

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 2-7)

פרק שלישי: פרקי הנדסה ומדע (שאלות 8-11)

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, מחשבון.

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 10) אל מחברת הבחינה שלו.

בשאלון זה 13 עמודים, 5 עמודי נספחים ונוסחאון.

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

בהצלחה!

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 קליבה ונתונה רשימת החלקים שלה.

א. הידוק באמצעות הקליבה מתבצע בין החלקים האלה:

1. גוף הקליבה (חלק מס' 1) והבורג (חלק מס' 5)
2. גוף הקליבה (חלק מס' 1) והתותב (חלק מס' 6)
3. גוף הקליבה (חלק מס' 1) וכיפת ההידוק (חלק מס' 7)
4. הפין הקצר (חלק מס' 8) וכיפת ההידוק (חלק מס' 7)

ב. מהו המפתח המרבי (המקסימלי) של הקליבה?

1. 23 מ"מ
2. 33 מ"מ
3. 36 מ"מ
4. 37 מ"מ

ג. מהי צורת הפרופיל של תבריג הבורג (חלק מס' 5)?

1. ריבוע
2. טרפז
3. שיני מסור
4. משולש

ד. איזו אפיצות נדרשת בין ידית ההידוק (חלק מס' 2) לראש הבורג (חלק מס' 3) כדי למנוע החלקה עצמית של הידית מתוך ראש הבורג?

1. אפיצות חופש

2. אפיצות החלקה

3. אפיצות מרווח

4. אפיצות לחץ

ה. הערך 1 במידת הבורג $M10 \times 1$ מציין:

1. שעומק התברג הוא 1 מ"מ.

2. שפסיעת התברג היא 1 מ"מ.

3. שהקוטר החיצוני של התברג הוא 1 מ"מ.

4. שהקוטר הפנימי של התברג הוא 1 מ"מ.

ו. באיזו שיטה רשומה האפיצות בין התותב (חלק מס' 6) לבין גוף הקליבה (חלק מס' 1)?

1. בשיטת הלחץ

2. בשיטת הקדח האחיד

3. בשיטת הגל האחיד

4. בשיטה המשולבת

ז. כיפת ההידוק (חלק מס' 7) עשויה מפלדה SAE 1020 .

כדי להגדיל את קשיות המשטח המסומן באות א', יש לבצע לכיפת ההידוק את הטיפול התרמי שלהלן:

1. חיסום והרפיה

2. חיסום וריפוי

3. צמנוט וחיסום

4. זיקון וחיסום

ח. השלם בסרטוט הבורג (חלק מס' 5) הנתון בנספח א' את:

1. הקווים החסרים בהיטל הפנים.

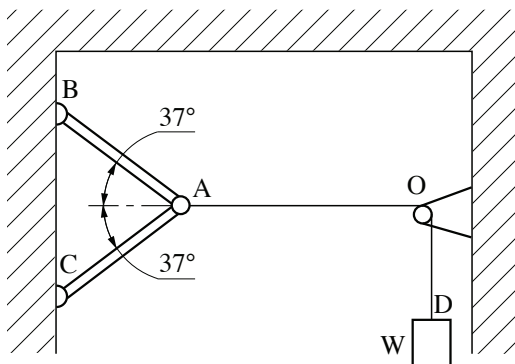
2. החתך החלקי בהיטל-העל.

3. מידת התברג של הבורג עם הערך המספרי שלה ואת מידת האורך של התברג ללא הערך המספרי שלה.

פרק שני: חוזק חומרים ופרקי מכונות

שאלה 2

באיור א' לשאלה 2 מתוארת מערכת, הנושאת משקולת W , שמשקלה 16 kN . המשקולת קשורה בעזרת כבל AOD לפרק A. המוט AB מחובר לפרק B בזווית 37° , והמוט AC מחובר לפרק C בזווית 37° , כמתואר באיור. הכבל עובר מעל גלגלת חסרת חיכוך בנקודה O, והוא אופקי בקטע AO. משקל המוטות ומשקל הכבל, זניחים.

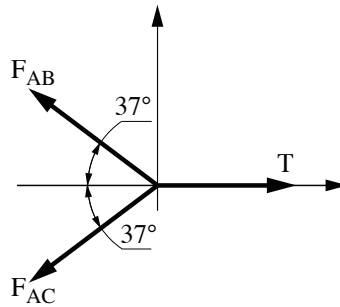


איור א' לשאלה 2

א. רשום במחברתך את התשובה הנכונה.
המתיחות בכבל AOD היא:

1. $3,200 \text{ N}$
2. $16,000 \text{ N}$
3. 1.6 kN
4. 320 kN

ב. באיור ב' לשאלה 2 נתון דג"ח של הפרק A. הפרק A נמצא בשיווי משקל.



איור ב' לשאלה 2

חשב את ערכם של כוחות התגובה, F_{AB} ו- F_{AC} , הפועלים במוטות AB ו- AC.

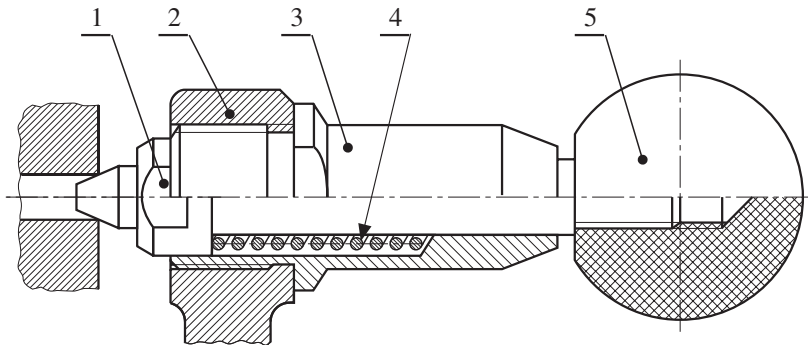
נתונים:

$$\cos 37^\circ = 0.8$$

$$\sin 37^\circ = 0.6$$

שאלה 3

באיור לשאלה 3 מסורטטת ידית לקיבוע עוגד. בידיית מורכב קפיץ (חלק 4), שקוטר החוט שלו הוא 3 mm והקוטר החיצוני שלו הוא 24 mm. מודול האלסטיות לגזירה של חומר הקפיץ הוא: $G = 77,200 \text{ MPa}$. כדי לשחרר את העובד מופעל כוח משיכה המכווץ את הקפיץ ב-4 mm. מספר הכריכות הפעילות בקפיץ הוא 12.



איור לשאלה 3

א. חשב את קבוע הקפיץ.

ב. חשב את גודלו של הכוח שגורם להתכווצות הקפיץ ב-4 mm.

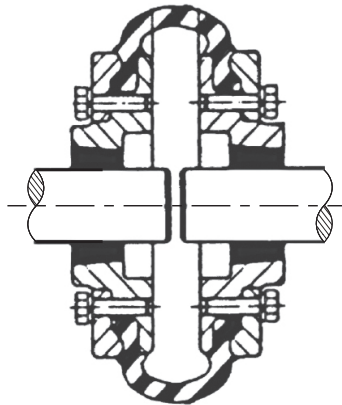
ג. חשב את המאמץ המתפתח בחומר הקפיץ בסוף התכווצותו, אם מקדם תיקון המאמץ הוא

$$K = 1.18$$

שאלה 4

באיור לשאלה 4 מתואר מצמד בעל שרוול גומי. מהירות הסיבוב המרבית של המצמד היא:

$M_e = 1,510 \text{ Nm}$, ומומנט הסיבוב המרבי הפועל עליו הוא: $n = 2,600 \text{ rpm}$.

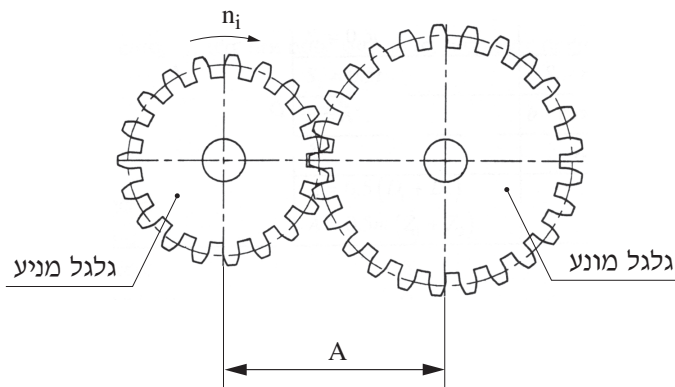


איור לשאלה 4

- א. בחר מצמד המתאים לתנאים שבשאלה, ורשום את גודלו (Size) ואת קוטר הגל המרבי המתאים לו. היעזר בנספח ג'.
- ב. חשב את ההספק המועבר באמצעות המצמד בתנאים הנתונים.
- ג. חשב את מאמץ הפיתול בגל המצמד.
- בסעיף ד' נתונות ארבע תשובות שרק אחת מהן נכונה. העתק את התשובה הנכונה למחברתך.
- ד. התכונה החשובה ביותר שיש למצמדים בעלי שרוול גומי היא:
1. קשיחות גבוהה
 2. גמישות גבוהה
 3. חוזק גבוה
 4. קשיות גבוהה

שאלה 5

באיור לשאלה 5 נתונה תמסורת המורכבת משני גלגלי שיניים בעלי שיניים ישרות.



איור לשאלה 5

נתונים:

מספר השיניים בגלגל המניע: $Z_1 = 25$

מספר השיניים בגלגל המונע: $Z_2 = 75$

המרחק בין צירי הגלגלים: $A = 200 \text{ mm}$

נצילות התמסורת: $\eta = 0.98$

ההספק בכניסה לתמסורת: $P_i = 10 \text{ kW}$

מהירות הסיבוב בכניסה לתמסורת: $n_i = 1,200 \text{ rpm}$

חשב את:

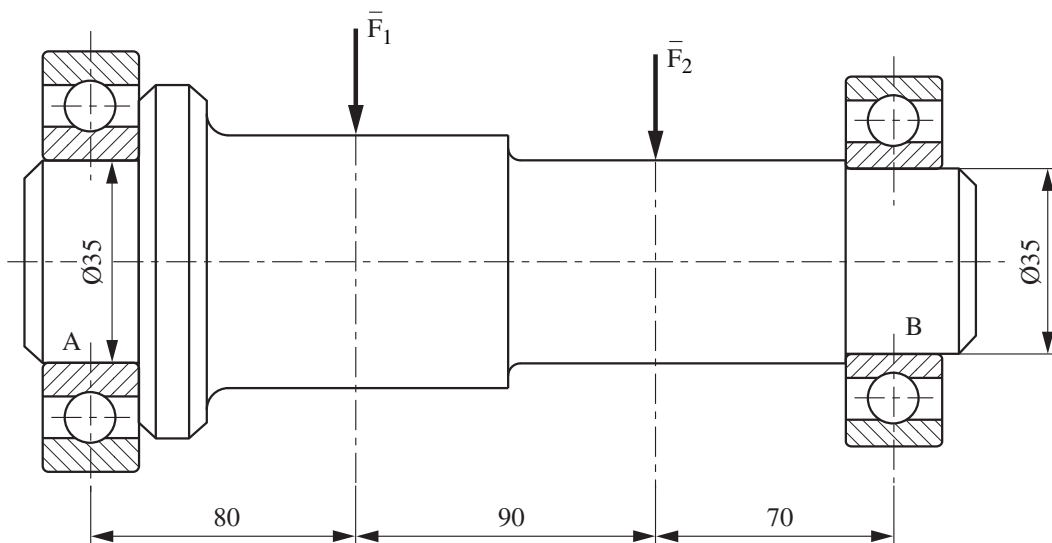
א. מודול השן (m) של גלגל השיניים.

ב. יחס התמסורת בין גלגלי השיניים.

ג. מומנט הסיבוב של הגל ביציאה מהתמסורת.

שאלה 6

באיור לשאלה 6 מתואר גל הנסמך על שני מסבים רדיאליים כדוריים. הנח שהמסבים הם סמכים נקודתיים בנקודות A ו-B. על הגל פועלים שני כוחות: $\bar{F}_1 = 6 \text{ kN}$ ו- $\bar{F}_2 = 3 \text{ kN}$, במאונך לציר הגל ובמקומות המסומנים באיור. אורך החיים הנדרש למסבים הוא: $L = 200 \text{ mil. rev}$.



איור לשאלה 6

א. חשב את התגובות במסבים.

ב. הנח שהכוח הפועל על המסב בנקודה A הוא כוח אנכי שגודלו $3,750 \text{ N}$. חשב את העומסים על המסב, ובחר מסב מתאים לנקודה A. היעזר בנספח ד'.

ג. הסימון (Designation) של המסב שנבחר לנקודה B הוא 6207.

רשום את הנתונים האלה של המסב:

1. מידת הקוטר של הקדח (d)
2. מידת הקוטר החיצוני (D)
3. מידת הרוחב (B)
4. הכושר הסטטי (C_0)
5. הכושר הדינמי (C)

שאלה 7

באיור לשאלה 7 נתונה ממסרת רצועה שטוחה המעבירה הספק של 5 kW .

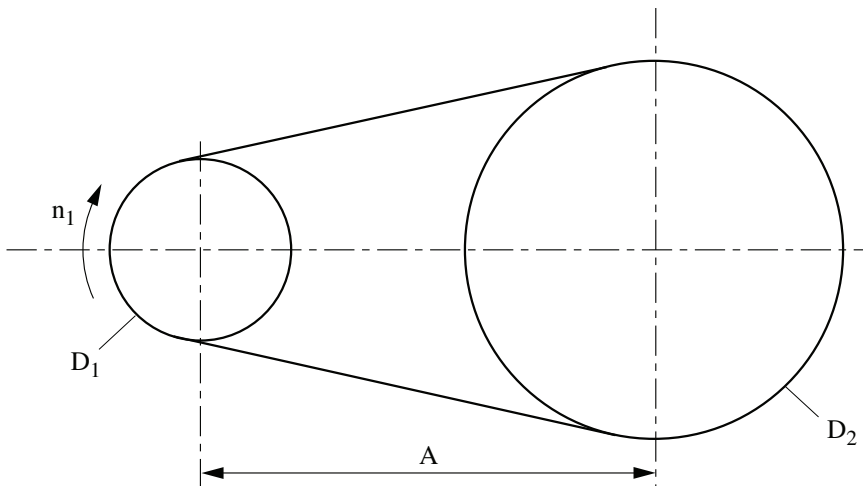
נתונים:

מהירות הסיבוב של הגלגל הקטן (המניע): $n_1 = 500 \text{ rpm}$

יחס התמסורת: $i = \frac{1}{3}$

קוטר הגלגל הקטן: $D_1 = 200 \text{ mm}$

המרחק בין צירי הגלגלים: $A = 800 \text{ mm}$



איור לשאלה 7

א. חשב את קוטר הגלגל הגדול, D_2 .

ב. חשב את אורך הרצועה.

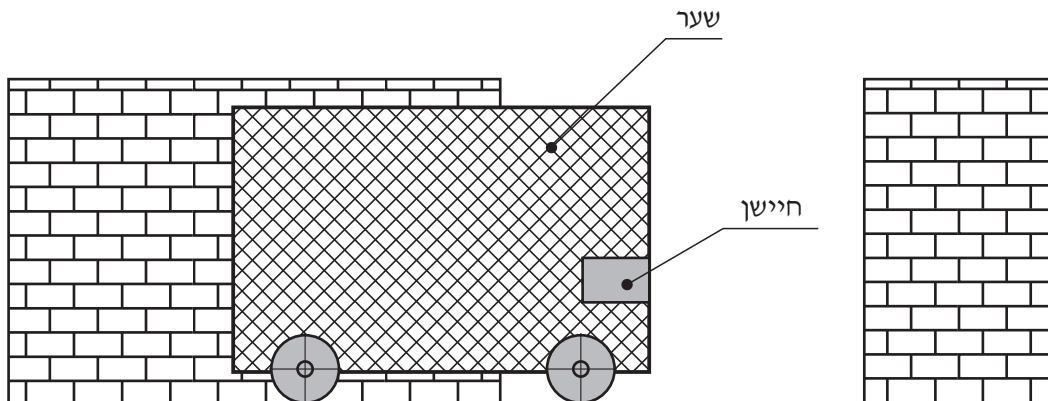
ג. חשב את המהירות הקווית של הרצועה.

ד. חשב את הכוח המשיקי ברצועה.

פרק שלישי: פרקי הנדסה ומדע

שאלה 8

באיור לשאלה 8 מתואר שער המופעל באמצעות מערכת בקרה הכוללת מנוע חשמלי (לא מתואר באיור). השער נע על מסילה.



איור לשאלה 8

רכיבי המערכת:

- לחצן, PB1, המשמש לפתיחת השער (לא מתואר באיור)
- לחצן, PB2, המשמש לסגירת השער (לא מתואר באיור)
- חיישן אדם עם מגע פנימי רגיל-פתוח (N.O.), הנסגר כאשר מתגלה אדם באזור הגילוי של החיישן
- מנוע דו-כיווני הפותח או הסוגר את השער

אופן פעולת המערכת:

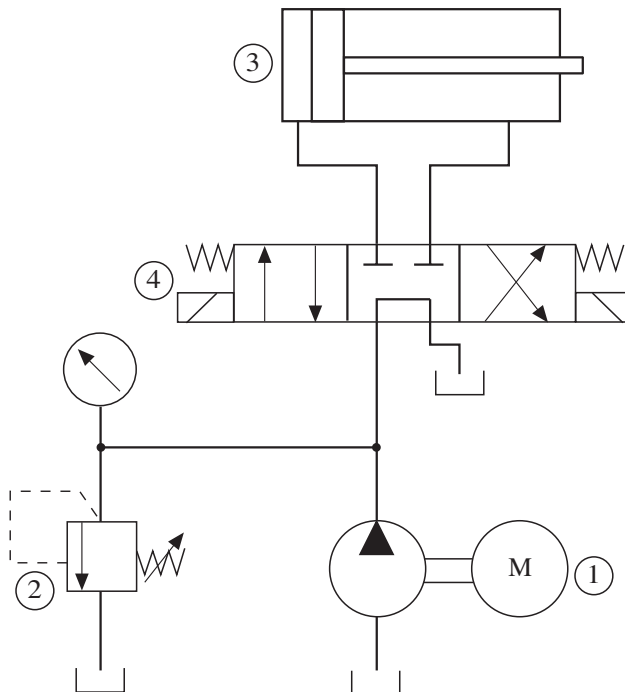
- כאשר שני הלחצנים אינם לחוצים, השער עומד במקומו.
- כאשר לוחצים על לחצן הפתיחה, השער נפתח.
- כאשר לוחצים על לחצן הסגירה, השער נסגר.
- כאשר לוחצים בו-זמנית על שני הלחצנים, השער לא נע.
- אם החיישן מגלה אדם באזור הגילוי בזמן סגירת השער, תנועת השער מופסקת.
- א. רשום שם של בקר מתוכנת המתאים למערכת, והצג את טבלת הקלט-פלט של הבקר.

ב. הצג דיאגרמת סולם לבקר המתוכנת שבחרת, כך שיבקר את פעולת המערכת בהתאם לדרישות.

ג. אם השער מגיע לקצה המסילה בעת פתיחתו והמפעיל ממשיך ללחוץ על כפתור הפתיחה, השער יכול לרדת מהמסילה. הצע שינוי במערכת, אשר יגרום להפסקת הפעולה של המנוע במצב כזה.

שאלה 9

באיור לשאלה 9 מתוארת מערכת הידרולית.

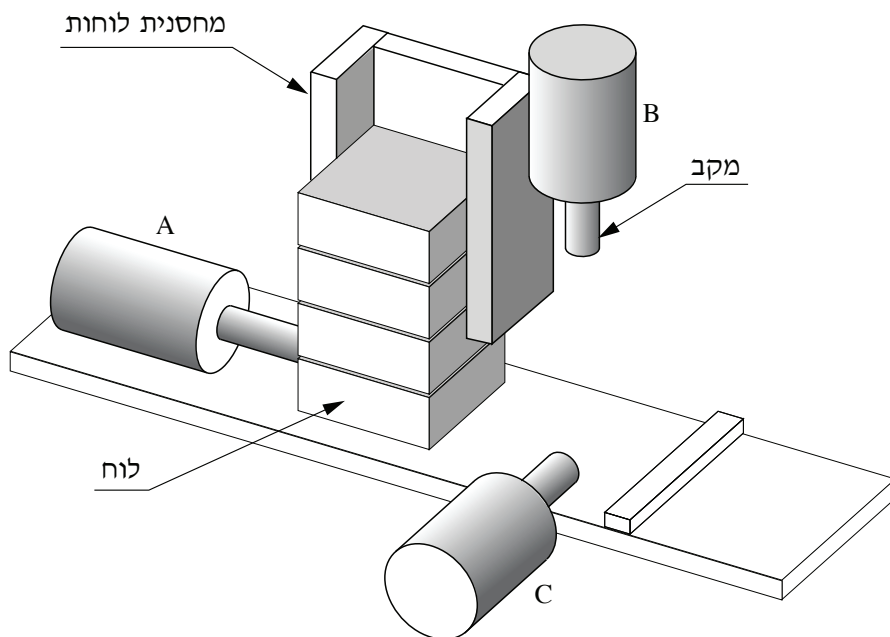


איור לשאלה 9

- א. רשום את שמו המלא של כל אחד מן הרכיבים (1), (2), ו-(3).
- ב. שמו המלא של רכיב (4) הוא "שסתום 4/3 בעל מרכז חצי פתוח, מופעל חשמלית וממורכז קפיץ". רשום מה מבטא כל אחד מן הפרטים האלה:
 - שסתום 4/3
 - מרכז חצי פתוח
 - מופעל חשמלית וממורכז קפיץ
- ג. במצב המתואר באיור מספקים מתח הפעלה לשני הסלילים של שסתום (4). קבע אם הבוכנה תיכנס, תצא או תישאר במקומה. נמק את תשובתך.

שאלה 10

באיור לשאלה 10 מתוארת מערכת פנימטית הכוללת שלוש בוכנות A, B ו-C. תפקיד המערכת הוא לנקב חורים בלוחות בעזרת מקב המחובר לבוכנה B. כל לוח המיועד לניקוב נדחף ממחסנית לוחות באמצעות הבוכנה A.



איור לשאלה 10

המערכת פועלת כך:

- הבוכנה A יוצאת ודוחפת את הלוח התחתון שבמחסנית הלוחות אל מתחת למקב שעל הבוכנה B.
- הבוכנה B יורדת והמקב מנקב חור בלוח שנדחף.
- הבוכנה B עולה בחזרה.
- הבוכנה A חוזרת.
- הבוכנה C יוצאת והודפת את הלוח המנוקב מהמערכת החוצה.
- הבוכנה C חוזרת.

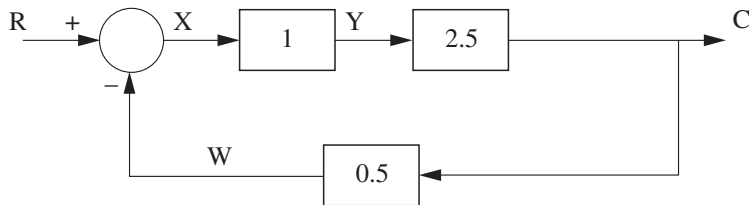
א. רשום במחברתך את מחזור הפעולות (דיאגרמת חצים) של שלוש הבוכנות שבמערכת.

ב. סרטט על גבי נספח ה' את מערך הפיקוד של המחזור שרשמת בתשובתך לסעיף א'. הפיקוד יהיה בשיטת הקסקדה.

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

שאלה 11

באיור לשאלה 11 מתוארת דיאגרמת מלבנים של מערכת בקרה.



איור לשאלה 11

- א. רשום את פונקציית התמסורת $\frac{C}{R}$.
- ב. מה יהיה הערך של C כאשר $R = 1$?
- ג. רשום את הערכים בנקודות X, Y ו-W כאשר $R = 1$.

בהצלחה!

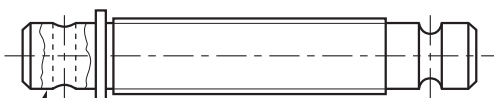
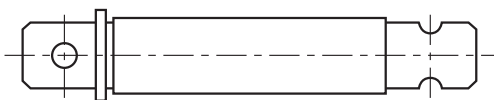
זכות היוצרים שמורה למדינת ישראל.
אין להעתיק או לפרסם אלא ברשות משרד החינוך.

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

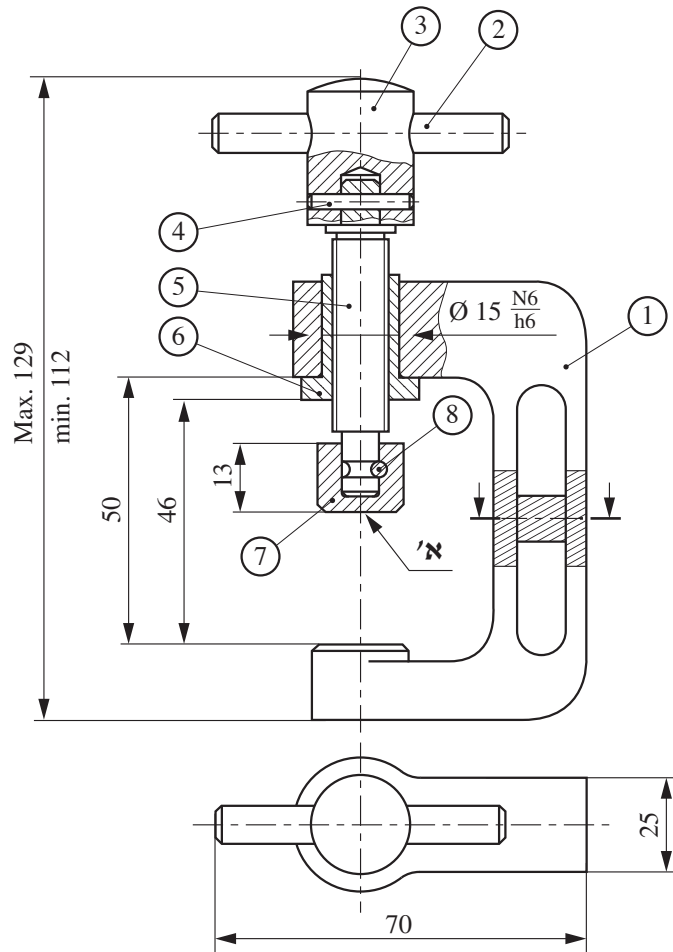
סעיף ח' לשאלה 1 (השלם את הסרטוט)



השלם כאן חתך חלקי

נספח ב' (לשאלה 1)

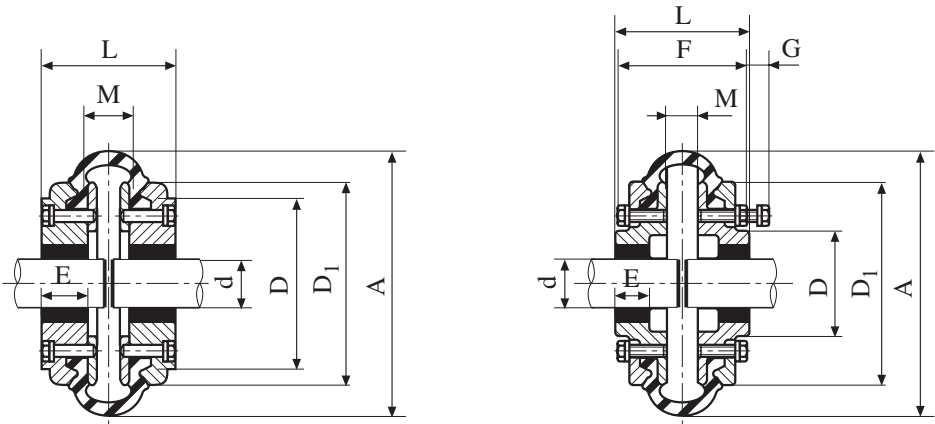
לשאלון 838202, קיץ תשע"ז



Ø 3 × 14	פל' כסף	1	פין קצר	8
	SAE 1020	1	כיפת הידוק	7
	SAE 1060	1	תותב	6
M 10 × 1	SAE 1040	1	בורג	5
Ø 3 × 20	פל' כסף	1	פין ארוך	4
	SAE 1040	1	ראש בורג	3
	SAE 1040	1	ידית הידוק	2
	SAE 1040	1	גוף הקליבה	1
מידות	חומר	כמות	שם החלק	מספר חלק
קליבה			שם:	קנ"מ: 1:1

נספח ג': מצמדים בעלי שרוול גומי

לשאלון 838202, קיץ תשע"ז



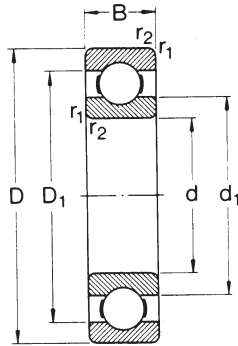
המצמד (Size)	מהירות מרבית rpm	מומנט M_e Nm		קוטר d (מרבי של הגל) mm	A	D_1	D	E	F
		רגיל	מרבי						
F 40	4500	20	65	25	104	82	-	22	-
F 50	4500	55	160	32	133	100	79	25	-
F 60	4000	105	320	42	165	125	103	25	-
F 70	3600	160	490	42	187	144	78	25	100
F 80	3100	255	760	50	211	167	96	32	108
F 90	3000	365	1100	60	235	188	110	45	120
F 100	2600	505	1510	60	254	216	125	45	124
F 110	2300	710	2100	60	279	233	134	45	124
F 120	2050	1180	3500	75	314	264	148	51	134
F 140	1800	1880	5600	90	359	311	185	89	146
F 160	1600	3100	9400	100	402	345	200	102	156

נספח ד' (לשאלה 6): מסבים רדיאליים כדוריים

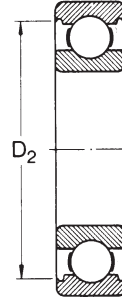
לשאלון 838202 , קיץ תשע"ז

المُلحق "د" (للسؤال 6) : رومبيلان رادياليان كرويّان

للتّموذج 838202 ، صيف 2017



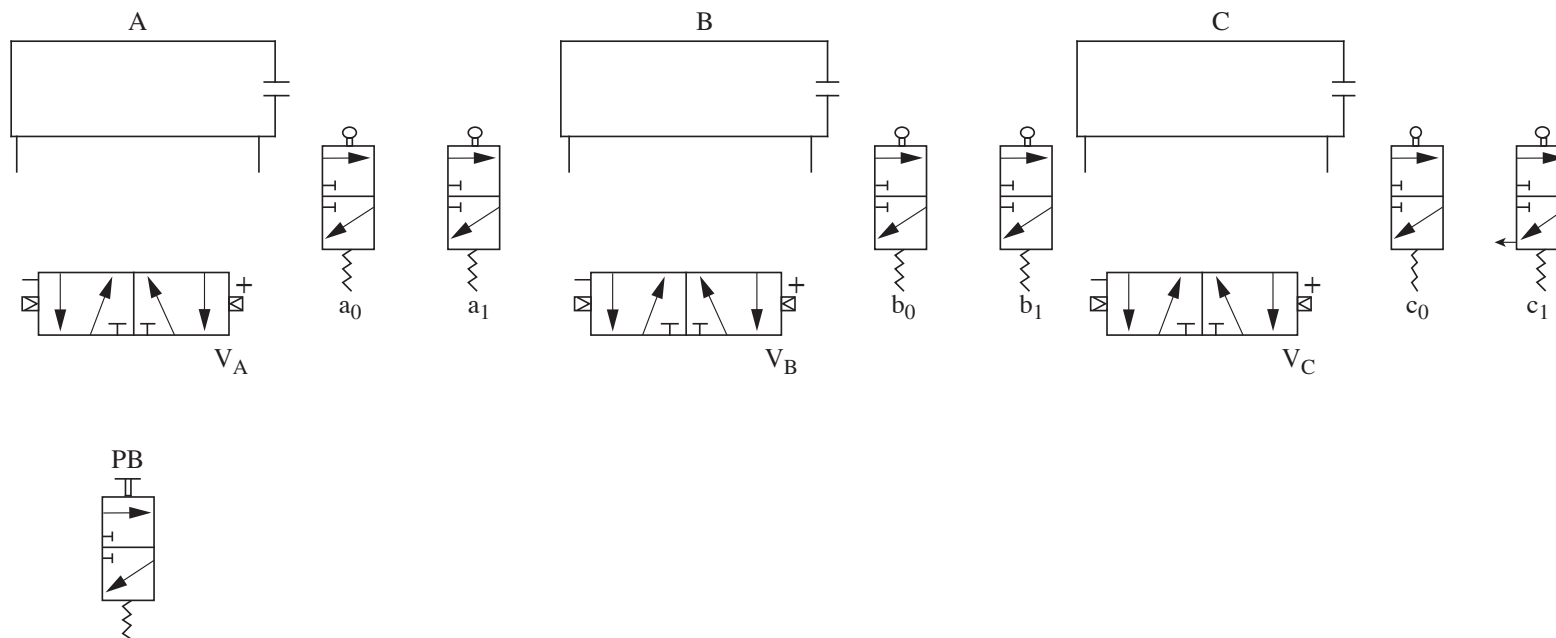
With full outer ring shoulders



With recessed outer ring shoulders

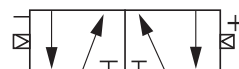
Principal dimensions			Basic load ratings		Fatigue load limit P_u	Speed ratings		Mass	Designation
d	D	B	dynamic C	static C_0		Lubrication grease	oil		
mm			N		N	r/min		kg	
35	47	7	4 750	3 200	166	13 000	16 000	0,030	61807
	55	10	9 560	6 200	290	11 000	14 000	0,080	61907
	62	9	12 400	8 150	375	10 000	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

מקום ללصقة המمتחן
 Papanafan



I

II



מדינת ישראל

משרד החינוך

סוג הבחינה: בגרות לבתי-ספר על-יסודיים
מועד הבחינה: קיץ תשע"ז, 2017
סמל השאלון: 838202

دولة إسرائيل

وزارة التربية والتعليم

نوع الامتحان: بچروت للمدارس الثانوية
موعد الامتحان: صيف 2017
رقم النموذج: 838202

אין להעביר את הנוסחאון
לנבחן אחר

يُمنع نقل ورقة القوانين هذه
إلى أي مُمتَحِنٍ 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	$v \cong \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60 \times 1000}$
[m/sec]	מסתובב	
F	- כוח	$M = L \times F$
[N]		
M	- מומנט סיבוב	$\tau_t = \frac{M_t}{Z_o} \leq [\tau_t]$
[Nmm]		
L	- זרוע הסיבוב	לחתך עגול מלא:
[mm]		$Z_o \cong 0.2 d^3$
τ	- מאמץ הפיתול בחתך המפותל	$M_t = 9,550,000 \frac{P}{n}$
[MPa]		$I_o \cong 0.1 d^4$
$[\tau]$	- מאמץ הפיתול המותר	לחתך עגול חלול:
M_t	- מומנט הפיתול	$Z_o \cong \frac{0.2(D^4 - d^4)}{D}$
[Nmm]		$\varphi = \frac{M_t \cdot L}{G \cdot I_o} \frac{180}{\pi}$
Z_o	- מומנט התנגדות (מודול חתך) קוטבי	$[\tau_t] = 0.7[\sigma_t]$
[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]		

4. כפיפה

σ_b	- מאמץ כפיפה, ביחס לציר x	$\sigma_b = \frac{M_b}{Z_x} \leq [\sigma_b]$
[MPa]		
M_b	- מומנט כפיפה	$M_x = L \times F$
[Nmm]		לחתך מלבני:
Z_x	- מומנט התנגדות (מודול החתך)	$Z_x = \frac{bh^2}{6}$
[mm ³]		לחתך עגול מלא:
[mm]	קוטר	$Z_x = \frac{\pi d^3}{32} \cong 0.1 d^3$
[mm]		
b	- רוחב החתך	$[\sigma_b] = 1.2[\sigma_t]$
[mm]		
h	- גובה החתך	
[mm]		
F	- כוח	
[N]		
L	- זרוע	
[mm]		

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:	

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

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

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

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

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	

$\lambda_y = 100$ - פלדה דלת-פחמן

$\lambda_y = 80$ - פלדת פחמן

כאשר: $\lambda < \lambda_y$ 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

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

7. שגמים

F	- כוח		מאמץ מעיכה:
h	- גובה השגם		$\sigma_{lc \max.} = \frac{F}{0.5 h \times \ell_1}$
ℓ ₁	- אורך יעיל של השגם		מאמץ גזירה:
b	- רוחב השגם		$\tau_s = \frac{F_t}{b \times \ell_1} \leq [\tau_s]$
			$[\tau_s] = 0.6[\sigma_t]$

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]

10. ברגים

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

$$\tan \varphi = \mu$$

בורגי הידוק:

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

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

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

בתברגי 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 [mm^2]

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	-	יחס התמסורת		$i = \frac{z_1}{z_2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{D_1}{D_2}$
[rpm]	n, n ₁ , n ₂	-	מהירות סיבוב של גלגל		
	z, z ₁ , z ₂	-	מספר השיניים בגלגל		
[mm]	m	-	מודול השן		$D = mz = \frac{1}{\pi} z$
[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]	D ₁ , D ₂	-	קוטר הגלגל		
	λ	-	מקדם רוחב הגלגל		$A_1 = \frac{m(z_1 + z_2)}{2}$
[mm]	b	-	רוחב הגלגל		$\lambda = \frac{b}{m}$
[mm]	A	-	המרחק בין צירי הגלגלים		
[mm]	h	-	גובה השן		
[mm]	t	-	פסיעת הגלגל (השיניים)		
[mm]	h ₁	-	גובה ראש השן		$h = h_1 + h_2$
[mm]	h ₂	-	גובה עיקר השן		$h_1 = m$
	f	-	מקדם עומס־יתר		$h_2 = 1.2 m$
	q	-	מקדם מספר השיניים		
[MPa]	[σ]	-	מאמץ מותר לכפיפה		$m = 490^3 \sqrt{\frac{P \cdot f \cdot q}{n \cdot z \cdot \lambda \cdot [\sigma]}}$
[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		$z_{\min} = \frac{2}{\sin^2 \alpha}$

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]

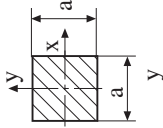
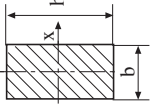
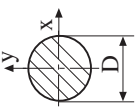
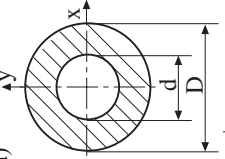
A - מרחק בין מרכזי הגלגלים [m]

D_0 - קוטר חיצוני בגלגל הגדול [m]

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

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

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

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

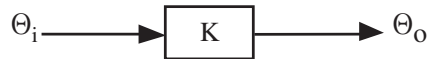
1. הגבר סטטי:

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

2. תמסורת של מלבן בודד:

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

- Θ_o - אות מוצא (תגובה)
- Θ_i - אות מבוא (אילוץ)
- G - פונקציית תמסורת



3. תמסורת של שני מלבנים בטור:

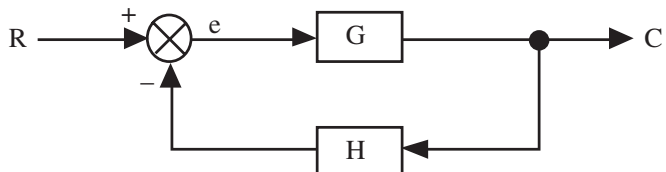
$$\frac{\Theta_o}{\Theta_i} = G_1 G_2$$



4. תמסורת, T, בחוג סגור (עם משוב H):

- R - ערך רצוי
- C - ערך מצוי

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



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!