

# חוזק חומרים

## ספר תרגול בחוזק חומרים

### סטודנטים יקרים

לפניכם ספר תרגילים לקורס "חוזק חומרים" 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 טכנולוגיות 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:



אנו מאחלים לכם הצלחה מלאה בבחינות!

**תוכן עניינים**

פרק	שם הפרק
1	העמסה צירית מאמצי מתיחה ולחיצה – בעיות מסוימות סטטית
2	העמסה צירית מאמצי מתיחה ולחיצה – בעיות לא מסוימות סטטית
3	טרנספורמציה של מאמצים ועיבורים
4	פיתול
5	מהלכי כוחות בשיטת הסופר-פוזיציה
6	כפיפה – מאמצים נורמליים בכפיפה בחתכים סימטריים
7	הקו האלסטי
8	קריסה

**המלצה וטיפים ללמידה של הקורס:**

לרשותכם מספר טיפים לפני התחלת הצפייה בסרטונים וזאת על מנת שלאחר צפיה מלאה בכל תוכן הקורס תקבלו בסיס טוב וכלים להתמודדות לבד עם שאלת מבחן ולהמשך הלימודים וקורסים מתקדמים יותר.

1. ככלל, הפרקים נבנים אחד על השני ולכן כדאי להתחיל את הפרקים בסדר כרונולוגי עולה.
2. בכל פרק יש לראות תחילה את סרטוני ההסבר (תאוריה) ולסכם אותם.
3. לנסות ולפתור לבד את התרגילים ללא צפייה בסרטוני תרגיל.
4. את סרטוני התרגול אנו ממליצים לסכם במחברות כולל הערות ציודיות.
5. ניתן לעצור בכל עת, לחזור שוב על סרטון ולשנות את הקצב לפי נוחותכם.

## **מבוא לחישוב סטטי וחוזק חומרים**

הקורס מקנה ידע בביצוע אנליזה וחיזוי של מערכות פיזיקליות כאשר פועלים עליהם כוחות.

הקורס "חישוב סטטי וחוזק חומרים" מתחלק לשני חלקים עיקריים:

1. חישוב סטטי – מתעסק בחקר השפעת כוחות על גופים הנמצאים בשיווי משקל. כלומר

ללא תנועה. זהו החלק העיקרי של קורס זה. ומהווה בסיס הכרחי לחלק השני.

2. חוזק חומרים – מתעסק בהתנהגות של גופים בהשפעת עומס חיצוני, בהתנגדות

הפנימית של הגוף התלוי בחומר ובדפורמציה כתוצאה מהעומס.

הקורס הינו קורס הליבה הראשוני במוסדות הלימוד השונים, הבסיסי ביותר ורלוונטי בתחומי

ההנדסה השונים, לדוגמא, הנדסת מבנים, הנדסת מכונות, אירודימניקה, הידרוסטטיקה ועוד.

הקורס תנאי הכרחי לקבלת בסיס טוב להמשך התואר ומקנה ידע פרקטי לעבודה מעשית. דרכו

נלמד להסתכל אחרת על אלמנטים מסביבינו ונבין טוב יותר שיקולים הנדסיים.

**בקורס זה נלמד את הנושאים הבאים:**

### **• חוזק**

○ תכונות שטחים וגופים – מרכז כובד, מומנט אינרציה

○ מאמצים – מאמץ נורמלי, מאמץ גזירה

○ תכנון קורות פלדה

○ תכנון מוטות מסבך

○ חיזוקי קורות

○ דפורמציות ציריות – התארכות והתכווצות

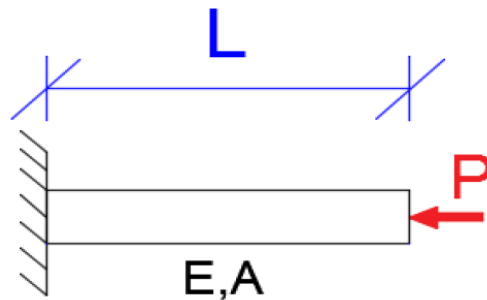
## פרק 1

# העמסה צירית מאמץ מתיחה ולחיצה – מסוים סטטית

### נושא 1 – העמסה צירית מאמץ מתיחה ולחיצה

#### תרגיל מספר 1

נתון מוט אחד העמוס בעומס  $P$  כמתואר.



$$P = 10kN$$

$$L = 4m$$

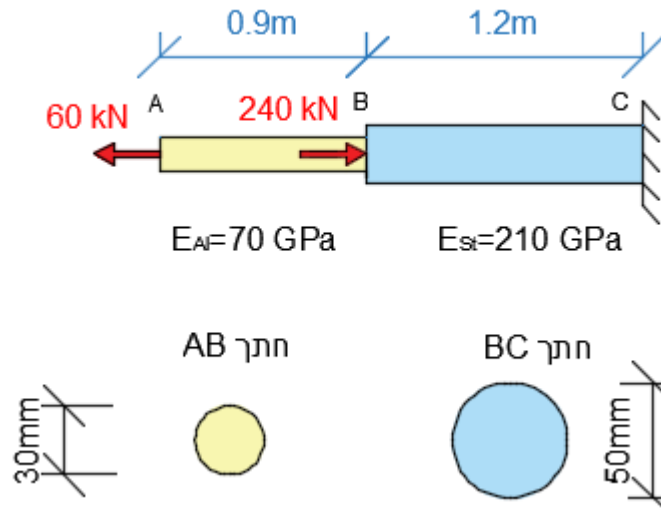
$$E = 12GPa$$

$$A = 5 \cdot 10^{-3} m^2$$

- א. דרוש למצוא את העיבור.
- ב. דרוש למצוא את התקצרות המוט.
- ג. דרוש למצוא את המאמצים בחתך.

**תרגיל מספר 2**

נתון מוט עם חתך משתנה כמתואר.

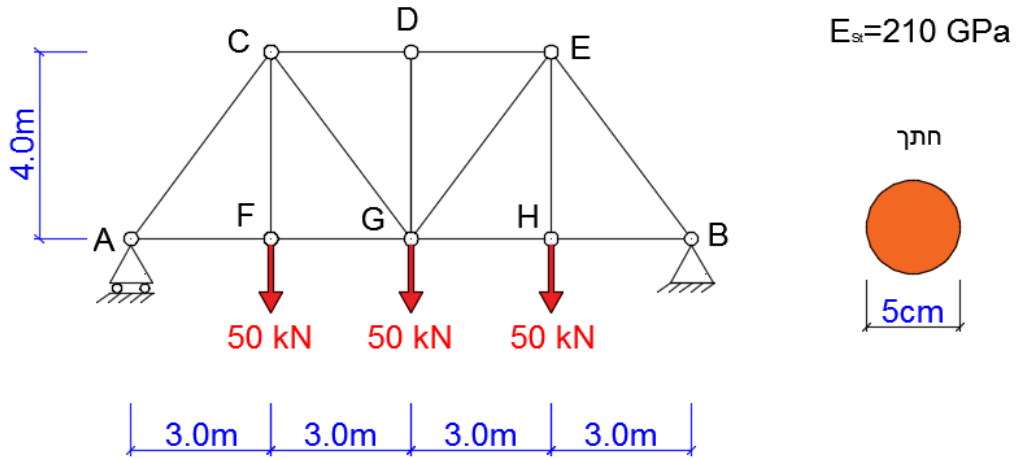


דרוש למצוא את:

- א. המאמצים בפלדה ובאלומיניום.
- ב. ההזזה של נקודה B.
- ג. ההזזה של נקודה A.

**תרגיל מספר 3**

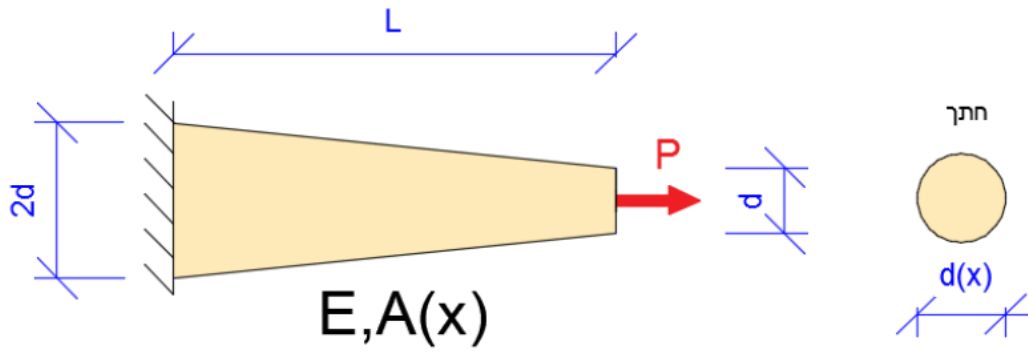
במסבך המתואר, כל המוטות עשויים פלדה ובעלי אותו חתך כמתואר.



דרוש למצוא את המאמץ במוט CG.

**תרגיל מספר 4**

נתון מוט בעל חתך עגול מלא המשתנה ליניארית ועמוס בכוח מרוכז  $P$  כמתואר.



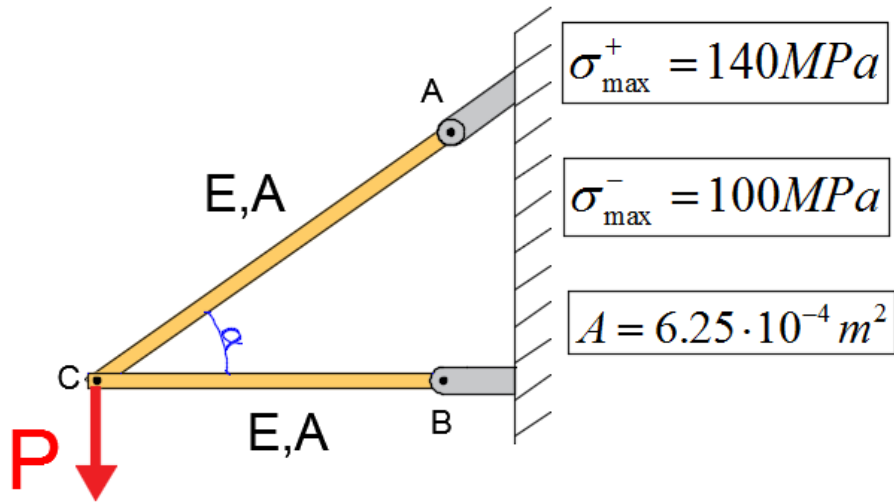
דרוש למצוא את:

- א. התארכות המוט.
- ב. גודלו ומיקומו לאורך המוט של המאמץ המקסימלי.



**תרגיל מספר 5**

נתון מסבך המורכב משני מוטות דו פרקיים המחוברים בנקודה C כמתואר.  
שני המוטות עשויים אותו חומר ולשניהם אותו שטח חתך נתון.  
מאמצים מותרים ללחיצה ומתיחה נתונים.

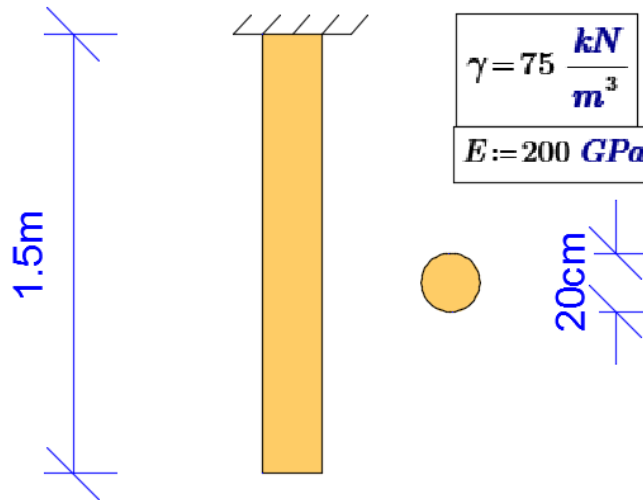


דרוש למצוא :

- א. מהי הזווית האופטימלית בין שני המוטות? (ניצול מקסימלי של החומר יתקבל כאשר שני המוטות יגיעו למאמץ המותר בו זמנית).
- ב. מהו העומס P המקסימלי עבור הזווית שהתקבלה בסעיף א?

**תרגיל מספר 6**

נתון מוט העשוי מחומר עבירו מודול האלסטיות והצפיפות נתונים בתרשים.

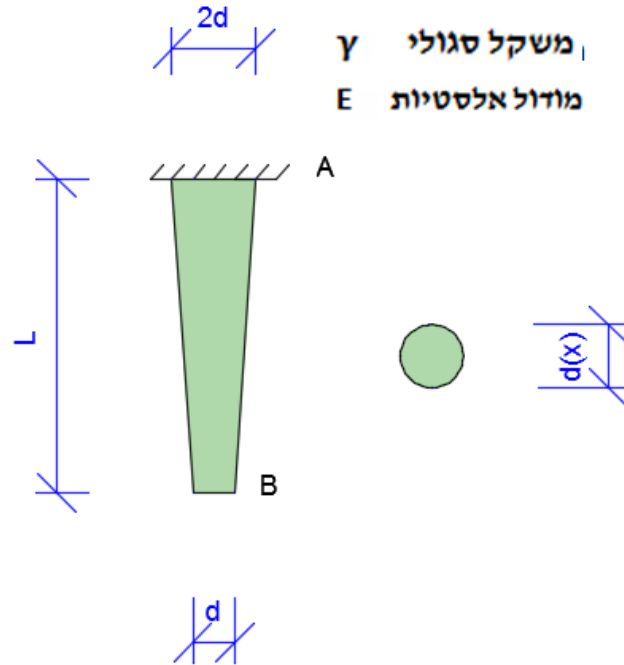


דרוש למצוא את:

- א. התארכות המוט עקב השפעת משקלו העצמי בלבד.
- ב. מאמץ מקסימלי בעמוד ומיקומו.
- ג. האם ואיך ישתנו התשובות לסעיפים א + ב אם החתך היה בעל שטח חתך כפול?

**תרגיל מספר 7**

נתון מוט העשוי מחומר עברו מודול האלסטיות והצפיפות נתונים בתרשים.

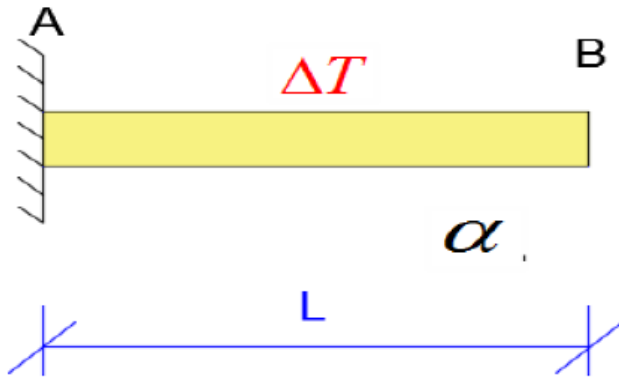


דרוש:

- א. לשרטט מהלך כוחות ציריים לאורך המוט.
- ב. לפתח ביטוי פרמטרי המתאר שקיעה של נקודה B בעקבות משקלו העצמי של המוט בלבד

**תרגיל מספר 8**

נתון מוט מוט בעל חתך אחיד החסום בנקודה A וחופשי בנקודה B.  
מחממים את המוט בשיעור של  $\Delta T$



$$L = 500\text{cm}$$

$$\alpha = 1 \cdot 10^{-5} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T = 50^{\circ}\text{C}$$

דרוש :

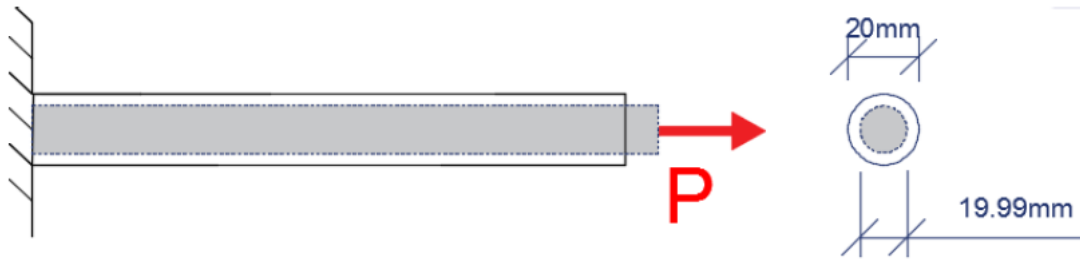
א. מצא את התארכות המוט בעקבות שינוי הטמפרטורה.

ב. מהם המאמצים הקיימים במוט במצב זה?

**תרגיל מספר 9**

נתון מוט בעל חתך עגול מלא שקוטרו 20 מ"מ.

לאחר הפעלת כח  $P$ , קוטרו של המוט הצטמצם ב-0.01 מ"מ.



$$E=50 \text{ GPa}$$

$$\nu=0.25$$

דרוש:

א. למצוא את גודלו של הכוח  $P$ .

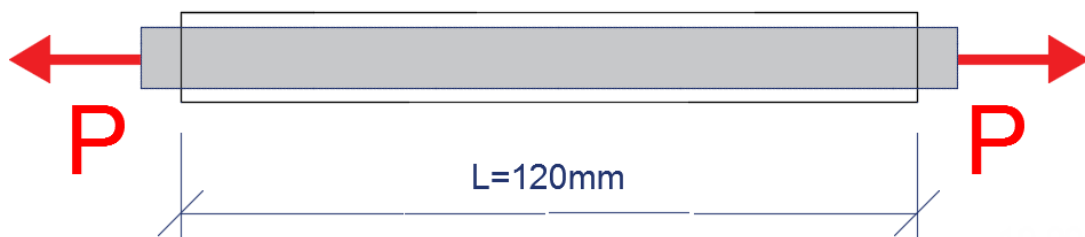
**תרגיל מספר 10**

על המוט פועל כוח צירי כמתואר.

גודלו של הכוח:  $P=1.5 \text{ kN}$ .

חתך המוט הוא עגול מלא וקוטרו 10 מ"מ.

לאחר הפעלת הכוח, המוט התארך בשיעור של 3 מ"מ, וקוטר המוט הצטמצם ב-0.1 מ"מ.



דרוש למצוא את:

א. מודול האלסטיות  $E$ .

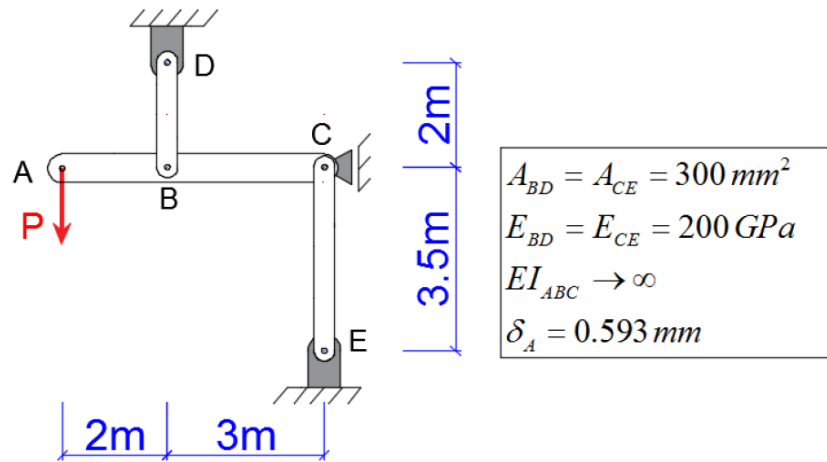
ב. מקדם פואסון  $\nu$ .

ג. מודול הגזירה  $G$ .

**תרגיל מספר 11**

נתוני המוטות המרכיבים את המבנה נתונים בתרשים.

נתון כי בעקבות הפעלת הכוח, נקודה A שקעה בשיעור של 0.593 מ"מ



דרוש:

א. למצוא את גודלו של הכוח P.

## פרק 2

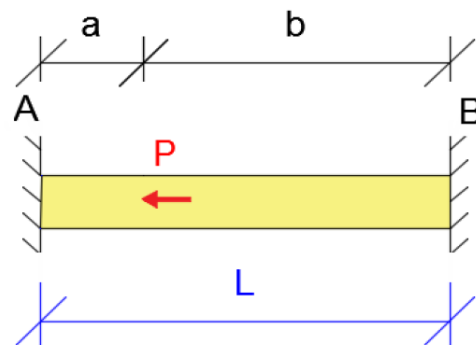
# העמסה צירית מאמץ מתיחה ולחיצה – לא מסוים סטטית

### נושא 1 – העמסה צירית מאמץ מתיחה ולחיצה – לא מסוים סטטית

#### תרגיל מספר 1:

נתון מוט החסום בשני קצותיו.

מופעל עומס מרוכז עם כיוון הציר במיקום כמתואר.



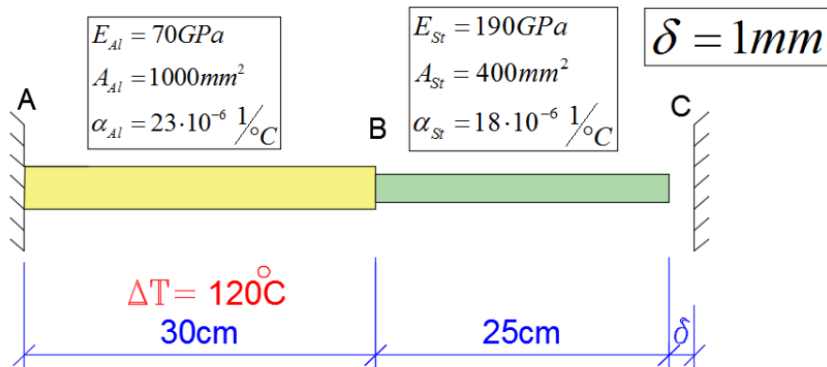
דרוש למצוא את:

- א. הראקציות במסכים
- ב. לשרטט מהלך כוחות ציריים



**תרגיל מספר 2:**

נתון מוט עם חתך המשתנה בנקודה B.  
 קטע AB עשוי אלומיניום וקטע BC עשוי פלדה.  
 כל הנתונים הרלוונטיים באיור.  
 ישנו מרווח של 1 מ"מ בין קצה מוט BC לבין הקיר.  
 במצב זה, מחממים את שני המוטות ב-120°.



דרוש:

- למצוא את המאמצים במוט הפלדה ובמוט האלומיניום.
- ההזזה של נקודה B.

**תרגיל מספר 3:**

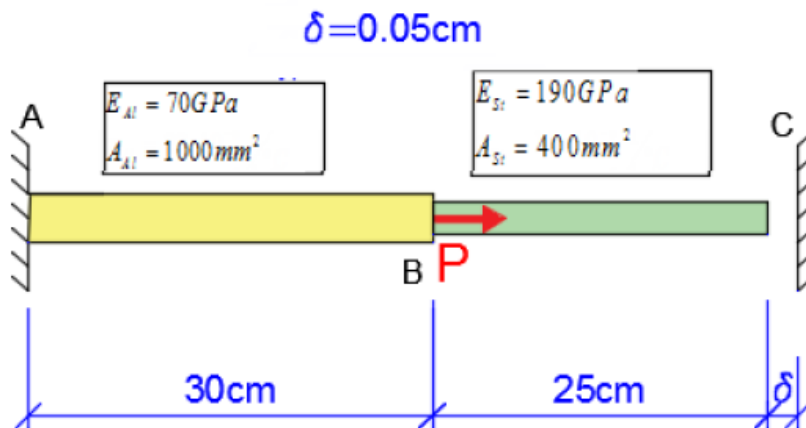
נתון מוט עם חתך המשתנה בנקודה B.

קטע AB עשוי אלומיניום וקטע BC עשוי פלדה.

כל הנתונים הרלוונטיים באיור.

ישנו מרווח של 0.05 ס"מ בין קצה מוט BC לבין הקיר.

במצב זה, מופעל כח בגודל P בנקודה B.



דרוש:

א. מהו גודלו של הכוח  $P=P_0$  הדרוש לסגירת הרווח?

ב. עבור כוח  $P=250 \text{ kN}$ , נדרש לחשב ולשרטט גרפים עבור:

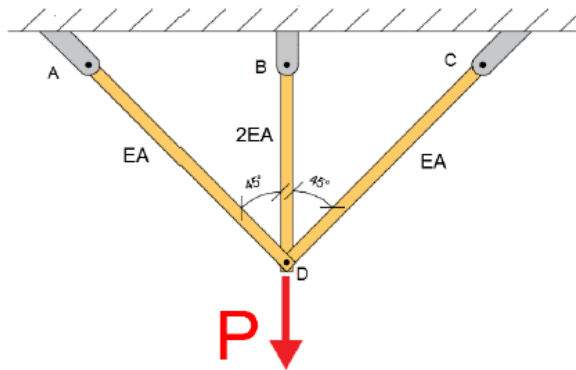
- מהלכי כוחות ציריים.
- מהלכי מאמצים.
- מהלכי הזזות.

**תרגיל מספר 4:**

במבנה המתואר, שלושה מוטות המחוברים ביניהם.

בנקודה D קיים כוח מרכזי P.

קשיחויות חתכי המוטות נתונים בתרשים.



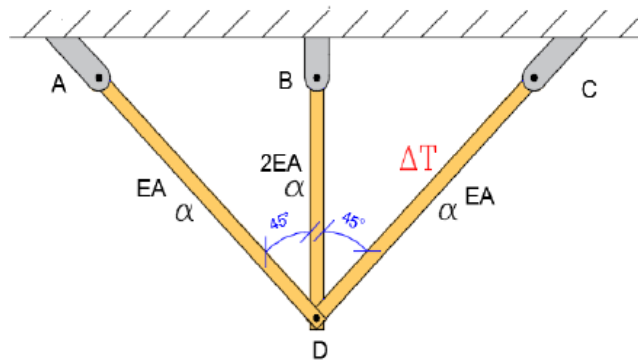
דרוש:

א. למצוא את הכוחות הציריים הפועלים בשלושת המוטות.

**תרגיל מספר 5:**

במבנה המתואר, שלושה מוטות המחוברים ביניהם.  
תכונות המוטות והזוויות ביניהם נתונים בתרשים.

מוט CD חומם בשיעור  $\Delta T$ .



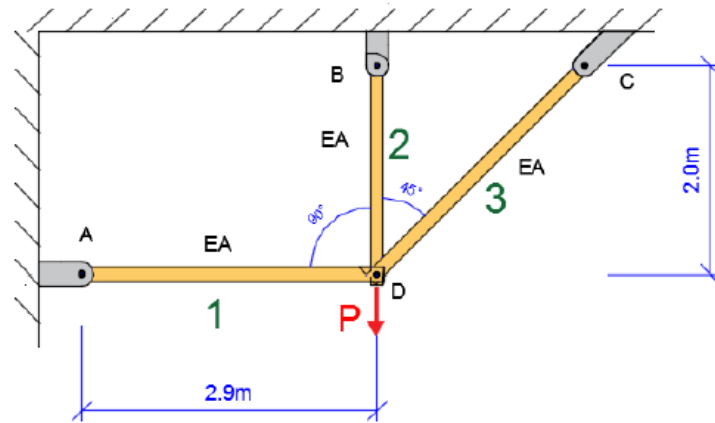
דרוש:

א. למצוא את הכוחות הציריים הפועלים בשלושת המוטות.

**תרגיל מספר 6:**

במבנה המתואר, שלושה מוטות המחוברים ביניהם.  
תכונות המוטות והזוויות ביניהם נתונים בתרשים.

בנקודה D קיים כוח מרוכז P.



דרוש:

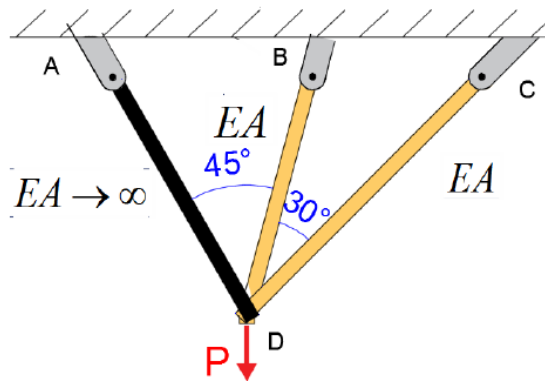
- למצוא את הכוחות הציריים הפועלים בשלושת המוטות.
- למצוא את מיקומה החדש של נקודה D.

**תרגיל מספר 7:**

במבנה המתואר, שלושה מוטות המחברים ביניהם.

תכונות המוטות והזוויות ביניהם נתונים בתרשים.

בנקודה D קיים כוח מרוכז P.



דרוש:

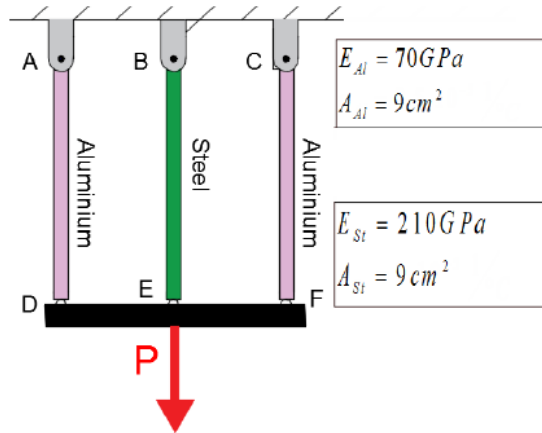
א. למצוא את הכוחות הציריים הפועלים בשלושת המוטות.

**תרגיל מספר 8:**

שני מוטות אלומיניום ומוט פלדה מחוברים לקורה קשיחה אינסופית כמתואר באיור.

תכונות המוטות נתונים בתרשים.

בנקודה E פועל כוח מרוכז P.

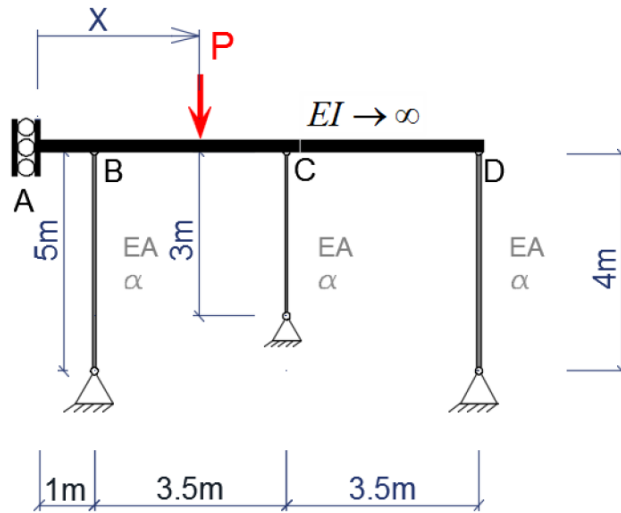


דרוש:

א. למצוא את הכוחות הציריים הפועלים בשלושת המוטות.

**תרגיל מספר 9:**

נתון המבנה שבאיור.



דרוש:

א. למצוא את מיקום הפעלת הכוח  $P$  (המרחק  $X$ ) כך שמומנט הכפיפה בנקודה A יהיה שווה לאפס.

ב. מהו מומנט הכפיפה בנקודה A כאשר מחממים את כל המערכת ב- $\Delta T$ ?

ג. איך תשתנה התשובה לסעיפים א ו-ב אם שלושת המוטות יהיו בעלי אותו אורך  $L$ ?



## פרק 3

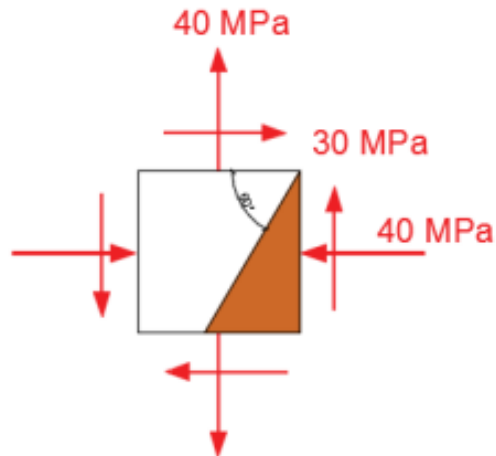
# טרנספורמציה של מאמצים ועיבורים

### נושא 1 – טרנספורמציה של מאמצים ועיבורים

#### תרגיל מספר 1

עבור מצב המאמצים הנתון של קובית מאמצים המתוארת, דרוש לקבוע את המאמץ הנורמלי ומאמץ הגזירה של האלכסון של המשולש הכתום.

הנחיה: פתור באמצעות משוואות שיווי משקל של כוחות.

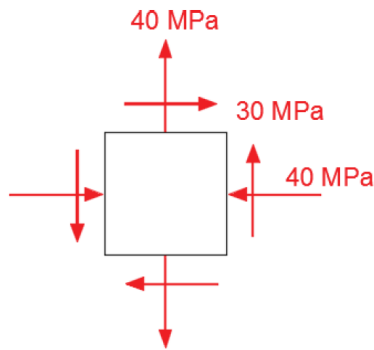


תרגיל מספר 2

עבור מצב המאמצים הנתון של קובית מאמצים המתוארת,

דרוש:

- א. לשרטט תרשים מעגל מוהר המתאר את מצב המאמצים בקוביה.
- ב. למצוא מאמצים ראשיים ומישור של קוביה ראשית.
- ג. מישור הו מאמץ הגזירה מקסימלי.
- ד. מאמץ גזירה מקסימלי.



**תרגיל מספר 3**

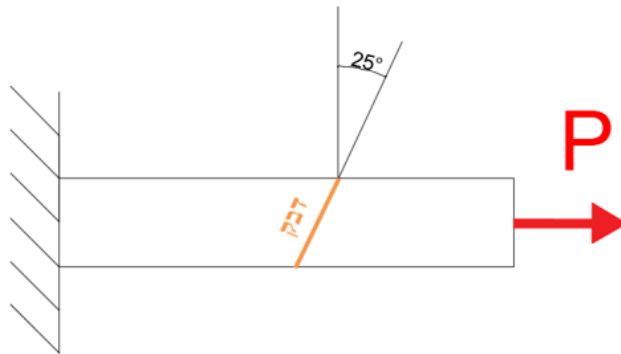
שני אלמנטים עם חתך מלבני איחד של  $40 \times 100$  מ"מ הודבקו זה לזה לאורך מישור חתך אלכסוני a-a הנטוי בזווית של  $25^\circ$  מעלות עם ציר Y.

נתון כי מאמצים מותרים של הדבק הם:

$$\sigma = 800 \text{ KPa}$$

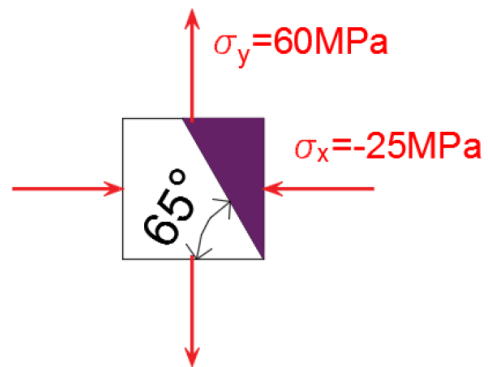
$$\tau = 600 \text{ KPa}$$

דרוש מהו הכוח P המקסימלי שאפשר להעמיס:



**תרגיל מספר 4**

עבור מצב מאמצים מישורי נתון,  
דרוש מאמץ נורמלי ומאמץ גזירה עבור משטח של הפאה האלכסונית של המשולש הכהה.  
יש להשתמש במשוואות של שיווי משקל על כוחות.



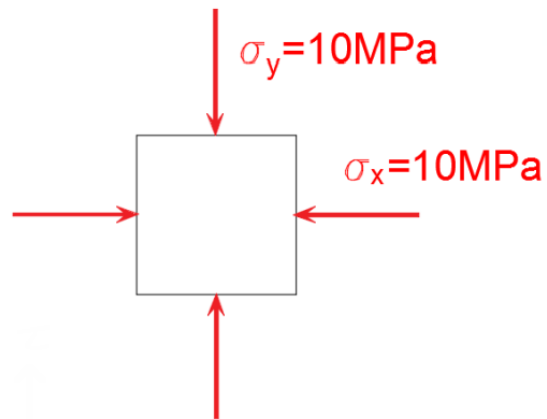
תרגיל מספר 5

עבור מצב המאמצים המתואר בתרשים,

דרוש,

א. להראות את מצב המאמצים בקובייה במישור בו מאמץ הגזירה מקסימלי.

ב. תרשים של מעגל מוהר עבור מצב המאמצים הנתון.

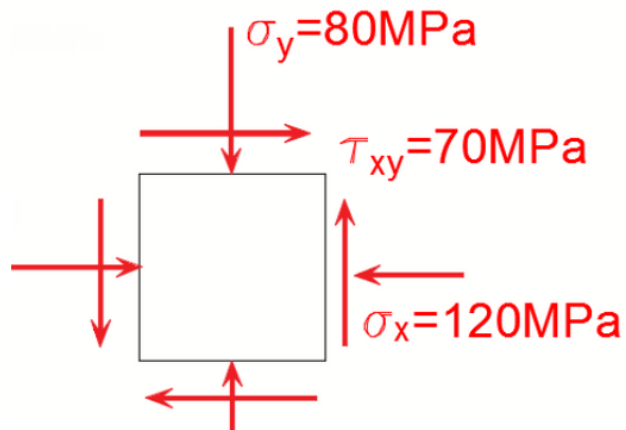


**תרגיל מספר 6**

עבור מצב המאמצים הנתון,

דרוש,

- א. מישור ראשי.
- ב. מאמצים ראשיים.
- ג. מישור גזירה מקסימלי.
- ד. מאמץ גזירה מקסימלי.
- ה. מאמץ נורמלי במישור גזירה מקסימלי.

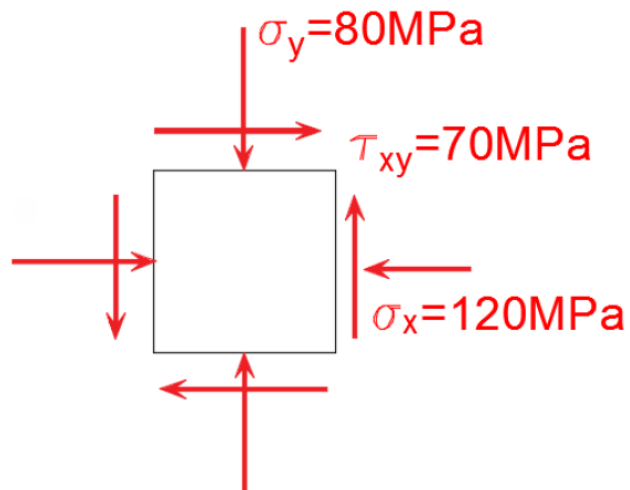


**תרגיל מספר 7**

עבור מצב המאמצים הנתון,

דרוש,

- א. מישור ראשי.
- ב. מאמצים ראשיים.
- ג. מישור גזירה מקסימלי.
- ד. מאמץ גזירה מקסימלי.
- ה. מאמץ נורמלי במישור גזירה מקסימלי.

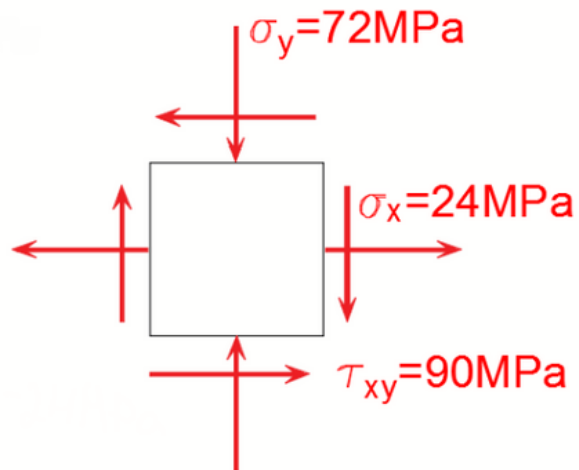


תרגיל מספר 8

עבור מצב המאמצים הנתון,

דרוש,

- א. מישור בו מאמץ גזירה מקסימלי.
- ב. מאמץ גזירה מקסימלי.
- ג. מאמץ נורמלי במישור גזירה מקסימלי.

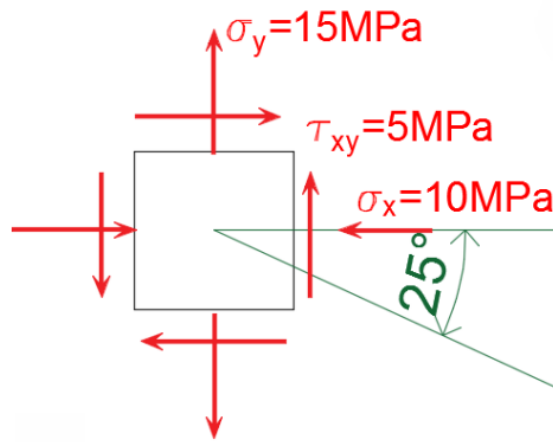




תרגיל מספר 9

עבור מצב המאמצים הנתון,

דרוש, מצב מאמצים בקובייה עבור מישור המסתובב ב-25 מעלות עם כיוון השעון מהמישור  $xy$  הנתון.



תרגיל מספר 10

נתון מוט עליו פועל כוח מרוכז P כמתואר.  
חתך המוט הינו מלבני במידות של 80\*40 ס"מ.

$$\sigma_{Max} = 100 MPa$$

$$\tau_{Max} = 30 MPa$$

דרוש, מהו גודלו המקסימלי של הכוח P ?



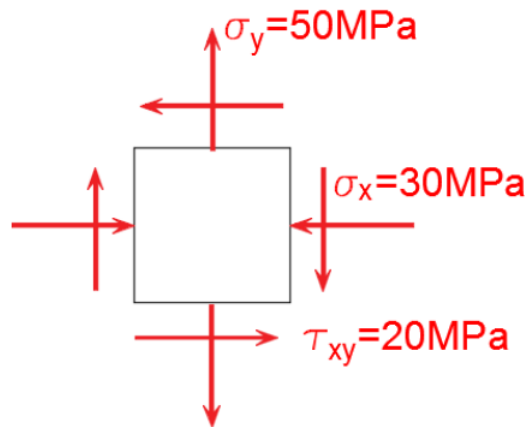
תרגיל מספר 11

עבור מצב המאמצים הנתון,

דרוש,

א. מישור ראשי.

ב. מאמצים ראשיים, השתמש בנוסחאות הטרנספורמציה.



תרגיל מספר 12

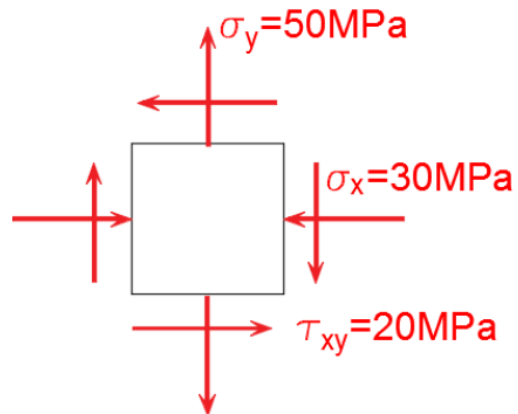
עבור מצב המאמצים הנתון,

דרוש,

שרטט מעגל מוהר עבור מצב המאמצים הנתון ומצא מתוך התרשים:

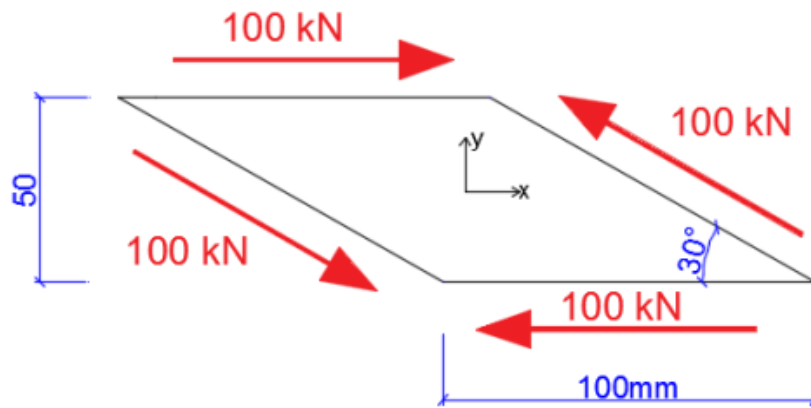
א. מישור ראשי.

ב. מאמצים ראשיים.



**תרגיל מספר 13**

נתון דגם של חומר הנתון לעומס של כוחות גזירה כמתואר:



עובי הדגם הינו אחיד ועוביו 25 מ"מ.

הדגם הינו במצב מאמצים מישורי ואחיד.

דרוש מצב מאמצים של החומר במישור XY.

הנחיה, יש לפתור באמצעות משוואות שיווי משקל.

**תרגיל מספר 14**

עבור מצב מאמצים מישורי נתון:

$$\varepsilon_x = -5 \cdot 10^{-4} \quad \varepsilon_y = 2.5 \cdot 10^{-4} \quad \gamma_{xy} = 0$$

דרוש עיבורים במישור המסובב בזווית 15 מעלות ממישור XY.

**תרגיל מספר 15**

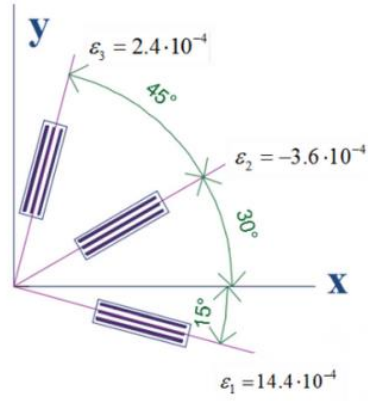
עבור מצב מאמצים מישורי נתון:

$$\varepsilon_x = 0 \quad \varepsilon_y = 160 \cdot 10^{-6} \quad \gamma_{xy} = -50 \cdot 10^{-6}$$

דרוש עיבורים במישור המסובב בזווית 15 מעלות ממישור XY.

**תרגיל מספר 16**

נמדדו הקריאות הבאות על ידי רוזטת עיבורים (שושנת עיבורים) עבור חומר הנתון למאמצים:



$$\varepsilon_1 = 14.4 \cdot 10^{-4}$$

$$\varepsilon_2 = -3.6 \cdot 10^{-4}$$

$$\varepsilon_3 = 2.4 \cdot 10^{-4}$$

דרוש למצוא את העיבורים במישור  $xy$ .  $(\varepsilon_x, \varepsilon_y, \gamma_{xy})$



**תרגיל מספר 17**

באלמנט הנתון לעומסים במצב מאמצים מישורי נתונים העיבורים עבור נקודה מסוימת

במישור  $xy$  :

$$\begin{aligned}\varepsilon_x &= -400\mu; & \varepsilon_y &= -100\mu; & \gamma_{xy} &= 400\mu \\ E &= 210GPa & \nu &= 0.28\end{aligned}$$

דרוש,

א. למצוא את העיבורים הראשיים ואת הכיוון בו הם פועלים.

ב. למצוא את המאמצים הראשיים.

**תרגיל מספר 18**

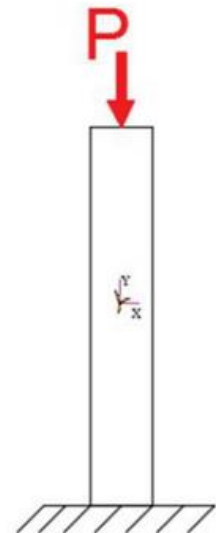
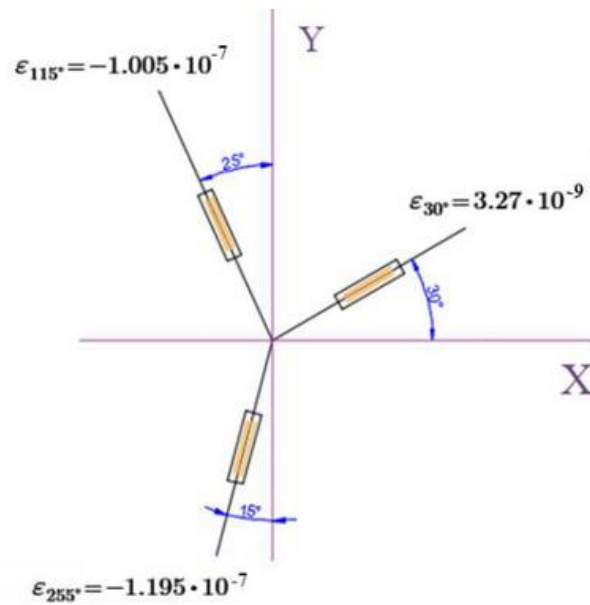
נתון עמוד עשוי פלדה עבורו :  $E = 200 \text{ GPa}$   $\nu = 0.3$

חתך העמוד הינו מלבני במידות של  $40 \times 40$  ס"מ.

על העמוד פועל עומס  $P$  כמתואר באיור.

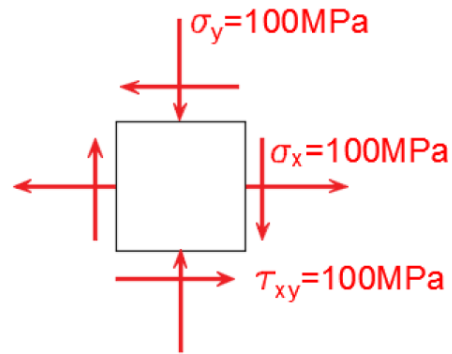
על העמוד הודבקה רוזטת עיבורים והתקבלו הקריאות הנתונות בתרשים.

דרוש למצוא את גודלו של העומס  $P$ .



תרגיל מספר 19

בלוח עשוי בפלדה שורר מצב מאמצים מישורי ( $\sigma_2 = 0$ ) כמתואר בתרשים.



$$E = 200 \text{ GPa}$$

$$\nu = 0.3$$

דרוש למצוא עיבורי זוויתי  $\gamma$  מקסימלי.

## פרק 4

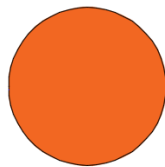
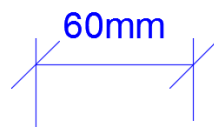
# פיתול

### נושא 1 – פיתול בחתכים עגולים

#### תרגיל מספר 1

נתון חתך עגול מלא.

תכונות החומר נתונות



$$G = 70GPa$$

$$\tau_{\max} = 140MPa$$

דרוש :

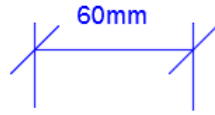
א. מומנט אינרציה פולרי J.

ב. תסבולת החתך לפיתול.

**תרגיל מספר 2**

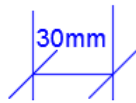
נתון חתך עגול חלול.

תכונות החומר נתונות



$$G = 70GPa$$

$$\tau_{\max} = 140MPa$$



דרוש :

א. מומנט אינרציה פולרי J.

ב. תסבולת החתך לפיתול.

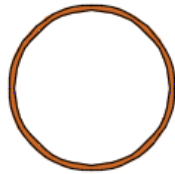
**תרגיל מספר 3**

נתון חתך עגול צינורי דק דופן.

תכונות החומר נתונות



60mm



$$G = 70GPa$$

$$\tau_{\max} = 140MPa$$



50mm

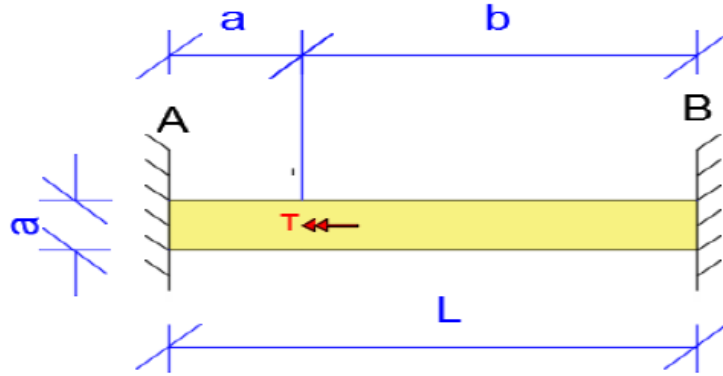
דרוש :

א. מומנט אינרציה פולרי J.

ב. תסבולת החתך לפיתול.

**תרגיל מספר 4**

נתון מוט החסום לפיתול בשני קצותיו המועמס פיתול כמתואר.



דרוש:

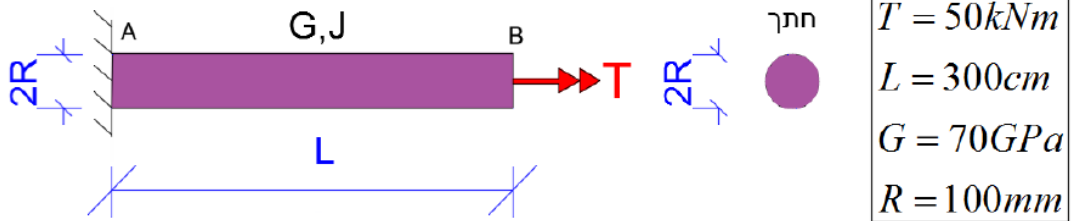
א. למצוא את מומנטי התגובה בחיסומים.

ב. מהלך מומנטי פיתול לאורך המוט.

**תרגיל מספר 5**

נתון מוט בעל חתך עגול עם מומנט פיתול מרוכז בקצה B כמתואר.

תכונות החומר נתונות



דרוש:

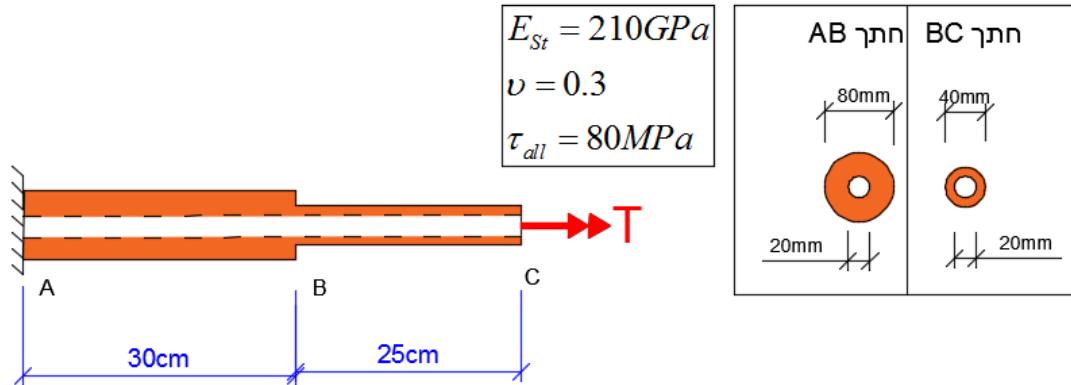
א. זווית פיתול בקצה המוט.

ב. פילוג מאמצי גזירה בחתך.



**תרגיל מספר 6**

נתון מוט בעל חתך עגול חלול המשתנה בנקודה B.  
המוט מועמס מומנט פיתול מרוכז בקצה C כמתואר.



דרוש:

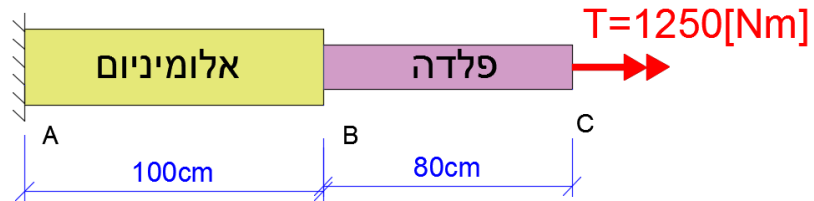
- מהו המומנט המקסימלי המותר כאשר ישנן 2 הגבלות:
- א. אין לחרוג ממאמץ גזירה מותר.
  - ב. זווית הפיתול הכוללת בנקודה C לא תעלה על  $2^\circ$ .

**תרגיל מספר 7**

נתון מוט בעל חתך עגול מלא המשתנה בנקודה B.

קטע AB עשוי אלומיניום.

קטע BC עשוי פלדה.



$$\tau_{Al} = 25 \text{ MPa} \quad \tau_{St} = 85 \text{ MPa}$$

$$G_{Al} = 27 \text{ GPa} \quad G_{St} = 75 \text{ GPa}$$

דרוש :

א. לקבוע את הקוטר המרבי של שני החתכים.

ב. מהי זווית הפיתול בקצה C?

ג. מהלך זוויות הפיתול לאורך המוט.

**תרגיל מספר 8**

נתון מוט בעל חתך עגול מלא המשתנה בנקודה B.

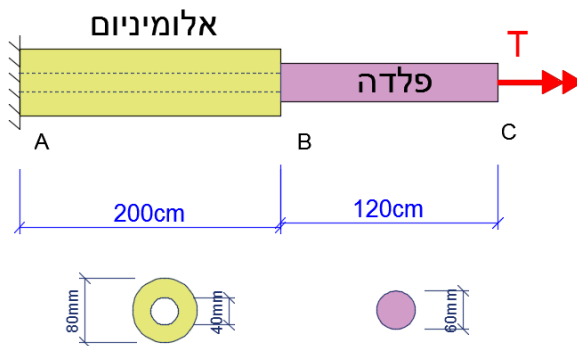
קטע AB עשוי אלומיניום.

קטע BC עשוי פלדה.

חתך המוט בקטע BC הוא עגול מלא.

חתך המוט בקטע AB הוא עגול חלול.

המידות נתונות באיור.



$$\tau_{Al} = 54 \text{ MPa} \quad G_{Al} = 27 \text{ GPa}$$

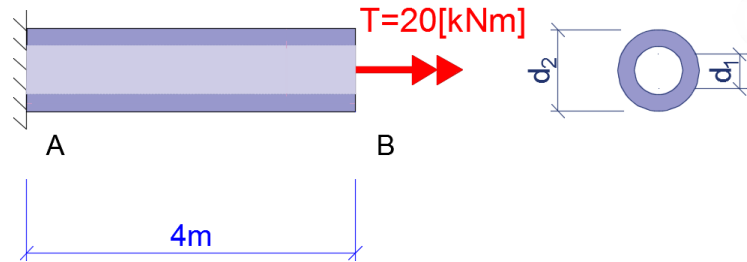
$$\tau_{St} = 85 \text{ MPa} \quad G_{St} = 75 \text{ GPa}$$

דרוש:

- א. מומנט פיתול מקסימלי מותר.
- ב. זווית פיתול בנקודה B.
- ג. זווית פיתול בנקודה C.
- ד. מהלך זוויות פיתול לאורך המוט.

**תרגיל מספר 9**

נתון מוט בעל חתך עגול חלול באורך של 4 מטר.



דרוש :

יש למצוא את הקוטר הפנימי והקוטר החיצוני של החתך כאשר יש לעמוד בשתי מגבלות :

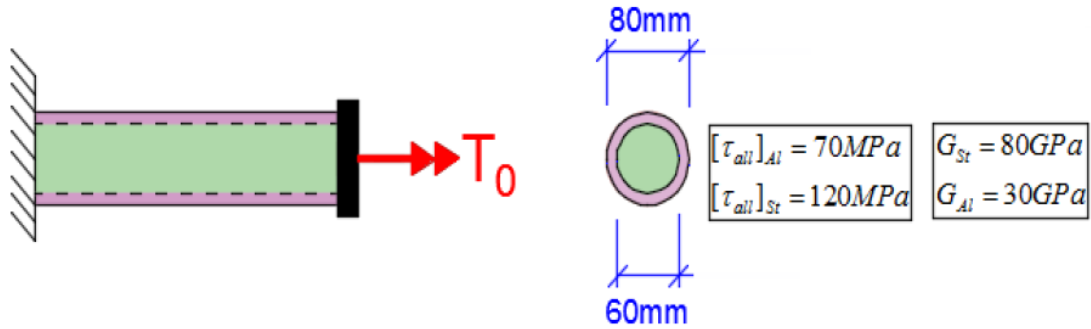
א. זווית הפיתול בקצה לא תעלה על  $2^\circ$ .

ב. מאמץ הגזירה המותר בחתך הינו  $G=90\text{ MPa}$ .

**תרגיל מספר 10**

מוט עם חתך עגול מלא עשוי מפלדה מוכנס לתוך מוט עגול חלול עשוי אלומיניום.

מידות החתך ומאמץ גזירה מותר עבור שני החומרים נתונים באיור:



דרוש:

מהו מומנט הפיתול המקסימלי שמותר להפעיל?

**תרגיל מספר 11**

נתון מוט עשוי אלומיניום הרתום בשני קצותיו.

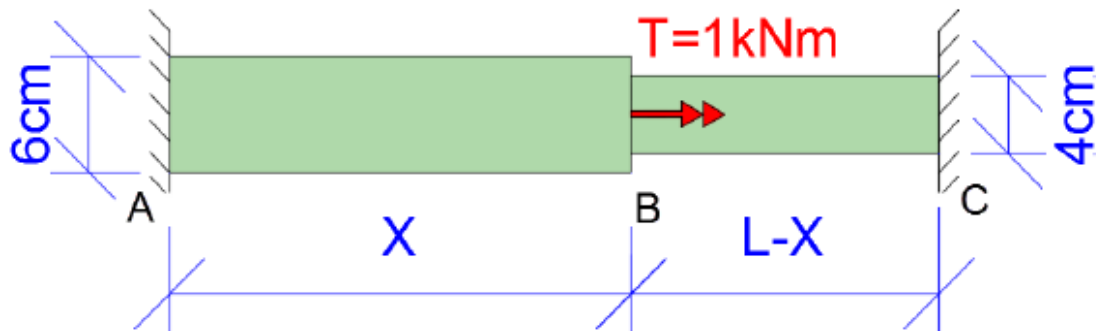
חתך המוט משתנה בנקודה B.

חתכי המוט בשני הקטעים הינם עיגול מלא.

נתונים:

$$G=27\text{GPa}$$

$$L=2\text{m}$$



דרוש:

א. אורך הקטע השמאלי  $X$  כך שמאמצי גזירה מרביים יהיו שווים בשני הקטעים.

ב. גודל המאמץ המרבי.

ג. זווית הפיתול בחתך B.

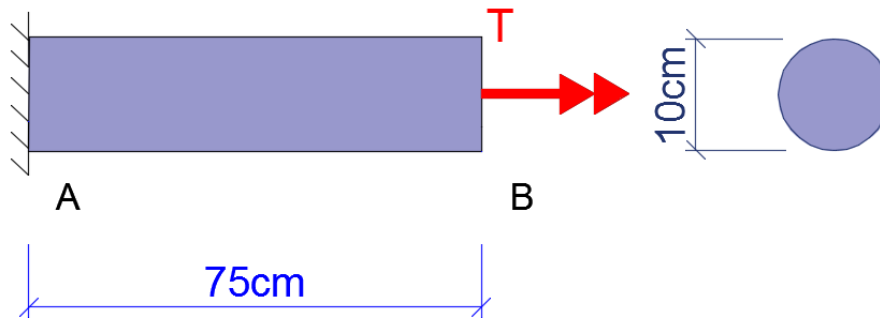
**תרגיל מספר 12**

נתון מוט בעל חתך עגול מלא עליו פועל מומנט פיתול בקצה כמתואר :

נתונים :

מודול הגזירה  $G=70\text{GPa}$

עיבור הגזירה על פני המוט  $\gamma=0.001$



דרוש :

א. זווית הפיתול בקצה B.

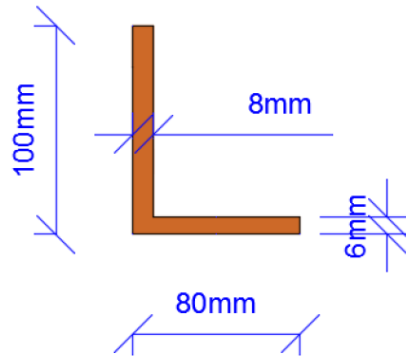
ב. מאמץ גזירה מקסימלי ופילוג מאמצי גזירה בחתך.

ג. גודלו של מומנט הפיתול T.

**נושא 2 – פיתול בחתכים לא עגולים**

**תרגיל מספר 1**

נתון חתך דק דופן פתוח כמתואר :



$$G = 70GPa$$

$$\tau_{\max} = 140MPa$$

דרוש :

א. מומנט אינרציה פולרי של החתך.

ב. תסבולת החתך לפיתול.



**תרגיל מספר 2**

נתון חתך דק דופן פתוח כמתואר :



$$G = 70GPa$$

$$\tau_{\max} = 140MPa$$

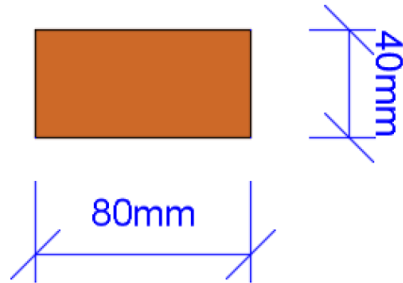
דרוש :

א. מומנט אינרציה פולרי של החתך.

ב. תסבולת החתך לפיתול.

**תרגיל מספר 3**

נתון חתך מלבני כמתואר :



$$G = 70GPa$$

$$\tau_{\max} = 140MPa$$

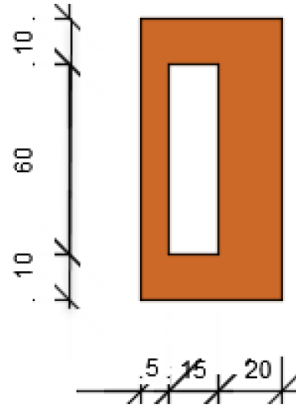
דרוש :

א. מומנט אינרציה פולרי של החתך.

ב. תסבולת החתך לפיתול.

**תרגיל מספר 4**

נתון חתך חלול כמתואר :



$$G = 70GPa$$

$$\tau_{\max} = 140MPa$$

דרוש :

א. מומנט אינרציה פולרי של החתך.

ב. תסבולת החתך לפיתול.

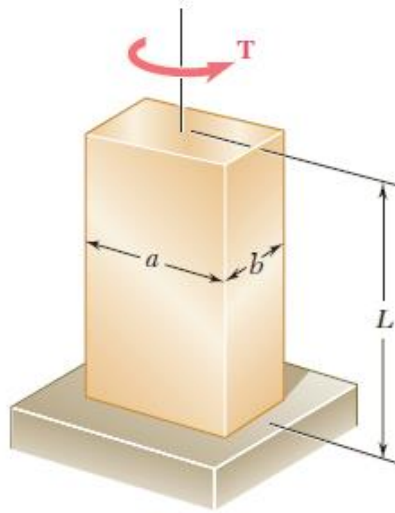
**תרגיל מספר 5**

נתון מוט בעל חתך מלבני עליו פועל מומנט פיתול כמתואר באיור.

$$a=64\text{mm}$$

$$b=25\text{mm}$$

$$[\tau_{all}] = 40 \text{ MPa}$$

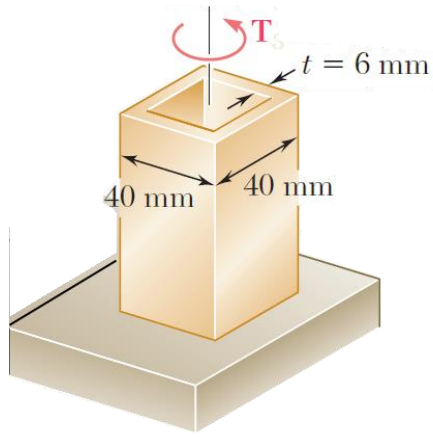


נדרש לקבוע מהו מומנט הפיתול המקסימלי המותר.

**תרגיל מספר 6**

נתון מוט בעל חתך מלבני חלול עליו פועל מומנט פיתול כמתואר באיור.

$$[\tau_{all}] = 40 \text{ MPa}$$

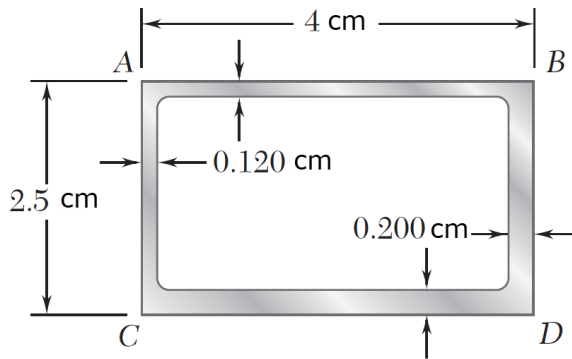


נדרש לקבוע מהו מומנט הפיתול המקסימלי המותר.

**תרגיל מספר 7**

נתון מוט בעל חתך מלבני חלול עליו פועל מומנט פיתול שגודלו 24 kNm.

$$[\tau_{all}] = 40 \text{ MPa}$$



נדרש לקבוע מהו מאמץ הגזירה בכל אחת מדפנות החתך.

## פרק 5

# מהלכי כוחות בשיטת הסופרפוזיציה

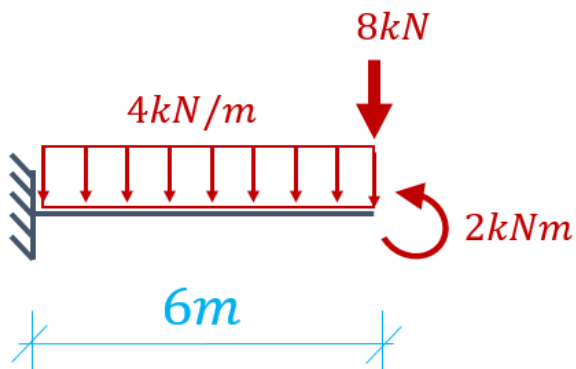
### נושא 1 – מהלכי כוחות בשיטת הסופרפוזיציה

#### תרגיל מספר 1

עבור המבנה המועמס המתואר, דרוש לחשב ולשרטט:

א. מהלכי כוחות גזירה.

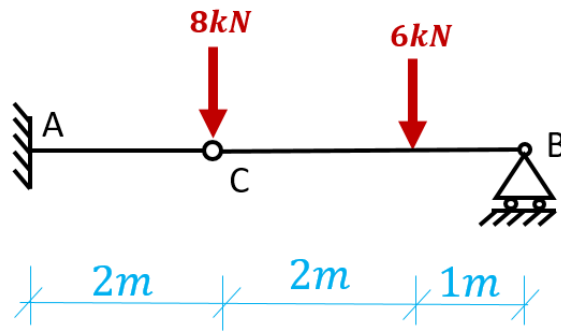
ב. מהלכי מומנטי כפיפה.



**תרגיל מספר 2**

עבור המבנה המועמס המתואר, דרוש לחשב ולשרטט:

- א. מהלכי כוחות גזירה.
- ב. מהלכי מומנטי כפיפה.

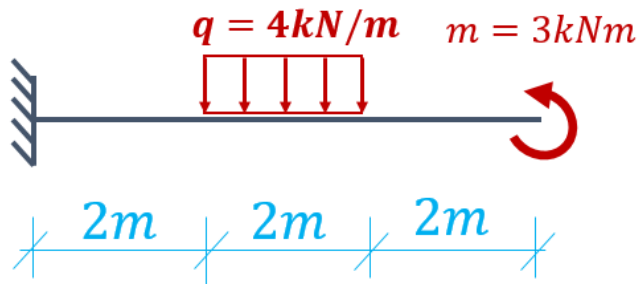




**תרגיל מספר 3**

עבור המבנה המועמס המתואר, דרוש לחשב ולשרטט:

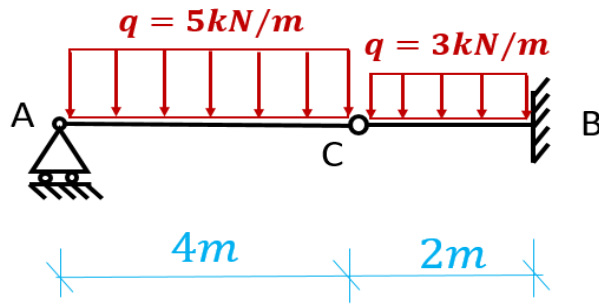
- א. מהלכי כוחות גזירה.
- ב. מהלכי מומנטי כפיפה.



**תרגיל מספר 4**

עבור המבנה המועמס המתואר, דרוש לחשב ולשרטט:

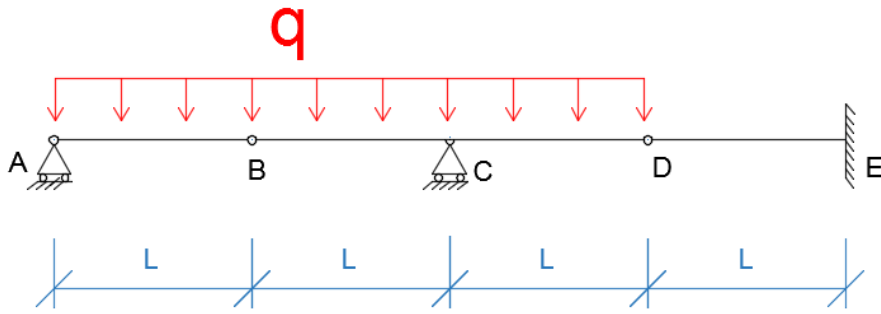
- א. מהלכי כוחות גזירה.
- ב. מהלכי מומנטי כפיפה.



**תרגיל מספר 5**

עבור המבנה המועמס המתואר, דרוש לחשב ולשרטט:

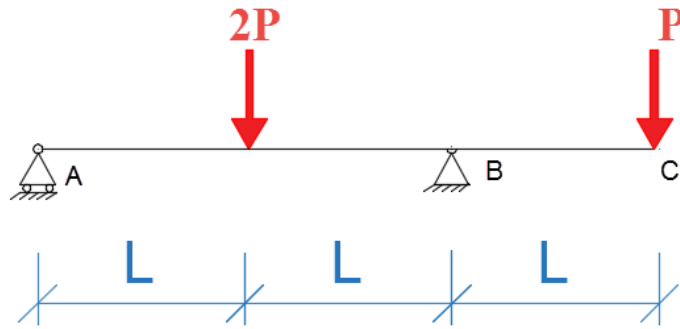
- א. מהלכי כוחות גזירה.
- ב. מהלכי מומנטי כפיפה.



**תרגיל מספר 6**

עבור המבנה המועמס המתואר, דרוש לחשב ולשרטט:

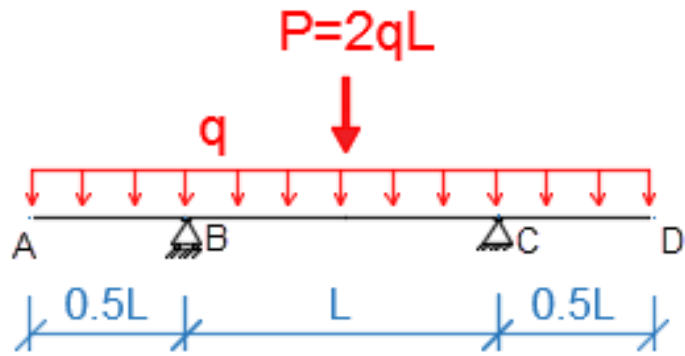
- א. מהלכי כוחות גזירה.
- ב. מהלכי מומנטי כפיפה.



**תרגיל מספר 7**

עבור המבנה המועמס המתואר, דרוש לחשב ולשרטט:

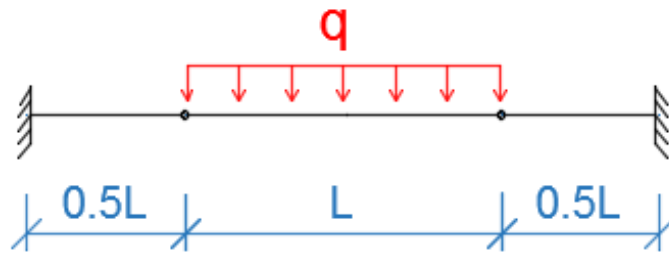
- א. מהלכי כוחות גזירה.
- ב. מהלכי מומנטי כפיפה.



**תרגיל מספר 8**

עבור המבנה המועמס המתואר, דרוש לחשב ולשרטט:

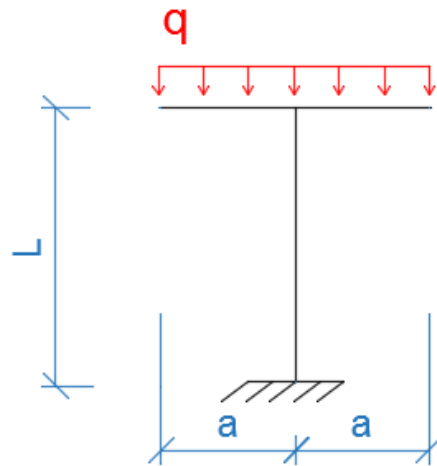
- א. מהלכי כוחות גזירה.
- ב. מהלכי מומנטי כפיפה.



**תרגיל מספר 9**

עבור המבנה המועמס המתואר, דרוש לחשב ולשרטט:

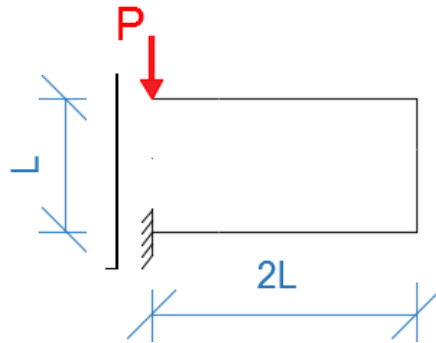
- א. מהלכי כוחות גזירה.
- ב. מהלכי מומנטי כפיפה.
- ג. מהלך כוחות ציריים.



**תרגיל מספר 10**

עבור המבנה המועמס המתואר, דרוש לחשב ולשרטט:

- א. מהלכי כוחות גזירה.
- ב. מהלכי מומנטי כפיפה.
- ג. מהלכי כוחות ציריים.





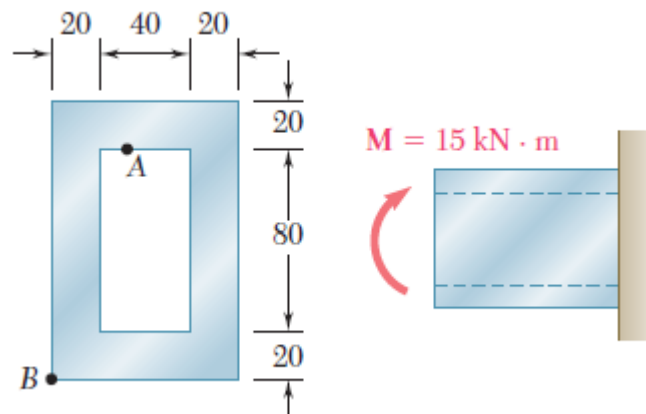
## פרק 6

# מאמצים נורמליים בכפיפה בחתכים סימטריים

### נושא 1 – מאמצים נורמליים בכפיפה בחתכים סימטריים

#### תרגיל מספר 1:

נתונה קורה זיזית מועמסת במומנט כפיפה כמתואר באיור.  
מידות החתך נתונות במ"מ.

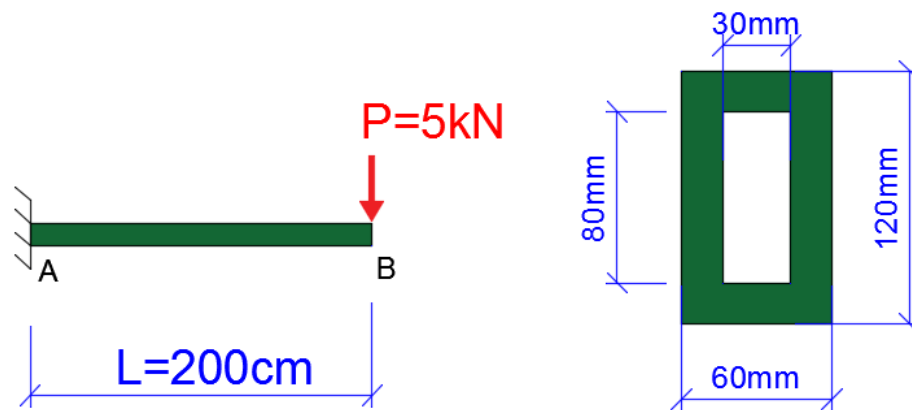


דרוש לקבוע מהם המאמצים הנורמליים בנקודות A ו-B המסומנות בחתך.

**תרגיל מספר 2:**

נתונה קורה זיזית הרתומה בקצה A ומועמסת בכוח מרוכז בקצה B.  
מידות החתך נתונות במ"מ.

$$\sigma_{all} = 140 \text{ MPa}$$

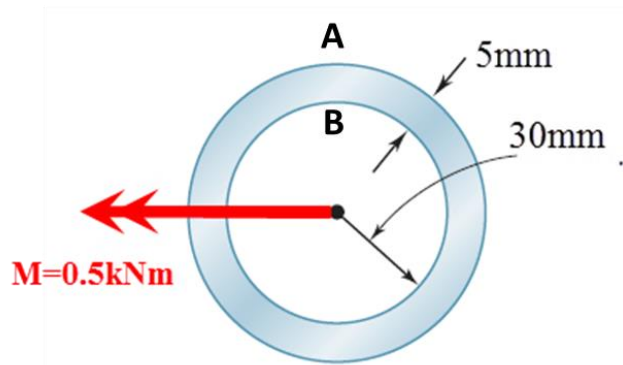


דרוש:

- א. מומנט תסבולת של החתך.
- ב. מאמץ צירי מקסימלי בחתך ומיקומו.

**תרגיל מספר 3:**

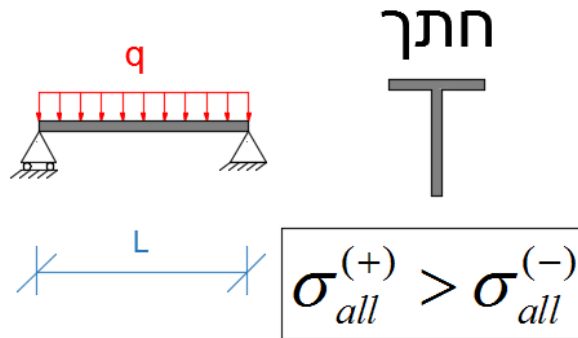
נתונה קורה זיזית מועמסת במומנט כפיפה כמתואר באיור.  
חתך הקורה עגול חלול.  
מידות החתך נתונות במ"מ.



דרוש לקבוע מהם המאמצים הנורמליים בנקודות A ו-B המסומנות בחתך.

**תרגיל מספר 4:**

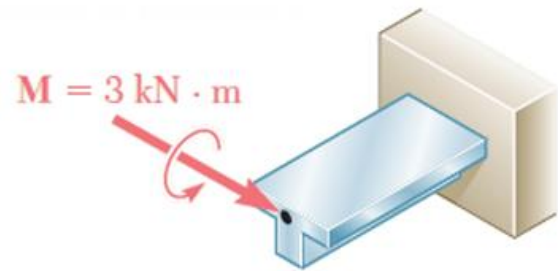
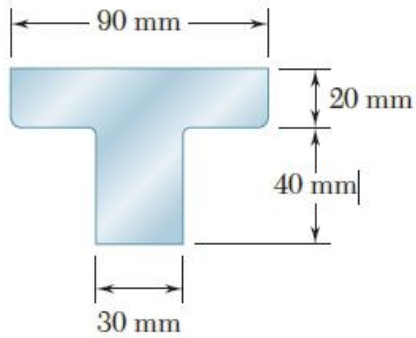
נתונה קורה על שני סמכים עמוסה כמתואר באיור.  
הקורה עשויה מחתך T עבורו מאמץ מותר במתיחה גדול ממאמץ מותר בלחיצה.



נדרש לקבוע האם כדאי להפוך את החתך?

**תרגיל מספר 5:**

על קצה הזיז פועל מומנט מרוכז כמתואר.  
מודול האלסטיות  $E=165\text{GPa}$ .



דרוש:

- א. מאמץ מתיחה ולחיצה מקסימליים בחתך.
- ב. רדיוס העקמומיות.

**תרגיל מספר 6:**

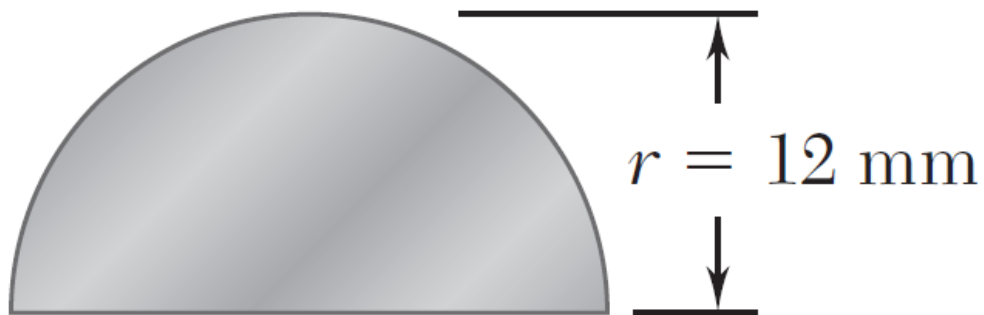
נתונה קורת אלומיניום עבורה מודול האלסטיות  $E=70\text{GPa}$ .

חתך הקורה הינו חצי עיגול עם רדיוס של 12 מ"מ.

במצב העמסה נתון,

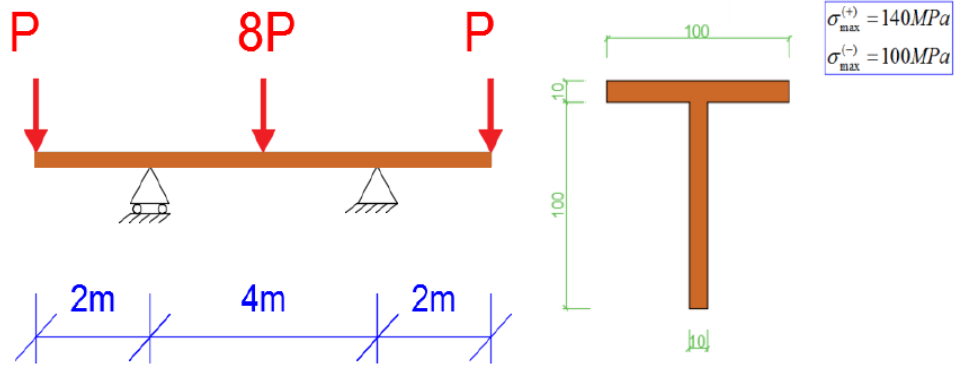
$$\rho = 2.5m$$

בהינתן כי חלק החתך השטוח פונה אל מרכז מעגל העקמומיות, נדרש לקבוע מאמצים נורמליים מקסימליים בחתך.



**תרגיל מספר 7:**

נתונה קורה עמוסה כמתואר.  
מידות החתך נתונות במ"מ.



דרוש:

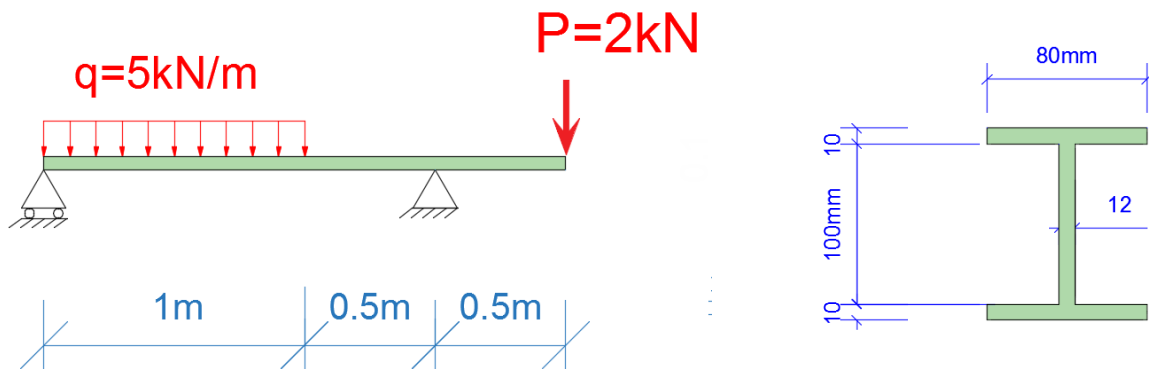
- א. מומנט תסבולת של החתך למומנט כפיפה חיובי ולמומנט כפיפה שלילי.
- ב. מהלכי מומנטים וכוחות גזירה לאורך הקורה.
- ג. מהו  $P_{max}$  שאפשר להפעיל על הקורה בהתחשב בכפיפה?

**תרגיל מספר 8:**

נתונה קורה מועמסת כמתואר.

חתך הקורה והמידות נתונים באיור.

מאמץ נורמלי מקסימלי מותר:  $\sigma_{all} = \pm 250 MPa$



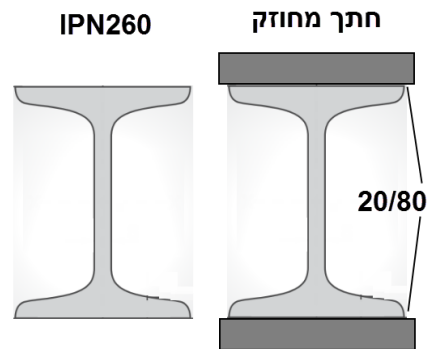
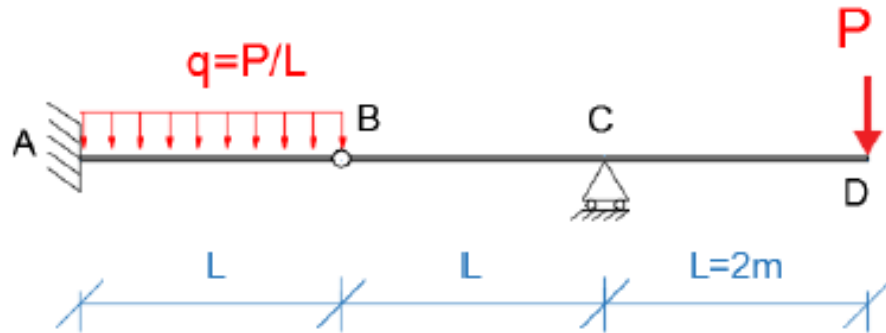
דרוש:

- א. מהלכי כוחות M, S לאורך הקורה.
- ב. מומנט תסבולת של החתך.
- ג. פילוג מאמצים נורמליים בחתך המסוכן.



**תרגיל מספר 9:**

נתונה קורה העשויה מחתך IPN260. ניתן לחזק את הקורה על ידי שתי פלטות 20/80 מ"מ כמתואר באיור.



$$h = 260\text{mm}$$

$$I_y = 5740\text{cm}^4$$

$$\sigma_{all}^{(+)} = 140\text{MPa}$$

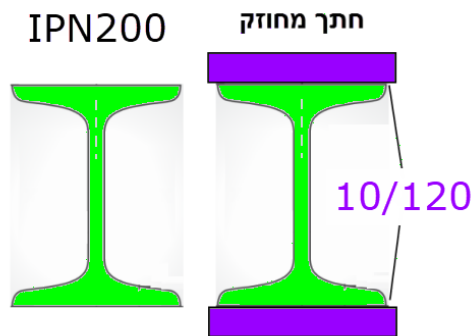
$$\sigma_{all}^{(-)} = 100\text{MPa}$$

דרוש:

- א. מהלכי כוחות M, S לאורך הקורה.
- ב. מהו העומס P המותר על הקורה הלא מחוזקת תוך התחשבות במאמצים המותרים?
- ג. במידה והקורה חוזקה על ידי שתי הפלטות כמתואר, מהו העומס P המותר על הקורה?
- ד. מהם הקטעים המדויקים הדורשים חיזוק עבור העומס P שהתקבל בסעיף ג?

תרגיל מספר 10:

נתונה קורה העשויה מחתך IPN200. ניתן לחזק את הקורה בצורה סימטרית על ידי שני פחים במידות 10/120 מ"מ כמתואר:



$$h = 20\text{cm}$$

$$I_x = 2140\text{cm}^4$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_{all}^+ = 1400 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \\ \sigma_{all}^- = 1400 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \end{array} \right. \quad \text{לפרופיל:}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_{all}^+ = 1400 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \\ \sigma_{all}^- = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \end{array} \right. \quad \text{לפח:}$$

דרוש:

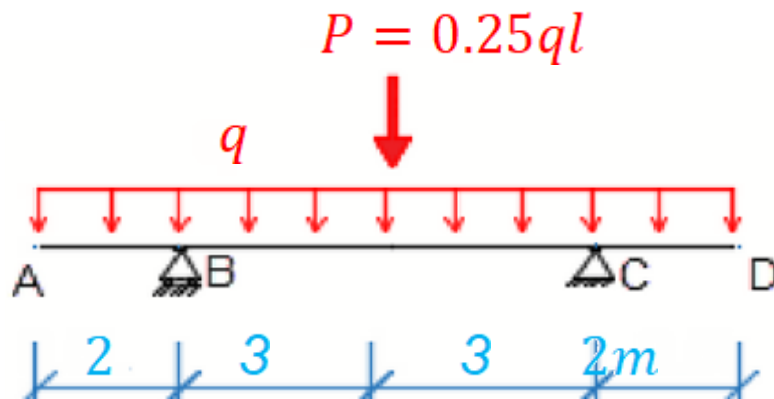
- מהלכי כוחות S, M לאורך הקורה.
- מהו העומס P המותר עבור הקורה הלא מחוזקת?
- במידה והקורה חוזקה על ידי שני הפלסות כמתואר, מהו העומס P המותר על הקורה?
- מהו הקטע הדורש חיזוק עבור העומס P שהתקבל בסעיף ג?

**תרגיל מספר 11:**

נתונה קורה בעלת חתך מלבני ברוחב 5 ס"מ ובגובה 15 ס"מ.  
מאמצים מותרים במתיחה ובלחיצה:

הקורה מועמסת כמתואר:

$$l=10m$$

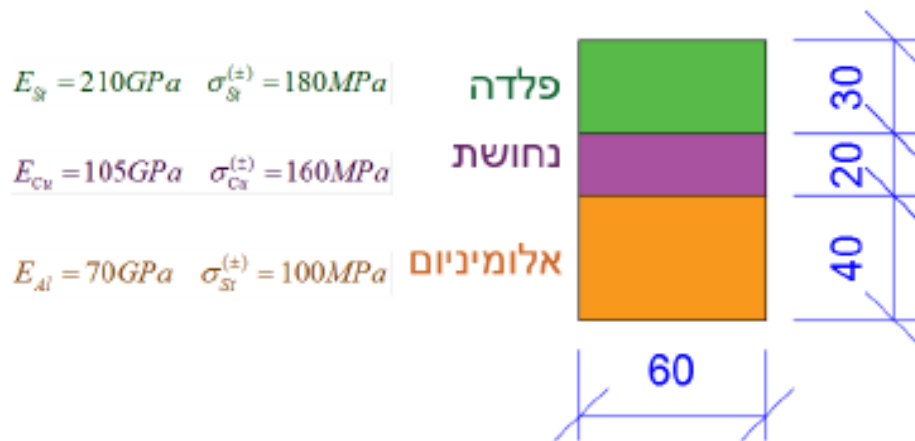


דרוש:

- מהו גודלו המקסימלי של העומס המפורס  $q_{max}$ ?
- עבור  $q=250N/m$ , ניתן לחזק את הקורה על ידי לוח בחתך 5/10 ס"מ. כיצד יש לחזק ובאיזה אזור של הקורה נדרש החיזוק?

**תרגיל מספר 12:**

נתון חתך מרוכב העשוי משלושה חומרים המודבקים היטב ביניהם.  
מידות החתך נתונות במ"מ.  
על החתך פועל מומנט כפיפה  $M$ .

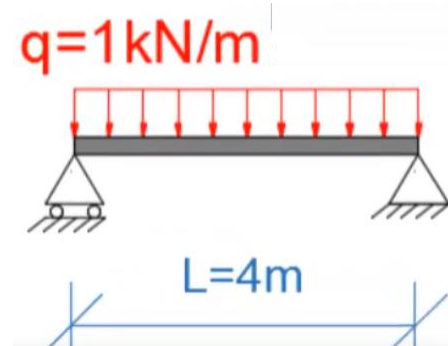
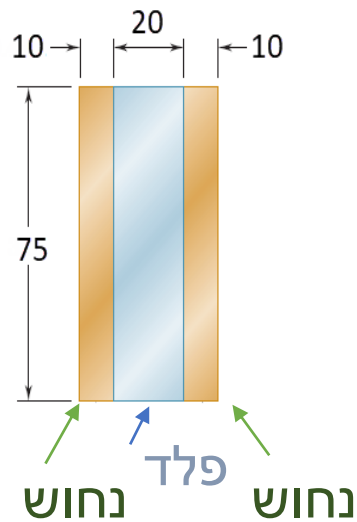


דרוש:

- לשרטט פילוג מאמצים נורמליים בחתך כפונקציה של  $M$ .
- פילוג עיבורים נורמליים בחתך בצורה איכותית ללא חישובים.
- גודלו של מומנט התסבולת של החתך.

**תרגיל מספר 13:**

נתונה קורה אשר החתך שלה הינו מרוכב העשוי מפלדה ונחושת המודבקים אליהם היטב כמתואר:



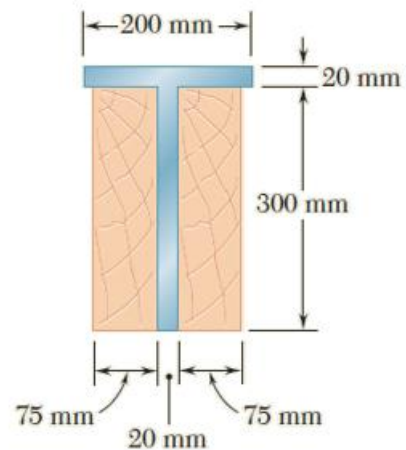
$E_{cu} = 105 \text{ GPa}$
$E_{st} = 210 \text{ GPa}$

דרוש:

- א. לחשב ולשרטט את החתך האקוויולנטי.
- ב. מומנט התיסבולת של החתך.
- ג. פילוג מאמצים נורמליים בפלדה ובנחושת בחתך המסוכן.
- ד. פילוג העיבורים בחתך.

**תרגיל מספר 14:**

נתון חתך מרוכב העשוי משלושה חומרים המודבקים היטב ביניהם.  
מידות החתך נתונות במ"מ.  
על החתך פועל מומנט כפיפה  $M$ .



דרוש:

- א. לשרטט פילוג מאמצים נורמלים בחתך כפונקציה של  $M$ .
- ב. פילוג עיבורים נורמליים בחתך בצורה איכותית ללא חישובים.
- ג. גודלו של מומנט התסבולת של החתך.

**תרגיל מספר 15:**

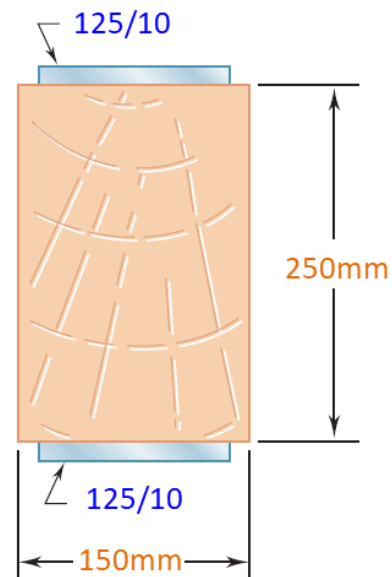
נתון חתך מרוכב כמתואר:

החתך במידות 250/150 מ"מ עשוי עץ, עבורו:

$$E=13GPa ; \sigma_{all}=12MPa$$

שני הלוחות במידות 125/10 מ"מ עשויים פלדה, עבורם:

$$E=200GPa ; \sigma_{all}=165MPa$$

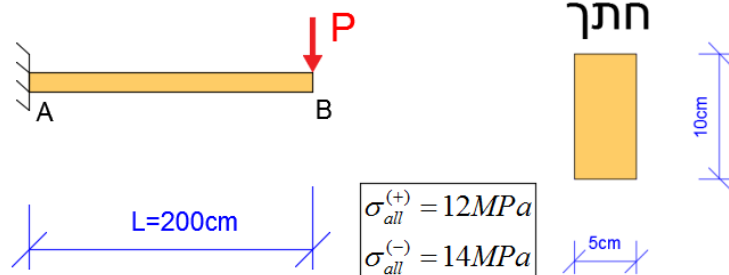


דרוש:

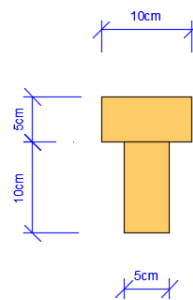
- א. לחשב ולשרטט את החתך האקוויבולנטי.
- ב. עבור מומנט כפיפה השווה ל-4kNm, לחשב ולשרטט את פילוג המאמצים הנורמליים.
- ג. עבור מומנט כפיפה השווה ל-4kNm, לחשב ולשרטט את פילוג העיבורים הנורמליים.

**תרגיל מספר 16:**

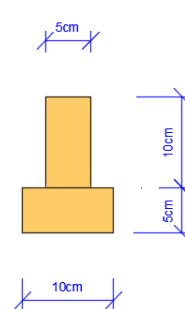
נתונה קורה בעלת חתך מלבני ברוחב 5 ס"מ ובגובה 10 ס"מ.  
הקורה עשויה עץ. מאמצים מותרים נתונים בתרשים.



חתך מחוזק 1



חתך מחוזק 2



דרוש:

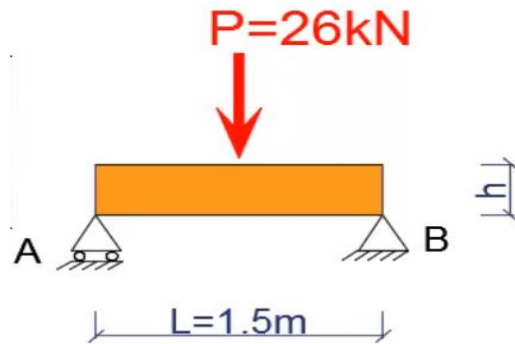
- א. מהו  $P_{max}$ ?
- ב. עבור  $P=1.2kN$  יש לחזק את הקורה באזורים המסוכנים על ידי הדבקה של קורה זהה כאשר מידת הרוחב של החיזוק היא 10 ס"מ.

1. איזה חתך עדיף? חתך 1 או חתך 2?
2. מהו המיקום המדויק שבו יש לחזק את הקורה?
3. מהו מאמץ הגזירה הממוצע בדבק?



**תרגיל מספר 17:**

קורת עץ עשויה חתך מלבני ברוחב 10 ס"מ ובגובה h.  
הקורה נתונה לעומס מרוכז באמצע המפתח כמתואר:



(+)	$\sigma_{all} = 12\text{MPa}$
(-)	$\sigma_{all} = 14\text{MPa}$
	$\tau_{all} = 0.8\text{MPa}$

דרוש:

- מהו הגובה המינימלי של החתך כך שהמאמצים לא יעברו את המותרים?
- עבור  $h = 25\text{ cm}$  ועם עומס מרוכז זהה הפועל במרכז המפתח של קורה על שני סמכים, מהו המפתח המקסימלי במקרה זה?

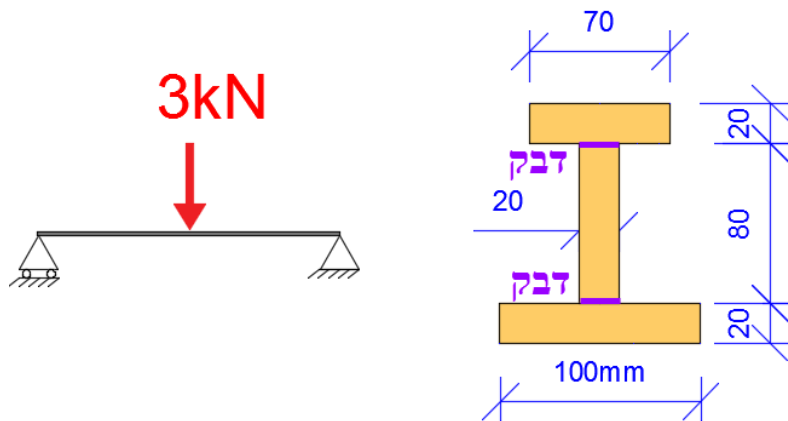
**תרגיל מספר 18:**

חתך הקורה עשוי שלושה לוחות עץ המודבקים ביניהם כמתואר.

חוזק ההידבקות הינו:  $\tau_{all} = 0.8MPa$

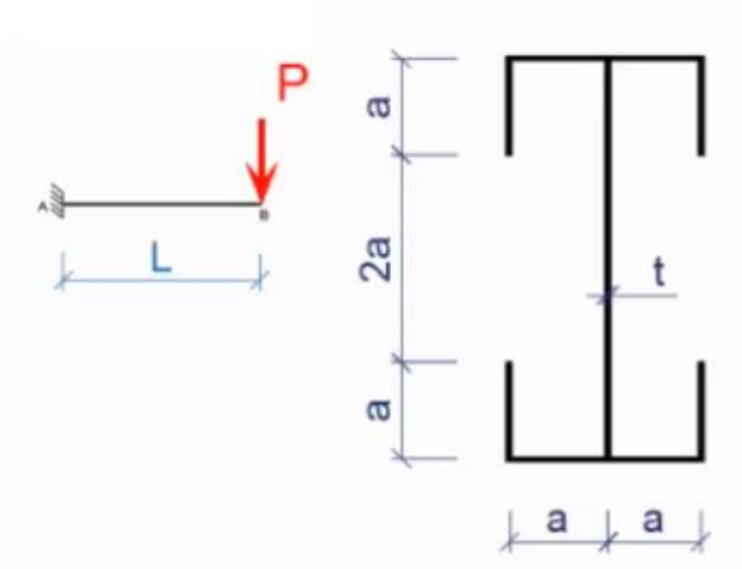
הקורה מועמסת כמתואר.

דרוש לבדוק את עמידות הדבק.



**תרגיל מספר 19:**

זיז רתום עשוי חתך דק דופן עמוס בכוח מרוכז  $P$  בקצה כמתואר.

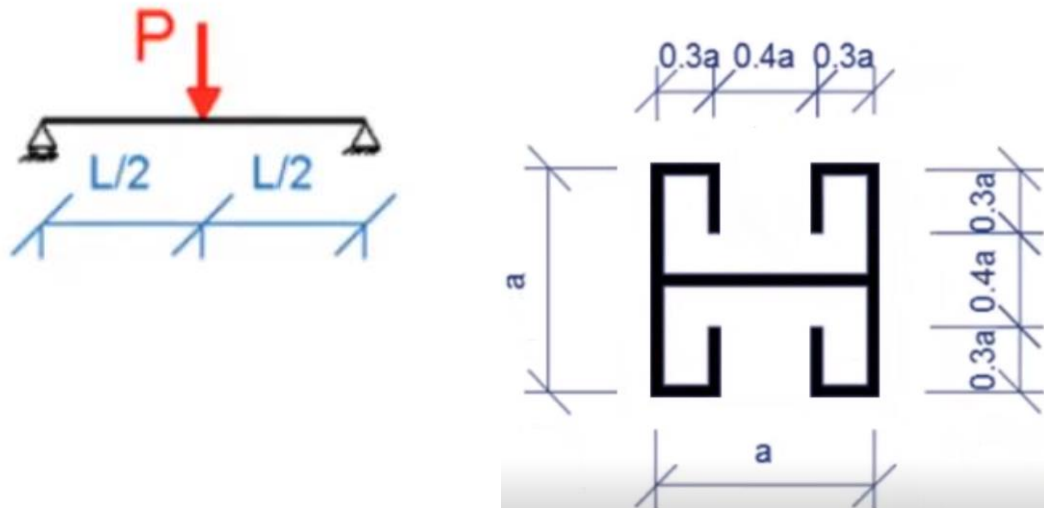


דרוש:

- א. למצוא את מומנט האינרציה של החתך כפונקציה של הפרמטרים הנתונים.
- ב. פילוג מאמצי גזירה בחתך.
- ג. פילוג מאמצים נורמליים בחתך.

**תרגיל מספר 20:**

קורה על שני סמכים בעלת חתך דק דופן עם עובי אחיד  $t$ .  
הקורה עמוסה בעומס מרוכז  $P$  באמצע המפתח כמתואר:

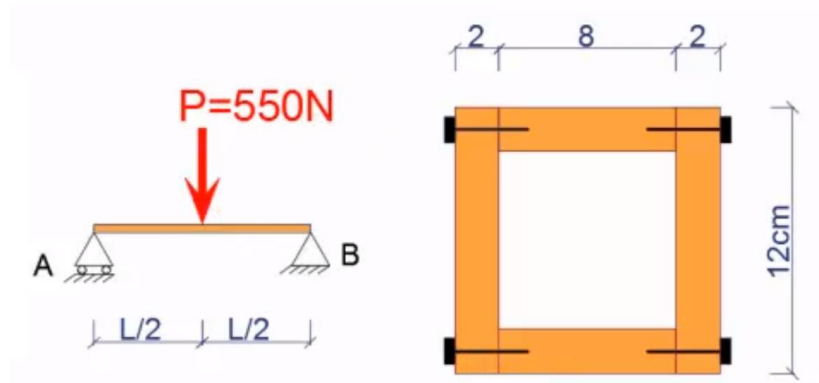


דרוש:

- א. למצוא את מומנט האינרציה של החתך כפונקציה של הפרמטרים הנתונים.
- ב. פילוג מאמצי גזירה בחתך.
- ג. פילוג מאמצים נורמליים בחתך.

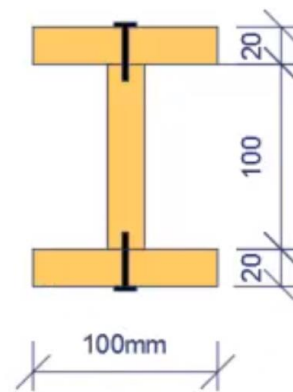
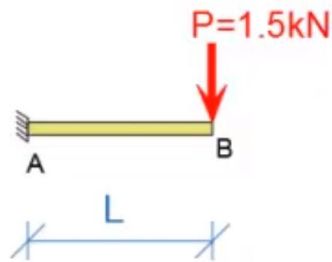
**תרגיל מספר 21:**

נתונה קורה עמוסה כמתואר.  
 חתך הקורה מורכב מארבעה לוחות המחוברים ביניהם על ידי ארבעה מסמרים.  
 מרחק בין המסמרים לאורך הקורה :  $c=8\text{cm}$ .  
 דרוש : לקבוע מהו כוח הגזירה הפועל בכל מסמר



**תרגיל מספר 22:**

נתונה קורה עמוסה כמתואר.  
 חתך הקורה מורכב משלושה לוחות המחוברים ביניהם על ידי שני מסמרים.  
 מרחק בין המסמרים לאורך הקורה :  $c=5\text{cm}$ .  
 דרוש : לקבוע מהו כוח הגזירה הפועל בכל מסמר

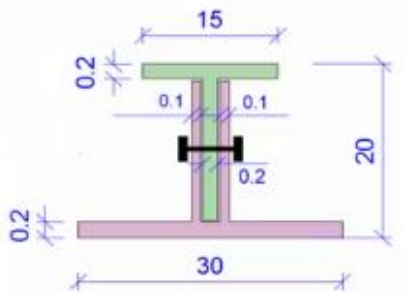


תרגיל מספר 23:



נתונים:

- זיו רתום עמוס בכח מרוכז P בקצה B.
- חתך הקורה מורכב משני פרופילים המחוברים על ידי שגם באמצע גובה החתך כמתואר:
- פרופיל תחתון עשוי מחומר 1.
- פרופיל עליון T עשוי מחומר 2.
- מידות החתך נתונות בס"מ.
- נתוני החומרים וכח מקסימלי בשגם:



$$E_1 = 100GPa$$

$$\sigma_{1,all} = 250MPa$$

$$E_2 = 200GPa$$

$$\sigma_{2,all} = 250MPa$$

$$F_{nail,all} = 1.5kN$$

דרוש:

- א. מומנט תסבולת של החתך לכפיפה.
- ב. כוח P מקסימלי בהתאם למגבלות הכפיפה.
- ג. עבור עומס מירבי מסעיף ב, לחשב מרחק פסיעה בין השגמים לאורך הקורה.

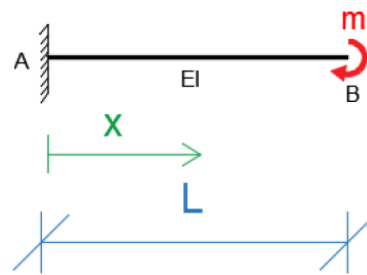
## פרק 7

# הקו האלסטי

### נושא 1 – הקו האלסטי

#### תרגיל מספר 1:

קורה זיזית הרתומה בקצה A ומועמסת במומנט מרוכז  $m$  בקצה B כמתואר.

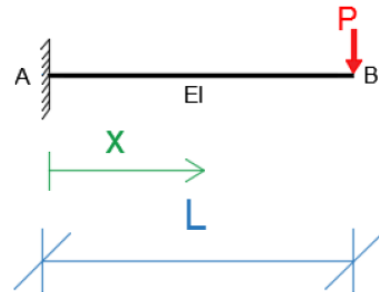


- דרוש,
- א. להראות שמשוואת הקו האלסטי של המבנה היא:  $y = \frac{mx^2}{2EI}$
- ב. למצוא את השקיעה בנקודה B.
- ג. למצוא זווית שיפוע בנקודה B.



**תרגיל מספר 2:**

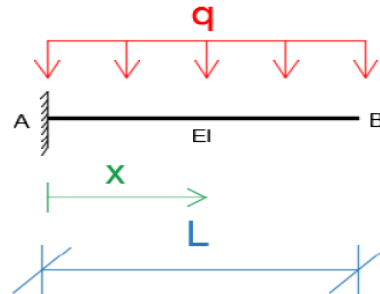
קורה זיזית הרתומה בקצה A ומועמסת בכוח מרוכז P בקצה B כמתואר.



- דרוש,
- א. להראות שמשוואת הקו האלסטי של המבנה היא:  $y = \frac{PLx^2}{6EI} (3 - \frac{x}{L})$
- ב. למצוא את השקיעה בנקודה B.
- ג. למצוא זווית שיפוע בנקודה B.

**תרגיל מספר 3:**

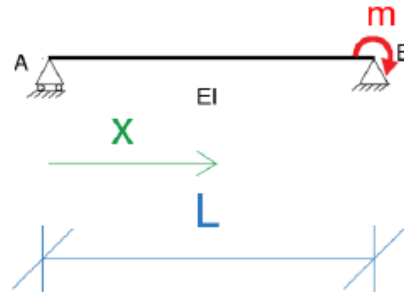
קורה זיזית הרתומה בקצה A ומועמסת בכוח מפורס אחיד P כמתואר.



- דרוש,
- א. להראות שמשוואת הקו האלסטי של המבנה היא:  $y = \frac{qL^2x^2}{24EI} (6 + \frac{x^2}{L^2} - 4\frac{x}{L})$
- ב. למצוא את השקיעה בנקודה B.
- ג. למצוא זווית שיפוע בנקודה B.

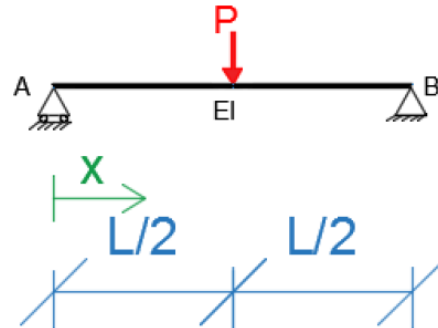
**תרגיל מספר 4:**

קורה על שני סמכים מועמסת במומנט מרוכז  $m$  מעל הסמך הימני כמתואר.



- דרוש,
- א. להראות שמשוואת הקו האלסטי של המבנה היא:  $y = -\frac{mLx}{6EI} \left(1 - \frac{x^2}{L^2}\right)$
- ב. למצוא שקיעה מקסימלית בקורה ואת מיקומה.
- ג. למצוא זווית שיפוע בנקודה B ונקודה A.

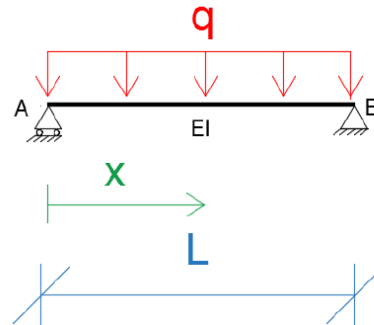
**תרגיל מספר 5:**



- דרוש,
- א. להראות שמשוואת הקו האלסטי של המבנה היא:  $y = \frac{PL^3}{16EI} \left( \frac{x}{L} - \frac{4x^3}{3L^3} \right)$
- ב. למצוא שקיעה מקסימלית בקורה ואת מיקומה.
- ג. למצוא זווית שיפוע בנקודה B ונקודה A.

**תרגיל מספר 6:**

קורה על שני סמכים מועמסת בכוח מפורס אחיד  $q$  לכל אורך המפתח כמתואר.

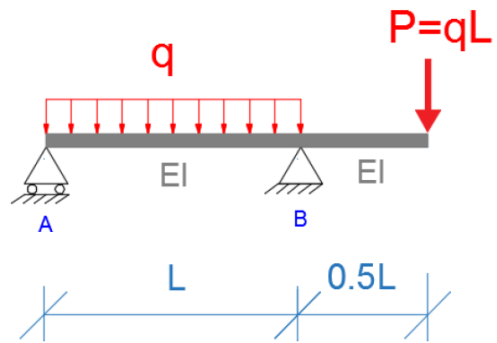


דרוש,

- א. להראות שמשוואת הקו האלסטי של המבנה היא:  $y = \frac{qL^4}{24EI} \left( \frac{x}{L} - 2\frac{x^3}{L^3} + \frac{x^4}{L^4} \right)$
- ב. למצוא שקיעה מקסימלית בקורה ואת מיקומה.
- ג. למצוא זווית שיפוע בנקודה B ונקודה A.

**תרגיל מספר 7:**

עבור המבנה המועמס המתואר באיור דרוש,

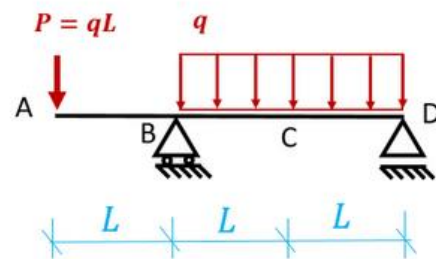


- א. להראות בצורה סכמתית את צורת הדפורמציה של המבנה.
- ב. משוואת הקו האלסטי עבור כל קטעי המבנה..

**תרגיל מספר 8:**

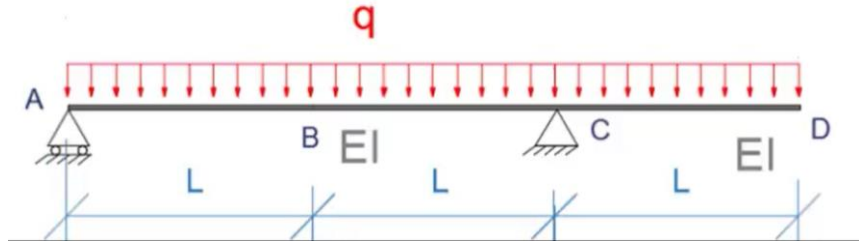
למבנה שבאיור יש קשיחות EI לכפיפה.

דרוש למצוא את הקו האלסטי של הקטע BD באמצעות המשוואה הדיפרנציאלית. ולקבוע את גודלה של השקיעה בנקודה C.



**תרגיל מספר 9:**

עבור המבנה המתואר באיור, נתון:



$$E = 200 \text{ GPa}$$

$$I = 5 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$L = 3 \text{ m}$$

$$q = 5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

דרוש:

- א. למצוא את משוואת הקו האלסטי בקטע AC.
- ב. למצוא את השקיעה באמצע המפתח AC (נקודה B).
- ג. השווה את התשובה שמצאת בסעיף ב' עם פתרון המתקבל משימוש בטבלאות.



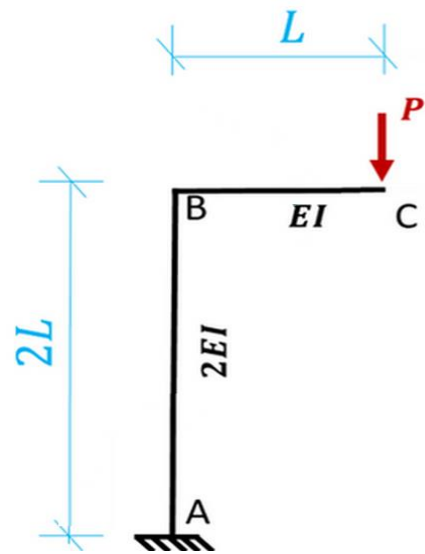
**תרגיל מספר 10:**

עבור המבנה הנתון באיור דרוש:

א. משוואת הקו האלסטטי בכל רכיבי המבנה.

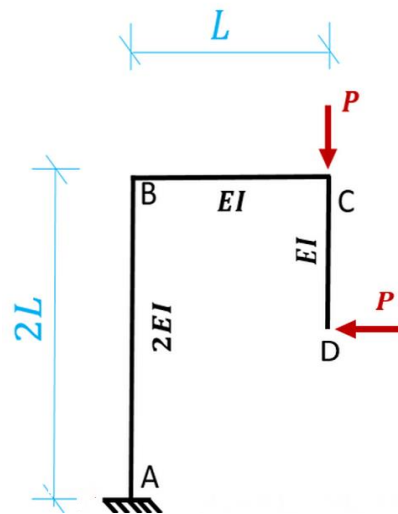
ב. הזזה אופקית ואנכית של נקודה C.

\*נדרש להזניח השפעות של דפורמציות ציריות.



**תרגיל מספר 11:**

נתונה מסגרת מישורית זיזית ABCD כמתואר באיור.  
 בנקודה A המסגרת רתומה. בפינות B ו-C החיבור הוא קשיח לחלוטין ונקודה D המסגרת חופשית. על המסגרת פועלים שני עומסים מרוכזים כמתואר באיור.  
 הצירים המקומיים של שלושת הקטעים מצוינים באיור.

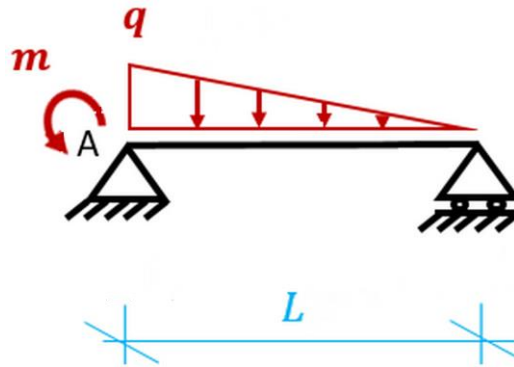


דרוש:

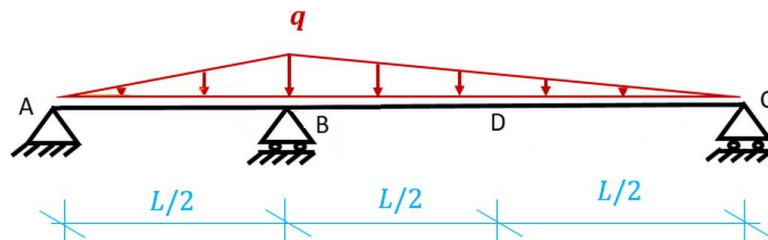
- א. לחשב ולשרטט את מהלכי הכוחות הפנימיים (צירי, גזירה ומומנטים) ולשרטט סכמתית את הקו האלסטי בכל קטעי המבנה.
- ב. לרשום את משוואות הקו האלסטי בשלושת קטעי המסגרת ואת תנאי השפה. ניתן להזניח את הדפורמציה הצרירת.

תרגיל מספר 12:

א. עבור המבנה הנתון באיור נדרש לרשום את משוואת הקו האלסטי.

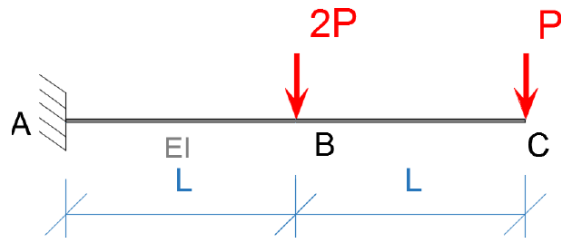


ב. תוך שימוש בפתרון סעיף א, נדרש למצוא את השקיעה בקורה בנקודה  $D$ .

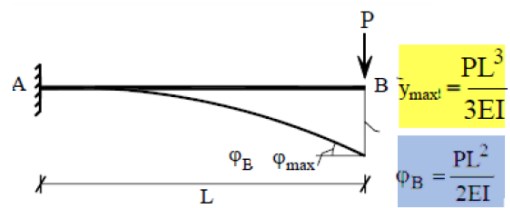


**תרגיל מספר 13:**

זיז רתום בנקודה A עם עומסים מרוכזים כמתואר.

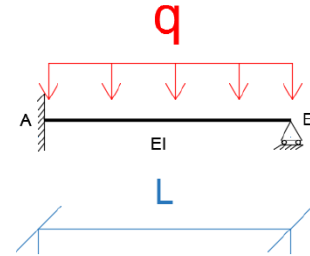


דרוש, שקיעה של נקודה C תוך שימוש במקרה טבלה.



**תרגיל מספר 14:**

קורה עם ריתום בקצה A ועם סמך נייד בקצה B עמוסה בכוח מפורס אחיד  $q$  לכל אורכה.

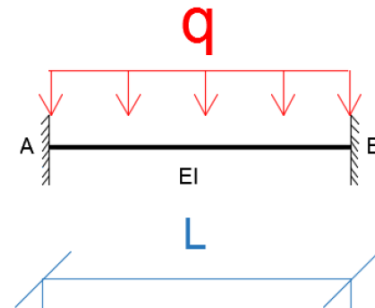


דרוש:

- א. למצוא את הריאקציה בנקודה B.
- ב. מהלכי מומנטים וכוחות גזירה.

**תרגיל מספר 15:**

קורה דו רתומה עמוסה בכוח מפורס אחיד  $q$  לכל אורכה.

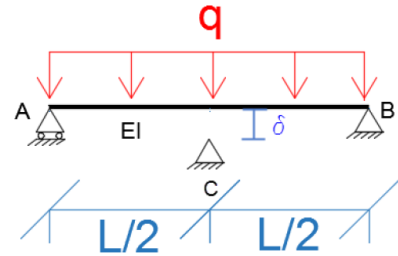


דרוש:

- א. למצוא את הראקציות בסמכים.
- ב. מהלכי מומנטים וכוחות גזירה.

**תרגיל מספר 16:**

נתונה קורה על שני סמכים עמוסה בעומס מפורס אחיד  $q$  לכל אורכה. באמצע מפתח הקורה ישנו סמך  $C$  במרחק  $\delta$  לפני הפעלת העומס.



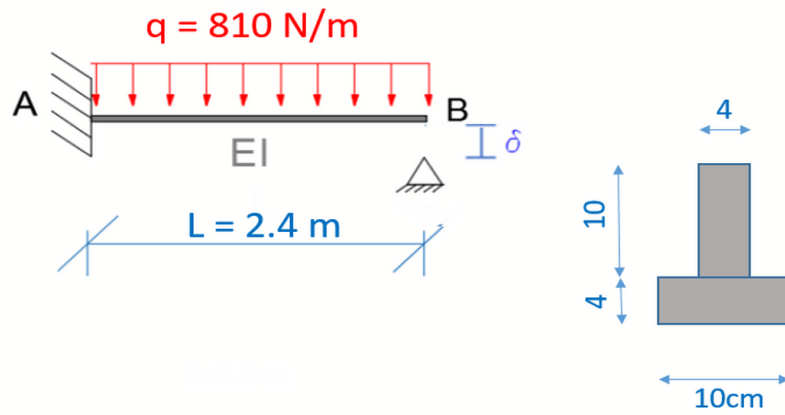
דרוש למצוא ביטוי פרמטרי עבור הריאקציה בנקודה  $C$  עבור עומס  $q$  הגדול מהעומס הדרוש לסגירת הרווח.

**תרגיל מספר 17:**

נתונה קורה זיזית עמוסה בעומס מפורס אחיד.

מודול האלסטיות  $E=12 \text{ GPa}$ .

מידות החתך נתונות בס"מ.



דרוש:

בהנחה שהמרחק  $\delta$  גדול, כך שלא נוצר מגע בין קצה הזיז לסמך, נדרש לחשב את השקיה בקצה הקורה.



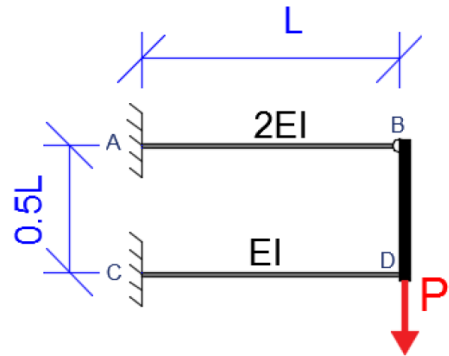
**תרגיל מספר 18:**

נתון מסגרת כמתואר.

ישנו פרק בנקודה B.

חלק BD הינו קשיח אינסופית לכפיפה.

ניתן להזניח השפעות של דפורמציות ציריות בכל חלקי המבנה.



דרוש:

- א. לצייר את צורת הקו האלסטי של המבנה ומהלך מומנטים בצורה עקרונית.
- ב. למצוא את ההזזה בנקודה D.
- ג. מהלכי כוחות ציריים, גזירה ומומנטים.

## פרק 8

# קריסה

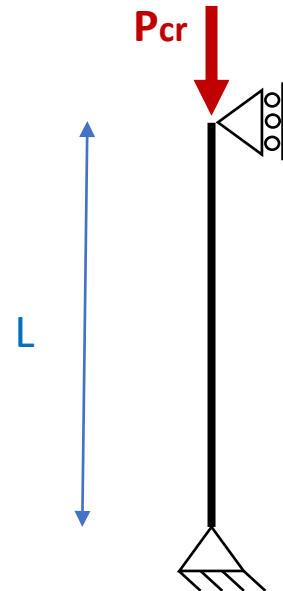
### נושא 1 – קריסה

#### תרגיל מספר 1:

דרוש:

להוכיח כי הכוח הקריטי שיגרום לקריסה של המוט הוא:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2}$$

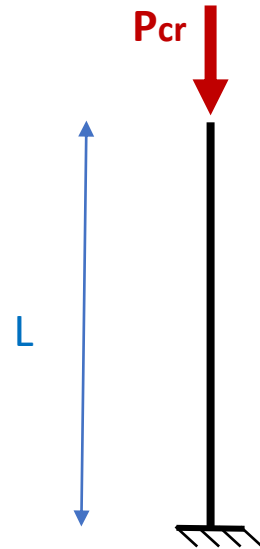


תרגיל מספר 2:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{4L^2}$$

דרוש:

להוכיח כי הכוח הקריטי שיגרום לקריסה של המוט הוא:

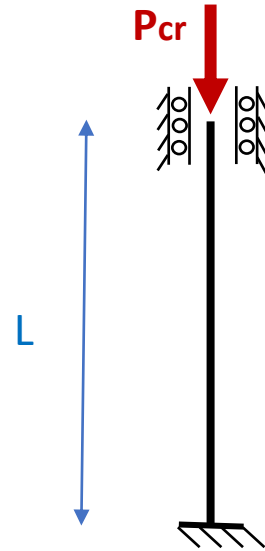


**תרגיל מספר 3:**

דרוש:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(0.5L)^2}$$

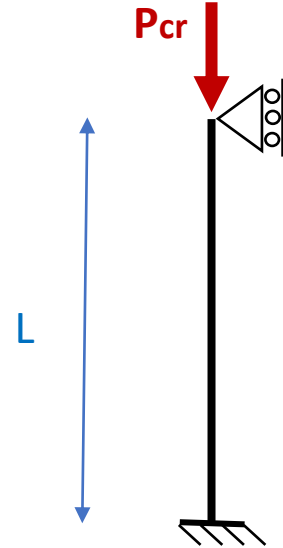
להוכיח כי הכוח הקריטי שיגרום לקריסה של המוט הוא:



**תרגיל מספר 4:**

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(0.7L)^2}$$

דרוש:  
להוכיח כי הכוח הקריטי שיגרום לקריסה של המוט הוא:

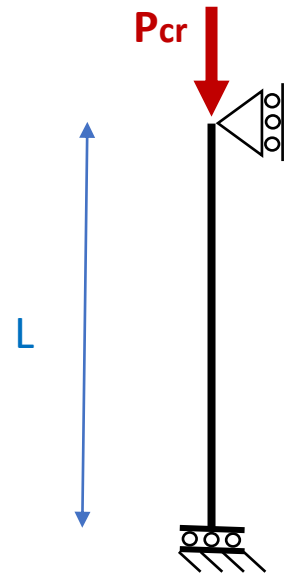


תרגיל מספר 5:

דרוש:

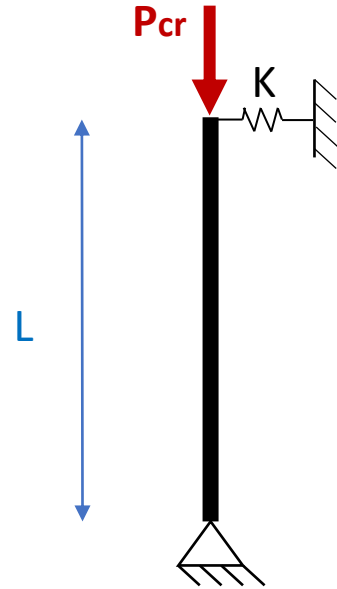
$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{4L^2}$$

להוכיח כי הכוח הקריטי שיגרום לקריסה של המוט הוא:



**תרגיל מספר 6:**

נתון מוט בעל קשיחות מוחלטת לכפיפה.  
דרוש למצוא את העומס הקריטי שיגרום לקריסת העמוד המתואר באיור.

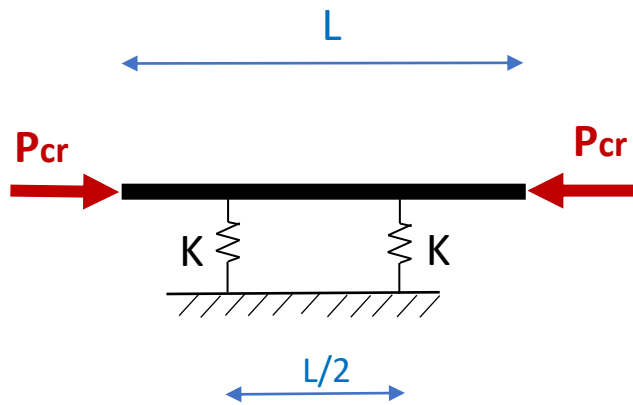


**תרגיל מספר 7:**

נתון מוט בעל קשיחות מוחלטת לכפיפה.  
 המוט נשען על שני סמכים גמישים.  
 דרוש למצוא את העומס הקריטי שיגרום לקריסת העמוד המתואר באיור.

$$k = 10kN / m$$

$$L = 4m$$



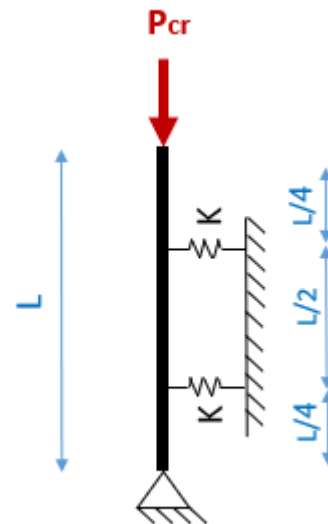


**תרגיל מספר 8:**

נתון מוט בעל קשיחות מוחלטת לכפיפה.  
 המוט נתמך אופקית על שני סמכים גמישים.  
 דרוש למצוא את העומס הקריטי שיגרום לקריסת העמוד המתואר באיור

$$k = 40kN / m$$

$$L = 1m$$



**תרגיל מספר 9:**

נתון עמוד מועמס כמתואר.

חתך העמוד הינו עגול מלא.

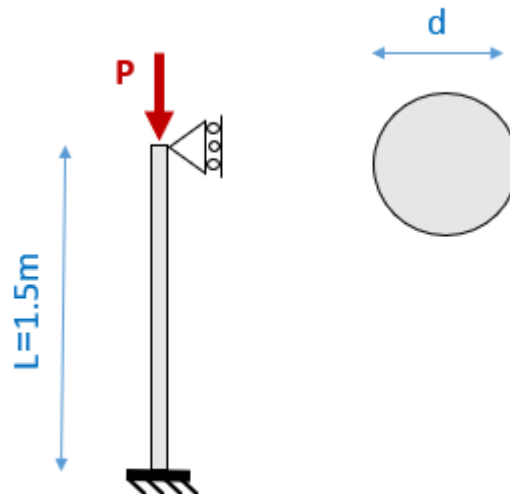
נתונים נוספים:

$$E = 200GPa$$

$$\sigma_{all} = 140 MPa$$

$$d = 30mm$$

דרוש למצוא את הכוח המקסימלי בהגבלת מאמץ מותר ובהגבלת קריסה



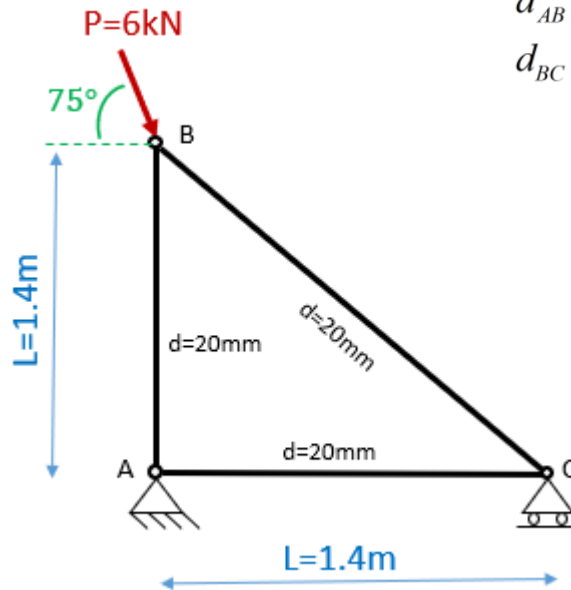
**תרגיל מספר 10:**

עבור המסבך המועמס המתואר, נדרש לקבוע מהו מקדם הביטחון לקריסה.  
נתון כי כל המוטות הם עגולים מלאים, קטרי המוטות נתונים באיור.

$$E = 200GPa$$

$$d_{AB} = 20mm$$

$$d_{BC} = 25mm$$



דרוש לקבוע את מקדם הביטחון לקריסה.

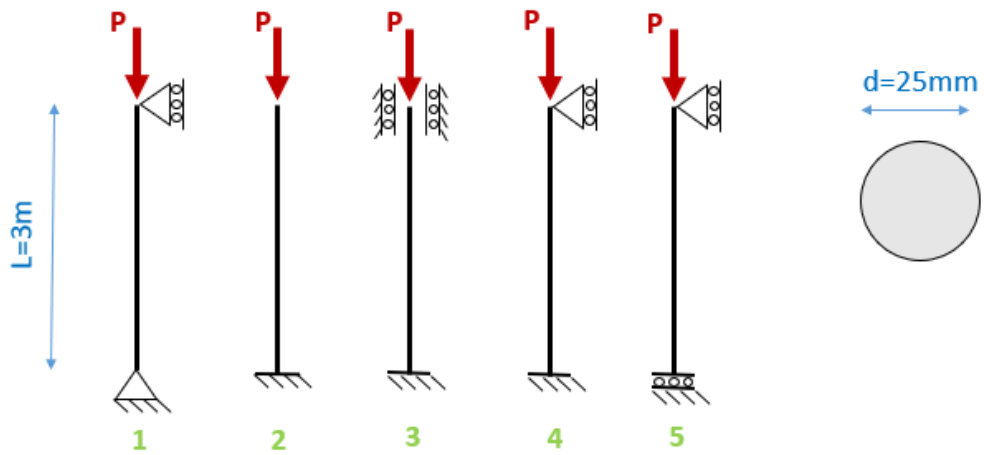
**תרגיל מספר 11:**

כל המוטות עשויים אותו חומר ובעלי אותו חתך.  
 עבור מקדם ביטחון לקריסה  $F.S=2.5$  נדרש לקבוע את הכוח המותר בהתחשב בקריסה עבור כל אחד מהמקרים המתוארים.

נתונים:

$E=210\text{GPa}$

חתך עגול מלא.

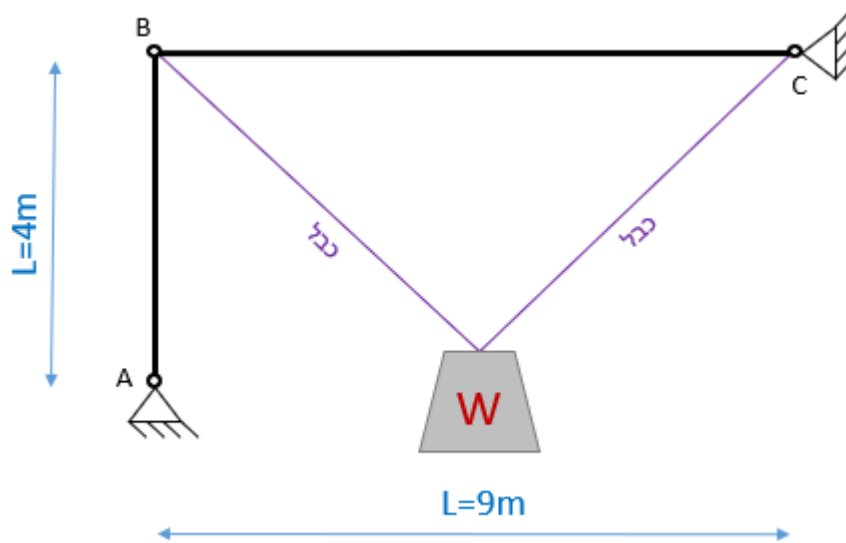


**תרגיל מספר 12:**

נדרש לחשב את המשקל המקסימלי  $W$  שניתן לתלות בנק'  $D$  תוך התחשבות בקריסה במישור הדיף, ואת הגובה  $H$  שיאפשר את העומס הזה.

$$E = 70GPa$$

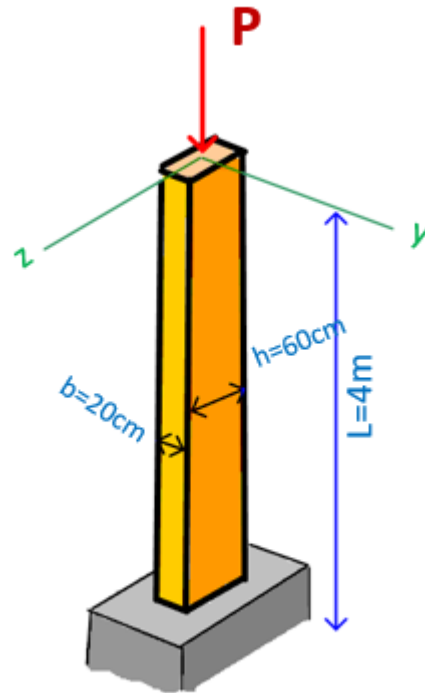
$$I = 1.12 \cdot 10^{-7} m^4$$



תרגיל מספר 13:

דרוש למצוא את העומס הקריטי שיגרום לקריסת העמוד המתואר באיור.

$$E = 70GPa$$



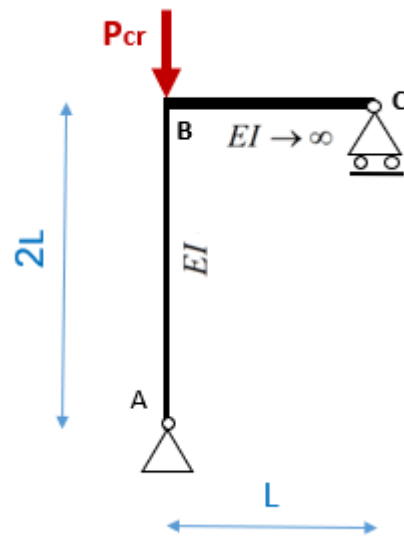
**תרגיל מספר 14:**

קשיחות לכפיפה בקטע BC הינה אינסופית.  
נדרש למצוא את העומס הקריטי שיגרום לקריסה במישור המסגרת.

$$E = 70GPa$$

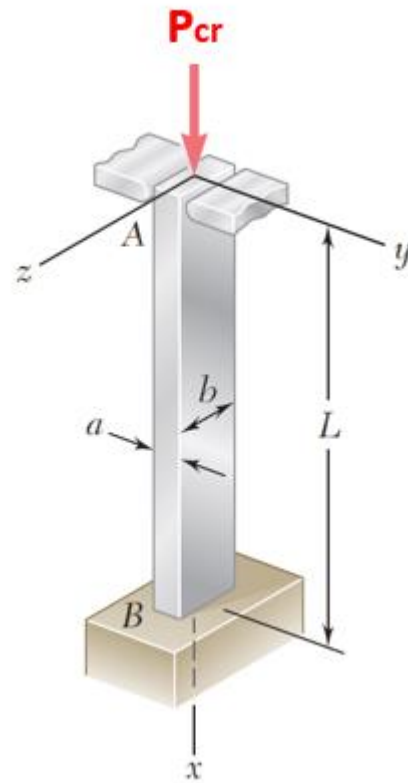
$$I = 5 \cdot 10^{-6} m^4$$

$$L = 3m$$



**תרגיל מספר 15:**

עמוד פלדה בגובה של 3 מ' מועמס בכוח  $P$  כמתואר.  
קצה העמוד  $A$  חסום לתנועה לכיוון  $y$  וחופשי לכיוון  $z$ .  
נדרש למצוא את היחס האופטימלי  $a/b$ .





**תרגיל מספר 16:**

דרוש:

- א. להראות סכמתית את צורת הקריסה
- ב. למצוא את העומס הקריטי שיגרום לקריסה במישור המסגרת

