

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.

בהצלחה !

מדבקת שאלון ملصقة نموذج امتحان ברקוד שאלון	מדבקת נבחן והתאמות ملصقة ممتحن وملاءمات <table border="1"> <tr> <td>שנה السنة</td> <td>חודש الشهر</td> </tr> <tr> <td>מועד موעד</td> <td></td> </tr> <tr> <td>מס' תעודת הזהות</td> <td>סמל ביה"ס</td> </tr> <tr> <td>رقم الهوية</td> <td>رقم المدرسة</td> </tr> </table> יש להדביק כאן ↑ מדבקת נבחן (ללא שם) يجب هنا ↑ إلصاق ملصقة ممتحن (بدون اسم)	שנה السنة	חודש الشهر	מועד موעד		מס' תעודת הזהות	סמל ביה"ס	رقم الهوية	رقم المدرسة	מדבקות לנבחן ملصقة ممتحن
שנה السنة	חודש الشهر									
מועד موעד										
מס' תעודת הזהות	סמל ביה"ס									
رقم الهوية	رقم المدرسة									

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 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 يُشير الشك بعدم الالتزام بنزاهة الامتحانات.
6. لا يُسمح كتابة الاسم داخل الدفتر، لأن الامتحان يُفحص بدون ذكر اسم.

نتمنى لكم النجاح!

סוג הבחינה: בגרות לבתי-ספר על-יסודיים
מועד הבחינה: קיץ תשפ"א, 2021
סמל השאלון: 838381
נספח: נוסחאון במכניקה הנדסית

מדינת ישראל

משרד החינוך

מכניקה הנדסית

הוראות לנבחן

א. משך הבחינה: שלוש שעות.

ב. מבנה השאלון ומפתח ההערכה: בשאלון זה שלושה פרקים ובהם תשע שאלות.
עליך לענות על חמש שאלות על-פי בחירתך מכל השאלון.
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. תוכל להשתמש בעמוד 19 כטיוטה (לכתיבת 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 20 עמודים ו-14 עמודי נספחים.

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

המשך מעבר לדף

בהצלחה!



מכניקה הנדסית, קיץ תשפ"א, סמל 838381

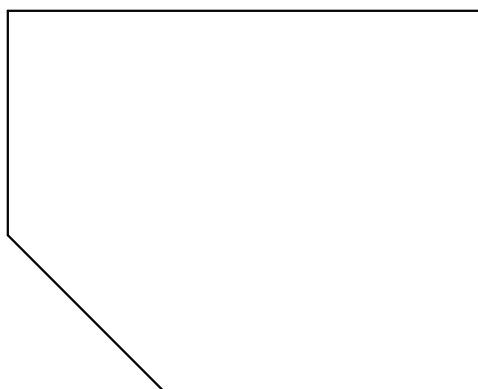
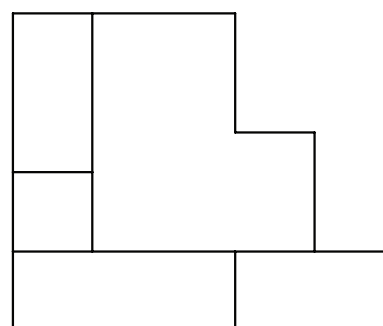
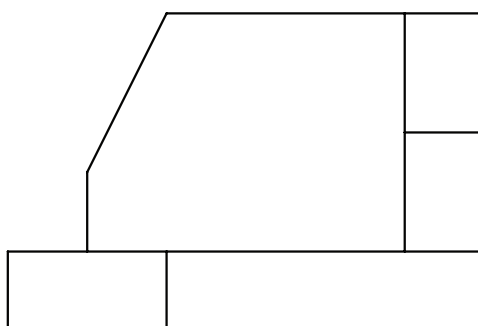
השאלות

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

פרק ראשון: סרטוט טכני

שאלה 1

באיור לשאלה 1 נתונים היטל-פנים והיטל-צד מלאים של גוף.
השלם את היטל-העל של הגוף.



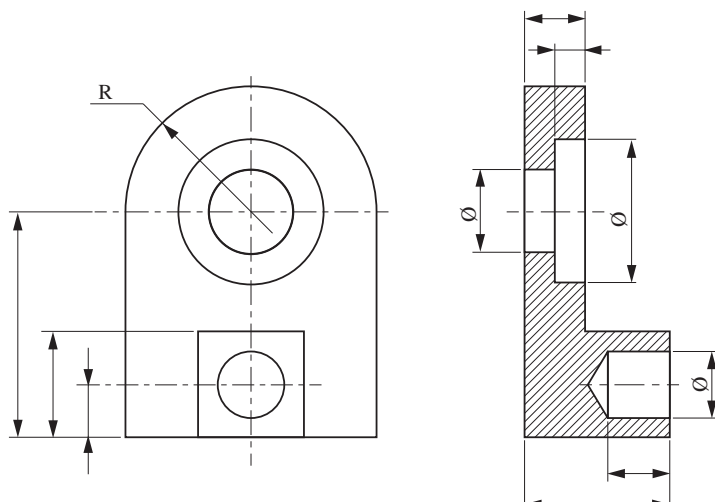
איור לשאלה 1



מכניקה הנדסית, קיץ תשפ"א, סמל 838381

שאלה 2

באיור לשאלה 2 נתונים היטל-פנים בחתך, היטל-צד, היטל-על ותיאור איזומטרי של גוף. הוסף 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"א, 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.

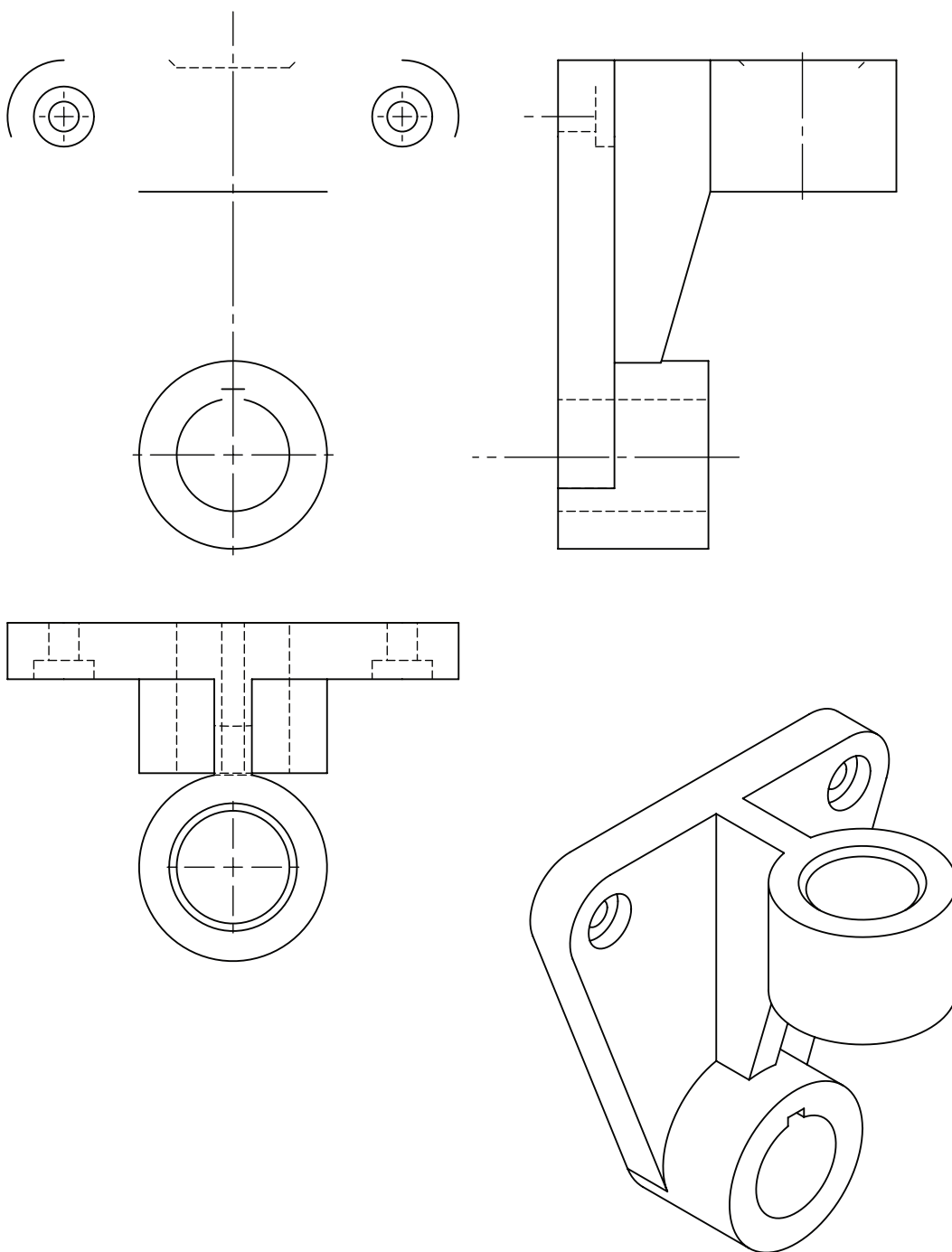
(10 נק') א. השלם את הקווים החסרים בהיטל-הפנים.

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

לא לכתוב באזור זה لا تكتب في هذه المنطقة



מכניקה הנדסית, קיץ תשפ"א, סמל 838381



איור לשאלה 3

لا تكتب في هذه المنطقة

لا لכתוב באזור זה



מכניקה הנדסית, קיץ תשפ"א, סמל 838381

7 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

שאלה 5

Diagram of a beam with a fixed support at A, a hinge at B, and a roller support at C. The beam is divided into two segments, AB and BC, each 1 m long. A horizontal force $F_2 = 15,000 \text{ N}$ acts to the left at B. A vertical force D acts upwards at B. A horizontal force $F_1 = 10,000 \text{ N}$ acts to the right at C. The beam has a height d .

איור לשאלה 5

[illegible][illegible]

לא לכתוב באזור זה

لا تكتب في هذه المنطقة



מכניקה הנדסית, קיץ תשפ"א, סמל 838381

- ג. (6 נק') המוט עשוי פלדה. מודול האלסטיות של פלדה: $E = 2 \times 10^5 \text{ MPa}$.
חשב את מידת ההתארכות של המוט בקטע BC.

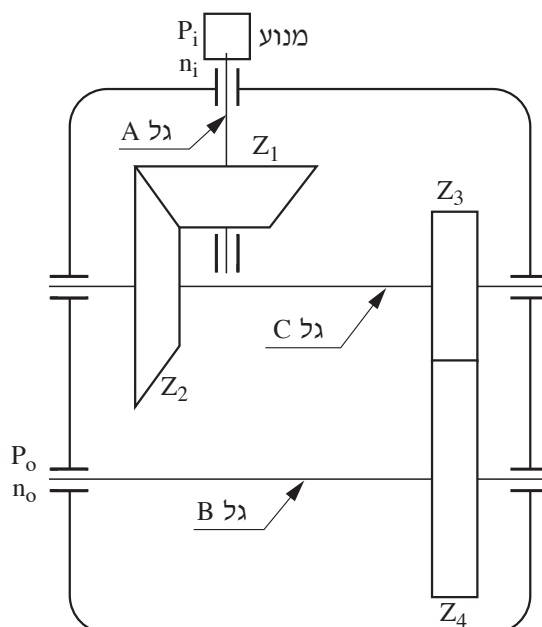


מכניקה הנדסית, קיץ תשפ"א, סמל 838381

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"א, סמל 838381

(7 נק') א. חשב את נצילות הממסרה.

[illegible]

(7 נק') ב. חשב את יחס התמסורת.

[illegible]

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

[illegible]

لا تكتب في هذه المنطقة

לא לכתוב באזור זה



מכניקה הנדסית, קיץ תשפ"א, 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"א, סמל 838381

8 נק') א. השלם 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	

ב. השלם 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				

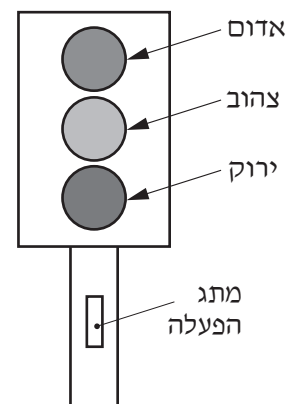
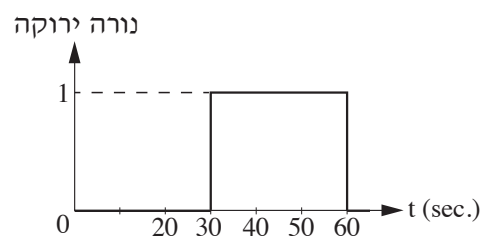
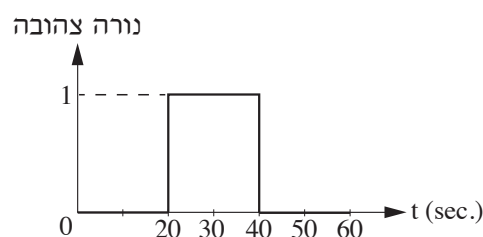
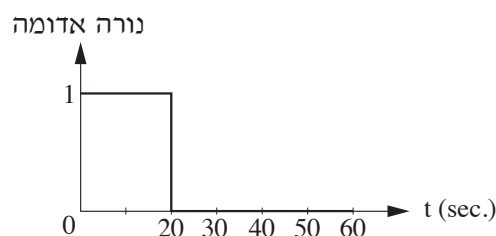
ג. כתוב את הפונקצייה E המצומצמת המתקבלת על-פי סעיף ב'.

[illegible]

מכניקה הנדסית, קיץ תשפ"א, 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"א, סמל 838381

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

[illegible]

14 נק') **ב.** כתוב תוכנית או סרטט דיאגרמת סולם לבקרת פעולת הרמזור, עבור מחזור אחד. שפת התכנות נתונה לבחירתך.

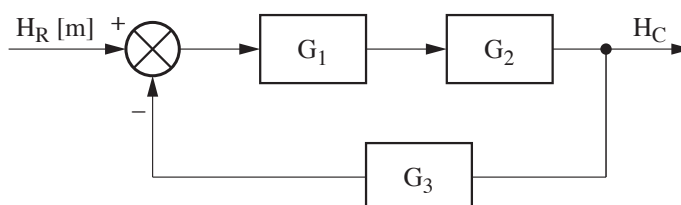
[illegible]

لا تكتب في هذه المنطقة

לא לכתוב באזור זה

שאלה 9

באיור לשאלה 9 נתונה דיאגרמת מלבנים של מערכת לבקרת מפלס.



איור לשאלה 9

(10 נק') א. כתוב את פונקציית התמסורת, $\frac{H_C}{H_R}$.

[illegible]

(10 נק') ב. להלן ההגברים של הרכיבים במערכת:

$$G_1 = 2, G_2 = 2, G_3 = 1$$

המפלס הרצוי הוא $H_R = 5 \text{ m}$.

חשב את מפלס המוצא של המערכת, H_C .

[illegible]

בהצלחה!

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

لا تكثر في هذه المنطقة
لا لכתוב באזור זה



מכניקה הנדסית, קיץ תשפ"א, סמל 838381

טיוטה

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"

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

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

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

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

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

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

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

$$h = h_1 + h_2$$

$$h_1 = m$$

$$h_2 = 1.2 m$$

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

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

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

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

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

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
[σ]	-	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]		

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
		[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
$S_1 = k_e \cdot F_t$	-	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 בממסרת
	-	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
		[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

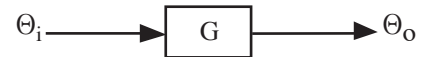
1. הגבר סטטי:

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

2. תמסורת של מלבן בודד:

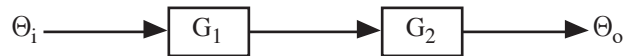
$$\frac{\Theta_o}{\Theta_i} = G$$

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



3. תמסורת של שני מלבנים בטור:

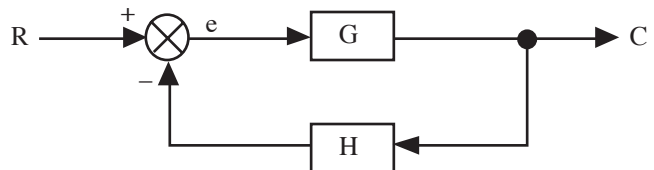
$$\frac{\Theta_o}{\Theta_i} = G_1 G_2$$



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

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