

משרד החינוך

אגף בכיר בחינות

המנהל הפדגוגי

מחברת בחינה

לנבחנים ולנבחנות שלום,

יש לקרוא את ההוראות בעמוד זה ולמלא אותן בדייקנות. אי-מילוי ההוראות עלול לגרום לתקלות ואף להביא לידי פסילת הבחינה. הבחינה נועדה לבדוק הישגים אישיים, ולכן יש לעבוד עבודה עצמית בלבד. בזמן הבחינה אין להיעזר בזולת ואין לתת או לקבל חומר בכתב או בעל פה.

אין להכניס לחדר הבחינה חומר עזר – ספרים, מחברות, רשימות – חוץ מ"חומר עזר מותר בשימוש" המפורט בגוף השאלון או בהוראות מוקדמות של המשרד. כמו כן אין להכניס לחדר הבחינה טלפונים או מכשירים אלקטרוניים אחרים. שימוש בחומר עזר שאינו מותר יוביל לפסילת הבחינה. לאחר סיום כתיבת הבחינה יש למסור את המחברת למשגיח ולעזוב בשקט את חדר הבחינה.

יש להקפיד על טוהר הבחינות !

הוראות לבחינה

- יש לוודא כי במדבקות הנבחן שקיבלת מודפסים הפרטים האישיים שלך. אין להוסיף או לשנות שום פרט במדבקות, כדי למנוע עיכוב בזיהוי המחברת וברישום הציונים.
- אם לא קיבלת מדבקה, יש למלא בכתב יד את הפרטים במקום המיועד למדבקת הנבחן.
- אסור לכתוב בשולי המחברת (החלק המקווקו) משום שחלק זה לא ייסרק.
- לטייטה ישמשו אך ורק דפי מחברת הבחינה שיועדו לכך.
- אין לתלוש או להוסיף דפים. מחברת שתוגש לא שלמה תעורר חשד לאי-קיום טוהר הבחינות.
- אין לכתוב שם בתוך המחברת משום שהבחינה נבדקת בעילום שם.

ב ה צ ל ח ה !

מדבקות לנבחן מלصقة ممتحن	מדבקת נבחן והתאמות مِلصقة ممتحن وملاءمات שנה السنة חודש الشهر מועד موعد סמל ביה"ס מס' תעודת הזהות رقم الهوية	מדבקת שאלון مِلصقة نموذج امتحان ברקוד שאלון
	יש להדביק כאן ↑ מדבקת נבחן (ללא שם) يجب هنا ↑ إلصاق ملصقة ممتحن (بدون اسم)	

אם ניתנה מחברת נוספת

☐

יש לסמן במשבצת

إذا أُعطي دفتر إضافي

يجب الإشارة في المربع

* التعليمات باللغة العربية على ظهر الصفحة

وزارة التربية والتعليم

القسم الكبير للامتحانات

الإدارة التربوية

دفتر امتحان

تحية للممتحنين وللممتحنات،

يجب قراءة التعليمات في هذه الصفحة والعمل وفقاً لها بدقة. عدم تنفيذ التعليمات قد يؤدي إلى عواقب مختلفة وحتى إلى إلغاء الامتحان. أعد الامتحان لفحص التحصيلات الشخصية، لذلك يجب العمل بشكل ذاتي فقط. أثناء الامتحان، لا يُسمح طلب المساعدة من الغير، ولا يُسمح إعطاء أو الحصول على مواد مكتوبة أو شفوية.

لا يُسمح إدخال مواد مساعدة - كتب، دفاتر، قوائم - إلى غرفة الامتحان، ما عدا "مواد مساعدة يُسمح استعمالها" المفصلة في نموذج الامتحان أو في تعليمات مسبقة من وزارة التربية والتعليم. كما لا يُسمح إدخال هواتف خلوية أو أجهزة إلكترونية أخرى إلى غرفة الامتحان. استعمال مواد مساعدة لا يُسمح استعمالها سوف يؤدي إلى إلغاء الامتحان. بعد الانتهاء من كتابة الامتحان، يجب تسليم الدفتر للمراقب ومغادرة غرفة الامتحان بهدوء.

يجب التقيد بنزاهة الامتحانات !

تعليمات للامتحان

1. يجب التأكد بأن تفاصيلك الشخصية مطبوعة على ملصقات الممتحن التي حصلت عليها. لا يُسمح إضافة أو تغيير أية تفاصيل في الملصقات، وذلك لمنع عواقب في تشخيص الدفتر وفي تسجيل العلامات.
2. في حال عدم حصولك على ملصقة، يجب ملء التفاصيل في المكان المعد لملصقة الممتحن، بخط يد.
3. لا يُسمح الكتابة في هوامش الدفتر (في المنطقة المخططة)، لأنه لن يتم مسح ضوئي لهذه المنطقة.
4. للمسودة تُستعمل أوراق دفتر الامتحان المعدة لذلك فقط.
5. يُمنع نزع أو إضافة أوراق. الدفتر الذي يُسلم ناقصاً يُشير الشك بعدم الالتزام بنزاهة الامتحانات.
6. لا يُسمح كتابة الاسم داخل الدفتر، لأن الامتحان يُفحص بدون ذكر اسم.

نتمنى لكم النجاح!

מדינת ישראל

משרד החינוך

סוג הבחינה: בגרות לבתי-ספר על-יסודיים
מועד הבחינה: קיץ תש"ף, 2020
סמל השאלון: 838381
נספחים: א. סרטוט הרכבה (לשאלה 1)
ב. טבלת שגמים פריזמטיים
נוסחאון במכניקה הנדסית

מכניקה הנדסית

הוראות לנבחן

- א. **משך הבחינה:** שלוש שעות.
- ב. **מבנה השאלון ומפתח ההערכה:** בשאלון זה שלושה פרקים ובהם תשע שאלות.
עליך לענות על שאלה אחת מכל אחד משלושת הפרקים, ועל שתי שאלות נוספות על-פי בחירתך. בסך-הכול עליך לענות על חמש שאלות.
לכל שאלה – 20 נקודות, סה"כ – 100 נקודות.
- ג. **חומר עזר מותר לשימוש:** כלי סרטוט, מחשבון.
- ד. **הוראות מיוחדות:**
 1. ענה על מספר השאלות הנדרש בשאלון. המעריך יקרא ויעריך את מספר התשובות הנדרש בלבד, לפי סדר כתיבתן במחברתך, ולא יתייחס לתשובות נוספות.
 2. שאלון זה משמש כמחברת בחינה. כתוב בו את כל תשובותיך, במקומות הריקים, בשורות או במשבצות בכל שאלה. בסוף המחברת יש עמודים ריקים – תוכל להקצות עמודים אלו לכל מה שברצונך לכתוב כטיוטה (ראשי פרקים, חישובים וכדומה).
כתיבת טיוטות כלשהן על דפים שמחוץ לשאלון עלולה לגרום לפסילת הבחינה!
 3. לנוחיותך, בנוסחאון כתובות חלק מן הנוסחאות הדרושות לפתרון השאלות.

בשאלון זה 22 עמודים ו-18 עמודי נספחים.

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

בהצלחה!

המשך מעבר לדף



מכניקה הנדסית, קיץ תש"ף, סמל 838381

השאלות

בשאלון זה שלושה פרקים.

עליך לענות על שאלה אחת מכל פרק ועל שתי שאלות נוספות, על-פי בחירתך.

בסך-הכול עליך לענות על חמש שאלות (לכל שאלה – 20 נקודות).

פרק ראשון: סרטוט טכני

שאלה 1

ענה על הסעיפים א'–ז' שלהלן.

לכל אחד מן הסעיפים א'–ו' ניתנו ארבע תשובות, שרק אחת מהן נכונה.

הקף בעיגול את הספרה המסמלת את התשובה הנכונה בכל סעיף.

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

(1 נק') א. מהו החלק שמאפשר את העברת התנועה מהידית (חלק 1) אל המפצח (חלק 3) ?

1. חלק 2 – מוביל

2. חלק 15 – פין פציל

3. חלק 18 – פין

4. חלק 16 – מקשר

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

1. הברגה.

2. ריתוך.

3. סמור.

4. אפיצות לחץ.

(2 נק') ג. הארכת הידית (חלק 1), בלי לשנות את גודל הכוח הפועל בקצה הידית, תשנה את:

1. מאמץ השבר של האגוז.

2. מודול החתך של האגוז.

3. המומנט הפועל על האגוז.

4. הכוח הפועל על האגוז.



מכניקה הנדסית, קיץ תש"ף, סמל 838381

ד. מהו החומר שממנו עשויים הפינים (חלקים 18 ו-19) ? (2 נק')

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

ה. מהי צורת החתך של שן התברג בחלק 14 ? (2 נק')

1. ריבוע
2. עיגול
3. טרפז
4. משולש

ו. מהו התפקיד של הפין הפציל (חלק 15) הנראה בחתך A-A ? (2 נק')

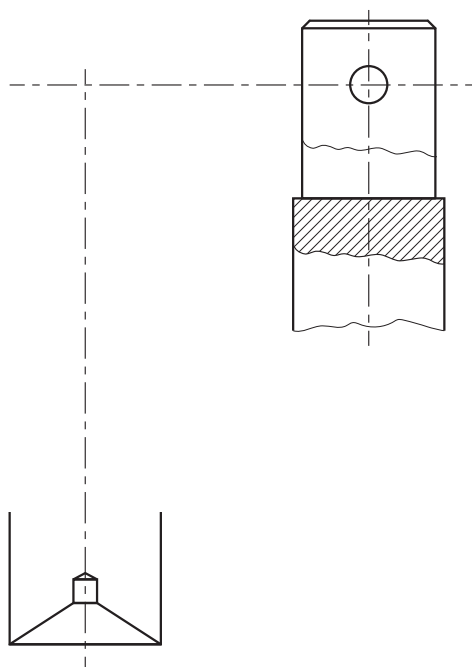
1. למנוע תנועה קווית של הפין (חלק 18)
2. למנוע תנועה סיבובית של הפין (חלק 18)
3. להעביר תנועה בין הידית (חלק 1) לבין הפין (חלק 18)
4. להעביר תנועה בין הפין (חלק 18) לבין המפצח (חלק 3)

שים לב: סעיף ז' של השאלה מופיע בעמוד הבא.

מכניקה הנדסית, קיץ תש"ף, סמל 838381

(10 נק') ז.

1. (5 נק') באיור לשאלה זו נתון סרטוט חלקי, ללא קנ"מ, של חלק 3. השלם את הסרטוט.
2. (5 נק') הוסף לסרטוט את קווי העזר למידות ואת קווי המידה של כל מידות הקטרים הדרושות להגדרת חלק 3 וסמן אותן ב- $\emptyset$.
אין צורך לרשום את הערכים של המידות.



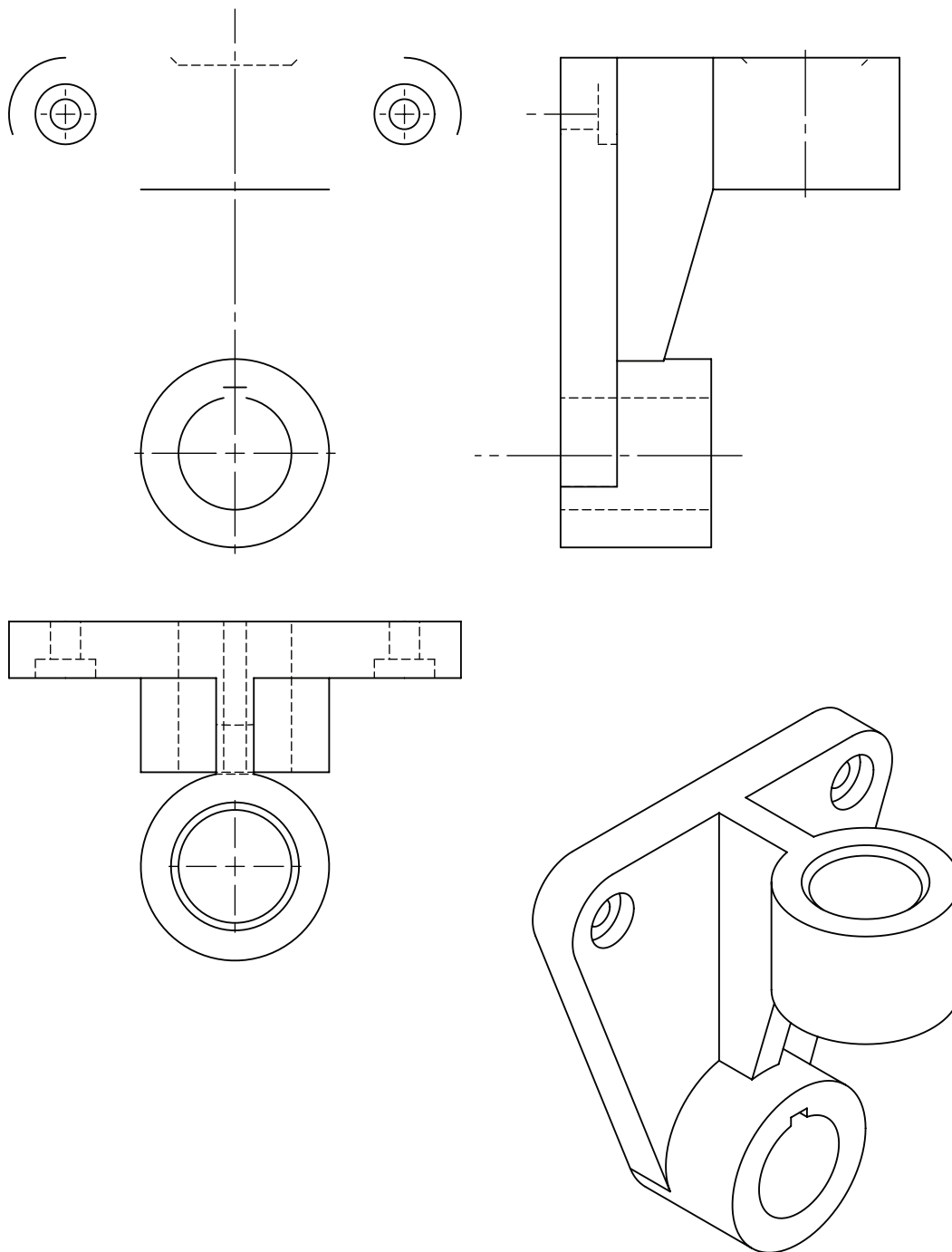
איור לשאלה 1

שאלה 2

- באיור לשאלה זו (בעמוד הבא) נתונים היטל-על ותיאור איזומטרי מלאים של גוף. כמו כן נתונים היטל-פנים והיטל-צד חלקיים של הגוף.
- א. (10 נק') השלם את הקווים החסרים בהיטל-הפנים.
 - ב. (10 נק') השלם את הקווים הנסתרים החסרים בהיטל-הצד.



מכניקה הנדסית, קיץ תש"ף, סמל 838381



איור לשאלה 2

מכניקה הנדסית, קיץ תש"ף, סמל 838381

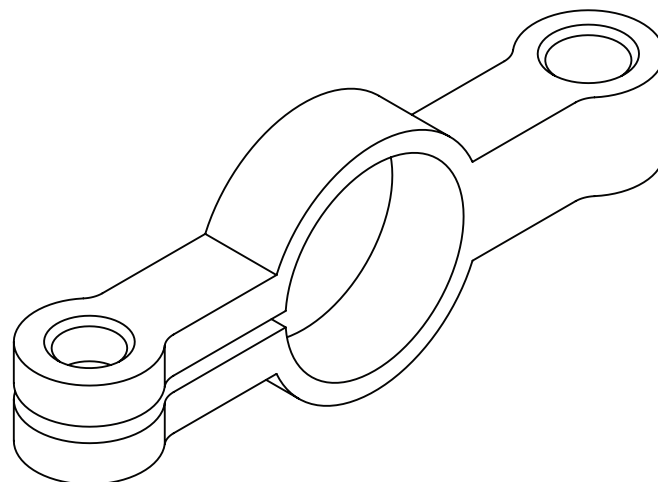
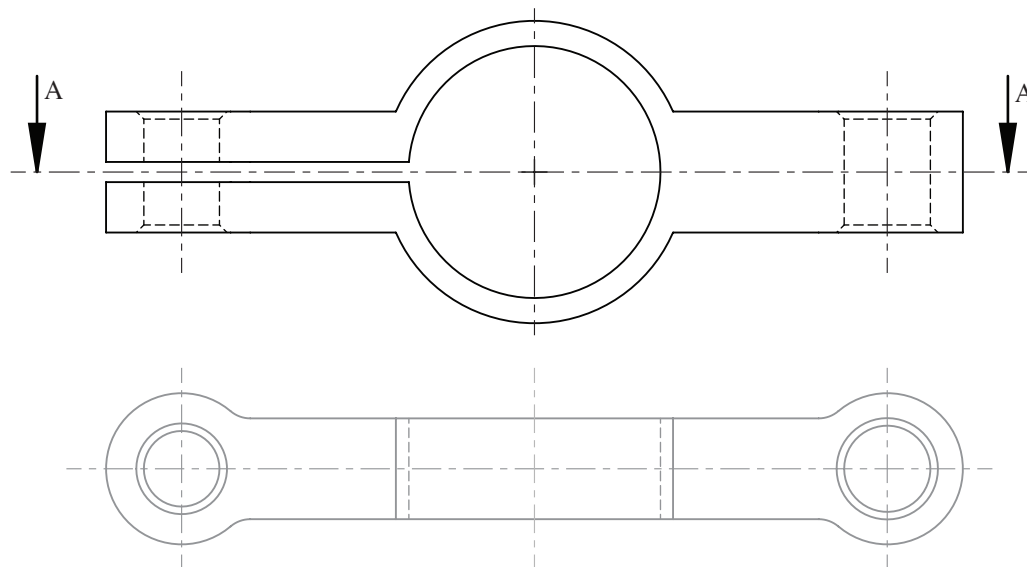
שאלה 3

באיור לשאלה זו נתונים תיאור איזומטרי, היטל-פנים והיטל-על של גוף.

תואי החתך A-A מצוין בהיטל-הפנים. היטל-העל של הגוף נתון בקווים אפורים.

(10 נק') א. הפוך את היטל-העל לחתך A-A, על-פי התואי המסומן בהיטל-הפנים.

(10 נק') ב. הוסף להיטלים את קווי העזר למידות ואת קווי המידה של המידות הדרושות להגדרת הגוף. אין צורך לרשום את הערכים המספריים של המידות.



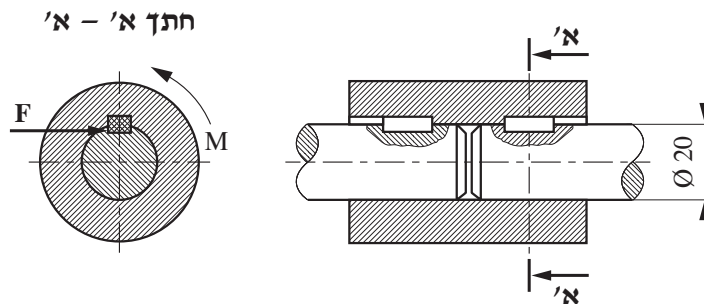
איור לשאלה 3

פרק שני: סטטיקה, חוזק ופרקי מכונות

שאלה 4

באיור לשאלה זו 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 במילימטרים.



איור לשאלה 4

א. היעזר בנספח ב' לשאלה זו, וכתוב את המידות b ו-h של השגם. (6 נק')

ב. חשב את הכוח F הפועל על השגם כתוצאה מן המומנט המועבר. (6 נק')

[illegible]

ג. חשב את האורך המזערי הדרוש של השגם, בהתחשב במאמצי גזירה בלבד. (8 נק')

המאמץ המותר לגזירה בחומר השגם: $[\tau_s] = 60 \text{ MPa}$.

[illegible]

שאלה 5

איור לשאלה 5

א. חשב את ערכו של הכוח F הדרוש להחזקת המשקולת בשיווי משקל. (8 נק')

[illegible]



מכניקה הנדסית, קיץ תש"ף, סמל 838381

6 נק') ב. סרטט דיאגרמת גוף חופשי (דג"ח) של נקודת הצומת O .

6 נק') ג. האם כוחות המתיחה בכבלים OC ו-OB זהים בערכם?
נמק את תשובתך **ללא חישוב**.

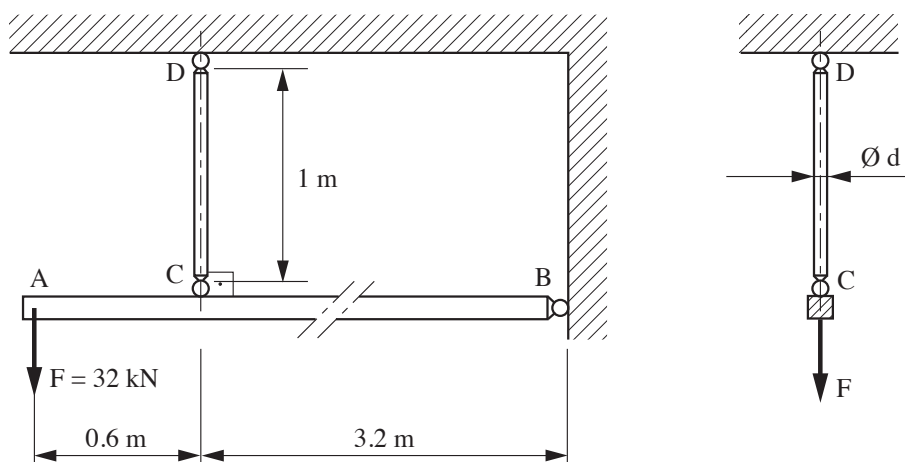
لا تكتب في هذه المنطقة

لا لכתוב באזור זה

מכניקה הנדסית, קיץ תש"ף, סמל 838381

שאלה 6

באיור לשאלה 6 מתוארת קורה אופקית AB. הקורה מחוברת לקיר אנכי באמצעות הפרק B, ולמוט אנכי CD באמצעות הפרק C. למוט CD חתך עגול, והוא מחובר לקיר האופקי באמצעות הפרק D. הקורה AB קשיחה לחלוטין ומשקלה זניח. בנקודה A על קצה הקורה פועל הכוח $F = 32 \text{ kN}$, אנכית כלפי מטה.



איור לשאלה 6

(5 נק') א. סרטט דיאגרמת גוף חופשי (דג"ח) של הקורה AB.

מכניקה הנדסית, קיץ תש"ף, סמל 838381

5 נק') **ב.** חשב את גודלו של הכוח הפועל על המוט CD, וקבע אם המוט נלחץ או נמתח.

[illegible]

ג. (5 נק') הנח שגודלו של הכוח הפועל על המוט CD הוא 38 kN . חשב את הקוטר המזערי של המוט, d , שיאפשר למוט לעמוד במאמץ שבו.

נתון: מאמץ מותר למתיחה/לחיצה בחומר המוט: $[\sigma_t] = 160 \text{ MPa}$.

[illegible]

ד. (5 נק') הנח שקוטרו של מוט CD הוא $d = 18 \text{ mm}$. חשב את מידת ההתארכות של המוט.

נתון: מודול האלסטיות של חומר המוט CD הוא $E = 2 \times 10^5 \text{ MPa}$.

[illegible]

מכניקה הנדסית, קיץ תש"ף, סמל 838381

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).

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

מכניקה הנדסית, קיץ תש"ף, סמל 838381

8 נק') א. השלם את טבלת האמת שלהלן. בעמודה E כתוב '1' עבור כל המצבים שבהם נורית האזהרה מופעלת.

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	

ב. השלם את מפת קרנו שלהלן, והצג בה את הקבוצות לצמצום מרבי של הפונקציה E.

AB \ CD	00	01	11	10
00				
01				
11				
10				

ג. כתוב את הפונקציה E המצומצמת המתקבלת על־פי סעיף ב'.

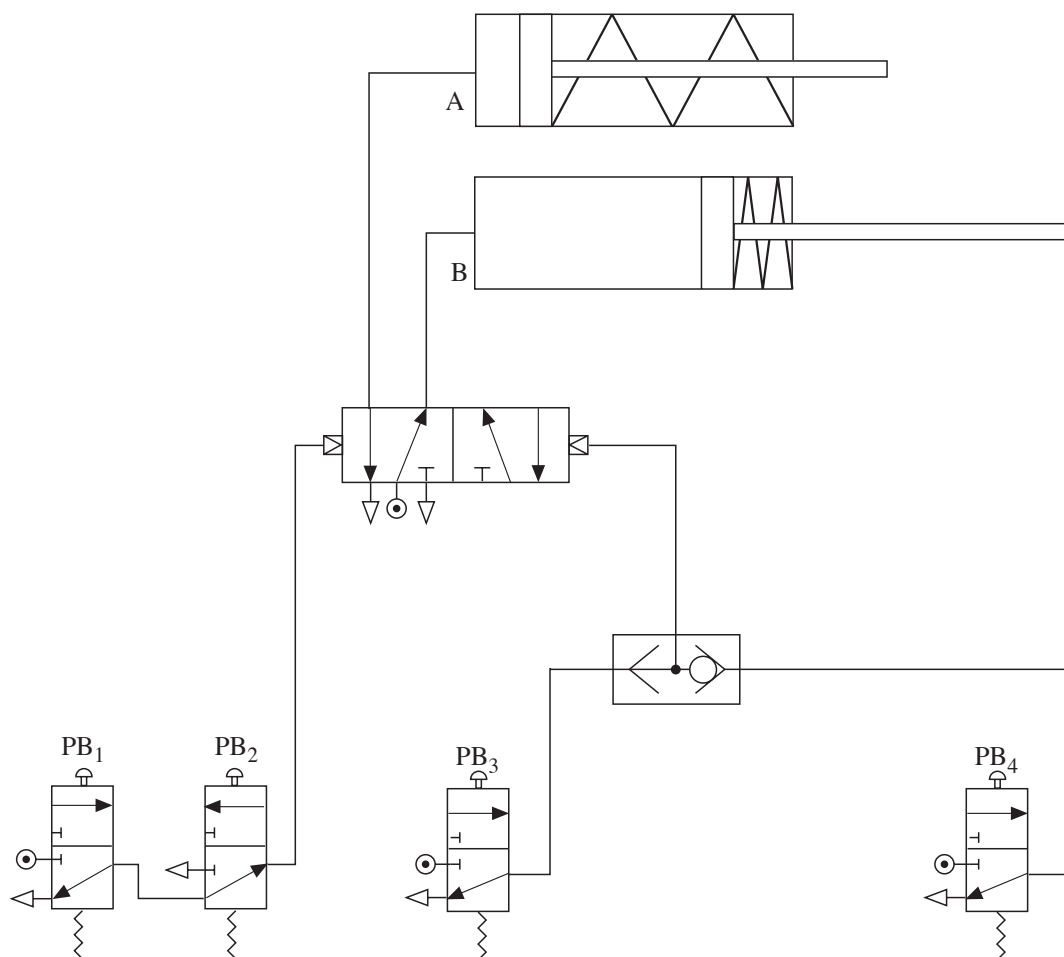
[illegible]



מכניקה הנדסית, קיץ תש"ף, סמל 838381

שאלה 8

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



איור לשאלה 8



מכניקה הנדסית, קיץ תש"ף, סמל 838381

כל אחד מן ההיגדים א-ה מתייחס לפעולה המבוצעת במערכת, במצב ההתחלתי שלה, המתואר באיור. סמן (הקף בעיגול) **נכון** או **לא נכון** לגבי כל אחד מן ההיגדים, ונמק את תשובתך.

א. (4 נק') כאשר שתי הבוכנות **אינן** נעות, האחת תהיה תמיד בחוץ, והשנייה – בפנים. **נכון/לא נכון**

נימוק:

ב. (4 נק') לחיצה על השסתום PB_1 בלבד תגרום ליציאת הבוכנה A ולכניסת הבוכנה B. **נכון/לא נכון**

נימוק:

ג. (4 נק') לחיצה על השסתום PB_3 בלבד תגרום ליציאת הבוכנה A ולכניסת הבוכנה B. **נכון/לא נכון**

נימוק:

ד. (4 נק') לחיצה על השסתום PB_4 בלבד תגרום ליציאת הבוכנה A ולכניסת הבוכנה B. **נכון/לא נכון**

נימוק:

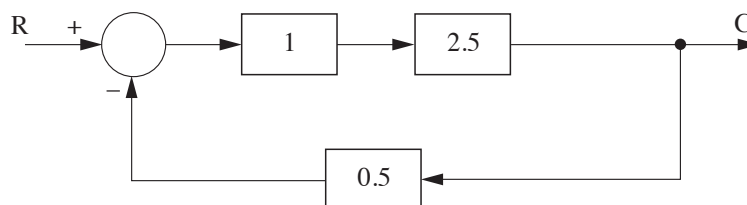
ה. (4 נק') לחיצה על שני השסתומים PB_3 ו- PB_4 ברזמנית תגרום ליציאת הבוכנה A ולכניסת הבוכנה B. **נכון/לא נכון**

נימוק:

לא תכתוב על פני העמוד הזה

שאלה 9

באיור לשאלה זו מתוארת דיאגרמת מלבנים של מערכת בקרה.



איור לשאלה 9

(12 נק') א. כתוב את פונקציית התמסורת $\frac{C}{R}$.

[illegible]

(8 נק') ב. מה יהיה הערך של C כאשר $R = 1$?

[illegible]



מכניקה הנדסית, קיץ תש"ף, סמל 838381

טיוטה

لا تكتب في هذه المنطقة

لا لכתוב באזור זה

מכניקה הנדסית, קיץ תש"ף, סמל 838381

טיוטה

لا تكتب في هذه المنطقة לא לכתוב באזור זה



מכניקה הנדסית, קיץ תש"ף, סמל 838381

טיוטה

בהצלחה!

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

لا تكتب في هذه المنطقة

لا لכתוב באזור זה

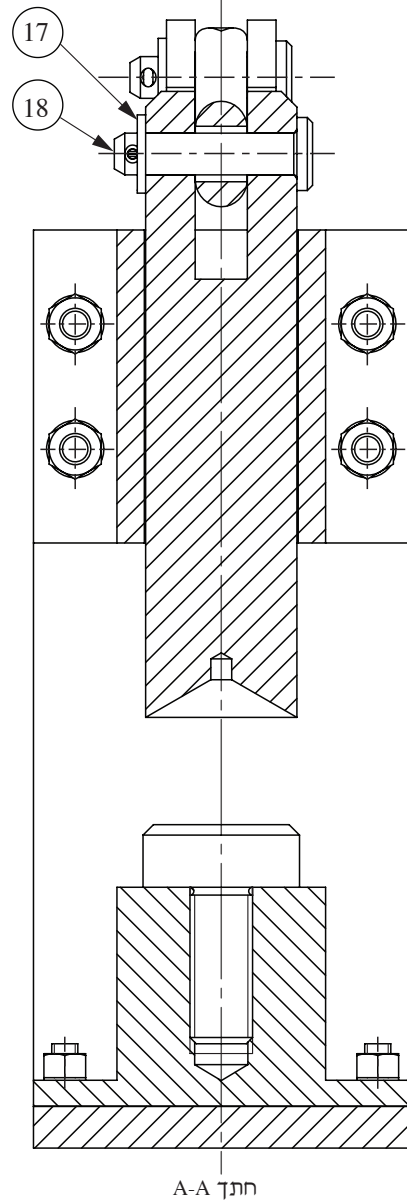
מדבקת משגיח

ملصقة مراقب

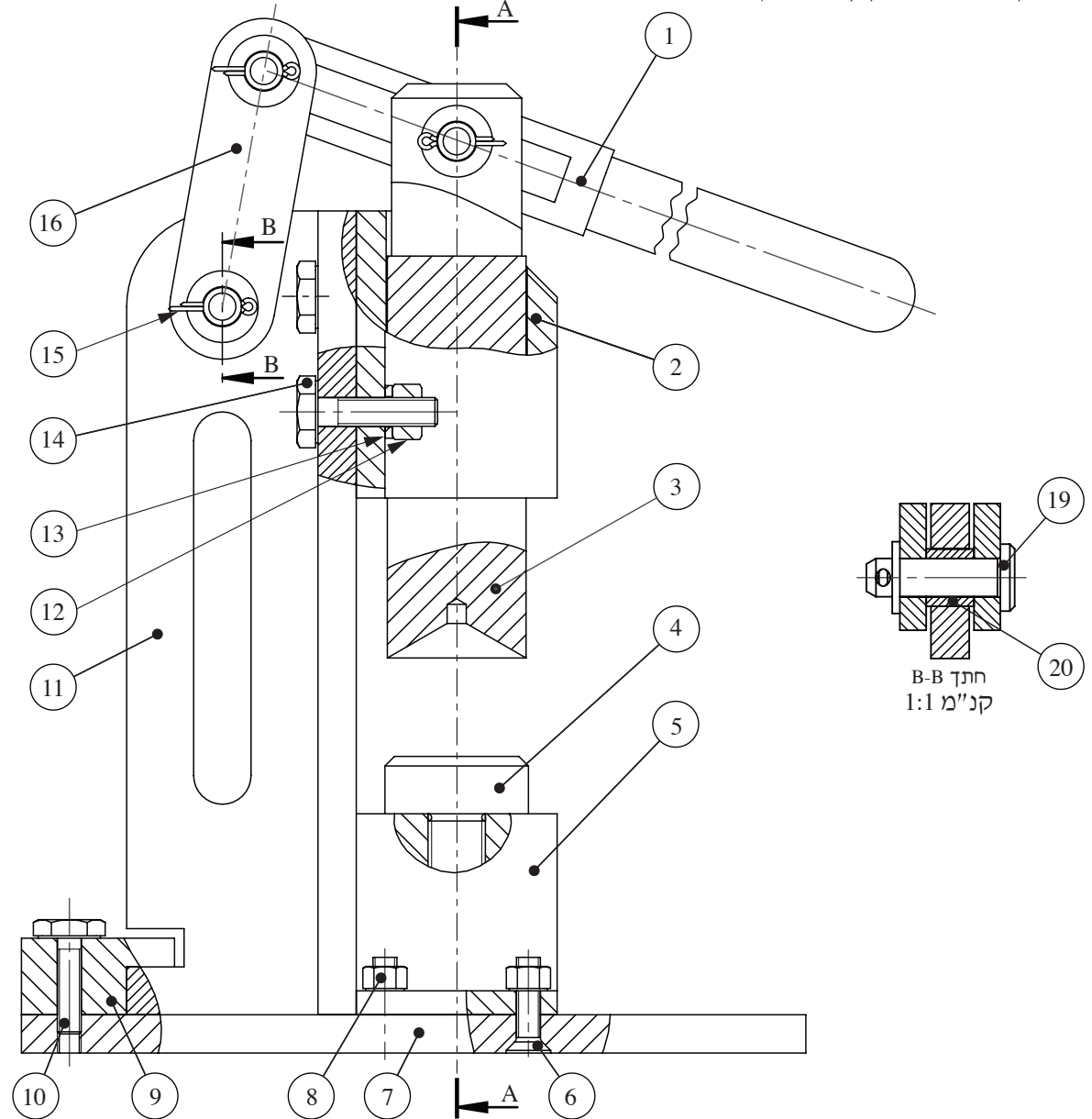
"איתך בכל מקום, גם בבגרות.
בהצלחה, מועצת התלמידים והנוער הארצית"
"معك في كل مكان، وفي البجروت أيضًا.
بالنجاح، مجلس الطلاب والشبيبة القطري"

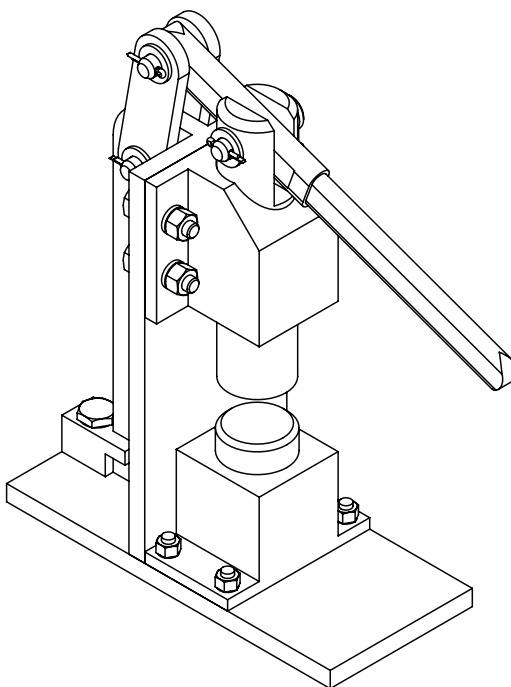
נספח א' לשאלה 1 – סרטוט הרכבה (2 עמודים)

לשאלון 838381, קיץ תש"ף



המשך בעמוד 2





	ארד	1	תותב החלקה	20
תקני	SAE 1020	2	פין $\emptyset 8 \times 28$	19
תקני	SAE 1020	1	פין $\emptyset 8 \times 35$	18
תקני		3	דסקה לפין $\emptyset 8$	17
	SAE 1020	2	מקשר	16
תקני	SAE 1020	3	פין פציל $\emptyset 2 \times 12$	15
תקני		4	בורג $M6 \times 25$	14
תקני		4	דסקה לבורג $M6$	13
תקני		4	אום $M6$	12
	יצקת ברזל	1	גוף	11
תקני		1	בורג $M5 \times 20$	10
	SAE 1020	1	תפס	9
תקני		4	אום $M5$	8
	יצקת ברזל	1	בסיס	7
תקני		4	בורג ראש קוני $M5 \times 20$	6
	SAE 1030	1	תושבת הסדן	5
	SAE 4330	1	סדן	4
	SAE 4330	1	מפצח	3
	ארד	1	מוביל	2
	SAE 1020	1	ידית	1
הערות	חומר	כמות	שם החלק	
קנ"מ			שם	תאריך
1:1.5	מפצח אגוזים			סרטט
				ביקר
				אישר

נספח ב' לשאלה 4 – טבלת שגמים פריזמטיים

לשאלון 838381, קיץ תש"ף

טבלת שגמים פריזמטיים																											DIN 6885															
מידות יסוד במ"מ																																										
החריץ בגל	מ- 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															
		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															
החריץ בטבור	b h	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															
		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															
		1.2	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															
החריץ בגל	b t ₁	0.1					0.2										0.3																									
		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															
החריץ בטבור	b 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 ⁺ מינימלי		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														
	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														
	min	0.08			0.16			0.25					0.4					0.7					1.2					2														
קדחים עבור בורגי קביעה בורגי חילוץ ותותבי מרווח	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											
L	מ- עד	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															
	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	400	400	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 d₂ מתאים לקוטר מינימלי של חלק שאותו אפשר להעביר קונצנטרית מעל השגם.

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]
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]

$$v \cong \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60 \times 1000}$$

$$M = L \cdot F$$

$$\tau_t = \frac{M_t}{Z_o} \leq [\tau_t]$$

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]
d	-	קוטר	[mm]

$$\sigma_b = \frac{M_b}{Z_x} \leq [\sigma_b]$$

לחתך מלבני:

$$M_x = L \cdot F$$

$$Z_x = \frac{bh^2}{6}$$

לחתך עגול מלא:

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

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

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	
$i = \frac{z_1}{z_2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{D_1}{D_2}$			
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]
$D = mz = \frac{1}{\pi} z$			
$D_e = m(z + 2)$			
$D_i = m(z - 2.4)$			
$A_1 = \frac{m(z_1 + z_2)}{2}$			
$\lambda = \frac{b}{m}$			
$h = h_1 + h_2$			
$h_1 = m$			
$h_2 = 1.2 m$			
$m = 490 \sqrt[3]{\frac{P \cdot f \cdot q}{n \cdot z \cdot \lambda \cdot [\sigma]}}$			
$P = \left(\frac{m}{490}\right)^3 \frac{n \cdot z \cdot \lambda \cdot [\sigma]}{f \cdot q}$			
$M_t = 9550 \frac{P}{n}$			
$F_t = F \cos \alpha = \frac{2 M_t}{m z}$			
$z_{\min} = \frac{2}{\sin^2 \alpha}$			

בגל כוכב:

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

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

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

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

k - מספר השיניים בגל כוכב

M_e - המומנט לשן בגל כוכב [Nm]

d_m - קוטר ביניים בגל כוכב [mm]

d₁ - קוטר פנימי בגל כוכב [mm]

d₂ - קוטר חיצוני בגל כוכב [mm]

A - שטח השן הנמעכת [mm²]

L - אורך השן הנמעכת [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]

S₁ - כוח מתיחה בענף הפעיל [N]

S₂ - כוח מתיחה בענף הסביל [N]

k_e - מקדם כוח מתיחה

d - קוטר הגלגל המניע [m]

D₁, D₂, D₃ - קוטר גלגל בממסרת [m]

M_t - המומנט הנמסר [Nm]

η - נצילות

n₁, n₂ - מהירות סיבובית של גלגל [rpm]

i - יחס התמסורת בין גלגלי הרצועה

k_d - מקדם תנאי העבודה

L - אורך הרצועה [m]

d₀ - קוטר חיצוני בגלגל הקטן [m]

A - מרחק בין מרכזי הגלגלים [m]

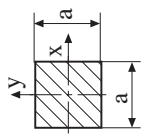
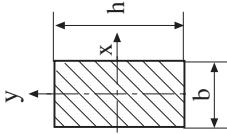
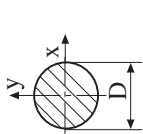
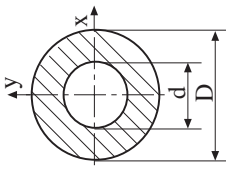
D₀ - קוטר חיצוני בגלגל הגדול [m]

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

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

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

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

מומנט התמדה 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

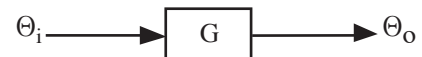
1. הגבר סטטי:

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

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:

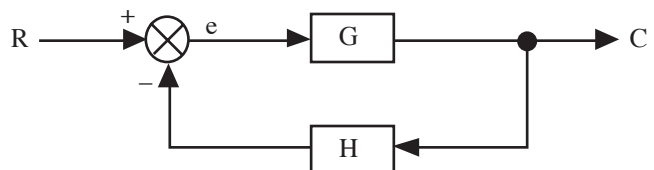
$$\frac{\Theta_o}{\Theta_i} = G_1 G_2$$



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:

$Q = v \cdot A$	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 הידראולי:

$$N = Q \cdot P$$

8. הספק של משאבה:

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

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

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