

# מכניקה הנדסית לטכנאים י"ג

## ספר תרגול

### קורס פתרון תרגילי משרד החינוך

#### סטודנטים יקרים

לפניכם ספר תרגילים לקורס "פתרון תרגילי משרד החינוך" המועבר ברשת האינטרנט on-line.

הקורס באתר כולל פתרונות מלאים לספר התרגילים.

הפתרונות מוגשים בסרטוני וידאו המלווים בהסבר קולי, כך שאתם רואים את התהליכים בצורה מבנית, שיטתית ופשוטה, בדיוק כפי שנעשה בשיעור פרטי.

את הקורס בנו במשותף אלי קורנפלד ואיתי חיימי.

אלי קורנפלד: מהנדס אזרחי, בוגר תואר ראשון הנדסה אזרחית בהצטיינות אוניברסיטת אריאל, בוגר תואר שני (M.E) בהנדסה אזרחית של הטכניון.

ניסיון בהעברת קורסי הליבה של תואר הנדסה אזרחית במחלקה להנדסה אזרחית של אוניברסיטת אריאל. בין הקורסים: מכניקה הנדסית מורחב, חוזק 1, חוזק 2, כלכלה הנדסית ומשוואת דיפרנציאליות.

איתי חיימי: מהנדס אזרחי, בוגר תואר ראשון הנדסה אזרחית בהצטיינות אוניברסיטת אריאל, בוגר תואר שני (M.E) בהנדסה אזרחית של הטכניון.

ניסיון בהעברת קורסי הליבה של תואר הנדסה אזרחית במחלקה להנדסה אזרחית של אוניברסיטת אריאל ומרצה בסגל המרצים של רשת מכללות טגנולוגיות עתיד, סניף תל אביב. בין הקורסים: מכניקה הנדסית מורחב, סטטיקת מבנים 1, סטטיקת מבנים 2, חישוב סטטי וחוזק חומרים.

אם אתם עסוקים מידי בעבודה, סובלים מלקויות למידה, רוצים להצטיין או פשוט אוהבים ללמוד בשקט בבית, אנחנו מזמינים אתכם לחווית לימודים יוצאת דופן וחדשה לחלוטין, היכנסו עכשיו לאתר:

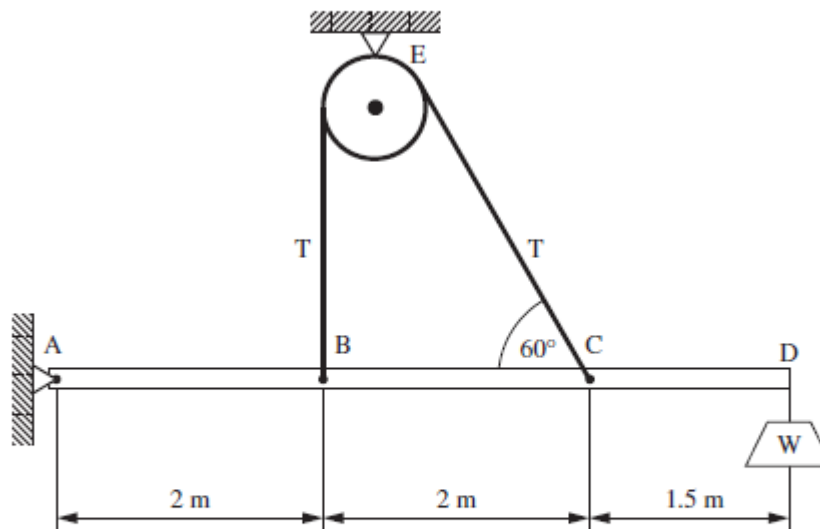
**תוכן עניינים**

פרק	שם הפרק
1	מבחן 2018
2	מבחן 2017
3	מבחן 2016
4	מבחן 2015
5	מבחן 2014
6	מבחן 2013
7	מבחן 2012
8	מבחן 2011
9	מבחן 2010

**פרק 1 – מבחן 2018**

**תרגיל מספר 1**

באיור לשאלה זו מתוארת קורה ABCD, הנתמכת על ידי פרק A, וקשורה לתקרה באמצעות כבל BEC. הכבל מורכב ממספר לא ידוע של חוטי פלדה. בנקודה D של הקורה תלויה משקולת W. כל המידות נתונות באיור.



איור לשאלה 1

נתוני הכבל BEC:

- הקוטר של כל חוט פלדה בכבל:  $d = 1 \text{ mm}$
- מאמץ המתיחה המותר של כל חוט פלדה:  $[\sigma] = 120 \text{ MPa}$
- כוח המתיחה בכבל:  $T = 6 \text{ kN}$

- א. חשב את המספר המזערי (המינימלי) של חוטי פלדה הדרוש לכבל BEC.
- ב. סרטט דג"ח (דיאגרמת גוף חופשי) לקורה ABCD. סמן בסרטוט את הכוחות הפועלים על הקורה.
- ג. חשב את ערכו של המשקל W ואת ערכו של כוח התגובה השקול בפרק A, אם ידוע שהקורה נמצאת בשיווי-משקל.

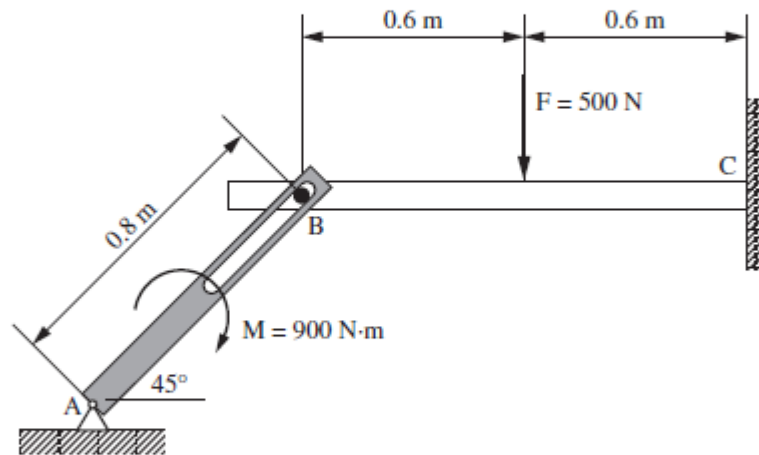
**תרגיל מספר 2**

באיור לשאלה זו מתוארת קורה BC המחוברת למוט AB באמצעות פין B. הפין יכול להחליק ללא חיכוך בחריץ של מוט AB.

הקורה BC רתומה לקיר בנקודה C, והמוט AB נתמך עלידי פרק A.

כמתואר באיור, מוט AB מונח בזווית של  $45^\circ$  יחסית לקורה BC, על המוט פועל מומנט  $M = 900 \text{ N}\cdot\text{m}$ , ועל הקורה פועל כוח  $F = 500 \text{ N}$ .

מסת הקורה BC ומסת המוט AB זניחות. הנח שהמערכת נמצאת בשיווי-משקל.

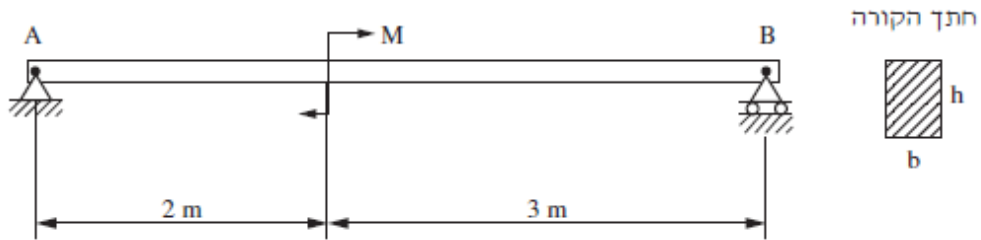


**איור לשאלה 2**

- א. סרטט דג"ח (דיאגרמת גוף חופשי) לקורה BC ודג"ח למוט AB. סמן בכל אחד מהסרטוטים את הכוחות, המומנטים, וכוחות התגובה המתאימים.
- ב. חשב את הכוח שהפין B מפעיל על מוט AB.
- ג. חשב את הערכים של כל התגובות בריתום C.

**תרגיל מספר 3**

באיור א' לשאלה זו מתוארת קורה בעלת חתך מלבני מלא, הנתמכת על ידי שני הסמכים A ו-B. על הקורה פועל מומנט M.

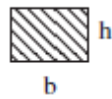


איור א' לשאלה 3

**נתונים:**

- המומנט הפועל על הקורה:  $M = 2 \text{ kN} \cdot \text{m}$
- רוחב החתך של הקורה:  $b = 30 \text{ mm}$
- גובה החתך של הקורה:  $h = 40 \text{ mm}$
- המאמץ המותר של חומר הקורה:  $[\sigma] = 160 \text{ MPa}$

- א. חשב את כוחות התגובה בסמכים A ו-B.
- ב. סרטט במחברתך את מהלך כוחות הגזירה ואת מהלך מומנטי הכפיפה לאורך הקורה, ומצא את החתך המסוכן בקורה.
- ג. קבע באמצעות חישוב אם הקורה עומדת בחוזק לכפיפה.
- ד. מסובבים את הקורה ב- $90^\circ$ , כמתואר באיור ב' לשאלה. קבע באמצעות חישוב אם במצב זה הקורה תעמוד בחוזק לכפיפה.



איור ב' לשאלה 3

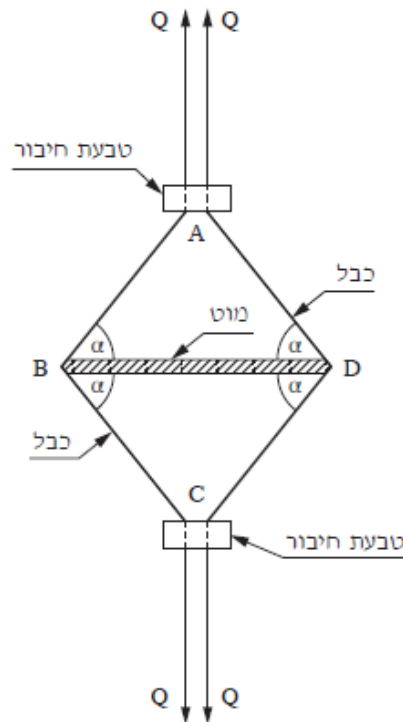
**פרק 2 – מבחן 2017**

**תרגיל מספר 1**

באיור לשאלה זו מתוארת מערכת הכוללת שני כבלים זהים. הכבלים עשויים מחוטי פלדה ומופרדים ביניהם על ידי מוט BD. כל כבל נמתח על ידי כוח Q.

**נתונים:**

- מספר חוטי הפלדה בכל כבל:  $n = 50$
- הקוטר של כל חוט פלדה:  $d = 1 \text{ mm}$
- מאמץ המתיחה הקיים בכל חוט פלדה:  $\sigma = 100 \text{ MPa}$
- מאמץ הלחיצה המותר בחומר המוט:  $\sigma = 120 \text{ MPa}$
- $BD = 150 \text{ mm}$  ,  $AB = BC = CD = DA = 250 \text{ mm}$

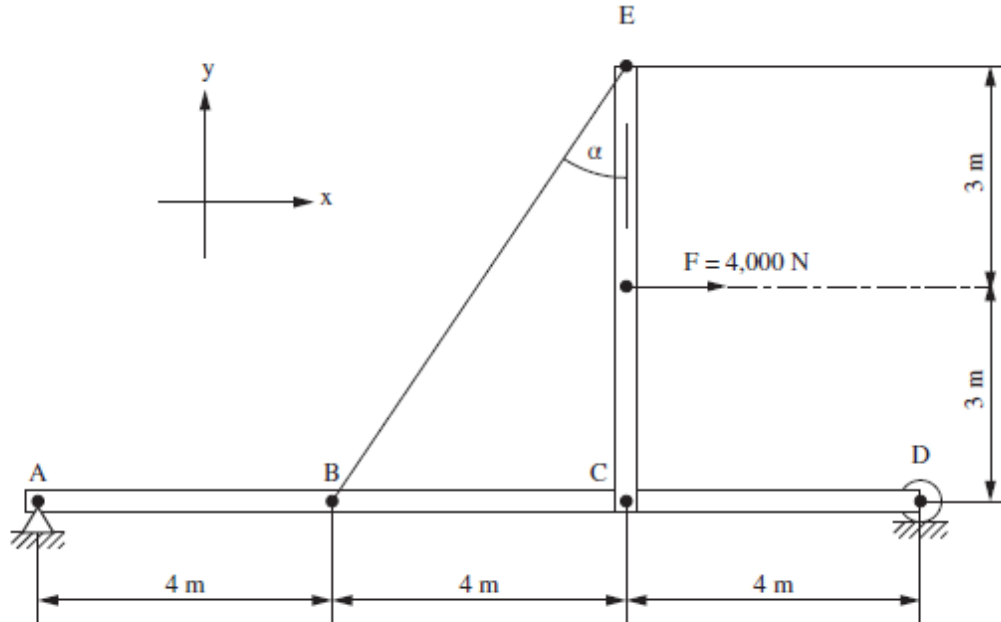


איור לשאלה 1

- א. חשב את הכוח Q.
- ב. ללא קשר לתוצאה שקיבלת בסעיף א', הנח בסעיף זה ש- $Q = 3 \text{ kN}$ .
1. חשב את כוח הלחיצה במוט BD.
  2. חתך המוט BD הוא ריבוע בעל צלע באורך a. מה צריך להיות ערכו המינימלי של a כדי שהמוט יעמוד בכוח הלחיצה שחישבת בסעיף ב'?

**תרגיל מספר 2**

באיור לשאלה זו מתואר מנגנון שמורכב מקורה ABCD ומנוט EC המחברים ביניהם באמצעות פרק C וכבל BE. כוח  $F = 4,000 \text{ N}$  פועל על EC, מסת המוט EC ומסת הקורה ABCD זניחות.

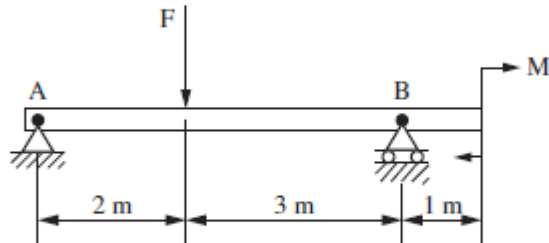


איור לשאלה 2

- א. חשב את הזווית  $\alpha$ .
- ב. סרטט דג"ח (דיאגרמת גוף חופשי) לנוט EC ודג"ח לקורה ABCD. סמן בכל אחד מהסרטוטים את הכוחות הנותאימים.
- ג. חשב את כוח הנתיחה בכבל BE.
- ד. חשב את רכיבי כוח התגובה בסנך A.

### תרגיל מספר 3

באיור לשאלה זו מתוארת קורה בעלת חתך עגול מלא, הנתמכת על ידי שני הסמכים A ו-B. על הקורה פועלים כוח F ומומנט M, כמתואר באיור.



איור לשאלה 3

#### נתונים:

$F = 3 \text{ kN}$  -

$M = 2,000 \text{ N} \cdot \text{m}$  -

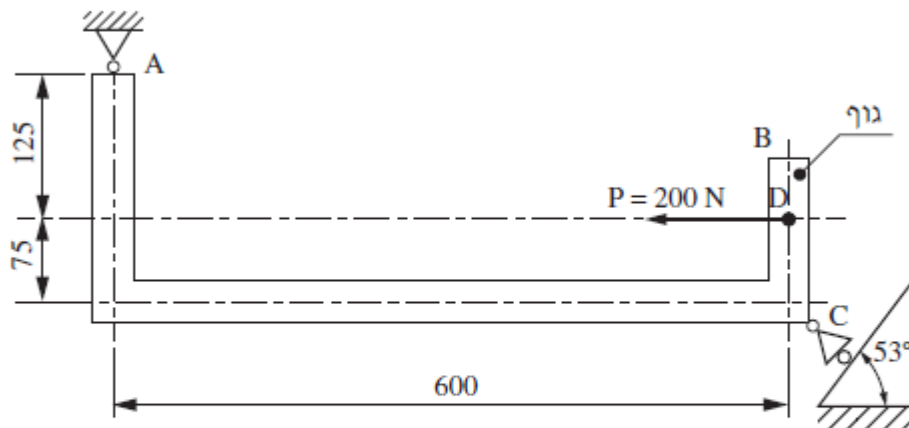
המאמץ המותר של חומר הקורה:  $[\sigma] = 140 \text{ MPa}$  -

- א. חשב את כוחות התגובה בסמכים A ו-B.
- ב. סרטט את המהלך של כוחות הגזירה ואת המהלך של מומנטי הכפיפה ומצא את החתך המסוכן בקורה.
- ג. ללא קשר לתוצאות שקיבלת בסעיפים א' ו-ב', הנח שמומנט הכפיפה המקסימלי שפועל בחתך המסוכן בקורה הוא  $M_{\max} = 2.8 \text{ kN} \cdot \text{m}$ . חשב את הקוטר המינימלי הדרוש לחתך הקורה.



**תרגיל מספר 1**

באיור לשאלה 1 מתואר גוף קשיח שמסתו זניחה. הגוף מצוי בשיווי-משקל. בנקודה D של הגוף פועל כוח אופקי:  $P = 200 \text{ N}$ . בנקודה C הגוף נשען על מישור משופע חלק. המישור המשופע יוצר זווית של  $53^\circ$  עם האופק. כל המידות נתונות באיור.



**איור לשאלה 1**

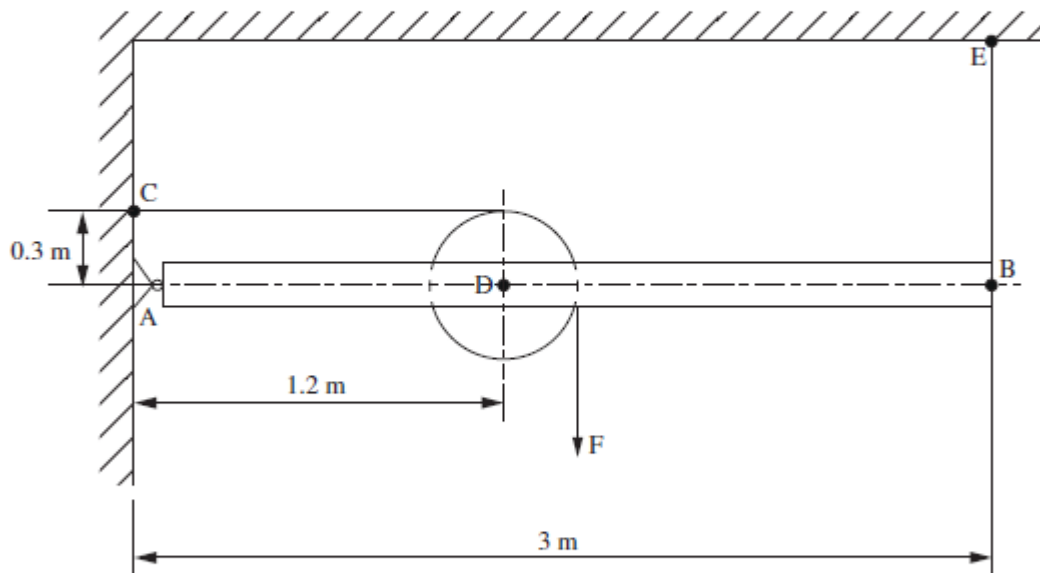
- א. סרטט דג"ח של הגוף.
- ב. מצא את ערכיהם של כוחות התגובה בסמכים A, C.
- ג. קבע את כיווני כוחות התגובה בסמכים A ו-C.

**תרגיל מספר 2**

באיור לשאלה 2 מתוארת קורה AB, קשיחה לחלוטין, הנתמכת על ידי פרק A וכבל BE. הכבל מורכב ממוספר לא ידוע של חוטי פלדה. בנקודה D של הקורה מותקנת גלגלת בעלת רדיוס של 0.3 m. על הכבל, המחובר לקיר בנקודה C ועובר דרך הגלגלת, פועל כוח אנכי, F. כל המידות נתונות באיור.

**נתונים:**

1. הקוטר של כל חוט פלדה בכבל BE :  $d = 1 \text{ mm}$
2. מאמץ המתיחה המותר בחומר חוטי הפלדה הוא:  $[\sigma] = 120 \text{ MPa}$
3. כוח המתיחה בכבל BE הוא:  $T = 6 \text{ kN}$



**איור לשאלה 2**

- א. חשב את המספר המזערי (המינימלי) של חוטי הפלדה הדרוש בכבל BE.
- ב. סרטט דג"ח של הגלגלת ודג"ח של הקורה AB.
- ג. מצא את גודלו ואת כיוונו של כוח התגובה השקול בפרק A ואת ערכו של הכוח F, אם ידוע שהקורה מצויה בשיווי-משקל.

**תרגיל מספר 3**

באיור לשאלה 3 מתואר גל ממוסב בשני סידורי עמוסה, a ו-b. הגל מקבל את מומנט הפיתול  $M_T$  ומוסר את שני מומנטי הפיתול  $M_1$ ,  $M_2$ . קוטר הגל זהה בשני הסידורים.

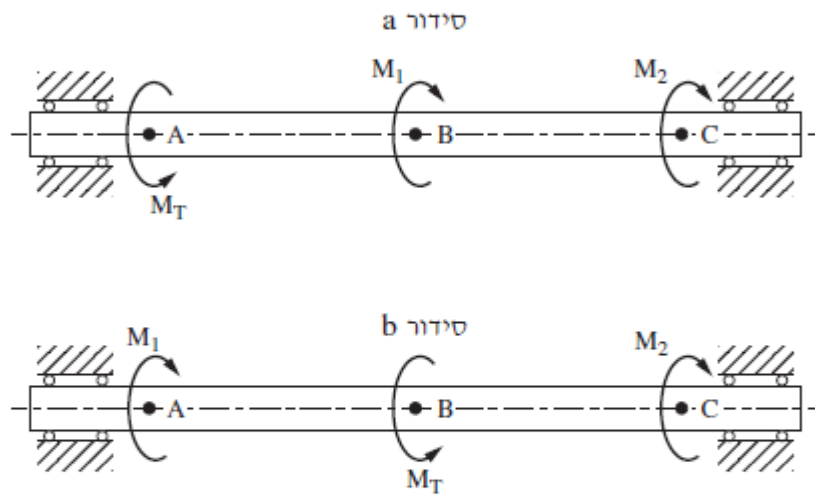
**נתונים:**

$$M_T = 150 \text{ N}\times\text{m}$$

$$M_1 = 50 \text{ N}\times\text{m}$$

$$M_2 = 100 \text{ N}\times\text{m}$$

$$AB = BC = 0.3 \text{ m}$$



**איור לשאלה 3**

- א. סרטט מהלך מומנטי פיתול לאורך הגל לכל אחד מהסידורים. איזה סידור טוב יותר מבחינת חוזק הגל? הסבר את תשובתך.

**עבור סידור b בלבד:**

- ב. נתון שחתיכו של הגל הוא עיגול מלא לכל אורכו. מאמץ הגזירה המותר בחומר הגל:  $[\tau] = 60 \text{ MPa}$ .  
חשב את הקוטר המזערי (המינימלי) של הגל.
- ג. הנח שקוטר הגל הוא 30 mm וחשב את זווית הפיתול של חתך הגל בנקודה C ביחס לחתך הגל בנקודה A. מודול הזיחה של חומר הגל:  $G = 80 \text{ GPa}$ .

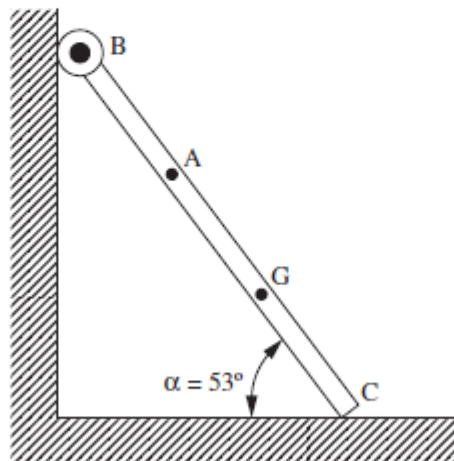
**פרק 4 – מבחן 2015**

**תרגיל מספר 1**

באיור לשאלה 1 מתואר סולם שבקצה B שלו מותקן גלגל זעיר וקצה C שלו נשען על רצפה מחוספסת.

**נתונים:**

1. אורך הסולם:  $BC = 1.8 \text{ m}$ .
2. מרכז הכובד של הסולם נמצא בנקודה G.  $GC = 0.8 \text{ m}$ .
3. משקלו של הסולם  $300 \text{ N}$ .
4. מקדם החיכוך הסטטי בין הסולם לרצפה:  $\mu = 0.5$ .



**איור לשאלה 1**

אדם עומד על הסולם וכתוצאה ממשקלו פועל כוח אנכי בן  $700 \text{ N}$  בנקודה A.

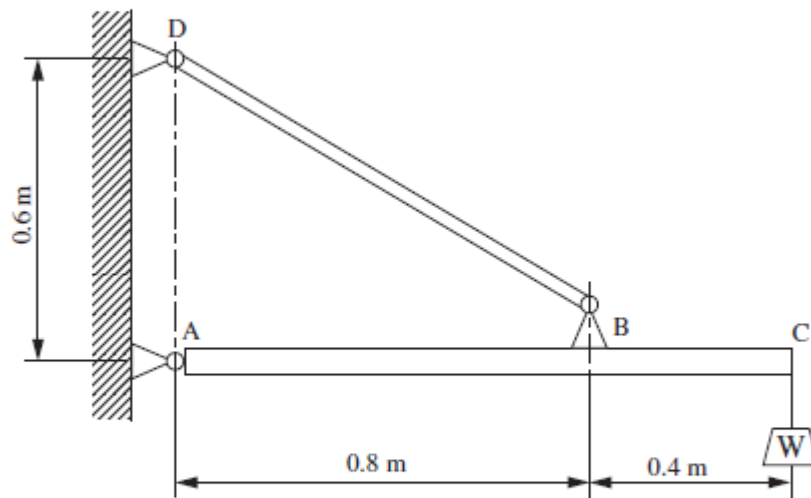
- א. סרטט דג"ח של הסולם BC.
- ב. הסולם נמצא על סף החלקה. חשב את ערכי הכוחות הפועלים על הסולם בנקודות B ו-C.
- ג. מצא את ערכו המרבי האפשרי של הנרחק AC.

**תרגיל מספר 2**

באיור לשאלה 2 מתוארת קורה ABC, קשיחה לחלוטין, הנתמכת על ידי פרק A ומוט BD. בקצה C של הקורה תלויה משקולת W. כל מידות המרחקים נתונות באיור.

**נתונים:**

1. חתכו של המוט BD הוא ריבוע שצלעו:  $a = 5 \text{ mm}$
2. מאמץ הכניעה של חומר המוט הוא:  $\sigma_y = 250 \text{ MPa}$
3. מקדם הבטיחות הנדרש עבור המוט הוא:  $k = 2.5$



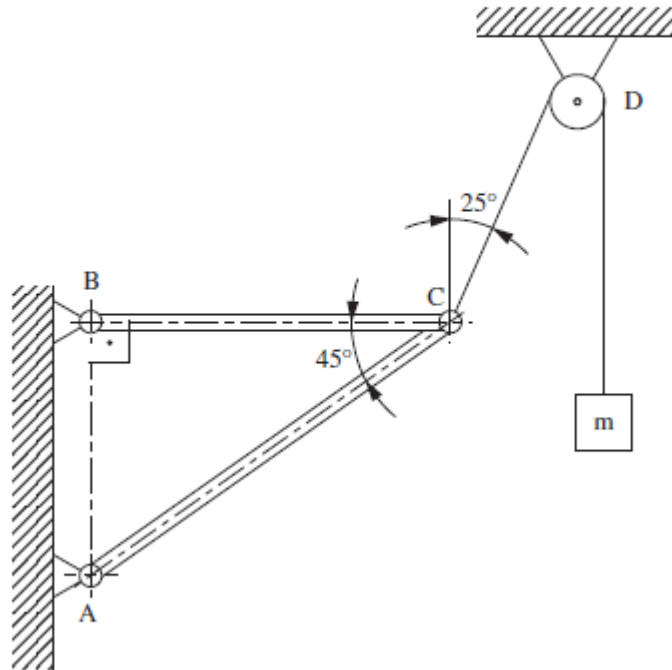
איור לשאלה 2

- א. מהו כוח המתיחה המרבי שמותר להפעיל על המוט BD?
- ב. הנח שעל המוט BD פועל כוח מתיחה שערכו 2,000 N.
  1. סרטט דג"ח של הקורה ABC.
  2. חשב את ערכו של כוח התגובה השקול בפרק A ואת משקל המשקולת W, אם ידוע שהקורה נמצאת בשיווי משקל.

**פרק 5 – מבחן 2014**

**תרגיל מספר 1**

באיור לשאלה 1 מתואר מבנה מוטות קשיח, ACB, לשני המוטות (AC ו-BC) חתך אחיד לכל אורכם. המבנה נתמך על קיר אנכי באמצעות הסמכים A ו-B, נושא את המסה:  $m = 300 \text{ kg}$ , באמצעות כבל העובר על-פני גלגלת חסרת חיכוך, D, ומתחבר למבנה בנקודה C.



**איור לשאלה 1**

- א. הצג דיאגרמת גוף חופשי של הצומת C.
- ב. חשב את ערכי הכוחות הפועלים במוטות AC ו-BC, וקבע איזה סוג מאמץ פועל בכל אחד משני המוטות.
- ג. בדוק אם מוטות המבנה עומדים בתנאי החוזק.

**נתונים:**

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

שטח החתך של כל אחד מהמוטות:  $A = 40 \text{ mm}^2$

המאמצים המותרים בחומר המוטות:

למתיחה:  $[\sigma_t] = 80 \text{ MPa}$

ללחיצה:  $[\sigma_c] = 100 \text{ MPa}$

## תרגיל מספר 2

באיור לשאלה 2 מתוארים שני מצבי תמיכה במוט  $AB$ . אורך המוט  $3\text{ m}$ , חתכו אחיד לכל אורכו ועוביו זניח. משקל המוט:  $G = 300\text{ N}$ . בקצה  $A$  של המוט מותקן גלגלון חסר חיכוך שקוטרו זניח.

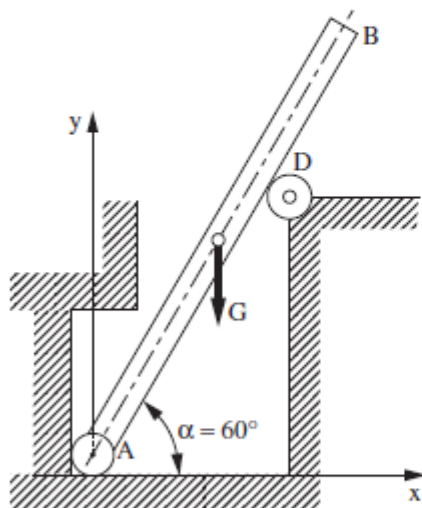
$$DB = 1\text{ m}$$

### מצב I:

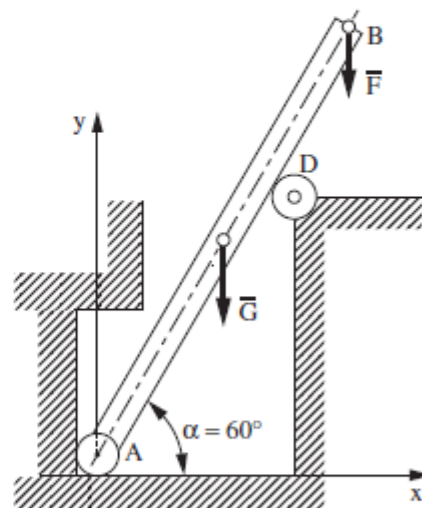
המוט נתמך בקצה  $A$  על רצפה אופקית חלקה (ללא חיכוך) ועל קיר אנכי, ובנקודה  $D$  – על גלגלון חסר חיכוך, שקוטרו זניח.

### מצב II:

המוט נתמך בקצה  $A$  ובנקודה  $D$ , כמו במצב I, ונוסף על כך פועל עליו הכוח  $F$  בנקודה  $B$ .  $F = 250\text{ N}$



מצב I



מצב II

## איור לשאלה 2

א. חשב את הערכים של כוחות התגובה הפועלים על המוט  $AB$ , בנקודות התמיכה  $A$  ו- $D$ , במצב I.

ב. חשב את הערך של כוח התגובה הפועל על המוט  $AB$ , בנקודת התמיכה  $A$ , במצב II.

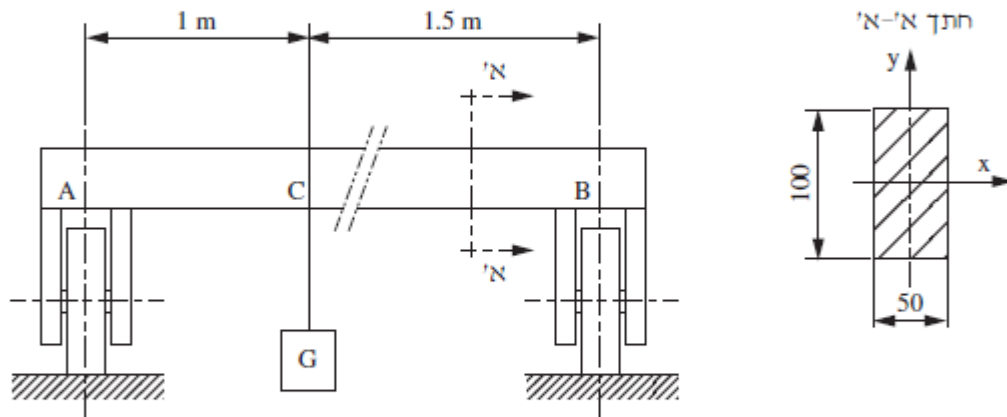
### תרגיל מספר 3

הקורה האופקית המתוארת באיור לשאלה 3 נתמכת על שני הגלגלים, A ו-B, ועמוסה באמצעות המשקולת G בחתך C.

הקורה עשויה מפלדה SAE 1010 שמאמץ הכניעה שלה הוא:  $\sigma_y = 180 \text{ MPa}$ , והיא בעלת חתך אחיד לכל אורכה.

משקל הקורה:  $G = 5 \text{ kN}$

מקדם הבטיחות לעבודת הקורה:  $K = 1.7$



איור לשאלה 3

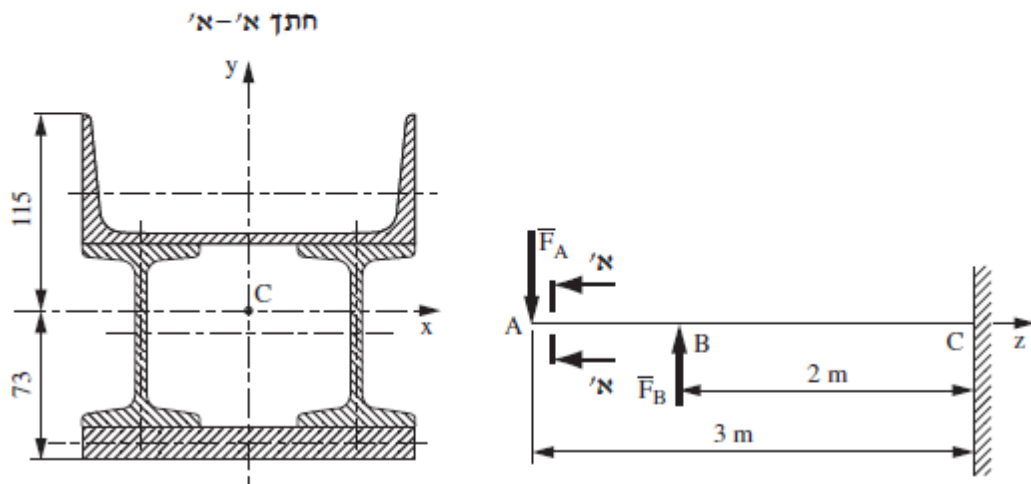
- א. בנה את המהלכים של כוחות הגזירה ואת המהלכים של מומנטי הכפיפה לאורך הקורה.
- ב. חשב את המאמץ המרבי (המקסימלי) בקורה.
- ג. בדוק אם הקורה עומדת בתנאי החוזק.



**פרק 6 – מבחן 2013**

**תרגיל מספר 1**

הקורה המתוארת באיור לשאלה 1 רתומה בקיר בקצה C ועמוסה בשני כוחות המאונכים לה בנקודות A ו-B.  $\bar{F}_B = 15 \text{ kN}$ ;  $\bar{F}_A = 5 \text{ kN}$ . (שים לב: המידות בחתך הן במ"מ).  
מומנט ההתמוד של החתך ביחס לציר הניטרלי x הוא:  $I_x = 2,190 \text{ cm}^4$



איור לשאלה 1

- א. בנה את המהלכים של כוחות הגזירה ואת המהלכים של מומנטי הכפיפה, לאורך הקורה.
- ב. בנה את מהלך המאמצים הנורמליים המורביים בחתכים שלאורך הקורה.
- ג. בדוק אם הקורה תעמוד בתנאי החזיק, אם נתון שהמאמץ המותר לחומר הקורה הוא:  $[\sigma] = 150 \text{ MPa}$

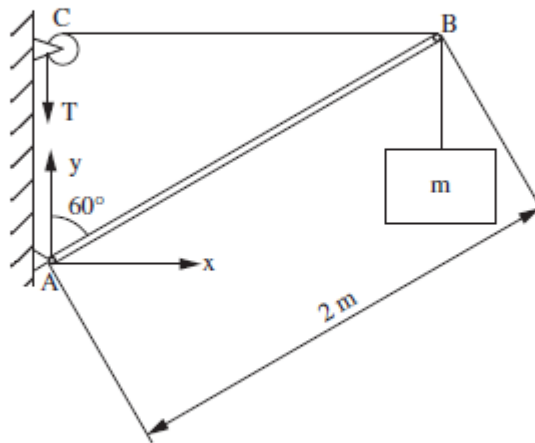
**תרגיל מספר 2**

באיור לשאלה 2 מתוארת זרוע AB הנתמכת בקיר באמצעות סמך ניח A (ציר ללא חיכוך) ומוחזקת באמצעות הכבל האופקי BC בנקודה B. הכבל עובר על-פני הגלגלת C והאנכי שאחרי הגלגלת.

בנקודה B תלויה מסה:  $m = 200 \text{ kg}$ .

במצב המתואר, הזרוע AB נמצאת בשיווי משקל.

הנח שתאוצת הכובד היא:  $g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ .



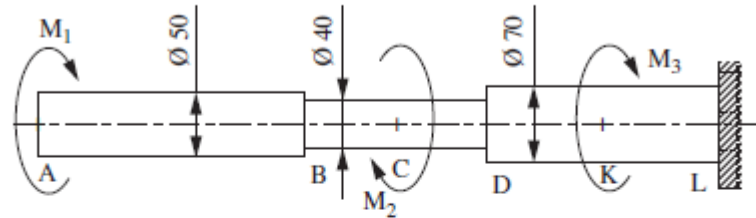
איור לשאלה 2

- א. חשב את כוח המתיחה T הדרוש בכבל BC.
- ב. חשב את כוח התגובה (גודל וכיוון) שמפעיל הסמך A על הזרוע AB.
- ג. חשב את ערכו של הכוח הפועל על הגלגלת.

**פרק 7 – מבחן 2012**

**תרגיל מספר 1**

הגל המדורג AL, המתואר באיור לשאלה 1, רתום בקיר בקצה L ועמוס בשלושה מומנטי פיתול חיצוניים ( $M_1$ ,  $M_2$  ו- $M_3$ ).



איור לשאלה 1

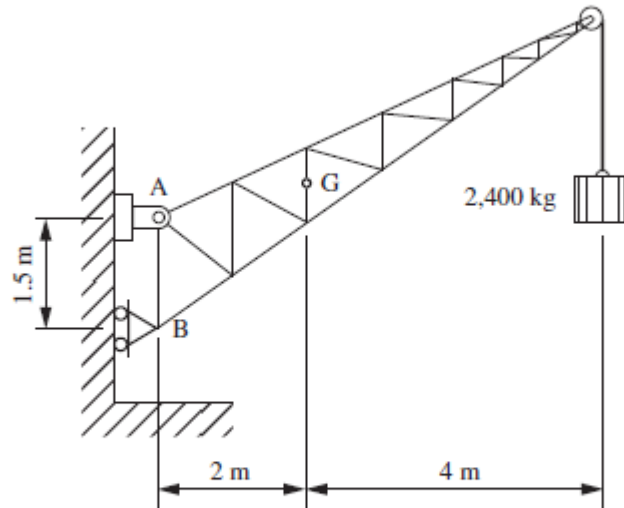
**נתונים:**

$$M_1 = 3 \text{ kNm} ; M_2 = 2 \text{ kNm} ; M_3 = 5 \text{ kNm}$$

- א. חשב וסרטט את המהלך של מומנטי הפיתול הפנימיים לאורך הגל.
- ב. חשב וסרטט את המהלך של המאמצים הטנגנטיים המרביים בכל חתכי הערב (הניצבים לציר הגל) לאורך הגל.
- ג. בדוק אם הגל עומד בתנאי החוזק, אם נתון שהמאמץ הטנגנטי המותר בחומר הגל הוא:  $[\tau] = 60 \text{ MPa}$ .

## תרגיל מספר 2

המנוף המתואר באיור לשאלה 2 מחובר לקיר באמצעות הפין A והסמך הנייד B. המנוף מיועד להרים עומס שמסתו 2,400 kg. המסה של המנוף, ללא עומס, היא: 1,000 kg. מרכז הכובד של המנוף מצוי באיור באות G.



### איור לשאלה 2

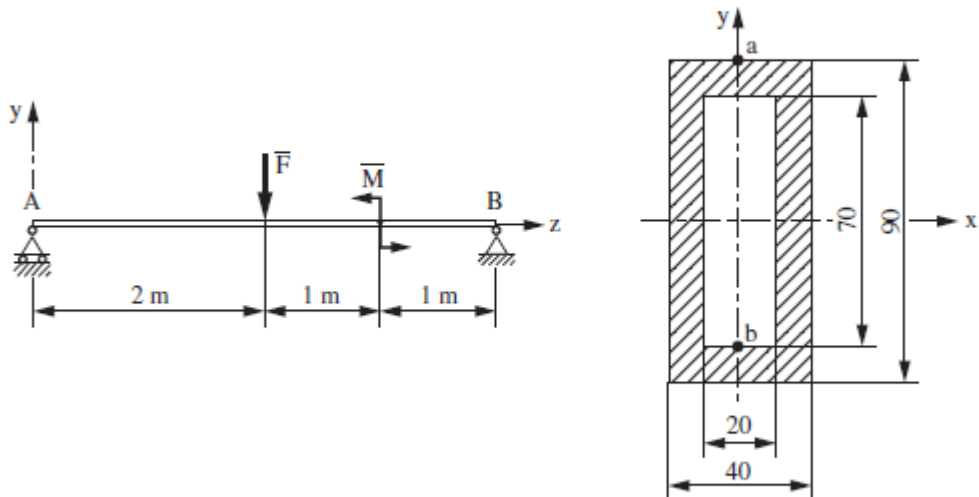
מצא את כוח התגובה בפין A (גודל וכיוון) ואת כוח התגובה בסמך B (גודל וכיוון).  
הנח שתאוצת הכובד היא:  $g = 9.8 \frac{m}{s^2}$ .

**פרק 8 – מבחן 2011**

**תרגיל מספר 1**

לקורה המתוארת באיור לשאלה 1 חתך מלבני חלול. על הקורה פועל הכוח  $\bar{F}$  ומומנט  $\bar{M}$ .  
 $M = 2 \text{ kNm}$  ;  $F = 8 \text{ kN}$

החתך העמוס ביותר של הקורה



**איור לשאלה 1**

- א. חשב את הערכים של כוחות הגזירה ושל מומנטי הכפיפה לאורך הקורה והצג את מהלכיהם.
- ב. חשב את המאמצים הנורמליים בנקודות a ו-b של החתך העמוס ביותר.
- ג. חשב את המאמץ הטנגנטי המרבי בקורה.

**תרגיל מספר 2**

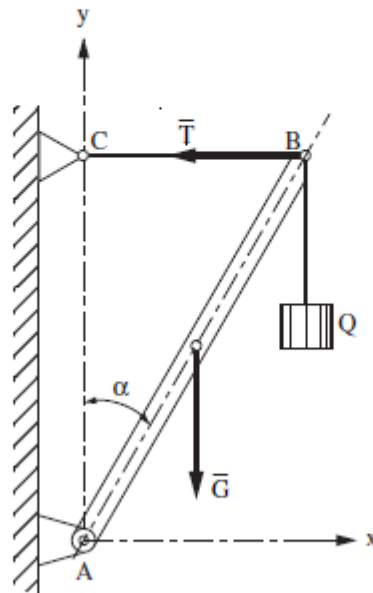
- . מתקן ההרמה שבאיור לשאלה 2 מורכב מקורה אחידה AB ומכבל אופקי BC.
- . הקורה מוחזקת בנקודה A על ידי מפרק, ונקודה B – על ידי הכבל BC.
- . בנקודה B של הקורה תלויה גם המשקולת Q.

**נתונים:**

- משקל המשקולת:  $Q = 200 \text{ N}$

- משקל הקורה:  $G = 100 \text{ N}$

- הזווית של הקורה:  $\alpha = 30^\circ$



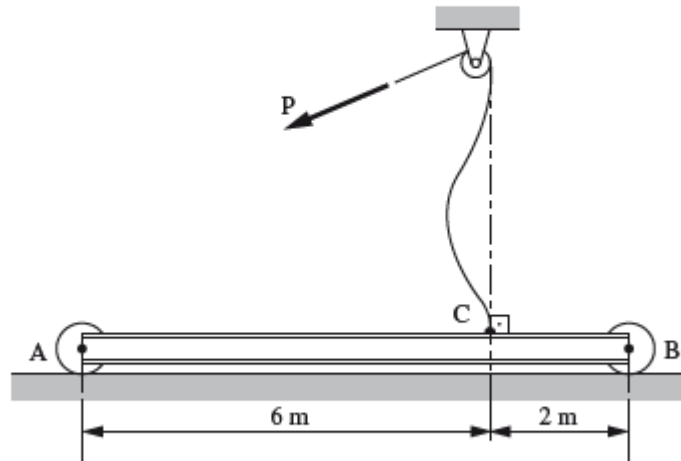
איור לשאלה 2

- א. חשב את כוח המתיחה, T, בכבל.
- ב. חשב את כוח התגובה במפרק A (ערך מוחלט וכיוון).

**פרק 9 – מבחן 2010**

**תרגיל מספר 1**

לקורה AB, המתוארת באיור לשאלה 1, חתך אחיד לכל אורכה. לקורה שני גלגלים בקצותיה, והמסה של הקורה עם הגלגלים היא 100 kg. הקורה מונחת על משטח אופקי, וממצב זה מרימים אותה כלפי מעלה באמצעות הכבל. לאחר ההרמה הקצה B נמצא 3 m מעל המשטח, והקצה A מונח על המשטח.

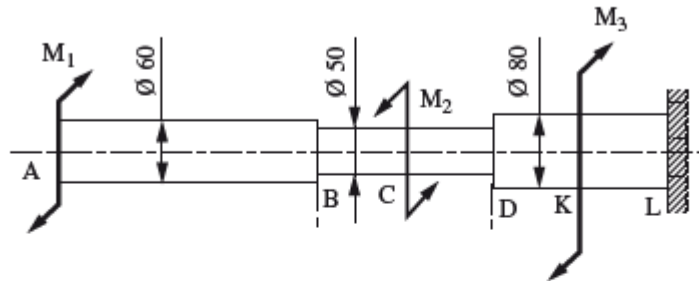


**איור לשאלה 1**

- א. כוח המשיכה, P, הדרוש להחזקת הקורה לאחר ההרמה.
- ב. כוח התגובה הפועל על הגלגל A, לאחר ההרמה.
- ג. האווית שבין המשטח לבין הקורה, לאחר ההרמה.
- ד. המאמץ בכבל, אם שטח החתך שלו הוא  $25 \text{ mm}^2$ .

## תרגיל מספר 2

הגל המדורג AL, המתואר באיור לשאלה 2, רתום בקיר בקצה L ועמוס בשלושה מומנטי פיתול חיצוניים ( $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$ ).



איור לשאלה 2

נתונים:

$$M_1 = 1 \text{ kNm} ; M_2 = 2 \text{ kNm} ; M_3 = 4 \text{ kNm}$$

- א. בנה את המהלך של מומנטי הפיתול הפנימיים לאורך הגל.
- ב. בנה את המהלך של המאמצים הטנגנטיים המרביים בכל חתכי הערב (הניצבים לציר הגל), לאורך הגל.
- ג. מצא את מקדם הבטיחות שעל-פיו תוכנן הגל אם נתון שמאמץ הכניעה לפיתול של חומר הגל הוא:  $\tau_y = 180 \text{ MPa}$  ושמאמץ הפיתול המרבי בגל משתווה למאמץ המותר לפיתול.