

סוג הבחינה: בגרות לבתי-ספר על-יסודיים

מועד הבחינה: קיץ תשפ"א, 2021

סמל השאלון: 838282

נספחים: א. דף תשובות לשאלה 1

ב. לשאלה 1 - מתקן

קידוח בדסקה

ג. לשאלה 3 - טבלת מסבים

רדיאליים כדוריים

נוסחאון במכניקה הנדסית

מכניקה הנדסית - מוגבר

הוראות לנבחן

א. משך הבחינה: שלוש שעות.

ב. מבנה השאלון ומפתח ההערכה: בשאלון זה שלושה פרקים ובהם שש שאלות. עליך לענות על ארבע שאלות על-פי בחירתך מכל השאלון. לכל שאלה - 25 נקודות, סה"כ - 100 נקודות.

ג. חומר עזר מותר לשימוש: כלי סרטוט, מחשבון.

ד. הוראות מיוחדות:

1. בטרם תתחיל לענות על השאלות, קרא בעיון את כל השאלון וודא שההנחיות בדף השער מובנות לך היטב.
2. ענה על מספר השאלות הנדרש בשאלון. המעריך יקרא ויעריך את מספר התשובות הנדרש בלבד, לפי סדר כתיבתן במחברתך, ולא יתייחס לתשובות נוספות.
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.
5. לנוחיותך, בנוסחאון מובאות חלק מן הנוסחאות הדרושות לפתרון השאלות.

הוראות למשגיח:

בתום הבחינה יש לוודא שהנבחן הדביק את מדבקת הנבחן שלו במקום המיועד לכך בנספח א', והידק אותו למחברת הבחינה שלו.

בשאלון זה 9 עמודים ו-17 עמודי נספחים.

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

בהצלחה!

המשך מעבר לדף

השאלות

בשאלון זה שלושה פרקים ובהם שש שאלות.
עליך לענות על ארבע שאלות לפי בחירתך, מכל השאלון (לכל שאלה – 25 נקודות).

פרק ראשון: הבנת סרטוט הרכבה

שאלה 1

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

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

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

1. ריבוע
2. גליל
3. כדור
4. משושה

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

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

(3 נק') ג. החרץ בדסקת ההידוק (חלק 4) נועד לאפשר:

1. שחרור נוח של בורג ההידוק (חלק 5).
2. שימוש בדסקית קפיצית (חלק 6).
3. שחרור דסקת ההידוק (חלק 4) והעובד ללא הוצאת בורג ההידוק (חלק 5).
4. העברת כוח ההידוק מבורג ההידוק (חלק 5) לדסקת ההידוק (חלק 4) ולעובד.

(2 נק') ד. איזה טיפול תרמי יש לבצע לתותב הקידוח (חלק 2) כדי להקטין את שחיקתו?

1. חיסום
2. ריפוי
3. הרפיה
4. צימנוט

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

1. להדק בכוח גדול את בורג ההידוק (חלק 5)
2. להדק במהירות את בורג ההידוק (חלק 5)
3. למנוע פתיחה עצמית של בורג ההידוק (חלק 5)
4. לאפשר שחרור מהיר של בורג ההידוק (חלק 5)

(3 נק') ו. לאילו מאמצים נתון הקנה של בורג ההידוק (חלק 5) בעת הידוק העובד?

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

(3 נק') ז. כמה קדחים ניתן לקדוח בעובד בהידוק אחד?

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

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

1. (3 נק') השלם בסרטוט את הקווים החסרים: קווי תבריג וקווי החתך.
2. (3 נק') הוסף לסרטוט את קווי המידה של המידות המגדירות את התבריג, ללא ערכים מספריים.

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

פרק שני: פרקי מכונות

שאלה 2

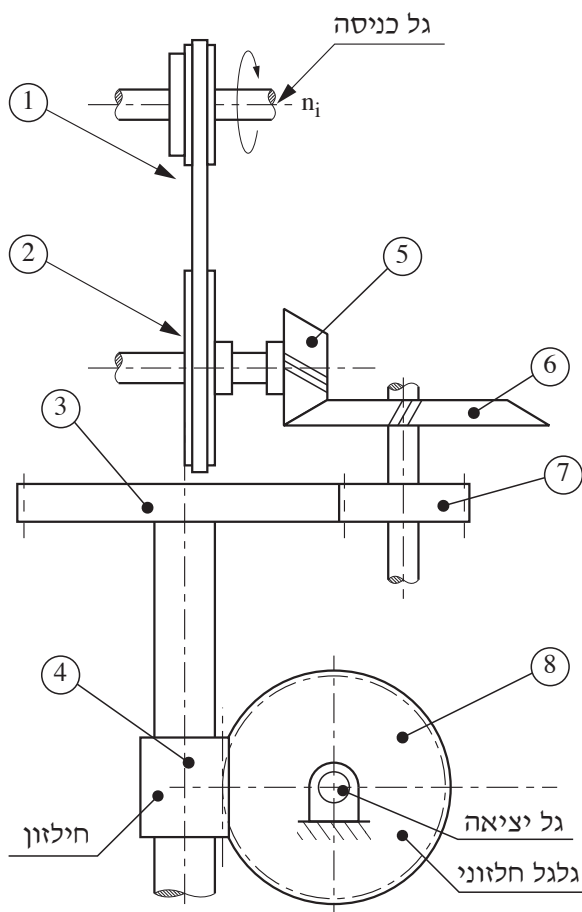
באיור לשאלה זו מתוארת ממסרה המורכבת מהרכיבים האלה:

גלגל 1 וגלגל 2 – ממסרת רצועה טריזית

גלגל 5 וגלגל 6 – ממסרת גלגלי שיניים קוניים

גלגל 7 וגלגל 3 – ממסרת גלגלי שיניים בעלי שיניים ישרות

חלק 4 וגלגל 8 – ממסרת חלזונית



איור לשאלה 2

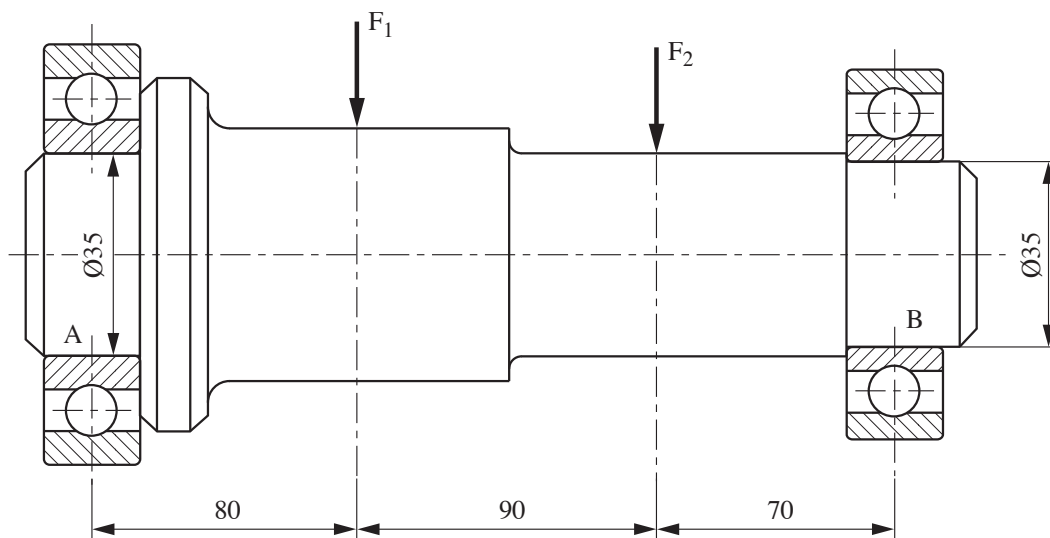
נתונים:

- המומנט בכניסה לממסרה: $M_t = 50 \text{ Nm}$
- ההספק בכניסה לממסרה: $P_{in} = 20 \text{ kW}$
- מהירות הסיבוב ביציאה מן הממסרה: $n_{out} = 38.2 \text{ rpm}$
- הקוטר של גלגל 1: $D_1 = 50 \text{ mm}$
- הקוטר של גלגל 2: $D_2 = 100 \text{ mm}$
- מספר השיניים בגלגל 5: $Z_5 = 20$
- מספר השיניים בגלגל 6: $Z_6 = 40$
- מספר השיניים בגלגל 7: $Z_7 = 25$
- מספר התחלות השיניים בחלק 4: $Z_4 = 2$
- מספר השיניים בגלגל 8: $Z_8 = 25$
- נצילות הממסרה: $\eta = 0.45$

- (7 נק') א. חשב את מהירות הסיבוב של גל הכניסה לממסרה, n_{in} .
- (6 נק') ב. חשב את יחס התמסורת, i , של כל הממסרה.
- (6 נק') ג. חשב את מספר השיניים בגלגל 3.
- (6 נק') ד. חשב את ההספק, P_{out} , של גל היציאה.

שאלה 3

באיור לשאלה זו מתואר גל הנסמך על שני מסבים רדיאליים כדוריים. הנח שהמסבים הם סמכים נקודתיים בנקודות A ו-B. על הגל פועלים שני כוחות: $F_1 = 6 \text{ kN}$ ו- $F_2 = 3 \text{ kN}$. שני כוחות אלה פועלים במאונך לציר הגל. אורך החיים הנדרש למסבים הוא: $L = 200 [\text{mil} \cdot \text{rev}]$. כל המידות באיור נתונות במילימטרים.



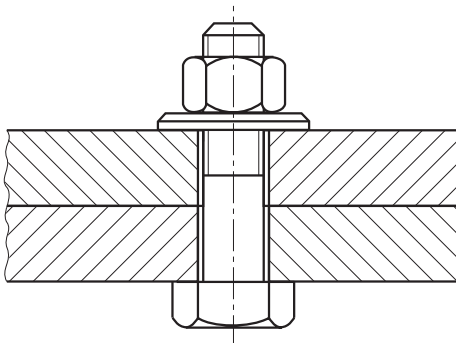
איור לשאלה 3

- 8 נק') א. חשב את התגובות במסבים.
- 12 נק') 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 ג'.
- 5 נק') ג. הסימון (Designation) של המסב שנבחר לנקודה B הוא 6207. כתוב את הנתונים האלה של המסב על-פי נספח ג':

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 4

באיור לשאלה זו מתוארים שני לוחות המחוברים זה לזה באמצעות בורג הידוק.



איור לשאלה 4

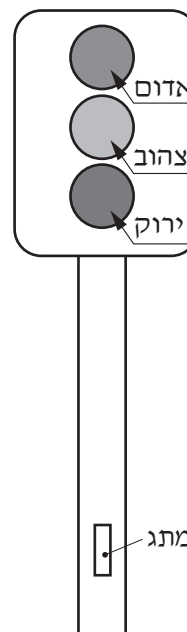
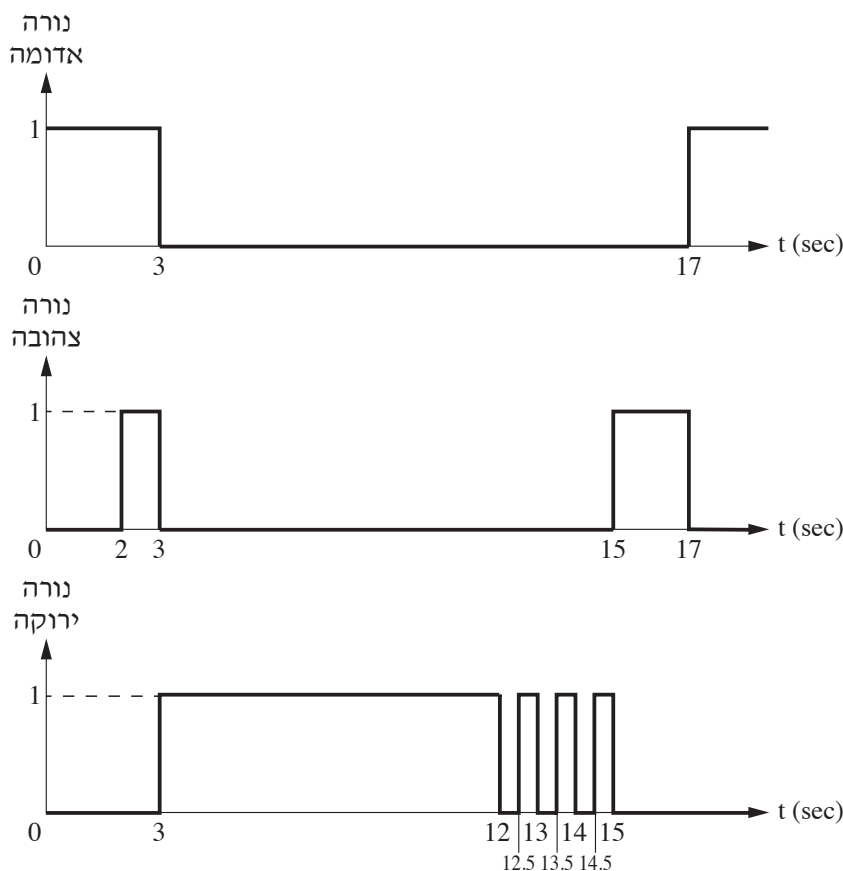
נתונים:

- הבורג בעל תבריג M12
 - קוטר לב הבורג הוא 10.8 mm
 - מאמץ הכניעה של חומר הבורג הוא $\sigma_y = 400 \text{ MPa}$
 - מקדם הבטיחות הוא $s = 3$
- (9 נק') א. חשב את המאמץ המותר בבורג.
- (8 נק') ב. חשב את שטח החתך של הבורג.
- (8 נק') ג. חשב את כוח המתיחה המרבי שיכול לפעול בבורג.

פרק שלישי: בקרים מתוכנתים

שאלה 5

באיור א' לשאלה זו מתוארת מערכת לבקרת רמזור. המערכת כוללת מתג הפעלה, נורה אדומה, נורה צהובה, נורה ירוקה ובקר. הבקר אינו מתואר באיור. באיור ב' לשאלה זו נתונים שלושה גרפים המתארים את מצבי כל הנורות במשך מחזור אחד של פעולת הרמזור. מצב '1' – נורה דולקת, מצב '0' – נורה כבויה. הפעלת המתג מתחילה את מחזור הפעולה של הרמזור.



איור ב' לשאלה 5

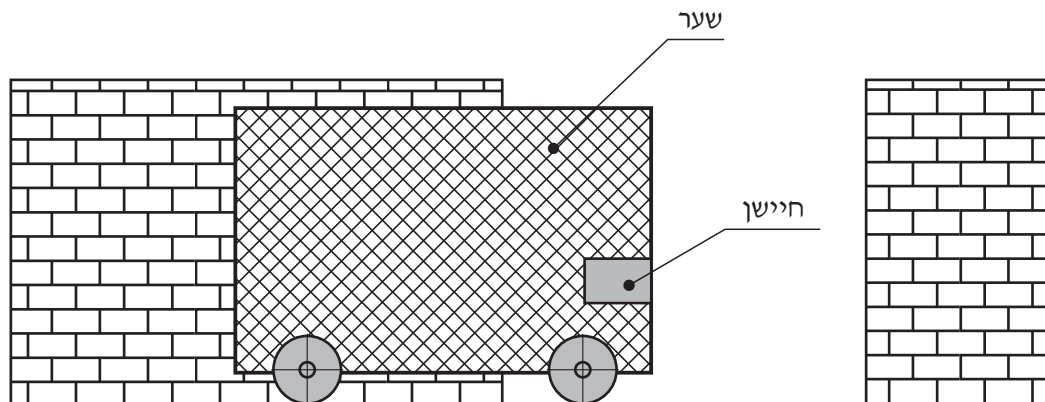
איור א' לשאלה 5

10 נק') א. כתוב טבלת קלט-פלט של המערכת.

15 נק') ב. סרטט דיאגרמת סולם לבקרה של פעולת הרמזור, עבור מחזור אחד. שפת התכנות נתונה לבחירתך.

שאלה 6

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



איור לשאלה 6

רכיבי המערכת:

- לחצן, PB_1 , המשמש לפתיחת השער (לא מתואר באיור)
- לחצן, PB_2 , המשמש לסגירת השער (לא מתואר באיור)
- חיישן עם מגע פנימי רגיל-פתוח (N.O.), הנסגר כאשר מתגלה אדם באזור הגילוי של החיישן
- מנוע דו-כיווני הפותח או הסוגר את השער (לא מתואר באיור)

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.
- 10 נק')** א. כתוב שם של בקר מתוכנת המתאים למערכת, והצג את טבלת הקלט-פלט של הבקר.
- 10 נק')** ב. סרטט דיאגרמת סולם לבקר המתוכנת שבחרת, כך שיבקר את פעולת המערכת בהתאם לדרישות.
- 5 נק')** ג. אם השער מגיע לקצה המסילה בעת פתיחתו וממשיכים ללחוץ על לחצן הפתיחה, השער יכול לרדת מהמסילה. הצע שינוי במערכת, אשר יגרום להפסקת התנועה של השער במצב זה.

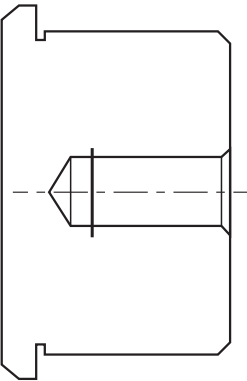
בהצלחה!

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

תשובות לשאלה 1

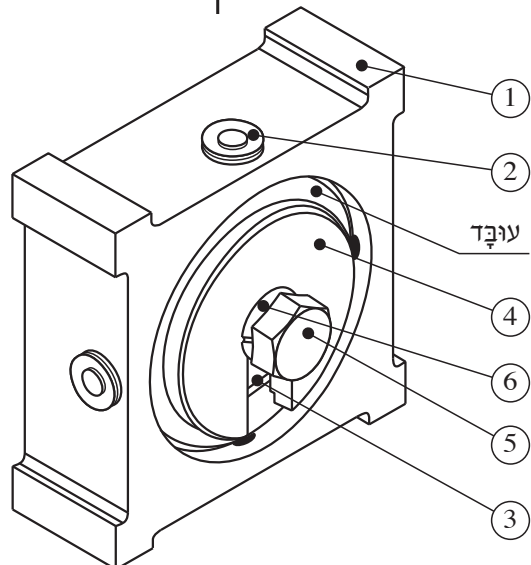
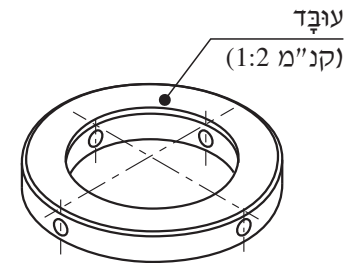
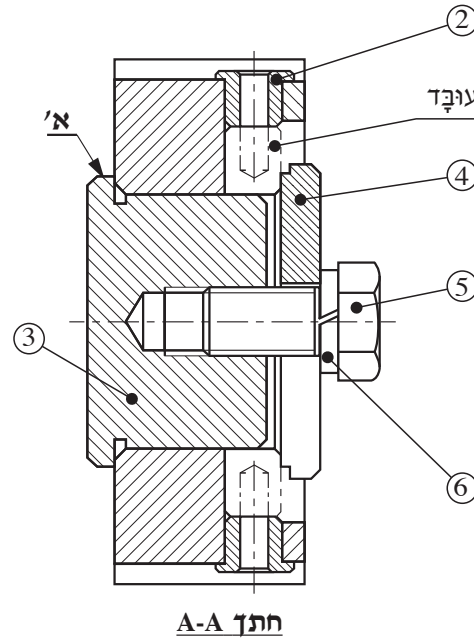
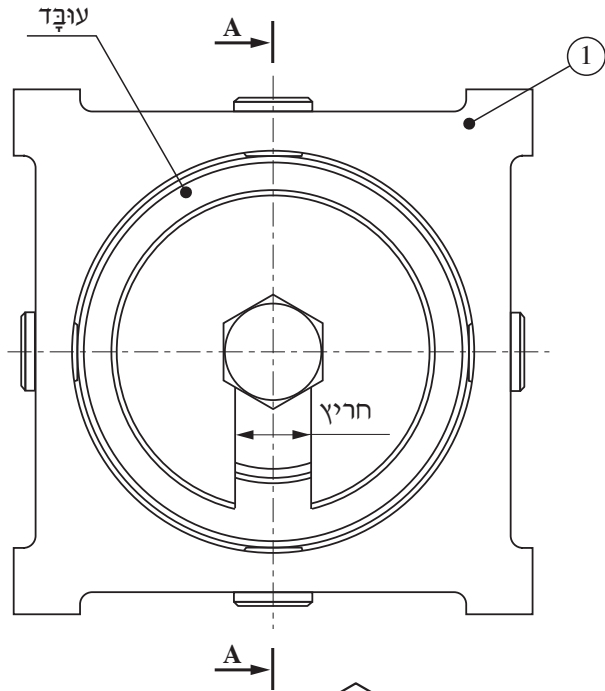
סעיף א'	1	2	3	4
סעיף ב'	1	2	3	4
סעיף ג'	1	2	3	4
סעיף ד'	1	2	3	4
סעיף ה'	1	2	3	4
סעיף ו'	1	2	3	4
סעיף ז'	1	2	3	4

סעיף ח' (קנ"מ 1:1):



נספח ב' לשאלה 1 – מתקן קידוח בִּדְסָקָה

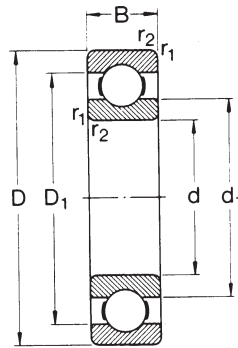
לשאלון 838282, קיץ תשפ"א



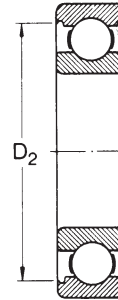
פלדה קפיצית	1	דסקית קפיצית	6
פלדה SAE 1040	1	בורג הידוק M 12	5
פלדה SAE 1040	1	דסקת הידוק	4
פלדה SAE 1040	1	מחזיק העוגד	3
פלדה SAE 1080	4	תותב קידוח	2
פלדה SAE 1060	1	בסיס המתקן	1
חומר	כמות	שם החלק	חלק מספר
קנה מידה: 1:1		מתקן קידוח בִּדְסָקָה	

נספח ג' לשאלה 3: טבלת מסבים רדיאליים כדוריים

לשאלון 838282, קיץ תשפ"א



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	static		Lubrication grease	oil		
mm			N	C_0	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

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

σ_y	–	מאמץ גבול הכניעה	[MPa]
$\sigma_t = \frac{\sigma_y}{s}$			
s	–	מקדם בטיחות	
$[\sigma_t]$	–	מאמץ מותר	[MPa]
σ_t	–	מאמץ	[MPa]
$\sigma_t = \varepsilon E$			
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]
$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$			
$\Delta L = \frac{FL}{EA}$			

2. גזירה ומעיכה

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

3. פיתול ותנועה סיבובית

v	- מהירות היקפית של מעגל מסתובב	[m/sec]	$v \cong \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60 \times 1000}$
F	- כוח	[N]	$M = L \cdot F$
M	- מומנט סיבוב	[Nmm]	$\tau_t = \frac{M_t}{Z_o} \leq [\tau_t]$
L	- זרוע הסיבוב	[mm]	לחתך עגול מלא:
τ	- מאמץ הפיתול בחתך המפותל	[MPa]	$Z_o \cong 0.2 d^3$
$[\tau]$	- מאמץ הפיתול המותר	[MPa]	$M_t = 9,550,000 \frac{P}{n}$
M_t	- מומנט הפיתול	[Nmm]	$I_o \cong 0.1 d^4$
Z_o	- מומנט התנגדות (מודול חתך) קוטבי	[mm ³]	לחתך עגול חלול:
I_o	- מומנט התמד קוטבי	[mm ⁴]	$Z_o \cong \frac{0.2(D^4 - d^4)}{D}$
d	- קוטר ; קוטר פנימי	[mm]	$\varphi = \frac{M_t \cdot L}{G \cdot I_o} \frac{180}{\pi}$
P	- הספק	[kW]	$[\tau_t] = 0.7[\sigma_t]$
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	[MPa]	$\sigma_b = \frac{M_b}{Z_x} \leq [\sigma_b]$
M_b	- מומנט כפיפה	[Nmm]	לחתך מלבני:
Z_x	- מומנט התנגדות (מודול החתך)	[mm ³]	$M_x = L \cdot F$
d	- קוטר	[mm]	$Z_x = \frac{bh^2}{6}$
b	- רוחב החתך	[mm]	לחתך עגול מלא:
h	- גובה החתך	[mm]	$Z_x = \frac{\pi d^3}{32} \cong 0.1 d^3$
F	- כוח	[N]	$[\sigma_b] = 1.2[\sigma_t]$
L	- זרוע	[mm]	
d	- קוטר	[mm]	

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]
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:	

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

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

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

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

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	

$\lambda_{\gamma} = 100$ - פלדה דלת־פחמן

$\lambda_{\gamma} = 80$ - פלדת פחמן

כאשר: $\lambda < \lambda_{\gamma}$ 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

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

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

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

d	-	קוטר המסמרה/הפין	[mm]
i	-	מספר שטחי הגזירה	
t	-	אורך הקטע הנמעך	[mm]
i ₁	-	מספר שטחי המעיכה	
n	-	מספר המסמרות/הפינים	
A _s	-	השטח הנגזר	[mm ²]
A _{lc}	-	השטח הנמעך	[mm ²]

7. שגמים

מאמץ מעיכה:

$$\sigma_{lc \max.} = \frac{F}{0.5 h \cdot \ell_1}$$

מאמץ גזירה:

$$\tau_s = \frac{F_t}{b \cdot \ell_1} \leq [\tau_s]$$

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

F	-	כוח	[N]
h	-	גובה השגם	[mm]
ℓ ₁	-	אורך יעיל של השגם	[mm]
b	-	רוחב השגם	[mm]

8. מסבים

אורך חיים של מסבי גלגול:

למסב כדורים:

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

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

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

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

$$c_o \approx 1.8 p_o$$

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

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 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

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

10. ברגים

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

$$\tan \varphi = \mu$$

בורגי הידוק:

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

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

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

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

12. גלים

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

13. גלגלי שיניים

i	-	יחס התמסורת	
n, n_1, n_2	-	מהירות סיבוב של גלגל	[rpm]
z, z_1, z_2	-	מספר השיניים בגלגל	
m	-	מודול השן	[mm]
D	-	קוטר מעגל החלוקה	[mm]
D_i	-	קוטר מעגל העיקרים	[mm]
D_e	-	קוטר מעגל הראשים	[mm]
D_1, D_2	-	קוטר הגלגל	[mm]
m	-	מקדם רוחב הגלגל	
b	-	רוחב הגלגל	[mm]
A	-	המרחק בין צירי הגלגלים	[mm]
h	-	גובה השן	[mm]
t	-	פסיעת הגלגל (השיניים)	[mm]
h_1	-	גובה ראש השן	[mm]
h_2	-	גובה עיקר השן	[mm]
f	-	מקדם עומס-יתר	
q	-	מקדם מספר השיניים	
$[\sigma]$	-	מאמץ מותר לכפיפה	[MPa]
F_t	-	כוח היקפי לגלגל שיניים	[N]
F	-	כוח שילוב בין גלגלי השיניים	[N]
α	-	זווית הלחץ	[deg]
$z_{\min}$	-	מספר שיניים מינימלי (שן תקנית)	
P	-	הספק מועבר על-ידי הגלגלים	[kW]
M_t	-	מומנט מועבר	[Nm]

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

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

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

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

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

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

$$h = h_1 + h_2$$

$$h_1 = m$$

$$h_2 = 1.2 m$$

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

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

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

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

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

בגל כוכב:

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

14. רצועות

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

מומנט התמדה I_o , קוטבי, [mm ⁴]	מומנט התמדה, I [mm ⁴]	מומנט התנגדות לפיתול, Z_o , [mm ³] (מודול החתך)	מומנט התנגדות לכפיפה, Z , [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 · 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

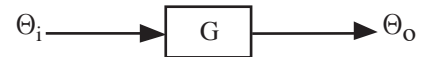
1. הגבר סטטי:

$$K = \frac{\Delta\Theta_o}{\Delta\Theta_i} = \frac{\text{שינוי בתגובה}}{\text{שינוי באילוי}}$$

2. תמסורת של מלבן בודד:

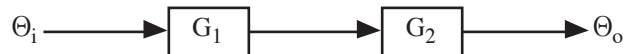
$$\frac{\Theta_o}{\Theta_i} = G$$

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



3. תמסורת של שני מלבנים בטור:

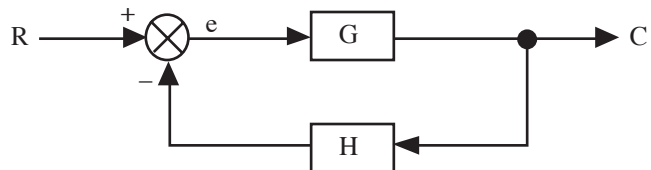
$$\frac{\Theta_o}{\Theta_i} = G_1 G_2$$



4. תמסורת, T, בחוג סגור (עם משוב H):

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

R - ערך רצוי
 C - ערך מצוי



נוסחאות בהידראוליקה

5. ספיקת זורם דרך שטח A:

$Q = v \cdot A$	-	מהירות הזורם	$\left[\frac{m}{sec} \right]$
	-	שטח	$[m^2]$
	-	ספיקה	$\left[\frac{m^3}{sec} \right]$

6. לחץ:

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

7. הספק הידראולי:

$$N = Q \cdot P$$

8. הספק של משאבה:

$N = \frac{Q \cdot \Delta P}{\eta}$	-	הספק מכני המסופק למשאבה	$[W]$
	-	ספיקה דרך המשאבה	$\left[\frac{m^3}{sec} \right]$
	-	הפרש לחץ על-פני המשאבה	$\left[\frac{N}{m^2} \right]$
	-	נצילות המשאבה	η

9. ספיקת משאבה:

$$Q = n \cdot C$$

n – קצב (מהירות) סיבוב

$$\left[\frac{\text{rev}}{\text{sec}} \right]$$

C – הדחק המשאבה

$$\left[\frac{\text{m}^3}{\text{rev}} \right]$$

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

$$\left[\frac{\text{m}}{\text{sec}} \right]$$