

סוג הבחינה: בגרות לבתי-ספר על-יסודיים

מועד הבחינה: קיץ תשע"ו, 2016

סמל השאלון: 838381

נספחים: א. שגמים פריזמטיים

ב. סרטוט היטלים (לשאלה 4)

ג. סרטוט היטלים (לשאלה 5)

ד. סרטוט הרכבה (לשאלה 6)

ה. דף תשובות (לשאלה 6)

ו. טבלת אמת ומפת קרנו

ז. מערך פיקוד – שלוש בוכנות

נוסחאון

מכניקה הנדסית

על-פי תכנית הרפורמה ללמידה משמעותית

הוראות לנבחן

א. משך הבחינה: שלוש שעות.

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

עליך לענות על שאלה אחת מכל אחד משלושת הפרקים,

ועל שתי שאלות נוספות על-פי בחירתך.

לכל שאלה – 20 נקודות, סה"כ – 100 נקודות.

ג. חומר עזר מותר לשימוש: כלי כתיבה, כלי סרטוט ומחשבון.

ד. הוראות מיוחדות: אין.

הוראות למשגיח:

בתום הבחינה על הנבחן לצרף נספחים ב', ג', ה', ו' רז' למחברת הבחינה, לאחר שהדביק על כל אחד מן הנספחים את מדבקת הנבחן שלו.

כתוב במחברת הבחינה בלבד, בעמודים נפרדים, כל מה שברצונך לכתוב כטיוטה (ראשי פרקים, חישובים וכדומה).

רשום "טיוטה" בראש כל עמוד טיוטה. רישום טיוטות כלשהן על דפים שמחוץ למחברת הבחינה עלול לגרום לפסילת הבחינה!

בשאלון זה 11 עמודים, 8 עמודי נספחים ונוסחאון.

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

בהצלחה!

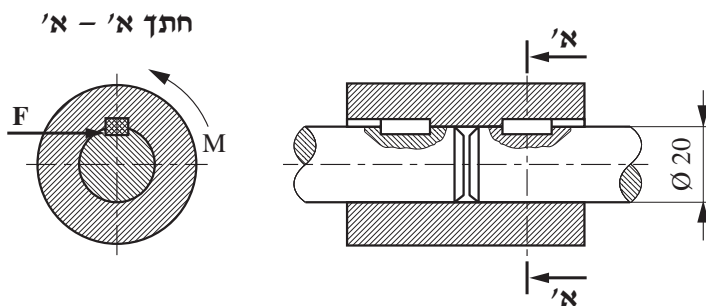
השאלות

פרק ראשון: תורת החוזק ופרקי מכוונות

שאלה 1

באיור לשאלה 1 מתואר חיבור בין שני גלים באמצעות מצמד תותב. המצמד מעביר את התנועה בין הגלים באמצעות שגמים.

גודל המומנט המועבר מגל אחד לגל השני הוא: $M = 40,000 \text{ Nmm}$.
הקוטר של שני הגלים נתון באיור.

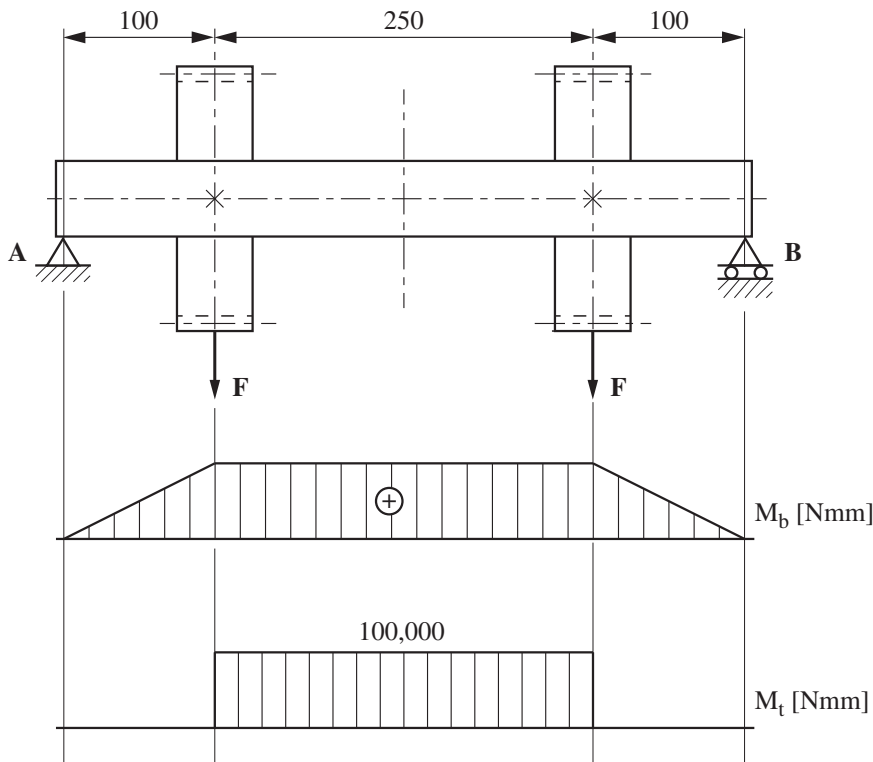


איור לשאלה 1

- היעזר בנספח א', בחר את ממדי השגם b ו- h ורשום אותם במחברתך.
- חשב את הכוח F הפועל על השגם כתוצאה מן המומנט המועבר.
- חשב את אורך השגם המזערי הדרוש, בהתחשב במאמצי גזירה בלבד. המאמץ המותר לגזירה בחומר השגם: $[\tau] = 60 \text{ MPa}$

שאלה 2

באיור לשאלה 2 מתואר גל שמורכבים עליו שני גלגלי שיניים. מתחת לתיאור הגל נתונים המהלכים של מומנטי הכפיפה והמהלכים של מומנטי הפיתול, לאורך הגל.



איור לשאלה 2

נתונים:

מומנט הפיתול המועבר בין גלגלי השיניים: $M_t = 100,000 \text{ Nmm}$

הכוח הרדיאלי הפועל על כל גלגל שיניים: $F = 4,000 \text{ N}$

מומנט ההתנגדות של חתך הגל: $Z_x = 4,287.5 \text{ mm}^3$

א. חשב את התגובות בסמכים.

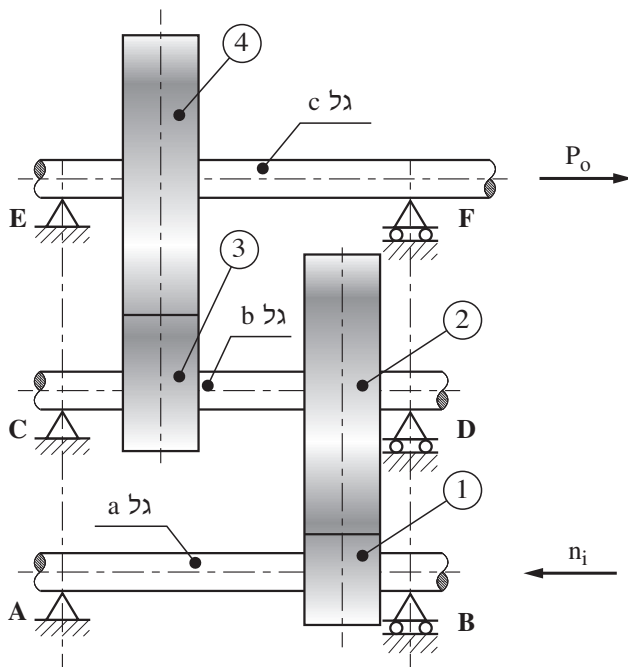
ב. חשב את מומנט הכפיפה המרבי לאורך הגל.

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

ד. חשב את גודלו של המאמץ המרבי בגל.

שאלה 3

באיור לשאלה 3 מתואר מפחת 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 למפחת הוא בגל a והמוצא ממנו הוא בגל c. גל b הוא גל ביניים.



איור לשאלה 3

נתונים:

ההספק ביציאה ממפחת הסיבובים: $P_o = 15 \text{ kW}$
מהירות הסיבוב בכניסה למפחת: $n_i = 1,500 \text{ RPM}$
מהירות הסיבוב ביציאה מן המפחת: $n_o = 300 \text{ RPM}$
מספרי השיניים בגלגלי הדרגה השנייה: $Z_3 = 15, Z_4 = 60$
הקוטר של גלגל 1: $D_1 = 60 \text{ mm}$
מודול השן של גלגלים 1 ו- 2: $m_1 = m_2 = m = 3 \text{ mm}$
נצילות המפחת: $\eta = 60\%$

- א. חשב את מספר השיניים בגלגל 1.
- ב. חשב את יחס התמסורת של מפחת הסיבובים.
- ג. חשב את מספר השיניים בגלגל 2.
- ד. חשב את המומנט במבוא למפחת הסיבובים.

פרק שני: סרטוט טכני

שאלה 4

בנספח ב' (לשאלה 4) נתונים שני היטלים של גוף. סמן על-גבי ההיטלים את קווי המידה של המידות המגדירות את הגוף.
(אין צורך לרשום את ערכי המידות).
ציין סימני קוטר ($\varnothing$) במקומות המתאימים.

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

שאלה 5

בנספח ג' (לשאלה 5) נתונים שני היטלים של גוף – היטל-על בקווים רגילים והיטל פנים בקווים אפורים. בהיטל העל מסומן תוואי של חתך אנכי ישר העובר דרך מישור הסימטריה של הגוף. הפוך את היטל הפנים לחתך אנכי העובר דרך תוואי החתך המסומן בהיטל העל.

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

שאלה 6

ענה על הסעיפים א'–ח' שלהלן.

לכל אחד מן הסעיפים א'–ז' ניתנו ארבע תשובות שרק אחת מהן נכונה.
בנספח ה', הקף בעיגול את הספרה המסמלת את התשובה הנכונה בכל סעיף.

בנספח ד' נתונים סרטוט הרכבה של מפצח אגוזים ורשימת החלקים שלו.

א. החלק שמאפשר את העברת התנועה מהידית (חלק 1) אל המפצח (חלק 3) הוא:

1. חלק 2 – מוביל

2. חלק 15 – פין פציל

3. חלק 18 – פין

4. חלק 16 – מקשר

ב. הסדן (חלק 4) מחובר לתושבת הסדן (חלק 5), באמצעות:

1. אפיצות לחץ

2. הברגה

3. ריתוך

4. סְמָרוֹר

ג. האפיצות בין המוביל (חלק 2) לבין המפצח (חלק 3) היא מסוג:

1. מדחק

2. מעבר

3. מרווח

4. לחץ

ד. הארכת הידית (חלק 1), בלי לשנות את גודל הכוח הפועל בקצה הידית, תשנה את:

1. מאמץ השבר של האגוז

2. הכוח הפועל על האגוז

3. המומנט הפועל על האגוז

4. מודול החתך של האגוז

ה. החומר שממנו עשויים הפינים (חלקים 18 ו- 19) הוא:

1. פלדת כלים
2. פלדה דלת-פחמן
3. פלדת מסג
4. פלדת כסף

ו. צורת החתך של שן התברג בחלק 14 היא:

1. ריבוע
2. משולש
3. טרפז
4. עיגול

ז. התפקיד של הפין הפציל (חלק 15) הנראה בחתך A-A הוא:

1. למנוע תנועה סיבובית של הפין (חלק 18)
2. למנוע תנועה קווית של הפין (חלק 18)
3. להעביר תנועה בין הידית (חלק 1) לבין הפין (חלק 18)
4. להעביר תנועה בין הפין (חלק 18) לבין המפצח (חלק 3)

ח. 1. בסעיף ח' שבנספח ה' נתון סרטוט חלקי של חלק 3 (ללא קנ"מ). השלם את הסרטוט בנספח.

2. סרטט את כל מידות הקטרים הדרושות בחלק וסמן אותן ב־ ϕ (אין צורך לרשום את ערכי המידות).

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

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', בעמודה E, "1" לוגי עבור כל המצבים שבהם נורית האזהרה מופעלת.

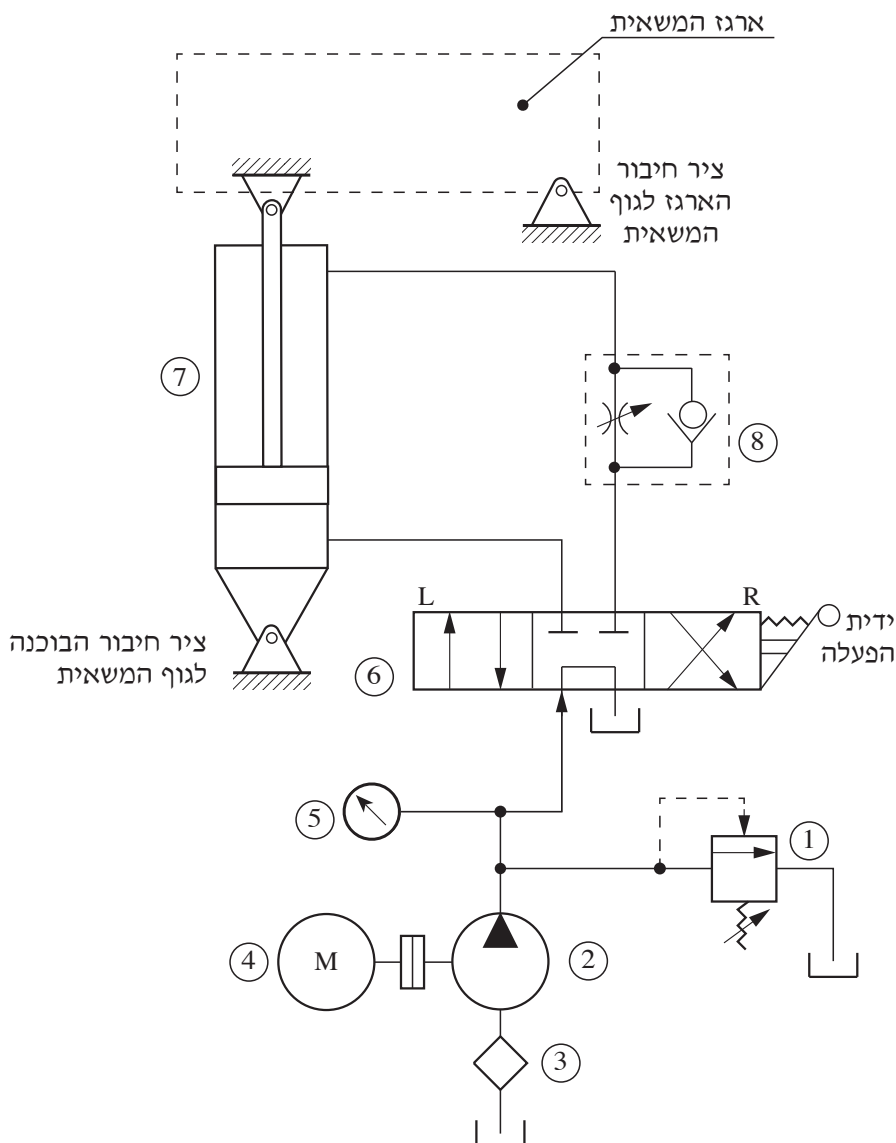
ב. השלם את מפת קרנו שבנספח ו' והצג בה את הקבוצות לצמצום מרבי של הפונקצייה E.

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 8 מתוארת מערכת הידרולית להטיית ארגז של משאית.



איור לשאלה 8

- רשום את שמות הרכיבים המסומנים בספרות 1, 2, 3 ו-7.
- לאיזה מצב (L או R) יש להסיט את שסתום ההפעלה 6 כדי שארגז המשאית יתרומם (יסתובב סביב צירו עם כיוון השעון).
- רשום את שמו ואת תפקידו של רכיב 8.

שאלה 9

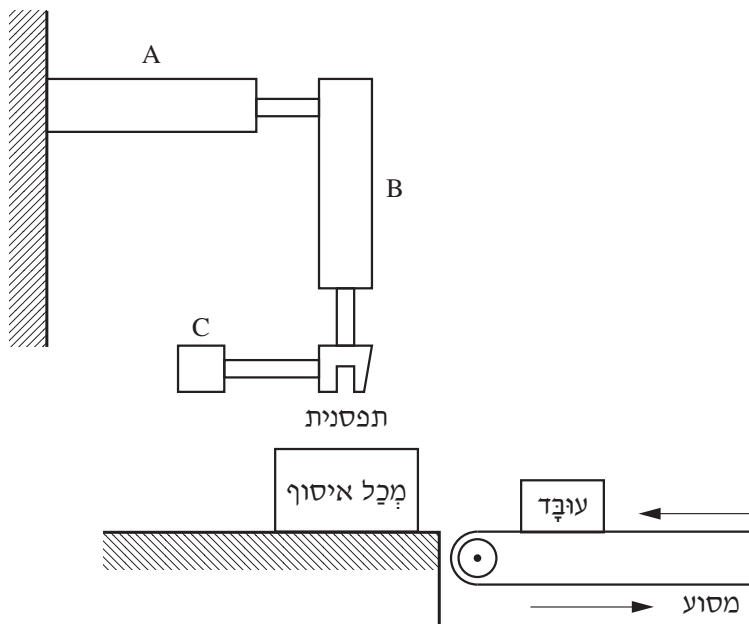
באיור לשאלה 9 מתוארת מערכת פנימטית הכוללת שלוש בוכנות. תפקיד המערכת הוא להרים עובד הנמצא על מסוע ולהעבירו לתוך מכל איסוף.

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!

מידות יסוד במ"מ

מִדָּת קוטר הגל d ₁		6	8	10	12	17	22	30	38	44	50	58	65	75	85	95	110	130	150	170	200	230	260	290	330	380	440	
		8	10	12	17	22	30	38	44	50	58	65	75	85	95	110	130	150	170	200	230	260	290	330	380	440	500	
b חתך השגם		2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	22	25	28	32	36	40	45	50	56	63	70	80	90	100	
		2	3	4	5	6	7	8	8	9	10	11	12	14	14	16	18	20	22	25	28	32	32	36	40	45	50	
החריץ בגל	b	2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	22	25	28	32	36	40	45	50	56	63	70	80	90	100	
	t ₁	1.2	1.8	2.5	3	3.5	4	5	5	5.5	6	7	7.5	9	9	10	11	12	13	15	17	20	20	22	25	28	31	
		0.1					0.2											0.3										
החריץ בטבור	b	2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	22	25	28	32	36	40	45	50	56	63	70	80	90	100	
		1	1.4	1.8	2.3	2.8	3.3	3.3	3.3	3.8	4.3	4.4	4.9	5.4	5.4	6.4	7.4	8.4	9.4	10.5	11.4	12.4	12.4	14.4	15.4	17.4	19.5	
	t ₂	0.1					0.2											0.3										
		0.5	0.9	1.2	1.7	2.2	2.4	2.4	2.4	2.9	3.4	3.4	3.9	4.4	4.4	5.4	6.4	7.1	8.1	9.1	10.1	11.1	11.1	13.1	14.1	16.1	18.1	
		0.1					0.2											0.3										
a							3	3	3	3.5	4	4.5	5	5.5	5.5	6.5	7	8	9	10	11	13	13	14	16	18	20	
d ₂ * = d ₁ +		2.5	3.5	4	5	6	8	8	8	9	11	11	12	14	14	16	18	21	23	26	28	32	32	36	40	45	50	
r ₁ min		0.16			0.25			0.40					0.6					1			1.6			2.5				
r ₁ max		0.25			0.40			0.60					0.8					1.2			2			3				
r ₂ max		0.16			0.25			0.40					0.6					1			1.6			2.5				
r ₂ min		0.08			0.16			0.25					0.4					0.7			1.2			2				
d ₃							3.4		4.5		5.5		6.6			9		11		14					18		22	
d ₄							6		8		10		11			15		18		20					26		33	
d ₅ הקדח							M3		M4		M5		M6			M8		M10		M12					M16		M20	
d ₆ h12 בשגם							4		5		6		8			10		12		16					20		25	
t ₃							2.4		3.2		4.1		4.8			6		7.3		8.3					11.5		13.5	
t ₄							4		5		6		7	8		10	12	10	14	16					20		25	
d ₇							M3		M4		M5		M6			M8		M10		M12					M16		M20	
d ₈ הקדח							4.5		5.5		6.5		9			11		13		17					21		26	
t ₅ בגל							4	5	6	6	7	6	8	9	9	11	15	13	15	12	13		17		18	20		
t ₆							7	8	10	10	12	11	13	15	15	17	22	20	22	19	20		24		25	28		
t ₇							5		7		8		11	10		12	18	16	20	18					24		30	
בורגי קביעה (בורג גלילי לפי: DIN84 ,DIN7984 ,DIN6912							M3 x8	M3 x10	M4 x10	M5x10		M6x12		M8 x16	M8 x16	M10 x16	M10 x20	M12x25		M12x30		M12x35		M16 x40	M16 x45	M20 x50	M20 x55	
תותב מרווח לפי DIN1481							4x8		5x10		6x12		8x16		10x20		12x24		16x30		16x32		20x40		25x50			
מִדָּת L		6	6	8	10	14	18	22	28	36	45	50	56	63	70	80	90	100	110	125	140	160	180	200	220	250	280	
עד		20	36	45	56	70	90	110	110	160	180	200	220	250	280	320	360	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	

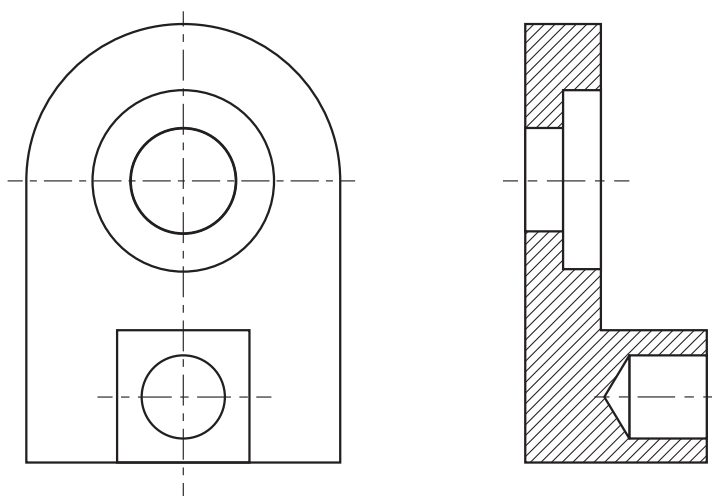
חומר: לשגמים בגובה h עד 25 מ"מ: פל' St-50

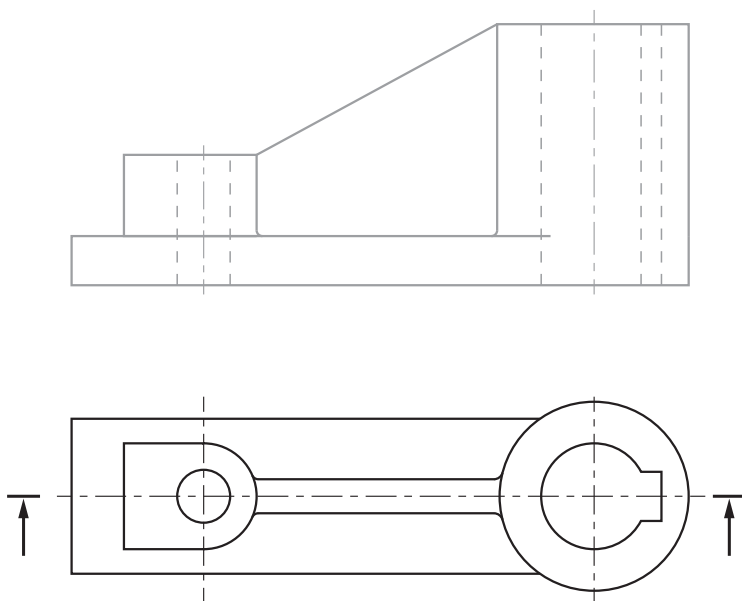
לשגמים בגובה h מעל 25 מ"מ: פל' St-60-2K

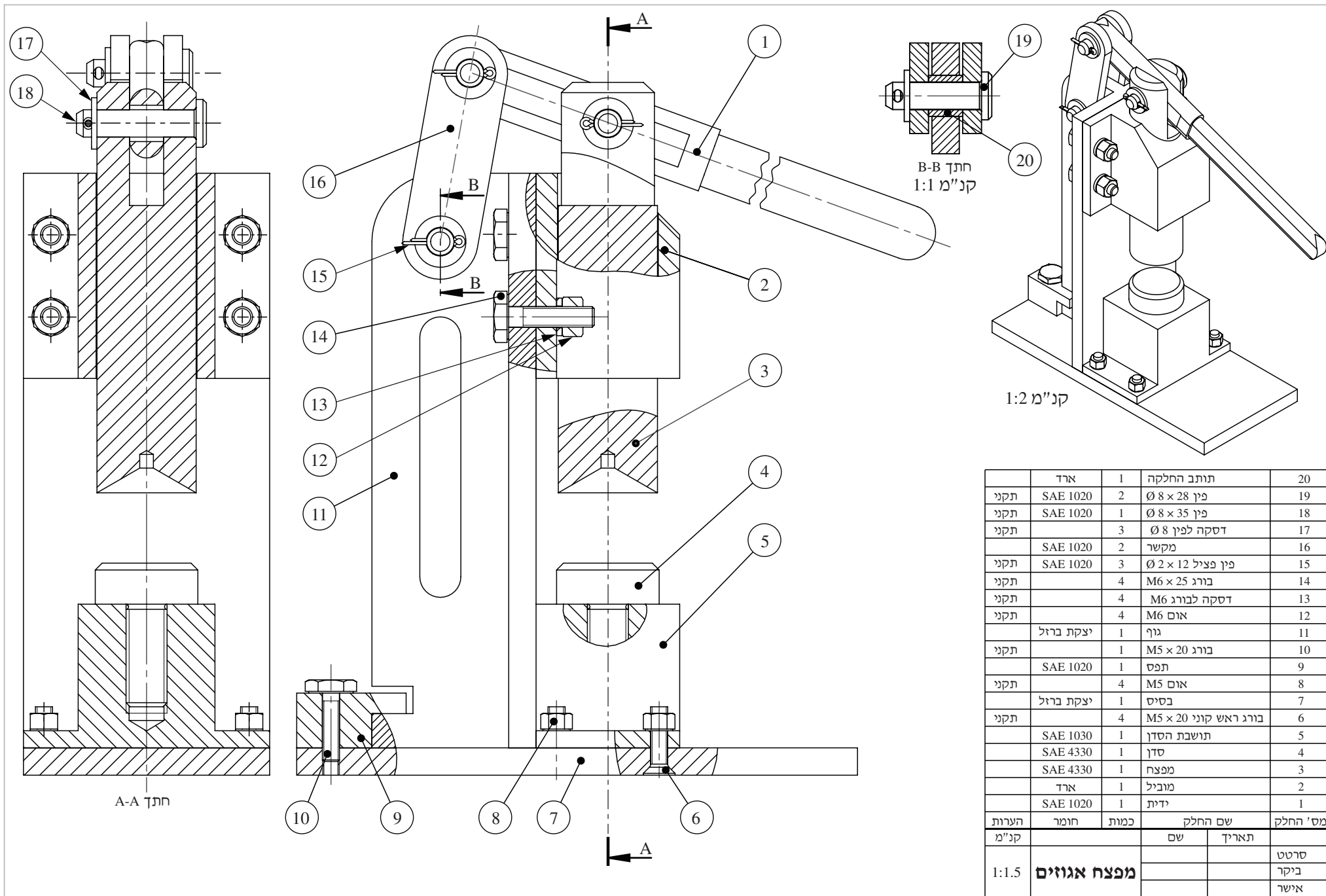
* הערך d_2 מתאים לקוטר מינימלי של חלק שאותו אפשר להעביר קונצנטרית מעל השגם.

מקום להדבקת נבחן

נספח ב' (לשאלה 4)
לשאלון 838381, קיץ תשע"ו







נספח ה': דף תשובות (לשאלה 6)

לשאלון 838381, קיץ תשע"ו

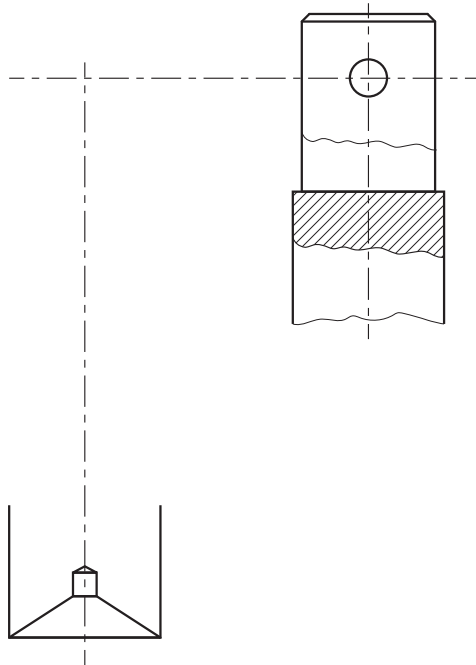
מקור מציאות נכון

תשובות לשאלה 6

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

כדי לענות על סעיף ח', עבור לעמוד הבא.

שאלה 6, סעיף ח'



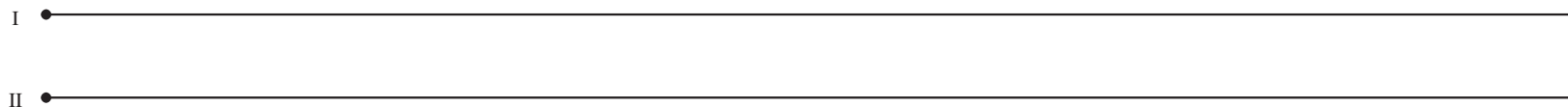
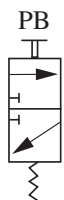
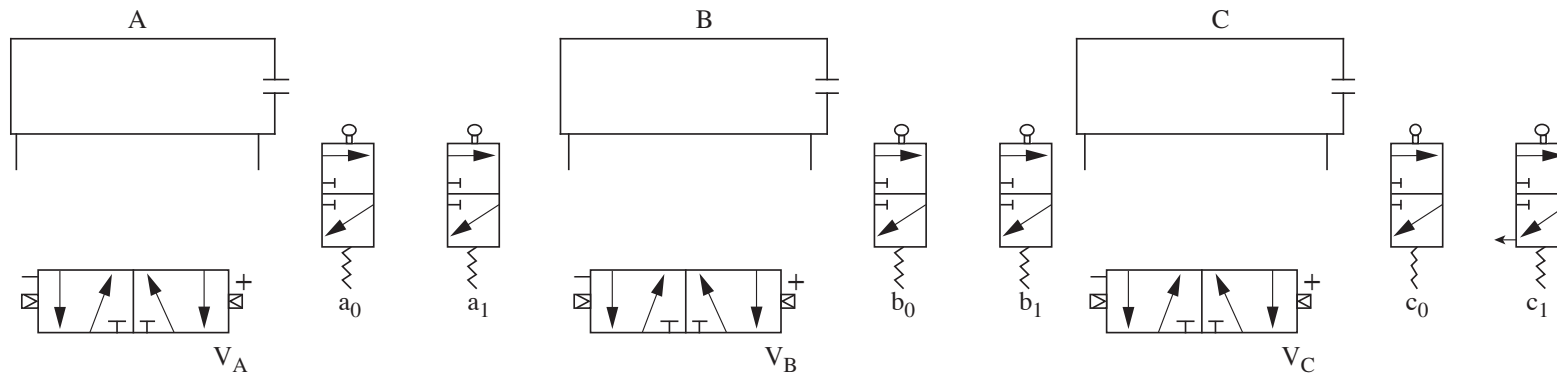
נספח ו'

לשאלון 838381, קיץ תשע"ו

מקום למציאת נבחן

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				



מדינת ישראל

משרד החינוך

סוג הבחינה: בגרות לבתי-ספר על-יסודיים
מועד הבחינה: קיץ תשע"ו, 2016
סמל השאלון: 838381, 838202

دولة إسرائيل

وزارة التربية

نوع الامتحان: بچروت للمدارس الثانوية
موعد الامتحان: صيف 2016
رقم النموذج: 838381, 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]
$[\sigma_t] = \frac{\sigma_y}{S}$			
$\sigma_t = \frac{F}{A} \leq [\sigma_t]$			
$\sigma_t = \epsilon E$			
$\epsilon = \frac{\Delta L}{L}$			
$\Delta L = \frac{FL}{EA}$			

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:

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

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

[mm]	קוטר	d	-
[mm]	הממד המקביל למישור הניטרלי	b	-
[mm]	הממד הניצב למישור הניטרלי	h	-
[mm ⁴]	מומנט התמד (אינרציה) צירי	I	-

לחתך מלבני:

$$I_x = \frac{bh^3}{12}$$

לחתך עגול:

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

5. קריסה

[N]	לפי שיטת אוילר	F_{cr}	- הכוח המינימלי שיגרום לקריסה,
[MPa]	מודול האלסטיות של החומר	E	-
[mm ⁴]	מומנט ההתמד הצירי המינימלי של חתך המוט	I_{min}	-
[mm]	אורך המוט	L	-
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: $\mu = 2/3$

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

$\lambda_y = 100$ - פלדה דלת-פחמן

$\lambda_y = 80$ - פלדת פחמן

כאשר: $\lambda_{קיים} < \lambda_y$

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

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

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

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

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:

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

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

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

$$C_o = \sim 1.8 P_o$$

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

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

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

$$\tan \varphi = \mu$$

בורגי הידוק:

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

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

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

בתברג ריבועי:

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

בורגי הנעה:

$$M_t = 0.1 \times Q \times d$$

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 [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	- 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 הנמעכת [mm ²]
L	- אורך השן הנמעכת [mm]

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

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

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

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

14. רצועות

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]

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

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

$$S_1 = k_e \cdot F_t$$

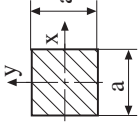
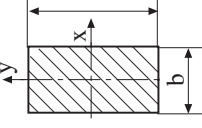
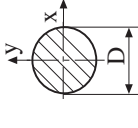
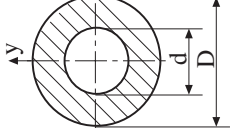
$$S_2 = S_1 - F_t$$

$$M_t = (S_1 - S_2) \frac{D}{2}$$

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

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

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

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 [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:

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

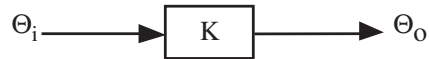
2. תמסורת של מלבן בודד:

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

Θ_o - אות מוצא (תגובה)

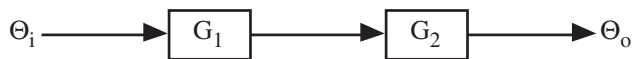
Θ_i - אות מבוא (אילוצ)

G - פונקציית תמסורת



3. תמסורת של שני מלבנים בטור:

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

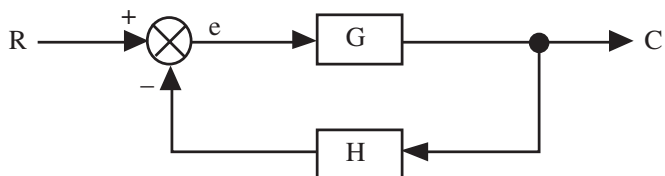


4. תמסורת, T , בחוג סגור (עם משוב H):

R - ערך רצוי

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

C - ערך מצוי



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!