

מכניקה הנדסית להנדסאים

הוראות לנבחן

א. משך הבחינה: ארבע שעות.

ב. מבנה השאלון ומפתח ההערכה: בשאלון זה חמישה פרקים ובהם תשע שאלות. עליך לענות על שאלה אחת מכל אחד מארבעת הפרקים הראשונים, ועל שאלה אחת נוספת, על-פי בחירתך, מכל השאלון. בסך-הכול עליך לענות על חמש שאלות. לכל שאלה – 20 נקודות, ובסך-הכול – 100 נקודות.

ג. חומר עזר מותר לשימוש: כל חומר עזר כתוב בכתב יד או מודפס על נייר, כלי סרטוט ומחשבון.

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 שהוספת.
4. בתשובה על שאלה חישובית, עליך להציג את שלבי הפתרון באופן מפורט ולהסבירם בקצרה. קבלת מרב הנקודות מותנית במילוי דרישה זו.
5. המידות בסרטוטים נתונות במ"מ, אלא אם כן צוין אחרת.

הוראות למשגיח:

בתום הבחינה יש לוודא כי התלמידים שענו על שאלה 9 צירפו את נספח ד' למחברת הבחינה שלהם.

בשאלון זה 15 עמודים ו-5 עמודי נספחים.

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

בהצלחה!

השאלות

בשאלון זה חמישה פרקים ובהם תשע שאלות.
עליך לענות על שאלה אחת מכל אחד מארבעת הפרקים הראשונים, ועל שאלה אחת נוספת, לפי בחירתך, מכל השאלון. בסך-הכול עליך לענות על חמש שאלות.
לכל שאלה – 20 נקודות, ובסך-הכול – 100 נקודות.

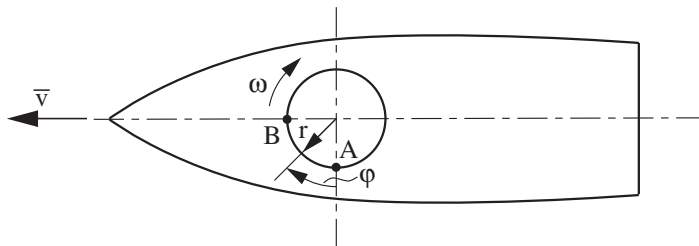
פרק ראשון: קינמטיקה ודינמיקה

שאלה 1

באיור לשאלה 1 מתוארת, במבט-על, אנייה שעל סיפונה העליון מורכבת אנטנת מכ"מ גלילית. האנטנה מסוגלת להסתובב סביב צירה הניצב לסיפון (ניצב לדף).

האנייה נעה בקו ישר במהירות: $\bar{v} = 20 \frac{\text{km}}{\text{h}}$

אנטנת המכ"מ סובבת במהירות זוויתית: $\omega = 2 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$



איור לשאלה 1

- חשב את מהירותה הקווית (גודל וזווית) של נקודה חומרית הנמצאת על המעטפת של האנטנה, במרחק: $r = 0.5 \text{ m}$, מציר הסיבוב של האנטנה, ברגע שהיא עוברת בנקודה A.
- חשב את מהירותה הקווית (גודל וזווית) של אותה הנקודה כאשר היא עוברת בנקודה B.
- מצא את הביטוי המתמטי של השתנות המהירות (גודל וזווית) של הנקודה החומרית כפונקציה של הזווית ϕ המסומנת באיור.

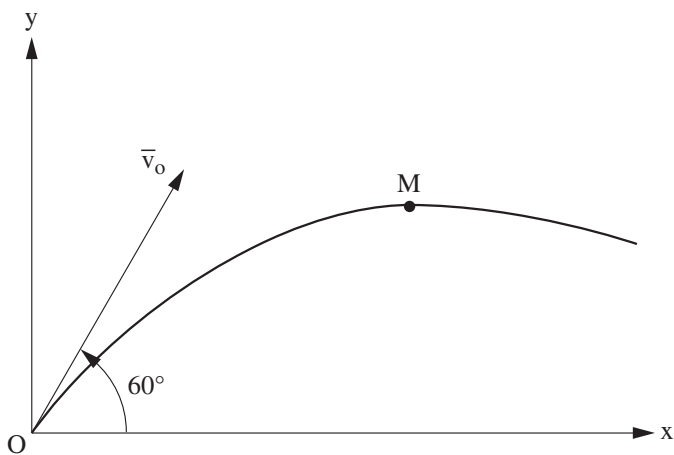
שאלה 2

גוף נזרק מנקודה O בזווית של 60° ביחס לציר x, במהירות התחלתית: $\bar{v}_0 = 70 \frac{m}{s}$, כמתואר באיור לשאלה 2. הזנח את התנגדות האוויר וחשב:

א. תוך כמה זמן יגיע הגוף לגובהו המרבי (בנקודה M)?

הנח שתאוצת הכובד היא: $g = 9.8 \frac{m}{s^2}$.

ב. את הגובה המרבי של הגוף, ללא תלות בזמן שמצאת בסעיף א'.

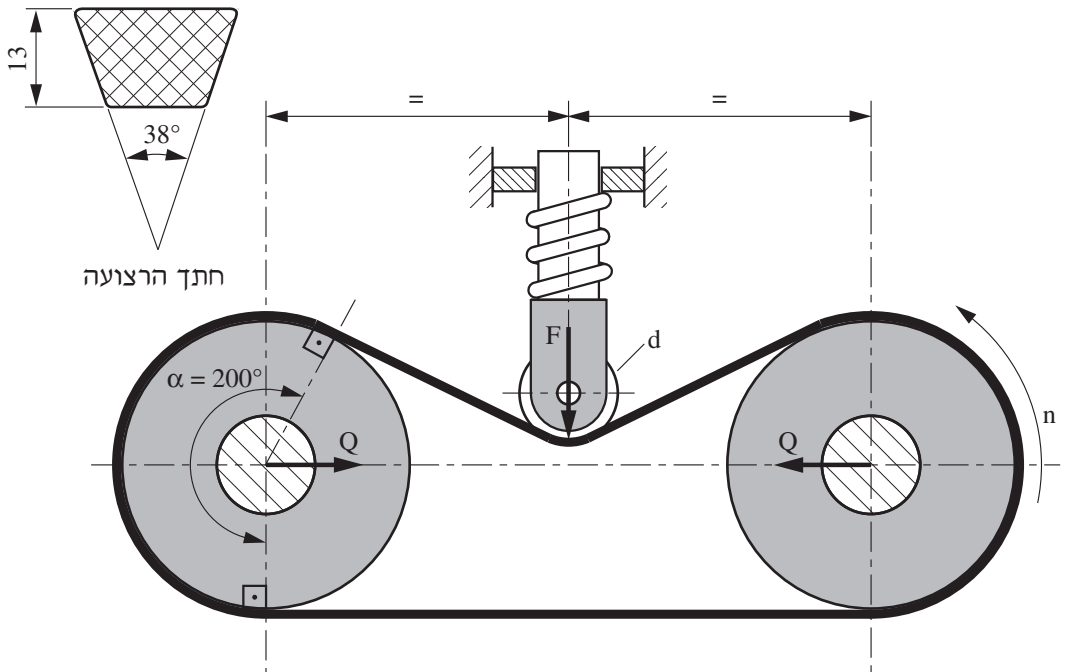


איור לשאלה 2

פרק שני: חלקי מכונות

שאלה 3

באיור לשאלה 3 מתוארת ממסרה בעלת שלוש רצועות טריזיות. מתיחת הרצועות מתבצעת באמצעות גלגלון מתיחה d , הנלחץ אל הרצועה בכוח F , באמצעות קפיץ. כיוון התנועה של הרצועות מתואר באיור ונתונה בו זווית החביקה של הרצועות סביב גלגלי הרצועה. זווית הטרזי וגובה החתך של הרצועה נתונים באיור.



איור לשאלה 3

נתונים:

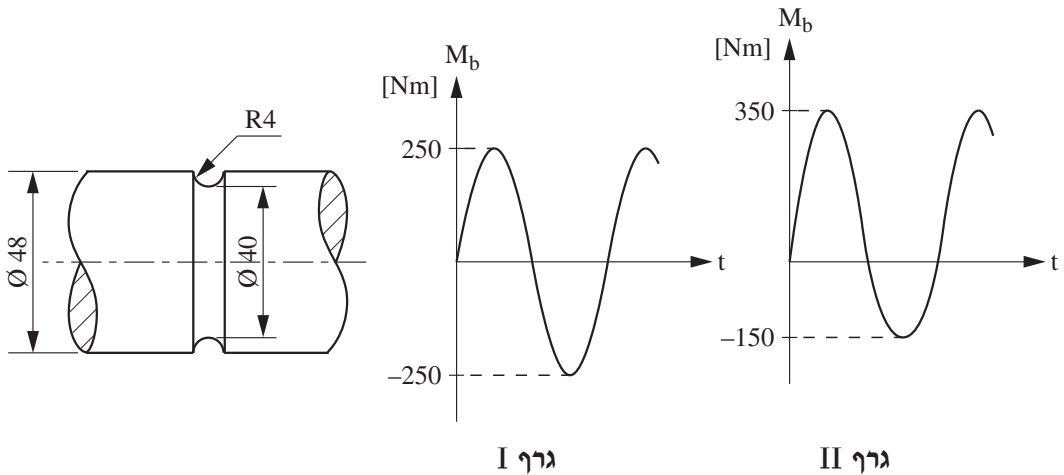
- ההספק המועבר באמצעות הממסרה: $P = 25 \text{ kW}$
- הקוטר של כל אחד מגלגלי הרצועה: $D = 260 \text{ mm}$
- מהירות הסיבוב של הגלגלים: $n = 1,500 \text{ rpm}$
- מקדם החיכוך בין כל רצועה לגלגל: $\mu = 0.33$
- מאמץ המתיחה המותר בחומר הרצועות: $[\sigma] = 6 \text{ MPa}$

- מודול האלסטיות של חומר הרצועות: $E = 50 \text{ MPa}$
- הצפיפות של חומר הרצועות: $\rho = 1,100 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
- שטח החתך של רצועה אחת: $A = 1.5 \text{ cm}^2$
- זווית החביקה של רצועה על גלגל רצועה: $\alpha = 200^\circ$
- קבוע הקפיץ של גלגלון המתיחה: $C = 15 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$

- א. בדוק, באמצעות חישוב, אם הממסרה יכולה להעביר את ההספק הנתון ($P = 25 \text{ kW}$), בהתבסס על תכונות החוזק של הרצועות.
- ב. חשב את גודלו של הכוח, Q , הפועל על כל אחד מהגלים של גלגלי הרצועה כאשר הממסרה מעבירה את ההספק הנתון.
- ג. חשב את מידת ההתכווצות הנדרשת של הקפיץ שעל גלגלון המתיחה לצורך העברת ההספק הנתון.

שאלה 4

באיור לשאלה 4 מתואר קטע של גל העמוס בעומס כפיפה משתנה. הגל עשוי פלדת מסג שעברה טיפול תרמי ועיבוד שבבי. מקדם הבטיחות הנדרש בעבודת הגל לאורך חיים בלתי מוגבל הוא: $[S] = 2$.



איור לשאלה 4

נתונים:

- חוזק מרבי למתיחה של חומר הגל: $\sigma_B = 560 \text{ MPa}$
 - חוזק כניעה של חומר הגל: $\sigma_y = 360 \text{ MPa}$
 - חוזק גבולי להתעייפות של הגל: $\sigma_e = 75 \text{ MPa}$
- א.** התבסס על הנחת Soderberg, ובדוק באמצעות חישוב אם הגל יכול לעמוד במחזור העומס המתואר באיור בגרף I.
- ב.** התבסס על הנחת Soderberg, ובדוק באמצעות חישוב אם הגל יכול לעמוד במחזור העומס המתואר באיור בגרף II.
- ג.** הצע **שתי** אפשרויות לשיפור עמידתו של הגל להתעייפות.

פרק שלישי: תרמודינמיקה

שאלה 5

מנוע פועל לפי מחזור דיזל סטנדרטי. בתחילת תהליך הדחיסה, הלחץ הוא: $p_1 = 1 \text{ bar}$ והטמפרטורה היא: $T_1 = 300 \text{ K}$. יחס הדחיסה במחזור הוא: $r_v = 14$, ויחס הקיטעון במחזור הוא: $r_c = 3$. ניתן להניח כי האוויר מתנהג כגז משוכלל.

נתוני האוויר:

$$c_p = 1.001 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \quad \text{החום הסגולי בלחץ קבוע:}$$

$$c_v = 0.714 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \quad \text{החום הסגולי בנפח קבוע:}$$

$$R = 0.287 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \quad \text{קבוע הגז של האוויר:}$$

$$\gamma = 1.4 \quad \text{היחס בין קיבולי החום הסגוליים:}$$

א. תאר, באופן איכותי, את המחזור במערכת צירים $p-v$ ובמערכת צירים $T-s$.

ב. חשב את הטמפרטורה, T_3 , ואת הלחץ, p_3 , של האוויר בסוף תהליך השריפה.

ג. חשב את הטמפרטורה, T_4 , ואת הלחץ, p_4 , בסוף תהליך ההתפשטות.

$$\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{r_c}{r_v} \right)^{\gamma-1} \quad \text{היעזר בקשר:}$$

ד. חשב את כמות החום המושקע ליחידת מסה, q_{in} , בתהליך השריפה $2 \rightarrow 3$.

ה. חשב את כמות החום הנפלט ליחידת מסה, q_{out} , בתהליך $4 \rightarrow 1$.

ו. חשב את הנצילות התרמית, η_D , של המחזור.

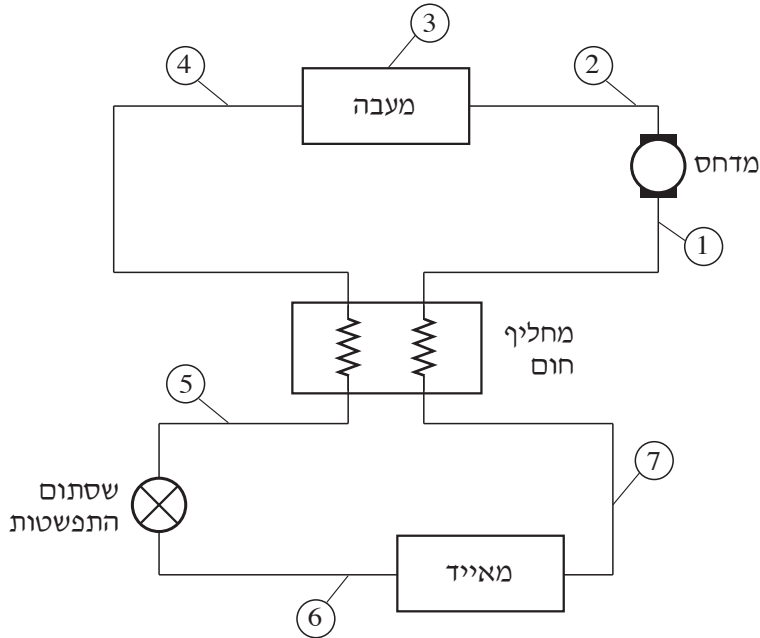
לאחר בדיקה התברר שהלחץ המעשי בסוף תהליך ההתפשטות היה 95% מהלחץ המתוכנן. נמצא כי הדבר נובע משריפה לא מלאה של הדלק. כתוצאה מכך הטמפרטורות המעשיות בסוף תהליך ההתפשטות וגם בסוף תהליך השריפה הן נמוכות יותר מהמתוכנן.

ז. תאר, באופן איכותי, את המחזור המעשי במערכת צירים $p-v$ ובמערכת צירים $T-s$ שצירת בסעיף א'.

ח. חשב את הטמפרטורה המעשית, T_4' , ואת הלחץ המעשי, p_4' , בסוף תהליך ההתפשטות.

שאלה 6

מתקן הקירור המתואר באיור לשאלה 6 מופעל באמצעות מדחס בוכנה. הקרר שבמתקן מאופיין בדיאגרמה שבנספח א'.



איור לשאלה 6

המתקן פועל על-פי הנתונים האלה:

$$p_2 = 1 \text{ MPa}$$

לחץ העיבוי:

$$\rho_1 = 6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

צפיפות הקרר בכניסה למדחס:

$$p_1 = 0.1 \text{ MPa}$$

לחץ האידוד:

$$\dot{Q}_{\text{קירור}} = 5.56 \text{ kW}$$

תפוקת הקירור:

נתוני המדחס:

$$\dot{m}_{\text{ac}} = 3 \frac{\text{kg}}{\text{min}}$$

ספיקת המסה של הקרר:

$$Z = 2$$

מספר הצילינדרים:

$$d = 0.042 \text{ m}$$

קוטר של צילינדר:

$$n_c = 2,000 \text{ rpm}$$

מהירות הסיבוב של גל המדחס:

$$\eta_v = 0.6$$

הנצילות הנפחית:

$$\eta_{oc} = 0.72$$

הנצילות הכללית:

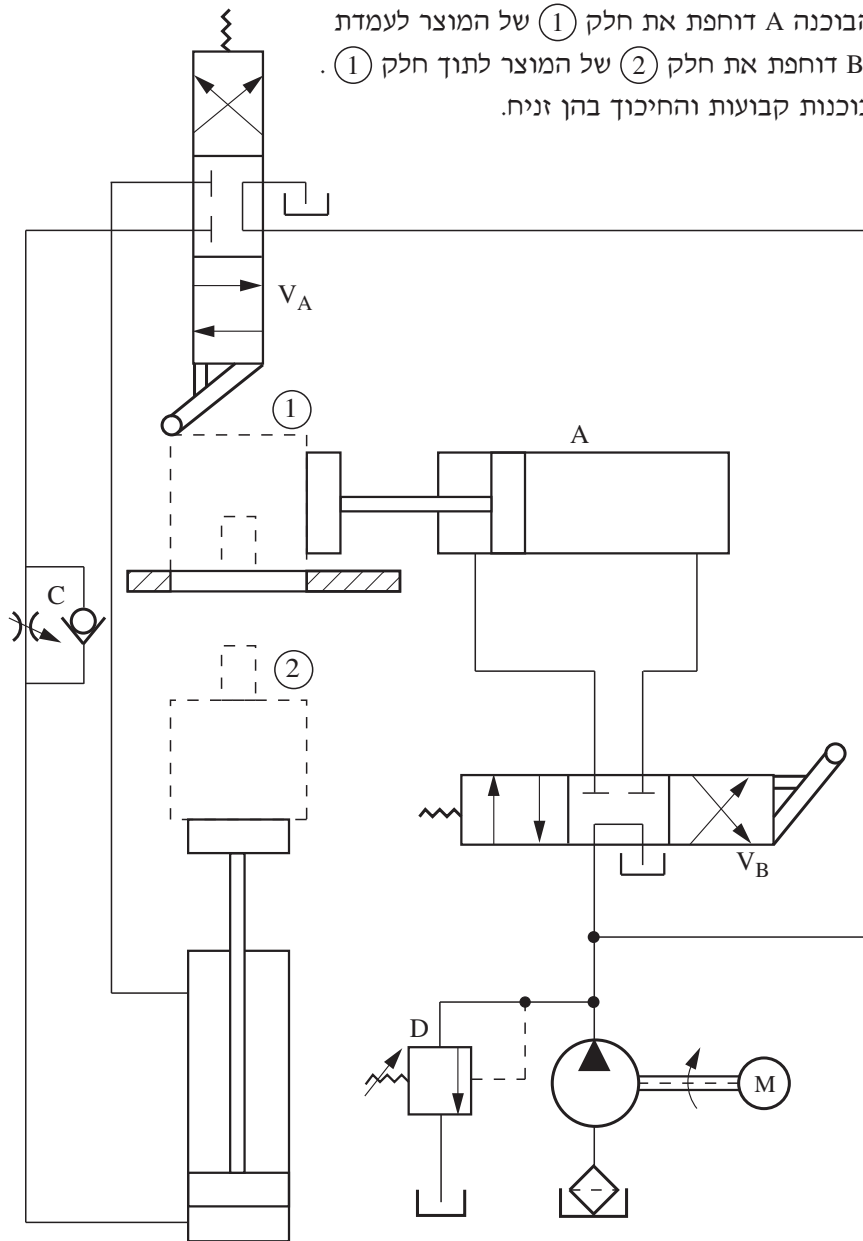
היעזר בדיאגרמת מולייר ($p-h$) שבנספח א' ופתור את הסעיפים שלהלן:

- א. העתק למחברתך את מערכת הצירים של דיאגרמת $p-h$ שבנספח, כולל ה"פעמון" שבה, והתווה עליה, באופן איכותי, את הקווים המתארים את התהליכים שבמחזור הקירור המתבצע במתקן. ציין בדיאגרמה את הנקודות המסומנות במספרים באיור לשאלה.
- ב. מצא את הטמפרטורה ואת האנטלפיה של הקרר בכניסה למדחס וביציאה ממנו.
- ג. חשב את אורך הצילינדר, L , של המדחס.
- ד. חשב את ההספק, N_{ac} , הדרוש להפעלת המדחס.
- ה. חשב את מקדם הביצוע, COP, של המתקן.

פרק רביעי: הידרוליקה

שאלה 7

באיור לשאלה 7 מתוארת מערכת הידרולית, המפעילה את הבוכנות A ו-B לצורך הרכבת מוצר על משטח אופקי. הבוכנה A דוחפת את חלק ① של המוצר לעמדת ההרכבה, והבוכנה B דוחפת את חלק ② של המוצר לתוך חלק ①. הנח שמהירויות הבוכנות קבועות והחיכוך בהן זניח.



איור לשאלה 7

נתונים:

- הלחץ המרבי במערכת: $p_{\max} = 0.28 \text{ MPa}$
 - ספיקת המשאבה: $Q = 70 \frac{l}{\min}$
 - הקוטר של הבוכנה A: $D_A = 120 \text{ mm}$
 - הקוטר של מוט הבוכנה B: $d_B = 70 \text{ mm}$
 - הלחץ הנגדי בבוכנה A בצד של מוט הבוכנה: $p_A = 0.2 \text{ MPa}$
 - הלחץ הנגדי בבוכנה B בצד של מוט הבוכנה: $p_B = 0.18 \text{ MPa}$
- א. חשב את מהירות הבוכנה A.

ב. הנח שכוח הדחיפה הנדרש מבוכנה A כדי לדחוף את חלק ① הוא $1,500 \text{ N}$, וחשב את קוטר המוט של הבוכנה A.

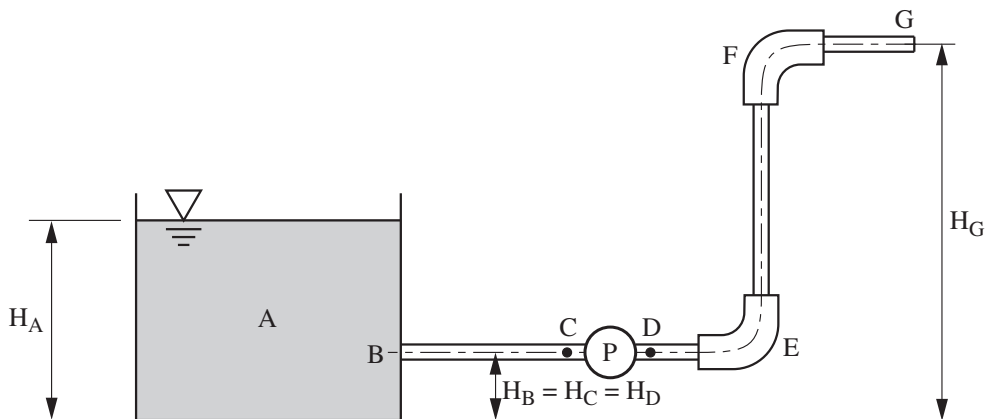
ג. הנח שכוח הדחיפה הנדרש מבוכנה B כדי לדחוף את חלק ② הוא $1,700 \text{ N}$, וחשב את קוטר הבוכנה B.

ד. חשב את מהירות הבוכנה B.

ה. באמצעות איזה רכיב במערכת ניתן לשנות את מהירות הבוכנה B? הסבר את עקרון הפעולה של רכיב זה.

שאלה 8

במערכת המתוארת באיור לשאלה 8 המשאבה P מזרימה מים ממכל גדול מאוד A עד לפתח הצינור G. מפתח הצינור G המים יוצאים מהמערכת במהירות v_G . (הנח כי מהירות השינוי של מפלס המים במכל A שווה ל-0).



איור לשאלה 8

נתונים:

- גובה מפלס המים במכל A, מעל תחתית המכל: $H_A = 3.5 \text{ m}$
- גובה המשאבה והצינור האופקי התחתון מעל תחתית המכל A : $H_B = H_C = H_D = 1.5 \text{ m}$
- גובה פתח הצינור G מעל תחתית המכל A : $H_G = 6.5 \text{ m}$
- מהירות המים ביציאה מפתח הצינור G : $v_G = 1.2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
- קוטר כל הצינורות אחיד וערכו: $d = 40 \text{ mm}$
- אורך קטע הצינור מ-B עד C : $\ell_{BC} = 1 \text{ m}$
- אורך קטעי הצינור מ-D עד G : $\ell_{DG} = 8 \text{ m}$
- הצינורות עשויים מפלדה ומידת החספוס בהם היא: $\varepsilon = 0.03 \text{ mm}$
- מקדם הפסד העומד המקומי בכיפופי הצינור: $K_E = K_F = 0.8$
- מקדם הפסד העומד המקומי ביציאה מהמכל A לצינור: $K_B = 0.1$

– הצמיגות הדינמית של המים: $\mu = 10^{-3} \frac{\text{kg}}{(\text{m} \cdot \text{s})}$

– צפיפות המים: $\rho = 1,000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

– תאוצת הכובד: $g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

א. חשב את הספיקה הנפחית, Q , של המים במערכת.

ב. חשב את לחץ היתר (המנומטרי), p_C , בכניסה למשאבה. (היעזר בנספח ג')

ג. חשב את לחץ היתר (המנומטרי), p_D , ביציאה מהמשאבה.

ד. חשב את ההספק, P , אשר מעבירה המשאבה למים.

שאלה 9

Read the following and perform the activities at appendix D:

There are different kinds of internal combustion engines, but here we are primarily concerned with the reciprocating internal combustion engine. Almost all cars today use this piston engine, because it is not only relatively efficient, but its high energy density gasoline fuel is relatively inexpensive, and it is comparatively easy to refuel the engine with it.

Here are the basic principles involved in the working of the reciprocating internal combustion engine:

if you put a small amount of high-energy fuel (like gasoline) in a small enclosed space and ignite it, an incredible quantity of energy is released in the form of expanding gas.

If a cycle can be created that allows explosions to be set off hundreds of times per minute, and then if that energy is harnessed in a useful way, what you have is the core of a car engine.

Nowadays, most cars use what is called a four stroke combustion cycle in order to convert gasoline into motion. The four strokes are illustrated in figure for question 9. They are: intake stroke, compression stroke, combustion stroke and exhaust stroke.

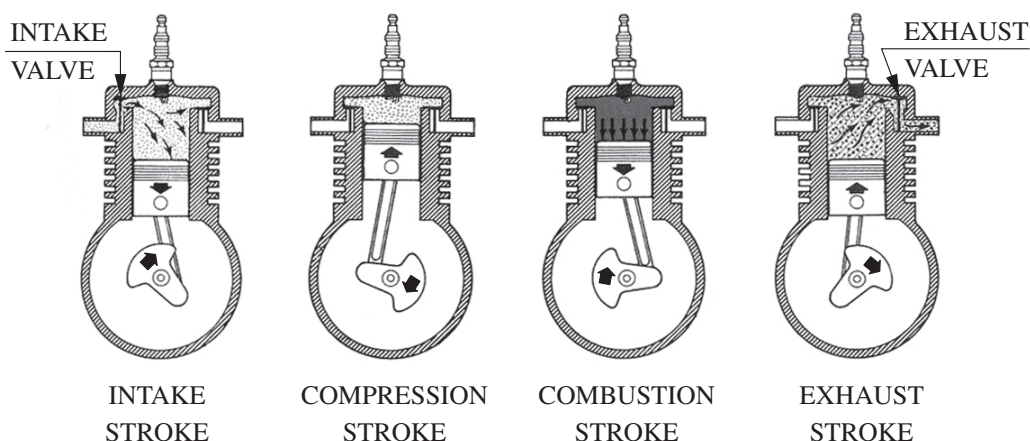


Figure for question 9

You can see in the figure that the piston is connected to the crankshaft by means of a connecting rod. As the crankshaft revolves, the piston makes a linear motion in its cylinder. The piston starts

moving at the top, the intake valve opens, and the piston moves down to allow the engine to suck in a full cylinder of air mixed with gasoline. This is the intake stroke, which is also known as the suction stroke. Then the piston moves upwards to compress this fuel-air mixture. This is the compression stroke. The engine flywheel stores energy that it requires during the combustion stroke, and this energy is used by the piston to help it over its first two strokes. When the piston reaches the top of its stroke, i.e. top-dead-center (T.D.C) , the spark plug emits a spark to ignite the compressed gasoline-air mixture. The burning gasoline charge in the cylinder explodes and expands, thus pushing the piston down. This is the combustion stroke.

Once the piston hits the bottom of this third stroke, i.e. bottom-dead-center (B.D.C), the exhaust valve opens and the exhaust products can leave the cylinder through the exhaust pipe. This is the fourth stroke, called the exhaust stroke.

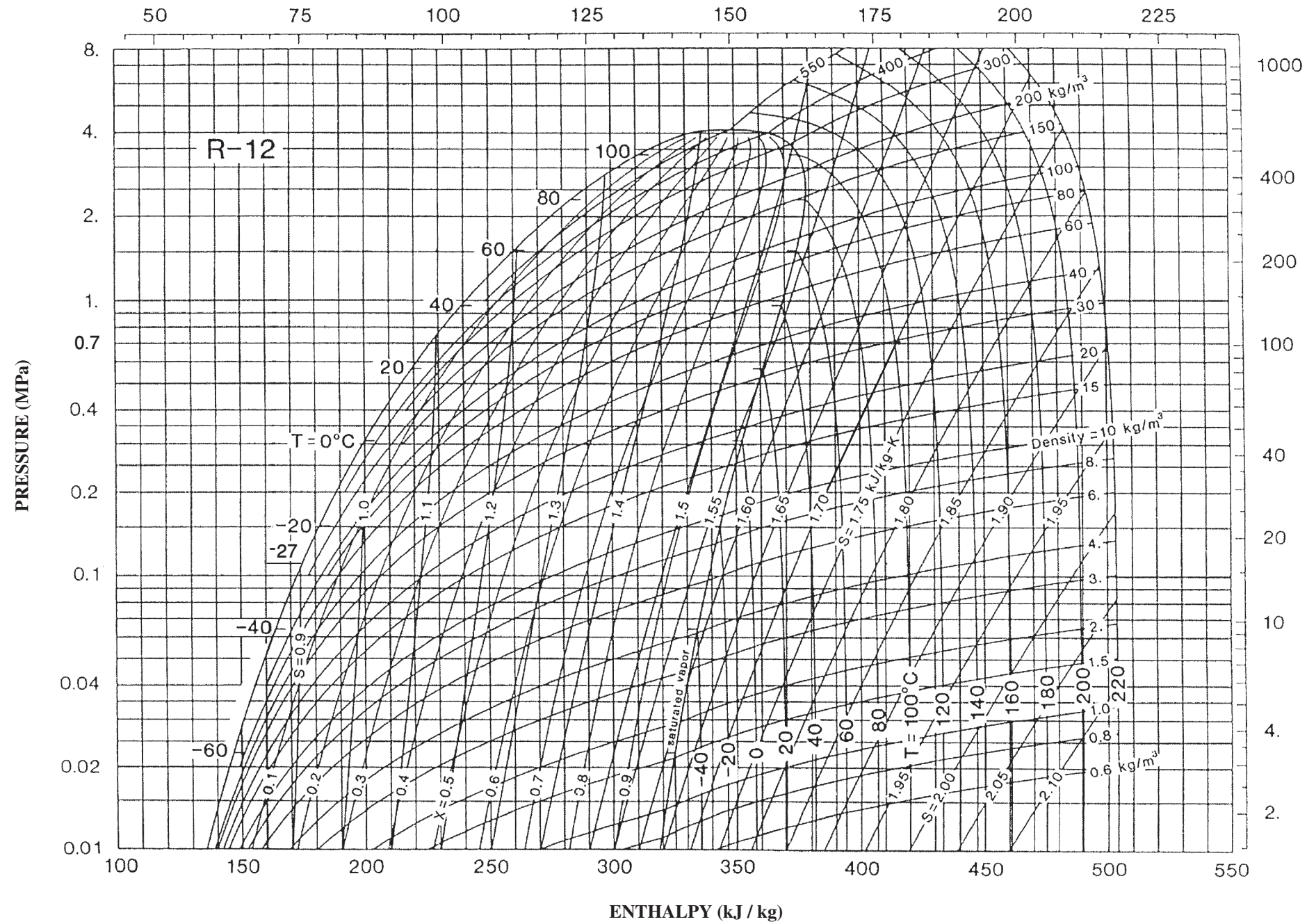
In regards to thermodynamic efficiency, the Otto cycle, theoretically represents the best option for an IC engine cycle. This is due to the fact that the fuel energy is converted to heat at constant volume when the working fluid is at maximum compression, This combustion condition leads to the highest possible peak temperatures, and thus the highest possible thermal efficiencies.

בהצלחה!

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

נספח א' – דיאגרמת מולייר (P-h) לקרר

לשאלון 710003, אביב תשע"ג



נספח ב': נוסחאות בתרמודינמיקה

לשאלון 710003, אביב תשע"ג

תהליכים הפיכים בגז משוכלל, $p v = R T$

תהליך	אפיון	עבודה, W	חום, q	שינוי באנרגיה פנימית, Δu
איזוברי	$p = \text{const.}$	$p \Delta v = R \Delta T$	$c_p \Delta T$	$c_v \Delta T$
איזותרמי	$T = \text{const.}$	$R T \ln \left(\frac{v_2}{v_1} \right) = R T \ln \left(\frac{p_1}{p_2} \right)$		0
אדיאבטי	$q = 0$	$\frac{(p_1 v_1 - p_2 v_2)}{(\gamma - 1)}$	0	$c_v \Delta T = -w$
איזוכורי	$v = \text{const.}$	0		$c_v \Delta T$

מחזור אוטו ומחזור דיזל:

נצילות מחזור אוטו: $\eta_{\text{Otto}} = 1 - \frac{1}{r_v^{\gamma-1}}$
 נצילות מחזור דיזל:

$$\eta_{\text{Diesel}} = 1 - \frac{(r_c^\gamma - 1)}{\gamma r_v^{\gamma-1} (r_c - 1)}$$

לחץ אפקטיבי ממוצע: $mep = \frac{W_{\text{net}}}{v_1 - v_2}$

תהליך אדיאבטי הפיך (איזנטרופי):

$$p v^\gamma = \text{const.} \Rightarrow \frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^\gamma$$

$$p T^{-\frac{\gamma}{\gamma-1}} = \text{const.} \Rightarrow \frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$$

$$T v^{\gamma-1} = \text{const.} \Rightarrow \frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^{\gamma-1}$$

מערכות קירור:

ספיקה נפחית של מדחס: $\dot{V}_{tc} = \frac{\pi d^2}{4} L \cdot z \cdot n$

קוטר צילינדר - d

אורך צילינדר - L

מספר צילינדר - z

מהירות סיבוב, rpm - n

$\dot{V}_{ac} = \dot{V}_{tc} \cdot \eta_v$

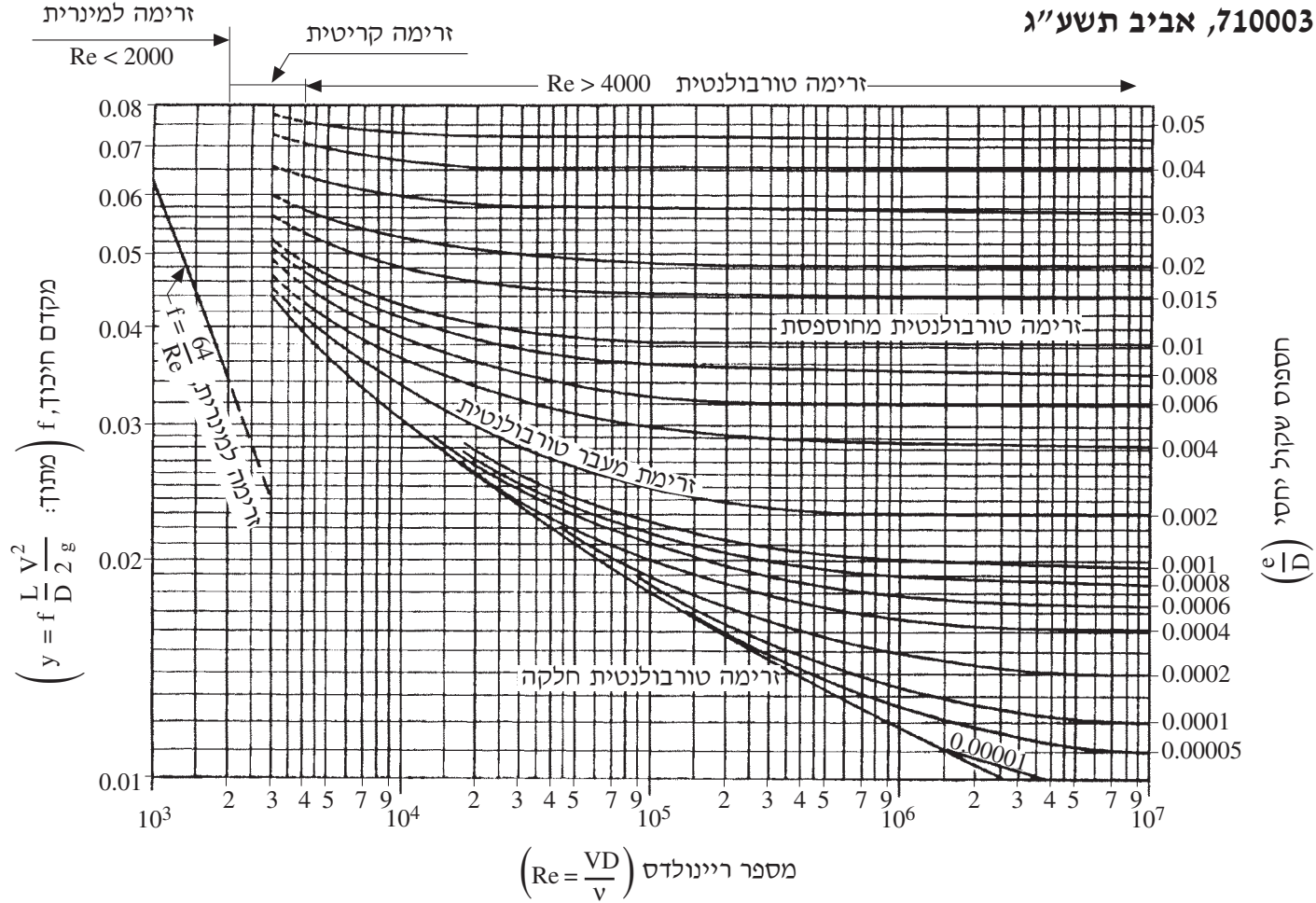
הספק של מדחס: $N_{ac} = \frac{\dot{m}_{ac} \Delta h}{\eta_{oc}}$

תפוקת קירור: $\dot{Q}_{\text{קירור}} = \dot{m}_{ac} \Delta h$

מקדם ביצוע: $COP = \frac{\dot{Q}_{\text{קירור}}}{N_{ac}}$

נספח ג': הדיאגרמה של מודי

לשאלון 710003, אביב תשע"ג



נספח ד' לשאלה 9 – 2 עמודים

Perform the following activities and attach this appendix to your notebook

Activity 1

Write "True" or "False" for the following sentences:

- (a) The linear motion of the piston is at constant velocity _____
- (b) During combustion stroke all valves are closed _____
- (c) The cycle efficiency goes up as peak temperature goes down _____
- (d) The engine flywheel main purpose is energy storing _____

Activity 2

Answer in your own words **two** of the following questions.

- (a) What is the purpose of the spark plug? _____

- (b) What are the positions of the valves during sparking – ignition? _____

- (c) What is the position of the piston just before exhaust stroke? _____

- (d) If a four cycle car engine rotates at 2,000 rpm, how many sparks / min. / cylinder are created and why? _____

Activity 3

Below are words from the text, write for each word a synonym or different word(s) which can be used instead:

- (a) Reciprocating _____
- (b) Efficient _____
- (c) Harnessed _____
- (d) Working fluid _____

Activity 4

Complete the missing words:

- (a) On the exhaust stroke, combustion _____ are discharged through the _____

- (b) Because only the _____ stroke produces work, the engine is equipped with a _____ to assist the rotation by storing _____
- (c) Otto cycle _____ fuel energy to _____ at constant _____ process, when the working gas pressure is _____