

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 !

מדבקת שאלון ملصقة نموذج امتحان ברקוד שאלון	מדבקת נבחן והתאמות ملصقة ممتحن وملاءمات <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;"> שנה السنة </td> <td style="width: 50%; text-align: center;"> חודש الشهر </td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"> מועד מועד </td> <td style="text-align: center;"> מס' תעודת הזהות </td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"> رقم الهوية </td> <td style="text-align: center;"> סמל ביה"ס </td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"> رقم المدرسة </td> <td></td> </tr> </table> יש להדביק כאן ↑ מדבקת נבחן (ללא שם) يجب هنا ↑ إلصاق ملصقة ممتحن (بدون اسم)	שנה السنة	חודש الشهر	מועד מועד	מס' תעודת הזהות	رقم الهوية	סמל ביה"ס	رقم المدرسة		מדבקות לנבחן ملصقة ممتحن
שנה السنة	חודש الشهر									
מועד מועד	מס' תעודת הזהות									
رقم الهوية	סמל ביה"ס									
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!

دولة إسرائيل

وزارة التربية والتعليم

نوع الامتحان: بچروت للمدارس الثانوية

موעד الامتحان: صيف 2021

رقم النموذج: 838381

ملحق: ورقة قوانين في الميكانيكا الهندسية

מדינת ישראל

משרד החינוך

סוג הבחינה: בגרות לבתי-ספר על-יסודיים

מועד הבחינה: קיץ תשפ"א, 2021

סמל השאלון: 838381

נספח: נוסחאון במכניקה הנדסית

תרגום לערבית (2)

ميكانيكا هندسية

تعليمات للممتحن

أ. مدة الامتحان: ثلاث ساعات.

ب. مبنى النموذج وتوزيع الدرجات:

في هذا النموذج ثلاثة فصول وفيها تسعة أسئلة.
عليك الإجابة عن خمسة أسئلة بحسب اختيارك من النموذج
كله.

لكل سؤال 20 درجة، المجموع الكلي 100 درجة.

ج. مواد مساعدة يُسمح استعمالها: أدوات رسم وآلة حاسبة.

د. تعليمات خاصة:

1. أجب عن عدد الأسئلة المطلوب في النموذج. المصحح
سوف يقرأ ويصحح إجابات العدد المطلوب فقط من
الأسئلة بحسب ترتيب كتابتها في دفترك، ولن يُصحح
الإجابات الأخرى.

2. يُستعمل هذا النموذج دفترًا لامتحان. اكتب فيه جميع
إجاباتك، في الأماكن الفارغة، على الأسطر أو في المربعات
الموجودة بجانب كل سؤال.

يمكنك استعمال صفحة 19 كمسودة (لكتابة رؤوس
أقلام، حسابات وما شابه ذلك).

كتابة مسودات على أوراق خارجية ليست من دفتر
الامتحان قد تؤدي إلى إلغاء الامتحان!

3. لراحتك، في ورقة القوانين مكتوب قسم من القوانين
المطلوبة لحل الأسئلة.

في هذا النموذج 20 صفحة و 14 صفحة للملحق.

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

التوجيهات في هذا النموذج مكتوبة بصيغة المذكر, لكنها موجّهة للممتحنات وللممتحنين على حدّ سواء.

نرجو لك النجاح!

يتبع في الصفحة التالية

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 ומחשבון.

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 כטייטה (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 נספח.

בהצלחה!

המשך מעבר לדף

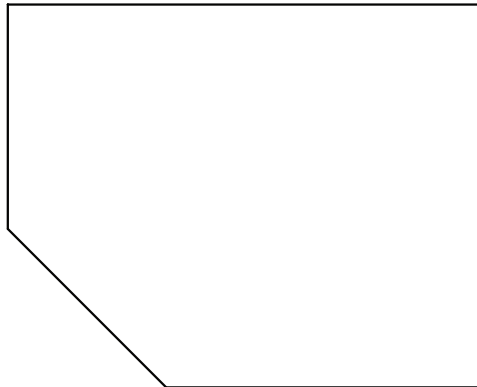
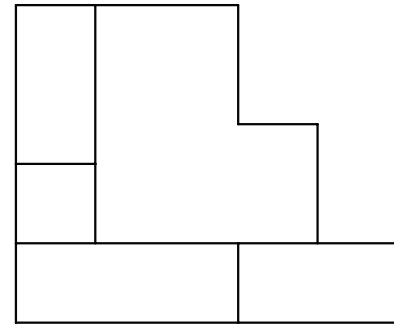
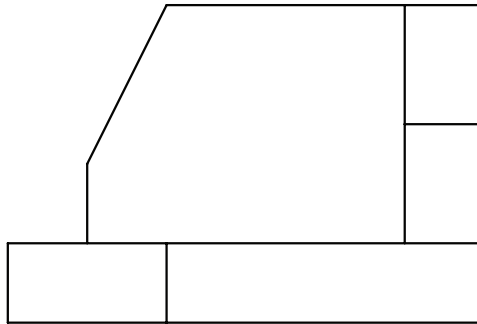
الأسئلة

في هذا النموذج ثلاثة فصول وفيها تسعة أسئلة.
عليك الإجابة عن خمسة أسئلة بحسب اختيارك، من النموذج كله (لكل سؤال 20 درجة).

الفصل الأول: الرسم الفني

السؤال 1

في الرسم التوضيحي للسؤال 1 معطى مسقط أمامي ومسقط جانبي كاملان لجسم مُعَيَّن.
أكمل المسقط العلوي للجسم.



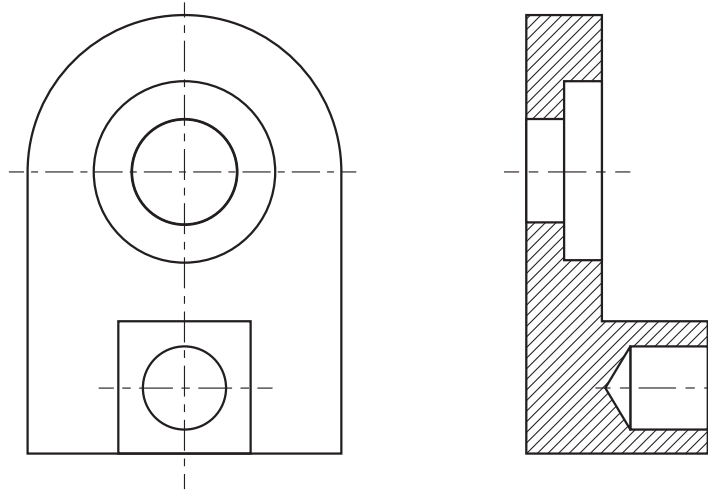
الرسم التوضيحي للسؤال 1



السؤال 2

في الرسم التوضيحي للسؤال 2 معطى مسقط أمامي في مقطع، مسقط جانبي، مسقط علوي ووصف إيزومتري لجسم مُعَيَّن.

أضف إلى المساقط الخطوط المساعدة للقياس وخطوط القياس للقياسات المطلوبة لتعريف الجسم. لا حاجة لكتابة القيم العددية للقياسات.



الرسم التوضيحي للسؤال 2

لا تكتب في هذه المنطقة

لا تكتب خارج هذه المنطقة



מכניקה הנדסית (ערבית), קיץ תשפ"א, סמל 838381

מכניקה הנדסית, صيف 2021, رقم 838381

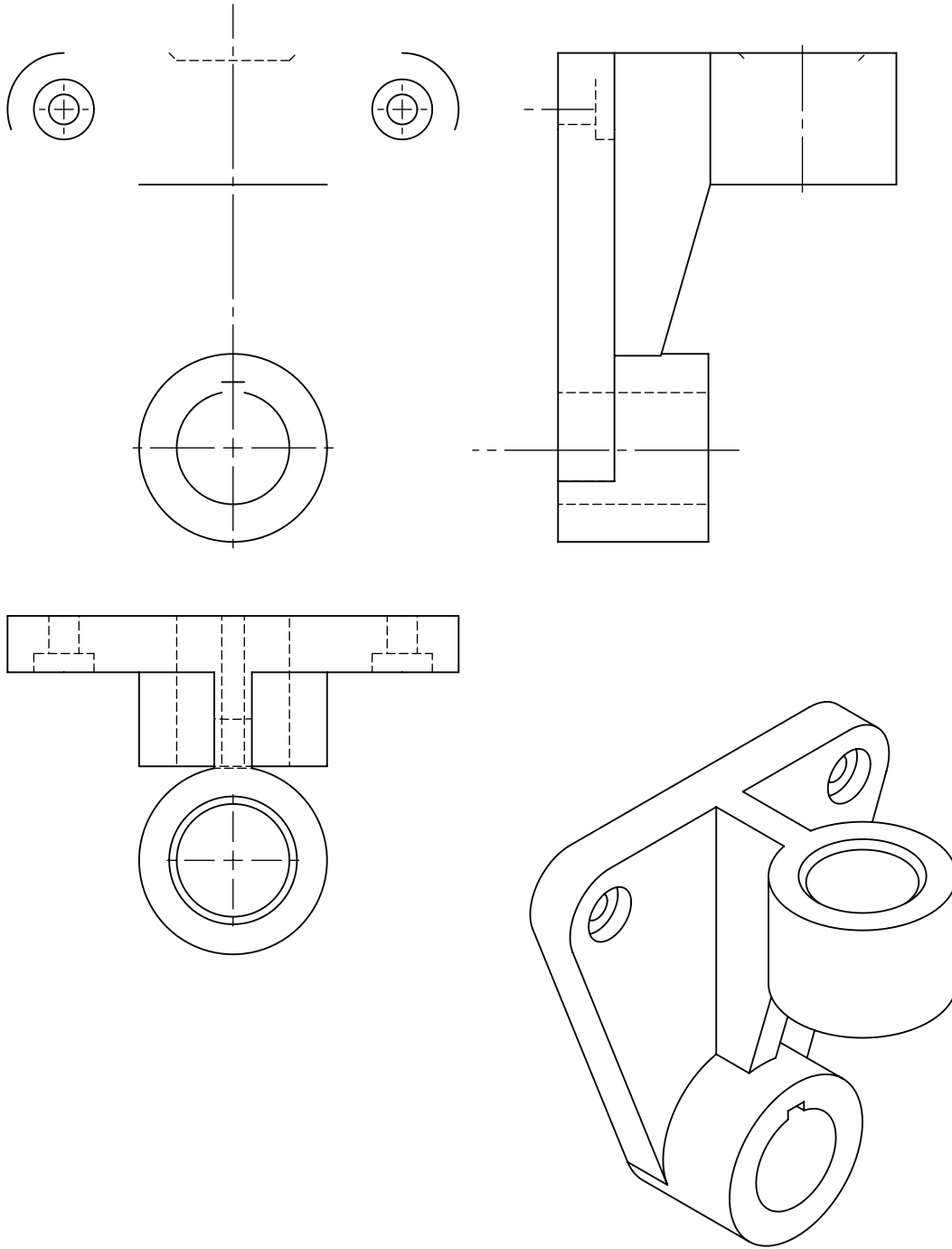
السؤال 3

- في الرسم التوضيحي للسؤال 3 (في الصفحة التالية) مُعطى مسقط علويّ ووصف إيزومتريّ كاملان لجسم مُعَيَّن .
كذلك مُعطى مسقط أماميّ ومسقط جانبيّ جزئيان لهذا الجسم .
(10 درجات) أ . أكمل الخطوط الناقصة في المسقط الأمامي .
(10 درجات) ب . أكمل الخطوط المخفية الناقصة في المسقط الجانبيّ .



ميكانيكا هندسية، صيف 2021، رقم 838381

מכניקה הנדסית (ערבית), קיץ תשפ"א, סמל 838381

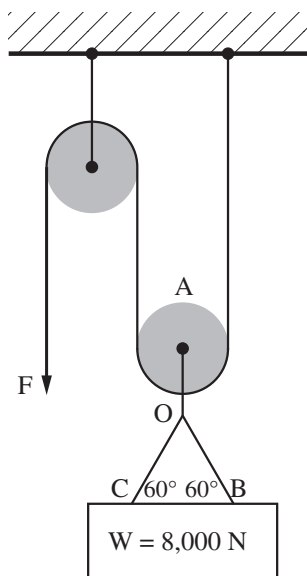


الرسم التوضيحي للسؤال 3

الفصل الثاني : السكون ، متانة المواد وأجزاء الماكينات

السؤال 4

في الرسم التوضيحي للسؤال 4 تظهر ثقالة مُثبتة بشكل متوازن بواسطة القوة F .



الرسم التوضيحي للسؤال 4

أ. احسب مقدار القوة F المطلوبة لتثبيت الثقالة بشكل متوازن. (7 درجات)

[illegible]

לא לכתוב באזור זה

لا تكتف ف هذه المنطقة



מכניקה הנדסית (ערבית), קיץ תשפ"א, סמל 838381

מכניקה הנדסית (ערבית), קיץ תשפ"א, סמל 838381

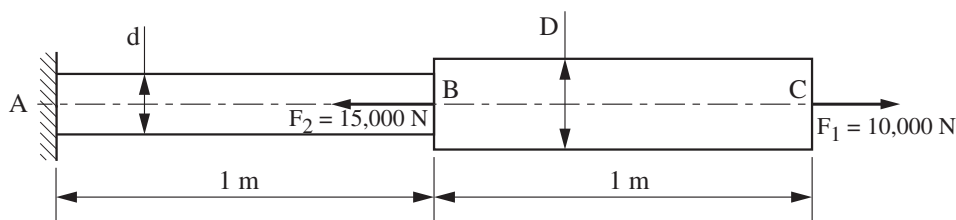
(7 درجات) ب. ارسم مخطط جسم حر لنقطة التقاطع O .

(6 درجات) ج. هل قوّتا الشدّ في الكابليّين OC و OB متساويتان من حيث المقدار؟ علّل إجابتك بدون إجراء حساب .

لا تكتب في هذه المنطقة

لا لכתוב באזור זה

في الرسم التوضيحيّ للسؤال 5 يظهر قضيب مدرّج ذو مقطع دائريّ مربوط بالمقطع A بالحائط . على القضيب تعمل قوّتان : F_1 و F_2 كما هو مُبيّن في الرسم التوضيحيّ .



الرسم التوضيحي للسؤال 5

أ. قطر القضيب في القطعة BC هو $D = 15 \text{ mm}$. احسب جهد الشد في هذه القطعة. (7 درجات)

[illegible]

ب. جهد الضغط في القطعة AB يساوي جهد الشد في القطعة BC الذي حسبته في البند "أ".
احسب القطر d المطلوب للقضيب في القطعة AB.

[illegible]

לא לכתוב באזור זה

لا تكتب في هذه المنطقة

ميكانيكا هندسيّة، صيف 2021، رقم 838381

מכניקה הנדסית (ערבית), קיץ תשפ"א, סמל 838381

ج. القضيب مصنوع من الفولاذ. عامل مرونة الفولاذ هو $E = 2 \times 10^5 \text{ MPa}$. (6 درجات)

احسب مدى استطالة القضيب في القطعة BC .

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.

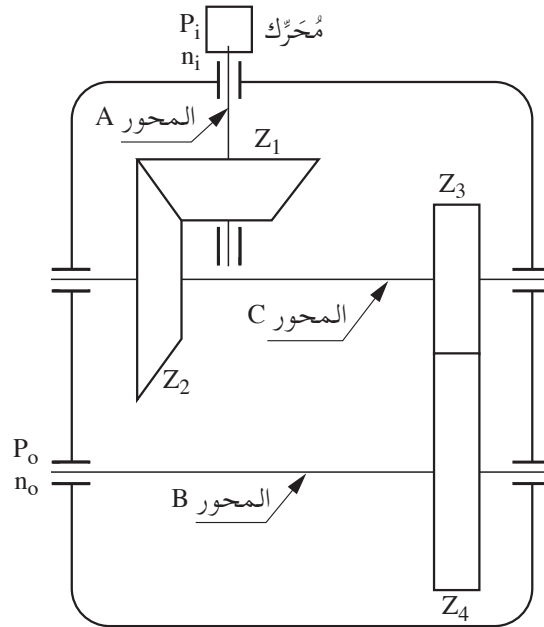
السؤال 6

في الرسم التوضيحي للسؤال 6 تظهر آلية نقل حركة ثنائية المرحلة مُركّبة من المركّبات التالية :

المرحلة 1 : مجموعة عجلات مُسنّنة مخروطيّة الشكل Z_1 و Z_2 .

المرحلة 2 : مجموعة عجلات مُسنّنة مستقيمة Z_3 و Z_4 .

الدخول إلى آلية نقل الحركة هو من المحور A، والخروج منها هو من المحور B . المحور C هو محور ناقل وسطيّ .



الرسم التوضيحي للسؤال 6

معطيات :

- القدرة في مدخل آلية نقل الحركة : $P_i = 15 \text{ kW}$
- القدرة في مخرج آلية نقل الحركة : $P_o = 12 \text{ kW}$
- سرعة الدوران في مدخل آلية نقل الحركة : $n_i = 3,200 \text{ RPM}$
- سرعة الدوران في مخرج آلية نقل الحركة : $n_o = 800 \text{ RPM}$
- عدد الأسنان في العجلات المُسنّنة : $Z_1 = 22$
 $Z_2 = 44$
 $Z_4 = 80$

(7 درجات)

[illegible]

(7 درجات)

[illegible]

(6 درجات)

[illegible]

الفصل الثالث : فصول في الهندسة والعلوم

السؤال 7

أربع مضخّات تزوّد مصنعًا لإنتاج المشروبات بالماء.

فيما يلي استهلاك القدرة لكل واحدة من المضخّات :

– المضخّة A – 50 kW

– المضخّة B – 100 kW

– المضخّة C – 150 kW

– المضخّة D – 200 kW

عندما يزيد استهلاك القدرة الإجماليّ للمضخّات عن 280 kW ، ترسل المنظومة رسالة تحذير إلى مدير المصنع .

نُشير إلى المتغيّرات المنطقية :

A = 1 – المضخّة A تعمل

B = 1 – المضخّة B تعمل

C = 1 – المضخّة C تعمل

D = 1 – المضخّة D تعمل

E = 1 – رسالة تحذير أُرسِلت إلى مدير المصنع .

(8 درجات) أ. أكمل جدول الصدق التالي. اكتب "1" منطقي في العمود E في جميع الحالات التي أُرسِلَتْ فيها رسالة تحذير إلى مدير المصنع.

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	

ب. أكمل خارطة كارنو التالية، واعرض فيها المجموعات الأكثر اختصاراً للدالة E . (8 درجات)

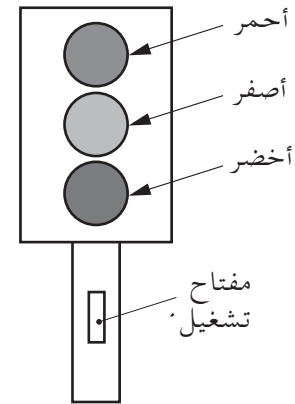
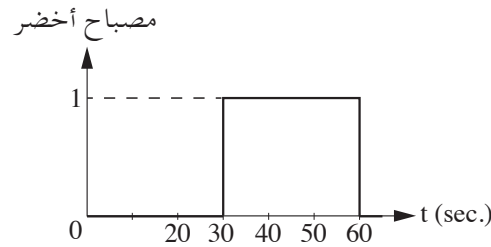
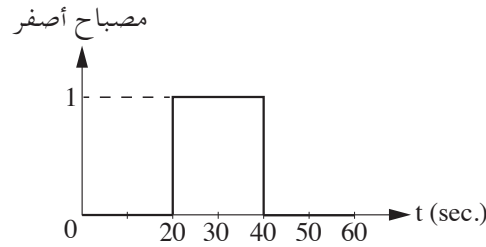
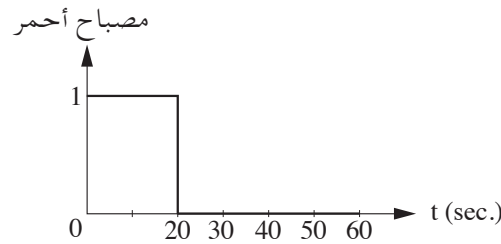
A,B \ C,D	00	01	11	10
00				
01				
11				
10				

ج. اكتب الدالة E المختصرة التي تنتج بناءً على إجابتك في البند "ب". (6 درجات)

[illegible]

السؤال 8

تظهر في الرسم التوضيحي "أ" للسؤال 8 إشارة ضوئية تعمل بواسطة منظومة مُراقبة. تشتمل المنظومة على مفتاح تشغيل، مصباح أحمر، مصباح أصفر، مصباح أخضر ومُنظّم (لا يظهر المُنظّم في الرسم).
في الرسم التوضيحي "ب" للسؤال 8 مُعطاة ثلاثة رسوم بيانية تصف حالات المصابيح الثلاثة خلال دورة واحدة من دورات عمل الإشارة الضوئية (الحالة '1' - مصباح مُضاء، الحالة '0' - مصباح مُطفأ). مع تشغيل المفتاح تبدأ دورة عمل الإشارة الضوئية.



الرسم التوضيحي "أ" للسؤال 8

الرسم التوضيحي "ب" للسؤال 8

(6 درجات)

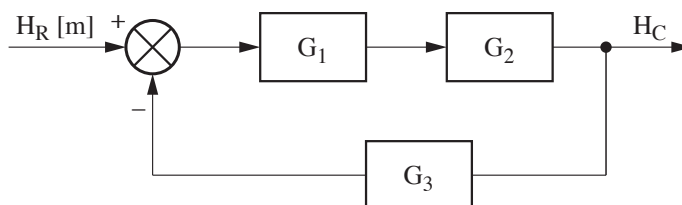
A full-page view of a blank sheet of graph paper. The grid consists of thin, light gray horizontal and vertical lines forming small squares across the entire page. There are no margins, text, or other markings on the paper.

(14 درجة)

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.

ميكانيكا هندسيّة، صيف 2021، رقم 838381

في الرسم التوضيحيّ للسؤال 9 مُعطى مخطّط مستطيلات لمنظومة لمراقبة مستوى.



أ. (10 درجات) اكتب دالة التحويل $\frac{H_C}{H_R}$.

[illegible]
$$G_1 = 2, G_2 = 2, G_3 = 1$$

المستوى المنشود هو $H_R = 5 \text{ m}$.

احسب المستوى في مخرج المنظومة، H_C .

[illegible]

نرجو لك النجاح !

حقوق الطبع محفوظة لدولة إسرائيل .
النسخ والنشر ممنوعان إلا بإذن من وزارة التربية والتعليم .

لا تكثر في هذه المنطقة
لا لכתוב באזור זה



מכניקה הנדסית (ערבית), קיץ תשפ"א, סמל 838381

מכניקה הנדסית (ערבית), קיץ תשפ"א, סמל 838381

مسودة

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 הנוסחאון
לנבחן אחר

נוסחאון במכניקה הנדסית (14 עמודים)

ورقة قوانين في الميكانيكا الهندسيّة (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]
$M_f = i \cdot F_f \cdot \frac{D_f}{2}$	-	μ	מקדם חיכוך	
	-	M_f	מומנט כתוצאה מכוחות החיכוך	[Nm]
	-	i	מספר הברגים	
	-	D_f	קוטר מעגל החלוקה שעליו הברגים ממוקמים	[mm]
$M_t = 9550 \frac{P}{n}$	-	M_t	מומנט הסיבוב המועבר בתנועה סיבובית	[Nm]
	-	P	הספק	[kW]
	-	n	מהירות סיבוב	[rpm]
	-	Q	כוח צירי בבורג	[N]

12. גלים

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

13. גלגלי שיניים

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

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

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

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

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

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

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

$$h = h_1 + h_2$$

$$h_1 = m$$

$$h_2 = 1.2 m$$

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

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

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

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

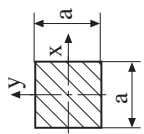
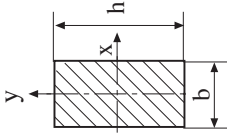
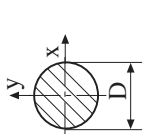
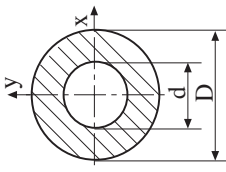
$$z_{\min} = \frac{2}{\sin^2 \alpha}$$

בגל כוכב:

$M_e = \frac{M_T}{k}$	k	-	מספר השיניים בגל כוכב
$F = M_e \frac{2}{d_m}$	M_e	-	המומנט לשן בגל כוכב
$d_m = \frac{d_1 + d_2}{2}$	d_m	-	קוטר ביניים בגל כוכב
$A = \frac{d_2 - d_1}{2} \cdot L$	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
	P_E	-	הספק אפקטיבי
	v	-	מהירות קווית של הרצועה
$S_1 = k_e \cdot F_t$	S_1	-	כוח מתיחה בענף הפעיל
$S_2 = S_1 - F_t$	S_2	-	כוח מתיחה בענף הסביל
	k_e	-	מקדם כוח מתיחה
	d	-	קוטר הגלגל המניע
	D_1, D_2, D_3	-	קוטר גלגל בממסרת
$M_t = (S_1 - S_2) \frac{D}{2}$	M_t	-	המומנט הנמסר
$P_E = k_d \cdot P \cdot \eta$	η	-	נצילות
$L = 1.57(D_0 + d_0) + 2A + \frac{(D_0 - d_0)^2}{4A}$	n_1, n_2	-	מהירות סיבובית של גלגל
	i	-	יחס התמסורת בין גלגלי הרצועה
	k_d	-	מקדם תנאי העבודה
$v = \frac{\pi D_1 n_1}{60 \times 1000}$	L	-	אורך הרצועה
	d_0	-	קוטר חיצוני בגלגל הקטן
	A	-	מרחק בין מרכזי הגלגלים
	D_0	-	קוטר חיצוני בגלגל הגדול
			[N]
			[kW]
			[kW]
			[m/s]
			[N]
			[N]
			[m]
			[m]
			[Nm]
			[rpm]
			[m]
			[m]
			[m]
			[m]

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

נוסחאות בבקרה

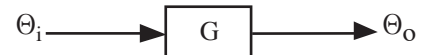
1. הגבר סטטי:

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

2. תמסורת של מלבן בודד:

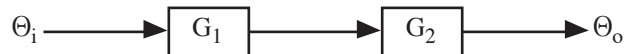
$$\frac{\Theta_o}{\Theta_i} = G$$

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



3. תמסורת של שני מלבנים בטור:

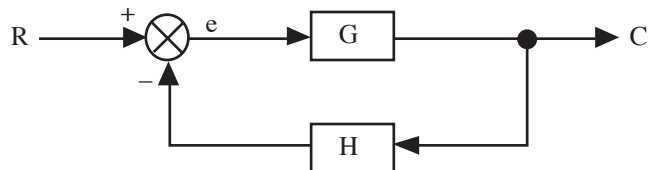
$$\frac{\Theta_o}{\Theta_i} = G_1 G_2$$



4. תמסורת, T, בחוג סגור (עם משוב H):

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

R - ערך רצוי
 C - ערך מצוי



נוסחאות בהידראוליקה

5. ספיקת זורם דרך שטח A:

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

6. לחץ:

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

7. הספק הידראולי:

$$N = Q \cdot P$$

8. הספק של משאבה:

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

9. ספיקת משאבה:

$$Q = n \cdot C$$

n – קצב (מהירות) סיבוב

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

C – הדחק המשאבה

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

10. הספק מכני:

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

N_{mech} – הספק מכני

$$[W]$$

F – כוח הפועל על גוף נע

$$[N]$$

v – מהירות הגוף הנע

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