

סוג הבחינה: בגרות לבתי-ספר על-יסודיים
מועד הבחינה: קיץ תשס"ג, 2003
סמל השאלון: 838104
נספחים: א' – דף תשובות
ב' – שגמים פריזמטיים
ג', ד' – לשאלה 7
נוסחאון

מכניקה הנדסית י"א

יחידת לימוד אחת

הוראות לנבחן

א. משך הבחינה: שלוש שעות.

ב. מבנה השאלון ומפתח ההערכה: בשאלון זה שני פרקים ובהם עשר שאלות.
פרק ראשון: סטטיקה, חוזק חומרים, הבנת סרטוט הרכבה, חומרים וטיפול תרמי, בקרה במכונות

פרק שני: מערכות צנרת

לתלמידי כל ההתמחויות, פרט להתמחות צנרת ומבנים

ענה על חמש שאלות מן הפרק הראשון בלבד. לכל שאלה – 20 נקודות.

סך-הכול – 100 נקודות.

לתלמידי ההתמחות צנרת ומבנים

ענה על חמש שאלות: ארבע מבין השאלות 1–6 בפרק הראשון, ועוד שאלה אחת מן הפרק השני. לכל שאלה – 20 נקודות. סך-הכול – 100 נקודות.

ג. חומר עזר מותר לשימוש: כלי כתיבה וסרטוט, נוסחאון בית-ספרי ומחשבון.

ד. הוראות מיוחדות:

1. עיין בשאלון, הכר את חלקיו ורק אז ענה על השאלות בסדר הנראה לך.
2. בכל שאלה ניתנו הנתונים לפתרונה. אם לדעתך חסר נתון, הוסף אותו ופתור את השאלה בעזרתו. ציין בתשובתך את הנתון שהוספת.
3. אם מספר השאלות שפתרת עולה על הנדרש, אינך צריך לבחור את התשובות שייבדקו. המעריך יבדוק את כל המבחן, ויבחר את התשובות הטובות ביותר, לפי הנדרש בכל פרק.
4. בתשובה לשאלה חישובית עליך להציג את שלבי הפתרון באופן מפורט ולהסבירם בקצרה. קבלת מרב הנקודות מותנית במילוי דרישה זו.

בשאלון זה 15 עמודים, 4 עמודי נספחים ונוסחאון.

ההנחיות בשאלון זה מנוסחות בלשון זכר,
אך מכוונות לנבחנות ולנבחנים כאחד.

בהצלחה!

השאלות

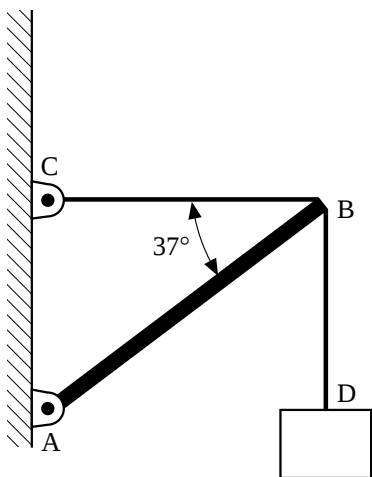
פרק ראשון: סטטיקה, חוזק חומרים, הבנת סרטוט הרכבה, חומרים וטיפול תרמי, בקרה במכונות

לתלמידי כל ההתמחויות, פרט להתמחות צנרת ומבנים
ענה על חמש מבין השאלות 1-8 (לכל שאלה – 20 נקודות).

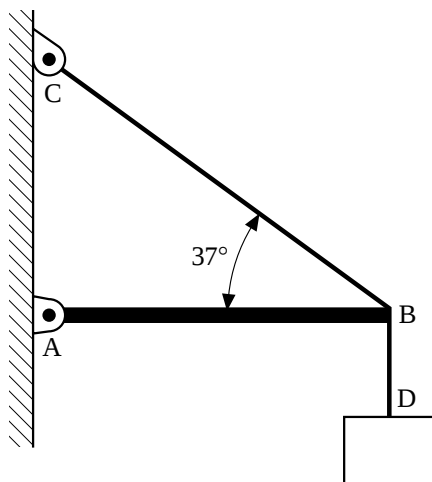
לתלמידי ההתמחות צנרת ומבנים
ענה על ארבע מבין השאלות 1-6 (לכל שאלה – 20 נקודות).

שאלה 1

באיור לשאלה 1 נתונים שני תרשימים, 1 ו-2 .
בכל אחד מן התרשימים מתוארת משקולת שמשקלה 120 N . המשקולת מחוברת לכבל, אשר נתמך על-ידי קורה AB, בעלת חתך אחיד לכל אורכה.



תרשים 2



תרשים 1

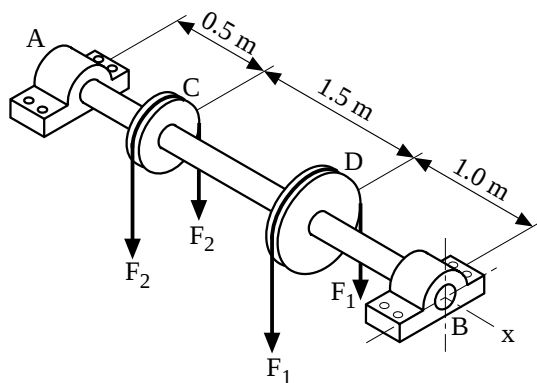
איור לשאלה 1

- א. סרטט דג"ח של הצומת B לכל אחד מן התרשימים 1 ו-2.
- ב. באיזה מבין שני התרשימים המתיחות בכבל BC גדולה יותר? נמק את תשובתך בעזרת חישוב או בעזרת תיאור גרפי.

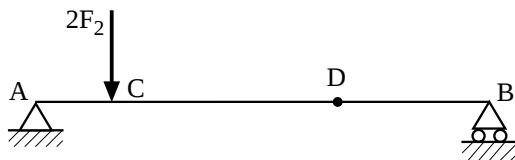
שאלה 2

באיור א' לשאלה 2 מתואר גל AB ועליו מותקנות שתי גלגלות הרמה. הכוחות הפועלים על כל אחת מן הגלגלות מתוארים באיור. ערכי הכוחות הם אלה: $F_1 = 40 \text{ N}$, $F_2 = 60 \text{ N}$.

באיור ב' לשאלה 2 מתואר דג"ח חלקי של הגל AB.



איור א' לשאלה 2



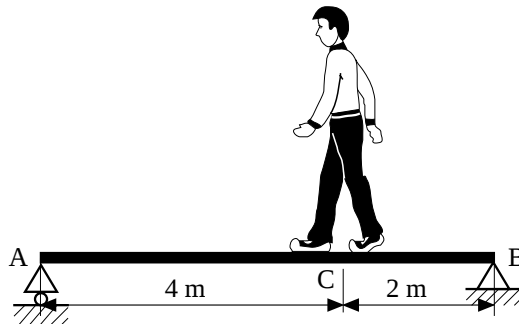
איור ב' לשאלה 2

- א. העתק למחברתך את הדג"ח החלקי של הגל והשלם בו את הכוחות החסרים. (הזנח את משקל הגל).
- ב. חשב את כוחות התגובה בסמכים A ו-B.

שאלה 3

באיור לשאלה 3 מתואר נער העומד על קורה. משקלו של הנער הוא 600 N . אורך הקורה ומיקומו של הנער מצוינים באיור.

לקורה חתך מלבני לכל אורכה. המודול של החתך לכפיפה הוא: $z_x = 10,000 \text{ mm}^3$.

**איור לשאלה 3**

א. חשב את כוחות התגובה בסמכים A ו-B. (הזנח את משקל הקורה).

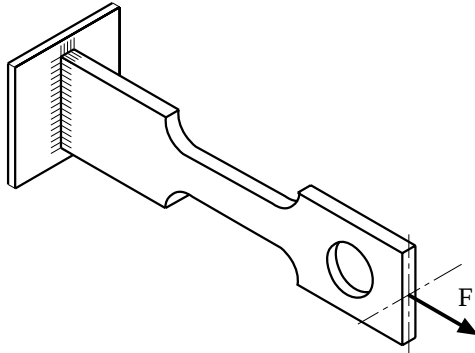
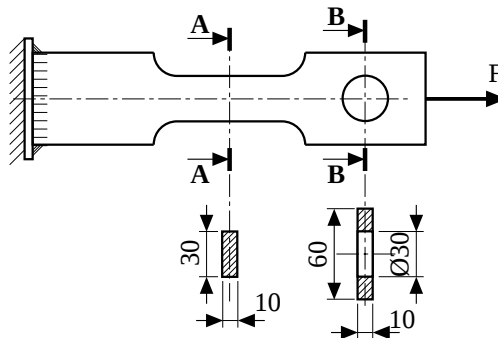
ב. חשב את מומנטי הכפיפה בקורה, בנקודות A, B ו-C.

ג. סרטט את המהלך של מומנטי הכפיפה לאורך הקורה.

ד. חשב את המאמץ המרבי הנוצר בקורה.

שאלה 4

באיור א' לשאלה 4 נתון היטל איזומטרי של מוט פלדה מדורג בעל חתך מלבני. המוט נמתח על-ידי הכוח $F = 40 \text{ kN}$. המידות של חתכי המוט נתונות באיור ב' לשאלה. המאמץ המותר של הפלדה הוא 150 MPa .

**איור א' לשאלה 4****איור ב' לשאלה 4**

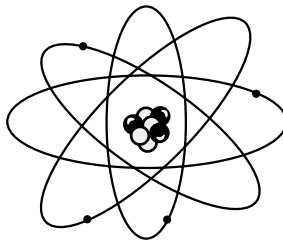
- א. חשב את המאמץ בחתך A-A.
- ב. חשב את המאמץ בחתך B-B.
- ג. האם המוט המדורג יעמוד במאמצים שחישבת בתשובותיך לסעיפים א' ו-ב'? נמק את תשובתך.

שאלה 5

לכל אחד מן הסעיפים א'–ה' ניתנו ארבע תשובות אפשריות שרק אחת מהן נכונה. הקף בעיגול את הספרה המציינת את התשובה הנכונה בדף התשובות (נספח א').

א. באיור א' לשאלה 5 מתואר מבנה של:

1. גביש.
2. מולקולה.
3. אטום.
4. גרעין האטום.



○ פרוטון
● נייטרון
• אלקטרון

איור א' לשאלה 5

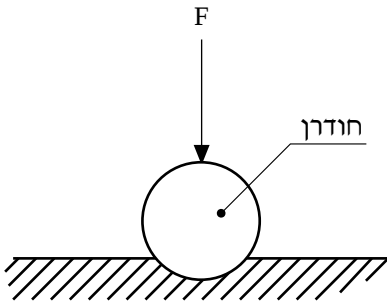
ב. באיור ב' לשאלה 5 מתוארת פעולת עיצוב של חלק מפח. התכונה הנדרשת מהפח לצורך עיצובו, במקרה זה, היא:

1. שביבות.
2. פלסטיות.
3. אלסטיות.
4. רתיכות.



איור ב' לשאלה 5

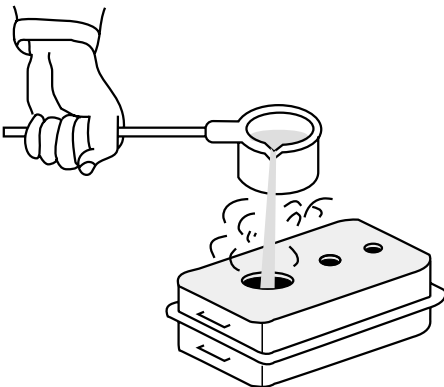
ג. באיור ג' לשאלה 5 מתוארת בדיקת קשיות של מתכת רכה. מאיזה חומר, מבין החומרים שלהלן, מומלץ לייצר את החודרן?



איור ג' לשאלה 5

1. פלדת מבנים
2. פלדת אל-חלד
3. פלדת כלים
4. פלדה לייצור קפיצים

ד. באיור ד' לשאלה 5 מתואר תהליך של יציקת מתכת לתוך דפוס. התכונות הנדרשות ממתכת זו הן:



איור ד' לשאלה 5

1. טמפרטורת היתוך נמוכה ודלילות גבוהה.
2. טמפרטורת היתוך גבוהה ודלילות נמוכה.
3. טמפרטורת רתיחה גבוהה ודלילות נמוכה.
4. טמפרטורת רתיחה גבוהה ודלילות גבוהה.

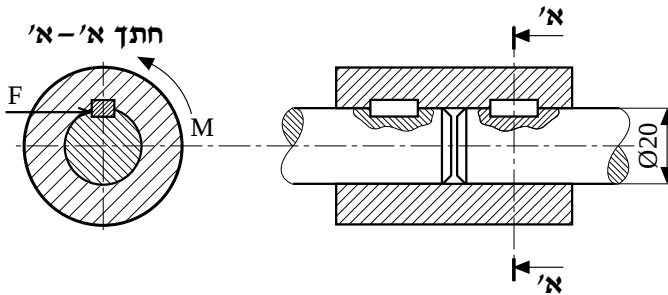
ה. התכונה החשובה ביותר הנדרשת מכלי חיתוך היא:

1. מידה גבוהה של חוזק.
2. מידה גבוהה של קשיות.
3. פלסטיות גבוהה.
4. כושר יציקות גבוה.

שאלה 6

באיור לשאלה 6 מתואר מצמד תותב המחבר בין שני גלים. המצמד מעביר את התנועה בין הגלים באמצעות שגמים.

גודל המומנט המועבר מגל אחד לגל השני הוא $40,000 \text{ Nmm}$. קוטר הגלים נתון באיור.



איור לשאלה 6

- א. חשב את הכוח F הפועל על השגם כתוצאה מן המומנט המועבר.
- ב. היעזר בנספח ב' ובחר לשגם ממדים מתאימים (b, h) .
- ג. חשב את אורך השגם המזערי הנדרש בהתחשב במאמצי גזירה בלבד. המאמץ המותר לגזירה בחומר השגם הוא 60 MPa .

שאלה 7

בנספח ג' מתואר שסתום חד-כיווני. השסתום שולט בזרימת האוויר דרך הקדח המאונך שבגוף השסתום (חלק מס' 1).

ענה על כל הסעיפים א'–ז'. לכל אחד מן הסעיפים א'–ו' ניתנו ארבע תשובות אפשריות, אך רק אחת מהן נכונה. הקף בעיגול את הספרה המייצגת את התשובה הנכונה בדף התשובות (נספח א').

א. כשמסובבים את הזרוע (חלק 8), מסתובבים גם:

1. המוט (חלק 4) והמכסה (חלק 6).

2. המוט (חלק 4) וגוף השסתום (חלק 1).

3. המוט (חלק 4) והסוגר (חלק 3).

4. המוט (חלק 4) והברגים (חלק 7).

ב. סיבוב הזרוע (חלק 8) כלפי מטה:

1. יגרום למעבר כמות גדולה יותר של אוויר דרך השסתום.

2. יגרום למעבר כמות קטנה יותר של אוויר דרך השסתום.

3. יגרום לסגירת השסתום ולהפסקה של זרימת האוויר דרכו.

4. לא ישנה את כמות האוויר הזורמת דרך השסתום.

ג. תפקידו של השגם (חלק 5) הוא:

1. להעביר תנועה סיבובית של הזרוע (חלק 8) למוט (חלק 4).

2. להעביר תנועה סיבובית של הזרוע (חלק 8) למכסה (חלק 6).

3. להעביר תנועה סיבובית של הזרוע (חלק 8) לגוף השסתום (חלק 1).

4. למנוע את התנועה הסיבובית של המוט (חלק 4).

ד. הסוגר (חלק 3) מחובר למוט (חלק 4) באמצעות:

1. שגם.

2. ברגים.

3. ריתוך.

4. דבק.

ה. ההברגה בבורג (חלק 7) היא על-פי:

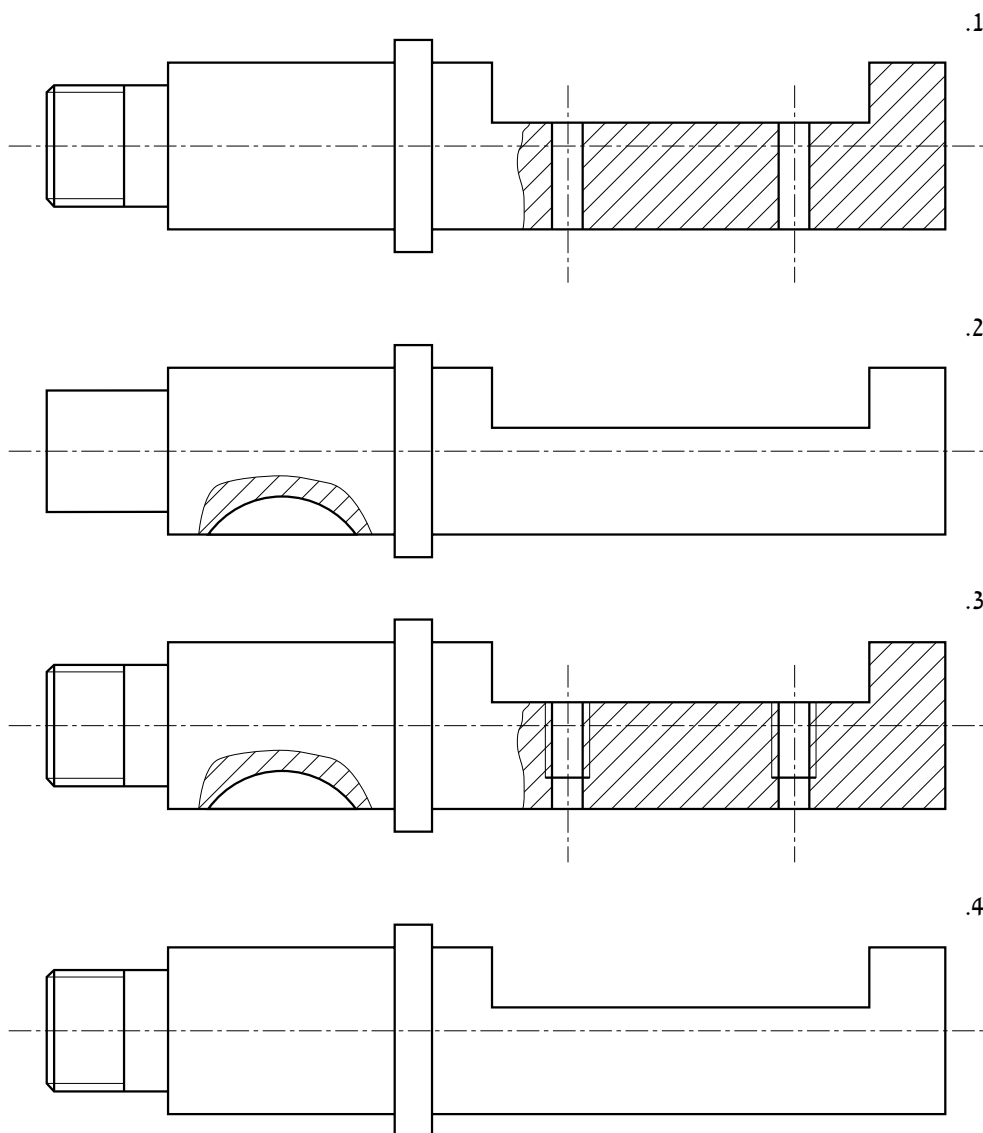
1. תקן מטרי רגיל.

2. תקן מטרי עדין.

3. תקן אמריקאי רגיל.

4. תקן אמריקאי עדין.

1. איזה מן הסרטוטים האלה מתאר בצורה נכונה את המוט (חלק 4)?

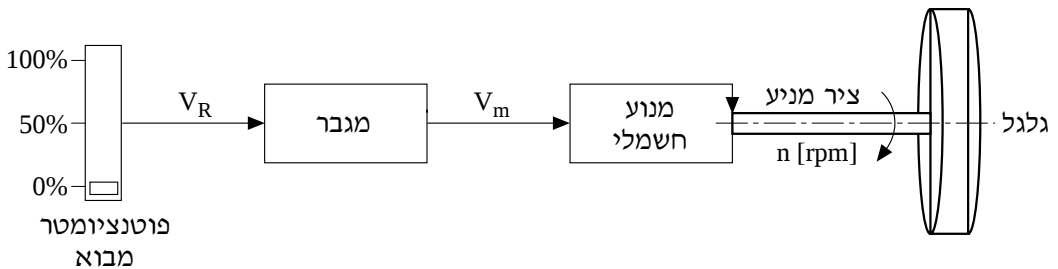


2. השלם את סרטוט הזרוע (חלק 8) שבנספח ד'.

הדבק את מדבקות הנבחן שלך במקום המיועד לכך בנספח א' ובנספח ד' והצמד את הנספחים למחברת הבחינה שלך.

שאלה 8

באיור לשאלה 8 מתוארת מערכת המבקרת את קצב הסיבוב, n , של גלגל. המערכת כוללת פוטנציומטר המפיק מתח חשמלי, V_R , המסופק למגבר. המגבר מפיק מתח חשמלי, V_m , המוזן למנוע חשמלי המסובב את הגלגל.



איור לשאלה 8

- א. קבע אם מערכת הבקרה המתוארת באיור פועלת בחוג פתוח או בחוג סגור. נמק את תשובתך.
- ב. סרטט תרשים מלבנים שיתאר את מערכת הבקרה. ציין מעל כל מלבן את שם הרכיב שהוא מייצג, ורשום את אות המבוא ואת אות המוצא של כל מלבן.
- ג. מגדילים את אות המבוא של הפוטנציומטר. קבע אם כל אחד מן הגדלים הרשומים להלן יגדל, יקטן או יישאר ללא שינוי:
1. מתח המבוא למגבר, V_R
 2. מתח המבוא למנוע, V_m
 3. קצב הסיבוב, n , של המנוע

מקום למחברת נבחן

פרק שני: מערכות צנרת
לתלמידי ההתמחות צנרת ומבנים

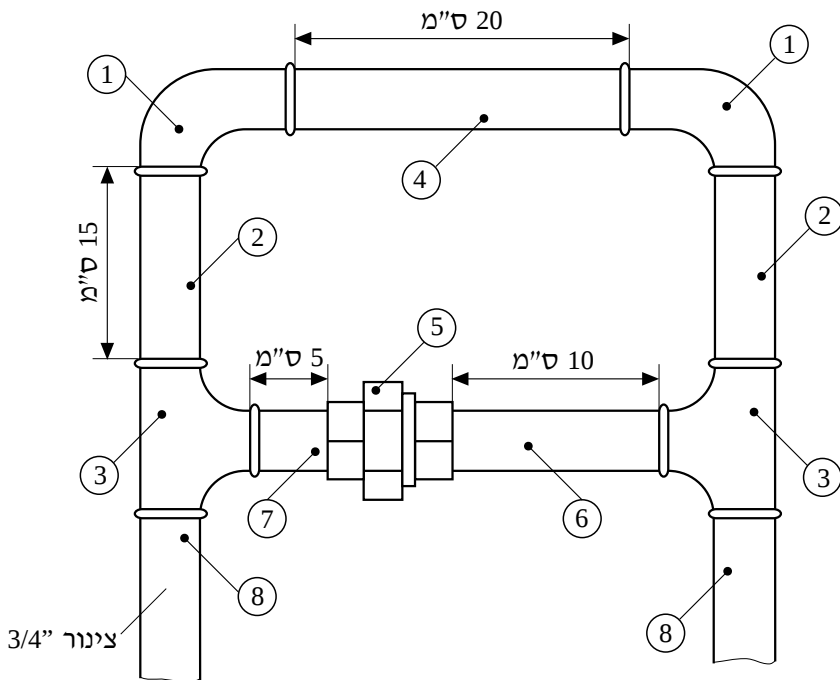
ענה על אחת מבין השאלות 9-10

(לכל שאלה – 20 נקודות).

הדבק את מדבקת הנבחן שלך במקום המיועד לכך וצרף את השאלון למחברת הבחינה שלך.

שאלה 9

באיור לשאלה 9 נתונה מערכת צינורות ובה חלקים המסומנים במספרים.



איור לשאלה 9

א. רשום את השלבים הנדרשים להרכבת המערכת מחלקיה.

ב. השלם את רשימת החלקים שלהלן עבור החלקים שסימונם נתון בטבלה.

					7
	יצקת ברזל				5
		$\varnothing \frac{3}{4}'' \times 200$			4
תקני				הסתעפות T	3
תקני					1
הערות	חומר	מידות	כמות	שם החלק	חלק מס'

ג. על ראש התברוג המשמש לביצוע ההברגות שבמערכת רשום: B.S.P – $\frac{3}{4}''$.
מה פירוש הרישום?

שאלה 10

באיור א' לשאלה 10 נתון גרף ומתוארים בו שני אופייניים של מקדמי הפסדי העומד לאבזורי פינה (ברך של 90°):

אופיין 1 – עבור ברך עשויה מפלדה.

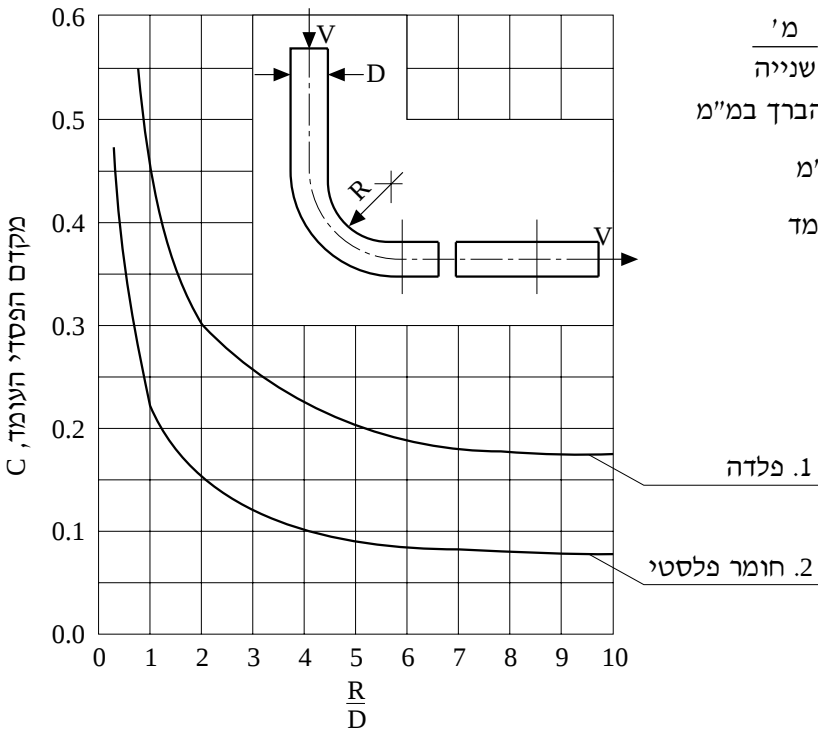
אופיין 2 – עבור ברך מחומר פלסטי.

$V =$ מהירות זרימה ב- $\frac{m^3}{s}$ שנייה

$D =$ קוטר הצינור של הברך במ"מ

$R =$ רדיוס הכיפוף במ"מ

$C =$ מקדם הפסדי העומד



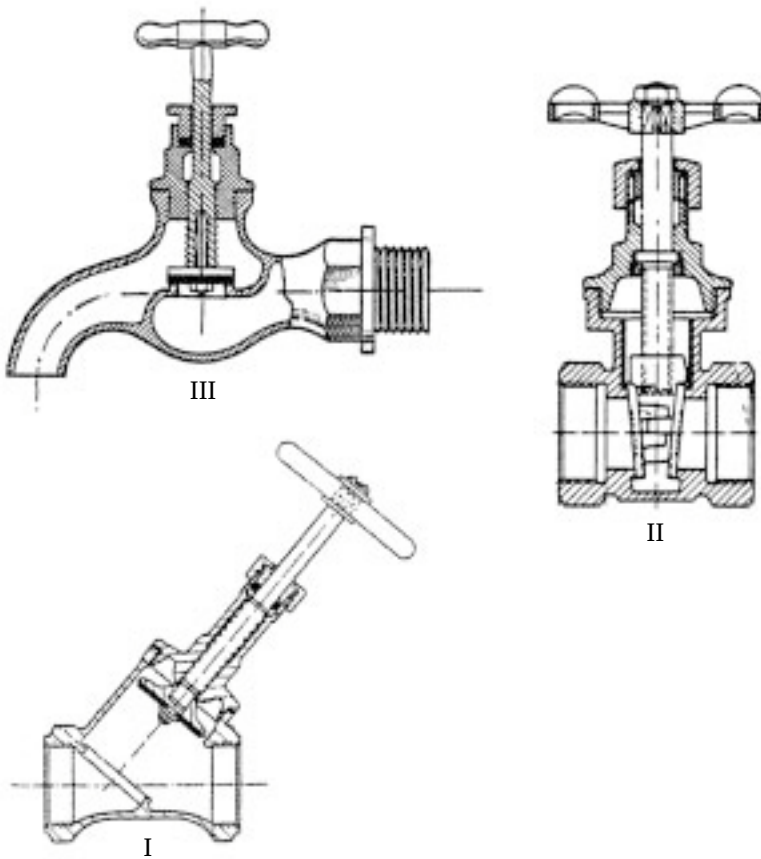
איור א' לשאלה 10

א. האם מקדם הפסדי העומד, C , יגדל, יקטן או לא ישתנה כאשר קוטר הצינור של הברך, D , יגדל ורדיוס הכיפוף שלה, R , לא ישתנה? נמק את תשובתך.

ב. מצא מתוך הגרף את מקדם הפסדי העומד בברך העשויה מחומר פלסטי שקוטר הצינור שלה הוא 15 מ"מ ורדיוס הכיפוף שלה הוא 60 מ"מ.

ג. באיור ב' לשאלה 10 מתוארים שלושה מגופים המסומנים בספרות I, II, III. סדר את המגופים על-פי התנגדותם לזרימה דרכם, ורשום את סימונם בתוך הטבלה.

	התנגדות גבוהה
	התנגדות נמוכה
	התנגדות נמוכה מאוד



איור ב' לשאלה 10

בהצלחה!

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

הדבק את מדבקת הנבחן שלך במקום המיועד לכך.
כשתסיים להשיב על כל השאלות, הדק את הדף הזה אל מחברת הבחינה שלך.
הקף בעיגול את הספרה המציינת את התשובה הנכונה לכל סעיף.

תשובות לשאלה 5

סעיף א'	1	2	3	4
סעיף ב'	1	2	3	4
סעיף ג'	1	2	3	4
סעיף ד'	1	2	3	4
סעיף ה'	1	2	3	4

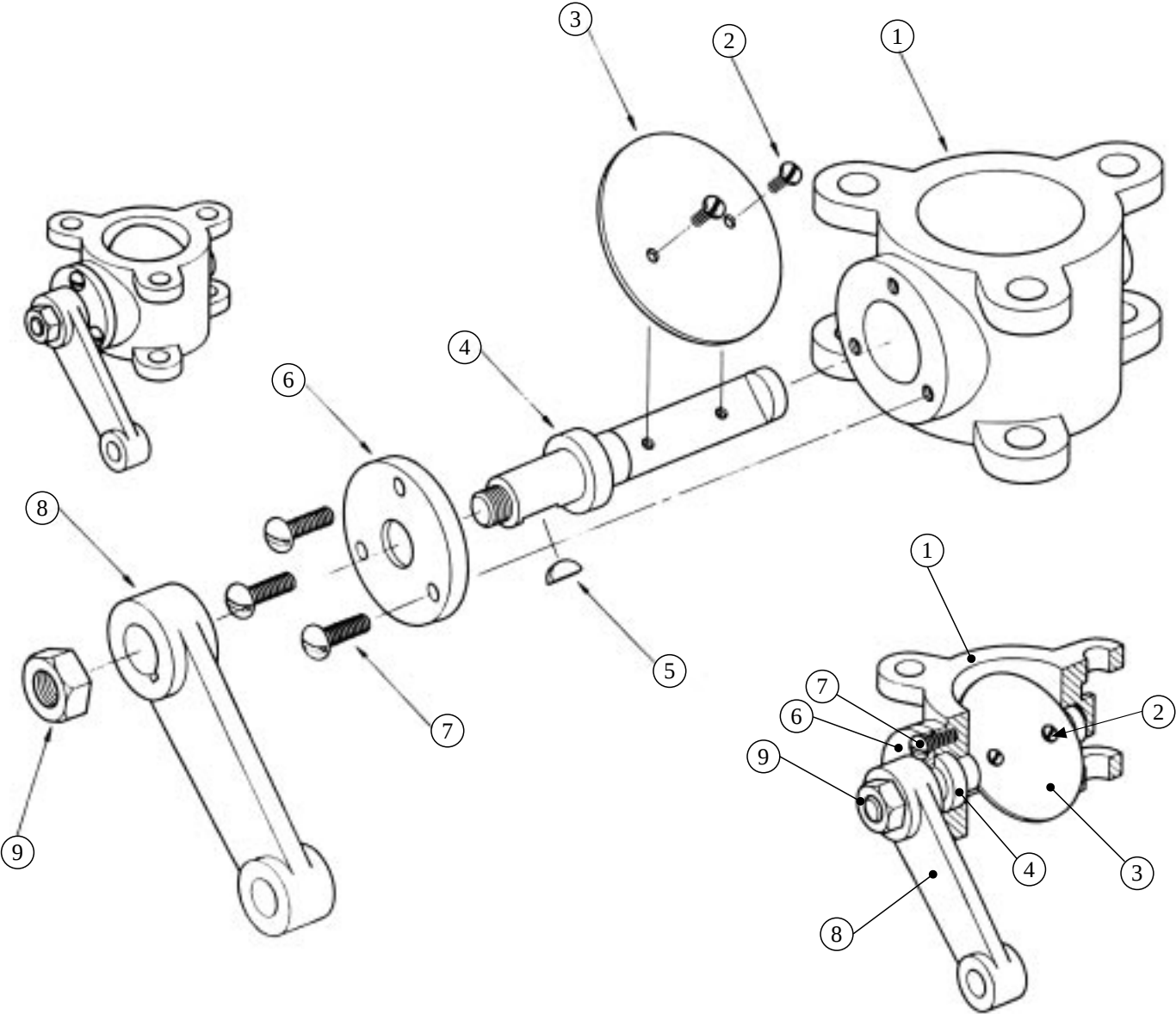
תשובות לשאלה 7

סעיף א'	1	2	3	4
סעיף ב'	1	2	3	4
סעיף ג'	1	2	3	4
סעיף ד'	1	2	3	4
סעיף ה'	1	2	3	4
סעיף ו'	1	2	3	4

לשאלון 838104, קיץ תשס"ג

חומר: לשגמים בגובה h עד 25 מ"מ: פל' St-50
 לשגמים בגובה h מעל 25 מ"מ: פל' St-60-2K
 * הערך d₂ מתאים לקוטר מינימלי של חלק אותו אפשר להעביר קונצנטרית מעל השגם.

נספח ג'
לשאלון 838104, קיץ תשס"ג

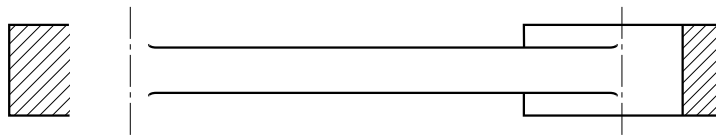
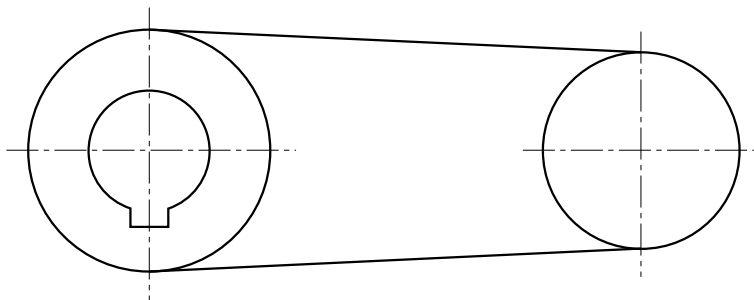


9	אום	1		M 16	תקני
8	זרוע	1	SAE 1020		
7	בורג (ראש עגול)	3		M 10	תקני
6	מכסה	1	SAE 1020		
5	שגם וודרוף	1	St 60		תקני
4	מוט	1	SAE 1040		
3	סוגר	1	סגסוגת חמרן		
2	בורג (ראש שטוח)	2		M 10	תקני
1	גוף השסתום	1	יצקת אפורה		
מספר החלק	שם החלק	כמות	חומר	מידות	הערות

מקום למדברות נבחן

נספח ד'

לשאלון 838104, קיץ תשס"ג



נוסחאון במכניקה הנדסית (6 עמודים)

לשאלונים 838104, 838201, קיץ תשס"ג

1. מציאת מרכז הכובד של שטח

$$X_c = \frac{\sum (A_i \cdot X_i)}{\sum A_i}$$

X_c - המרחק של מרכז הכובד מציר y [m]

$$Y_c = \frac{\sum (A_i \cdot Y_i)}{\sum A_i}$$

Y_c - המרחק של מרכז הכובד מציר x [m]

A_i - שטח החלק ה- i מהשטח הנדון [m²]

X_i - המרחק מציר y אל מרכז הכובד של החלק ה- i מהשטח [m]

Y_i - המרחק מציר x אל מרכז הכובד של החלק ה- i מהשטח [m]

2. סטטיקה

$$\sum F_x = 0$$

$\sum F_x$ - סכום רכיבי הכוחות בכיוון ציר x

$$\sum F_y = 0$$

$\sum F_y$ - סכום רכיבי הכוחות בכיוון ציר y

$$\sum M_o = 0$$

$\sum M_o$ - סכום המומנטים סביב נקודה כלשהי O

$$M = F \cdot L$$

M - מומנט [mN]

(בתנאי שהכוח ניצב לזרוע)

$$F$$

F - כוח [N]

$$L$$

L - זרוע [m]

3. חיכוך

$$f_k = \mu_k \cdot N$$

f_s - כוח חיכוך [N]

$$f_s \leq \mu_s N$$

f_k - כוח חיכוך קינטי [N]

μ - מקדם חיכוך

N - כוח התגובה בניצב למישור המתחכך [N]

(כוח נורמלי)

4. מתיחה ולחיצה

$\left[\text{MPa} = \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]$	σ - מאמץ	$\sigma = \frac{F}{A}$
$[\text{N}]$	F - כוח, עומס	
$[\text{mm}^2]$	A - שטח חתך	
$\left[\text{MPa} = \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]$	E - מודול האלסטיות של יאנג	$\sigma = E \cdot \varepsilon$: חוק הוק
	ε - התארכות יחסית (עיווי)	$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$
$[\text{mm}]$	L - אורך התחלתי	$\Delta L = \frac{\sigma \cdot L}{E}$
$[\text{mm}]$	ΔL - שינוי אורך	$\Delta L = \frac{F \cdot L}{A \cdot E}$
		$F = \frac{\Delta L \cdot A \cdot E}{L}$
$\left[\text{MPa} = \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]$	$[\sigma]$ - מאמץ מותר	$K = \frac{\sigma_B}{[\sigma]}$ (לחומר פריך)
$\left[\text{MPa} = \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]$	σ_B - חוזק קיצון (מאמץ גבולי)	$K = \frac{\sigma_{yp}}{[\sigma]}$ (לחומר משיך)
$\left[\text{MPa} = \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]$	σ_{yp} - מאמץ גבול הכניעה	<u>ריכוז מאמצים</u>
	K - מקדם בטיחות	$[\sigma] = \frac{\sigma_{yp}}{K \alpha_t}$
	α_t - מקדם ריכוז מאמצים	<u>מעוותים תרמיים</u>
$\left[\frac{1}{^\circ\text{C}} \right]$	α - מקדם התפשטות קווית	$\Delta L = \alpha \cdot L \cdot \Delta t$
$[\text{}^\circ\text{C}]$	Δt - תוספת טמפרטורה	$\Delta t = t_2 - t_1$

5. גזירה ומעיכה

[N]	- כוח גזירה	F_s	
$\left[\text{MPa} = \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]$	- מאמץ גזירה	τ_s	$\tau_s = \frac{F_s}{A_s}$
	- מאמץ גזירה מותר	$[\tau_s]$	
$[\text{mm}^2]$	- שטח החתך הנתון לגזירה	A_s	$[\tau_s] = (0.6 - 0.8)[\sigma]$
$\left[\text{MPa} = \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]$	- מאמץ מעיכה	σ_{ℓ}	$\sigma_{\ell} = \frac{F}{A_{\ell}}$
$[\text{mm}^2]$	- שטח החתך הנתון למעיכה	A_{ℓ}	

שגמים

[mm]	- גובה השגם	h	$A_s = b \cdot L$
[mm]	- רוחב השגם	b	$A_{\ell} = \frac{h}{2} \cdot L$
[mm]	- אורך השגם	L	

פין צירי (שגם עגול)

[mm]	- קוטר הפין	d	$A_s = dL$
[mm]	- אורך הפין	L	$A_{\ell} = \frac{d}{2} \cdot L$

מסמרות; פינים

[mm]	- קוטר המסמרה; קוטר הפין	d	$A_s = \frac{\pi d^2}{4} \cdot i \cdot n$
	- מספר שטחי הגזירה	i	
[mm]	- אורך הקטע הנמעך	t	$A_{\ell} = d \cdot t \cdot i_l$
	- מספר שטחי המעיכה	i_l	
	- מספר הפינים	n	

ריתוך

$A \cong 0.78 \cdot L$	- L	האורך הכולל של תפרי הריתוך	[mm]
	- δ	עובי הפח	[mm]
	- A	שטח הריתוך	[mm ²]

ייצור חלקי פח על-ידי גזירה (גזירה רצויה)

$A_s = \delta \cdot L$	- δ	עובי הפח	[mm]
	- L	האורך המצטבר של קווי הגזירה	[mm]
	- A_s	השטח הנגזר	[mm ²]

6. פיתול

$\tau_t = \frac{M_D}{Z_o}$	- τ_t	מאמץ הגזירה כתוצאה מפיתול	$\left[\text{MPa} = \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]$
$Z_o = \frac{2I_o}{D}$	- $M_D \equiv T$	מומנט הסיבוב הגורם לפיתול	[mN]
$M_D \equiv T = \frac{9550 \times P}{n}$	- Z_o	מודל קוטבי (מומנט התנגדות לפיתול)	[mm ³]
	- P	הספק	[kW]
$\varphi = \frac{M_D \cdot L}{G \cdot I_o}$	- n	מהירות סיבובית (מספר סיבובים במשך דקה אחת)	[rpm]
$1 \text{ רדיאן} = \frac{180^\circ}{\pi}$	- L	אורך הגל	[mm]
$\varphi^\circ = \frac{180}{\pi} \cdot \frac{M_D \cdot L}{G \cdot I_o}$	- φ	זווית הפיתול ברדיאנים	[rad]
	- φ°	זווית הפיתול במעלות	[deg]
	- G	מודול הגזירה (הזיחה)	$\left[\text{MPa} = \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]$
	- I_o	מומנט ההתמדה הקוטבי	[mm ⁴]

בורגי הידוק

$\sigma_e = \frac{1.25Q}{A}$	- σ_e	המאמץ המורכב (שקול) בבורג	$\left[\text{MPa} = \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]$
	- Q	כוח המתחה / הלחיצה בבורג	[N]
	- A	שטח החתך הפנימי של הבורג	[mm ²]

7. כפיפה

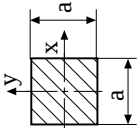
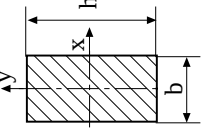
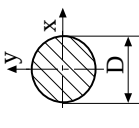
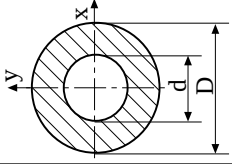
$$\sigma_x = \frac{M_y}{Z_y} ; \quad \sigma_y = \frac{M_x}{Z_x}$$

σ_x - המאמץ המרבי בשל הכפיפה סביב ציר x (מאמץ מתיחה או לחיצה) $\left[\text{MPa} = \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]$
 σ_y - המאמץ המרבי בשל הכפיפה סביב ציר y (מאמץ מתיחה או לחיצה) $\left[\text{MPa} = \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]$
 M_x - מומנט הכפיפה סביב ציר x $[\text{mmN}]$
 M_y - מומנט הכפיפה סביב ציר y $[\text{mmN}]$
 Z_x - מומנט ההתנגדות לכפיפה סביב ציר x (מודול החתך הצירי סביב ציר x) $[\text{mm}^3]$
 Z_y - מומנט ההתנגדות לכפיפה סביב ציר y (מודול החתך הצירי סביב ציר y) $[\text{mm}^3]$

8. קריסה

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

F_{cr} - הכוח שיגרום לקריסה, לפי שיטת אוילר $[\text{N}]$
 E - מודול האלסטיות של החומר $[\text{MPa}]$
 $I_{\min}$ - מומנט ההתמד הצירי המינימלי של חתך המוט $[\text{mm}^4]$
 L - אורך המוט $[\text{mm}]$
 μ - מקדם האורך התלוי בשיטת החיזוק של המוט:
 א. פרקים בשני הקצוות $\mu = 1$
 ב. קיבוע בקצה אחד וקצה שני חופשי $\mu = 2$
 ג. קיבוע בשני הקצוות $\mu = 1/2$
 ד. קיבוע בקצה אחד ופרק בקצה שני $\mu = 2/3$
 λ - תמירות המוט
 $i_{\min}$ - רדיוס ההתמד (אינרציה) המינימלי $[\text{mm}]$
 A - שטח החתך $[\text{mm}^2]$
 $F_{\text{מ"ק}}$ - כוח מותר בקריסה $[\text{N}]$
 K - מקדם בטיחות בקריסה

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

בהצלחה!