

מדינת ישראל

משרד החינוך

סוג הבחינה: בגרות לבתי-ספר על-יסודיים

מועד הבחינה: קיץ תשפ"א, 2021

סמל השאלון: 838282

נספחים:

א. דף תשובות לשאלה 1

ב. לשאלה 1 – מתקן קידוח בדיסקה

ג. לשאלה 3 – טבלת מסבים רדיאליים

כדוריים

נוסחאון במכניקה הנדסית

תרגום לערבית (2)

דولة إسرائيل

وزارة التربية والتعليم

نوع الامتحان: بچروت للمدارس الثانوية

موعد الامتحان: صيف 2021

رقم النموذج: 838282

ملحقات:

أ. ورقة إجابات للسؤال 1

ب. للسؤال 1 – جهاز قدح بالقرص

ج. للسؤال 3 – جدول رومبيات راديالية كروية

ورقة قوانين في الميكانيكا الهندسية

מכניקה הנדסית – מוגבר

הוראות לנבחן

א. משך הבחינה: שלוש שעות.

ב. מבנה השאלון ומפתח ההערכה: בשאלון זה שלושה פרקים ובהם שש שאלות.

עליך לענות על ארבע שאלות על-פי בחירתך מכל השאלון. לכל שאלה 25 נקודות. בסך הכל – 100 נקודות.

ג. חומר עזר מותר לשימוש: כלי סרטוט, מחשבון.

ד. הוראות מיוחדות:

1. בטרם תתחיל לענות על השאלות, קרא בעיון את כל השאלון וודא שההנחיות בדף השער מובנות לך היטב.

2. ענה על מספר השאלות הנדרש בשאלון. המעריך יקרא ויעריך את מספר התשובות הנדרש בלבד, לפי סדר כתיבתן במחברתך, ולא יתייחס לתשובות נוספות.

3. בכל שאלה ניתנו הנתונים לפתרונה. אם לדעתך חסר נתון, הוסף אותו על-פי שיקול דעתך ופתור בעזרתו את השאלה. ציין בתשובתך את הנתון שבחרת להוסיף.

4. בתשובה לשאלת חישוב, עליך להציג את שלבי הפתרון באופן מפורט ולהסבירם בקצרה. קבלת מרב הנקודות מותנית במילוי דרישה זו.

5. לנוחיותך, בנוסחאון מובאות חלק מן הנוסחאות הדרושות לפתרון השאלות.

ميكانيكا هندسية – موسّع

تعليمات للممتحن

أ. مدّة الامتحان: ثلاث ساعات.

ب. مبنى النموذج وتوزيع الدرجات: في هذا النموذج ثلاثة فصول وفيها ستّة أسئلة.

عليك أن تجيب عن أربعة أسئلة بحسب اختيارك من النموذج كله. لكل سؤال 25 درجة، المجموع الكلي 100 درجة.

ج. موادّ مساعدة يُسمح استعمالها: أدوات رَسْم، آلة حاسبة.

د. تعليمات خاصّة:

1. قبل أن تبدأ بالإجابة عن الأسئلة، اقرأ بتمعّن جميع الأسئلة وتأكد أن التوجيهات التي في الورقة الأولى واضحة لك ومفهومة جيّدًا.

2. أجب عن عدد الأسئلة المطلوب في النموذج. المُصحّح سوف يقرأ ويُصحّح إجابات العدد المطلوب فقط من الأسئلة بحسب ترتيب كتابتها في دفترك، ولن يتطرق إلى الإجابات الأخرى.

3. في كلّ سؤال أعطيت المعطيات اللازمة لحلّه. إذا رأيت أن مُعطى معيّنًا غير موجود فأضفه وفقًا لتقديرك وحلّ السؤال بمساعدته. اكتب في دفترك المُعطى الذي أضفته.

4. عند إجابتك عن سؤال حسابي، عليك أن تعرض مراحل الحلّ بشكل مُفصّل وأن تشرحها باختصار. الحصول على أكبر عدد من الدرجات مشروط بتنفيذ هذا الطلب.

5. من أجل التسهيل عليك، أوردنا في المُلحق قسمًا من المعادلات المطلوبة لحلّ الأسئلة.

تعليمات للمراقب:

عند انتهاء الامتحان، يجب التأكد من أن كلّ مُمتحّن ألصق لاصقة المُمتحّن الخاصة به في المكان المُخصّص لها في المُلحق "أ"، وأنّه أرفقه لدفتر الامتحان.

הוראות למשגיח:

בתום הבחינה יש לוודא שהנבחן הדביק את מדבקת הנבחן שלו במקום המיועד לכך בנספח א', והידק אותו אל מחברת הבחינה שלו.

في هذا النموذج 9 صفحات للأسئلة و 17 صفحة للملحقات.

בשאלון זה 9 עמודים ו-17 עמודי נספחים.

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

التوجيهات في هذا النموذج مكتوبة بصيغة المذكر، لكنّها موجّهة للمُمتحّنات وللمُمتحّنين على حدّ سواء.

نرجو لك النجاح!

يتبع في الصفحة التالية

בהצלחה!

המשך מעבר לדף

الأسئلة

في هذا النموذج ثلاثة فصول وفيها ستة أسئلة.

عليك أن تجيب عن أربعة أسئلة بحسب اختيارك، من النموذج كله (لكل سؤال 25 درجة).

الفصل الأول: فهم الرسم التركيبي

السؤال 1

أجب عن جميع البنود "أ - ح".

لكل واحد من البنود "أ - ز" أعطيت أربع إجابات، واحدة فقط منها صحيحة. أشر إلى الإجابة الصحيحة في ورقة الإجابات التي في الملحق "أ".

في الملحق "ب" مُعطى رسم تركيبى لجهاز تثبيت مُخصَّص لحدح قدوح في قطعة مُصنَّعة (T316) على شكل قرص (T316)، ومُعطاة قائمة بأسماء أجزاء الجهاز. كذلك مُعطى وصف إيزومترى للجهاز وللقطعة المُصنَّعة.

(3 درجات) أ. ما هو شكل المُسطَّح المُشار إليه بالحرف "أ" في مُنْبَت القطعة المُصنَّعة (الجزء رقم 3)؟

1. مربع

2. أسطوانة

3. كرة

4. مسدس (شكل سداسي)

(درجتان) ب. ما هو التوافق المطلوب بين كُم القدح (الجزء رقم 2) وقاعدة الجهاز (الجزء رقم 1) من أجل منع دوران الكُم خلال القدح؟

1. توافق فراغ (חופש)

2. توافق خلوصة (מרווח)

3. توافق انتقال (מلاבר)

4. توافق ضغط (לחץ)

(3 درجات) ج. الشق في قرص التثبيت (الجزء رقم 4) هدفه التمكين من:

1. الحل السهل لبرغي التثبيت (الجزء رقم 5).

2. استعمال قرص زنبركي (الجزء رقم 6).

3. حل قرص التثبيت (الجزء رقم 4) والقطعة المُصنَّعة بدون إخراج برغي التثبيت (الجزء رقم 5).

4. نقل قوّة التثبيت من برغي التثبيت (الجزء رقم 5) إلى قرص التثبيت (الجزء رقم 4) وإلى القطعة

المُصنَّعة.

ד. (درجتان) ما هي المعالجة الحرارية التي يجب القيام بها في كُم القدح (الجزء رقم 2) من أجل تقليل تآكله؟

1. تسقية (חיסום)

2. تلدين (ריפוי)

3. ترخية (הרפיה)

4. سمنتة (לאימנוט)

ה. (3 درجات) ما هي وظيفة القرص الزنبركي (الجزء رقم 6)؟

1. أن يثبت بقوة كبيرة برغي التثبيت (الجزء رقم 5)

2. أن يثبت بسرعة برغي التثبيت (الجزء رقم 5)

3. أن يمنع فتحة ذاتيًا لبرغي التثبيت (الجزء رقم 5)

4. أن يمكن من حل سريع لبرغي التثبيت (الجزء رقم 5)

ו. (3 درجات) لأي الجهود يخضع ساق (קנה) برغي التثبيت (الجزء رقم 5) عند تثبيت القطعة المصنعة؟

1. قص وفتل (גזירה ופיתול)

2. شد وفتل (מתוחה ופיתול)

3. ثني وفتل (כפיפה ופיתול)

4. ضغط وفتل (לחיצה ופיתול)

ז. (3 درجات) كم قدحًا يمكن أن نقدح في القطعة المصنعة في تثبيت واحد؟

1. أربعة قدوح

2. ثلاثة قدوح

3. قدحان

4. قدح واحد

ח. (6 درجات) في الملحق "א" مُعطى رسم غير كامل لمُثَبَّت القطعة المصنعة (الجزء رقم 3).

1. (3 درجات) أكمل في الرسم الخطوط الناقصة: خطوط التسنين وخطوط المقطع المُتَقَطَّعة.

2. (3 درجات) أضف إلى الرسم خطوط القياس للقياسات التي تُحدَّد التسنين، بدون القِيم العددية.

ألصق لاصقة الممتحن الخاصة بك في المكان المخصص لها في الملحق "א"، وأرفقه لدفترك.

الفصل الثاني: أجزاء الماكينات

السؤال 2

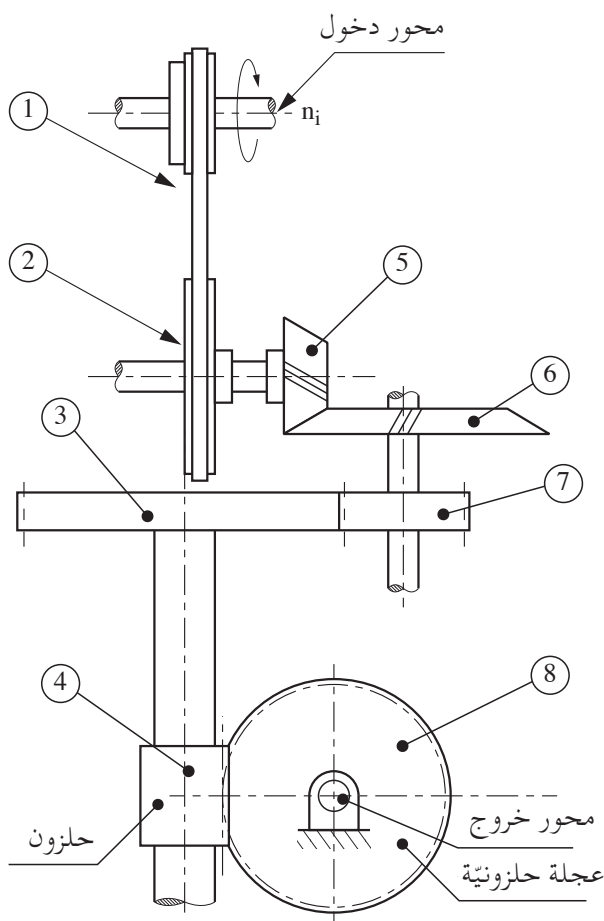
في الرسم التوضيحيّ للسؤال 2 تظهر آلية نقل حركة مُركّبة من المُركّبات التالية:

العجلة 1 والعجلة 2 – آلية نقل حركة بحزام إسفيني (١٦٢١٢)

العجلة 5 والعجلة 6 – آلية نقل حركة بعجلات مُسنّنة مخروطيّة

العجلة 7 والعجلة 3 – آلية نقل حركة بعجلات مُسنّنة أسطوانيّة ذات أسنان مستقيمة

الجزء 4 والعجلة 8 – آلية نقل حركة حلزونيّة



الرسم التوضيحيّ للسؤال 2

מעטיות :

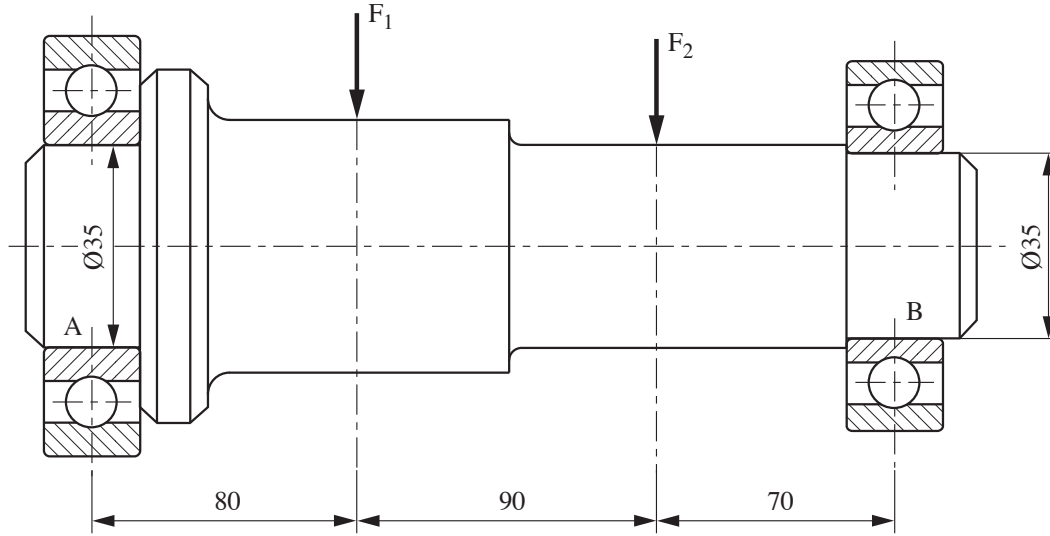
- העזם פי מדחל אלית נחל החרק: $M_t = 50 \text{ Nm}$
- החדרה פי מדחל אלית נחל החרק: $P_{in} = 20 \text{ kW}$
- סרעה הדורן ענד החרח מן אלית נחל החרק: $n_{out} = 38.2 \text{ rpm}$
- חטר העלה 1: $D_1 = 50 \text{ mm}$
- חטר העלה 2: $D_2 = 100 \text{ mm}$
- עדד אסנן העלה 5: $Z_5 = 20$
- עדד אסנן העלה 6: $Z_6 = 40$
- עדד אסנן העלה 7: $Z_7 = 25$
- עדד בדיאית האסנן פי החזה 4: $Z_4 = 2$
- עדד אסנן העלה 8: $Z_8 = 25$
- כפאיה אלית נחל החרק: $\eta = 0.45$

- (7 דרגות) א. אחסב סרעה דורן מחור הדחול אלית נחל החרק, n_{in} .
- (6 דרגות) ב. אחסב נסבה נחל החרק, i , לכל אלית נחל החרק.
- (6 דרגות) ג. אחסב עדד האסנן פי העלה 3.
- (6 דרגות) ד. אחסב חדרה מחור החרח, P_{out} .

السؤال 3

في الرسم التوضيحي لهذا السؤال يظهر محور يستند على رومبيلين رادياليتين كرويتين. افرض أن الرومبيلين هما ركيزتان موضعيتان في النقطتين A و B. على المحور تعمل القوتان: $F_1 = 6 \text{ kN}$ و $F_2 = 3 \text{ kN}$. القوتان تعملان بشكل عمودي على خط تماثل (لاي) المحور.

العمر المطلوب للرومبيلين هو $L = 200 [\text{mil} \cdot \text{rev}]$. جميع القياسات التي في الرسم التوضيحي مُعطاة بالمليمترات.

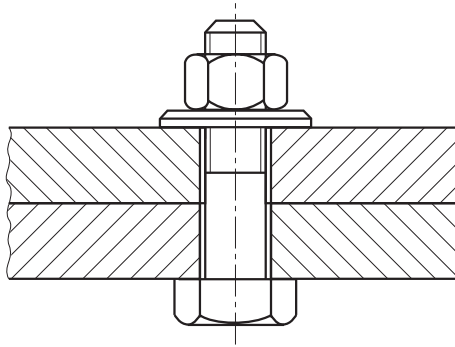


الرسم التوضيحي للسؤال 3

- أ. (8 درجات) احسب ردود الفعل في الرومبيلين.
- ب. (12 درجة) افرض أن القوة التي تعمل على الرومبيل في النقطة A هي قوة عمودية مقدارها هو 3,750 N. احسب الثقل (לוגמסיד) الذي على الرومبيل، واختَر رومبيلًا مناسبًا للنقطة A. استعن بالمُلحق "ج".
- ج. (5 درجات) رمز (Designation) الرومبيل المُختار للنقطة B هو 6207.
- اكتب هذه المعطيات بحسب الملحق "ج":
1. مقدار قُطر القَدَح (d)
 2. مقدار القُطر الخارجي (D)
 3. مقدار العرض (B)
 4. الكفاءة الستاتيّة (כושר סטטי) (C_0)
 5. الكفاءة الديناميكية (כושר דינמי) (C)

السؤال 4

في الرسم التوضيحيّ لهذا السؤال يظهر لوحان مربوطان ببعضهما بواسطة برغي تثبيت .



الرسم التوضيحيّ للسؤال 4

مُعطيات :

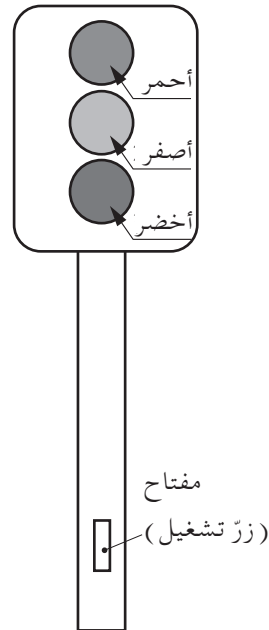
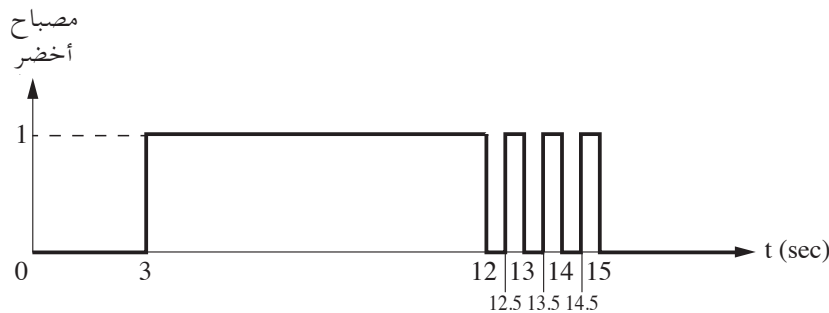
- البرغي ذو تسنين M12
- قُطر قلب البرغي هو 10.8 mm
- جهد الخنوع لمادّة البرغي هو $\sigma_y = 400 \text{ MPa}$
- معامل الأمان هو $s = 3$
- (9 درجات) أ. احسب الجهد المسموح في البرغي .
- (8 درجات) ب. احسب مساحة مقطع البرغي .
- (8 درجات) ج. احسب قوّة الشدّ القصوى التي يُمكن أن تعمل في البرغي .

الفصل الثالث : مُراقِبات مُبرمجة

السؤال 5

في الرسم التوضيحي "أ" لهذا السؤال تظهر منظومة لمراقبة إشارة ضوئية. تشتمل المنظومة على مفتاح (زرّ تشغيل)، مصباح (لمبة) أحمر، مصباح أصفر، مصباح أخضر ومُراقِب. المُراقِب لا يظهر في الرسم.

في الرسم التوضيحي "ب" لهذا السؤال تظهر ثلاثة خطوط بيانية تصف حالات جميع المصابيح خلال دورة واحدة من دورات عمل الإشارة الضوئية. الحالة '1' = مصباح مُضاء، الحالة '0' = مصباح غير مُضاء. مع تشغيل المفتاح تبدأ دورة عمل الإشارة الضوئية.



الرسم التوضيحي "ب" للسؤال 5

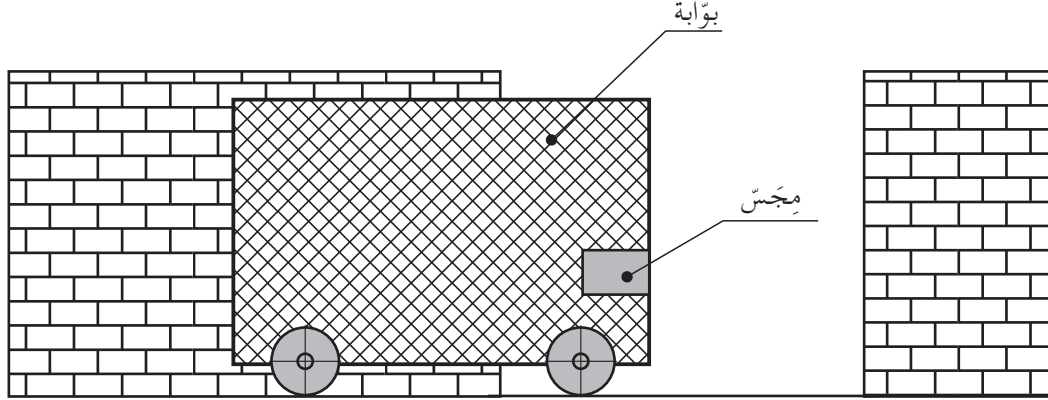
الرسم التوضيحي "أ" للسؤال 5

(10 درجات) أ. اكتب جدول المداخل والمخارج (KVL-KCL) للمنظومة.

(15 درجة) ب. ارسم مخطط سلك لمراقبة عمل الإشارة الضوئية لدورة واحدة. اختر لغة البرمجة التي تناسبك.

السؤال 6

في الرسم التوضيحي لهذا السؤال تظهر بوابة تعمل بواسطة منظومة مراقبة تحتوي على مُحَرِّك كهربائي (غير ظاهر في الرسم التوضيحي). البوابة تتحرك على سكة.



الرسم التوضيحي للسؤال 6

مُرَكِّبات المنظومة:

- زر PB₁ يُستعمل لِفَتْحِ البوابة (غير ظاهر في الرسم التوضيحي)
- زر PB₂ يُستعمل لإغلاق البوابة (غير ظاهر في الرسم التوضيحي)
- مَجَس مع تلامس داخلي عادي-مفتوح (N.O.) يُغلق عندما يظهر إنسان في المنطقة المكشوفة للمَجَس
- مُحَرِّك ثنائي الاتجاه يَفْتَحِ البوابة أو يُغلقها (غير ظاهر في الرسم التوضيحي)

طريقة عمل المنظومة:

عندما لا يُضغَط على الزرَّين تبقى البوابة ثابتة في مكانها.

عندما نضغط على زرَّ الفتح تُفْتَحِ البوابة.

عندما نضغط على زرَّ الإغلاق تُغْلَقِ البوابة.

عندما نضغط على الزرَّين معًا لا تتحرك البوابة.

إذا اكتشف المَجَس وجود إنسان في المنطقة المكشوفة له في أثناء إغلاق البوابة، فإنَّ حركة البوابة تتوقَّف.

(10 درجات) أ. اكتب اسم مُرَاقِبِ المُبَرِّج (בקר מתוכנת) مناسب للمنظومة، واعرَضْ جدولَ المَدَاخِلِ والمَخَارِجِ (הקלט-יציאת) للمُرَاقِبِ.

(10 درجات) ب. ارسم مَخْطُطَ سُلَّمٍ للمُرَاقِبِ المُبَرِّج الذي اختَرْتَهُ، بحيث يُراقِبُ عمل المنظومة بما يتناسب مع المُتطلَّبات.

(5 درجات) ج. إذا وَصَلَتِ البوابة عند فَتْحِها إلى نهاية السكة واستمرَّ المُشغِّل في الضغط على زرَّ الفتح، فمن الممكن أن تخرج البوابة عن السكة. اقترح تغييرًا في المنظومة يُؤدِّي إلى تَوَقُّفِ حركة البوابة في هذه الحالة.

نرجو لك النجاح!

حقوق الطبع محفوظة لدولة إسرائيل.

النسخ والنشر ممنوعان إلا بإذن من وزارة التربية والتعليم.

מְכָן לַלַּאֲבִקָּה הַמִּמְתָּחַן

נספח א': דף תשובות לשאלה 1

לשאלון 838282, קיץ תשפ"א

הַמְלֻחַק "א" : וּרְקָה עֲבָבָת לַלְּשִׁאָל 1

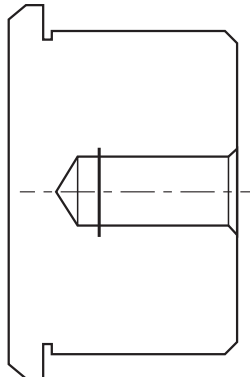
לַלְּמוּזַג 838282, סִיף 2021

אֲלַסֵּק לַאֲבִקָּה הַמִּמְתָּחַן הַחַסָּה בַּכּ בַּיּ מְכָן הַמִּחְסָּס לְהָא .
עַנְדְּמָא תַנְתַּהֵי מִן הָעֲבָבָה עַן הָאֲשִׁלָּה, אֲרַפֵּק וּרְקָה הָעֲבָבָת לַדִּפְתָּרַק .

הָעֲבָבָת עַן הַלְּשִׁאָל 1

הַבִּנְד "א"	1	2	3	4
הַבִּנְד "ב"	1	2	3	4
הַבִּנְד "ג"	1	2	3	4
הַבִּנְד "ד"	1	2	3	4
הַבִּנְד "ה"	1	2	3	4
הַבִּנְד "ו"	1	2	3	4
הַבִּנְד "ז"	1	2	3	4

הַבִּנְד "ח" (מְקִיָּאָס הַרְסֵם 1:1):

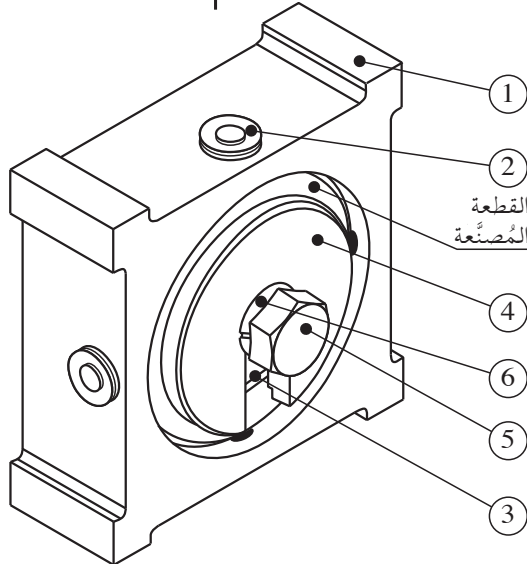
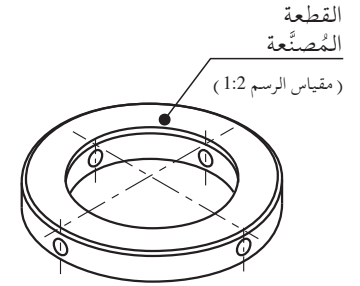
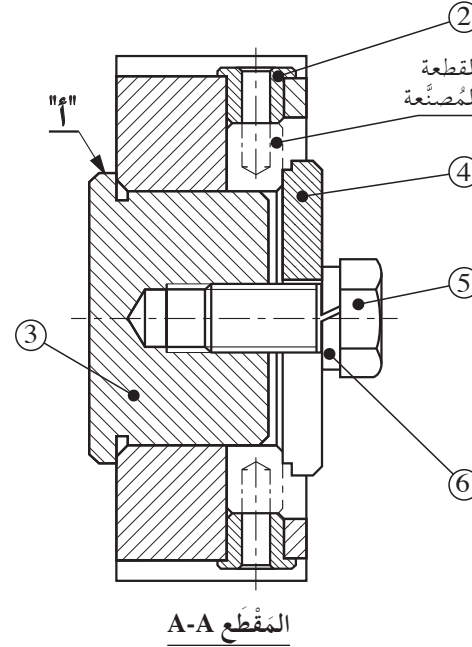
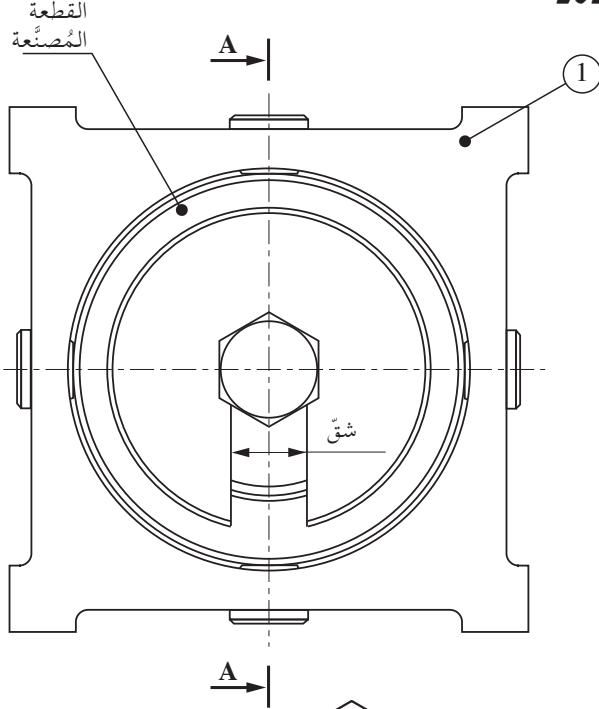


נספח ב' לשאלה 1 – מתקן קידוח בדיסקה

לשאלון 838282, קיץ תשפ"א

המלח "ב" לשאל 1 – جهاز قذح بالقرص

للمودج 838282، صيف 2021



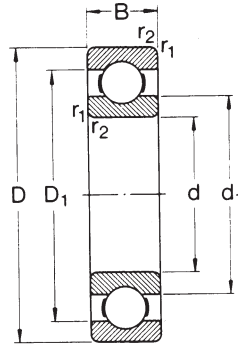
6	قرص زبركي	1	فولاذ زبركي
5	برغي تثبيت M 12	1	فولاذ SAE 1040
4	قرص تثبيت	1	فولاذ SAE 1040
3	مُثَبِّت القطعة المصنعة	1	فولاذ SAE 1040
2	كُم القذح	4	فولاذ SAE 1080
1	قاعدة الجهاز	1	فولاذ SAE 1060
رقم الجزء	اسم الجزء	العدد	المادة
جهاز قذح بالقرص			
مقياس الرسم: 1:1			

נספח ג' לשאלה 3: טבלת מסבים רדיאליים כדוריים

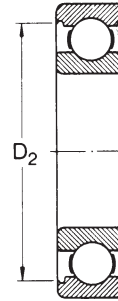
לשאלון 838282, קיץ תשפ"א

المُلحق "ج" للسؤال 3: جدول رومبيلات رديالية كروية

للمنودج 838282، صيف 2021



With full outer ring shoulders



With recessed outer ring shoulders

Principal dimensions			Basic load ratings		Fatigue load limit P_u	Speed ratings		Mass	Designation
d	D	B	dynamic	static		Lubrication grease	oil		
mm			N	C_0	N	r/min		kg	
35	47	7	4 750	3 200	166	13 000	16 000	0,030	61807
	55	10	9 560	6 200	290	11 000	14 000	0,080	61907
	62	9	12 400	8 150	375	10 000	13 000	0,11	16007
	62	14	15 900	10 200	440	10 000	13 000	0,16	6007
	72	17	25 500	15 300	655	9 000	11 000	0,29	6207
	80	21	33 200	19 000	815	8 500	10 000	0,46	6307
	100	25	55 300	31 000	1 290	7 000	8 500	0,95	6407
40	52	7	4 940	3 450	186	11 000	14 000	0,034	61808
	62	12	13 800	9 300	425	10 000	13 000	0,12	61908
	68	9	13 300	9 150	440	9 500	12 000	0,13	16008
	68	15	16 800	11 600	490	9 500	12 000	0,19	6008
	80	18	30 700	19 000	800	8 500	10 000	0,37	6208
	90	23	41 000	24 000	1 020	7 500	9 000	0,63	6308
	110	27	63 700	36 500	1 530	6 700	8 000	1,25	6408
45	58	7	6 050	4 300	228	9 500	12 000	0,040	61809
	68	12	14 000	9 800	465	9 000	11 000	0,14	61909
	75	10	15 600	10 800	520	9 000	11 000	0,17	16009
	75	16	20 800	14 600	640	9 000	11 000	0,25	6009
	85	19	33 200	21 600	915	7 500	9 000	0,41	6209
	100	25	52 700	31 500	1 340	6 700	8 000	0,83	6309
	120	29	76 100	45 000	1 900	6 000	7 000	1,55	6409
50	65	7	6 240	4 750	250	9 000	11 000	0,052	61810
	72	12	14 600	10 400	500	8 500	10 000	0,14	61910
	80	10	16 300	11 400	560	8 500	10 000	0,18	16010
	80	16	21 600	16 000	710	8 500	10 000	0,26	6010
	90	20	35 100	23 200	980	7 000	8 500	0,46	6210
	110	27	61 800	38 000	1 600	6 300	7 500	1,05	6310
	130	31	87 100	52 000	2 200	5 300	6 300	1,90	6410
55	72	9	8 320	6 200	325	8 500	10 000	0,083	61811
	80	13	15 900	11 400	560	8 000	9 500	0,19	61911
	90	11	19 500	14 000	695	7 500	9 000	0,26	16011
	90	18	28 100	21 200	900	7 500	9 000	0,39	6011
	100	21	43 600	29 000	1 250	6 300	7 500	0,61	6211
	120	29	71 500	45 000	1 900	5 600	6 700	1,35	6311
	140	33	99 500	62 000	2 600	5 000	6 000	2,30	6411

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
z, z ₁ , z ₂	-	מספר השיניים בגלגל
m	-	מודול השן
D	-	קוטר מעגל החלוקה
D _i	-	קוטר מעגל העיקרים
D _e	-	קוטר מעגל הראשים
D ₁ , D ₂	-	קוטר הגלגל
m	-	מקדם רוחב הגלגל
b	-	רוחב הגלגל
A	-	המרחק בין צירי הגלגלים
h	-	גובה השן
t	-	פסיעת הגלגל (השיניים)
h ₁	-	גובה ראש השן
h ₂	-	גובה עיקר השן
f	-	מקדם עומס-יתר
q	-	מקדם מספר השיניים
[σ]	-	מאמץ מותר לכפיפה
F _t	-	כוח היקפי לגלגל שיניים
F	-	כוח שילוב בין גלגלי השיניים
α	-	זווית הלחץ
z _{min}	-	מספר שיניים מינימלי (שן תקנית)
P	-	הספק מועבר על-ידי הגלגלים
M _t	-	מומנט מועבר

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	[Nm]
$d_m = \frac{d_1 + d_2}{2}$	d_m – קוטר ביניים בגל כוכב	[mm]
$A = \frac{d_2 - d_1}{2} \cdot L$	d_1 – קוטר פנימי בגל כוכב	[mm]
	d_2 – קוטר חיצוני בגל כוכב	[mm]
	A – שטח השן הנמעכת	[mm ²]
	L – אורך השן הנמעכת	[mm]

14. רצועות

$i = \frac{n_2}{n_1} = \frac{D_1}{D_2}$	F_t – כוח היקפי (משיקי)	[N]
$F = \frac{1000 P}{v}$	P – הספק נמסר	[kW]
$S_1 = k_e \cdot F_t$	P_E – הספק אפקטיבי	[kW]
$S_2 = S_1 - F_t$	v – מהירות קווית של הרצועה	[m/s]
$M_t = (S_1 - S_2) \frac{D}{2}$	S_1 – כוח מתיחה בענף הפעיל	[N]
$P_E = k_d \cdot P \cdot \eta$	S_2 – כוח מתיחה בענף הסביל	[N]
$L = 1.57(D_0 + d_0) + 2A + \frac{(D_0 - d_0)^2}{4A}$	k_e – מקדם כוח מתיחה	
$v = \frac{\pi D_1 n_1}{60 \times 1000}$	d – קוטר הגלגל המניע	[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]

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

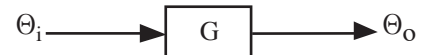
1. הגבר סטטי:

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

2. תמסורת של מלבן בודד:

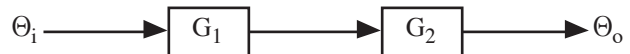
$$\frac{\Theta_o}{\Theta_i} = G$$

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



3. תמסורת של שני מלבנים בטור:

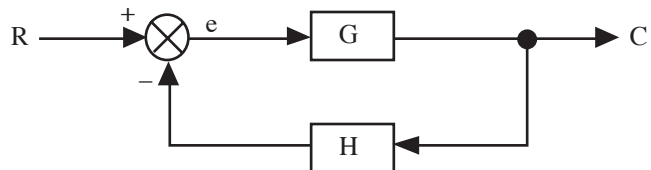
$$\frac{\Theta_o}{\Theta_i} = G_1 G_2$$



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:

$$Q = v \cdot A$$

$\left[\frac{m}{sec} \right]$	-	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:

$$Q = n \cdot C$$

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

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