2	9.5 8.5	11.0 10.5
(14)		3	2	11.5 10.5	13.0 12.5
16		4	2	13.5 11.5	15.0 14.0

דרוש:

- חשב את מומנט הסיבוב הדרוש להרמת המשא.
- חשב את המאמץ השקול בבורג ובדוק את חוזק הבורג.

פתרון:

- נחשב את מאמץ המתיחה המתפתח בבורג כתוצאה מהמשא המורם:

$$\sigma_t = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\frac{\pi \cdot d^2}{4}} = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 8,000}{\pi \cdot 14^2} = 52MPa$$

- נחשב את מאמץ הגזירה בפיתול כתוצאה מהפעלת מומנט הסיבוב (מומנט פיתול):

$$M_t = 0.1 \cdot F_q \cdot d_i = 0.1 \cdot 8,000 \cdot 14 = 11,200mmN$$

$$\tau_t = \frac{M_t}{Z_o} = \frac{16 \cdot M_t}{\pi \cdot d^3} = \frac{16 \cdot 11,200}{\pi \cdot 14^3} = 20.8MPa$$

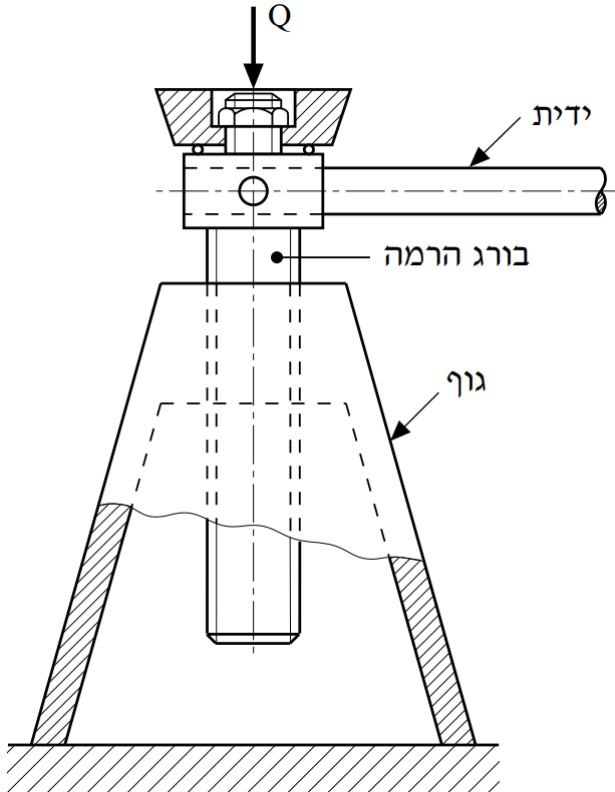
- נחשב את המאמץ השקול ונבדוק אם הוא עומד במאמץ המותר:

$$\sigma_{max} = \sqrt{\sigma_t^2 + 3 \cdot \tau_t^2} = \sqrt{52^2 + 3 \cdot 21^2} = 63.46MPa < 120MPa$$

שאלה 12: 838105-2002

באיור לשאלה זו מתואר מנגנון המרים משא באמצעות בורג הרמה בעל תברג $Tr24 \times 5$. שטח החתך של לב הבורג הוא: $A=270\text{mm}^2$. המאמץ המותר בחומר הבורג הוא: $[\sigma]=100\text{MPa}$ מידות הבורג נתונות בטבלה.

דרוש:



1. חשב את המשא המרבי המותר, Q , שהמנגנון יכול להרים.
2. חשב את מומנט הסיבוב, M_t , שיש להפעיל על ידית המנגנון להרמת המשא Q .
3. חשב את מאמץ הפיתול הנוצר בבורג.
4. בדוק האם הבורג יעמוד במאמץ הגזירה המותר כתוצאה מהפיתול שגורם מומנט הסיבוב.

פתרון:

1. נחשב את מאמץ המתיחה המתפתח בבורג כתוצאה מהמשא המורם:

$$\sigma_t = \frac{1.25 \cdot Q}{A} \leq [\sigma_t] \rightarrow Q \leq \frac{A \cdot [\sigma_t]}{1.25} = \frac{270 \cdot 100}{1.25} = 21,600\text{N}$$

2. נחשב את מאמץ הגזירה בפיתול כתוצאה מהפעלת מומנט הסיבוב (מומנט פיתול):

$$M_t = 0.1 \cdot F_q \cdot d_1 = 0.1 \cdot 21,600 \cdot 19.2 = 41,472\text{mmN} \quad 1. \text{ תחילה נחשב את מומנט הסיבוב:}$$

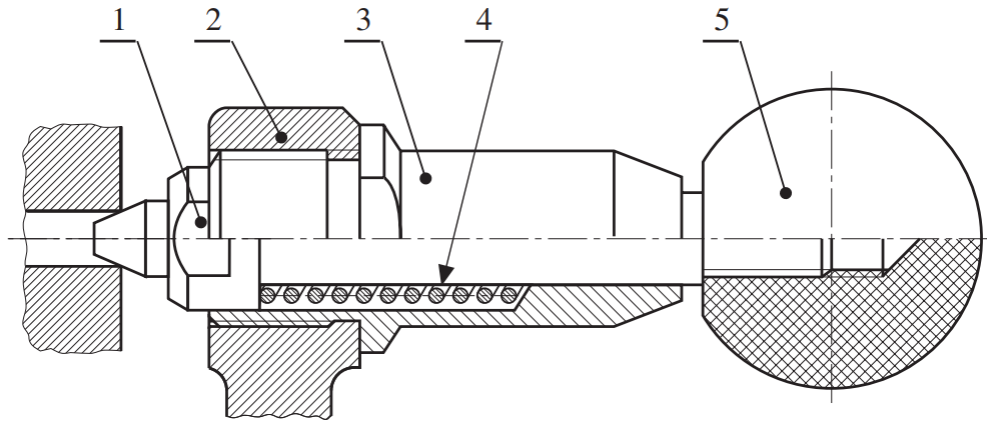
$$\tau_t = \frac{M_t}{Z_o} = \frac{16 \cdot M_t}{\pi \cdot d^3} = \frac{16 \cdot 41,472}{\pi \cdot 19.2^3} = 29.84\text{MPa} \quad 2. \text{ כעת נחשב את מאמץ הגזירה הפועל בפיתול:}$$

3. מאמץ הגזירה המותר כתוצאה מפיתול הבורג הוא:

$$[\tau_t] = 0.6 \cdot [\sigma_t] = 0.6 \cdot 100 = 60\text{MPa} \quad \tau_t = 29.84\text{MPa} < 60\text{MPa}$$

שאלה 1: 838202-2004

באיור לשאלה זו מתוארת ידית לקיבוע עובד. כדי לשחרר את העובד מופעל כוח משיכה המכווץ את הקפיץ ב-4mm.



נתונים:

1. קוטר התיל

ממנו עשוי הקפיץ: $d = 3 \text{ mm}$

2. הקוטר הממוצע של הקפיץ: $D = 24 \text{ mm}$

3. מספר הכריכות הפעילות של הקפיץ הוא: $n=12$

4. מודול הזיחה של חומר הקפיץ: $G = 77,200 \text{ MPa}$

דרוש:

א. חשב את קבוע הקפיץ.

ב. חשב גודלו של הכוח שגורם להתכווצות הקפיץ הנתונה של 4mm.

ג. חשב את המאמץ המקסימלי הפועל בקפיץ, הנח מקדם תיקון מאמץ $K=1.12$.

פתרון:

$$C = \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot D^3 \cdot n} = \frac{80,000 \cdot 3^4}{8 \cdot 24^3 \cdot 12} = 4.88 \frac{N}{mm} \quad 1. \text{ חישוב קבוע הקפיץ, } C:$$

2. חישוב גודל הכוח שגורם להתכווצות של 4 מ"מ של הקפיץ:

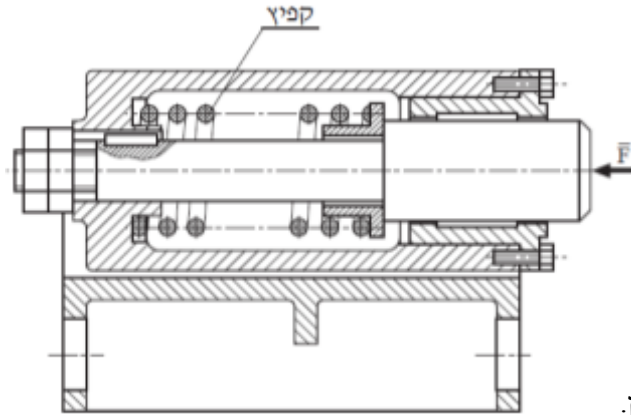
$$C = \frac{F}{\Delta f} \rightarrow F = C \cdot \Delta f = 4.88 \cdot 4 = 19.52 N$$

$$\tau_{max} = K \cdot \frac{8 \cdot F_{max} \cdot D}{\pi \cdot d^3} = 1.12 \cdot \frac{8 \cdot 19.52 \cdot 24}{\pi \cdot 3^3} = 44.18 MPa \quad 3. \text{ המאמץ המקסימלי הפועל בקפיץ:}$$

שאלה 2:

באיור לשאלה זו מתואר חתך של מערכת שיכון. המערכת כוללת קפיץ העשוי מפלדה SAE1060 בעלת מאמץ כניעה $\sigma_y = 780 \text{ MPa}$ ומודול יאנג לגזירה הוא: $G = 8 \cdot 10^4 \text{ MPa}$. קוטר התיל של הקפיץ: $d = 4 \text{ mm}$, הקוטר הממוצע של הקפיץ: $D = 48 \text{ mm}$, ומקדם תיקון המאמץ: $K = 1.12$.

סמן בעיגול את מספר ההיגד הנכון.



1. הקפיץ הוא מסוג:

1. קפיץ מתיחה בורגי גלילי.
2. קפיץ לחיצה בורגי גלילי.
3. קפיץ לחיצה לולייני.
4. קפיץ מתיחה לולייני.

2. קבוע הקפיץ מחושב מתוך הערכים האלה:

1. הכוח הצירי הפועל על הקפיץ ומספר הכריכות בקפיץ.
2. הכוח הצירי הפועל על הקפיץ וקוטרו הממוצע של הקפיץ.
3. הכוח הצירי הפועל על הקפיץ ומודול האלסטיות של חומר הקפיץ.
4. הכוח הצירי הפועל על הקפיץ ומידת שקיעתו כתוצאה מהכוח.

דרוש לחשב:

3. חשב את מאמץ הגזירה המותר אם מקדם הבטיחות הוא: $[S] = 3$.
4. חשב את הכוח הצירי המרבי שהקפיץ מסוגל לייצר.
5. חשב את קבוע הקפיץ אם ידוע שההתכווצות המרבית המותרת היא: $\Delta f = 8 \text{ mm}$.
6. חשב את מספר הכריכות הפעילות הנדרשות בקפיץ זה.

פתרון:

1. הקפיץ הוא קפיץ לחיצה בורגי גלילי.
2. קבוע הקפיץ מחושב מתוך הכוח הצירי הפועל על הקפיץ ומידת שקיעתו עקב הפעלת כוח זה.

$$3. \text{ חישוב המאמץ המותר לגזירה: } [\tau_s] = \frac{0.6 \cdot \sigma_y}{[S]} = \frac{0.6 \cdot 780}{3} = 156 \text{ MPa}$$

4. חישוב הכוח הצירי המרבי משיקולי חוזק:

$$\tau_{max} = K \cdot \frac{8 \cdot F_{max} \cdot D}{\pi \cdot d^3} \leq [\tau_s] \rightarrow F_{max} \leq \frac{[\tau_s] \cdot \pi \cdot d^3}{8 \cdot K \cdot D} \rightarrow F_{max} \leq \frac{156 \cdot \pi \cdot 4^3}{8 \cdot 1.12 \cdot 48} = 72.9 \text{ N}$$

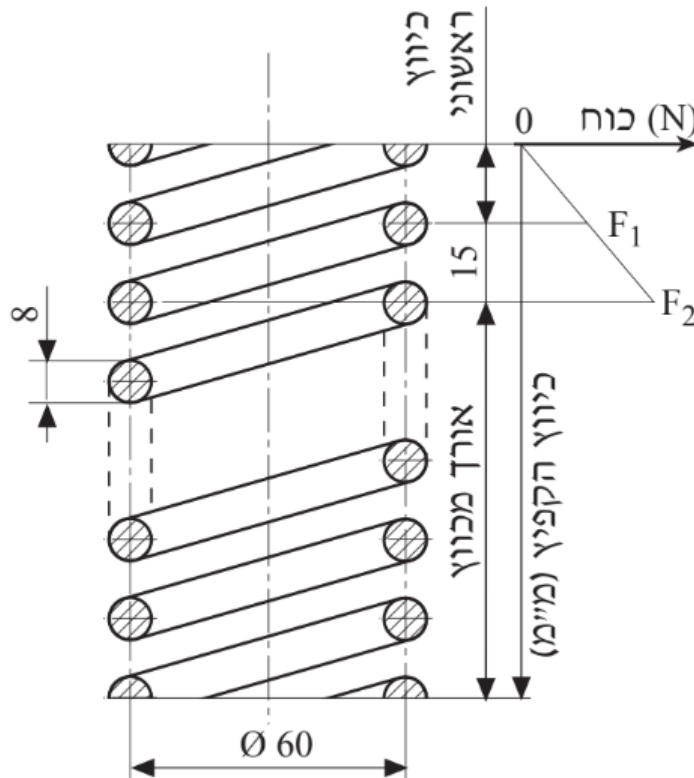
$$\Delta f = \frac{F}{C} \leq [\Delta f] \rightarrow C \geq \frac{F}{[\Delta f]} \rightarrow C \geq \frac{70}{10} \rightarrow C \geq 7 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

$$5. \text{ חישוב מספר הכריכות הפעילות: } C = \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot D^3 \cdot n} \rightarrow n = \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot D^3 \cdot C} = \frac{80,000 \cdot 4^4}{8 \cdot 48^3 \cdot 7} = 3.3 \rightarrow n = 4$$

שאלה 3: 838105-2000

באיור לשאלה זו מתואר קפיץ לחיצה בורגי גלילי, לצד הקפיץ נתון גרף המתאר את הכוח שמפעיל הקפיץ כתלות בשיעור הכיוון שלו במילימטרים.

נתונים:



- קוטר התיל ממנו עשוי הקפיץ: $d = 8$ mm
- הקוטר הממוצע של הקפיץ: $D = 60$ mm
- מהלך העבודה של הקפיץ: $L = 15$ mm
- מודול הזיחה של חומר הקפיץ: $G = 80,000$ MPa
- שיעור הכוח ההתחלתי המופעל על הקפיץ: $F_1 = 120$ N
- שיעור הכוח המרבי המופעל על הקפיץ: $F_2 = 240$ N

דרוש:

- חשב את קבוע בקפיץ.
- חשב מספר הכריכות הפעילות, של הקפיץ.
- חשב את מקדם תיקון המאמץ K
- חשב את המאמץ המקסימלי הפועל בקפיץ, הנח מקדם תיקון מאמץ $K=2$.

פתרון:

- חישוב קבוע הקפיץ, C :

$$C = \frac{\Delta F}{\Delta f} = \frac{240-120}{15} = 8 \frac{N}{mm}$$
- חישוב מספר הכריכות הפעילות:

$$C = \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot D^3 \cdot n} \rightarrow n = \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot D^3 \cdot C} = \frac{80,000 \cdot 8^4}{8 \cdot 60^3 \cdot 8} = 23.7 \rightarrow n = 24$$
- מקדם תיקון המאמץ:

$$e = \frac{D}{d} = \frac{60}{8} = 7.5 \rightarrow K = \frac{4e-1}{4e-4} + \frac{0.615}{e} = \frac{4 \cdot 7.5-1}{4 \cdot 7.5-4} + \frac{0.615}{7.5} = 1.2$$
- המאמץ המקסימלי הפועל בקפיץ:

$$\tau_{max} = K \cdot \frac{8 \cdot F_{max} \cdot D}{\pi \cdot d^3} = 1.2 \cdot \frac{8 \cdot 240 \cdot 60}{\pi \cdot 8^3} = 86 MPa$$



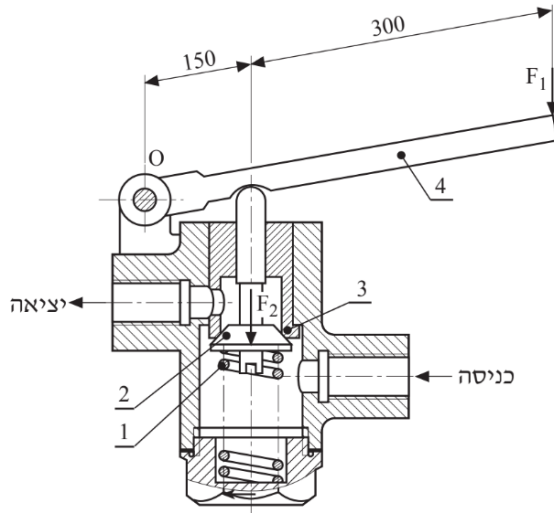
מדינת ישראל
משרד החינוך
מינהל חינוך טכנולוגי, הפיקוח על מגמות הנדסת מערכות



שאלה 4: 838202-2000

באיור לשאלה זו מתואר קפיץ לחיצה בורגי גלילי, לצד הקפיץ נתון גרף המתאר את הכוח שמפעיל הקפיץ כתלות בשיעור הכיוון שלו במילימטרים.

נתונים:



1. הקוטר הממוצע של הקפיץ: $D = 60 \text{ mm}$

2. מספר הכריכות הפעילות: $n = 6$

3. מקדם תיקון המאמץ: $K = 1.15$

4. מודול הזיחה של חומר הקפיץ: $G = 80,000 \text{ MPa}$

5. מאמץ הגזירה הגבולי של חומר הקפיץ: $\tau = 280 \text{ MPa}$

דרוש:

1. חשב את הכוח F_2 המופעל על הקפיץ כתוצאה מההפעלה

הידנית של הכוח, $F_1 = 400 \text{ N}$, בקצה המנוף.

2. חשב את קוטר התיל הנדרש לייצור הקפיץ.

3. חשב את שקיעת הקפיץ.

4. חשב את קשיחות הקפיץ.

5. חשב את העבודה המתבצעת על-ידי הכוח הגורם לקפיץ לשקוע במידה שחישבת בסעיף ג'.

פתרון:

1. חישוב הכוח: F_2 $\Sigma M_O = 0 \rightarrow -150F_2 - 300F_1 = 0 \rightarrow F_2 = 2 \cdot 400 = 800 \text{ N}$

2. חישוב קוטר התיל:

$$\tau_{max} = K \cdot \frac{8 \cdot F_{max} \cdot D}{\pi \cdot d^3} \rightarrow d = \sqrt[3]{\frac{K \cdot 8 \cdot F_{max} \cdot D}{\pi \cdot \tau_{max}}} = \sqrt[3]{\frac{1.15 \cdot 8 \cdot 800 \cdot 60}{\pi \cdot 280}} = 7.95 \text{ mm}$$

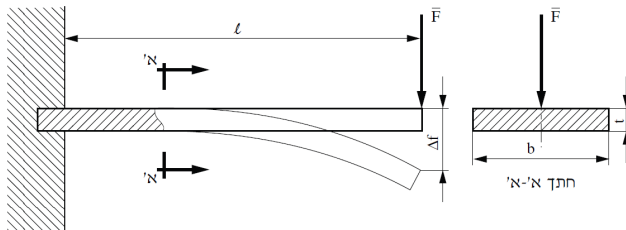
3. חישוב קבוע הקפיץ: $C = \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot D^3 \cdot n} = \frac{80,000 \cdot 8^4}{8 \cdot 60^3 \cdot 6} = 31.6 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$

4. חישוב שקיעת הקפיץ: $C = \frac{F}{\Delta f} \rightarrow \Delta f = \frac{F}{C} = \frac{800}{31.6} = 25.31 \text{ mm}$

5. חישוב עבודת הקפיץ: $W = F \cdot \Delta f = 800 \cdot 25.31 = 20,248 \text{ Joule}$

באיור לשאלה זו מתואר קפיץ עלה, הרתום בקצהו האחד והעמוס על-ידי הכוח המרוכז: $F = 35 \text{ N}$,

בקצהו השני. כתוצאה מן הכוח שוקע קצה הקפיץ ב- Δf .



נתונים:

1. אורך הקפיץ: $l = 140 \text{ mm}$

2. רוחב הקפיץ: $b = 20 \text{ mm}$

3. עובי הקפיץ: $t = 2 \text{ mm}$

4. המאמץ המותר לכפיפה בחומר הקפיץ: $\sigma_b = 450 \text{ MPa}$

5. השקיעה המרבית המותרת לקפיץ: $\Delta f = 12 \text{ mm}$

6. קבוע הקפיץ: $C = 3.05 \text{ N/mm}$

7. מודול אלסטיות של פלדה: $E = 2.1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$

דרוש:

א. חשב את המאמץ המרבי בקפיץ.

ב. חשב את השקיעה המרבית, Δf , של הקפיץ.

ג. בדוק אם המאמץ בקפיץ ושקיעת הקפיץ הם בתחומים המותרים.

פתרון:

1. חישוב מומנט הכפיפה: $M = L \cdot F = 140 \cdot 35 = 4,900 \text{ mmN}$

2. חישוב מודל החתך: $Z_x = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{20 \cdot 2^2}{6} = 13.33 \text{ mm}^3$

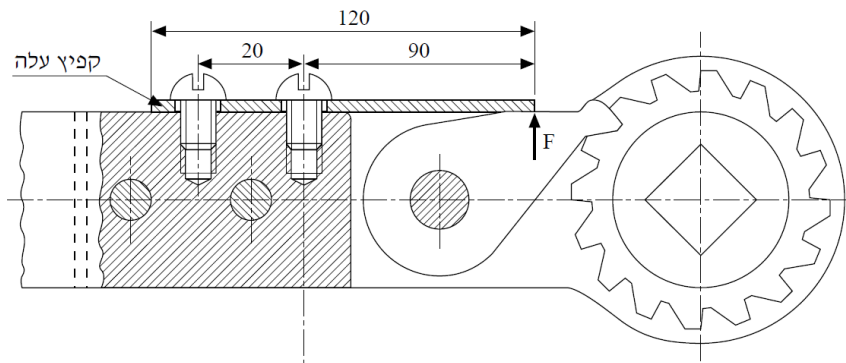
3. חישוב מאמץ הכפיפה: $\sigma_{b_{max}} = \frac{M_b}{Z_x} = \frac{4,900}{13.33} = 367.6 \text{ MPa} < 450 \text{ MPa}$

4. חישוב מומנט האינרציה: $I = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{20 \cdot 2^3}{12} = 13.33 \text{ mm}^4$

5. חישוב שקיעת הקפיץ: $\Delta f = \frac{F \cdot L^3}{3 \cdot E \cdot I} = \frac{35 \cdot 140^3}{3 \cdot 2.1 \cdot 10^5 \cdot 13.33} = 11.44 \text{ mm}$

חישוב שקיעת הקפיץ: $\Delta f = \frac{F}{C} = \frac{35}{3.05} = 11.48 \text{ mm} < 12 \text{ mm}$

שאלה 6: 838205-2001



באיור לשאלה זו מתואר שרטוט הרכבה של מכלול שבו מותקן קפיץ עלה.

נתונים:

1. הכוח המופעל: $F = 24 \text{ N}$

2. מידות שטח החתך של הקפיץ:

$$b \times h = 3 \text{ mm} \cdot 6 \text{ mm}$$

3. מודל האלסטיות: $E = 2 \cdot 10^5 \text{ MPa}$

דרוש:

1. חשב את מומנט הכפיפה המקסימלי הפועל בקפיץ העלה עקב פעולת הכוח F.
2. חשב את מודל החתך של החתך המלבני של הקפיץ.
3. חשב את מאמץ הכפיפה הפועל בקפיץ כתוצאה מהמומנט שחישבת בסעיף א.
4. חשב את מומנט האינרציה של החתך המלבני של הקפיץ.
5. חשב את השקיעה של הקפיץ.

פתרון:

1. חישוב מומנט הכפיפה: $M = L \cdot F = 90 \cdot 24 = 2,160 \text{ mmN}$

2. חישוב מודל החתך: $Z_x = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{3 \cdot 6^2}{6} = 18 \text{ mm}^3$

3. חישוב מאמץ הכפיפה: $\sigma_{b_{max}} = \frac{M_b}{Z_x} = \frac{2,160}{18} = 120 \text{ MPa}$

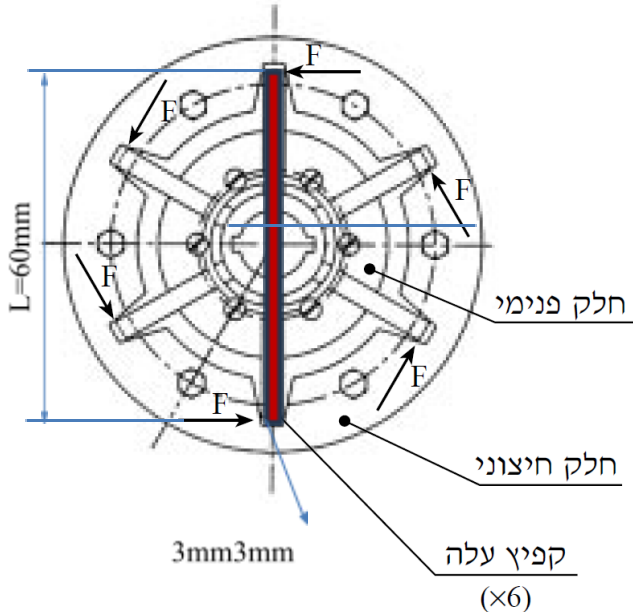
4. חישוב מומנט האינרציה: $I = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{3 \cdot 6^3}{12} = 54 \text{ mm}^4$

5. חישוב שקיעת הקפיץ: $\Delta f = \frac{F \cdot L^3}{3 \cdot E \cdot I} = \frac{24 \cdot 90^3}{3 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 54} = 0.54 \text{ mm}$

שאלה 7: 838202-2001

באיור לשאלה זו מתואר מצמד בו בעלי קפיצי עלה במימדים: $3\text{mm} \times 3\text{mm}$

נתונים:



1. אורכו של כל קפיץ עלה הוא: $L=60\text{mm}$
2. מומנט ההתמד (האינרציה) של החתך של כל אחד מקפיצי העלה הוא: $I = 40\text{mm}^4$
3. השקיעה המרבית המותרת של הקפיץ היא: $\Delta f = 2\text{mm}$
4. מודל האלסטיות הוא: $E = 2 \cdot 10^5 \text{MPa}$

דרוש:

1. חשב את הכוח F הגורם לשקיעה המרבית המותרת של
2. חשב את המומנט המרבי שאפשר להעביר באמצעות הנ
3. חשב את מאמץ הכפיפה הפועל בקפיץ כתוצאה מהמומנט שחישבת בסעיף א.
4. חשב את ההספק המרבי שהמצמד מסוגל להעביר כאשר גל המצמד מסתובב במהירות $n=500 \text{R.P.M}$

פתרון:

1. חישוב הכוח הפועל על כל קפיץ מתוך השקיעה המותרת:

$$\Delta f = \frac{F \cdot L^3}{3 \cdot E \cdot I} \rightarrow F = \frac{\Delta f \cdot 3 \cdot E \cdot I}{L^3} = \frac{2 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 40}{60^3} = 222.22 \text{N}$$

2. חישוב מומנט הכפיפה: $M = L \cdot F = 6 \cdot 60 \cdot 222.22 = 80,000 \text{mmN}$

3. חישוב מודל החתך: $Z_y = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{9 \cdot 9^2}{6} = 121.5 \text{mm}^3$

4. חישוב מאמץ הכפיפה: $\sigma_{b_{max}} = \frac{M_b}{Z_y} = \frac{13,333.33}{121.5} = 110 \text{MPa}$

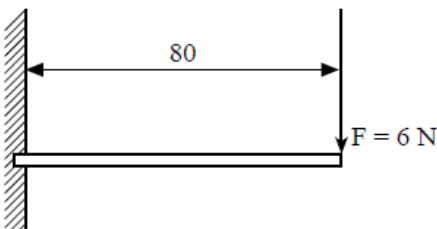
5. חישוב ההספק: $H = \frac{M \cdot n}{9,550} = \frac{80,000 \cdot 500}{9,550} = 4,188.5 \text{Watt}$

שאלה 8:

באיור לשאלה זו מתוארים מלקחיים במצב חופשי ולידם טבעת קפיצית. המלקחיים מיועדים לפירוק ולהרכבה של טבעות קפיציות מהסוג המתואר באיור.



1. מהו תפקיד קפיץ העלה שבמלקחיים הוא:
2. חשב את מומנט הכפיפה המרבי הפועל בקפיץ העלה המתואר באופן סכמתי (דג"ח) כקורה רתומה שבקצה שלה פועל כוח: $F = 6 \text{ N}$, מודול החתך לכפיפה של קפיץ העלה: $Z_x = 12 \text{ mm}^3$.



3. חשב את מאמץ הכפיפה המרבי הנוצר בקפיץ.
4. הקצה החופשי של הקפיץ שוקע, בהשפעת הכוח F , בשיעור של 3 מ"מ. מהו קבוע הקפיץ?

פתרון:

1. תפקיד הקפיץ העלה לאפשר החזקה של חפצים בין לשוניות המלקחיים.
2. מומנט הכפיפה המרבי הוא:

$$M_b = L \cdot F = 80 \cdot 6 = 480 \text{ mmN}$$

3. מאמץ הכפיפה המרבי הוא:

$$\sigma_b = \frac{M_b}{Z_x} = \frac{480}{12} = 40 \text{ MPa}$$

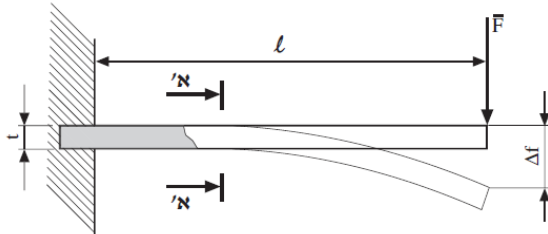
4. קבוע הקפיץ הוא:

$$C = \frac{F}{\Delta f} = \frac{6}{3} = 2 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

שאלה 9:

באיור לשאלה זו מתואר קפיץ עלה הרתום בקצהו האחד ועמוס על-ידי הכוח המרוכז $F=35\text{N}$ בקצהו השני. כתוצאה מן הכוח F נוצרת השקיעה Δf .

נתונים:



אורך: $l = 140\text{ mm}$

רוחב: $b = 20\text{ mm}$

עובי: $t = 2\text{ mm}$

המאמץ המותר לכפיפה בחומר הקפיץ: $[\sigma_b] = 450\text{ MPa}$

השקיעה המרבית המותרת לקפיץ: $[\Delta f] = 6\text{ mm}$

קבוע הקפיץ: $\frac{N}{\text{mm}} C = 7$

דרוש:

א. חשב את המאמץ המרבי בקפיץ.

ב. חשב את השקיעה המרבית Δf של הקפיץ.

ג. בדוק אם המאמץ בקפיץ ושקיעת הקפיץ הם בתחומים המותרים.

פתרון:

1. מאמץ הכפיפה המרבי הוא:

$$\sigma_b = \frac{M_b}{Z_x} = \frac{L F}{\frac{b t^2}{6}} = \frac{6 \cdot 140 \cdot 35}{20 \cdot 2^2} = 367.5\text{ MPa} < [\sigma_b] = 450\text{ MPa}$$

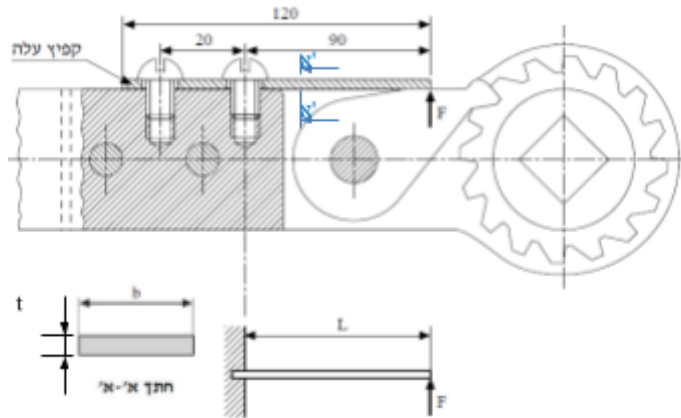
2. קבוע הקפיץ הוא:

$$F = C \Delta f \rightarrow \Delta f = \frac{F}{C} = \frac{35}{7} = 5\text{ mm} < [\Delta f] = 6\text{ mm}$$

3. החישוב מראה שהמאמץ המקסימלי קטן מהמאמץ המותר וגם השקיעה המקסימלית קטנה מהשקיעה המותרת.

שאלה 10:

באיור לשאלה זו מוצגים שרטוט הרכבה של מכלול, שבו מותקן קפיץ עלה, ושרטוט סכמתי של קפיץ העלה. (השרטוטים ללא קנה מידה).



- מצא את האורך L , המסומן בשרטוט הסכמתי, מתוך הנתונים שבשרטוט ההרכבה.
- חשב את מומנט הכפיפה המקסימלי בקפיץ העלה כתוצאה מהכוח שגודלו $F=24N$.
- חשב את רוחב קפיץ העלה עם עוביו הוא $t=2mm$ ונתון שהמאמץ המותר לכפיפת קפיץ העלה הוא: $[\sigma_b] = 300 MPa$
- המתכנן קבע ששקיעת הקפיץ המותרת היא: $[\Delta f]=3mm$, חשב את קשיחות הקפיץ הנדרשת.

פתרון:

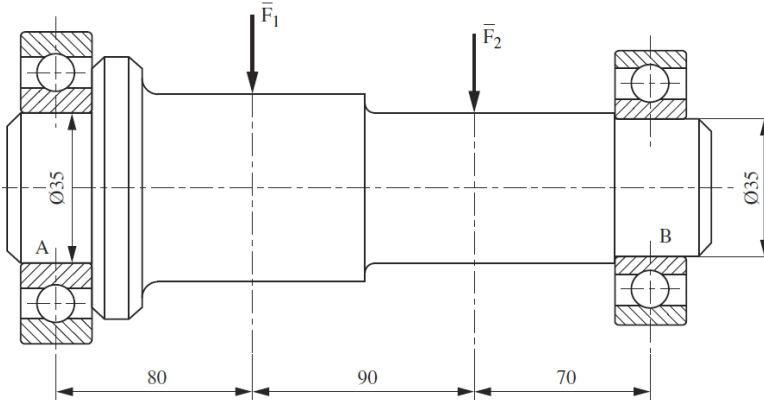
- אורך הקפיץ הוא ממקום פעולת הכוח ועד למקום בו מחובר הקפיץ עם הבורג הראשון: $L=90mm$
 - מומנט הכפיפה המרבי הוא:
- $$M_b = L \cdot F = 90 \cdot 24 = 2,160mmN$$
- מאמץ הכפיפה המרבי הוא:
- $$\sigma_b = \frac{M_b}{Z_x} \leq [\sigma_b] \rightarrow Z_x \geq \frac{M_b}{[\sigma_b]} \rightarrow \frac{b t^2}{6} \geq \frac{M_b}{[\sigma_b]} \rightarrow b \geq \frac{6 M_b}{t^2 [\sigma_b]} \rightarrow b \geq \frac{6 \cdot 2,160}{2^2 \cdot 300} = 10.8mm$$
- נבחר קפיץ ברוחב 11 מ"מ.

$$\Delta f = \frac{F}{C} \leq [\Delta f] \rightarrow C \geq \frac{F}{[\Delta f]} \rightarrow C \geq \frac{24}{3} \rightarrow C \geq 8 \frac{N}{mm}$$

שאלה 1: 838282-2021 וגם 838202-2006

באיור לשאלה זו מתואר גל הנסמך על שני מסבים רדיאליים כדוריים. הנח שהמסבים הם סמכים נקודתיים בנקודות A ו-B. על הגל פועלים שני כוחות: $F_1 = 6 \text{ kN}$ ו- $F_2 = 3 \text{ kN}$, במאונך לציר הגל ובמקומות המסומנים באיור. אורך החיים הנדרש למסבים הוא: $L = 200 \text{ mil.Rev}$.

דרוש:



- חשב את התגובות במסבים.
- הנח שהכוח הפועל על המסב בנקודה A הוא כוח אנכי שגודלו $R_A = 3750 \text{ N}$. חשב את העומסים על המסב ובחר מסב מתאים לנקודה A (היעזר בנספח ג').
- בחר מיסב מתאים מתוך טבלת המיסבים המתאימה.

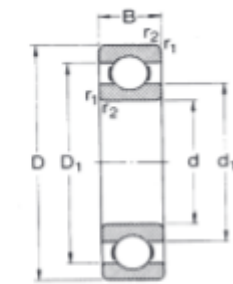
פתרון:

- מציאת כוחות התגובה מתוך משוואת שיווי משקל מומנטים סביב נקודה A:

$$\sum M_A = 0 \rightarrow 240 \cdot R_B - 170 \cdot F_2 - 80 \cdot F_1 = 0 \rightarrow R_B = \frac{170 \cdot 3 + 80 \cdot 6}{240} = 4.125 \text{ kN}$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow R_A + R_B - 3 - 6 \rightarrow R_A = 9 - 4.125 = 4.875 \text{ kN}$$

- חישוב כושר דינמי של המסב: $L = \left(\frac{C}{F}\right)^3 \rightarrow C = F \cdot \sqrt[3]{L} = 4,875 \cdot \sqrt[3]{200} = 28,509.1 \text{ N}$



With full outer ring shoulders



With recessed outer ring shoulders

- המיסב שמתאים לקוטר $d = 35 \text{ mm}$ ולכושר הדינמי שחושב סעיף ב' הוא:

Principal dimensions			Basic load ratings		Fatigue load limit P_u	Speed ratings		Mass	Designation
d	D	B	C	C_0		Lubrication grease	oil		
mm			N		N		r/min	kg	
35	47	7	4 750	3 200	166	13 000	16 000	0.030	61807
	55	10	9 560	6 200	290	11 000	14 000	0.080	61907
	62	9	12 400	8 150	375	10 000	13 000	0.11	16007
	62	14	15 900	10 200	440	10 000	13 000	0.16	6007
	72	17	25 500	15 300	655	9 000	11 000	0.29	6207
	80	21	33 200	19 000	815	8 500	10 000	0.46	6307
	100	25	55 300	31 000	1 290	7 000	8 500	0.95	6407

שאלה 2: 838202-2012

באיור לשאלה זו מתואר מסב כדורים רדיאלי שסימונו 6207.

דרוש:

1. היעזר בנספח ג' ורשום במחברתך את ערכי המידות d , D , B ו- C של המסב.

2. חשב את אורך החיים של המסב בשעות עבודה, אם נתון שעל המסב פועל כוח רדיאלי בלבד וגודלו: $F = 6,000 \text{ N}$. הגל מסתובב במהירות סיבוב של $n = 1,500 \text{ rpm}$.

פתרון:

1. בטבלה מסומנים הנתונים המבוקשים לשני המיסבים:

Principal dimensions			Basic load ratings		Fatigue load limit P_0	Speed ratings		Mass	Designation
d	D	B	C	C_0		Lubrication	oil		
mm			N		N	r/min	kg		
35	47	7	4 750	3 200	166	13 000	16 000	0.030	61807
	55	10	9 560	6 200	290	11 000	14 000	0.080	61907
	62	9	12 400	8 150	375	10 000	13 000	0.11	16007
	68	15	15 980	10 200	440	10 000	13 000	0.16	6007
	72	17	25 500	15 300	655	9 000	11 000	0.29	6207
	80	21	33 200	19 000	815	8 500	10 000	0.46	6307
	100	25	55 300	31 000	1 290	7 000	8 500	0.95	6407

2. חישוב אורך החיים של המסב בשעות עבודה:

$$L = \left(\frac{C}{F} \right)^3 = \left(\frac{25,500}{6,000} \right)^3 = 72.338 \text{ mil. rev}$$

$$L_h = \frac{L \cdot 10^6}{60 \cdot n} = \frac{72.34 \cdot 10^6}{60 \cdot 1,500} = 803.77 \text{ Hours}$$

שאלה 2: 838202-2012

באיור לשאלה זו מתואר שרטוט הרכבה מפוצלת של גלגל שיניים בעל שיניים ישרות, המורכב על גל. הגל נתון בין שני מסבים. סימונו של המסב השמאלי 6207, ושל הימני 6206.

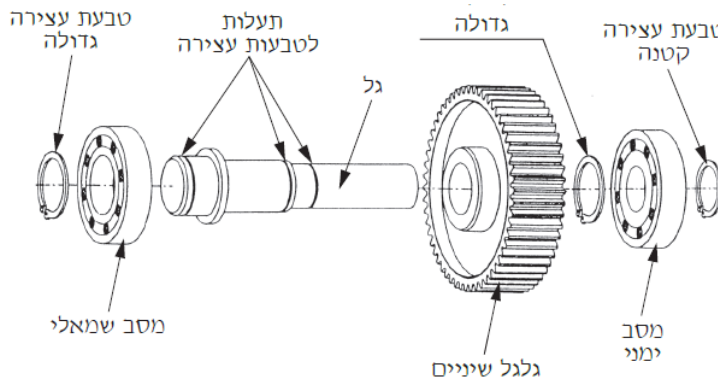
נתונים:

1. העומס השקול על המסב: $F = 2,500 \text{ N}$

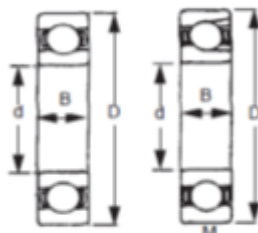
2. מהירות הסיבוב של הגל: $n = 1,000 \text{ rpm}$

דרוש:

4. היעזר בנספח ד' ורשום את הנתונים האלה של המסב השמאלי:



F_a/C_o	e	$F_a/F_r \leq e$		$F_a/F_r > e$	
		x	y	x	y
0.025	0.22	1	0	0.58	2
0.04	0.24	1	0	0.56	1.8
0.07	0.27	1	0	0.56	1.6
0.13	0.31	1	0	0.56	1.4
0.25	0.37	1	0	0.56	1.2
0.5	0.44	1	0	0.56	1



1. כושר סטטי (C_o)

2. כושר דינמי (C)

3. קוטר פנימי (d)

4. קוטר חיצוני (D)

5. רוחב (B)

5. חשב את אורך החיים

של המסב בשעות עבודה.

פתרון:

3. בטבלה מסומנים

הנתונים המבוקשים

לשני המיסבים:

4. חישוב אורך החיים של המסב השמאלי בשעות עבודה:

$$L = \left(\frac{C}{F} \right)^3 = \left(\frac{26,700}{2,500} \right)^3 = 1,259.7 \text{ mil. rev}$$

$$L_h = \frac{L \cdot 10^6}{60 \cdot n} = \frac{1,259.7 \cdot 10^6}{60 \cdot 1,000} = 20,995 \text{ Hours}$$

שאלה 4: 838202-2007

הסרן המתואר באיור א' לשאלה זו ממוסב בקצותיו במסבי החלקה זהים ועמוס במרכזו בעומס $P = 80 \text{ kN}$ במאונך לציר הסרן. הסרן מסתובב במהירות סיבובית $n=600\text{rpm}$. לחץ המגע המותר בין ידות (שטחי המגע) של הסרן למסבים הוא: $[p] = 6 \text{ MPa}$. ההתחממות (הספק ליחידת שטח) המרבית המותרת במסבי החלקה היא:

$$[p \cdot v] = 15 \text{ MPa} \cdot \frac{\text{m}}{\text{sec}}$$

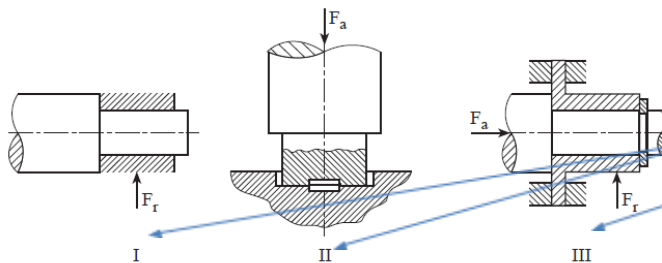
דרוש:

1. בדוק האם המיסבים יעמדו בלחץ המגע.

2. בדוק האם המיסבים יעמדו בהתחממות המותרת.

3. התאם את הספרה הרומית המופיעה באיור ב' לשאלה זו לשמות של שלושת

הסוגים של מיסבי החלקה.



- 3.1 מיסב החלקה צירי
- 3.2 מיסב החלקה רדיאלי
- 3.3 מיסב החלקה רדיאלי-צירי

פתרון:

1. מטעמי סימטריה העומס החיצוני מתחלק זהה בין שני המיסבים: $F = 0.5 \cdot 80 = 40 \text{ kN}$.

2. בדיקת לחץ מגע מתוך מאמץ לחיצה מותר:

$$\rho = \frac{F}{A} = \frac{F}{D \cdot L} = \frac{40,000}{60 \cdot 90} = 7.407 \text{ MPa}$$

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60,000} = \frac{\pi \cdot 60 \cdot 600}{60,000} = 1.855 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$$

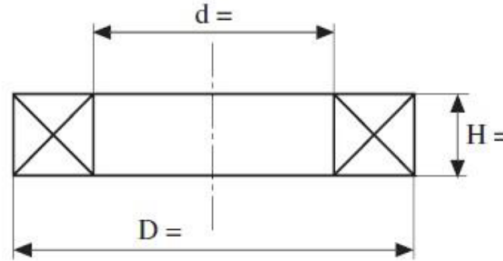
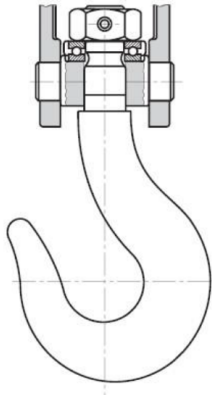
3. בדיקת המיסב להתחממות יתר:

$$\rho \cdot v = 7.41 \cdot 1.86 = 13.7 \text{ MPa} \cdot \frac{\text{m}}{\text{sec}} < 15 \text{ MPa} \cdot \frac{\text{m}}{\text{sec}}$$

4. התאמת שמות המיסבים לציורים בחיצים בגוף הציור.

שאלה 5: 838205-2005

באיור א' לשאלה זו מתואר וו הרמה הנתמך במסב גלילה צירי כדורי. סימנו של המסב 51407. באיור ב' לשאלה זו נתון סרטוט סכמתי של המסב.



דרוש:

1. רשום ערכי המידות המסומנות בסרטוט.
2. רשום במחברתך את הכושר הדינמי, C , של המסב ואת הכושר הסטטי, C_0 , של המסב.
3. חשב את העומס הסטטי, P_0 , על המסב (שים לב: המסב מיועד לעבוד בתנאים סטטיים)

פתרון:

1. מתוך הטבלה:

$$d=35\text{mm}, D=80\text{mm}, H=32\text{mm}$$

2. מתוך הטבלה:

$$C_0=156,000\text{N}, C=87,100\text{N}$$

3. חישוב העומס הסטטי:

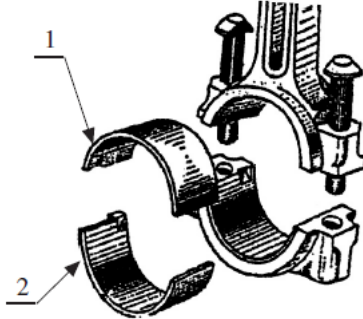
$$C_0 = 1.8P_0 \rightarrow P_0 = \frac{C_0}{1.8} = \frac{156,000}{1.8} = 86,666.67\text{N}$$

Principal dimensions			Basic load ratings		Fatigue load limit	Minimum load factor	Speed ratings		Mass	Designation
d	D	H	C	C_0	P_u	A	Lubrication	grease	oil	
mm			N		N	-				
35	52	12	17 400	37 500	1 530	7.3	4 300	5 600	0.080	51107
	62	18	35 100	67 000	2 700	23	3 000	4 000	0.22	51207
	68	24	48 400	88 000	3 550	40	2 400	3 400	0.36	51307
	80	32	87 100	156 000	6 200	130	1 800	2 600	0.76	51407

שאלה 6: 838202-2003

באיור א' לשאלה זו מפורט מכלול של טלטל בעל שתי קסוות (חלקים 1 ו-2). לאחר הרכב המכלול פועלות הקסוות כמסב החלקה. בתוך המסב מסתובבת ארכובת הגל (אינה נראית באיור).

להלן נתונים על המכלול:



- ❖ לחץ השטח (המגע) המותר במסב: $p = 9 \text{ MPa}$
- ❖ ההתחממות המותרת של המסב:
- ❖ $[p \cdot v] = 15 \text{ MPa} \cdot \frac{\text{m}}{\text{sec}}$
- ❖ הכוח הפועל על הטלטל (רדיאלי למסב): $F = 10 \text{ kN}$
- ❖ הקוטר הפנימי של המסב: $d = 40 \text{ mm}$
- ❖ אורך המסב: $l = 60 \text{ mm}$
- ❖ מהירות הסיבוב של קצה הגל במסב: $n = 2,500 \text{ rpm}$

דרוש:

4. חשב את לחץ המגע בין המסב לגל.
5. חשב את ההתחממות של המסב, ובדוק אם המסב יעמוד בלחץ המגע הפועל על פניו ובחום שייווצר בו.

פתרון:

1. חישוב לחץ המגע בין המיסב לגל מתוך משוואת מאמץ לחיצה:

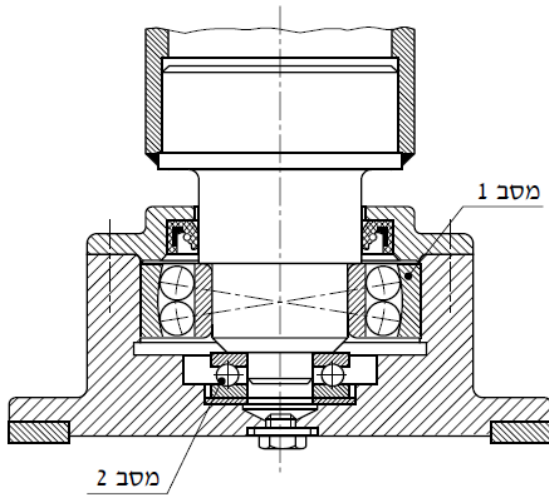
$$\rho = \frac{F}{A} = \frac{F}{d \cdot l} = \frac{10,000}{40 \cdot 60} = 4.167 \text{ MPa}$$

$$v = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60,000} = \frac{\pi \cdot 40 \cdot 2,500}{60,000} = 7.854 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$$

2. בדיקת המיסב להתחממות יתר:

$$\rho \cdot v = 4.167 \cdot 7.854 = 32.73 \text{ MPa} \cdot \frac{\text{m}}{\text{sec}} < 15 \text{ MPa} \cdot \frac{\text{m}}{\text{sec}}$$

באיור א' לשאלה זו מפורטת תומך של גל מאונך. בתומך מורכבים שני מסבים:

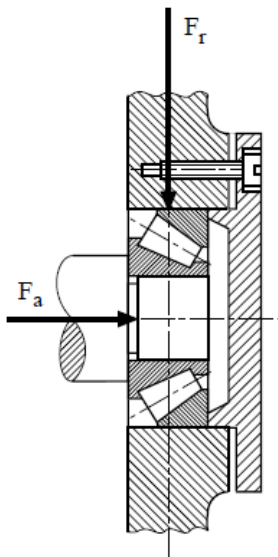


1. העתק למחברתך את הטבלה שלהלן ורשום בה לצד מספר המסב (על-פי הסימון באיור א'), את שם המסב ואת סוג הכוח שהמסב מתוכנן עבורו, מתוך הרשימות שלהלן:

שמות מסבים: מסב כדורים רדיאלי, מסב כדורים מתייצב, מסב גלילים, מסב מחטים, מסב קוני, מסב צירי (מסב לחץ).

סוגי כוחות שעבורם מתוכננים המסבים: כוח רדיאלי, כוח צירי, כוח משולב (רדיאלי + צירי).

2. באיור ב' לשאלה 5 מתואר קצה של גל הנתון בתוך מסב קוני שמספרו הקטלוגי 33205. על המסב פועל כוח צירי F_a וכוח רדיאלי F_r . $F_r = 10,000 \text{ N}$, $F_a = 8000 \text{ N}$.



פתרון:

1. מסב 1 הוא מסב כדורים מתייצב המתאים למקרה בו פועלים כוחות רדיאליים בלבד.

מסב 2 הוא מסב צירי (מסב לחץ) המתאים למקרה בו פועלים כוחות ציריים בלבד.

2. כדי לחשב את אורך החיים של המסב צריך לבחור את הכושר הדינמי C של המסב.

תחילה נחשב את היחס e בין הכוח הצירי והכוח הרדיאלי:

$$e = \frac{F_a}{F_r} = \frac{8}{10} = 0.8 > 0.35$$

מסב קוני שמספרו הקטלוגי 33205, עבורו היחס המתאים הוא: $e=0.35$, ומקדם הכוח הרדיאלי הוא: $Y=1.7$ והכושר הדינמי שלו הוא: $C=47,300 \text{ N}$.

לכן, נשתמש בנוסחה לחישוב הכוח המשולב:

$$F = 0.4 \cdot F_r + Y \cdot F_a = 0.410 + 1.78 = 17.6 \text{ kN}$$

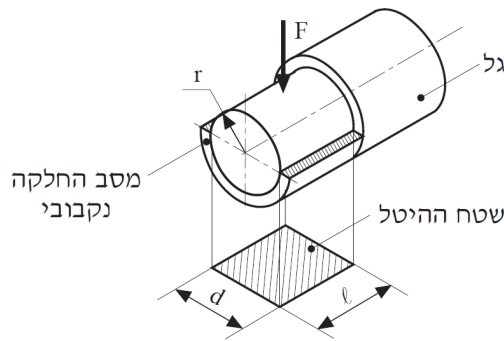
חישוב אורך החיים של המיסב:

$$L = \left(\frac{C}{F} \right)^{\frac{10}{3}} = \left(\frac{47,300}{17,600} \right)^{\frac{10}{3}} = 27 \text{ mil. rev}$$

שאלה 8: 838202-2002

מסב ההחלקה הנקבובי שבאיור לשאלה זו עשוי מארד. המידות הפנימיות של המסב הן: $d = 12\text{mm}$, $l = 10\text{mm}$. הגל המורכב במסב מסתובב ב- $n=300\text{rpm}$, והוא מפעיל על המסב עומס רדיאלי בגודל $F=200\text{N}$.

להלן מידות המסב:



1. הקוטר הפנימי: $d_w = 35\text{ mm}$

2. הקוטר החיצוני: $D_w = 68\text{ mm}$

3. העובי: $H = 24\text{mm}$

דרוש:

1. בדוק, באמצעות חישוב, אם תיווצר במסב תופעה של חימום יתר. הערכים המרביים (המקסימליים) של מסב נקבובי העשוי ארד הם אלה:

$$P_{\max} = 13.8\text{ N/mm}^2 \quad V_{\max} = 6.1\text{m/sec}$$

2. התכונות הנדרשות מן החומר שממנו עשויים מסבי החלקה הן אלה:

1. עמידה בשחיקה ומקדם חיכוך גבוה.
2. עמידה בשחיקה ומקדם חיכוך נמוך.
3. אלסטיות גבוהה וחוזק גבוה.
4. אלסטיות נמוכה וחוזק נמוך.

פתרון:

1. חישוב לחץ המגע בין המיסב לגל מתוך משוואת מאמץ לחיצה:

$$\rho = \frac{F}{A} = \frac{F}{d \cdot L} = \frac{200}{12 \cdot 10} = 1.667\text{MPa}$$

$$v = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60,000} = \frac{\pi \cdot 12 \cdot 300}{60,000} = 188.5 \frac{\text{mm}}{\text{sec}} = 0.189 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$$

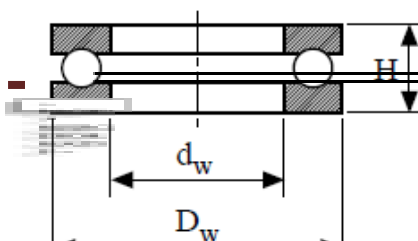
2. בדיקת המיסב להתחממות יתר:

$$\rho \cdot v = 1.667 \cdot 0.189 = 0.314\text{MPa} \frac{\text{m}}{\text{sec}} < 15\text{MPa} \frac{\text{m}}{\text{sec}}$$

3. התכונות הנדרשות ממיסב החלקה הן: עמידה בשחיקה ומקדם חיכוך נמוך.

שאלה 9: 838205-2002

באיור לשאלה זו משורטט מסב צירי (מסב לחץ).

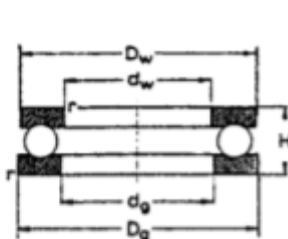


להלן מידות המסב:

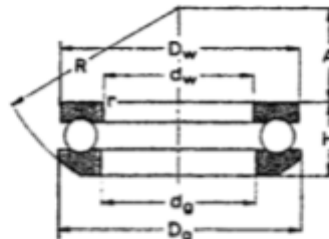
4. הקוטר הפנימי: $d_w = 35 \text{ mm}$

5. הקוטר החיצוני: $D_w = 68 \text{ mm}$

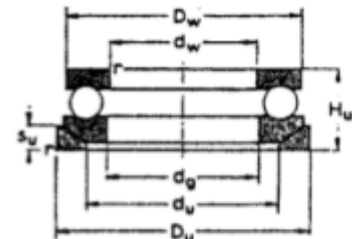
6. העובי: $H = 24 \text{ mm}$



Series 511, 512, 513, 514



Series 532, 533, 534



Series 532, 533, 534
with seating ring

Shaft	Dimensions				H	r	R	Number Bearing FAB	Load ratings	
	d_w	d_g	D_w	D_g					dyn. C	stat. C_0
	mm								kN	
35	35	37	52	52	12	1		51107X	15,3	37,5
	35	37	52	52	12	1		51107X.P6	15,3	37,5
	35	37	62	62	18	1,5		51207	30	62
	35	37	62	62	19,9	1,5	50	53207	30	62
	35	37	68	68	24	1,5		51307	43	85
	35	37	68	68	25,6	1,5	56	53307	43	85
	35	37	80	80	32	2		51407	68	125
	35	37	80	80	34	2	64	53407	68	125

דרוש:

היעזר בספח וענה:

3. מהו מספרו של המסב (Number Bearing)?

4. מהו העומס הדינמי, C_{dyn} , של המסב?

5. אורך חיי המסב הנדרש הוא: $L = 64 \text{ mil} \cdot \text{rev}$. חשב את הכוח הצירי המרבי, F , שהמסב יכול לשאת.

פתרון:

3. מספרו של המסב הוא: 51307

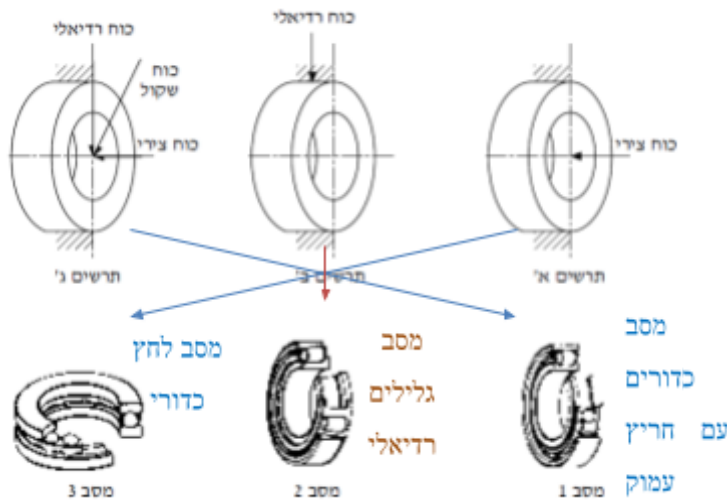
4. העומס הדינמי, C_{dyn} , של המסב: $C_0 = 43 \text{ kN}$

5. הכוח הצירי המרבי, F , שהמסב יכול לשאת הוא:

$$L = \left(\frac{C}{F} \right)^3 \rightarrow F = \frac{C}{\sqrt[3]{L}} = \frac{43,000}{\sqrt[3]{64}} = 10,800 \text{ N}$$

שאלה 10: 838202-2001

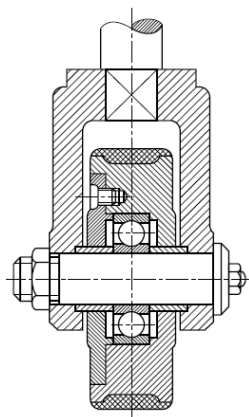
נתונים שלושה תרשימים (א'—ג') של כוחות הפועלים על מסבים, ושלושה איורים (1—3) של מסבים.



1. רשום את שמות המסבים שבאיורים, מתוך חמשת השמות הנתונים:

1. מסב לחץ כדורי.
2. מסב כדורים עם חריץ עמוק.
3. מסב גלילים רדיאלי.
4. מסב קוני.
5. מסב חביתונים.

2. מסב הגלגול המתואר באיור ב' לשאלה 2 הוא מסב כדורי של חברת SKF ומספרו הוא 16010. המסב מותקן בגלגלון של עגלה, כמתואר באיור.



היעזר בנספח ד', ורשום במחברתך את העומס הדינמי הבסיסי, C, המתאים למסב ואת המידות הבאות של המסב:

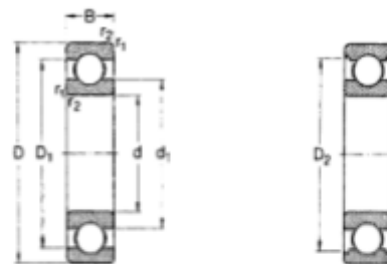
הקוטר הפנימי, d

הקוטר החיצוני, D

הרוחב, B

3. המסב תוכן לאורך חיים של 160 מיליון סיבובים בעומס F. חשב את העומס.

Deep groove ball bearings
single row
d 35-55 mm



With full outer ring shoulders					With recessed outer ring shoulders				
Principal dimensions			Basic load ratings		Fatigue load limit P_0	Speed ratings		Mass	Designation
d	D	B	C	C_0		Lubrication	grease oil		
mm			N		N	r/min		kg	-
50	65	7	6 240	4 750	250	9 000	11 000	0,052	51810
	72	12	14 600	10 400	500	8 500	10 000	0,14	51910
	80	10	16 300	11 400	560	8 500	10 000	0,18	52010
	80	16	21 600	16 000	710	8 500	10 000	0,26	5210

$$L = \left(\frac{C}{F}\right)^3 \rightarrow F = \frac{C}{\sqrt[3]{L}} = \frac{16,300}{\sqrt[3]{160}} = 3,200N$$