

משדד החינוך
המנהל הפדגוגי
אגף בכיר בחינוך

מחברת בחינה

לנבחנים ולנבחנות שלום,
נא 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 — פרט ל"חומר עזר מותר בשימוש" המפורט בגוף השאלון או בהוראות מוקדמות של המשרד. כמו כן אין להכניס לחדר הבחינה טלפונים או מחשבים ניידים. שימוש בחומר עזר שאינו מותר יוביל לפסילת הבחינה.
כל חומר עזר שאינו מותר בשימוש, יש למסור למשגיח לפני תחילת 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, ובמדבקות השאלון שקיבלת מודפסים פרטי השאלון המיועד לך.
- 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.
- לטיוטה 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.
- אין להוסיף או לשנות שום פרט במדבקות, כדי למנוע עיכוב בזיהוי המחברת וברישום הציונים.

בהצלחה !

12 17 סמל שאלון رقم النموذج שם השאלון اسم النموذج יש להדביק כאן ↑ מדבקת שאלון يجب هنا ↑ إلصاق ملصقة نموذج امتحان	18 21 מועד موعد 37 32 31 סמל ב"ס رقم المدرسة 23 מס' תעודת זהות رقم الهوية יש להדביק כאן ↑ מדבקת נבחן (ללא שם) يجب هنا ↑ إلصاق ملصقة ممتحن (بدون اسم)	מדבקות לנבחן ملصقة ممتحن
---	--	-----------------------------

* הוראות בשפה הערבית מעבר לדף
* التعلیمات باللغة العربية على ظهر الصفحة

יש לסמן במשבצת ☐ אם ניתן שאלון נוסף
يجب الإشارة في المربع إذا أُعطي نموذج امتحان إضافي

دفتر امتحان

تحيّة للممتحنين وللممتحنات !

الرجاء قراءة التعليمات في هذه الصفحة والعمل وفقاً لها بدقة. عدم تنفيذ التعليمات قد يؤدي إلى عواقب مختلفة وحتى إلى إلغاء الامتحان. أعدّ الامتحان لفحص تحصيلاتك الشخصية، لذلك يجب العمل بشكل ذاتي فقط. أثناء الامتحان، لا يُسمح طلب المساعدة من الغير ويُمنع إعطاء أو أخذ موادّ مكتوبة أو شفهيّة.

لا يُسمح إدخال موادّ مساعدة – كتب، دفاتر، قوائم – إلى غرفة الامتحان، باستثناء "موادّ مساعدة يُسمح استعمالها" المفصّلة في نموذج الامتحان أو في تعليمات مسبقة من الوزارة. كما لا يُسمح إدخال هواتف أو حواسيب محمولة إلى غرفة الامتحان. استعمال موادّ مساعدة غير مسموح بها يؤدي إلى إلغاء الامتحان.

يجب تسليم كلّ مادّة مساعدة لا يُسمح استعمالها للمراقب قبل بدء الامتحان. بعد الانتهاء من كتابة الامتحان، يجب تسليم الدفتر للمراقب، ومغادرة غرفة الامتحان بهدوء.

يجب التقيد بنزاهة الامتحانات !

تعليمات للامتحان

1. يجب التأكّد بأنّ تفاصيلك الشخصية مطبوعة على ملصقات الممتحن التي حصلت عليها، وبأنّ تفاصيل نموذج الامتحان المعدّ لك مطبوعة على ملصقات نموذج الامتحان التي حصلت عليها.
2. في حال عدم حصولك على ملصقة، يجب ملء التفاصيل في المكان المعدّ لملصقة الممتحن، بخطّ يد.
3. لا يُسمح الكتابة في هوامش الدفتر (في المنطقة المخطّطة)، لأنّه لن يتمّ مسح ضوئيّ لهذه المنطقة.
4. للمسوّدة تُستعمل أوراق دفتر الامتحان المعدّة لذلك فقط.
5. يُمنع نزع أو إضافة أوراق. الدفتر الذي يُسلم ناقصاً يُثير الشكّ بعدم الالتزام بنزاهة الامتحانات.
6. لا يُسمح كتابة الاسم داخل الدفتر، لأنّ الامتحان يُفحص بدون ذكر اسم.
7. لا يُسمح إضافة أو تغيير أيّة تفاصيل في الملصقات، وذلك لمنع عوائق في تشخيص الدفتر وفي تسجيل العلامات.

نتمنّى لكم النّجاح!

סוג הבחינה: בגרות לבתי-ספר על-יסודיים
מועד הבחינה: קיץ תשע"ח, 2018
סמל השאלון: 838381
נספחים: חוברת נספחים
נוסחאון

מדינת ישראל

משרד החינוך

מכניקה הנדסית

הוראות לנבחן

א. משך הבחינה: שלוש שעות.

ב. מבנה השאלון ומפתח ההערכה: בשאלון זה שלושה פרקים.

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 כתיבה, כלי סרטוט ומחשבון.

ד. הוראות מיוחדות: אין.

ה. הוראות כלליות: שאלון זה משמש כמחברת בחינה. כתוב בו את כל תשובותיך, במקום הריק, בשורות או במשבצות
שליד כל שאלה.

בסוף המחברת יש עמודים ריקים שניתן להשתמש בהם כדפי טיוטה.
תוכל להקצות עמודים אלו לכל מה שברצונך לכתוב כטייטה (ראשי פרקים, חישובים וכדומה).
רשום "טייטה" בראש כל עמוד טיוטה.
רישום טיוטות כלשהן על דפים שמחוץ לשאלון זה עלול לגרום לפסילת הבחינה!

הוראות למשגיח: בתום הבחינה על כל נבחן לצרף את חוברת הנספחים אל מחברת הבחינה שלו.

בשאלון זה 18 עמודים, חוברת נספחים ונוסחאון.

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

בהצלחה!

המשך מעבר לדף



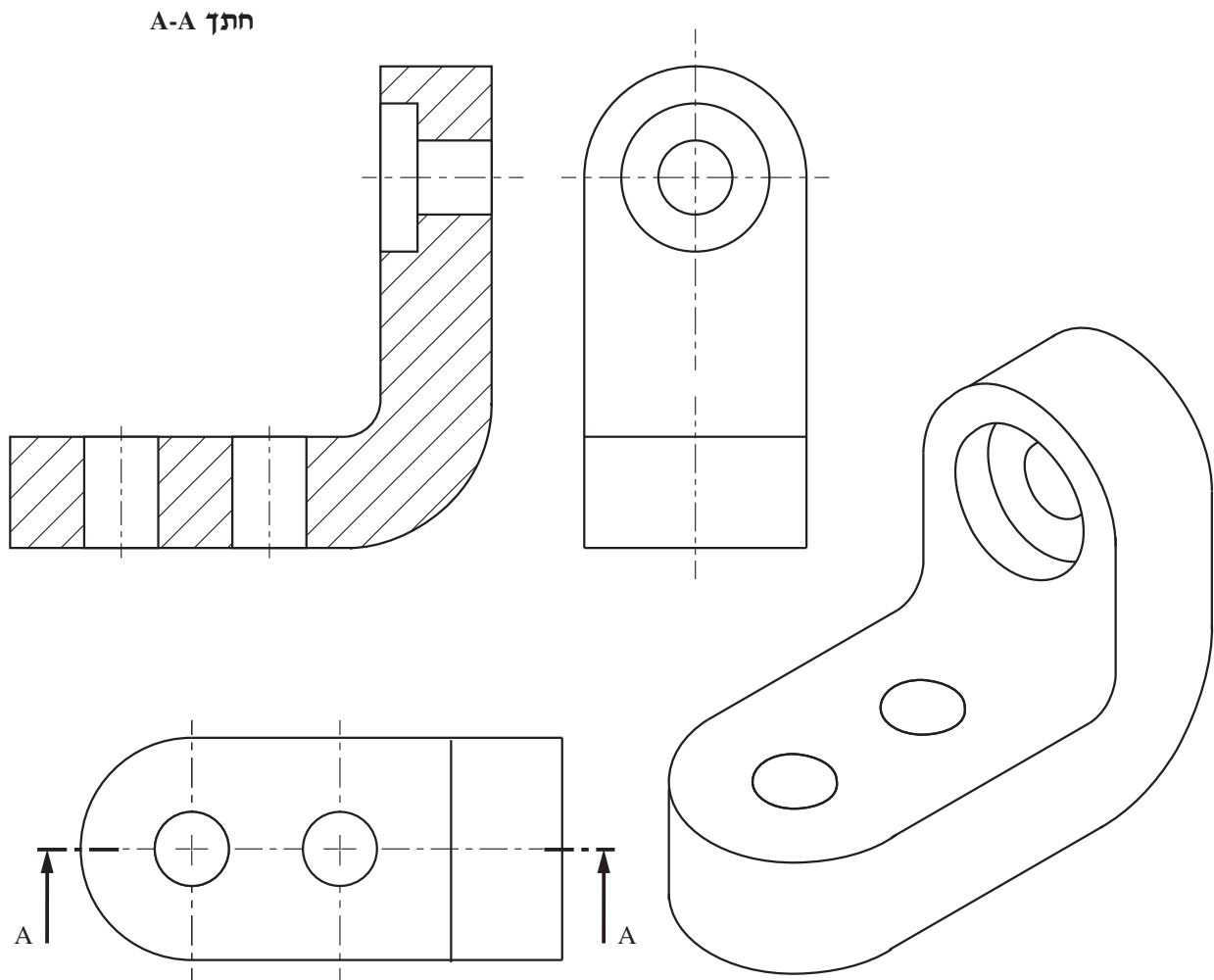
השאלות

בשאלון זה שלושה פרקים.
עליך לענות על שאלה אחת מכל פרק ועל עוד שתי שאלות, על-פי בחירתך
(לכל שאלה – 20 נקודות).

פרק ראשון: סרטוט טכני

שאלה 1

באיור לשאלה 1 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 לרשום את
הערכים המספריים של המידות).



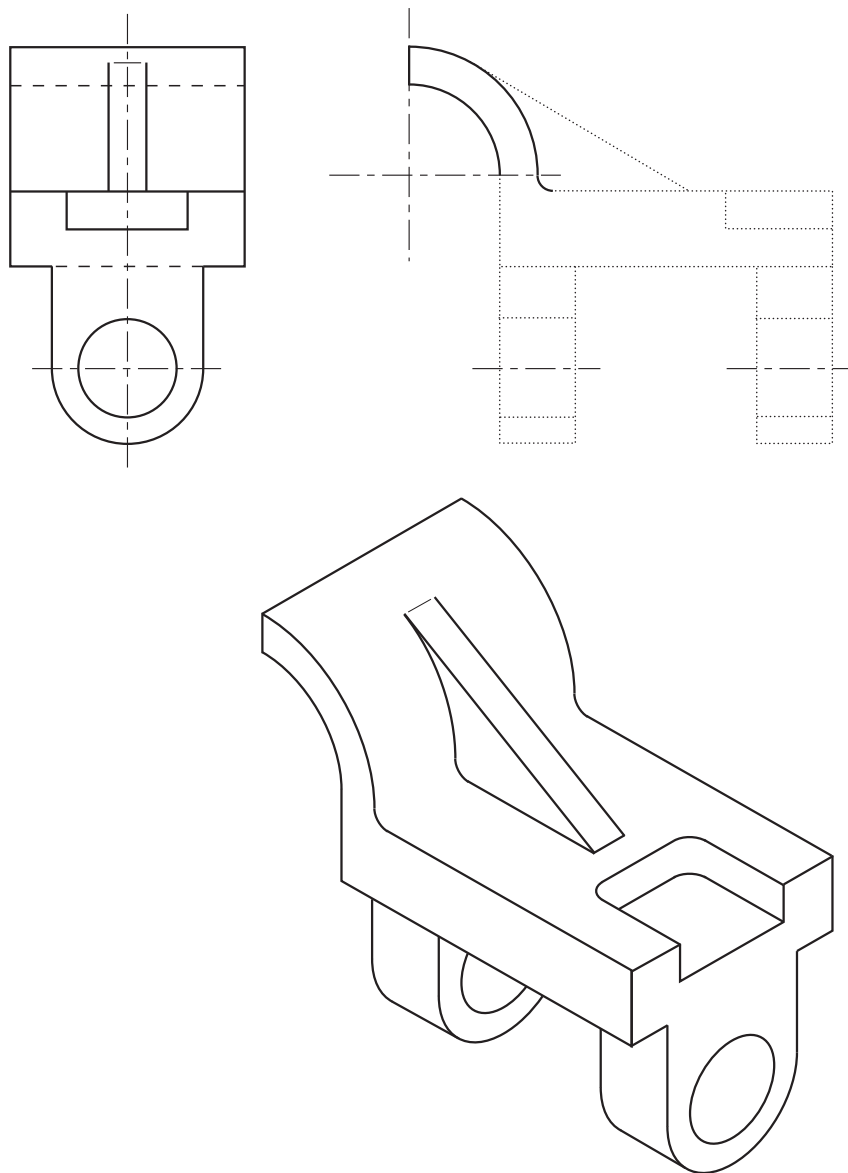
איור לשאלה 1

◀ המשך בעמוד 3



שאלה 2

באיור לשאלה 2 נתונים היטל פנים ותיאור איזומטרי של גוף. היטל הצד מסורטט בחלקו בקווים מנוקדים. הפוך את היטל הצד לחתך ישר, על-פי התוואי העובר על קו הסימטריה בהיטל הפנים.



איור לשאלה 2

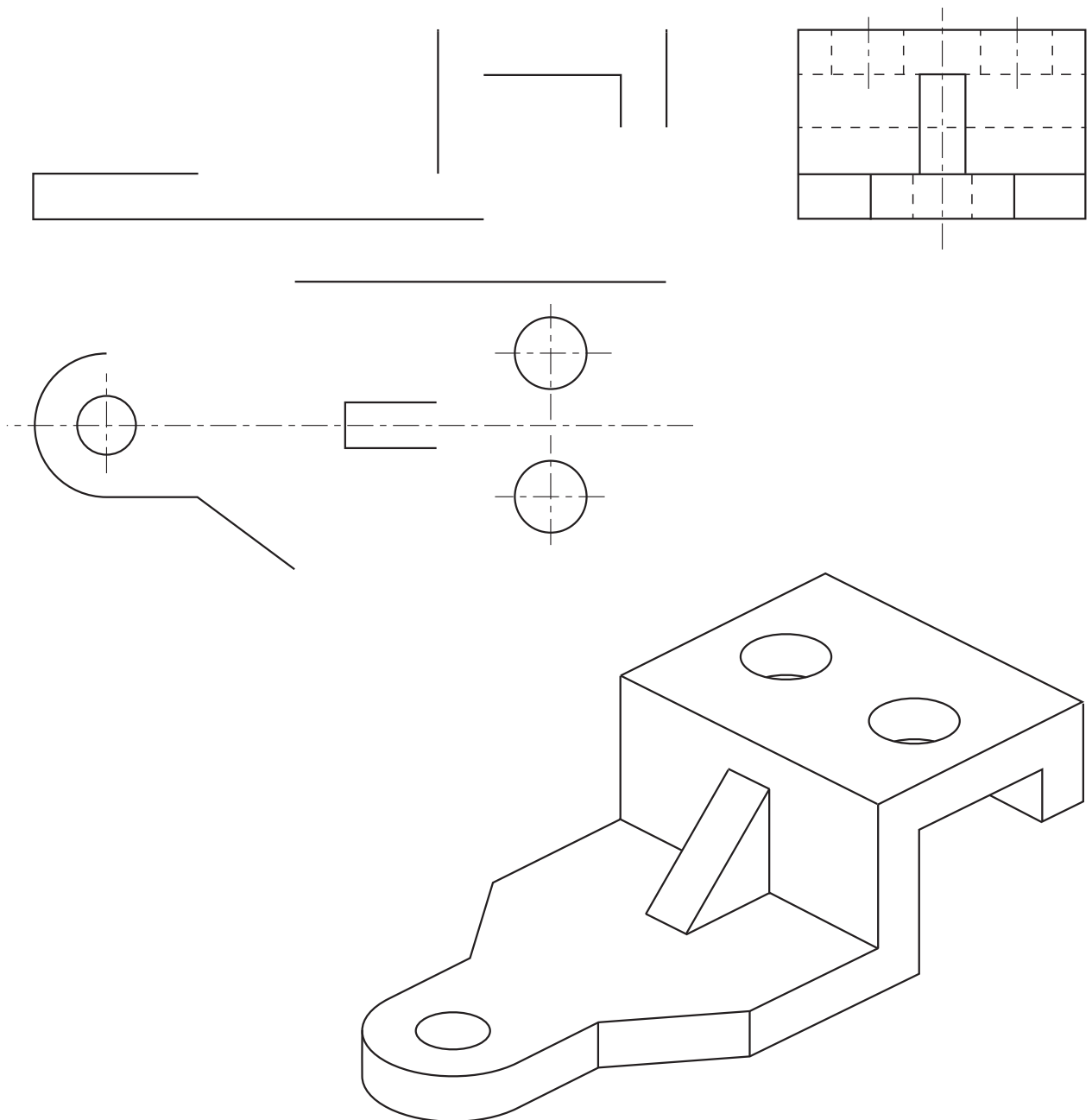


שאלה 3

באיור לשאלה 3 נתונים תיאור איזומטרי והיטל צד שלמים של גוף. כמו כן נתונים היטל פנים והיטל על חלקיים של הגוף.

א. השלם את הקווים החסרים בהיטל הפנים.

ב. השלם את הקווים החסרים בהיטל העל.



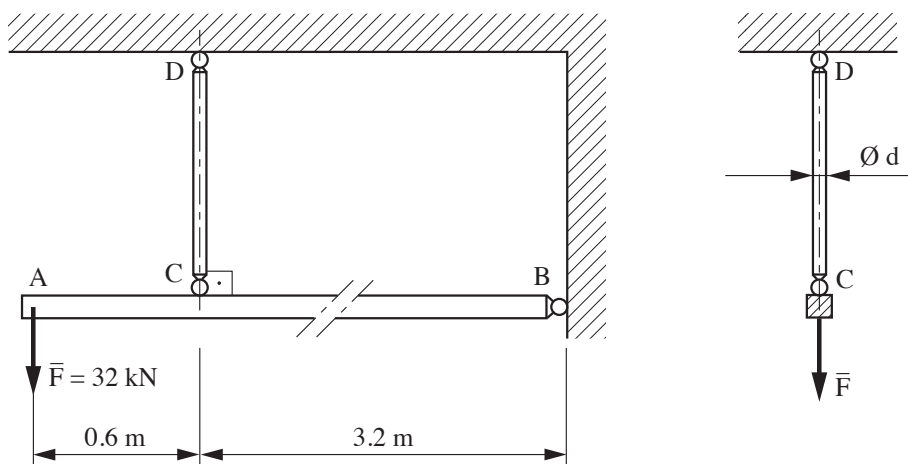
איור לשאלה 3



פרק שני: תורת החוזק ופרקי מכונות

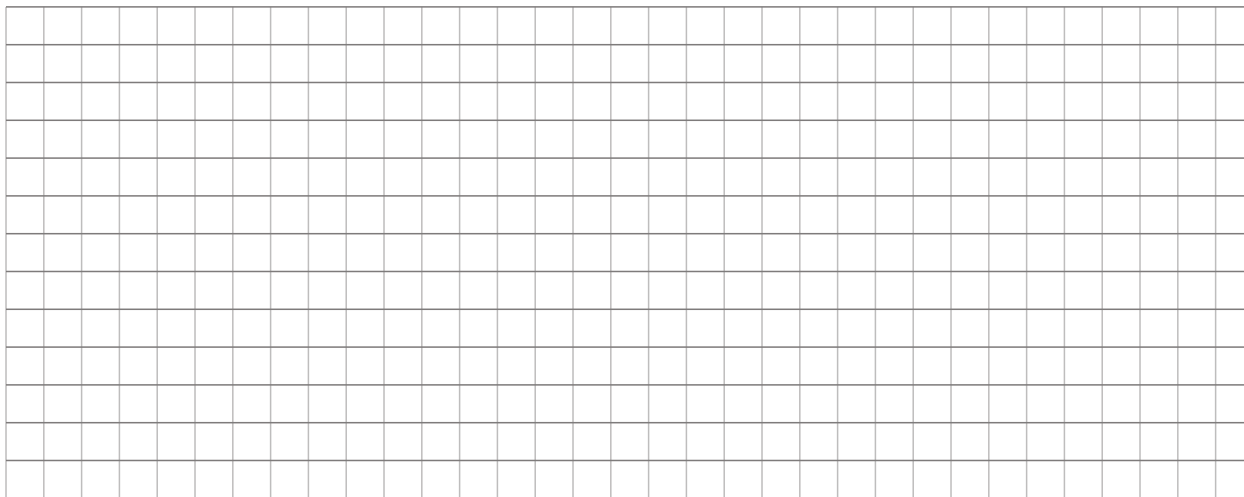
שאלה 4

באיור לשאלה 4 מתוארת הקורה האופקית 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. על קצה הקורה פועל הכוח $\bar{F} = 32 \text{ kN}$, אנכית כלפי מטה, במקום המתואר באיור.



איור לשאלה 4

א. סרטט את הדג"ח (דיאגרמת הגוף החופשי) של הקורה AB.





- ב. חשב את גודלו של כל אחד מן הכוחות הפועלים על המוט CD. קבע אם המוט נלחץ או נמתח ונמק את קביעתך. (לפתרוןך היעזר בסרטוט דג"ח של המוט CD).



- ג. הנח שגודלו של הכוח הפועל על המוט CD הוא 40 kN וחשב את הקוטר, d , המזערי של המוט שיאפשר למוט לעמוד במאמץ שבו.

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





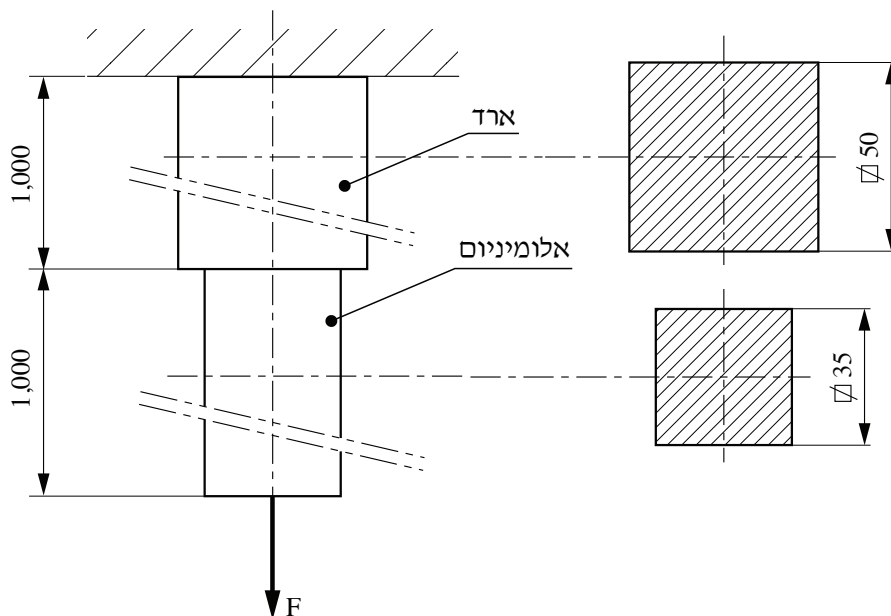
שאלה 5

באיור לשאלה 5 מתואר מוט מדורג. חלקו העליון של המוט עשוי ארד וחלקו התחתון עשוי אלומיניום. המוט רתום לתקרה. על המוט פועל הכוח: $F = 150 \text{ kN}$, כמתואר באיור.

נתונים:

מודול האלסטיות של ארד: $E_{\text{ארד}} = 110,000 \text{ MPa}$

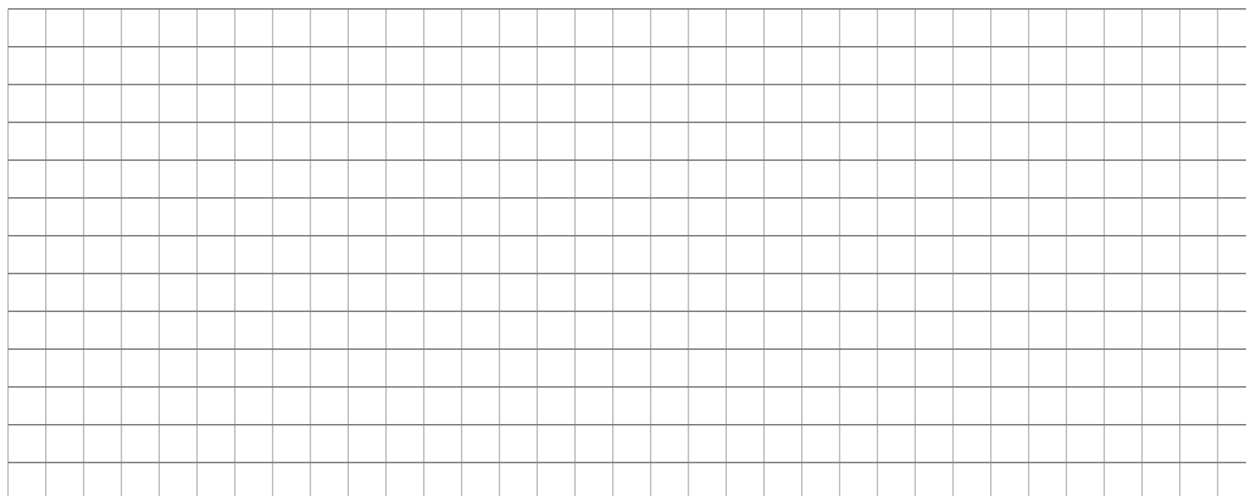
מודול האלסטיות של אלומיניום: $E_{\text{אלומי}} = 75,000 \text{ MPa}$



איור לשאלה 5

הזנח את משקלו העצמי של המוט.

א. חשב את כוח התגובה של התקרה.



ב. חשב את מאמץ המתיחה בחלקו העליון של המוט, העשוי ארד.

A full-page sheet of white graph paper with a light gray grid. The grid consists of small squares, approximately 1 cm by 1 cm each. There are 20 columns and 20 rows of squares, creating a total of 400 square units. The grid lines are thin and evenly spaced, forming a continuous pattern across the entire page.

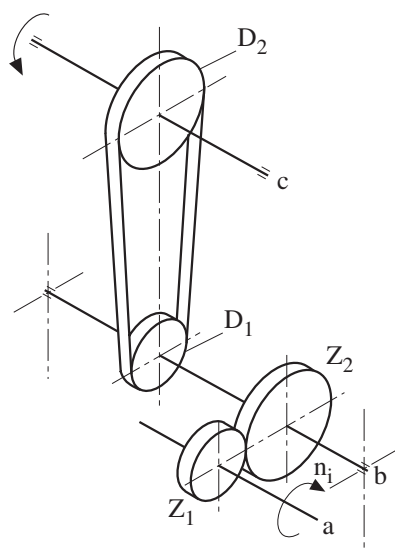
ג. חשב את ההתארכות הכוללת של המוט.

A full-page view of a blank sheet of graph paper. The grid consists of small squares formed by thin, light gray lines. There are 20 columns and 20 rows of squares, creating a uniform background for drawing or writing.



שאלה 6

באיור לשאלה 6 מתוארת ממסרה המורכבת מגלגלי שיניים וגלגלי רצועה.



איור לשאלה 6

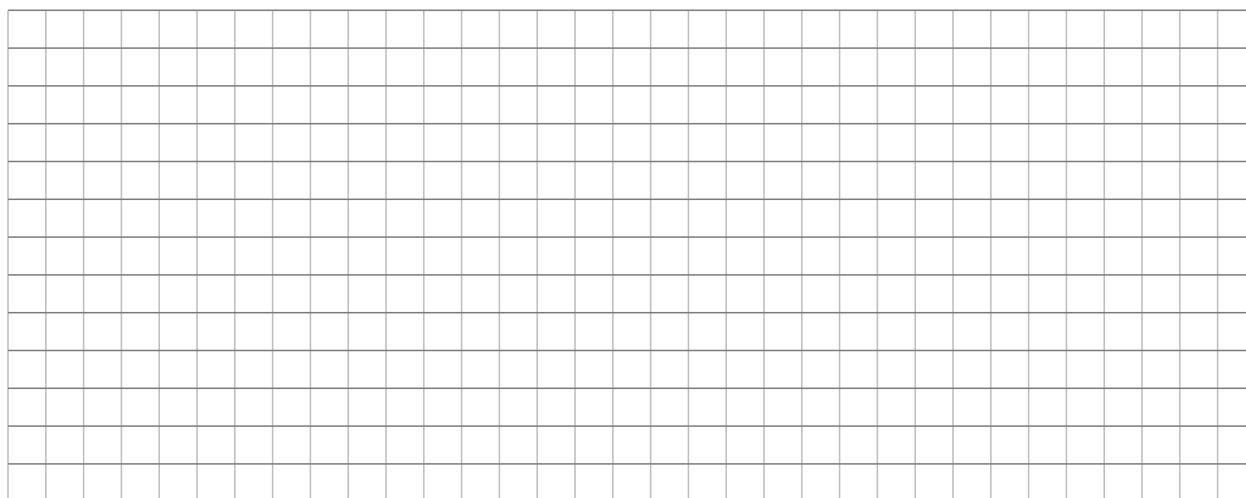
נתוני הממסרה:

מספר השיניים בגלגלי השיניים: $Z_1 = 16$

$Z_2 = 24$

קוטר גלגל הרצועה הקטן: $D_1 = 80 \text{ mm}$

א. חשב את הקוטר D_2 של גלגל הרצועה הגדול אם נתון שיחס התמסורת של כל הממסרה הוא $i = 1:3$.





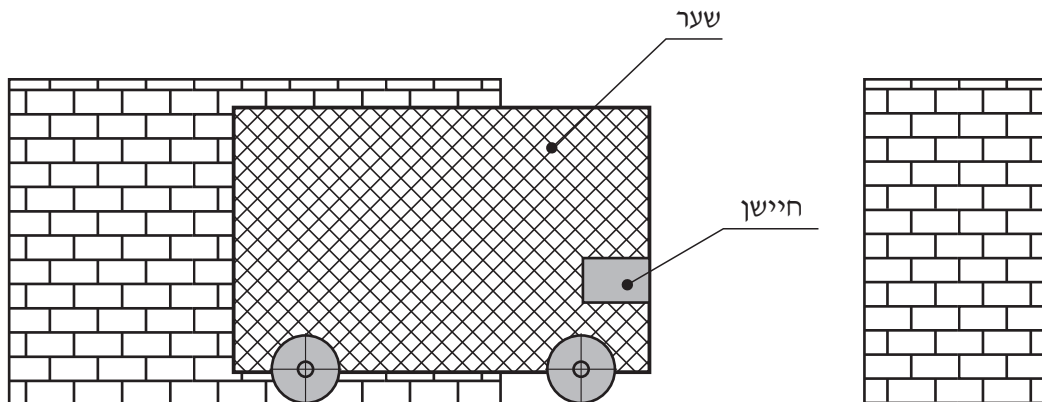
This image shows a full page of blank graph paper. The grid consists of thin, light gray horizontal and vertical lines that intersect to form small squares across the entire surface. There are no margins, text, or other markings on the paper.



פרק שלישי: פרקי הנדסה ומדע – בקרה

שאלה 7

באיור לשאלה 7 מתואר שער המופעל באמצעות מערכת בקרה הכוללת מנוע חשמלי (לא מתואר באיור). השער נע על מסילה.



איור לשאלה 7

רכיבי המערכת:

- לחצן, PB1, המשמש לפתיחת השער (לא מתואר באיור)
- לחצן, PB2, המשמש לסגירת השער (לא מתואר באיור)
- חיישן אדם עם מגע פנימי רגיל-פתוח (N.O.), הנסגר כאשר מתגלה אדם באזור הגילוי של החיישן
- מנוע דו-כיווני הפותח או הסוגר את השער

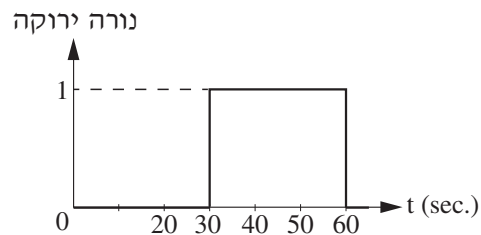
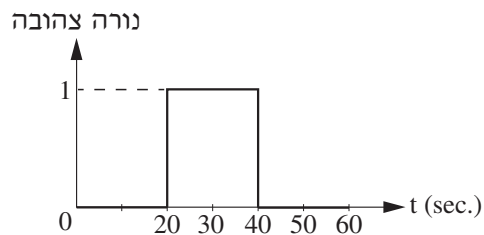
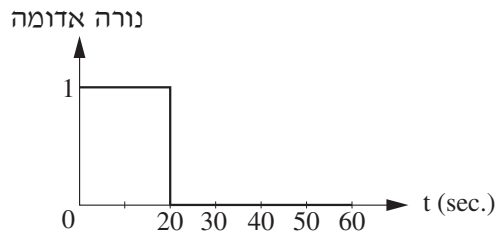
אופן פעולת המערכת:

- 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.

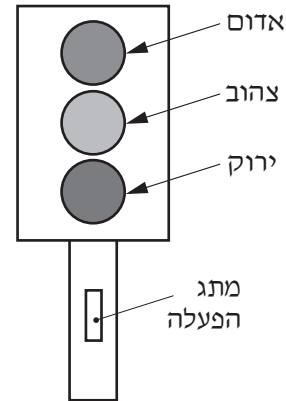


שאלה 8

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 ב' לשאלה 8



איור א' לשאלה 8

[illegible]

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.

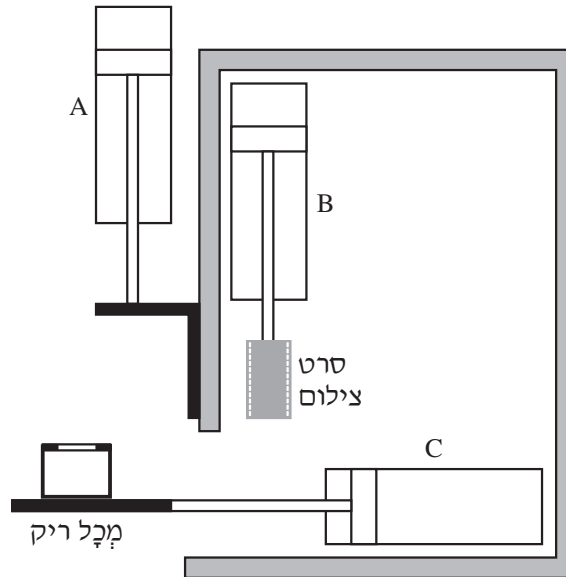


שאלה 9

באיור לשאלה 9 מתוארת מערכת לאריזת סרט צילום בתוך מִקְל אָטום לאור. תהליך האריזה מבוצע בתוך תא חושך.

הבוכנה C מכניסה את המכל לתוך תא החושך. הבוכנה A סוגרת את פתח התא והבוכנה B מכניסה את סרט הצילום למכל.

בקצות מהלכי הבוכנות A, B ו-C מותקנים חיישני הגבול $a_1, a_0, b_1, b_0, c_1, c_0$ בהתאמה.



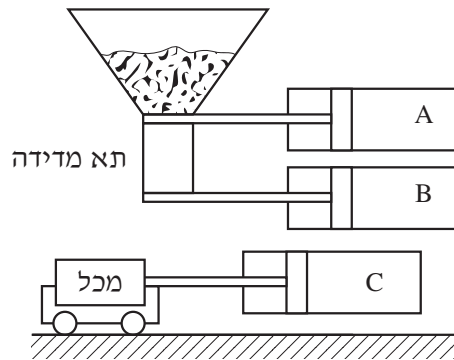
איור לשאלה 9

- א. רשום במחברתך את מחזור הפעולות של המערכת.
- ב. הצג במחברתך דיאגרמת חצים המתארת את מחזור הפעולות של המערכת.
- ג. השלם בחוברת הנספחים (נספח א') את מערך הפיקוד של מחזור הפעולות של המערכת, בשיטת הקסקדה.



שאלה 10

באיור לשאלה 10 מוצגת מערכת פנימטית למילוי חצץ במכלים:



איור לשאלה 10

רכיבי המערכת:

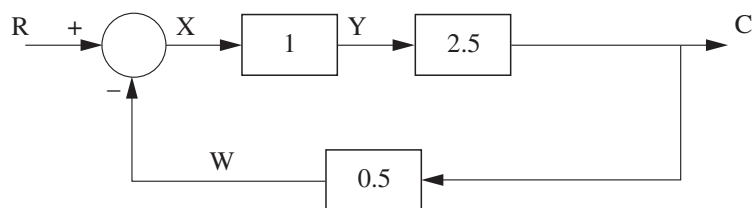
- משפך מלא בחצץ.
- תא מדידה שנפחו שווה לנפח החצץ שיש למלא במכל.
- שלושה צילינדרים פנימטיים (A, B, C) המוצגים באיור במצבם ההתחלתי.

תיאור פעולת המערכת:

- מניחים מכל ריק על העגלה המחוברת לבוכנה של צילינדר C ולוחצים על לחצן הפעלה (PB).
 - הבוכנה של צילינדר A נכנסת, וחצץ נשפך מהמשפך לתא המדידה.
 - הבוכנה של צילינדר A יוצאת וסוגרת את פתח היציאה מהמשפך.
 - הבוכנה של צילינדר C נכנסת ומציבה את העגלה והמכל מתחת לפתח התחתון של תא המדידה.
 - הבוכנה של צילינדר B נכנסת, וחצץ נשפך מתא המדידה למכל שמתחתיו.
 - הבוכנה של צילינדר B יוצאת וסוגרת את פתח היציאה מתא המדידה.
 - הבוכנה של צילינדר C יוצאת ודוחפת את העגלה והמכל למקודת ההתחלה.
- א.** רשום במחברתך את מחזור הפעולות ואת דיאגרמת החצים של שלושה הבוכנות הפנימטיות שבמערכת.
- ב.** השלם בחוברת הנספחים (נספח ב') את מערך הפיקוד של מחזור הפעולות של המערכת, בשיטת הקסקדה.

שאלה 11

באיור לשאלה 11 מתוארת דיאגרמת מלבנים של מערכת בקרה.



איור לשאלה 11

א. רשום את פונקציית התמסורת $\frac{C}{R}$.

[illegible]

ב. מה יהיה הערך של C כאשר $R = 1$?

[illegible]

ג. רשום את הערכים בנקודות X, Y ו- W כאשר $R = 1$.

This image shows a full page of blank graph paper. The background is a very light gray, and it is covered by a precise grid of thin, medium-gray lines. The grid consists of small, identical squares that extend across the entire area of the page, leaving no margins or other markings.

בהצלחה!

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

מדבקת משגיח
ملصقة مراقب

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

חוברת נספחים

לשאלון מכניקה הנדסית

סמל שאלון 838381

קיץ תשע"ח

בחוברת זו 3 עמודים

كُرَّاسَة ملاحق

لِلنَّموذج ميكانيكا هندسيّة

رقم النموذج 838381

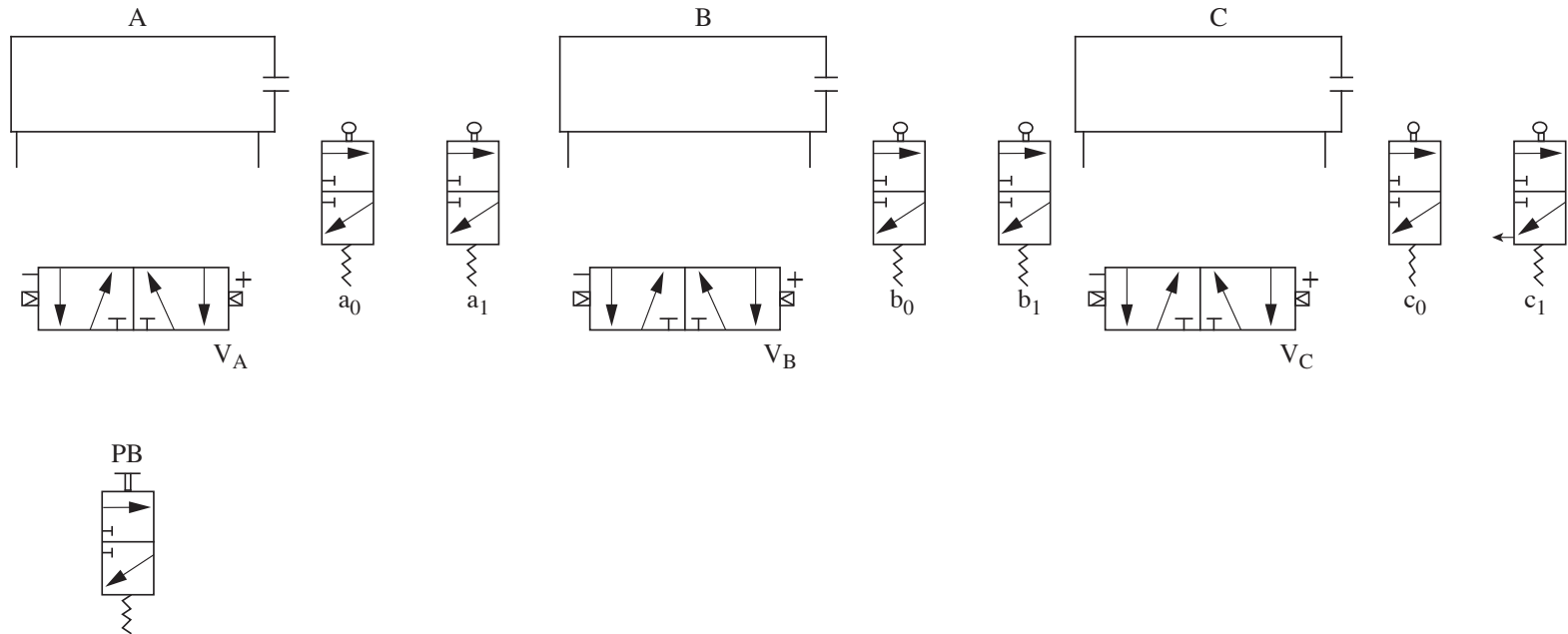
صيف 2018

في هذه الكُرَّاسَة 3 صفحات

בהצלחה!

12 סמל שאלון 17 _____ رقم النموذج שם השאלון ויחידות לימוד اسم النموذج والوحدات التعليمية _____ הדבק כאן ↑ מדבקת שאלון الصق هنا ↑ ملصقة نموذج امتحان	18 מועד 21 _____ מועד 31 מס' תעודת זהות 32 סמל ב"ס _____ رقم الهوية رقم المدرسة הדבק כאן ↑ מדבקת נבחן (ללא שם) الصق هنا ↑ ملصقة ممتحن (بدون اسم)	מדבקות לנבחן ملصقة ممتحن
---	--	--

נספח א' לשאלה 9
الملحق "أ" للسؤال 9



I

II

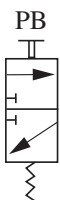
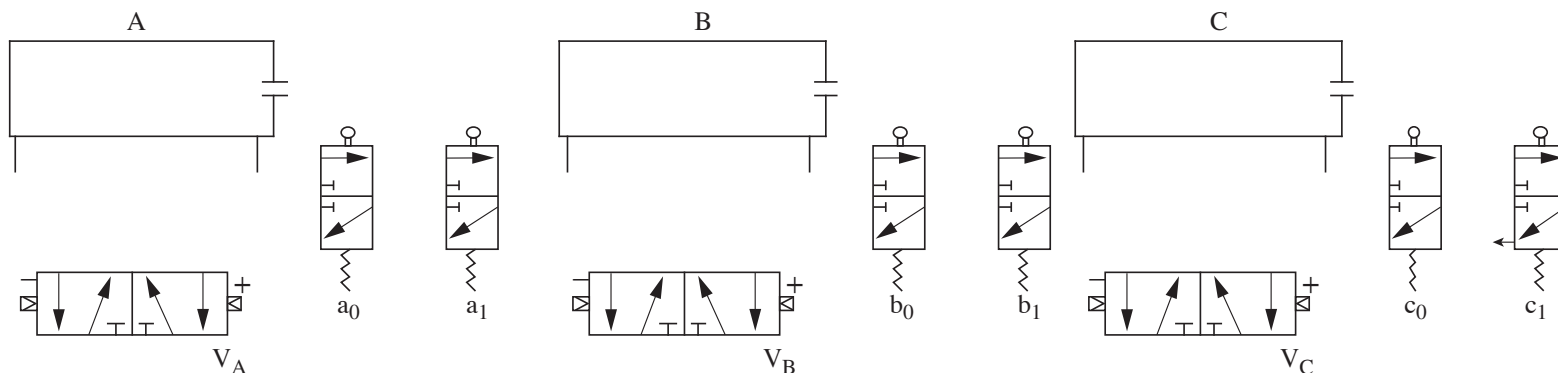


המשך בעמוד 3
 التَّمَّة في الصفحة 3

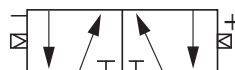


נספח ב' לשאלה 10

الملحق "ب" للسؤال 10



- I ● ————— ●
- II ● ————— ●



מדבקת משגיח

ملصقة مراقب

"אתך בכל מקום, גם בבגרות.
בהצלחה, מועצת התלמידים והנוער הארצית"
"معك في كل مكان، وفي البحروت 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

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

2. גזירה ומעיכה

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

3. פיתול ותנועה סיבובית

v	-	מהירות היקפית של מעגל
[m/sec]		מסתובב
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]		

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

$$M = L \times F$$

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

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]		

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

$$M_x = L \times F$$

לחתך מלבני:

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

לחתך עגול מלא:

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

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

המשך בעמוד 3

التتمة في الصفحة 3

d	-	קוטר	[mm]
b	-	הממד המקביל למישור הניטרלי	[mm]
h	-	הממד הניצב למישור הניטרלי	[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:	

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

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

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

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

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	

$\lambda_c = 100$ - פלדה דלת-פחמן

$\lambda_c = 80$ - פלדת פחמן

כאשר: $\lambda < \lambda_c$, קיים

נדרש להשתמש בנוסחה:

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

פלדה דלת-פחמן: $a = 310 \text{ MPa}$

$b = 1.14 \text{ MPa}$

פלדת פחמן: $a = 589 \text{ MPa}$

$b = 3.82 \text{ MPa}$

המשך בעמוד 4

التتمة في الصفحة 4

6. מסמרות ; פינים

d - קוטר המסמרה/הפין (mm)

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

i - מספר שטחי הגזירה

t - אורך הקטע הנמעך [mm]

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

i₁ - מספר שטחי המעיכה

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

n - מספר המסמרות/הפינים

A_s - השטח הנגזר [mm²]

A_{lc} - השטח הנמעך [mm²]

7. שגמים

F - כוח

מאמץ מעיכה:

h - גובה השגם

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

ℓ₁ - אורך יעיל של השגם

מאמץ גזירה:

b - רוחב השגם

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

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

8. מסבים

אורך חיים של מסבי גלגול:

למסב כדורים:

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

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

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

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

$$c_o \approx 1.8 p_o$$

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

למסב גלילים:

$$L = \left[\frac{C}{P} \right]^{10/3}$$

מסבי החלקה:

$$p = \frac{F}{d \cdot \ell}$$

$$v = \frac{\pi d n}{60,000}$$

$$pv \leq [pv]$$

L - אורך החיים של המסב

[mil · rev] במיליוני סיבובים

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

$$C = \frac{F}{\Delta f}$$

לקפיץ בורגי בעל חתך עגול:

$$C = \frac{G \cdot d^4}{8 D^3 \cdot n}$$

$$\tau_{\text{emax}} = K \frac{8 F_{\text{max}} D}{\pi d^3} \leq [\tau_t]$$

לקפיץ בורגי בעל חתך מלבני

או לקפיץ עלה הרתום בצד אחד:

$$\sigma_b = \frac{6 F \ell}{b \times t^2}$$

$$\Delta f = \frac{4 F \ell^3}{b t^3 E} = \frac{F \ell^3}{3 E I}$$

$$W = \frac{\Delta f}{2}$$

$$n = \frac{\Delta f \cdot G \cdot d^4}{8 F \cdot D^3}$$

לקפיץ מוט פיתול:

$$[\tau_t] = \frac{0.6 \sigma_y}{s}$$

$$M_{t \max} = [\tau_t] \cdot Z_o$$

$$\varphi_{\text{rad}} = \frac{M_t \cdot L}{G \cdot I_o}$$

$$W = U_{e \ell} = \frac{M_t \cdot \varphi_{\text{rad}}}{2}$$

G - מודול האלסטיות לגזירה [MPa]

d - קוטר התיל [mm]

D - קוטר ממוצע של הקפיץ [mm]

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]

ℓ - אורך הקפיץ (עלה) [mm]

b - רוחב הקפיץ (עלה) [mm]

t - עובי הקפיץ (עלה) [mm]

E - מודול האלסטיות [MPa]

I - מומנט התמד צירי של החתך [mm⁴]

W - עבודה [Nmm]

s - מקדם בטיחות

σ_b - מאמץ כפיפה [MPa]

σ_y - מאמץ גבול הכניעה [MPa]

$[\tau_t]$ - מאמץ מותר לפיתול [MPa]

$\tau_{e \max}$ - מאמץ שקול מרבי בחתך התיל [MPa]

Z_o - מודול החתך לפיתול (קוטבי)
(מומנט התנגדות לפיתול) [mm³]

$U_{e \ell}$ - אנרגיה אלסטית בקפיץ [Joule]

L - אורך המוט [mm]

M_t - מומנט פיתול [Nm]

I_o - מומנט התמד קוטבי [mm⁴]

φ_{rad} - זווית הפיתול [רדיאנים]

המשך בעמוד 7

التتمة في الصفحة 7

10. ברגים

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

$$\tan \varphi = \mu$$

בורגי הידוק:

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

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

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

בתברגי 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 [mm²]

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

[MPa] בורג אחד במצמד

μ - מקדם חיכוך

M_f - מומנט כתוצאה מכוחות החיכוך [Nm]

i - מספר הברגים

D_f - קוטר מעגל החלוקה שעליו

[mm] הברגים ממוקמים

M_t - מומנט הסיבוב המועבר

[Nm] בתנועה סיבובית

P - הספק [kW]

n - מהירות סיבוב [rpm]

Q - כוח צירי בבורג [N]

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

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

12. גלים

M_e - מומנט מורכב [Nm]

M_b - מומנט כפיפה [Nm]

M_t - מומנט פיתול [Nm]

σ_e - מאמץ מורכב [Nm]

Z_b - מומנט התנגדות

[mm³] (מודול החתך) לכפיפה

$$M_e = \sqrt{M_b^2 + M_t^2}$$

$$\sigma_e = \frac{M_e}{Z_b} \leq [\sigma_t]$$

13. גלגלי שיניים

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

i - יחס התמסורת

[rpm] n, n₁, n₂ - מהירות סיבוב של גלגל

z, z₁, z₂ - מספר השיניים בגלגל

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

[mm] m - מודול השן

[mm] D - קוטר מעגל החלוקה

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

[mm] D_i - קוטר מעגל העיקרים

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

[mm] D_e - קוטר מעגל הראשים

[mm] D₁, D₂ - קוטר הגלגל

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

λ - מקדם רוחב הגלגל

[mm] b - רוחב הגלגל

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

[mm] A - המרחק בין צירי הגלגלים

[mm] h - גובה השן

[mm] t - פסיעת הגלגל (השיניים)

$$h = h_1 + h_2$$

[mm] h₁ - גובה ראש השן

$$h_1 = m$$

[mm] h₂ - גובה עיקר השן

$$h_2 = 1.2 m$$

f - מקדם עומס־יתר

q - מקדם מספר השיניים

[MPa] [σ] - מאמץ מותר לכפיפה

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

[N] F_t - כוח היקפי לגלגל שיניים

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

[N] F - כוח שילוב בין גלגלי השיניים

[deg] α - זווית הלחץ

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

z_{min} - מספר שיניים מינימלי (שן תקנית)

[kW] P - הספק מועבר על־ידי הגלגלים

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

[Nm] M_t - מומנט מועבר

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

המשך בעמוד 10

التتمة في الصفحة 10

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]

d_1 - קוטר פנימי בגל כוכב [mm]

d_2 - קוטר חיצוני בגל כוכב [mm]

A - שטח השן הנמעת [mm²]

L - אורך השן הנמעת [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]

S_1 - כוח מתיחה בענף הפעיל [N]

S_2 - כוח מתיחה בענף הסביל [N]

k_e - מקדם כוח מתיחה

d - קוטר הגלגל המניע [m]

D_1, D_2, D_3 - קוטר גלגל בממסרת [m]

M_t - המומנט הנמסר [Nm]

η - נצילות

n_1, n_2 - מהירות סיבובית של גלגל [rpm]

i - יחס התמסורת בין גלגלי הרצועה

k_d - מקדם תנאי העבודה

L - אורך הרצועה [m]

d_0 - קוטר חיצוני בגלגל הקטן [m]

A - מרחק בין מרכזי הגלגלים [m]

D_0 - קוטר חיצוני בגלגל הגדול [m]

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

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

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

המשך בעמוד 11

التتمة في الصفحة 11

מומנט התמדה קוטבי, [mm ⁴]I _o	מומנט התמדה, I [mm ⁴]	מומנט התנגדות לפיתול, [mm ³]Z _o (מודול החתך)	מומנט התנגדות לכפיפה, [mm ³]Z _y (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:

$$K = \frac{\Delta \Theta_o}{\Delta \Theta_i} = \left(\frac{\text{שינוי בתגובה}}{\text{שינוי במאלץ}} \right)$$

2. תמסורת של מלבן בודד:

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

Θ_o - אות מוצא (תגובה)

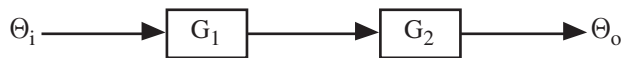
Θ_i - אות מבוא (אילוצ)

G - פונקציית תמסורת



3. תמסורת של שני מלבנים בטור:

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

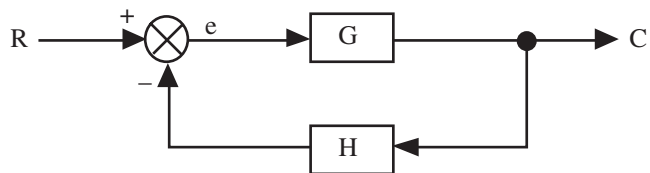


4. תמסורת, T , בחוג סגור (עם משוב H):

R - ערך רצוי

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

C - ערך מצוי



המשך בעמוד 13

التتمة في الصفحة 13

נוסחאות בהידרוליקה

5. ספיקת זורם דרך שטח A:

$$Q = v \cdot A$$

v - מהירות הזורם

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

A - שטח

$$[\text{m}^2]$$

Q - ספיקה

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

6. לחץ:

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

F - כוח

$$[\text{N}]$$

P - לחץ

$$[\text{Pa}]$$

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

7. הספק הידרולי:

$$N = Q \cdot P$$

8. הספק של משאבה:

N - הספק מכני המסופק למשאבה

$$[\text{W}]$$

Q - ספיקה דרך משאבה

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

ΔP - הפרש לחץ על-פני משאבה

$$\left[\frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right]$$

η - נצילות משאבה

9. ספיקת משאבה:

$$Q = n \cdot C$$

n - קצב (מהירות) סיבוב $\left[\frac{\text{rev}}{\text{sec}} \right]$

C - הדחק משאבה $\left[\frac{\text{m}^3}{\text{rev}} \right]$

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

בהצלחה!
نتمنى لك النجاح!