

מבחן השלמה למגמת הנדסת מכונות

על-תיכונית

מבחן אצלמה

הוראות לנבחנים

- א. משך הבחינה:** שלוש שעות.
- ב. מבנה השאלון ומפתח ההערכה:** בשאלון זה שני פרקים ובהם שבע שאלות. עליכם לענות על שאלה אחת מכל פרק ועל שתי שאלות נוספות לפי בחירתכם, מהשאלון כולו. בסך-הכול יש לענות על ארבע שאלות. לכל שאלה – 25 נקודות. סך הכול – 100 נקודות.
- ג. חומר עזר מותר בשימוש:** כל חומר עזר כתוב בכתב-יד או מודפס על נייר, מחשבון.
- ד. הוראות מיוחדות:**
 1. בטרם תתחילו לענות על השאלות, קראו בעיון את השאלון כולו וודאו שההנחיות בדף השער מובנות לכם.
 2. ענו על השאלות על-פי הסדר הנראה לכם.
 3. ענו על מספר השאלות הנדרש בשאלון. המעריך יקרא ויעריך את מספר התשובות הנדרש בלבד, לפי סדר כתיבתן במחברת, ולא יתייחס לתשובות הנוספות.
 4. בכל שאלה ניתנו הנתונים לפתרונה. אם לדעתכם חסר נתון, הוסיפו אותו על-פי שיקול דעתכם ופתרו בעזרתו את השאלה. כתבו בתשובה את הנתון שהוספתם.
 5. בתשובה על שאלת חישוב, עליכם להציג את שלבי הפתרון באופן מפורט ולהסבירם בקצרה. קבלת מרב הנקודות מותנית במילוי דרישה זו.
 6. בנספח לשאלון מובא נוסחאון במכניקה הנדסית. תוכלו להיעזר בו בעת הצורך.

כתבו במחברת הבחינה בלבד, בעמודים נפרדים, כל מה שברצונכם לכתוב כטייטה (ראשי פרקים, חישובים וכדומה).
כתבו "טייטה" בראש כל עמוד טייטה. כתיבת טייטות כלשהן על דפים שמחוץ למחברת הבחינה עלולה לגרום לפסילת הבחינה!

בשאלון זה 10 עמודים ו-12 עמודי נספח.

השאלות בשאלון זה מנוסחות בלשון רבים,
אף על פי כן על כל תלמידה וכל תלמיד להשיב עליהן באופן אישי.

בהצלחה!

המשך מעבר לדף

השאלות

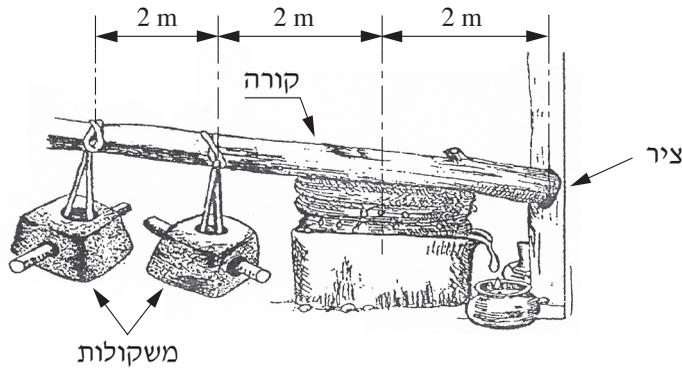
בשאלון זה שני פרקים ובהם שבע שאלות.
עליכם לענות על שאלה אחת מכל פרק ועל שתי שאלות נוספות לפי בחירתכם, מהשאלון כולו.
בסך-הכול יש לענות על ארבע שאלות.
לכל שאלה – 25 נקודות. סך הכול – 100 נקודות.

פרק ראשון: סטיקה, חוזק חומרים ופרקי מכונות

ענו על שאלה אחת לפחות מהפרק הראשון.

שאלה 1

באיור לשאלה 1 מתואר מתקן עתיק להפקת שמן.

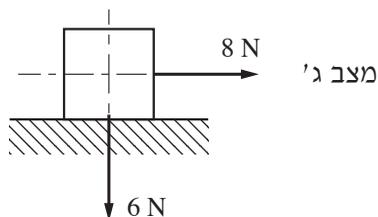
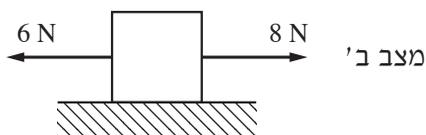
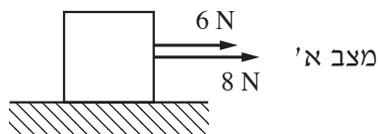


איור לשאלה 1

- 7 נק') א. סרטטו דיאגרמת גוף חופשי של הקורה.
12 נק') ב. חשבו את הכוח שבו נלחצים הזיתים אם משקל כל משקולת הוא 300 N .
6 נק') ג. חשבו את כוח התגובה בנקודת הציר.

שאלה 2

נתון גוף בעל ממדים קטנים ומסה זניחה. הגוף מונח על מישור אופקי **חסר חיכוך**. באיור לשאלה 2 מתוארים שלושה מצבים שבהם מופעלים על הגוף כוחות חיצוניים.



איור לשאלה 2

- א. (8 נק') במצב א' - חשבו והוסיפו קו עם חץ (גודל וכיוון) המתאר בקירוב את הכוח הנוסף הדרוש כדי שהגוף יהיה בשיווי משקל.
- ב. (8 נק') במצב ב' - חשבו והוסיפו קו עם חץ (גודל וכיוון) המתאר בקירוב את הכוח הנוסף הדרוש כדי שהגוף יהיה בשיווי משקל.
- ג. (9 נק') במצב ג' - חשבו והוסיפו קו עם חץ (גודל וכיוון) המתאר בקירוב את הכוח הנוסף הדרוש כדי שהגוף יהיה בשיווי משקל.

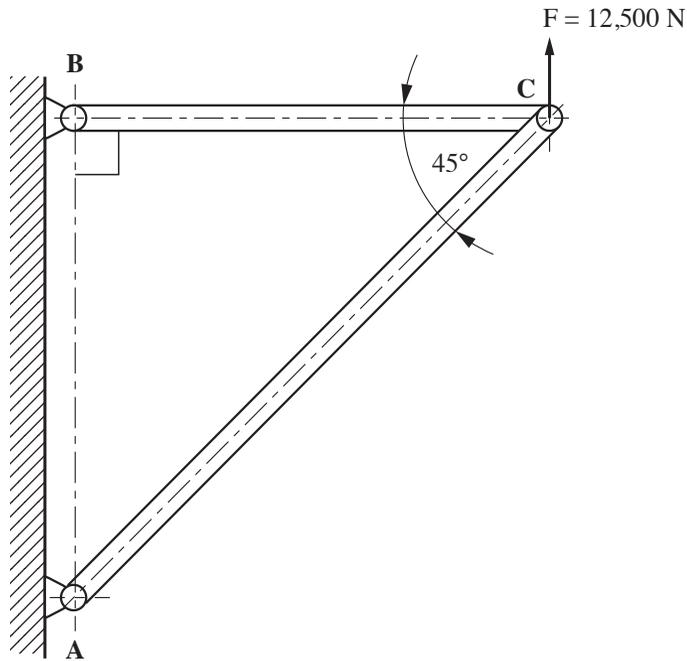
שאלה 3

באיור לשאלה 3 מתואר מבנה קשיח, ACB, לשני המוטות AC ו-BC חתך אחיד לכל אורכם. המבנה נתמך אל קיר אנכי באמצעות הסמכים A ו-B. בנקודה C הגוף נמשך בכוח $F = 12,500 \text{ N}$. שטח החתך של כל אחד מהמוטות: $A = 40 \text{ mm}^2$

נתונים:

מאמץ מותר למתיחה: $[\sigma_t] = 80$

מאמץ מותר ללחיצה: $[\sigma_{lc}] = 80$



איור לשאלה 3

א. (7 נק') סרטטו במחברת דג"ח (דיאגרמת גוף חופשי) של נקודה C.

ב. (18 נק')

1. חשבו את הכוחות הפועלים במוטות AC ו-BC.

2. קבעו איזה סוג מאמץ פועל בכל אחד מהמוטות. נמקו את הקביעה.

3. בדקו האם המוטות עומדים בתנאי החוזק.

שאלה 4

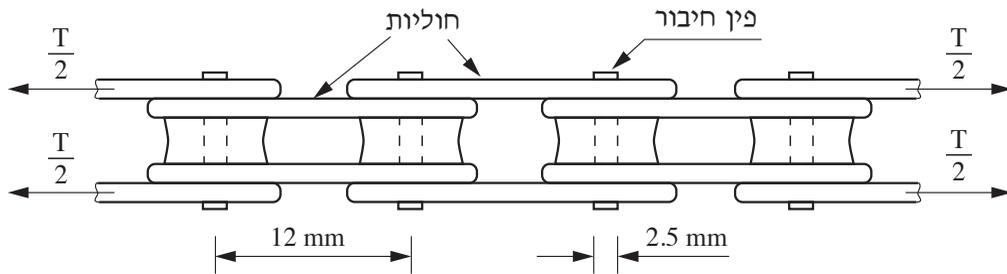
באיור לשאלה 4 מתוארת שרשרת המורכבת ממספר חוליות.

$T = 300\text{ N}$ כוח המתיחה הפועל על השרשרת:

$d = 3\text{ mm}$ קוטר פין חיבור החוליות:

$[\tau_s] = 210\text{ MPa}$ מאמץ מותר לגזירה לחומר הפין:

$[\sigma_c] = 350\text{ MPa}$ מאמץ מותר ללחיצה:



איור לשאלה 4

א. (14 נק') חשבו את מאמצי הגזירה והמעיקה המתפתחים בפניי החיבור.

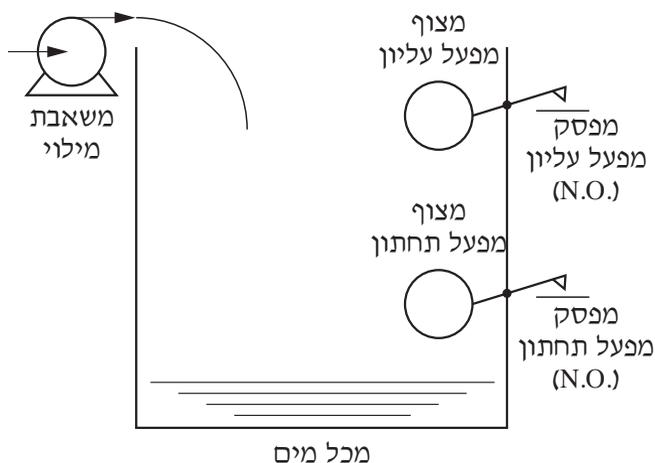
ב. (11 נק') האם הפין יעמוד בדרישות תנאי החוזק לגזירה ולמעיקה? נמקו את התשובה.

פרק שני: לוגיקה, מערכות מיכון ובקרה

ענו על שאלה אחת לפחות מהפרק השני.

שאלה 5

באיור לשאלה 5 מתוארת מערכת למילוי מים במכל.



איור לשאלה 5

- (7 נק') א. העתיקו למחברת את ההיגד הנכון, ונמקו את בחירתכם.
1. משאבת המילוי תופעל רק אם שני המפסקים יהיו לחוצים.
 2. משאבת המילוי תופעל רק אם המפסק התחתון יהיה לחוץ.

י. (18 נק') ב. ירי ממוטוס מתבצע באחת משתי דרכים:

1. ירי אוטומטי, כאשר המטוס באוויר וקיימת נעילת מכ"ם.
2. ירי ידני, כאשר המטוס באוויר והטייס לוחץ על ההדק.

נגדיר את המשתנים הלוגיים:

מצב המשתנה		המשתנה
מטוס באוויר	מטוס על הקרקע	X
יש נעילת מכ"ם	אין נעילת מכ"ם	Y
הטייס לוחץ על ההדק	הטייס לא לוחץ על ההדק	Z
מתבצע ירי	לא מתבצע ירי	T

בטבלת האמת מתוארים שמונה מצבים אפשריים לביצוע ירי מהמטוס.

העתיקו את הטבלה למחברת, והשלימו את הערכים הלוגיים בעמודה T.

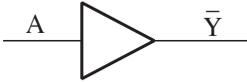
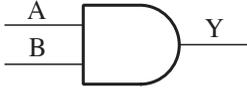
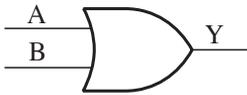
מצב	x	y	z	T
0	0	0	0	
1	0	0	1	
2	0	1	0	
3	0	1	1	
4	1	0	0	
5	1	0	1	
6	1	1	0	
7	1	1	1	

שאלה 6

א. (13 נק') להלן תיאור סימבולי תקני של שלושה שערים לוגיים:

1. העתיקו למחברת ומלאו את טבלת האמת של כל שער.

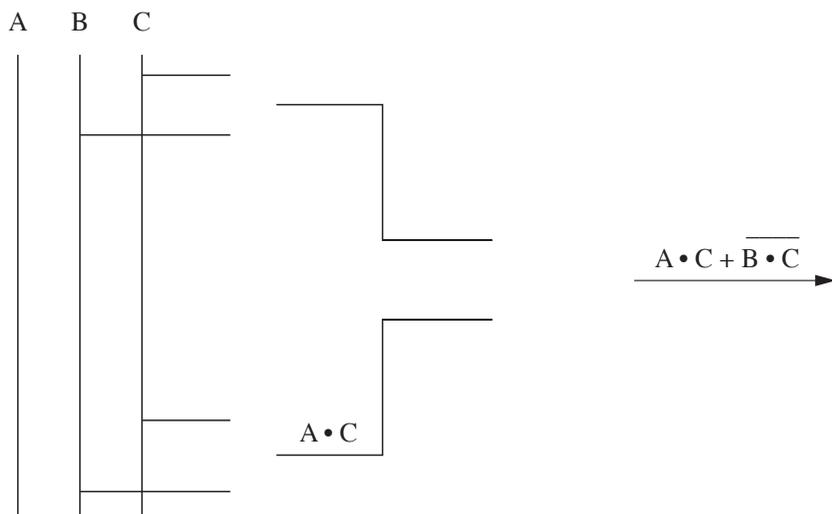
הסבירו מהו כל אחד מהשערים, והביאו דוגמה **אחת** מחיי היום-יום שבה שער לוגי כזה יכול להיות מיושם באופן הנדסי או טכנולוגי.

סימול תקני	טבלת אמת	הסבר מילולי ודוגמה															
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>\bar{Y}</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> </tr> </tbody> </table>	A	\bar{Y}														
A	\bar{Y}																
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>$Y = A \cdot B$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </tbody> </table>	A	B	$Y = A \cdot B$													
A	B	$Y = A \cdot B$															
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>$Y = A + B$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </tbody> </table>	A	B	$Y = A + B$													
A	B	$Y = A + B$															

נתון הביטוי הלוגי: **ב. (12 נק')**

$$D = AC + \overline{BC}$$

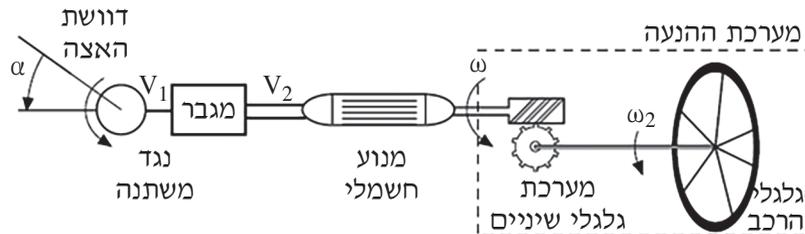
העתיקו למחברת את התרשים הלוגי הנתון באיור לשאלה 6, והשלימו אותו באמצעות שלושת הסמלים התקינים.



איור לשאלה 6

שאלה 7

באיור לשאלה 7 מתוארת מערכת המבקרת את קצב הסיבוב של הגלגלים בכלי רכב חשמלי. ההתנגדות של הנגד משתנה ביחס ישר לזווית ההסטה של דוושת ההאצה של כלי הרכב.



איור לשאלה 7

- א. (6 נק') קבעו אם מערכת הבקרה המתוארת באיור פועלת בחוג בקרה פתוח או בחוג בקרה סגור. הסבירו.
- ב. (10 נק') סרטטו תרשים מלבנים של המערכת:
1. (5 נק') כתבו בתוך כל מלבן את שם הרכיב שהוא מייצג, ומעל כל חץ כתבו את אות המבוא ואת אות המוצא של כל מלבן בתרשים.
2. (5 נק') כתבו את יחידות המידה ליד האות (או המילים) המתארת את הגודל הפיזיקלי שמייצג את האות.
- ג. (9 נק') האם המערכת המתוארת פועלת בחוג פתוח? אם המערכת פועלת בחוג פתוח, הסבירו איזה רכיב חסר במערכת כדי שתהיה מערכת בקרה סגור. אם המערכת פועלת בחוג סגור, הסבירו.

בהצלחה!

אין להעביר את הנוסחאון
לנבחן אחר

נוסחאון במכניקה הנדסית (12 עמודים)

1. מתיחה – לחיצה

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

2. גזירה ומעיכה

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

3. פיתול ותנועה סיבובית

[m/sec]	מהירות היקפית של מעגל מסתובב	-	v	$v \cong \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60 \times 1000}$
[N]	כוח	-	F	$M = L \cdot F$
[Nmm]	מומנט סיבוב	-	M	$\tau_t = \frac{M_t}{Z_o} \leq [\tau_t]$
[mm]	זרוע הסיבוב	-	L	לחתך עגול מלא:
[MPa]	מאמץ הפיתול בחתך המפותל	-	τ	$Z_o \cong 0.2 d^3$
[MPa]	מאמץ הפיתול המותר	-	$[\tau]$	$M_t = 9,550,000 \frac{P}{n}$
[Nmm]	מומנט הפיתול	-	M_t	$I_o \cong 0.1 d^4$
[mm ³]	מומנט התנגדות (מודול חתך) קוטבי	-	Z_o	לחתך עגול חלול:
[mm ⁴]	מומנט התמד קוטבי	-	I_o	$Z_o \cong \frac{0.2(D^4 - d^4)}{D}$
[mm]	קוטר; קוטר פנימי	-	d	$\varphi = \frac{M_t \cdot L}{G \cdot I_o} \frac{180}{\pi}$
[kW]	הספק	-	P	$[\tau_t] = 0.7[\sigma_t]$
[rpm]	מהירות סיבוב	-	n	
[mm]	קוטר חיצוני	-	D	
[deg]	זווית פיתול	-	φ	
[MPa]	מודול זיחה	-	G	

4. כפיפה

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

b - הממד המקביל למישור הנייטרלי [mm]

h - הממד הניצב למישור הנייטרלי [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]

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

E - מודול האלסטיות של החומר [MPa]

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

I_{\min} - מומנט ההתמד הצירי המינימלי של חתך המוט [mm⁴]

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

L - אורך המוט [mm]

μ - מקדם האורך התלוי בשיטת הריתום של המוט:

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

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: $\mu = 2/3$

$\lambda_y = 100$ - פלדה דלת-פחמן

$\lambda_y = 80$ - פלדת פחמן

כאשר: $\lambda_y < \lambda_{קייס}$,

נדרש להשתמש בנוסחה:

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

i_{\min} - רדיוס ההתמד (אינרציה) המינימלי [mm]

A - שטח החתך [mm²]

$[F]_p$ - הכוח המותר בקריסה [N]

K - מקדם הבטיחות בקריסה

פלדה דלת-פחמן: $a = 310$ MPa

$b = 1.14$ MPa

פלדת פחמן: $a = 589$ MPa

$b = 3.82$ MPa

6. מסמרות; פינים

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

7. שגמים

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

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 במיליוני סיבובים
[mil · rev]			
	-	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 החלקה
[mm]			
	-	ℓ	אורך מסב החלקה
[mm]			
	-	F	הכוח הפועל על מסב החלקה
[N]			
	-	n	מהירות סיבוב
[rpm]			
	-	v	מהירות קווית
[m/s]			
	-	[pv]	מכפלת התחממות מותרת
[MPa · $\frac{m}{s}$]			

קפיצים .9

[MPa]	מודול האלסטיות לגזירה	-	G	$C = \frac{F}{\Delta f}$
[mm]	קוטר התיל	-	d	לקפיץ בורגי בעל חתך עגול:
[mm]	קוטר ממוצע של הקפיץ	-	D	$C = \frac{G \cdot d^4}{8 D^3 \cdot n}$
	מקדם תיקון המאמץ	-	K	
	מספר הכריכות הפעילות של הקפיץ	-	n	$\tau_{e \max} = K \frac{8 F_{\max} D}{\pi d^3} \leq [\tau_t]$
[N]	העומס החיצוני על הקפיץ	-	F	
[mm]	מידת שקיעת הקפיץ	-	Δf	לקפיץ בורגי בעל חתך מלבני
[N/mm]	קבוע הקפיץ	-	C	או לקפיץ עלה הרתום בצד אחד:
[mm]	אורך הקפיץ (עלה)	-	ℓ	$\sigma_b = \frac{6 F \ell}{b \times t^2}$
[mm]	רוחב הקפיץ (עלה)	-	b	
[mm]	עובי הקפיץ (עלה)	-	t	$\Delta f = \frac{4 F \ell^3}{b t^3 E} = \frac{F \ell^3}{3 E I}$
[MPa]	מודול האלסטיות	-	E	$W = \frac{\Delta f}{2}$
[mm ⁴]	מומנט התמד צירי של החתך	-	I	
[Nmm]	עבודה	-	W	$n = \frac{\Delta f \cdot G \cdot d^4}{8 F \cdot D^3}$
	מקדם בטיחות	-	s	לקפיץ מוט פיתול:
[MPa]	מאמץ כפיפה	-	σ_b	$[\tau_t] = \frac{0.6 \sigma_y}{s}$
[MPa]	מאמץ גבול הכניעה	-	σ_y	
[MPa]	מאמץ מותר לפיתול	-	$[\tau_t]$	$M_{t \max} = [\tau_t] \cdot Z_o$
[MPa]	מאמץ שקול מרבי בחתך התיל	-	$\tau_{e \max}$	
[mm ³]	מודול החתך לפיתול (קוטבי) (מומנט התנגדות לפיתול)	-	Z_o	$\varphi_{\text{rad}} = \frac{M_t \cdot L}{G \cdot I_o}$
[Joule]	אנרגיה אלסטית בקפיץ	-	$U_{e \ell}$	$W = U_{e \ell} = \frac{M_t \cdot \varphi_{\text{rad}}}{2}$
[mm]	אורך המוט	-	L	
[Nm]	מומנט פיתול	-	M_t	
[mm ⁴]	מומנט התמד קוטבי	-	I_o	
[רדיאנים]	זווית הפיתול	-	φ_{rad}	

10. ברגים

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

11. מצמידים

			$F_f = \mu Q$
[N]	כוח חיכוך כתוצאה מהידוק בורג אחד במצמד	F_f	
	מקדם חיכוך	μ	
[Nm]	מומנט כתוצאה מכוחות החיכוך	M_f	$M_f = i \cdot F_f \cdot \frac{D_f}{2}$
	מספר הברגים	i	
[mm]	קוטר מעגל החלוקה שעליו הברגים ממוקמים	D_f	
[Nm]	מומנט הסיבוב המועבר בתנועה סיבובית	M_t	$M_t = 9550 \frac{P}{n}$
[kW]	הספק	P	
[rpm]	מהירות סיבוב	n	
[N]	כוח צירי בבורג	Q	

12. גלים

[Nm]	מומנט מורכב	M_e	$M_e = \sqrt{M_b^2 + M_t^2}$
[Nm]	מומנט כפיפה	M_b	
[Nm]	מומנט פיתול	M_t	$\sigma_e = \frac{M_e}{Z_b} \leq [\sigma_t]$
[MPa]	מאמץ מורכב	σ_e	
[mm ³]	מומנט התנגדות (מודול החתך) לכפיפה	Z_b	

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		
	-	m	-	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		$m = 490 \sqrt[3]{\frac{P \cdot f \cdot q}{n \cdot z \cdot \lambda \cdot [\sigma]}}$
[MPa]	-	$[\sigma]$	-	מאמץ מותר לכפיפה		
[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		$M_t = 9550 \frac{P}{n}$
[deg]	-	α	-	זווית הלחץ		
	-	z_{min}	-	מספר שיניים מינימלי (שן תקנית)		$F_t = F \cos \alpha = \frac{2 M_t}{m z}$
[kW]	-	P	-	הספק מועבר על־ידי הגלגלים		
[Nm]	-	M_t	-	מומנט מועבר		$z_{min} = \frac{2}{\sin^2 \alpha}$

בגל כוכב:

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

14. רצועות

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

נוסחאות בבקרה

1. הגבר סטטי:

$$K = \frac{\Delta\theta_o}{\Delta\theta_i} = \frac{\text{שינוי בתגובה}}{\text{שינוי באילוץ}}$$

2. תמסורת של מלבן בודד:

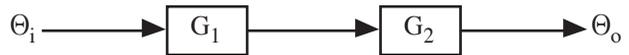
- θ_o - אות מוצא (תגובה)
- θ_i - אות מבוא (אילוץ)
- G - פונקציית תמסורת

$$\frac{\theta_o}{\theta_i} = G$$



3. תמסורת של שני מלבנים בטור:

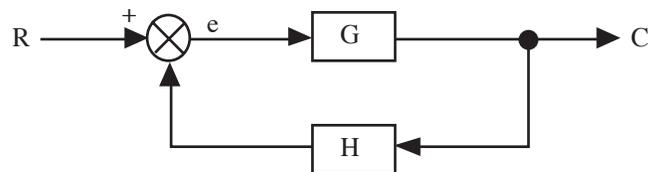
$$\frac{\theta_o}{\theta_i} = G_1 G_2$$



4. תמסורת, T, בחוג סגור (עם משוב H):

- R - ערך רצוי
- C - ערך מצוי

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



בהצלחה!