

מכניקה הנדסית י"ב

שתי יחידות לימוד

הוראות לנבחן

א. משך הבחינה: שלוש שעות.

ב. מבנה השאלון ומפתח ההערכה: בשאלון זה שלושה פרקים:

פרק ראשון: הבנת סרטוט הרכבה (שאלה 1)

פרק שני: חוזק חומרים ופרקי מכונות (שאלות 2-6)

פרק שלישי: פרקי הנדסה ומדע (שאלות 7-10)

עליך לענות על חמש שאלות: שאלה אחת מכל פרק ועוד שתי שאלות על-פי בחירתך. לכל שאלה – 20 נקודות.

ג. חומר עזר מותר לשימוש: כלי כתיבה וכלי סרטוט, נוסחאון בית-ספרי ומחשבון.

ד. הוראות מיוחדות:

1. עיין בשאלון, הכר את חלקיו, ורק אז ענה על השאלות בסדר הנראה לך.

2. אם מספר השאלות שפתרת עולה על הנדרש, אינך צריך לבחור את התשובות שייבדקו. המעריך יבדוק את כל המבחן ויבחר את התשובות הטובות ביותר לפי הנדרש בכל פרק.

3. בכל שאלה ניתנו הנתונים לפתרונה. אם לדעתך חסר נתון, הוסף אותו על-פי שיקול דעתך ופתור בעזרתו את השאלה. ציין בתשובתך את הנתון שבחרת להוסיף.

4. בתשובה לשאלת חישוב, עליך להציג את שלבי הפתרון באופן מפורט ולהסבירם בקצרה. קבלת מרב הנקודות מותנית במילוי דרישה זו.

הוראות למשגיח: בתום הבחינה על כל נבחן לצרף את נספח א',
ואת נספח ד' (אם ענה על שאלה 9) אל מחברת הבחינה שלו.

בשאלון זה 12 עמודים, 4 עמודי נספחים ונוסחאון.

ההנחיות בשאלון זה מנוסחות בלשון זכר,
אך מכוונות הן לנבחנות והן לנבחנים.

השאלות

בשאלון זה שלושה פרקים.
עליך לענות על שאלה אחת מכל פרק ועל עוד שתי שאלות, על-פי בחירתך.
(לכל שאלה – 20 נקודות.)

פרק ראשון: הבנת סרטוט הרכבה

שאלה 1 – שאלת חובה.

ענה על חמישה מבין הסעיפים א'–ז' שלהלן, ועל סעיף ח'.
בכל אחד מהסעיפים א'–ז' נתונות ארבע תשובות שרק אחת מהן נכונה. סמן את
התשובה הנכונה בדף התשובות שבנספח א'.

בנספח ב' נתון סרטוט הרכבה של מתקן הידוק המיועד לקידוח קדחים בְּעוֹבֵד שצורתו דִּסְקָה, ונתונה רשימת החלקים של המתקן. כמו כן נתון תיאור איזומטרי של המתקן ושל העובד.

א. מהי צורת המשטח המסומן באות א' במחזיק העוֹבֵד (חלק 3)

1. ריבוע

2. גליל

3. כדור

4. משושה

ב. איזו אפיצות נדרשת בין תותב הקידוח (חלק 2) לבין בסיס המתקן (חלק 1) כדי למנוע את
סיבוב התותב בזמן הקידוח?

1. אפיצות חופש

2. אפיצות מרווח

3. אפיצות מעבר

4. אפיצות לחץ

ג. החריץ בדסקת ההידוק (חלק 4) נועד לאפשר:

1. שחרור נוח של בורג ההידוק (חלק 5)
 2. שימוש בדסקית קפיצית (חלק 6)
 3. שחרור דסקת ההידוק (חלק 4) והעובד ללא הוצאת בורג ההידוק (חלק 5)
 4. העברת כוח ההידוק מבורג ההידוק (חלק 5) לדסקת ההידוק (חלק 4) ולעובד.
- ד. איזה טיפול תרמי יש לבצע לתותב הקידוח (חלק 2) כדי להקטין את שחיקתו?

1. חיסום
2. ריפוי
3. הרפיה
4. צימנוט

ה. מהו תפקידה של הדסקית הקפיצית (חלק 6)?

1. להדק בכוח גדול את בורג ההידוק (חלק 5)
 2. להדק במהירות את בורג ההידוק (חלק 5)
 3. למנוע פתיחה עצמית של בורג ההידוק (חלק 5)
 4. לאפשר שחרור מהיר של בורג ההידוק (חלק 5)
- ו. לאילו מאמצים נתון הקנה של בורג ההידוק (חלק 5) בעת הידוק העובד?

1. גזירה ופיתול
2. מתיחה ופיתול
3. כפיפה ופיתול
4. לחיצה ופיתול

ז. כמה קדחים ניתן לקדוח בעובד בהידוק אחד?

1. ארבעה קדחים
2. שלושה קדחים
3. קדח אחד
4. שני קדחים

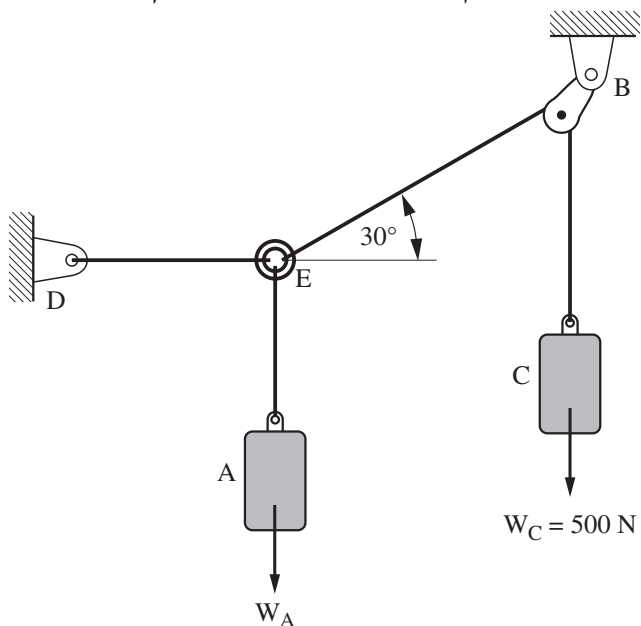
ח. בנספח א' נתון סרטוט לא מושלם של מחזיק העובד (חלק 3)

1. השלם בסרטוט את הקווים החסרים: קווי תברג וקווקו החתך.
2. הוסף לסרטוט את קווי המידה של המידות המגדירות את התברג (ללא ערכים מספריים).

פרק שני: חוזק חומרים ופרקי מכונות

שאלה 2

באיור לשאלה 2 מתוארת מערכת כבלים לתליית שני שקי אגרוף (A ו-C). משקלו של השק C הוא W_C , והוא נתון באיור. כבל EB נטוי בזווית של 30° ביחס לאופק, וכבל DE – אופקי. מערכת הכבלים נמצאת בשיווי משקל. גלגלת B היא חסרת חיכוך.



איור לשאלה 2

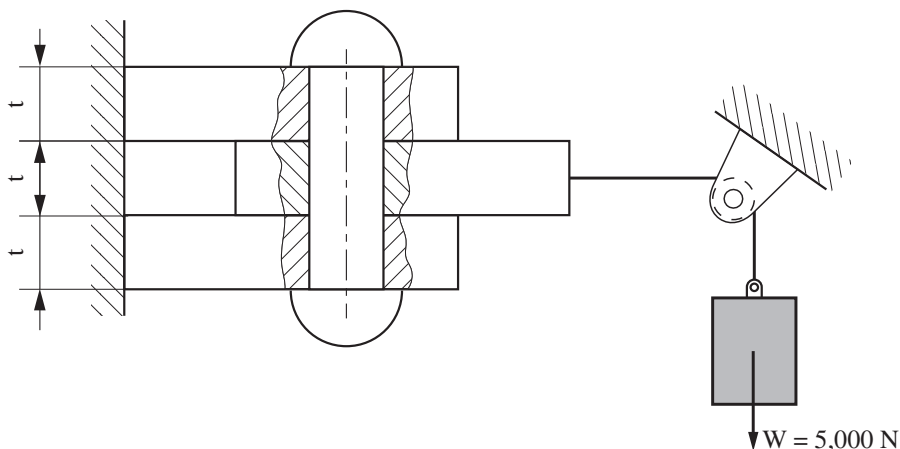
- א. מהו ערכה של המתוחות בכבל EB ? נמק את תשובתך
- ב. סרטט דצ"ח (דיאגרמת צומת חופשי) של הצומת E.
- ג. חשב את ערך הכוח בכבל DE ואת המשקל, W_A , של השק A.

שאלה 3

באיור לשאלה 3 מתואר מתלה למשקולת העשוי משלושה פחים. הפחים מהודקים באמצעות מסמרה אחת. עובי כל פח: $t = 5 \text{ mm}$. משקל המשקולת נתון באיור. המאמצים המותרים בחומר המסמרה הם אלה:

לגזירה: $[\tau_s] = 50 \text{ MPa}$

למעיקה: $[\sigma_{lc}] = 150 \text{ MPa}$

**איור לשאלה 3**

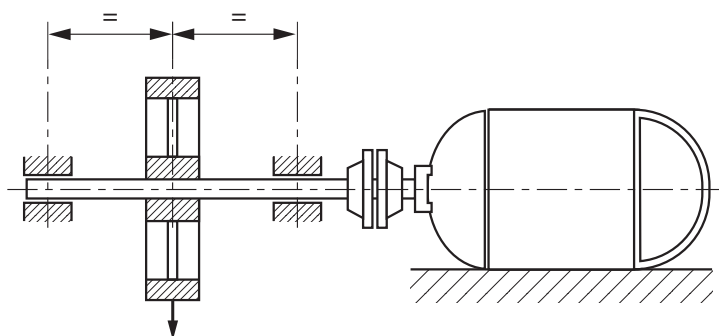
- א. חשב את הקוטר המזערי הדרוש של המסמרה, לפי מאמץ הגזירה המותר.
- ב. חשב את הקוטר המזערי הדרוש של המסמרה, לפי מאמץ המעיקה המותר.
- ג. איזה קוטר תבחר למסמרה מבין התוצאות שקיבלת בסעיפים א' ו-ב'.

שאלה 4

באיור לשאלה 4 מתואר מנוע המניע גל. הגל נתמך על שני מסבים ומורכב עליו גלגל רצועה, כמתואר באיור.

למנוע הספק של 15 kW והוא מסתובב ב-1,500 RPM.

על הגל פועל מומנט פיתול (M_t) ומומנט כפיפה מרבי $M_b = 120,000 \text{ Nmm}$

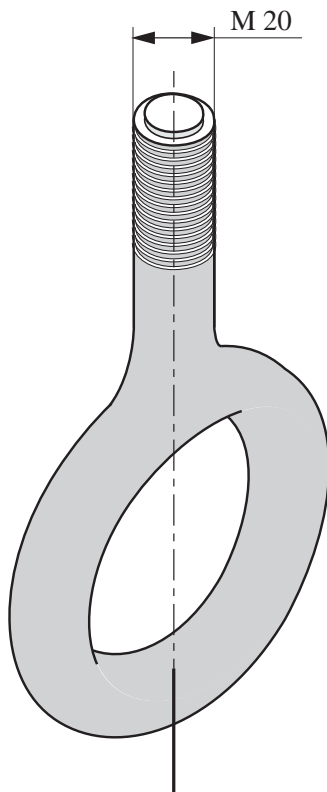


איור לשאלה 4

- א. חשב את ערכו של מומנט הפיתול (M_t) הפועל בגל.
- ב. חשב את ערכו של המומנט המורכב (האקוויולנטי) (M_e) המרבי הפועל בגל.
- ג. חשב את המאמץ המרבי הכולל (σ_e) בחומר הגל, אם נתון שמומנט ההתנגדות (מודול החתך) של הגל לכפיפה הוא: $Z_b = 1,800 \text{ mm}^3$
- ד. נתון שהמאמץ המותר בחומר הגל הוא: $[\sigma_t] = 90 \text{ MPa}$. קבע אם הגל יעמוד במאמץ המרבי הכולל. נמק את קביעתך.

שאלה 5

באיור לשאלה 5 מתוארת טבעת הרמה של מנוף. הטבעת עשויה מפלדה SAE 1020 והיא מתחברת לזרוע המנוף באמצעות תבריג M 20 .
מאמץ גבול הכניעה של חומר הטבעת הוא: $\sigma_y = 240 \text{ MPa}$.
מקדם הבטיחות הוא: $S = 2.4$.



איור לשאלה 5

- א. היעזר בנספח ג' ורשום את הערכים של נתוני התבריג (קוטר חיצוני, קוטר פנימי, קוטר אפקטיבי, פסיעה, שטח חתך למתיחה).
- ב. חשב את המאמץ המותר באזור התבריג של הטבעת.
- ג. חשב את המשקל המרבי F , שאפשר להרים בעזרת הטבעת.

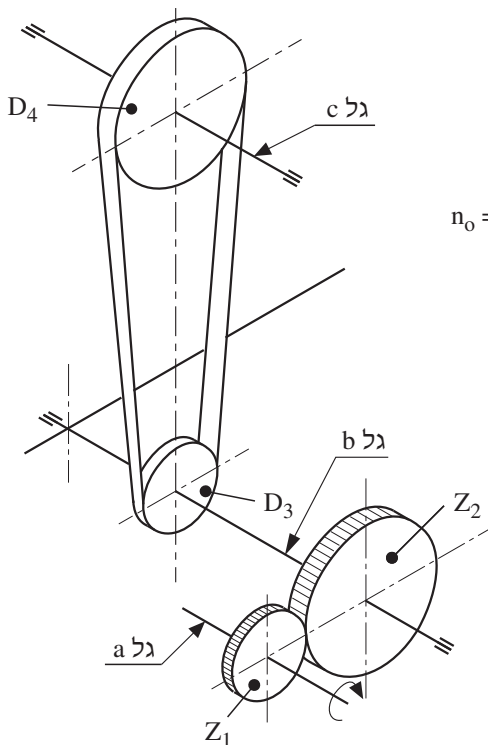
שאלה 6

באיור לשאלה 6 מתוארת ממסרה דו־שלבית:

שלב I – תשלובת גלגלי שיניים גליליים בעלי שיניים ישרות, Z_1 ו- Z_2 .

שלב II – תשלובת גלגלי רצועה, D_3 ו- D_4 .

הכניסה לממסרה היא בגל a , והיציאה ממנה היא בגל c . גל b הוא גל ביניים.



איור לשאלה 6

נתונים:

ההספק בכניסה לממסרה: $P_i = 20 \text{ kW}$

ההספק ביציאה מהממסרה: $P_o = 18 \text{ kW}$

מהירות הסיבוב ביציאה מן הממסרה: $n_o = 500 \text{ RPM}$

מספרי השיניים בגלגלי השיניים:

$$Z_1 = 18$$

$$Z_2 = 54$$

מידות הקטרים של גלגלי הרצועה:

$$D_3 = 120 \text{ mm}$$

$$D_4 = 240 \text{ mm}$$

א. חשב את יחס התמסורת (i) של הממסרה.

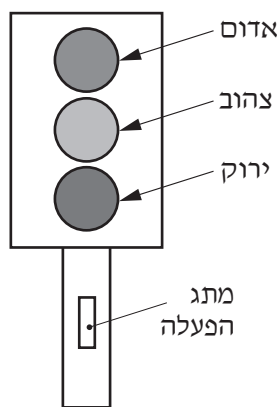
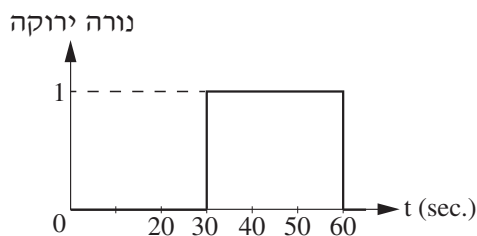
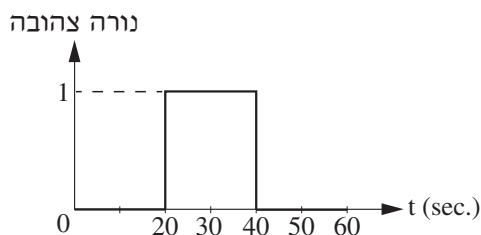
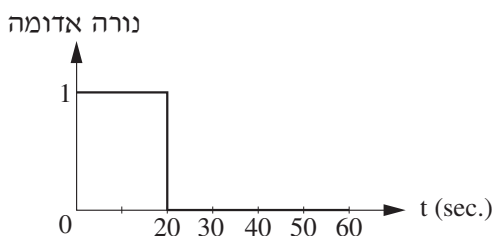
ב. חשב את מהירות הסיבוב (n_i) של גל הכניסה (a).

ג. חשב את הנצילות (η) של הממסרה.

פרק שלישי: פרקי הנדסה ומדע

שאלה 7

באיור א' לשאלה 7 מתואר רמזור המופעל באמצעות מערכת בקרה. המערכת כוללת מתג הפעלה, נורה אדומה, נורה צהובה, נורה ירוקה ובקר. (הבקר אינו מתואר באיור).
באיור ב' לשאלה 7 נתונים שלושה גרפים המתארים את מצבי שלוש הנורות במשך מחזור פעולה אחד של הרמזור. (מצב '1' – נורה דולקת, מצב '0' – נורה כבויה). הפעלת המתג מתחילה את מחזור הפעולה של הרמזור.



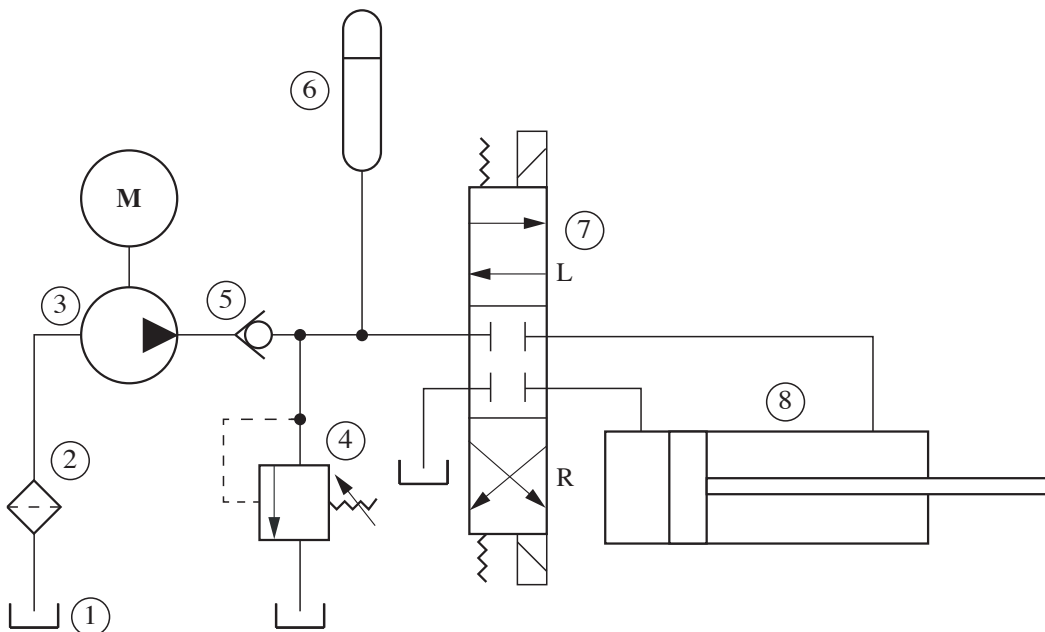
איור א' לשאלה 7

איור ב' לשאלה 7

- א. רשום טבלת קלט-פלט של מערכת בקרת הרמזור.
- ב. כתוב תכנית או סרטט דיאגרמת סולם לבקרת פעולת הרמזור, עבור מחזור אחד. שפת התכנות נתונה לבחירתך.

שאלה 8

באיור לשאלה 8 מתוארת מערכת בקרה הידרולית המפעילה בוכנה.

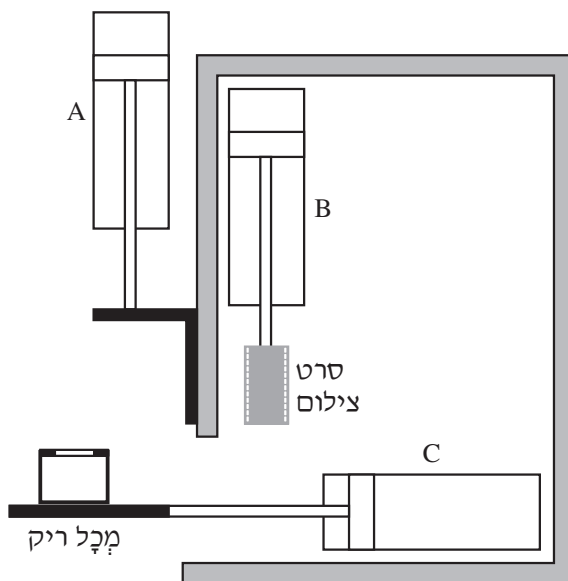


איור לשאלה 8

- א. רשום את שמותיהם של הרכיבים המסומנים באיור בספרות (1) עד (8).
- ב. מהו תפקידו של רכיב (5) במערכת?
- ג. תאר את פעולת המערכת במצב R ובמצב האמצעי של רכיב (7).

שאלה 9

באיור לשאלה 9 מתוארת מערכת לארזיות סרט צילום בתוך מִקְל אָטום לאור. תהליך הארזיה מבוצע בתוך תא חושך. הבוכנה C מכניסה את המכל לתוך תא החושך. הבוכנה A סוגרת את פתח התא והבוכנה B מכניסה את סרט הצילום למכל. בקצות מהלכי הבוכנות A, B ו-C מותקנים חיישני הגבול $a_0, a_1, b_0, b_1, c_0, c_1$ בהתאמה.

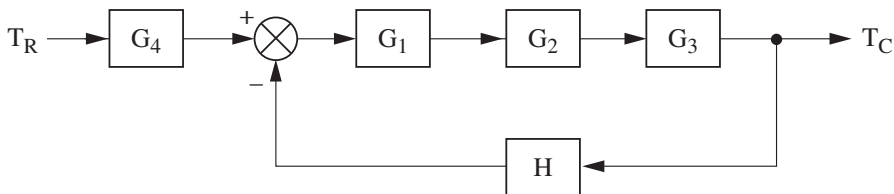


איור לשאלה 9

- א. רשום במחברתך את מחזור הפעולות של המערכת.
- ב. הצג במחברתך דיאגרמת חצים המתארת את מחזור הפעולות של המערכת.
- ג. סרטט על-גבי נספח ד' את מערך הפיקוד של מחזור הפעולות של המערכת, בשיטת הקסקדה.

שאלה 10

באיור לשאלה 10 נתונה דיאגרמת מלבנים של מערכת לבקרת טמפרטורה:



איור לשאלה 10

א. רשום את פונקציית התמסורת, $\frac{T_C}{T_R}$.

ב. הגברי הרכיבים הם אלה:

$$G_1 = 2, G_2 = 3, G_3 = 4, G_4 = 1, H = 1$$

הטמפרטורה הרצויה היא: $T_R = 50^\circ\text{C}$

חשב את טמפרטורת המוצא, T_C , של המערכת, ב- $^\circ\text{C}$.

ג. חשב את שגיאת המערכת, T_e , ב- $^\circ\text{C}$.

בהצלחה!

נספח א': דף תשובות לפרק הראשון

לשאלון 838202, קיץ תשע"ו

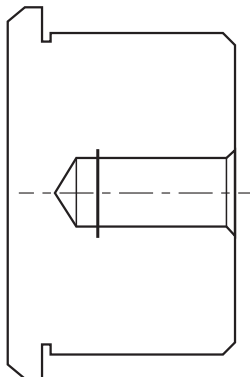
נקודות נבחרות

הדבק את מדבקת הנבחן שלך במקום המיועד לכך.
כשתסיים להשיב על השאלות, הדק את דף התשובות למחברתך.

תשובות לשאלה 1

סעיף א'	1	2	3	4
סעיף ב'	1	2	3	4
סעיף ג'	1	2	3	4
סעיף ד'	1	2	3	4
סעיף ה'	1	2	3	4
סעיף ו'	1	2	3	4
סעיף ז'	1	2	3	4

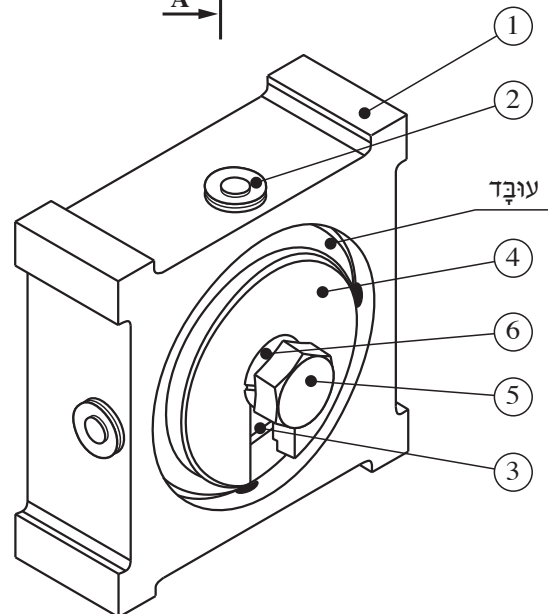
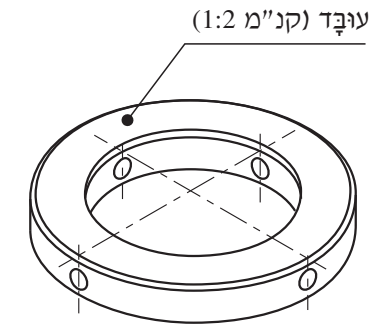
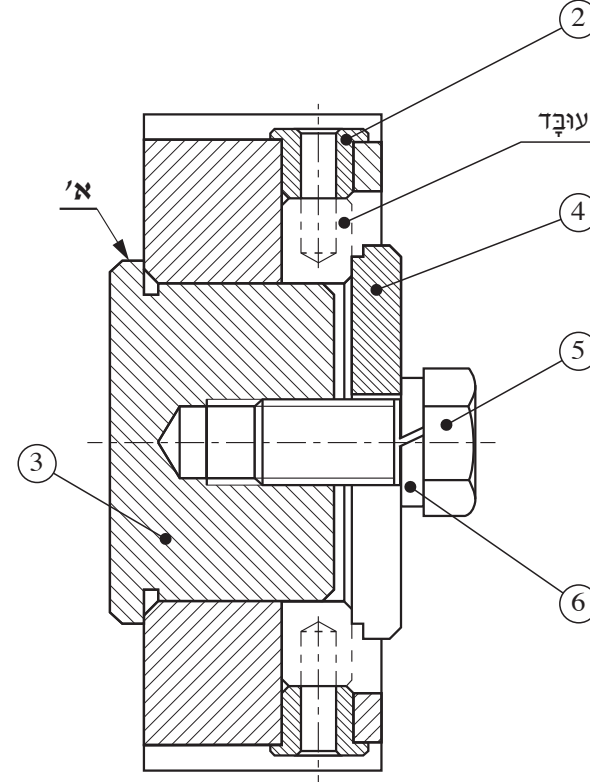
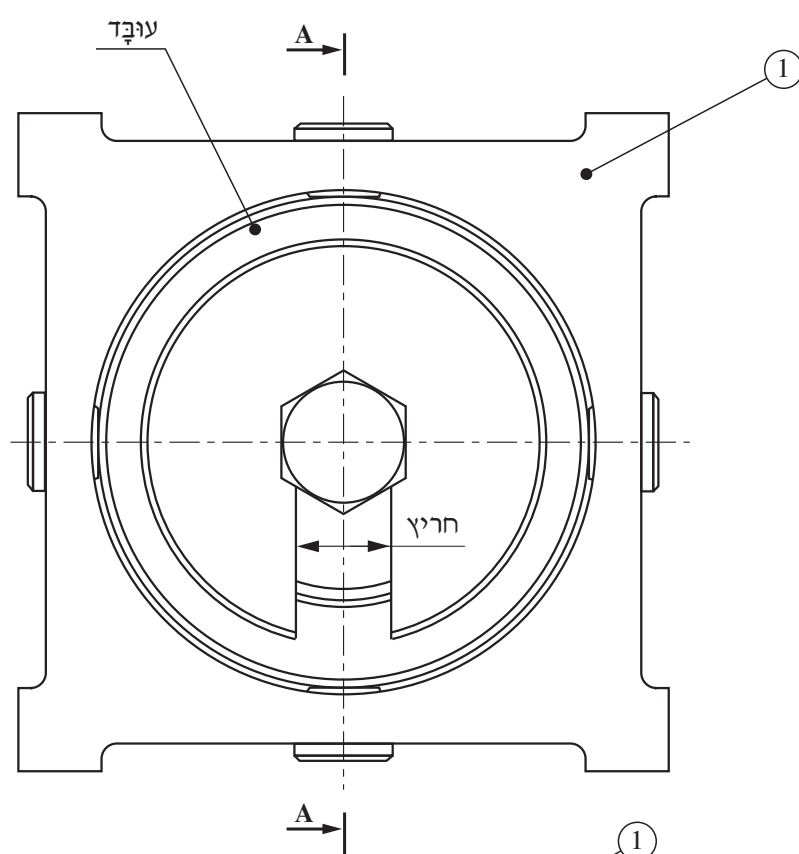
סעיף ח' (קנ"מ 1:1):



נספח ב' (לשאלה 1)

לשאלון 838202, קיץ תשע"ו

אין צורך להחזיר נספח זה



פלדה קפיצית	1	דסקית קפיצית	6
פלדה SAE 1040	1	בורג הידוק M 12	5
פלדה SAE 1040	1	דסקת הידוק	4
פלדה SAE 1040	1	מחזיק העוגד	3
פלדה SAE 1080	4	תותב קידוח	2
פלדה SAE 1060	1	בסיס המתקן	1
חומר	כמות	שם החלק	חלק מספר
קנה מידה: 1:1		מתקן קידוח בדסקה	

אין צורך להחזיר נספח זה

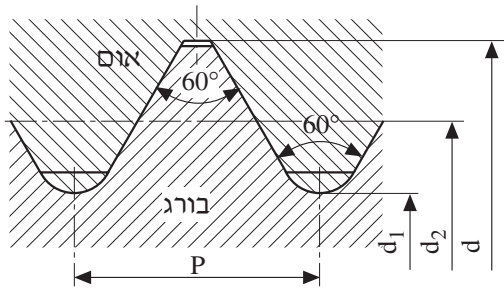
נספח ג': תבריגי הידוק מטריים חיצוניים (ת"י 665)

לשאלון 838202 , קיץ תשע"ו

الملحق "ج": قياسات لتسنيات تثبيت مترية خارجية (تاريخ إنتاج 665)

للمودج 838202، صيف 2016

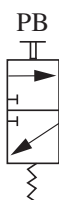
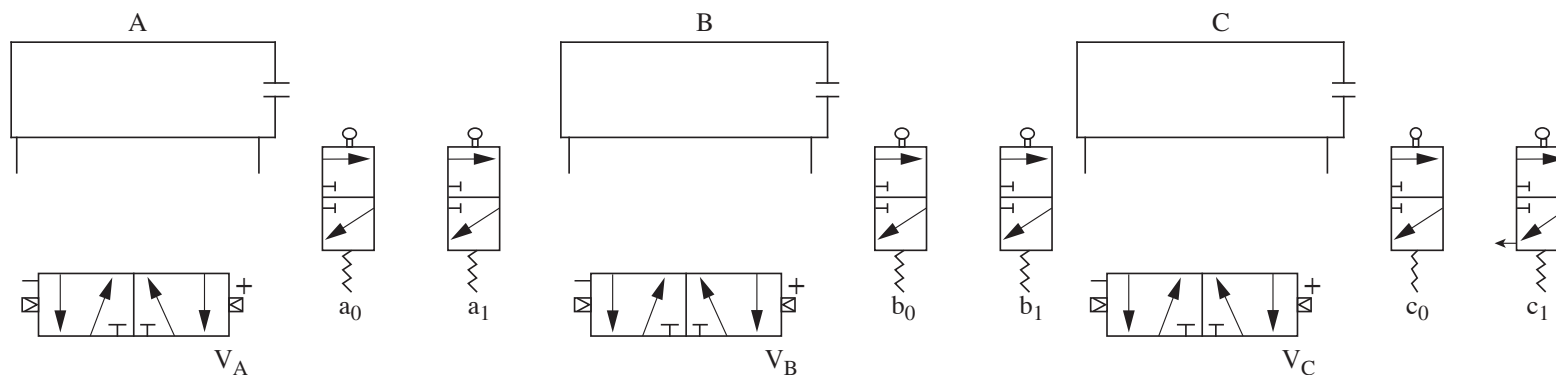
תבריגים רגילים					תבריגים עדינים			
קוטר חיצוני	פסיעה	שטח חתך למתיחה	קוטר פנימי	קוטר אפקטיבי	פסיעה	שטח חתך למתיחה	קוטר פנימי	קוטר אפקטיבי
d (mm)	p (mm)	A (mm ²)	d ₁ (mm)	d ₂ (mm)	p (mm)	A (mm ²)	d ₁ (mm)	d ₂ (mm)
2	0.4	1.79	1.509	1.740				
2.5	0.45	2.98	1.948	2.200				
3	0.5	4.47	2.387	2.675				
3.5	0.6	6.0	2.764	3.110				
4	0.7	7.75	3.141	3.545				
5	0.8	12.7	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	8.160	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	1,050	36.779	39.077	2	1,230	39.546	40.701
48	5	1,380	41.866	44.752	2	1,630	45.456	46.701
56	5.5	1,910	49.252	52.428	2	2,250	53.516	54.701
64	6	2,520	56.639	60.639	2	2,980	61.546	62.701



الملحق "د" (للسؤال 9)
للمودج 838202، صيف 2016

נספח ד' (לשאלה 9)
לשאלון 838202, קיץ תשע"ו

מקום ללصقة המمتחן



I

II



מדינת ישראל

משרד החינוך

סוג הבחינה: בגרות לבתי-ספר על-יסודיים
מועד הבחינה: קיץ תשע"ו, 2016
סמל השאלון: 838202

دولة إسرائيل

وزارة التربية

نوع الامتحان: بچروت للمدارس الثانوية
موعد الامتحان: صيف 2016
رقم النموذج: 838202

אין להעביר את הנוסחאון
לנבחן אחר

يمنع نقل ورقة القوانين هذه
إلى أيِّ مُتَحَنٍ آخر.

נוסחאון במכניקה הנדסית (14 עמודים)

1. מתיחה – לחיצה

σ_y	–	מאמץ גבול הכניעה	[MPa]
S	–	מקדם בטיחות	
$[\sigma_t]$	–	מאמץ מותר	[MPa]
σ_t	–	מאמץ	[MPa]
F	–	כוח	[N]
A	–	שטח החתך למתיחה	[mm ²]
L	–	אורך החלק הנתון למאמץ	[mm]
ΔL	–	התארכות החלק הנתון למאמץ	[mm]
E	–	מודול אלסטיות	[MPa]
$[\sigma_t] = \frac{\sigma_y}{S}$ $\sigma_t = \frac{F}{A} \leq [\sigma_t]$ $\sigma_t = \varepsilon E$ $\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$ $\Delta L = \frac{FL}{EA}$			

2. גזירה ומעיכה

A	–	השטח לגזירה	[mm ²]
τ_s	–	מאמץ הגזירה	[MPa]
F	–	כוח הגזירה	[N]
i	–	מספר השכבות	
t	–	עובי הגזירה	[mm]
L	–	אורך החיתוך (היקף)	[mm]
$A_{\ell c}$	–	השטח למעיכה	[mm]
ℓ	–	אורך השטח למעיכה	[mm]
$\sigma_{\ell c}$	–	מאמץ מעיכה	[MPa]
$\tau_s = \frac{F}{A} \leq [\tau_s]$ $[\tau_s] = 0.6 [\sigma_t]$ גזירה רצויה: $A = i t L$ מעיקה: $\sigma_{\ell c} = \frac{F}{A_{\ell c}} \leq [\sigma_{\ell c}]$ $[\sigma_{\ell c}] = 2 [\sigma_t]$			

3. פיתול ותנועה סיבובית

v	-	מהירות היקפית של מעגל
[m/sec]		מסתובב
F	-	כוח
[N]		
M	-	מומנט סיבוב
[Nmm]		
L	-	זרוע הסיבוב
[mm]		
τ	-	מאמץ הפיתול בחתך המפותל
[MPa]		
$[\tau]$	-	מאמץ הפיתול המותר
[MPa]		
M_t	-	מומנט הפיתול
[Nmm]		
Z_o	-	מומנט התנגדות (מודול חתך) קוטבי
[mm ³]		
I_o	-	מומנט התמד קוטבי
[mm ⁴]		
d	-	קוטר ; קוטר פנימי
[mm]		
P	-	הספק
[kW]		
n	-	מהירות סיבוב
[RPM]		
D	-	קוטר חיצוני
[mm]		
φ	-	זווית פיתול
[deg]		
G	-	מודול זיחה
[MPa]		

$$v \cong \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60 \times 1000}$$

$$M = L \times F$$

$$\tau_t = \frac{M_t}{Z_o} \leq [\tau_t]$$

לחתך עגול מלא:

$$Z_o \cong 0.2 d^3$$

$$M_t = 9,550,000 \frac{P}{n}$$

$$I_o \cong 0.1 d^4$$

לחתך עגול חלול:

$$Z_o \cong \frac{0.2 (D^4 - d^4)}{D}$$

$$\varphi = \frac{M_t \cdot L}{G \cdot I_o} \frac{180}{\pi}$$

$$[\tau_t] = 0.7 [\sigma_t]$$

4. כפיפה

σ_b	-	מאמץ כפיפה, ביחס לציר x
[MPa]		
M_b	-	מומנט כפיפה
[Nmm]		
Z_x	-	מומנט התנגדות (מודול החתך)
[mm ³]		
d	-	קוטר
[mm]		
b	-	רוחב החתך
[mm]		
h	-	גובה החתך
[mm]		
F	-	כוח
[N]		
L	-	זרוע
[mm]		

$$\sigma_b = \frac{M_b}{Z_x} \leq [\sigma_b]$$

$$M_x = L \times F$$

לחתך מלבני:

$$Z_x = \frac{bh^2}{6}$$

לחתך עגול מלא:

$$Z_x = \frac{\pi d^3}{32} \cong 0.1 d^3$$

$$[\sigma_b] = 1.2 [\sigma_t]$$

d	-	קוטר	[mm]
b	-	הממד המקביל למישור הניטרלי	[mm]
h	-	הממד הניצב למישור הניטרלי	[mm]

מומנטי התמד (אינרציה) ציריים
לחתך עגול:

$$I = \frac{\pi d^4}{64} = 0.05 d^4$$

לחתך מלבני:

$$I_{xx} = \frac{bh^3}{12}$$

5. קריסה

F_{cr}	-	הכוח המינימלי שיגרום לקריסה, לפי שיטת אוילר	[N]
E	-	מודול האלסטיות של החומר	[MPa]
I_{min}	-	מומנט ההתמד הצירי המינימלי של חתך המוט	[mm ⁴]
L	-	אורך המוט	[mm]
μ	-	מקדם האורך התלוי בשיטת הריתום של המוט:	

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 EI_{min}}{(\mu L)^2}$$

$$\lambda = \frac{\mu L}{i_{min}} > \lambda_y$$

$$i_{min} = \sqrt{\frac{I_{min}}{A}}$$

$$[F]_p = \frac{F_{cr}}{K}$$

א. פרקים בשני הקצוות: $\mu = 1$

ב. קיבוע בקצה אחד והקצה השני חופשי: $\mu = 2$

ג. קיבוע בשני הקצוות: $\mu = 1/2$

ד. קיבוע בקצה אחד ופרק בקצה השני: $\mu = 2/3$

λ	-	תמירות המוט	
i_{min}	-	רדיוס ההתמד (אינרציה) המינימלי	[mm]
A	-	שטח החתך	[mm ²]
$[F]_p$	-	הכוח המותר בקריסה	[N]
K	-	מקדם הבטיחות בקריסה	

$$\lambda_y = 100 - \text{פלדה דלת-פחמן}$$

$$\lambda_y = 80 - \text{פלדת פחמן}$$

$$\lambda_y < \lambda_{קיים}, \text{ כאשר:}$$

נדרש להשתמש בנוסחה:

$$\sigma_{cr} = a - b\lambda$$

$$a = 310 \text{ MPa} \text{ פלדה דלת-פחמן:}$$

$$b = 1.14 \text{ MPa}$$

$$a = 589 \text{ MPa} \text{ פלדת פחמן:}$$

$$b = 3.82 \text{ MPa}$$

6. מסמרות ; פינים

$$\tau = \frac{F}{A_s} = \frac{4F}{\pi d^2 \cdot n \cdot i}$$

$$\sigma_{lc} = \frac{F}{A_{lc}} = \frac{F}{d \cdot t \cdot i_1}$$

$$[\sigma_{lc}] = 2[\sigma_t]$$

d - קוטר המסמרה/הפין (mm)

i - מספר שטחי הגזירה

t - אורך הקטע הנמעך [mm]

i₁ - מספר שטחי המעיכה

n - מספר המסמרות/הפינים

A_s - השטח הנגזר [mm²]

A_{lc} - השטח הנמעך [mm²]

7. שגמים

מאמץ מעיכה:

$$\sigma_{lc \max.} = \frac{F}{0.5 h \times l_1}$$

מאמץ גזירה:

$$\tau_s = \frac{F_t}{b \times l_1} \leq [\tau_s]$$

$$[\tau_s] = 0.6[\sigma_t]$$

F - כוח [N]

h - גובה השגם [mm]

l₁ - אורך יעיל של השגם [mm]

b - רוחב השגם [mm]

8. מסבים

אורך חיים של מסבי גלגול:

למסב כדורים:

$$L = \left[\frac{C}{P} \right]^3$$

$$L_h = \frac{L \cdot 10^6}{n \cdot 60}$$

$$\frac{C}{P} = \sqrt[3]{L}$$

$$C = P \sqrt[3]{L}$$

$$C_o = \sim 1.8 P_o$$

$$P = \frac{C}{\sqrt[3]{L}}$$

למסב גלילים:

$$L = \left[\frac{C}{P} \right]^{10/3}$$

מסבי החלקה:

$$p = \frac{F}{d \cdot \ell}$$

$$v = \frac{\pi d n}{60,000}$$

$$pv \leq [pv]$$

L - אורך החיים של המסב

[mil · rev] במיליוני סיבובים

L_h - אורך החיים של מסב בשעות [h]

P_o - העומס הסטטי על המסב [N]

C_o - הכושר הסטטי של המסב [N]

C - הכושר הדינמי של המסב [N]

P - העומס השקול על המסב [N]

p - לחץ שטח במסב החלקה [MPa]

d - הקוטר הפנימי של מסב ההחלקה [mm]

ℓ - אורך מסב ההחלקה [mm]

F - הכוח הפועל על מסב ההחלקה [N]

n - מהירות סיבוב [RPM]

v - מהירות קווית [m/s]

[pv] - מכפלת התחממות מותרת $\left[\text{MPa} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$

9. קפיצים

$$C = \frac{F}{\Delta f}$$

לקפיץ בורגי בעל חתך עגול:

$$C = \frac{G \cdot d^4}{8 D^3 \cdot n}$$

$$\tau_{\max} = K \frac{8 F_{\max} D}{\pi d^3} \leq [\tau_t]$$

לקפיץ בורגי בעל חתך מלבני

או לקפיץ עלה הרתום בצד אחד:

$$\sigma_b = \frac{6 F \ell}{b \times t^2}$$

$$\Delta f = \frac{4 F \ell^3}{b \cdot t^3 E} = \frac{F \ell^3}{3 EI}$$

$$W = \frac{\Delta f}{2}$$

$$n = \frac{\Delta f \cdot G \cdot d^4}{8 F \cdot D^3}$$

לקפיץ מוט פיתול:

$$[\tau_t] = \frac{0.6 \sigma_y}{S}$$

$$M_{t\max} = [\tau_t] \cdot Z_o$$

$$\varphi_{\text{rad}} = \frac{M_t \cdot L}{G \cdot I_o}$$

$$W = U_{\text{el}} = \frac{M_t \cdot \varphi_{\text{rad}}}{2}$$

G - מודול האלסטיות לגזירה [MPa]

d - קוטר התיל [mm]

D - קוטר ממוצע של הקפיץ [mm]

K - מקדם תיקון המאמץ

n - מספר הכריכות הפעילות של הקפיץ

F - העומס החיצוני על הקפיץ [N]

Δf - מידת שקיעת הקפיץ [mm]

C - קבוע הקפיץ [N/mm]

ℓ - אורך הקפיץ (עלה) [mm]

b - רוחב הקפיץ (עלה) [mm]

t - עובי הקפיץ (עלה) [mm]

E - מודול האלסטיות [MPa]

I - מומנט התמד צירי של החתך [mm⁴]

W - עבודה [Nmm]

S - מקדם בטיחות

σ_b - מאמץ כפיפה [MPa]

σ_y - מאמץ גבול הכניעה [MPa]

$[\tau_t]$ - מאמץ מותר לפיתול [MPa]

$\tau_{e\max}$ - מאמץ שקול מרבי בחתך התיל [MPa]

Z_o - מודול החתך לפיתול (קוטבי)
(מומנט התנגדות לפיתול) [mm³]

U_{el} - אנרגייה אלסטית בקפיץ [Joule]

L - אורך המוט [mm]

M_t - מומנט פיתול [Nm]

I_o - מומנט התמד קוטבי [mm⁴]

φ_{rad} - זווית הפיתול [רדיאנים]

10. ברגים

σ_y	- מאמץ בגבול הכניעה	[MPa]	$\tan \gamma = \frac{iP}{\pi d_2}$
$[\sigma_t]$	- מאמץ מותר למתיחה	[MPa]	
σ_e	- מאמץ שקול בבורג	[MPa]	$\tan \varphi = \mu$
Q	- כוח צירי בבורג	[N]	
A_i	- שטח החתך של הבורג	[mm ²]	בורגי הידוק:
S	- מקדם בטיחות		$\sigma_e \cong \frac{1.25 Q}{A_i} \leq [\sigma_t] = \frac{\sigma_y}{S}$
M_t	- מומנט סיבוב, מועבר על-ידי בורג	[Nmm]	$M_t = Q \cdot \tan(\gamma \pm \varphi) \frac{d_2}{2}$
γ	- זווית המעלה	[deg]	$M_t = 0.2 \cdot Q \cdot d$
φ	- זווית חיכוך	[deg]	
μ	- מקדם חיכוך		
d_2	- קוטר ממוצע של הבורג	[mm]	בתברג ריבועי:
P	- פסיעת התברג	[mm]	$d_2 = d - \frac{P}{2} = d - h$
d	- הקוטר החיצוני של הבורג	[mm]	
h	- גובה השן של התברג	[mm]	בורגי הנעה:
i	- מספר התחלות בתברג		$M_t = 0.1 \times Q \times d$

11. מצמידים

$$F_f = \mu Q$$

F_f - כוח חיכוך כתוצאה מהידוק

[MPa] בורג אחד במצמד

μ - מקדם חיכוך

M_f - מומנט כתוצאה מכוחות החיכוך [Nm]

i - מספר הברגים

D_f - קוטר מעגל החלוקה שעליו

[mm] הברגים ממוקמים

M_t - מומנט הסיבוב המועבר

[Nm] בתנועה סיבובית

P - הספק [kW]

n - מהירות סיבוב [RPM]

Q - כוח צירי בבורג [N]

$$M_f = i \cdot F_f \cdot \frac{D_f}{2}$$

$$M_t = 9550 \frac{P}{n}$$

12. גלים

M_e - מומנט מורכב [Nm]

M_b - מומנט כפיפה [Nm]

M_t - מומנט פיתול [Nm]

σ_e - מאמץ מורכב [MPa]

Z_b - מומנט התנגדות

[mm³] (מודול החתך) לכפיפה

$$M_e = \sqrt{M_b^2 + M_t^2}$$

$$\sigma_e = \frac{M_e}{Z_b} \leq [\sigma_t]$$

13. גלגלי שיניים

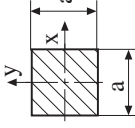
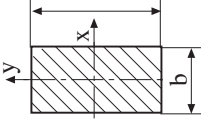
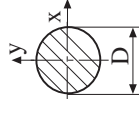
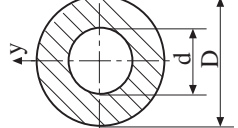
	- i	יחס התמסורת		$i = \frac{z_1}{z_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{D_1}{D_2}$
[RPM]	- n, n ₁ , n ₂	מהירות סיבוב של גלגל		
	- z, z ₁ , z ₂	מספר השיניים בגלגל		
[mm]	- m	מודול השן		$D = m \cdot z = \frac{1}{\pi} z$
[mm]	- D	קוטר מעגל החלוקה		$D_e = m (z + 2)$
[mm]	- D _i	קוטר מעגל העיקרים		$D_i = m (z - 2.4)$
[mm]	- D _e	קוטר מעגל הראשים		
[mm]	- D ₁ , D ₂	קוטר הגלגל		
	- λ	מקדם רוחב הגלגל		$A_1 = \frac{m (z_1 + z_2)}{2}$
[mm]	- b	רוחב הגלגל		
[mm]	- A	המרחק בין צירי הגלגלים		$\lambda = \frac{b}{m}$
[mm]	- h	גובה השן		
[mm]	- t	פסיעת הגלגל (השיניים)		$h = h_1 + h_2$
[mm]	- h ₁	גובה ראש השן		$h_1 = m$
[mm]	- h ₂	גובה עיקר השן		$h_2 = 1.2 m$
	- f	מקדם עומס־יתר		$m = 490 \sqrt[3]{\frac{P \cdot f \cdot q}{n \cdot z \cdot \lambda \cdot [\sigma]}}$
	- q	מקדם מספר השיניים		
[MPa]	- [σ]	מאמץ מותר לכפיפה		$P = \left(\frac{m}{490} \right)^3 \frac{n \cdot z \cdot \lambda \cdot [\sigma]}{f \cdot q}$
[N]	- F _t	כוח היקפי לגלגל שיניים		$M_t = 9,550 \frac{P}{n}$
[N]	- F	כוח שילוב בין גלגלי השיניים		
[deg]	- α	זווית הלחץ		$F_t = F \cos \alpha = \frac{2 M_t}{m \cdot z}$
	- z _{min}	מספר שיניים מינימלי (שן תקנית)		
[kW]	- P	הספק מועבר על־ידי הגלגלים		$z_{min} = \frac{2}{\sin^2 \alpha}$
[Nm]	- M _t	מומנט מועבר		

בגל כוכב:

k	- מספר השיניים בגל כוכב	$M_e = \frac{M_T}{k}$
M_e	- המומנט לשן בגל כוכב	$F = M_e \frac{2}{d_m}$
d_m	- קוטר ביניים בגל כוכב	$d_m = \frac{d_1 + d_2}{2}$
d_1	- קוטר פנימי בגל כוכב	$A = \frac{d_2 - d_1}{2} \cdot L$
d_2	- קוטר חיצוני בגל כוכב	
A	- שטח השן הנמעת	
L	- אורך השן הנמעת	

14. רצועות

F_t	- כוח היקפי (משיקי)	$i = \frac{n_2}{n_1} = \frac{D_1}{D_2}$
P	- הספק נמסר	$F = \frac{1000 P}{v}$
P_E	- הספק אפקטיבי	$S_1 = k_e \cdot F_t$
v	- מהירות קווית של הרצועה	$S_2 = S_1 - F_t$
S_1	- כוח מתיחה בענף הפעיל	$M_t = (S_1 - S_2) \frac{D}{2}$
S_2	- כוח מתיחה בענף הסביל	$P_E = k_d \cdot P \cdot h$
k_e	- מקדם כוח מתיחה	
d	- קוטר הגלגל המניע	$L = 1.57 (D_0 + d_0) + 2 A + \frac{(D_0 - d_0)^2}{4 A}$
D_1, D_2, D_3	- קוטר גלגל בממסרת	$v = \frac{\pi D_1 n_1}{60 \times 1000}$
M_t	- המומנט הנמסר	
η	- נצילות	
n_1, n_2	- מהירות סיבובית של גלגל	
i	- יחס התמסורת בין גלגלי הרצועה	
k_d	- מקדם תנאי העבודה	
L	- אורך הרצועה	
d_0	- קוטר חיצוני בגלגל הקטן	
A	- מרחק בין מרכזי הגלגלים	
D_0	- קוטר חיצוני בגלגל הגדול	

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

נוסחאות בבקרה

1. הגבר סטטי:

$$K = \frac{\Delta\Theta_o}{\Delta\Theta_i} = \left[\frac{\text{שינוי בתגובה}}{\text{שינוי במאלץ}} \right]$$

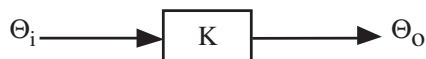
2. תמסורת של מלבן בודד:

Θ_o - אות מוצא (תגובה)

Θ_i - אות מבוא (אילוץ)

G - פונקציית תמסורת

$$\frac{\Theta_o}{\Theta_i} = G$$



3. תמסורת של שני מלבנים בטור:

$$\frac{\Theta_o}{\Theta_i} = G_1 G_2$$

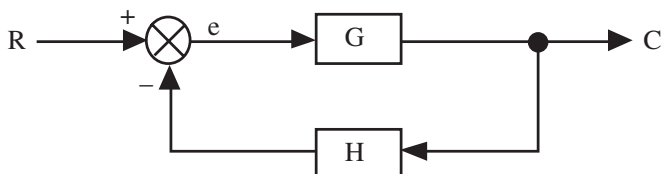


4. תמסורת, T , בחוג סגור (עם משוב H):

R - ערך רצוי

C - ערך מצוי

$$T = \frac{C}{R} = \frac{G}{1+GH}$$



נוסחאות בהידרוליקה

5. ספיקת זורם דרך שטח A:

$$Q = v \cdot A$$

v - מהירות הזורם $\left[\frac{m}{sec} \right]$

A - שטח $[m^2]$

Q - ספיקה $\left[\frac{m^3}{sec} \right]$

6. לחץ:

$$P = \frac{F}{A}$$

F - כוח $[N]$

P - לחץ $[Pa]$

$$[Pa] = \left[\frac{N}{m^2} \right] = 10^{-5} \text{ bar} = 9.869 \times 10^{-6} \text{ atm}$$

7. הספק הידרולי:

$$N = Q \cdot P$$

8. הספק של משאבה:

$$N = \frac{Q \cdot \Delta P}{\eta}$$

N - הספק מכני המסופק למשאבה $[W]$

Q - ספיקה דרך משאבה $\left[\frac{m^3}{sec} \right]$

ΔP - הפרש לחץ על-פני משאבה $\left[\frac{N}{m^2} \right]$

η - נצילות משאבה

9. ספיקת משאבה:

$$Q = n \cdot C$$

n - קצב (מהירות) סיבוב $\left[\frac{\text{rev}}{\text{sec}} \right]$

C - הדחק משאבה $\left[\frac{\text{m}^3}{\text{rev}} \right]$

10. הספק מכני:

$$N_{\text{mech}} = F \cdot v$$

N_{mech} - הספק מכני [W]

F - כוח הפועל על גוף נע [N]

v - מהירות הגוף הנע $\left[\frac{\text{m}}{\text{sec}} \right]$

בהצלחה!