

משרד החינוך
המנהל הפדגוגי
אגף בכיר בחינוך
מחברת בחינה

לנבחנים ולנבחנות שלום,
יש לקרוא את ההוראות בעמוד זה ולמלא אותן בדיוקנות. 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 נבחן והתאמות ملصقة ممتحن وملاءمات	מדבקות שאלון ملصقة نموذج امتحان
שנה السنة חודש الشهر מועד מועד סמל ביה"ס מס' תעודת הזהות رقم المدرسة رقم الهوية	
יש להדביק כאן ↑ מדבקות נבחן (ללא שם) يجب هنا ↑ إلصاق ملصقة ممتحن (بدون اسم)	
מדבקות לנבחן ملصقة ممتحن	

יש לסמן במשבצת ☐ אם ניתנה מחברת נוספת
يجب الإشارة في المربع إذا أُعطي دفتر إضافي
* التعليمات باللغة العربية على ظهر الصفحة

وزارة التربية والتعليم

القسم الكبير

الإدارة التربوية
للامتحانات

دفتر امتحان

تحيّة 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 التأكيد بأن تفاصيلك الشخصية مطبوعة على ملصقات الممتحن التي حصلت عليها. لا يُسمح إضافة أو تغيير أية تفاصيل في الملصقات، وذلك لمنع عوائق 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 يُثير 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 תשפ"ג, 2023
סמל השאלון: 838381
נספח: נוסחאון במכניקה הנדסית

מכניקה הנדסית

הוראות לנבחנים

- א. משך הבחינה: שלוש שעות.
- ב. מבנה השאלון ומפתח ההערכה: בשאלון זה שלושה פרקים ובהם תשע שאלות. עליכם לענות על חמש שאלות על-פי בחירתכם מכל השאלון. לכל שאלה – 20 נקודות, סה"כ – 100 נקודות.
- ג. חומר עזר מותר לשימוש: כלי סרטוט, מחשבון.
- ד. הוראות מיוחדות:
 1. ענו על מספר השאלות הנדרש בשאלון. המעריך יקרא ויעריך את מספר התשובות הנדרש בלבד, לפי סדר כתיבתן במחברת, ולא יתייחס לתשובות נוספות.
 2. שאלון זה משמש כמחברת בחינה. כתבו בו את כל תשובותיכם, במקומות הריקים, בשורות או במשבצות בכל שאלה. תוכלו להשתמש בעמוד 19 כטיוטה (לכתיבת ראשי פרקים, חישובים וכדומה). כתיבת טיוטות כלשהן על דפים שמחוץ לשאלון עלולה לגרום לפסילת הבחינה!
 3. לנוחיותכם, בנוסחאון כתובות חלק מן הנוסחאות הדרושות לפתרון השאלות.

שאלון זה משמש כמחברת בחינה. הדביקו את מדבקת הנבחן במקום המיועד לכך בעמוד 1 (כריכה קדמית).

בשאלון זה 20 עמודים ו-11 עמודי נספחים.

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

בהצלחה!

מכניקה הנדסית, קיץ תשפ"ג, סמל 838381

השאלות

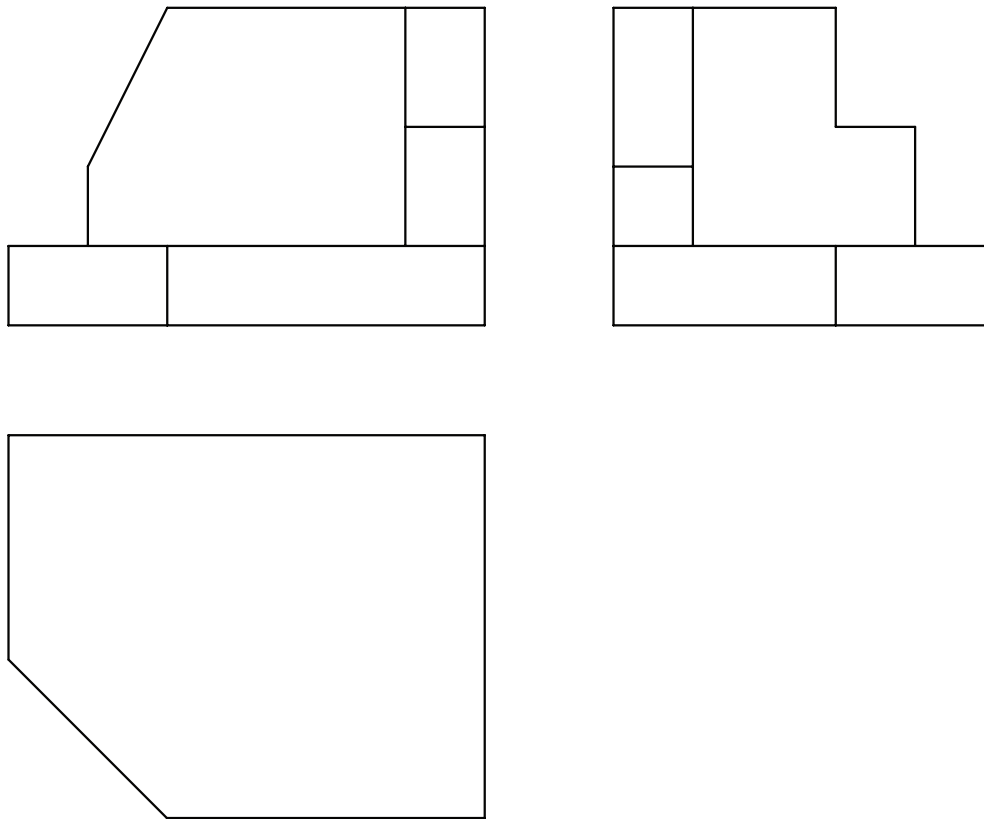
בשאלון זה שלושה פרקים ובהם תשע שאלות.
עליכם לענות על חמש שאלות לפי בחירתכם, מכל השאלון (לכל שאלה – 20 נקודות).

פרק ראשון: סרטוט טכני

שאלה 1

באיור לשאלה 1 נתונים היטל-פנים והיטל-צד מלאים של גוף.

השלימו את היטל-העל של הגוף.

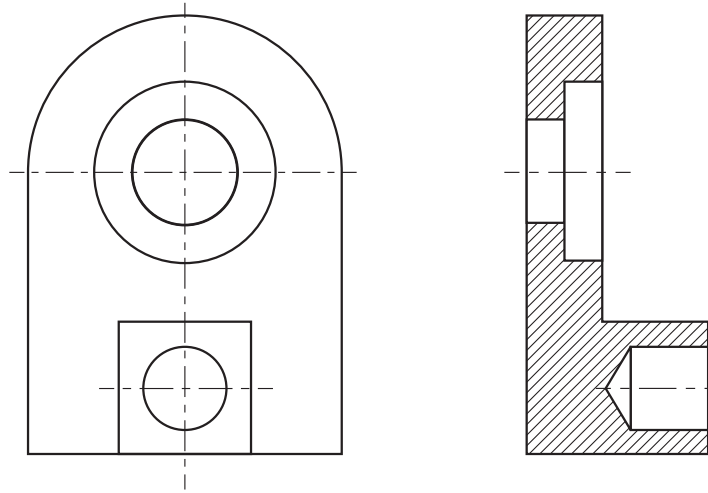


איור לשאלה 1

מכניקה הנדסית, קיץ תשפ"ג, סמל 838381

שאלה 2

באיור לשאלה 2 נתונים היטל־פנים בחתך, היטל־צד, היטל־על ותיאור איזומטרי של גוף. הוסיפו להיטלים את קווי העזר למידה ואת קווי המידה של המידות הדרושות להגדרת הגוף. אין צורך לכתוב את הערכים המספריים של המידות.



איור לשאלה 2



מכניקה הנדסית, קיץ תשפ"ג, סמל 838381

שאלה 3

באיור לשאלה 3 (בעמוד הבא) נתונים היטל-על ותיאור איזומטרי מלאים של גוף.

כמו כן נתונים היטל-פנים והיטל-צד חלקיים של הגוף.

(10 נק') א. השלימו את הקווים החסרים בהיטל-הפנים.

(10 נק') ב. השלימו את הקווים הנסתרים החסרים בהיטל-הצד.

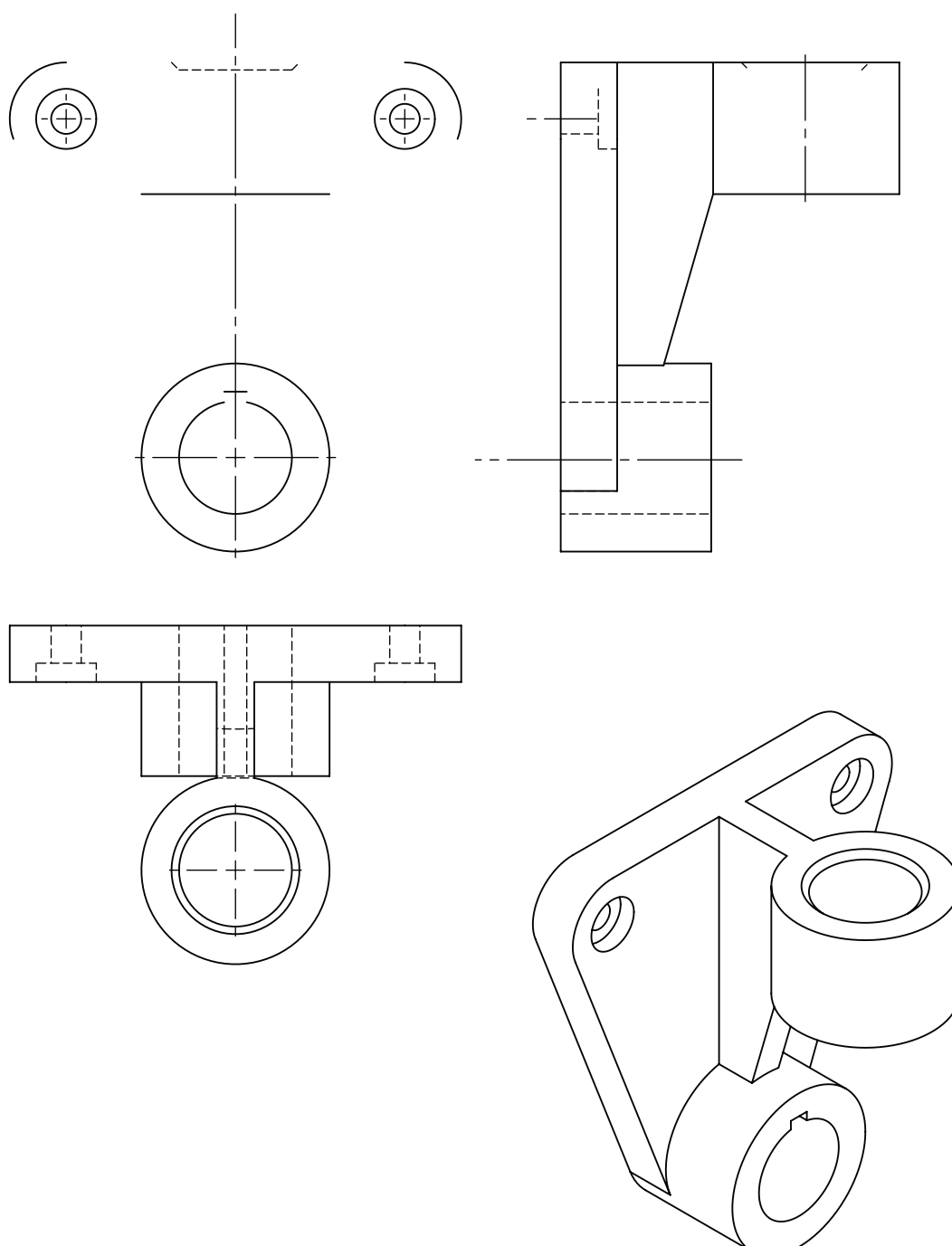
لا تكتب في هذه المنطقة

لا تكتب في هذه المنطقة

لا تكتب في هذه المنطقة

لا تكتب في هذه المنطقة

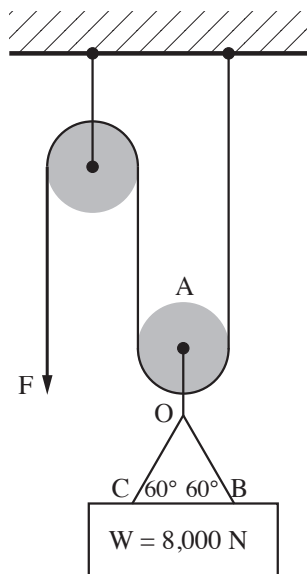
מכניקה הנדסית, קיץ תשפ"ג, סמל 838381



איור לשאלה 3

פרק שני: סטטיקה, חוזק ופרקי מכונות

באיור לשאלה 4 מתוארת משקולת המוחזקת בשיווי משקל באמצעות הכוח F.



איור לשאלה 4

א. חשבו את ערכו של הכוח F הדרוש להחזקת המשקולת בשיווי משקל. (7 נק')

This image shows a full page of blank graph paper. The grid consists of thin, light gray horizontal and vertical lines that intersect to form small squares across the entire surface. There are no margins, text, or other markings on the paper.

מכניקה הנדסית, קיץ תשפ"ג, סמל 838381

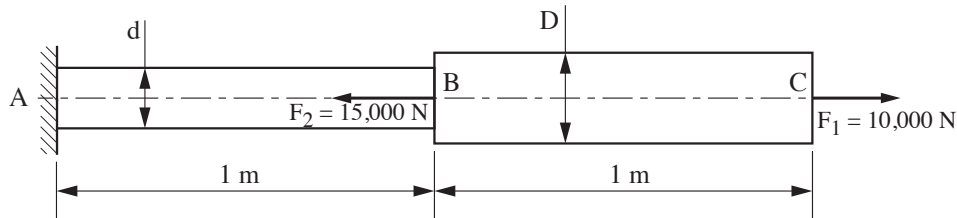
(7 נק') ב. סרטטו דיאגרמת גוף חופשי (דג"ח) של נקודת הצומת O.

(6 נק') ג. האם כוחות המתיחה בכבלים OC ו־OB זהים בערכם?
נמקו את תשובתכם **ללא חישוב**.

מכניקה הנדסית, קיץ תשפ"ג, סמל 838381

שאלה 5

באיור לשאלה 5 מתואר מוט מדורג בעל חתך עגול הרתום בחתך A לקיר. על המוט פועלים שני כוחות: F_1 ו- F_2 , כמתואר באיור.



איור לשאלה 5

א. קוטר המוט בקטע BC הוא $D = 15 \text{ mm}$. חשבו את מאמץ המתיחה בקטע זה. (7 נק')

[illegible]

7) נק') **ב.** מאמץ הלחיצה בקטע AB שווה למאמץ המתיחה בקטע BC שחישבתם בסעיף א'.
חשבו את הקוטר d הדרוש למוט בקטע AB.

A full-page sheet of white graph paper with a light gray grid. The grid consists of small squares, approximately 10 units wide by 10 units high. There are no margins or additional markings on the page.

מכניקה הנדסית, קיץ תשפ"ג, סמל 838381

ג. המוט עשוי פלדה. מודול האלסטיות של פלדה: $E = 2 \times 10^5 \text{ MPa}$. (6 נק')

חשבו את מידת ההתארכות של המוט בקטע BC.

מכניקה הנדסית, קיץ תשפ"ג, סמל 838381

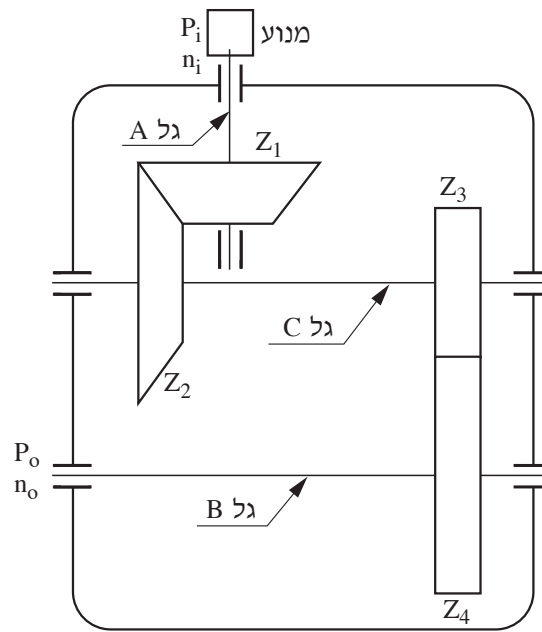
שאלה 6

באיור לשאלה 6 מתוארת מַמסרה דו־שלבית המורכבת מהרכיבים האלה:

שלב 1: תשלובת גלגלי שיניים קוניות Z_1 ו- Z_2 .

שלב 2: תשלובת גלגלי שיניים ישרות Z_3 ו- Z_4 .

הכניסה לממסרה היא בגל A, והיציאה ממנה היא בגל B. גל C הוא גל ביניים.



איור לשאלה 6

נתונים:

- ההספק בכניסה לממסרה: $P_i = 15 \text{ kW}$
- ההספק ביציאה מהממסרה: $P_o = 12 \text{ kW}$
- מהירות הסיבוב בכניסה לממסרה: $n_i = 3,200 \text{ RPM}$
- מהירות הסיבוב ביציאה מהממסרה: $n_o = 800 \text{ RPM}$
- מספר השיניים בגלגלי השיניים: $Z_1 = 22$
 $Z_2 = 44$
 $Z_4 = 80$

מכניקה הנדסית, קיץ תשפ"ג, סמל 838381

(7 נק') א. חשבו את נצילות הממסרה.

[illegible]

(7 נק') ב. חשבו את יחס התמסורת.

A full-page sheet of white graph paper with a light gray grid. The grid consists of small squares, approximately 10 units wide by 10 units high. There are no margins or additional markings on the page.

ג. חשבו את מספר השניים בגלגל השניים Z_3 . (6 נק')

[illegible]

מכניקה הנדסית, קיץ תשפ"ג, סמל 838381

פרק שלישי: פרקי הנדסה ומדע

שאלה 7

ארבע משאבות מספקות מים למפעל לייצור משקאות.

להלן צריכת ההספק של כל משאבה:

- משאבה A - 50 kW
- משאבה B - 100 kW
- משאבה C - 150 kW
- משאבה D - 200 kW

כאשר צריכת ההספק הכוללת של המשאבות גבוהה מ-280 kW, המערכת שולחת מסרון התרעה למנהל המפעל.

נסמן את המשתנים הלוגיים:

A = 1 - משאבה A פועלת

B = 1 - משאבה B פועלת

C = 1 - משאבה C פועלת

D = 1 - משאבה D פועלת

E = 1 - מסרון התרעה נשלח למנהל המפעל

מכניקה הנדסית, קיץ תשפ"ג, סמל 838381

(8 נק') א. השלימו את טבלת האמת שלהלן. בעמודה E כתוב '1' לוגי עבור כל המצבים שבהם מסרון התרעה נשלח למנהל המפעל.

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	

8 נק') **ב.** השלימו את מפת קרנו שלהלן, והצג בה את הקבוצות לצמצום מרבי של הפונקציה E.

A,B \ C,D	00	01	11	10
00				
01				
11				
10				

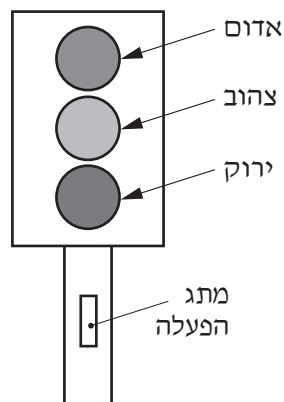
ג. כתבו את הפונקציית E המצומצמת המתקבלת על-פי סעיף ב'.

[illegible]

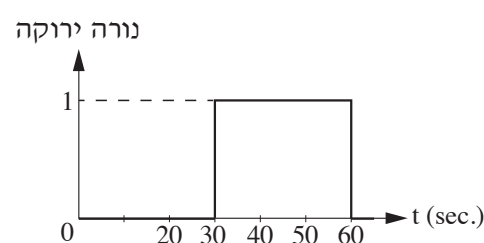
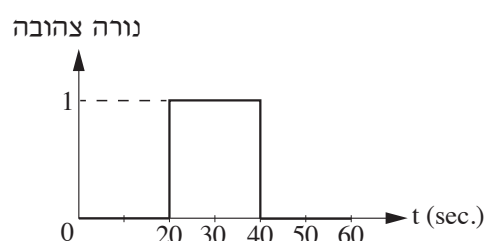
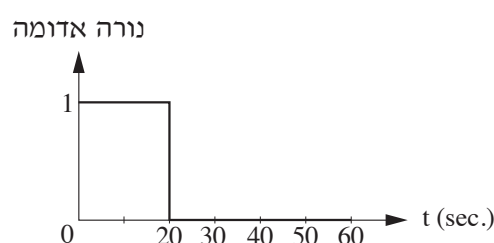
מכניקה הנדסית, קיץ תשפ"ג, סמל 838381

שאלה 8

באיור א' לשאלה 8 מתואר רמזור המופעל באמצעות מערכת בקרה. המערכת כוללת מתג הפעלה, נורה אדומה, נורה צהובה, נורה ירוקה ובקר. (הבקר אינו מתואר באיור).
באיור ב' לשאלה 8 נתונים שלושה גרפים המתארים את מצבי שלוש הנורות במשך מחזור פעולה אחד של הרמזור. (מצב '1' – נורה דולקת, מצב '0' – נורה כבויה). הפעלת המתג מתחילה את מחזור הפעולה של הרמזור.



איור א' לשאלה 8



איור ב' לשאלה 8

מכניקה הנדסית, קיץ תשפ"ג, סמל 838381

(6 נק') א. כתבו טבלת קלט-פלט של מערכת בקרת הרמזור.

A full-page sheet of graph paper featuring a uniform grid of thin, light gray lines on a white background. The grid consists of small squares covering the entire area.

(14 נק') **ב.** כתבו תוכנית או סרטטו דיאגרמת סולם לבקרת פעולת הרמזור, עבור מחזור אחד. שפת התכנות נתונה לבחירתכם.

This image shows a full page of blank graph paper. The grid consists of small, uniform squares formed by thin, light gray lines. There are no margins, text, or other markings on the page.

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

מכניקה הנדסית, קיץ תשפ"ג, סמל 838381

טיוטה

لا تكتب في هذه المنطقة

لا تكتب في هذه المنطقة

لا تكتب في هذه المنطقة

لا تكتب في هذه المنطقة

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"

يُمنع نقل ورقة القوانين هذه
إلى مُمتَحَنٍ آخر

אין להעביר את הנוסחאון
לנבחן אחר

נוסחאון במכניקה הנדסית (11 עמודים)
ورقة قوانين في الميكانيكا الهندسيّة (11 صفحة)

1. מתיחה – לחיצה

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

2. גזירה ומעיכה

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

3. פיתול ותנועה סיבובית

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

4. כפיפה

$\sigma_b = \frac{M_b}{Z_x} \leq [\sigma_b]$	-	מאמץ כפיפה, ביחס לציר x	[MPa]
	-	מומנט כפיפה	[Nmm]
לחתך מלבני:	-	מומנט התנגדות (מודול החתך)	[mm ³]
$M_x = L \cdot F$	-	קוטר	[mm]
$Z_x = \frac{bh^2}{6}$	-	רוחב החתך	[mm]
לחתך עגול מלא:	-	גובה החתך	[mm]
$Z_x = \frac{\pi d^3}{32} \cong 0.1 d^3$	-	כוח	[N]
$[\sigma_b] = 1.2[\sigma_t]$	-	זרוע	[mm]
	-	קוטר	[mm]
מומנטי התמד (אינרציה) ציריים	-	הממד המקביל למישור הנייטרלי	[mm]
לחתך עגול:	-	הממד הניצב למישור הנייטרלי	[mm]
$I = \frac{\pi d^4}{64} = 0.05 d^4$			
לחתך מלבני:			
$I_{max} = \frac{bh^3}{12}$			

5. קריסה

F_{cr}	- הכוח המינימלי שיגרום לקריסה, לפי שיטת אוילר	$F_{cr} = \frac{\pi^2 EI_{min}}{(\mu L)^2}$
[N]		
E	- מודול האלסטיות של החומר	$\lambda = \frac{\mu L}{i_{min}} > \lambda_{\gamma}$
[MPa]		
I_{min}	- מומנט ההתמד הצירי המינימלי של חתך המוט	$i_{min} = \sqrt{\frac{I_{min}}{A}}$
[mm ⁴]		
L	- אורך המוט	$[F]_p = \frac{F_{cr}}{K}$
[mm]		
μ	- מקדם האורך התלוי בשיטת הריתום של המוט:	
	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	$\lambda_{\gamma} = 100$ - פלדה דלת-פחמן
		$\lambda_{\gamma} = 80$ - פלדת פחמן
		כאשר: $\lambda < \lambda_{\gamma}$ קיים,
		נדרש להשתמש בנוסחה:
i_{min}	- רדיוס ההתמד (אינרציה) המינימלי	$\sigma_{cr} = a - b\lambda$
[mm]		
A	- שטח החתך	פלדה דלת-פחמן: $a = 310$ MPa
[mm ²]		$b = 1.14$ MPa
$[F]_p$	- הכוח המותר בקריסה	פלדת פחמן: $a = 589$ MPa
[N]		$b = 3.82$ MPa
K	- מקדם הבטיחות בקריסה	

6. מסמרות ; פינים

d	- קוטר המסמרה/הפין	$\tau = \frac{F}{A_s} = \frac{4F}{\pi d^2 \cdot n \cdot i}$
[mm]		
i	- מספר שטחי הגזירה	
t	- אורך הקטע הנמעך	$\sigma_{lc} = \frac{F}{A_{lc}} = \frac{F}{d \cdot t \cdot i_1} \leq [\sigma_{lc}]$
[mm]		
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

[N]	כוח	-	F	מאמץ מעיכה:
[mm]	גובה השגם	-	h	$\sigma_{\ell c \max.} = \frac{F}{0.5 h \cdot \ell_1}$
[mm]	אורך יעיל של השגם	-	ℓ_1	מאמץ גזירה:
[mm]	רוחב השגם	-	b	$\tau_s = \frac{F_t}{b \cdot \ell_1} \leq [\tau_s]$
				$[\tau_s] = 0.6[\sigma_t]$

8. מסבים

אורך חיים של מסבי גלגול:

למסב כדורים:

[mil · rev]	אורך החיים של המסב במיליוני סיבובים	-	L	$L = \left[\frac{C}{P} \right]^3$
[h]	אורך החיים של מסב בשעות	-	L_h	$L_h = \frac{L \cdot 10^6}{n \cdot 60}$
[N]	העומס הסטטי על המסב	-	P_o	$\frac{C}{P} = \sqrt[3]{L}$
[N]	הכושר הסטטי של המסב	-	C_o	$C = P \sqrt[3]{L}$
[N]	הכושר הדינמי של המסב	-	C	$c_o \approx 1.8 p_o$
[N]	העומס השקול על המסב	-	P	$P = \frac{C}{\sqrt[3]{L}}$
[MPa]	לחץ שטח במסב החלקה	-	p	למסב גלילים:
[mm]	הקוטר הפנימי של מסב ההחלקה	-	d	$L = \left[\frac{C}{P} \right]^{10/3}$
[mm]	אורך מסב ההחלקה	-	ℓ	מסבי החלקה:
[N]	הכוח הפועל על מסב ההחלקה	-	F	$p = \frac{F}{d \cdot \ell}$
[rpm]	מהירות סיבוב	-	n	$v = \frac{\pi d n}{60,000}$
[m/s]	מהירות קווית	-	v	$p v \leq [p v]$
$\left[\text{MPa} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$	מכפלת התחממות מותרת	-	[pv]	

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]
	Δf	-	מידת שקיעת הקפיץ	[mm]
	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]
	s	-	מקדם בטיחות	
$[\tau_t] = \frac{0.6 \sigma_y}{s}$	σ_b	-	מאמץ כפיפה	[MPa]
	σ_y	-	מאמץ גבול הכניעה	[MPa]
$M_{t \text{ max}} = [\tau_t] \cdot Z_o$	$[\tau_t]$	-	מאמץ מותר לפיתול	[MPa]
$\varphi_{\text{rad}} = \frac{M_t \cdot L}{G \cdot I_o}$	$\tau_{\text{e max}}$	-	מאמץ שקול מרבי בחתך התיל	[MPa]
$W = U_{\text{el}} = \frac{M_t \cdot \varphi_{\text{rad}}}{2}$	Z_o	-	מודול החתך לפיתול (קוטבי) (מומנט התנגדות לפיתול)	[mm ³]
	U_{el}	-	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

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	

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

$$\tan \varphi = \mu$$

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:

$$M_t = 0.1 \cdot Q \cdot d$$

11. מצמדים

F_f	-	כוח חיכוך כתוצאה מהידוק בורג אחד במצמד	[N]
μ	-	מקדם חיכוך	
M_f	-	מומנט כתוצאה מכוחות החיכוך	[Nm]
i	-	מספר הברגים	
D_f	-	קוטר מעגל החלוקה שעליו הברגים ממוקמים	[mm]
M_t	-	מומנט הסיבוב המועבר בתנועה סיבובית	[Nm]
P	-	הספק	[kW]
n	-	מהירות סיבוב	[rpm]
Q	-	כוח צירי בבורג	[N]

$$F_f = \mu Q$$

$$M_f = i \cdot F_f \cdot \frac{D_f}{2}$$

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

12. גלים

M_e	- מומנט מורכב	[Nm]	$M_e = \sqrt{M_b^2 + M_t^2}$
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]	$D = mz = \frac{1}{\pi}z$
D	- קוטר מעגל החלוקה	[mm]	$D_e = m(z + 2)$
D_i	- קוטר מעגל העיקרים	[mm]	$D_i = m(z - 2.4)$
D_e	- קוטר מעגל הראשים	[mm]	$A_1 = \frac{m(z_1 + z_2)}{2}$
D_1, D_2	- קוטר הגלגל	[mm]	$\lambda = \frac{b}{m}$
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]	$h = h_1 + h_2$
h_2	- גובה עיקר השן	[mm]	$h_1 = m$
$-f$	- מקדם עומס־יתר		$h_2 = 1.2 m$
q	- מקדם מספר השיניים		
$[\sigma]$	- מאמץ מותר לכפיפה	[MPa]	$m = 490^3 \sqrt{\frac{P \cdot f \cdot q}{n \cdot z \cdot \lambda \cdot [\sigma]}}$
F_t	- כוח היקפי לגלגל שיניים	[N]	$P = \left(\frac{m}{490}\right)^3 \frac{n \cdot z \cdot \lambda \cdot [\sigma]}{f \cdot q}$
F	- כוח שילוב בין גלגלי השיניים	[N]	$M_t = 9550 \frac{P}{n}$
α	- זווית הלחץ	[deg]	$F_t = F \cos \alpha = \frac{2 M_t}{m z}$
$z_{\min}$	- מספר שיניים מינימלי (שן תקנית)		$z_{\min} = \frac{2}{\sin^2 \alpha}$
P	- הספק מועבר על־ידי הגלגלים	[kW]	
M_t	- מומנט מועבר	[Nm]	

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
$A = \frac{d_2 - d_1}{2} \cdot L$	d_1 – קוטר פנימי בגל כוכב
	d_2 – קוטר חיצוני בגל כוכב
	A – שטח השן הנמעכת
	L – אורך השן הנמעכת

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

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)	שטח, A [mm ²]	היקף [mm]	
	$I_x = I_y = \frac{a^4}{12}$		$Z_x = Z_y = \frac{a^3}{6}$	a^2	$4a$	
	$I_x = \frac{bh^3}{12}$ $I_y = \frac{hb^3}{12}$		$Z_x = \frac{bh^2}{6}$ $Z_y = \frac{hb^2}{6}$	$b \cdot h$	$2(h + b)$	
$I_o = \frac{\pi D^4}{32} \approx 0.1D^4$	$I_x = I_y = \frac{\pi D^4}{64} \approx 0.05D^4$	$Z_o = \frac{\pi D^3}{16} \approx 0.2D^3$	$Z_x = Z_y = \frac{\pi D^3}{32} \approx 0.1D^3$	$\frac{\pi \cdot D^2}{4}$	$\pi \cdot D$	
$I_o = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{32} \approx 0.1(D^4 - d^4)$	$I_x = I_y = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{64} \approx 0.05(D^4 - d^4)$	$Z_o = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{16} \approx 0.2 \frac{(D^4 - d^4)}{D}$	$Z_x = Z_y = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{32} \approx 0.1 \frac{(D^4 - d^4)}{D}$	$\frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)$	$\pi(D + d)$	

נוסחאות בבקרה

1. הגבר סטטי:

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

2. תמסורת של מלבן בודד:

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

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



3. תמסורת של שני מלבנים בטור:

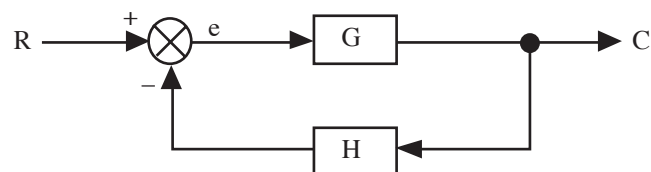
$$\frac{\theta_o}{\theta_i} = G_1 G_2$$



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 :

$$Q = v \cdot A$$

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

6. לחץ:

$$P = \frac{F}{A}$$

$[N]$	- כוח	F
$[Pa]$	- לחץ	P

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

7. הספק הידראולי:

$$N = Q \cdot P$$

8. הספק של משאבה:

$$N = \frac{Q \cdot \Delta P}{\eta}$$

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

9. ספיקת משאבה:

$$Q = n \cdot C$$

$\left[\frac{rev}{sec} \right]$	- קצב (מהירות) סיבוב	n
$\left[\frac{m^3}{rev} \right]$	- הדחק המשאבה	C

10. הספק מכני:

$$N_{mech} = F \cdot v$$

$[W]$	- הספק מכני	N_{mech}
$[N]$	- כוח הפועל על גוף נע	F
$\left[\frac{m}{sec} \right]$	- מהירות הגוף הנע	v

בהצלחה !