

סוג הבחינה: בגרות לבתי-ספר על-יסודיים

מועד הבחינה: קיץ תשע"ח, 2018

סמל השאלון: 838202

- נספחים: א. דף תשובות לפרק ראשון.
ב. לשאלה 1 – מהדק צד
ג. לשאלה 2 – טבלה למציאת מרכז כובד
ד. לשאלה 3 – לוח פרופילי
ה. לשאלה 5 – מסבי כדורים רדיאליים
ו. לשאלה 7 – טבלת אמת ומפת קרנו
ז. לשאלה 9
נוסחאון

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 7-9)

עליך לענות על חמש שאלות: שאלה 1 (חובה), שאלה אחת מפרק שני, שאלה אחת מפרק שלישי 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:

- עיין בשאלון, הכר את חלקיו, ורק אז ענה על השאלות בסדר הנראה לך.
- 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.
- 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.
- 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' (שאלת חובה), ואת הנספחים ג', ו' ו-ז' (אם ענה על שאלות 2, 7 או 9, בהתאמה) אל מחברת הבחינה שלו.

בשאלון זה 11 עמודים ו-21 עמודי נספחים.

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

השאלות

בשאלון זה שלושה פרקים. בפרק הראשון – עליך לענות על שאלה 1 – שאלת חובה. בפרקים השני והשלישי – עליך לענות על שאלה אחת מכל פרק, ועל שתי שאלות נוספות לפי בחירתך. בסך הכול עליך לענות על חמש שאלות (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 "מהדק צד" המיועד להידוק עוגד בכרסומת ונתונה רשימת החלקים שלו. כמו כן נתון תיאור איזומטרי של המהדק.

א. לחי ההידוק (חלק מס' 2) מחוברת לתושבת (חלק מס' 1) באמצעות:

1. בורג-ראש ריבועי (חלק מס' 6)
2. בורג אלן (חלק מס' 5)
3. פין (חלק מס' 3)
4. חיבור מרותך

ב. צורת החתך של המפתח להידוק בורג אלן (חלק מס' 5) היא:

1. ריבוע
2. משושה
3. מחומש
4. מתומן

ג. המידה המסומנת באות A בסרטוט ההרכבה, מציינת את:

1. הקוטר האפקטיבי של תבריג הבורג
2. הקוטר האפקטיבי של תבריג האום
3. הקוטר הפנימי של תבריג הבורג
4. הקוטר הגדול של תבריג האום

ד. לאיזה מאמץ נתון קצה בורג הראש הריבועי (חלק מס' 6) בשטח המגע עם לחי ההידוק (חלק מס' 2) בעת הידוק הבורג?

1. מאמץ מעיכה
2. מאמץ פיתול
3. מאמץ מתיחה
4. מאמץ גזירה

ה. מהו אורך הקנה של בורג הראש הריבועי (חלק מס' 6)?

1. 30 מ"מ
2. 25 מ"מ
3. 12 מ"מ
4. 8 מ"מ

ו. באיזה סוג אפיצות בין הפין (חלק מס' 3) לבין לחי ההידוק (חלק מס' 2) לא נשתמש, אם נדרש לאפשר תנועה ביניהם?

1. אפיצות מעבר
2. אפיצות מירוח
3. אפיצות חופש
4. אפיצות לחץ

ז. איזה טיפול תרמי יש לבצע ללחי ההידוק (חלק מס' 2) כדי למנוע את מעיכתה בעת הידוק העובד?

1. חיסום
2. ריפוי
3. צימנוט
4. הרפיה

ח. בנספח א' נתון סרטוט של אום ה-T (חלק מס' 4).

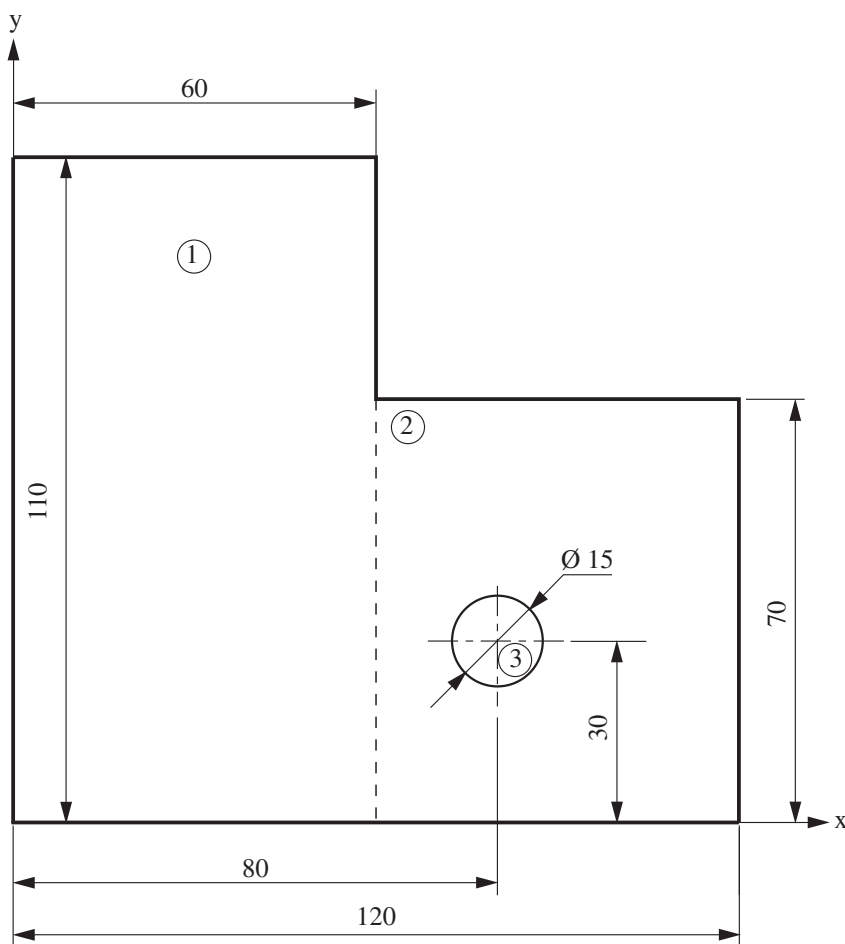
1. הוסף לסרטוט את מידת התברג, כולל הערך המספרי שלה.
2. הוסף לסרטוט קווי מידה (ללא ערכים מספריים) של המידות המגדירות את אום ה-T (חלק מס' 4).

הדבק את מזבקת הנבחן שלך במקום המיועד לכך בנספח א', וצרף את הנספח למחברתך.

פרק שני: חוזק חומרים ופרקי מכונות

שאלה 2

באיור לשאלה 2 מתואר לוח במערכת צירים $x - y$ (ללא קנ"מ). הלוח עשוי פח בעל עובי אחיד. מידות הלוח נתונות באיור במ"מ. השלם בטבלה שבנספח ג' את הערכים החסרים וחשב את הקואורדינטות של מרכז הכובד של הלוח ביחס למערכת הצירים. (היעזר בחלוקת הלוח לשטחים ①, ②, ו-③ ובנוסחאות שבנספח).

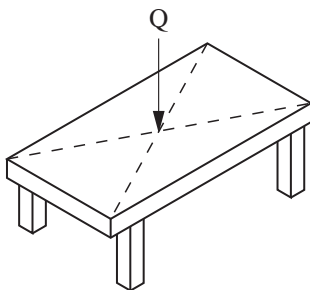


איור לשאלה 2

הדבק את מדבקת הנבחן שלך במקום המיועד לכך בנספח ג', וצרף את הנספח למחברתך.

שאלה 3

באיור לשאלה 3 מתואר שולחן עבודה הבנוי מלוח וארבע רגליים זהות. כל אחת מרגלי השולחן עשויה מזוויתן שווה-שוקיים $L \times 40 \times 5$. השולחן מיועד לשאת חלקים כבדים. הכוח השקול שפועל בניצב ללוח במרכזו הגאומטרי הוא $Q = 200 \text{ kN}$. מאמץ הכניעה של החומר שממנו עשויה כל אחת מרגלי השולחן הוא $s_y = 270 \text{ MPa}$.

**איור לשאלה 3**

- א.** חשב את הכוח הפועל על רגל אחת של השולחן.
- ב.** היעזר בנספח ד' ורשום את שטח החתך של הרגל בממ"ר. (המידות בנספח נתונות בסמ"ר.)
- ג.** חשב את מאמץ הלחיצה הנוצר בכל אחת מרגלי השולחן.
- ד.** חשב את מקדם הבטיחות ששימש לתכנון הרגל של השולחן, בהנחה שמאמץ הלחיצה בכל רגל הוא המאמץ המותר של החומר שממנו היא עשויה.

שאלה 4

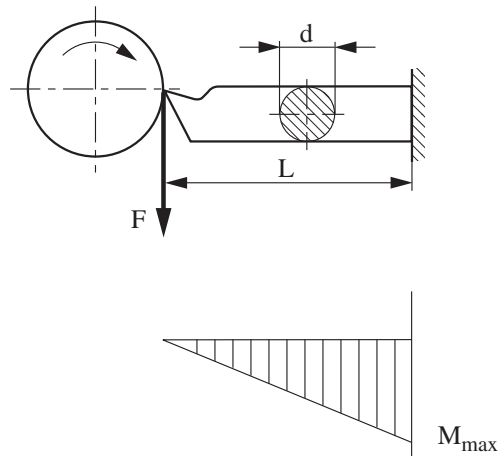
באיור לשאלה 4 מתוארת סכין חריטה בעלת חתך עגול. הסכין נתונה לכפיפה כתוצאה מפעולת החריטה. מתחת לתיאור הסכין נתון מהלך מומנטי הכפיפה לאורך הסכין.

– האורך של סכין החריטה: $L = 80 \text{ mm}$

– מומנט הכפיפה המרבי בסכין: $M_{\max} = 2 \times 10^5 \text{ N mm}$

א. חשב את ערכו של הכוח F הפועל על סכין החריטה.

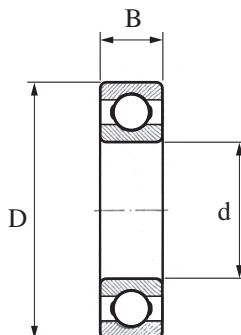
ב. חשב את הקוטר המזערי הדרוש, d , של חתך הסכין, אם נתון שהמאמץ המותר בחומר הסכין הוא $[\sigma] = 200 \text{ MPa}$.



איור לשאלה 4

שאלה 5

באיור לשאלה 5 מתואר מסב כדורים רדיאלי שסימונו 6208 .



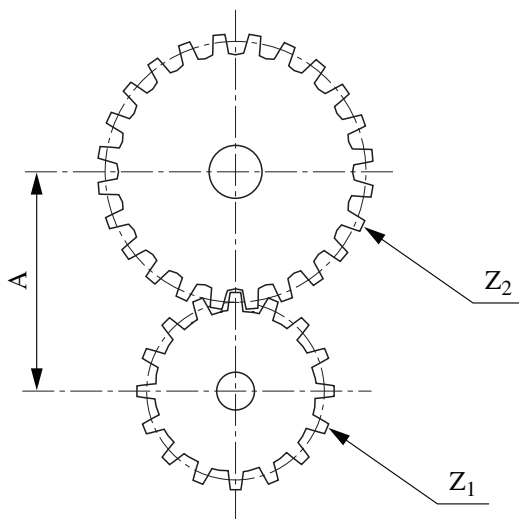
איור לשאלה 5

- א. היעזר בנספח ה' ורשום במחברתך את ערכי המידות D , d ו- B של המסב.
- ב. היעזר בנספח ה' ורשום במחברתך את ערך העומס הסטטי, C_0 , ואת ערך העומס הדינמי, C , המתאימים למסב זה.
- ג. 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 $n = 1,500 \text{ rpm}$.

שאלה 6

באיור לשאלה 6 מתוארת ממסרת של גלגלי שיניים בעלי שיניים ישרות. הממסרה מעבירה הספק של $P = 4 \text{ kW}$. מהירות הסיבוב של גלגל השיניים המניע, Z_1 , היא $n_1 = 500 \text{ rpm}$.

הערה: האיור הינו סכמתי בלבד, ואין להסיק ממנו באשר למספר השיניים בכל גלגל.



איור לשאלה 6

נתונים:

מודול השן בגלגלי השיניים: $m = 4 \text{ mm}$

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

מספר השיניים בגלגל המניע: $Z_1 = 20$

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

א. חשב את הרוחב של גלגלי השיניים.

ב. חשב את מספר השיניים, Z_2 , בגלגל המונע.

ג. חשב את יחס התמסורת בממסרה.

ד. חשב את המומנט המועבר בממסרה.

פרק שלישי: פרקי הנדסה ומדע**שאלה 7**

בבית מלאכה פועלות המכונות החשמליות האלה: מסור (A), מקדחה (B), כרסומת (C) ומחרטה (D).
להלן צריכת הזרם של כל אחת מן המכונות:

מסור – 5 אמפר

מקדחה – 10 אמפר

כרסומת – 15 אמפר

מחרטה – 20 אמפר

כאשר צריכת הזרם בבית המלאכה עולה על 26 אמפר מופעלת נורית אזהרה (E).

$$E = f(A, B, C, D)$$

נסמן את המשתנים הלוגיים:

$A = 1$: מסור פועל

$B = 1$: מקדחה פועלת

$C = 1$: כרסומת פועלת

$D = 1$: מחרטה פועלת

$E = 1$: נורית אזהרה מופעלת

א. ציין בטבלת האמת שבנספח ו', "1" לוגי עבור כל המצבים שבהם נורית האזהרה מופעלת.

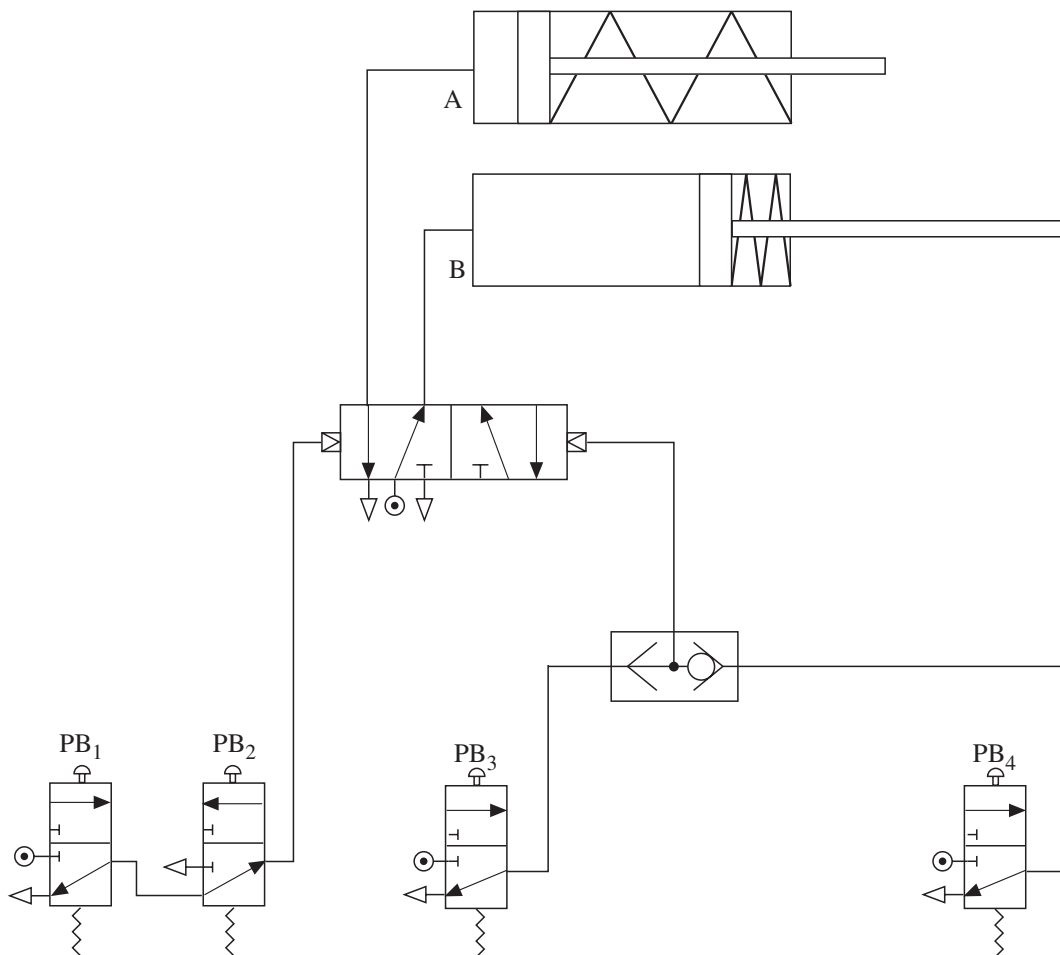
ב. השלם את מפת קרנו שבנספח ו' והצג בה את הקבוצות לצמצום מרבי של הפונקצייה E.

ג. רשום במחברתך את הפונקצייה E המצומצמת ביותר, המתקבלת על-פי תשובתך בסעיף ב'.

הדבק את מדבקת הנבחן שלך במקום המיועד לכך בנספח ו', והדק אותו למחברתך.

שאלה 8

באיור לשאלה זו מתוארת מערכת פנימטית להפעלת הבוכנות A ו-B.



איור לשאלה 8

כל אחד מן ההיגדים א-ה מתייחס לפעולה המבוצעת במערכת, במצב ההתחלתי שלה, המתואר באיור. רשום במחברתך **נכון או לא נכון** לגבי כל אחד מן ההיגדים, ונמק את תשובתך. (הערה: אין צורך להעתיק את ההיגדים למחברת. רשום את הסעיף בלבד).

א. כאשר שתי הבוכנות **אינן** נעות, האחת תהיה תמיד בחוץ, והשנייה – בפנים.

ב. לחיצה על השסתום PB₁ בלבד תגרום ליציאת הבוכנה A ולכניסת הבוכנה B.

ג. לחיצה על השסתום PB₃ בלבד תגרום ליציאת הבוכנה A ולכניסת הבוכנה B.

ד. לחיצה על השסתום PB₄ בלבד תגרום ליציאת הבוכנה A ולכניסת הבוכנה B.

ה. לחיצה על שני השסתומים PB₃ ו-PB₄ בו בזמן תגרום ליציאת הבוכנה A ולכניסת הבוכנה B.

שאלה 9

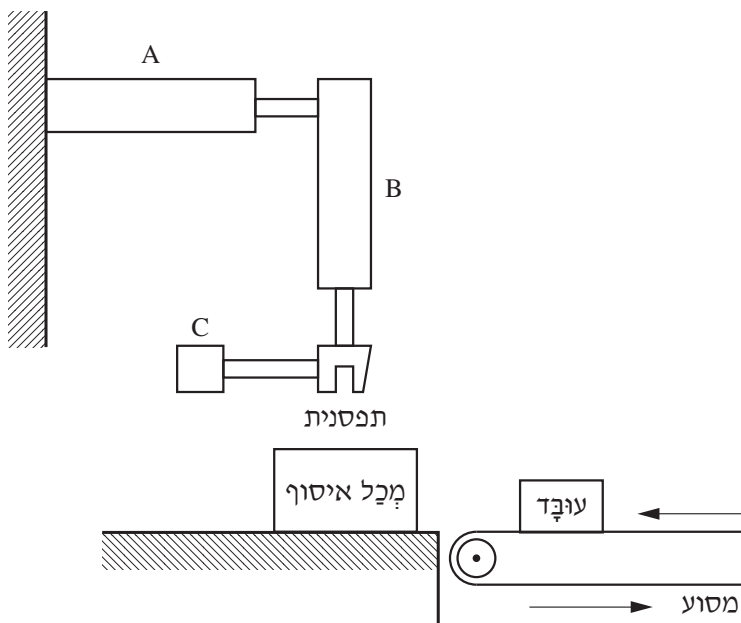
באיור לשאלה 9 מתוארת מערכת פנימטית הכוללת שלוש בוכנות. תפקיד המערכת הוא להרים עובד הנמצא על מסוע ולהעבירו לתוך מכל איסוף.

הבוכנה A מניעה את התפסנית ימינה ושמאלה.

הבוכנה B מניעה את התפסנית מעלה-מטה.

הבוכנה C פותחת את התפסנית (C-) וסוגרת אותה (C+).

התפסנית פתוחה בתחילת המחזור.



איור לשאלה 9

א. רשום במחברתך את מחזור הפעולות של שלוש הבוכנות הפנימטיות שבמערכת, וסרטט דיאגרמת חצים המתארת את מחזור הפעולות הזה.

ב. סרטט בנספח ז' את מערך הפיקוד של מחזור הפעולות, בשיטת הקסקדה.

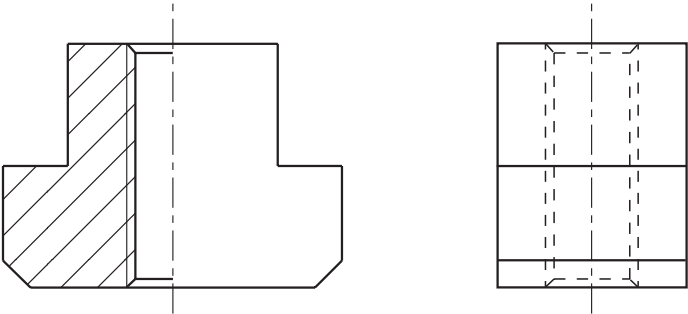
הדבק את מדבקת הנבחן שלך במקום המיועד לכך בנספח ז', והדק אותו למחברתך.

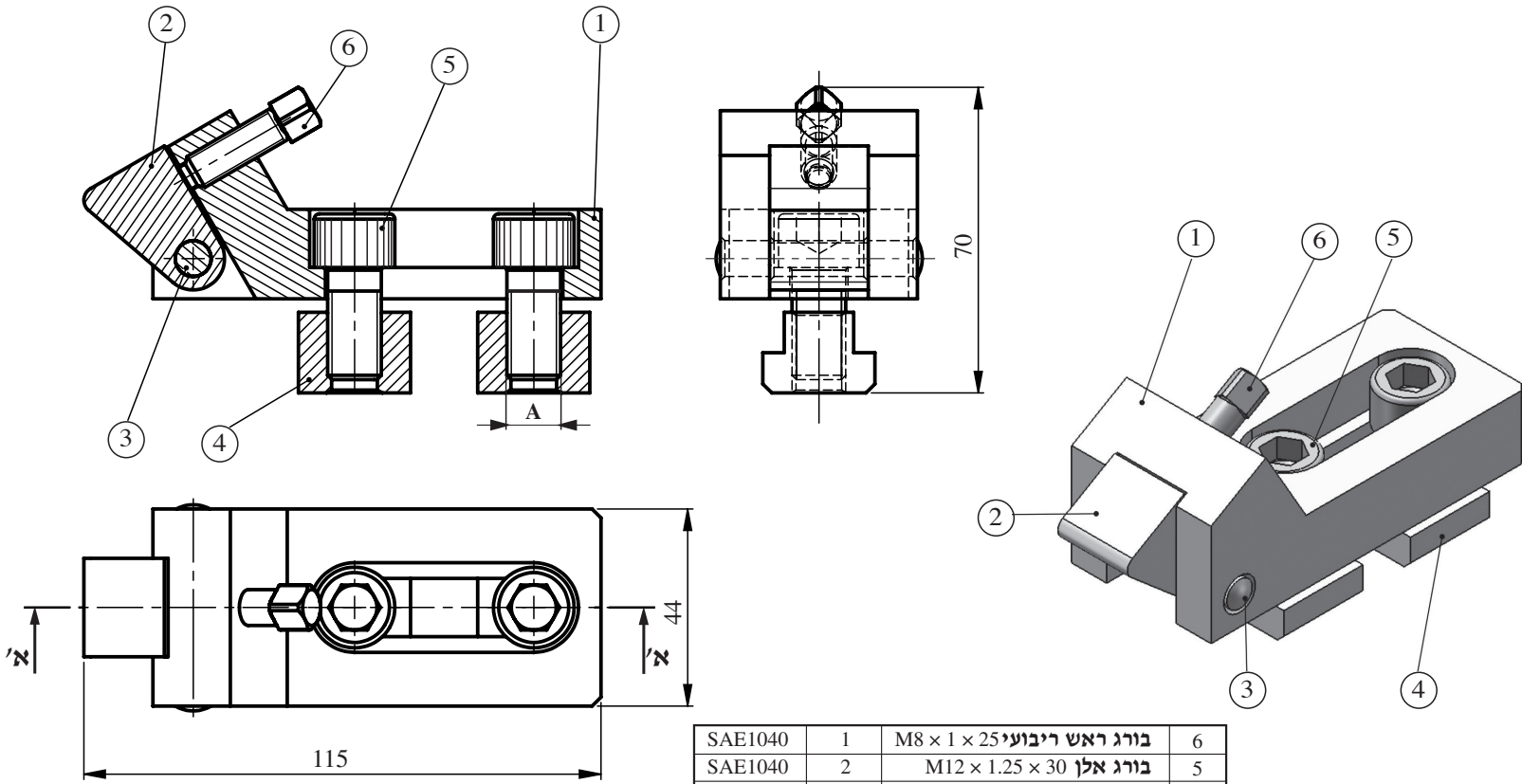
בהצלחה!

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'				





SAE1040	1	בורג ראש ריבועי $M8 \times 1 \times 25$	6
SAE1040	2	בורג אלן $M12 \times 1.25 \times 30$	5
SAE1040	2	אום T	4
SAE1080	1	פין	3
SAE1060	1	לחי הידוק	2
SAE1060	1	תושבת	1
חומר	כמות	שם החלק	חלק מס'
ללא קנ"מ		מהדק צד	

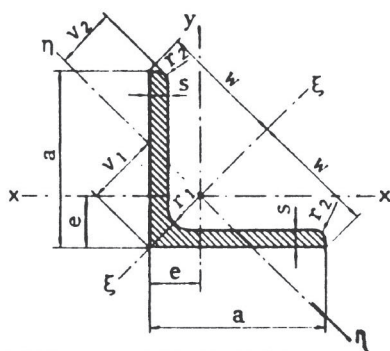
חלק	x_i [mm]	y_i [mm]	A_i [mm ²]	$x_i A_i$ [mm ³]	$y_i A_i$ [mm ³]
①					
②					
③					
Σ					

$$x_c = \frac{\sum A_i x_i}{\sum A_i}$$

$$y_c = \frac{\sum A_i y_i}{\sum A_i}$$

נספח ד' (לשאלה 3) לוח פרופילי L

לשאלון 838202 , קיץ תשע"ח



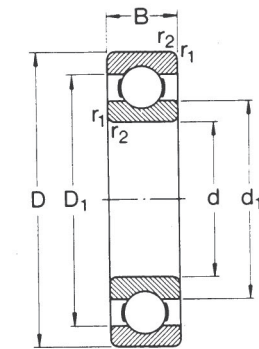
- A - שטח החדק
- G - משקל של מטר אחד
- I - מומנט ההתמד
- Z - מרחק החדק
- i - רדיוס ההתמד

תקן 1028 DIN, הוצאת 1970

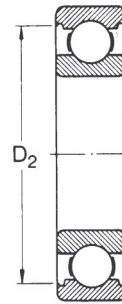
סימן L	המדות				A cm ²	G kg/m	המרחק לצירים				כלפי הצירים			סימן L
	a mm	s mm	r ₁ mm	r ₂ mm			e cm	w cm	v ₁ cm	v ₂ cm	x - x = y - y			
											I _x =I _y cm ⁴	Z _x =Z _y cm ³	i _x =i _y cm	
20x3 20x4	20	3 4	3.5	2	1.12 1.45	0.88 1.14	0.60 0.64	1.41	0.85 0.90	0.70 0.71	0.39 0.48	0.28 0.36	0.59 0.58	20x3 20x4
25x3 25x4 25x5	25	3 4 5	3.5	2	1.42 1.85 2.26	1.12 1.45 1.77	0.73 0.78 0.80	1.77	1.03 1.08 1.13	0.87 0.89 0.91	0.79 1.01 1.18	0.45 0.58 0.69	0.75 0.74 0.72	25x3 25x4 25x5
30x3 30x4 30x5	30	3 4 5	5	2.5	1.74 2.27 2.78	1.36 1.78 2.18	0.84 0.89 0.92	2.12	1.18 1.24 1.30	1.04 1.05 1.07	1.41 1.81 2.16	0.65 0.86 1.04	0.90 0.89 0.88	30x3 30x4 30x5
35x3 35x4 35x5 35x6	35	3 4 5 6	5	2.5	2.04 2.67 3.28 3.87	1.60 2.10 2.57 3.04	0.96 1.00 1.04 1.08	2.47	1.36 1.41 1.47 1.53	1.23 1.24 1.25 1.27	2.29 2.96 3.56 4.14	0.90 1.18 1.45 1.71	1.06 1.06 1.04 1.04	35x3 35x4 35x5 35x6
40x3 40x4 40x5 40x6	40	3 4 5 6	6	3	2.35 3.08 3.79 4.48	1.84 2.42 2.97 3.52	1.07 1.12 1.16 1.20	2.83	1.52 1.58 1.64 1.70	1.40 1.40 1.42 1.43	3.45 4.48 5.43 6.33	1.18 1.56 1.91 2.26	1.21 1.21 1.20 1.19	40x3 40x4 40x5 40x6
45x4 45x5 45x6 45x7	45	4 5 6 7	7	3.5	3.49 4.30 5.09 5.86	2.74 3.38 4.00 4.60	1.23 1.28 1.32 1.36	3.18	1.75 1.81 1.87 1.92	1.57 1.58 1.59 1.61	6.43 7.83 9.16 10.4	1.97 2.43 2.88 3.31	1.36 1.35 1.34 1.33	45x4 45x5 45x6 45x7

נספח ה' (לשאלה 5) מסבי כדורים רדיאליים

לשאלון 838202 , קיץ תשע"ח



With full outer ring shoulders

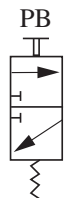
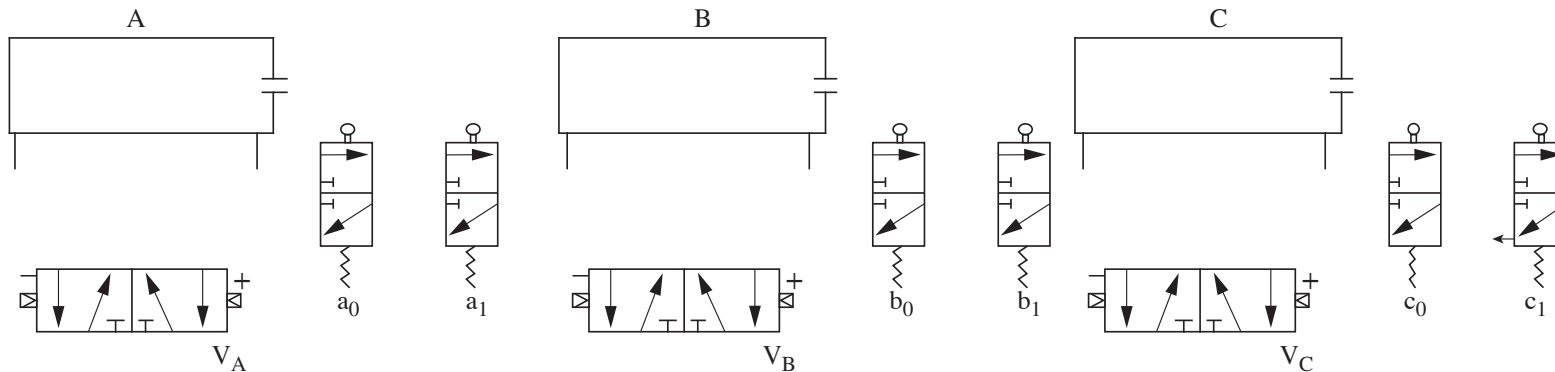


With recessed outer ring shoulders

Principal dimensions			Basic load ratings		Fatigue load limit P_u	Speed ratings		Mass	Designation
d	D	B	dynamic C	static 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
40	52	7	4 940	3 450	186	11 000	14 000	0,034	61808
	62	12	13 800	9 300	425	10 000	13 000	0,12	61908
	68	9	13 300	9 150	440	9 500	12 000	0,13	16008
	68	15	16 800	11 600	490	9 500	12 000	0,19	6008
	80	18	30 700	19 000	800	8 500	10 000	0,37	6208
	90	23	41 000	24 000	1 020	7 500	9 000	0,63	6308
	110	27	63 700	36 500	1 530	6 700	8 000	1,25	6408
45	58	7	6 050	4 300	228	9 500	12 000	0,040	61809
	68	12	14 000	9 800	465	9 000	11 000	0,14	61909
	75	10	15 600	10 800	520	9 000	11 000	0,17	16009
	75	16	20 800	14 600	640	9 000	11 000	0,25	6009
	85	19	33 200	21 600	915	7 500	9 000	0,41	6209
	100	25	52 700	31 500	1 340	6 700	8 000	0,83	6309
	120	29	76 100	45 000	1 900	6 000	7 000	1,55	6409
50	65	7	6 240	4 750	250	9 000	11 000	0,052	61810
	72	12	14 600	10 400	500	8 500	10 000	0,14	61910
	80	10	16 300	11 400	560	8 500	10 000	0,18	16010
	80	16	21 600	16 000	710	8 500	10 000	0,26	6010
	90	20	35 100	23 200	980	7 000	8 500	0,46	6210
	110	27	61 800	38 000	1 600	6 300	7 500	1,05	6310
	130	31	87 100	52 000	2 200	5 300	6 300	1,90	6410
55	72	9	8 320	6 200	325	8 500	10 000	0,083	61811
	80	13	15 900	11 400	560	8 000	9 500	0,19	61911
	90	11	19 500	14 000	695	7 500	9 000	0,26	16011
	90	18	28 100	21 200	900	7 500	9 000	0,39	6011
	100	21	43 600	29 000	1 250	6 300	7 500	0,61	6211
	120	29	71 500	45 000	1 900	5 600	6 700	1,35	6311
	140	33	99 500	62 000	2 600	5 000	6 000	2,30	6411

A	B	C	D	E
0	0	0	0	
0	0	0	1	
0	0	1	0	
0	0	1	1	
0	1	0	0	
0	1	0	1	
0	1	1	0	
0	1	1	1	
1	0	0	0	
1	0	0	1	
1	0	1	0	
1	0	1	1	
1	1	0	0	
1	1	0	1	
1	1	1	0	
1	1	1	1	

AB \ CD	00	01	11	10
00				
01				
11				
10				



I

II



يُمنع نقل ورقة القوانين هذه
إلى مُمتَحِنٍ آخر

אין להעביר את הנוסחאות
לנבחן אחר

נוסחאות במכניקה הנדסית (14 עמודים)

ورقة قوانين في الميكانيكا الهندسية (14 صفحة)

1. מתיחה – לחיצה

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

2. גזירה ומעיכה

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

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:

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

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

המשך בעמוד 3

التتمة في الصفحة 3

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:

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

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:	

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

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

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

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

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	

$\lambda_c = 100$ - פלדה דלת-פחמן

$\lambda_c = 80$ - פלדת פחמן

כאשר: $\lambda < \lambda_c$, קיים

נדרש להשתמש בנוסחה:

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

פלדה דלת-פחמן: $a = 310 \text{ MPa}$

$b = 1.14 \text{ MPa}$

פלדת פחמן: $a = 589 \text{ MPa}$

$b = 3.82 \text{ MPa}$

6. מסמרות ; פינים

$\tau = \frac{F}{A_s} = \frac{4F}{\pi d^2 \cdot n \cdot i}$	d - קוטר המסמרה/הפין	(mm)
$\sigma_{lc} = \frac{F}{A_{lc}} = \frac{F}{d \cdot t \cdot i_1} \leq [\sigma_{lc}]$	i - מספר שטחי הגזירה	
$[\sigma_{lc}] = 2[\sigma_t]$	t - אורך הקטע הנמעך	[mm]
	i ₁ - מספר שטחי המערכה	
	n - מספר המסמרות/הפינים	
	A _s - השטח הנגזר	[mm ²]
	A _{lc} - השטח הנמעך	[mm ²]

7. שגמים

מאמץ מערכה:	F - כוח	
$\sigma_{lc \max.} = \frac{F}{0.5 h \times \ell_1}$	h - גובה השגם	
מאמץ גזירה:	ℓ_1 - אורך יעיל של השגם	
$\tau_s = \frac{F_t}{b \times \ell_1} \leq [\tau_s]$	b - רוחב השגם	
$[\tau_s] = 0.6[\sigma_t]$		

8. מסבים

אורך חיים של מסבי גלגול:

למסב כדורים:

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

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

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

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

$$c_o \approx 1.8 p_o$$

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

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 [MPa · $\frac{m}{s}$]

9. קפיצים

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

לקפיץ בורגי בעל חתך עגול:

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

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

לקפיץ בורגי בעל חתך מלבני

או לקפיץ עלה הרתום בצד אחד:

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

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

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

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

לקפיץ מוט פיתול:

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

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

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

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

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]

$U_{e \ell}$ - אנרגיה אלסטית בקפיץ [Joule]

L - אורך המוט [mm]

M_t - מומנט פיתול [Nm]

I_o - מומנט התמד קוטבי [mm⁴]

φ_{rad} - זווית הפיתול [רדיאנים]

המשך בעמוד 7

التتمة في الصفحة 7

10. ברגים

$$\tan \gamma = \frac{iP}{\pi d_2}$$

$$\tan \varphi = \mu$$

בורגי הידוק:

$$\sigma_e = \frac{1.25 Q}{A_i} \leq [\sigma_t] = \frac{\sigma_y}{s}$$

$$M_t = Q \cdot \tan(\gamma \pm \varphi) \frac{d_2}{2}$$

$$M_t = 0.2 \cdot Q \cdot d$$

בתברג ריבועי:

$$d_2 = d - \frac{P}{2} = d - h$$

בורגי הנעה:

$$M_t = 0.1 \cdot Q \cdot d$$

σ_y - מאמץ בגבול הכניעה [MPa]

$[\sigma_t]$ - מאמץ מותר למתיחה [MPa]

σ_e - מאמץ שקול בבורג [MPa]

Q - כוח צירי בבורג [N]

A_i - שטח החתך של הבורג [mm²]

s - מקדם בטיחות

M_t - מומנט סיבוב, מועבר על-ידי בורג [Nmm]

γ - זווית המעלה [deg]

φ - זווית חיכוך [deg]

μ - מקדם חיכוך

d_2 - קוטר ממוצע של הבורג [mm]

P - פסיעת התברג [mm]

d - הקוטר החיצוני של הבורג [mm]

h - גובה השן של התברג [mm]

i - מספר התחלות בתברג

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 [Nm]

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

$$i = \frac{z_1}{z_2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{D_1}{D_2}$$

i - יחס התמסורת

[rpm] n, n₁, n₂ - מהירות סיבוב של גלגל

z, z₁, z₂ - מספר השיניים בגלגל

[mm] m - מודול השן

$$D = mz = \frac{1}{\pi} z$$

[mm] D - קוטר מעגל החלוקה

[mm] D_i - קוטר מעגל העיקרים

$$D_e = m(z + 2)$$

[mm] D_e - קוטר מעגל הראשים

$$D_i = m(z - 2.4)$$

[mm] D₁, D₂ - קוטר הגלגל

$$A_1 = \frac{m(z_1 + z_2)}{2}$$

λ - מקדם רוחב הגלגל

[mm] b - רוחב הגלגל

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

[mm] A - המרחק בין צירי הגלגלים

[mm] h - גובה השן

[mm] t - פסיעת הגלגל (השיניים)

[mm] h₁ - גובה ראש השן

$$h = h_1 + h_2$$

[mm] h₂ - גובה עיקר השן

$$h_1 = m$$

f - מקדם עומס־יתר

$$h_2 = 1.2 m$$

q - מקדם מספר השיניים

[MPa] [σ] - מאמץ מותר לכפיפה

$$m = 490 \sqrt[3]{\frac{P \cdot f \cdot q}{n \cdot z \cdot \lambda \cdot [\sigma]}}$$

[N] F_t - כוח היקפי לגלגל שיניים

$$P = \left(\frac{m}{490}\right)^3 \frac{n \cdot z \cdot \lambda \cdot [\sigma]}{f \cdot q}$$

[N] F - כוח שילוב בין גלגלי השיניים

[deg] α - זווית הלחץ

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

z_{min} - מספר שיניים מינימלי (שן תקנית)

[kW] P - הספק מועבר על־ידי הגלגלים

$$F_t = F \cos \alpha = \frac{2 M_t}{m z}$$

[Nm] M_t - מומנט מועבר

$$z_{\min} = \frac{2}{\sin^2 \alpha}$$

המשך בעמוד 10

التتمة في الصفحة 10

בגל כוכב:

$$M_e = \frac{M_T}{k}$$

$$F = M_e \frac{2}{d_m}$$

$$d_m = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

$$A = \frac{d_2 - d_1}{2} \cdot L$$

k - מספר השיניים בגל כוכב

M_e - המומנט לשן בגל כוכב [Nm]

d_m - קוטר ביניים בגל כוכב [mm]

d_1 - קוטר פנימי בגל כוכב [mm]

d_2 - קוטר חיצוני בגל כוכב [mm]

A - שטח השן הנמכרת [mm²]

L - אורך השן הנמכרת [mm]

14. רצועות

$$i = \frac{n_2}{n_1} = \frac{D_1}{D_2}$$

$$F = \frac{1000 P}{v}$$

$$S_1 = k_e \cdot F_t$$

$$S_2 = S_1 - F_t$$

F_t - כוח היקפי (משיקי) [N]

P - הספק נמסר [kW]

P_E - הספק אפקטיבי [kW]

v - מהירות קווית של הרצועה [m/s]

S_1 - כוח מתיחה בענף הפעיל [N]

S_2 - כוח מתיחה בענף הסביל [N]

k_e - מקדם כוח מתיחה

d - קוטר הגלגל המניע [m]

D_1, D_2, D_3 - קוטר גלגל בממסרת [m]

M_t - המומנט הנמסר [Nm]

η - נצילות

n_1, n_2 - מהירות סיבובית של גלגל [rpm]

i - יחס התמסורת בין גלגלי הרצועה

k_d - מקדם תנאי העבודה

L - אורך הרצועה [m]

d_0 - קוטר חיצוני בגלגל הקטן [m]

A - מרחק בין מרכזי הגלגלים [m]

D_0 - קוטר חיצוני בגלגל הגדול [m]

$$P_E = k_d \cdot P \cdot \eta$$

$$L = 1.57(D_0 + d_0) + 2A + \frac{(D_0 - d_0)^2}{4A}$$

$$v = \frac{\pi D_1 n_1}{60 \times 1000}$$

המשך בעמוד 11

التتمة في الصفحة 11

מומנט התמדה קוטבי, [mm ⁴]I _o	מומנט התמדה, [mm ⁴]I	מומנט התנגדות לפיתול, [mm ³]Z _o (מודול החתך)	מומנט התנגדות לכפיפה, [mm ³]Z (מודול החתך)	A, שטח, [mm ²]A	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 · 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:

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

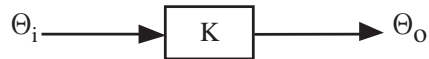
2. תמסורת של מלבן בודד:

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

Θ_o - אות מוצא (תגובה)

Θ_i - אות מבוא (אילוצ)

G - פונקציית תמסורת



3. תמסורת של שני מלבנים בטור:

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

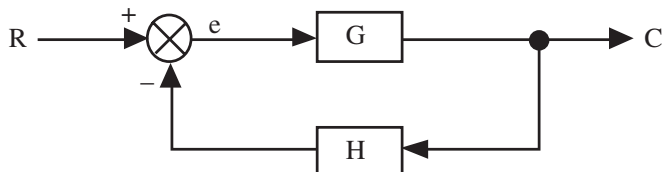


4. תמסורת, T , בחוג סגור (עם משוב H):

R - ערך רצוי

C - ערך מצוי

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



המשך בעמוד 13

التتمة في الصفحة 13

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

$$[Pa]$$

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

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!

نتمنى لك النجاح!