



[www.daman-elohim.com](http://www.daman-elohim.com)

שיעורים אונליין להנדסאים

## חישוב סטטי וחוזק חומרים להנדסאי בניין

**חומר הקורס**

הוכן ע"י

**אינג' חליל גנטוס**

[khaliljtk@gmail.com](mailto:khaliljtk@gmail.com)

כל הזכויות שמורות © COPYRIGHT

חלק 1

# חישוב סטטי



[www.daman-elohim.com](http://www.daman-elohim.com)

## יחידות מיצוי

$$\begin{aligned} 2.1 \times 10^5 \text{ (MPa) } & \text{ik} & E = 2.05 \times 10^5 \text{ (MPa)} & : \text{מחזורי עומק המערה} & * \\ 2.1 \times 10^6 \text{ (kg/cm}^2\text{) } & \text{ik} & E = 2.05 \times 10^6 \text{ (kg/cm}^2\text{)} & & \end{aligned}$$

$$1 \text{ ton} = 10 \text{ kN} \quad \leftarrow \quad \text{כוח מחזורי : kN, ton, kg} \quad *$$

$$\frac{1 \text{ ton}}{\text{m}} = 10 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \leftarrow \quad \text{עומס מחזורי ליחידת אורך : } \frac{\text{ton}}{\text{m}}, \frac{\text{kN}}{\text{m}}, \frac{\text{kg}}{\text{m}} \quad *$$

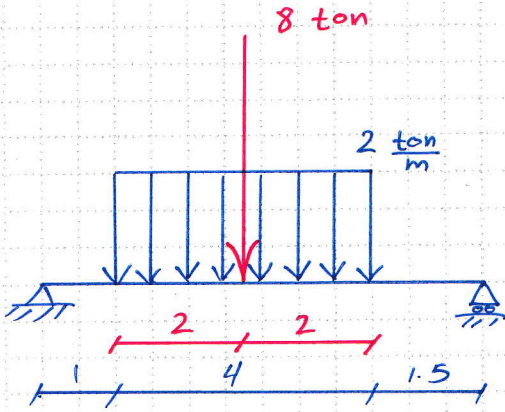
$$\frac{1 \text{ ton}}{\text{m}^2} = 10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \leftarrow \quad \text{עומס מחזורי ליחידת שטח : } \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}, \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}, \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \quad *$$

$$1 \text{ ton} \cdot \text{m} = 10 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \leftarrow \quad \text{טורקינג : ton} \cdot \text{m}, \text{ kN} \cdot \text{m} \quad *$$

$$\sigma = 1.6 \frac{\text{ton}}{\text{cm}^2} = 1600 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad \leftarrow \quad \text{עומס מחזורי המערה כפיפה : } \quad *$$

$$\sigma = 160 \text{ MPa}$$

\* מצאתי יקום:



א- עומס מבורס ארוך:

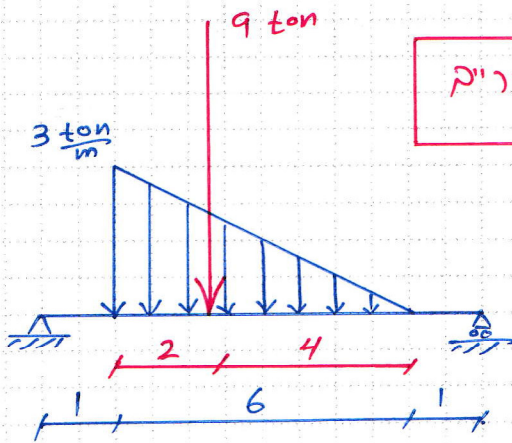
\* ערך היקום יטוה ארוך  
 הסומס כפול ארוך הפסולה:  
 $2 * 4 = 8$  ←

\* מיקום היקום יטוה ארוך  
 הפסולה יטוה חלקי 2.  
 (כפולר המרכז הסומס המבורס):

$\frac{4}{2} = 2$  ←

! יקום לא מיתרל גפולט כולות צירימ  
 ומתק שצירה.

ב- סומס מבורס מילוע:



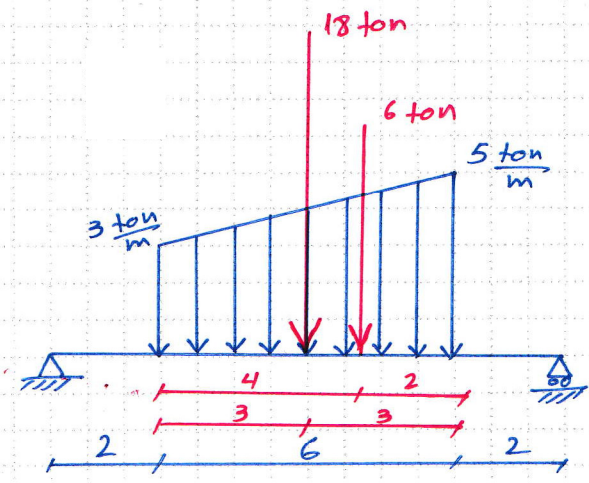
\* ערך היקום יטוה ארוך  
 הסומס כפול ארוך הפסולה:  
 יטוה חלקי 2:

$\frac{3 * 6}{2} = 9$  ←

\* גפולר הראפון של ארוך הפסולה  
 יטוה, הקרוב לצלעה השבולה יטוה  
 הפסולה.

←  $\frac{6}{3} = \underline{\underline{2}}$  ← המחק 2 מבלעה השבולה.

! יקום לא מיתרל גפולט כולות צירימ  
 ומתק שצירה.



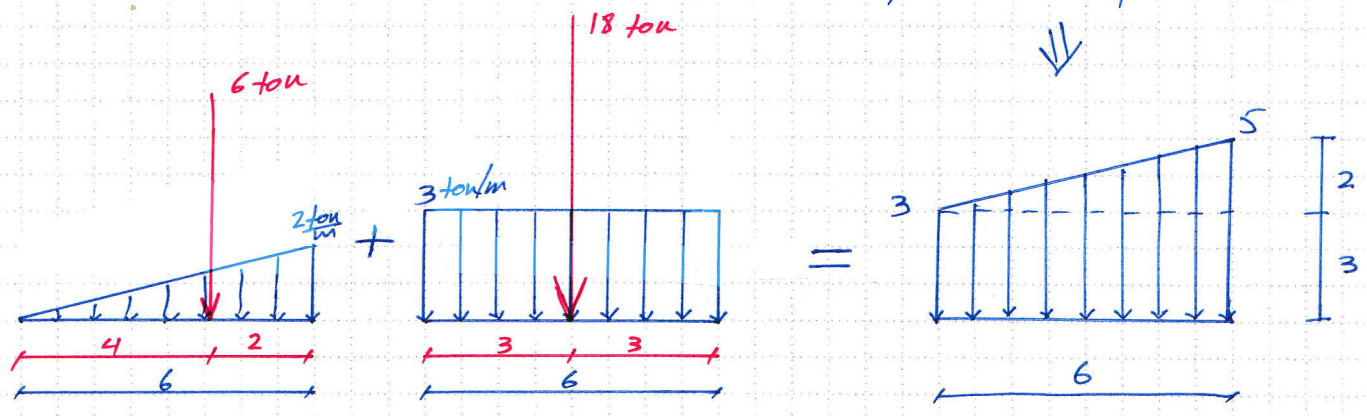
2- עומס מורס צפסי:

אנו מתייחסים לעומס צפסי

כפני עומס יפונים:

- 1- אפ"ב
- 2- מופ"ב

מחברים לכל עומס משניהם יקום משלו, ומתקמים כל יקום בנפרד,



$\frac{6 \times 2}{2} = 6 \text{ ton}$

מיקום: יפונים קרוב  
לצדק  
הקבועה

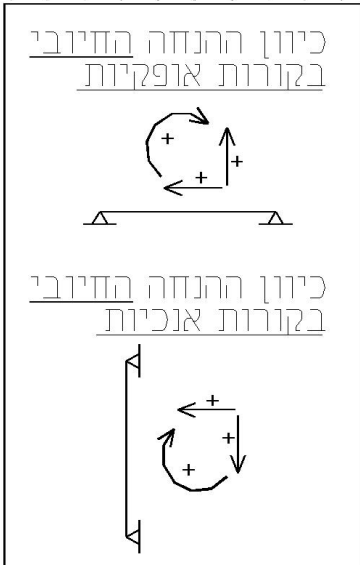
$6 \times 3 = 18 \text{ ton}$

מיקום: מרכז

יקום לא מפתח בראש כמות זיריים  
ומתקם שזיריה.

קצרות גסיסיות:

\* כוח: היכוח מוזכר לפי ערך (זכור), כיוון, קו פעולה ומיקום פעולה.



← כוח אופקי:  $\xrightarrow{+}$  ימנית,  $\xleftarrow{-}$  שמאלית

← כוח אנכי:  $\uparrow +$  למעלה,  $\downarrow -$  למטה

← כוח משיבש: (לכווית משו"מ)

\* מומנט:

← המומנט מוזכר ככוח סימול, גדל ערך וכיוון.

← המומנט נזרם עקב כוחות אופקיים ואנכיים בהתאם למיקום בו פועלים הכוחות.

← כפי למעלה את המומנט עליו לפעול את קו פעולה הכוח, במעלה וקו פעולה הכוח עובר פרק הנקודה ימונים למעלה את המומנט בה, הכוח לא משיבש ולא זורם למומנט.

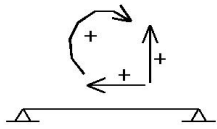
במעלה וקו הכוח לא עובר פרק הנקודה ימונים למעלה את המומנט בה, הכוח כן משיבש וזורם למומנט.

$$\text{מומנט} = \text{כוח} \times \text{זרוע}$$

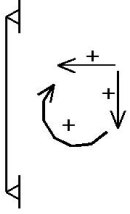
\* הזרוע: הוא הירחק בין קו פעולה הכוח לבין הנקודה בה רוצים למעלה את המומנט.

היחלקים הזרוע יכול להיות אנכי או אופקי בהתאם.

כיוון ההנחה החיובי  
בקרורות אופקיות



כיוון ההנחה החיובי  
בקרורות אנכיות



סימון המומנט:

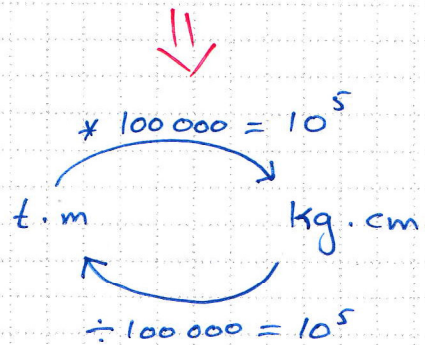
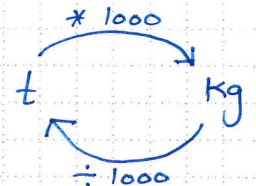
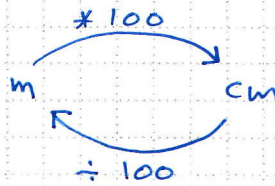
למומנט ישני כיווניים:

- א-  $\odot$  - עם כיוון השעון : מומנט חיובי
- ב-  $\ominus$  - נגד כיוון השעון : מומנט שלילי

יחידת מידת המומנט:

מכיוון שבפרק כלל משתמשים ביחידות הטן והמטר, יחידת המומנט אכן היא  $[t \cdot m]$

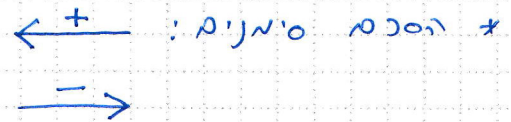
המרה יחידות:



שיווי משקל כוחות:

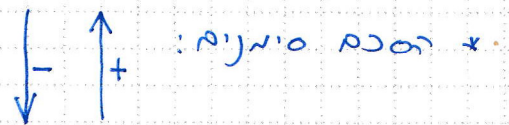
א- שיווי משקל כוחות אופקיים (בכיוון x) : סכום הכוחות האופקיים  
(ימינה ושמאלה) חייב להיות = אפס.

①  $\sum F_x = 0$



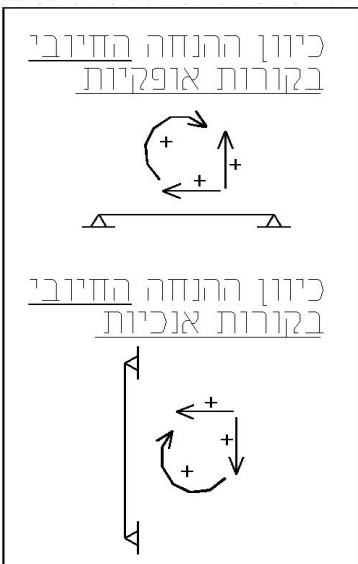
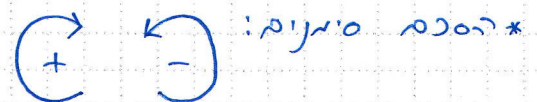
ב- שיווי משקל כוחות אנכיים (בכיוון y) : סכום הכוחות האנכיים (למעלה  
ולמטה) חייב להיות = אפס.

②  $\sum F_y = 0$



ג- שיווי משקל מומנטים : סכום כל המומנטים (כל כוח x כיווץ בעוצמתו,  
בהתחשבות בכיוון העומס) סביב הנקודה  
הי משפטים מומנט = אפס.

③  $\sum M = 0$   
נקודה



www.daman-elohim.com

## שלב חישוב סטטי לקניוות:

1) קצתם כל החשבים גזוקות אפקטיות, גזוקות אנכיות, מומנט גזוקות במקרה ויש סתם גזוקות:

א - גזוקות סכום מומנטים גזוקות הסתמים, וגזוקות גזוקות אחרות גזוקות.

ב - גזוקות סכום מומנטים גזוקות הסתם השני כפי למזכור את גזוקות הסתם, או גזוקות סכום כמות אנכיים  $\sum F_y = 0$  כפי למזכור את גזוקות הסתם השני.

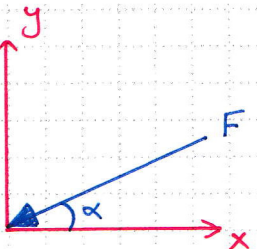
ג - גזוקות סכום כמות אפקטיות  $\sum F_x = 0$  כפי למזכור את גזוקות גזוקות א (או כמות צינניים).

2) סטטיקה הסתמים:

- \* מולק כמות צינניים.
- \* מולק כמות גזוקות.
- \* מולק מומנטים.

\* פיזור וקטור לכביים: (פיזור כמות אלכסוניים לכוח אופקי וכוח אנכי)

א- כאשר הזווית הנטוה נמצאת בין הוקטור וציר ה-X:



$$F_x = F * \cos \alpha$$
$$F_y = F * \sin \alpha$$



מומלץ

ב- כאשר הזווית הנטוה נמצאת בין הוקטור וציר ה-Y:


$$F_x = F * \sin \alpha$$
$$F_y = F * \cos \alpha$$

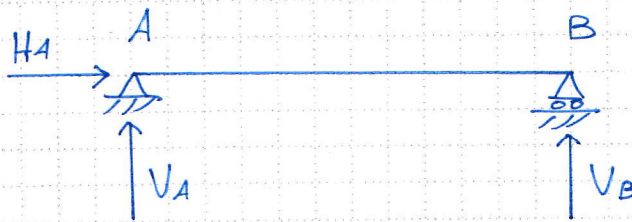
סוגי התמיכה:

(1) תמיכה קבועה:  ← מקבלת תזוזה אנכית ותזוזה אופקית.  $\sum F_x = 0$   
 $\sum F_y = 0$

(2) תמיכה נ"ב:  ← מקבלת תזוזה אנכית בלבד.  $\sum F_y = 0$   
 ← מקבלת תזוזה אופקית בלבד.  $\sum F_x = 0$

\* מספר תמיכות = נקודות התמיכה.

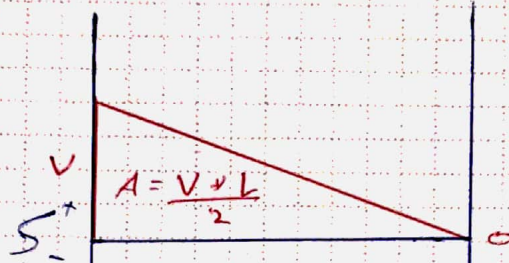
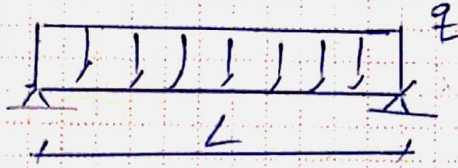
תזוזה ב"א"ב: קורה ע"פ חוקי אסטטיקה, אתה קבוע ואם נ"ב (כנראה סטטיקה).



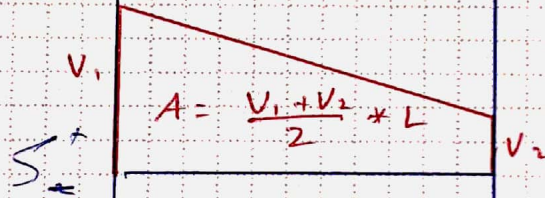
(3) תמיכה נדבנת:  ← מקבלת תזוזה אנכית, אופקית ומומנט

כפיפה...  
 $\sum F_x = 0$   
 $\sum F_y = 0$   
 $\sum M = 0$

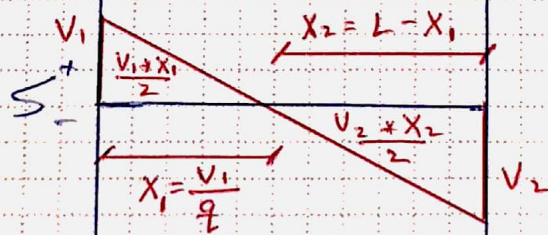
עומס קבוע  
 חלק 1



נקודה 1



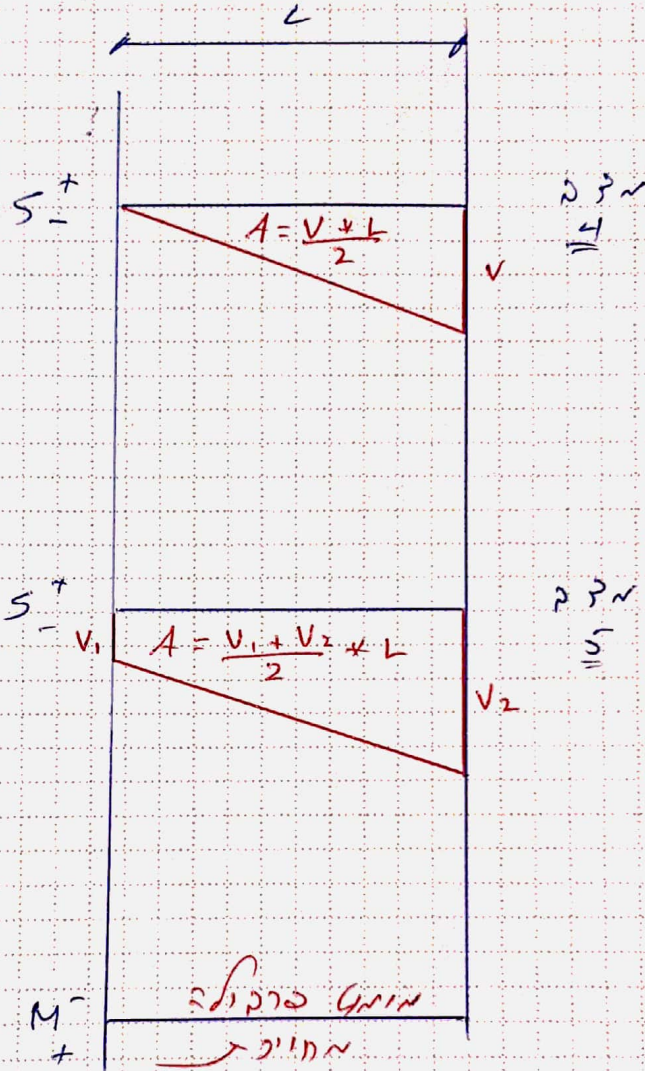
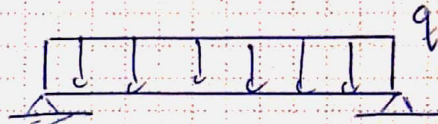
נקודה 2



נקודה 3

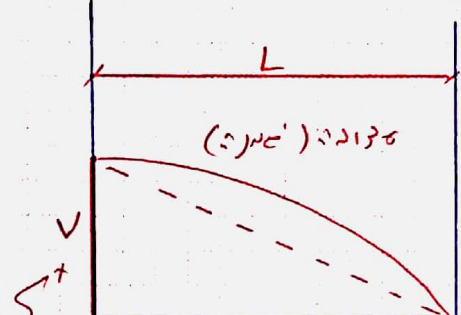
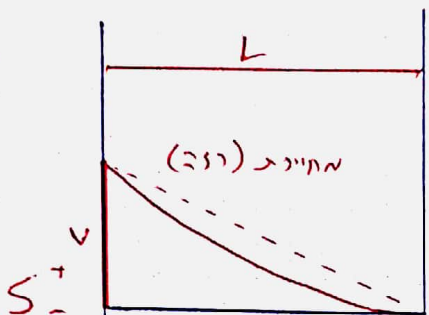
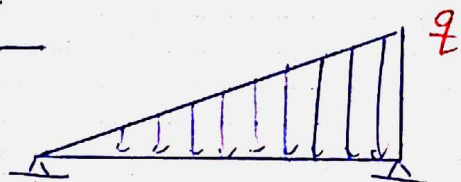
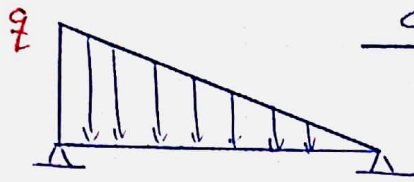
M -  
 חישוב עומס סביב נקודה

חומת פרקטורי  
 (2) פרקטורי



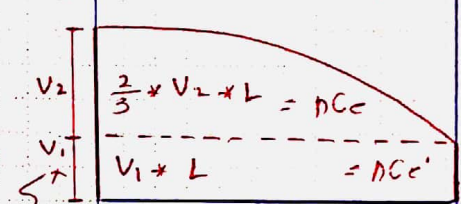
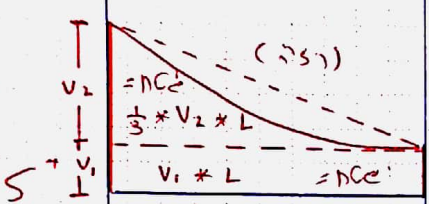
# ענין אחר

(1)



$$\frac{1}{3} * V * L = DCe'$$

$$\frac{2}{3} * V * L = DCe'$$



$$V_1 * L = DCe'$$

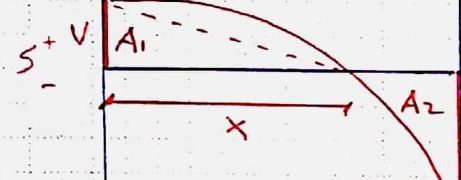
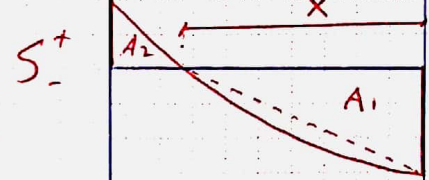
$$V_1 * L = DCe'$$

$$\frac{1}{3} * V_2 * L = DCe'$$

$$\frac{2}{3} * V_2 * L = DCe'$$

$$V_2 * L = DCe'$$

$$V_2 * L = DCe'$$



$$A_1 = \frac{2 * V * x}{3}$$

$$A_1 = \frac{2 * V * x}{3}$$

$$A_2 = \frac{q * L^2}{6} + A_1 - V * L$$

$$A_2 = \frac{q * L^2}{6} + A_1 - V * L$$

$$x = \sqrt{\frac{2 * V * L}{q}}$$

$$x = \sqrt{\frac{2 * V * L}{q}}$$

$$A_1 = \frac{2 * V * x}{3}$$

$$A_1 = \frac{2 * V * x}{3}$$

$$A_2 = \frac{q * L^2}{6} + A_1 - V * L$$

$$A_2 = \frac{q * L^2}{6} + A_1 - V * L$$

$M^-$  /  $M^+$  מקום המרכז (צ.מ.)

$M^-$  /  $M^+$  מקום המרכז (צ.מ.)

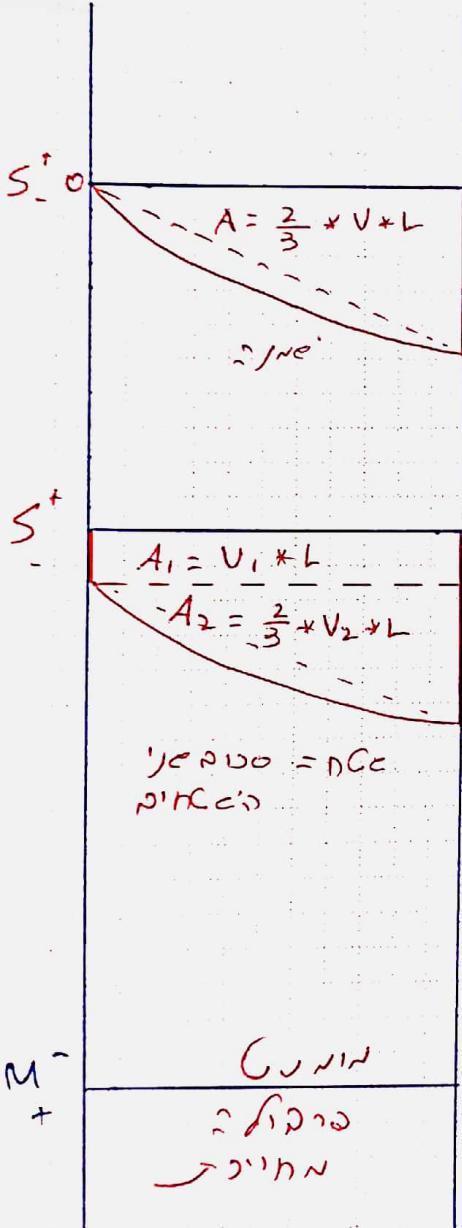
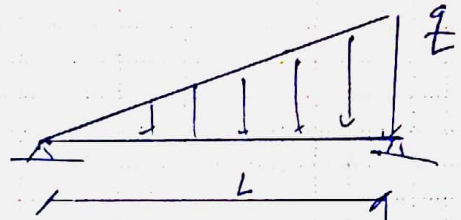
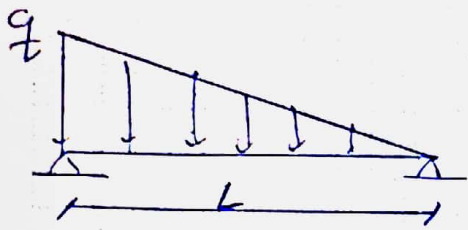
קטעים  
המשניים  
= DCe  
= DCe

$V_1$ : מקום המרכז  
 $L$ : קטע  
אחר  
 $q$ : עוצמת  
הענין  
אחר

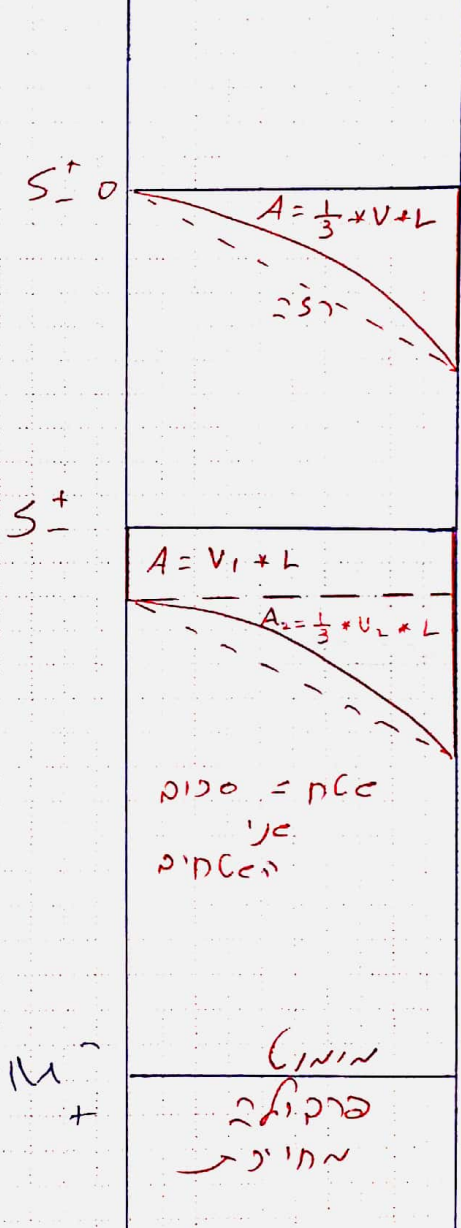
$x$   
 $A_1$   
 $A_2$  } כל אחד  
נחלק

# עיסוי עילוי

(2)



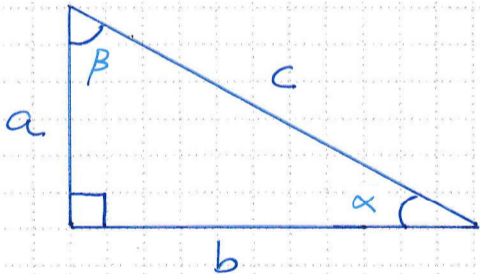
נכס  
 $\frac{4}{5}$   
 $V$   
 נכס  
 $\frac{5}{5}$   
 $V_1$   
 $V_2$



נכס  
 $\frac{4}{5}$   
 $V$   
 נכס  
 $\frac{5}{5}$   
 $V_1$   
 $V_2$

## \* טריגונומטריה \*

היא מספר פונקציות המתארות יחסים בין הזוויות ובין הזוויות  
המשולש ישר-זווית



$$\sin \beta = \frac{\text{ניצב מול } \beta}{\text{יתר}} = \frac{b}{c}$$

$$\cos \beta = \frac{\text{ניצב ליד } \beta}{\text{יתר}} = \frac{a}{c}$$

$$\tan \beta = \frac{\text{ניצב מול } \beta}{\text{ניצב ליד } \beta} = \frac{b}{a}$$

$$\sin \alpha = \frac{\text{ניצב מול } \alpha}{\text{יתר}} = \frac{a}{c}$$

$$\cos \alpha = \frac{\text{ניצב ליד } \alpha}{\text{יתר}} = \frac{b}{c}$$

$$\tan \alpha = \frac{\text{ניצב מול } \alpha}{\text{ניצב ליד } \alpha}$$

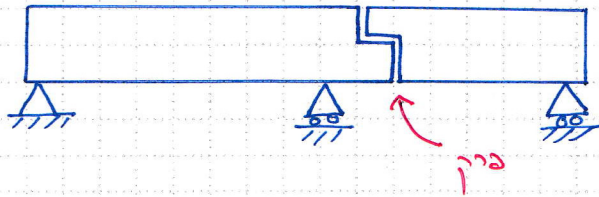
(יתר = צלע מול זווית 90°)



\* קורות שבר \*

\* קורת שבר היא קורה נחשבת (יותר משני סמכים), או סמך נעים וסמך נזיל, עם פרקים.

\* במקרה הפרק אין המשניות של החומר, כלומר, יש הפרדת כוחות אנכיים ואופקיים, אך אין מומנט (מומנט = 0).



שאלת פתרון:

(1) מתקנים את הקורה לפני חלקים (שני קורות).

- א - חלק ראש (קורה נאשית): הוא החלק עם שני סמכים, או נעים.
- ב - חלק משני (קורה משנית): הוא החלק שיש בו פחות משני סמכים, אין בו נעים.

(2) מתחילים לבדוק את הקורה המשנית.

- א - הופכים את הפרק לסמך צמיוני.
- ב - מחיבים את התצבות הסמכים (כולל הסמך הצמיוני).
- (3) בודקים את הקורה הנאשית.

א - מעבירים את התצבות שהתקבלו מהקורה המשנית לסמך הצמיוני, אם אורו פרק (סמך צמיוני) יצא לקורה נאשית, עם אותם ערכים אך בכיוונים מנוגדים.

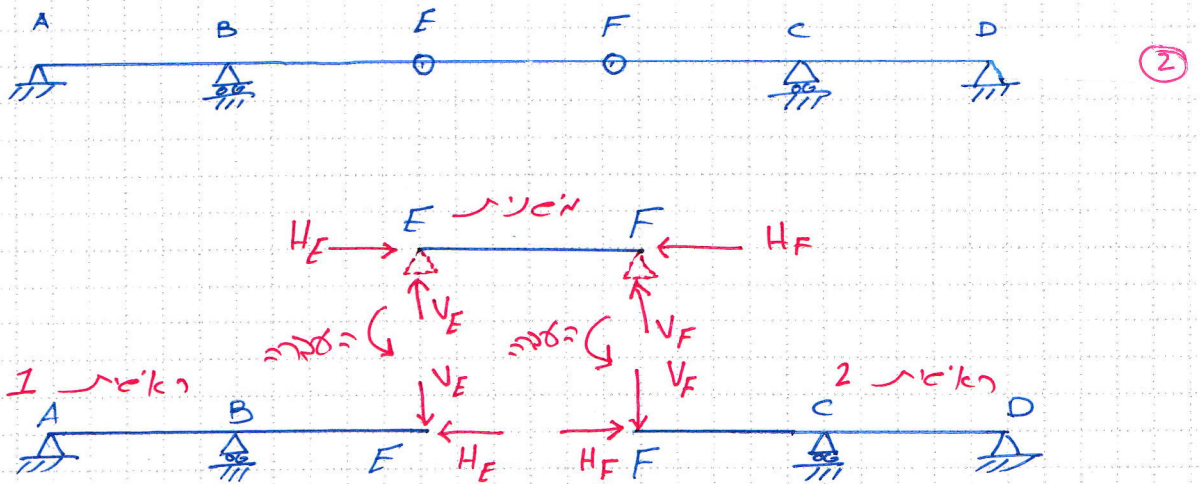
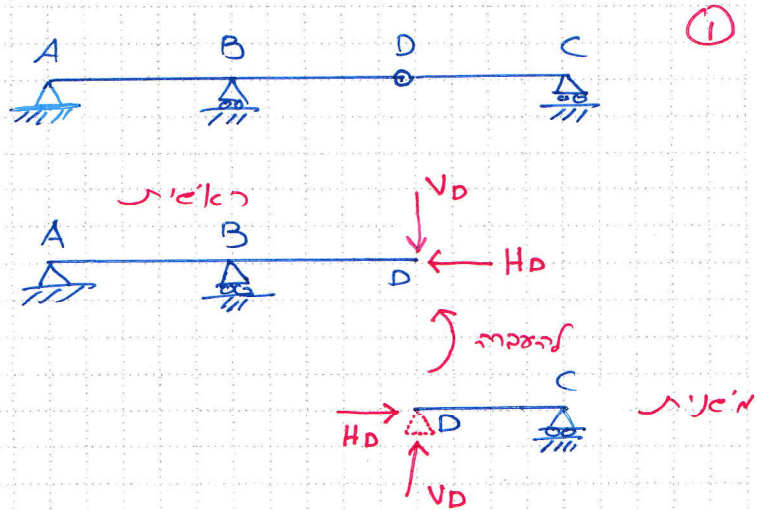
ב - מחיבים את התצבות.

(4) מציטים את המהסכים לקורה המקורית (לפני שפירקנו לפני קורות).

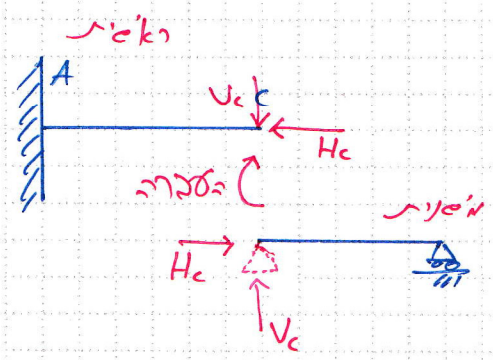
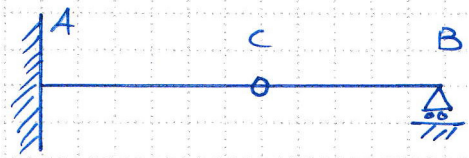
חילוק מקור:

- א - אני לא מנתפס. בתצורה יש צורך במתקן הזכירה.
- ב - צורך המומנט במתקן המומנט צורך להיות = 0.

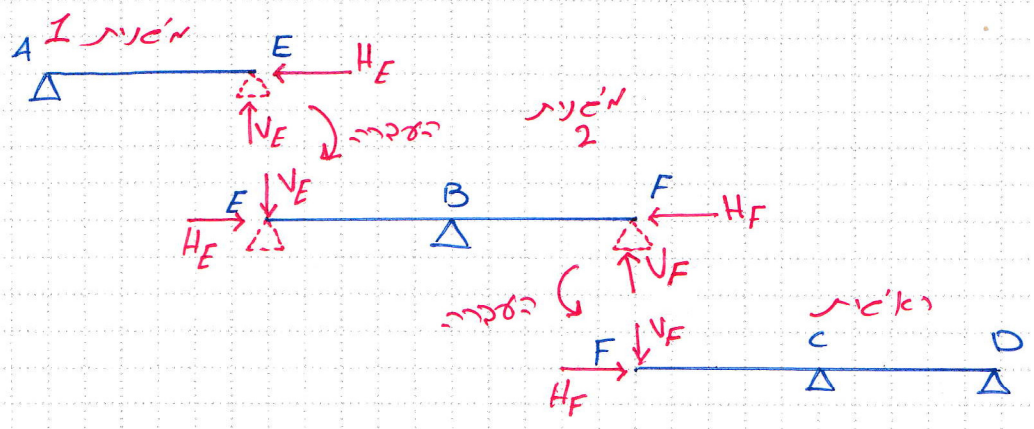
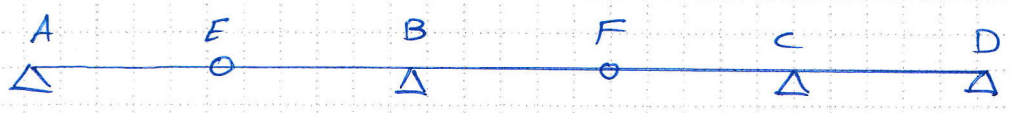
קובצאות להסתרת חזקה מקורה משנית ואיזון:



3



4



קובץ עם בליטת (מקור):

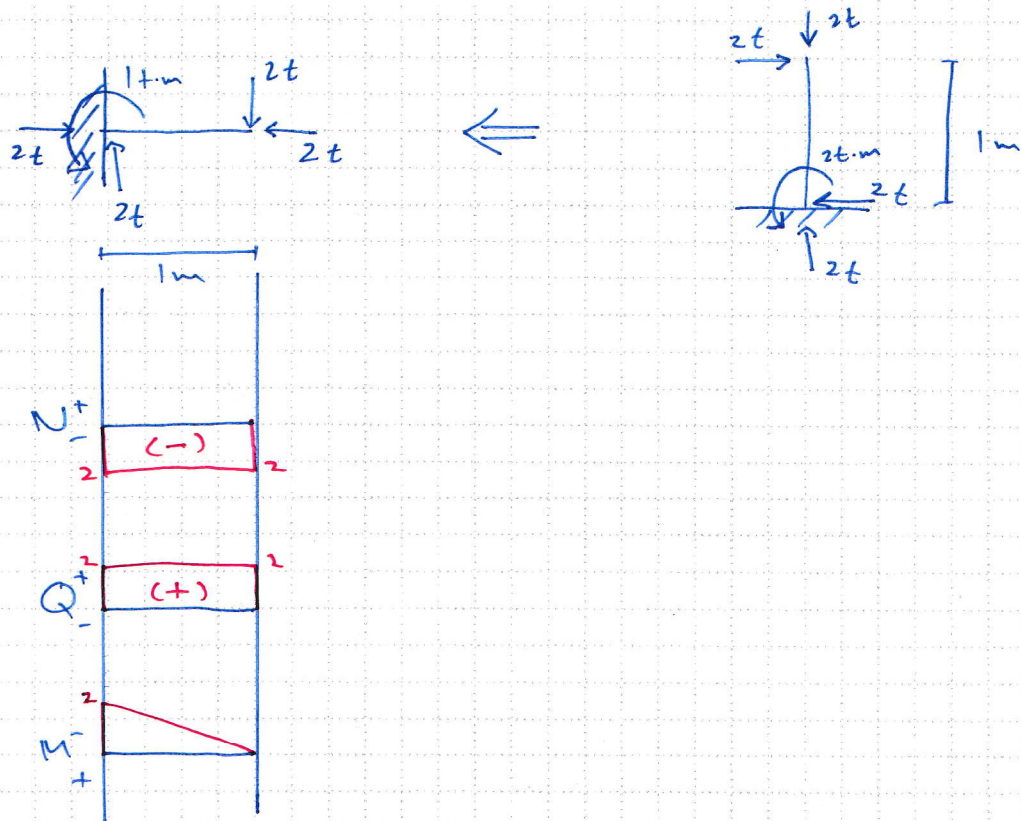
יבלית מוקרת לקורה בתביר רתום (הכנה יא בליטת היא רגום - ז'ס)

שלי יבתוק:

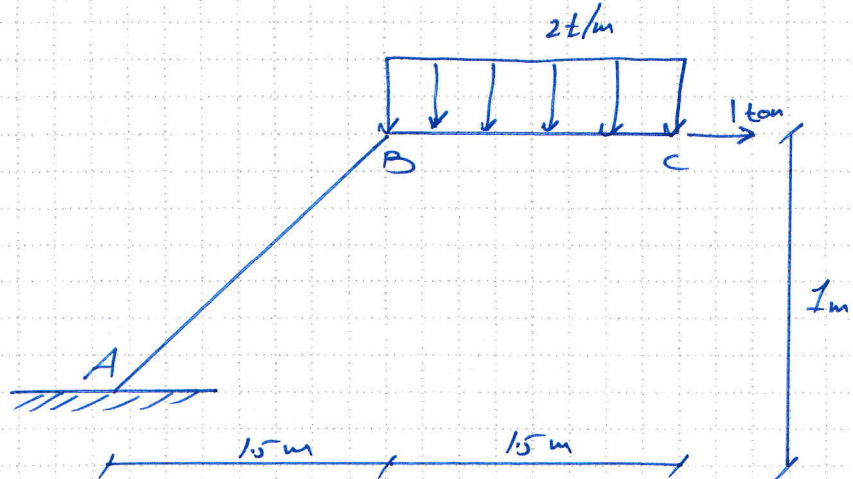
1- מדברים אר הכומר יכל בליטת לקורה עם היכרר הימנט (מונט) = כום  $\times$  כרוע.

2- כוררים אר הקורה עם הכומר והימנט יכוררו מבה לכה.

3- כוררים אר בליטת הנכרר: רגום - ז'ס עם הכומר.



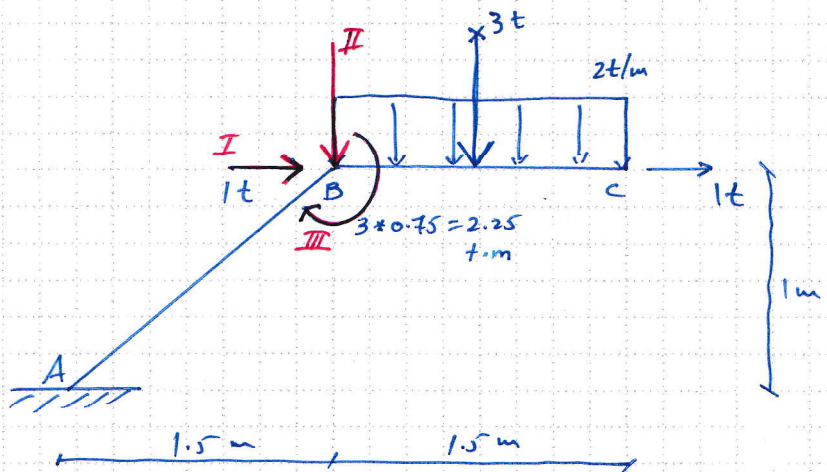
בתווך הבליטה יש חתך ממשקל:



כאשר יש לנו בליטה במקורה יש חתך ממשקל ישיר וחלק ממשקל, חלילה לתור  
אורה בעניי שלבים:

שלב I:

נפתור קופים את הקטע האחרון (הישיר), ואז נעביר את הכוחות הקטע  
BC אל הנקודה B, כאשר הבליטה ישירה:



I) מעבירים כוח אופקי.

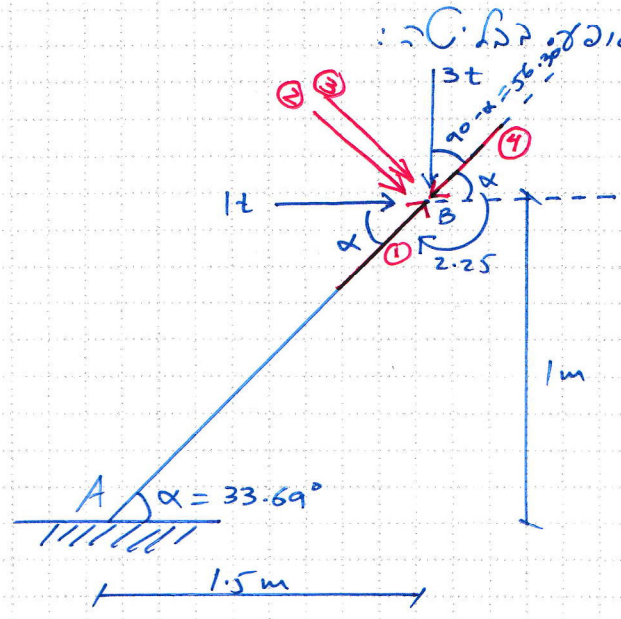
II) מעבירים את השקול 3t

III) הכוחות נשמר מהשקול.



תרגיל II

נפתור את הקשר המשופע בקל: ה



$$\tan(\alpha) = \frac{1}{1.5} = 0.667$$

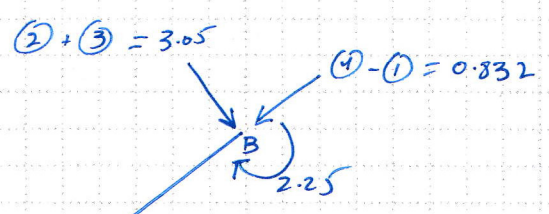
$$\alpha = 33.69^\circ$$

$$90 - \alpha = 56.30^\circ$$

מפרקים כוחות: הכוחות מייצגים תגובות בניצב למבליטה ובכיוון המבליטה:

- ①  $1 * \cos(33.69) = 0.832t$
- ②  $1 * \sin(33.69) = 0.554t$
- ③  $3 * \sin(56.30) = 2.496t$
- ④  $3 * \cos(56.30) = 1.664t$

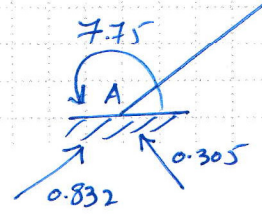
נעשה סכום אכוחות ונקבל את התוצר הבא:



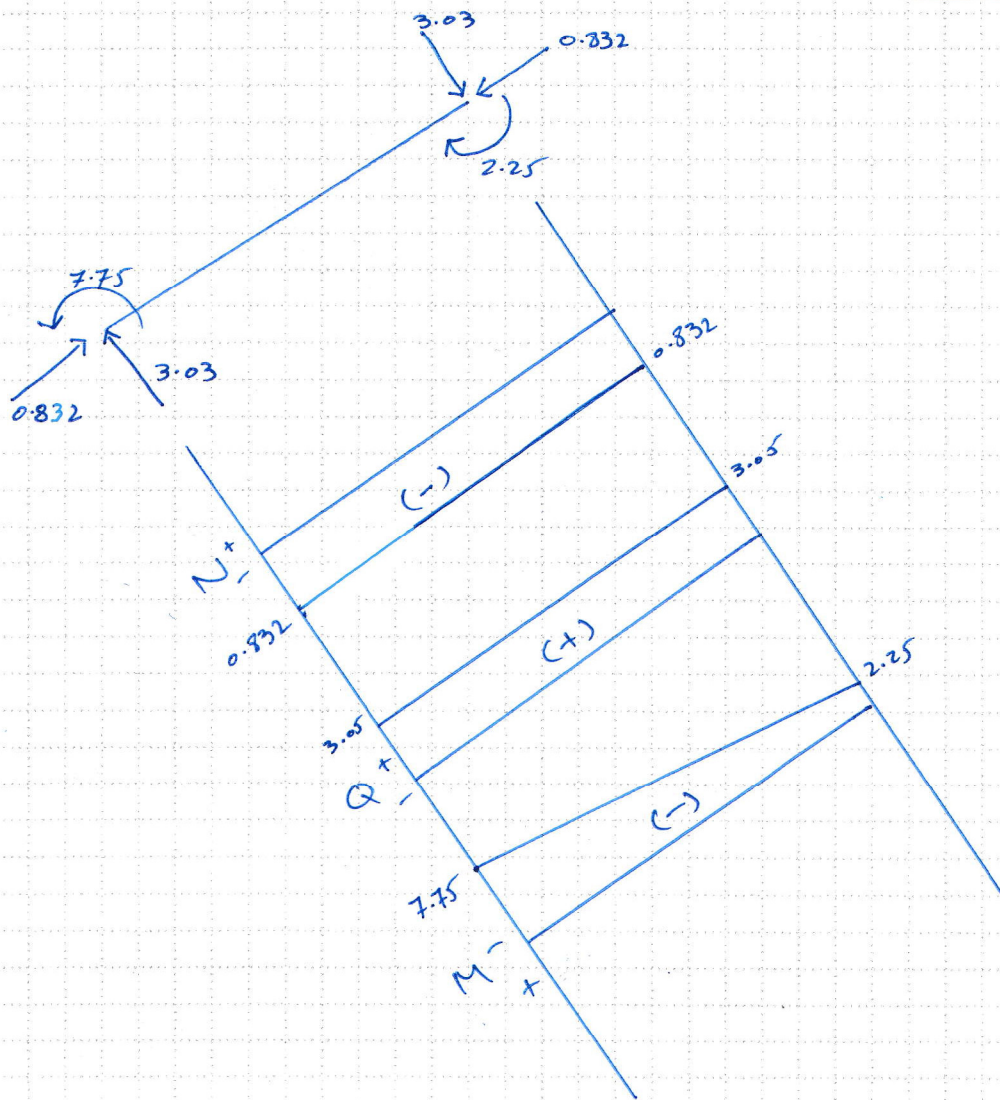
1 - נעביר כוחות מקודם A

בכיוון הבוק

2 - נחשב מוטת סביב נקודה A משתקבל מ הכוחות הנקודת B.

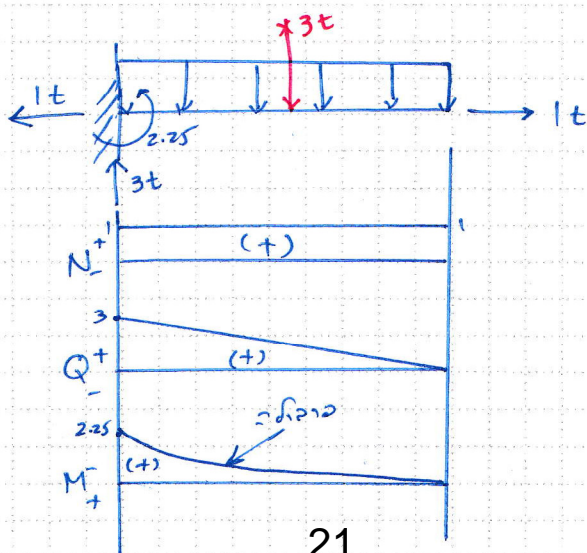


גרען נאכפאן און אנטווארען:



גרען נאכפאן און אנטווארען:

גרען נאכפאן און אנטווארען (אונטן - 55) ;



\* קורות מחוברות למטות \*

1

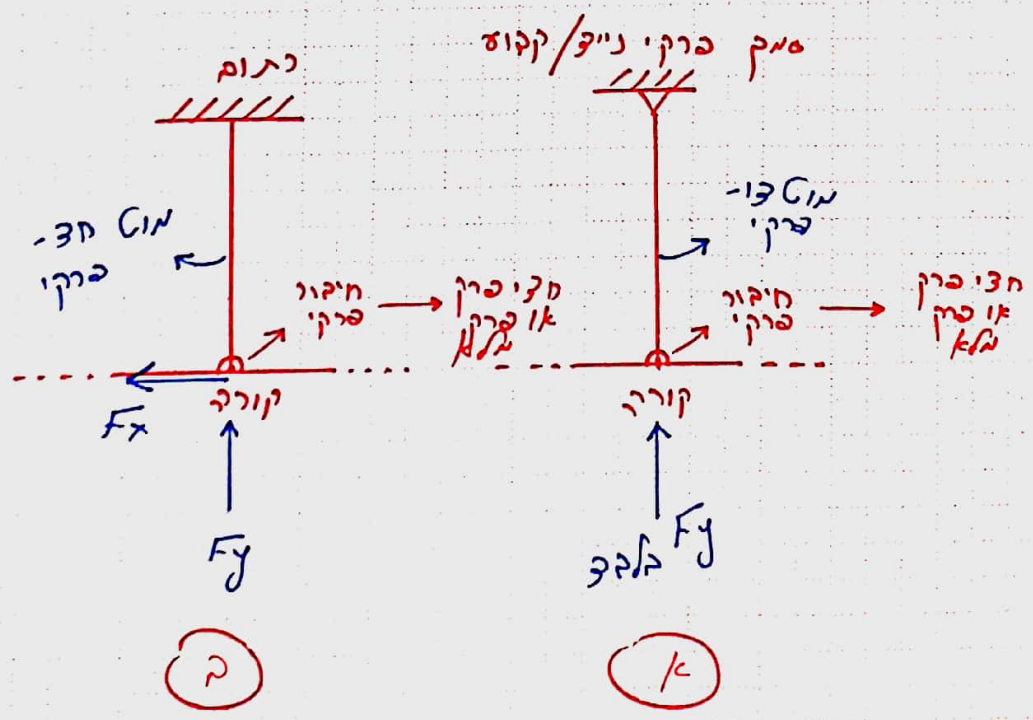
מבצעים:

- א- מט 3-0 - פרק: ① מט יקיים בו פרק היסני הצפפים.
- ② למטות פו-פרקים אין מהלך שזירה (S) ומהלך מומנט (M), אך יק מהלך כוחות צינניים (N).
- ③ המוט הפו-פרקי לא מקבל זבובה אנכית לו, לכן מחלפים אותו עם סמך פרקי ניצב.

- ג- מט חצ-פרקי: ① מט יקיים בו פרק מצב אחד בלבד.
- ② למטות חצ-פרקיים יש את כל המהלכים: M, S, N.
- ③ המוט החצ-פרקי מקבל זבובה אנכית לו, לכן מחלפים אותו עם סמך פרקי נקוד.

ז- חיבור מצי פרק: כלומר, המוט מחובר לקורה עם פרק, אבל הקורה עברה אין פרק (אין זבובה הנקודה הזאת).

ז- חיבור פרק מלא: כלומר, המוט מחובר לקורה עם פרק, וזם הקורה עברה הנקודה הזאת קיים פרק (זבובה).



קורות מתוכנית למסורת  
(חפ-פרקים/פן-פרקים)  
ישנה בלתי אפיון

(1) מפרקים כל קורה הנפרד (קורות ומסורת).

(2) קובעים לפני כל קורה או כל מושג האם הוא נאצי או שני.

\* קורה עם גרמני : נאצי.

\* קורה עם שני סמכים 'שמונים נכד הכוחות' : נאצי.

\* קורה עם סמך אחד 'שהוא לא רגיל' : שני.

(3) קובעים לפני כל מושג/ קורה/ אלוט 'שמונים כח' סמך, האם הוא חפ/פן פרקי :

קובעים לפני כל קצה מהאלוט, האם הוא

פרקי או גרמני (נתון השאלה).

(4) אם שני הקצות הם פרקים, אז המושג הוא פן-פרקי,

ואנחנו מציבים במקומו סמך נייב בקורה הנשענת

עליו. ← כוח צירי בלבד ← מהלך N בלבד.

(5) אם אחד שני הקצות בלבד הוא פרקי, אז המושג הוא

חפ-פרקי. ואנחנו מציבים במקומו סמך קבוע בקורה

הנשענת עליו. ← כוח צירי וכוח שזירה ← מהלכים M, S, N.

חלק 2

# חוזק חומרים

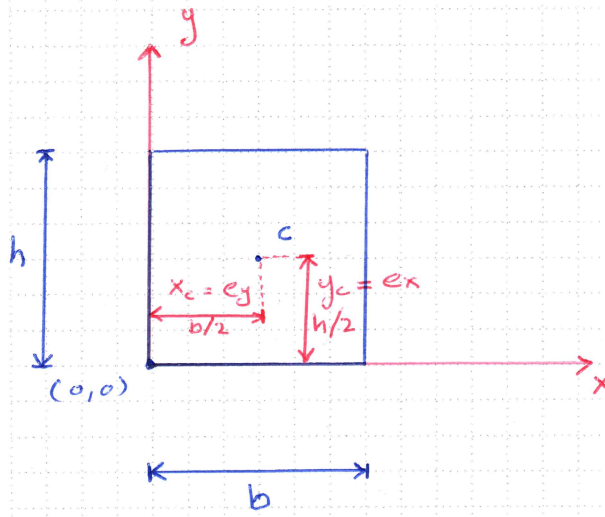


[www.daman-elohim.com](http://www.daman-elohim.com)

מונח כובד ומחנה  
\* אנטזיה \*

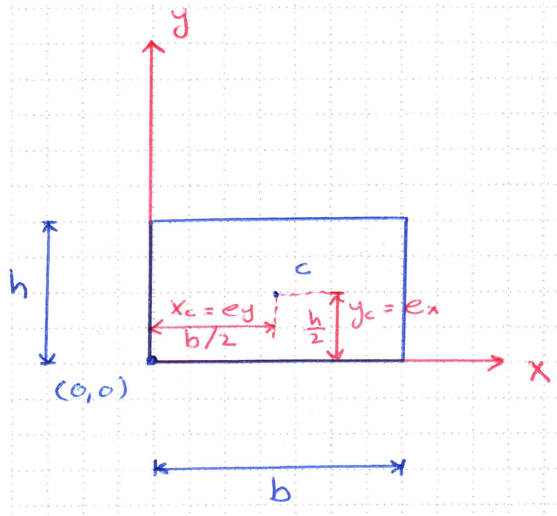
מונח כובד לזכורה פאס ה' כובד + מחנה אנטזיה

א- כובד



- \*  $e_y = x_c = b/2 \rightarrow e_y =$  מרחק אוקי =  $x_c$  מזכור y
- \*  $e_x = y_c = h/2 \rightarrow e_x =$  מרחק אוקי =  $y_c$  מזכור x
- \*  $I_x = \frac{bh^3}{12} \rightarrow I_x \rightarrow$  יוטה  $\rightarrow b =$  סוס  $h =$  אזה
- \*  $I_y = \frac{hb^3}{12} \rightarrow I_y \rightarrow$  יוטה  $\rightarrow h =$  סוס  $b =$  אזה

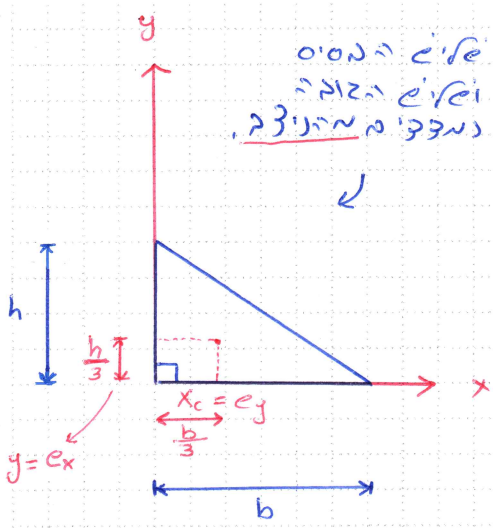
ב- מרחק



- \*  $e_y = x_c = b/2 \rightarrow e_y =$  מרחק אוקי =  $x_c$  מזכור y
- \*  $e_x = y_c = h/2 \rightarrow e_x =$  מרחק אוקי =  $y_c$  מזכור x
- \*  $I_x = \frac{bh^3}{12} \rightarrow I_x \rightarrow$  יוטה  $\rightarrow b =$  סוס  $h =$  אזה
- \*  $I_y = \frac{hb^3}{12} \rightarrow I_y \rightarrow$  יוטה  $\rightarrow h =$  סוס  $b =$  אזה

ג- עזה

פיה הזזה  
ועזה הזזה  
מזכור מתייבז



- \*  $e_y = x_c = b/3 \rightarrow e_y =$  מרחק אוקי =  $x_c$  מזכור y
- \*  $e_x = y_c = h/3 \rightarrow e_x =$  מרחק אוקי =  $y_c$  מזכור x
- \*  $I_x = \frac{bh^3}{36} \rightarrow I_x \rightarrow$  יוטה  $\rightarrow b =$  סוס  $h =$  אזה
- \*  $I_y = \frac{hb^3}{36} \rightarrow I_y \rightarrow$  יוטה  $\rightarrow h =$  סוס  $b =$  אזה

(2) מרוםים פלטה דורב + אומט אנרזיה :

(\*) כל התרגומים מקבלים מהסבאגה :  $I_x, I_y, e_x, e_y$ .

(\*) אם המרוםים מיוחסים בקצה בצורה דומה לזו של אבר באבליה :

$I_x$  נשאר  $I_x$  \*

$I_y$  נשאר  $I_y$  \*

$y = e_x$  נשאר  $e_x$  \*

$x = e_y$  נשאר  $e_y$  \*

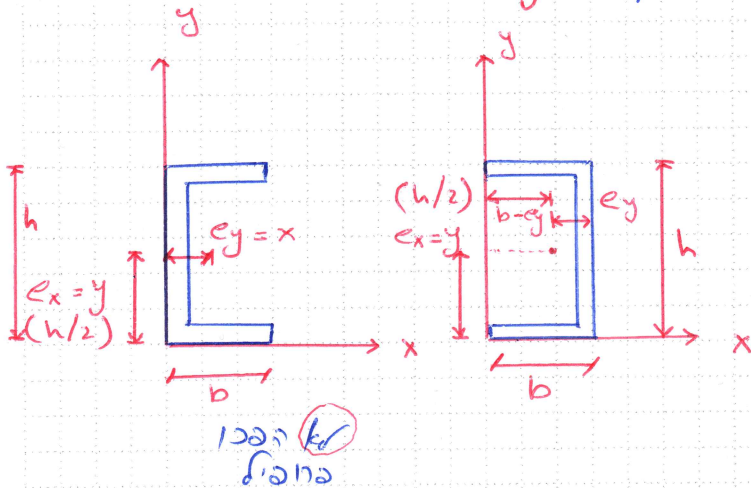
(\*) אם היופכים את המרוםים אופקית (mirror) :

$I_x$  נשאר  $I_x$  \*

$I_y$  נשאר  $I_y$  \*

$y = e_x$  נשאר  $e_x$  \*

$x = b - e_y$  : יופק לרוב יושני, לכן :



$y = e_x = (h/2)$       $y = e_x = (h/2)$

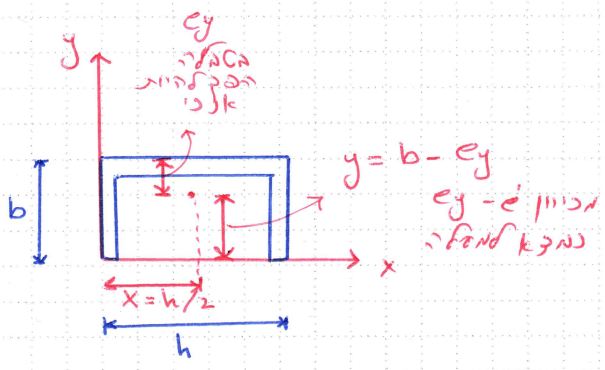
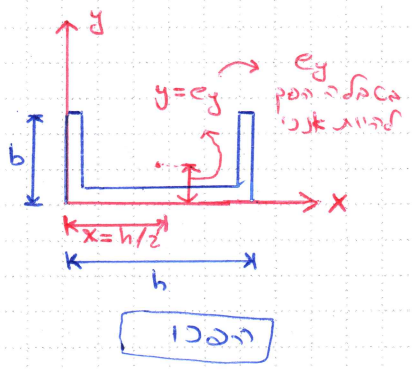
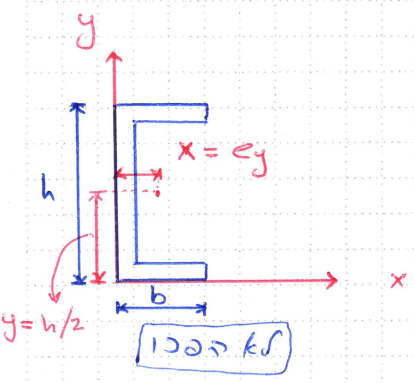
$x = e_y$                       $x = b - e_y$

(\*) כל פעם שה- $e$  הוא  $\frac{b}{2}$  או  $\frac{h}{2}$ , לא נחגרים אותו באבליה, גלוי אם המרוםים מיוחסים לכיוון אחד או שני כיוונים.

(\*)  $I_x$  או  $I_y$  היא בתיובת ( $cm^4$ )

\* אם משכיבים את הפרופיל (הזבנים 90 מעלות) :  
 \*  $I_x$  של הפרופיל הוא  $I_y$  של האבקה.  
 \*  $I_y$  של הפרופיל הוא  $I_x$  של האבקה.

$x = e_x$  \* } ושלמים  
 הפק להיות אופקי } אם האם  
 $y = e_y$  \* } לקוח  $e_x$   
 $h - e_x$  א"ל  
 !  
 האם  $e_y$   
 א"ל  $b - e_y$

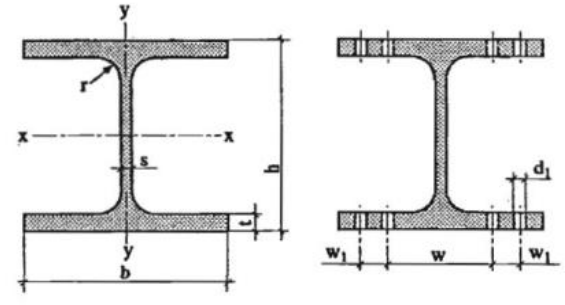
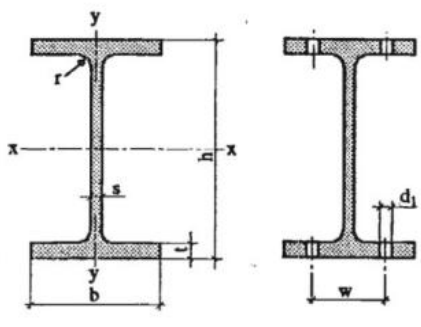
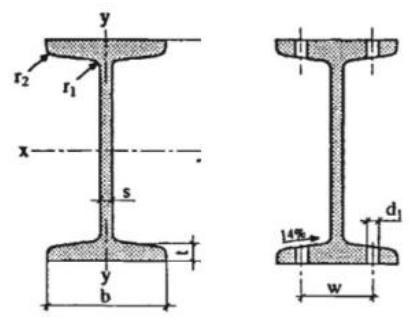


## פרופילי פלדה סימטריים

פרופיל פלדה IPN

פרופיל פלדה IPE

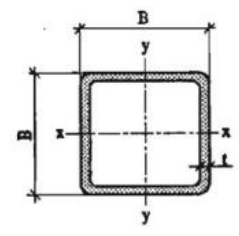
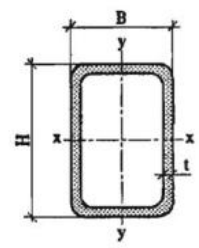
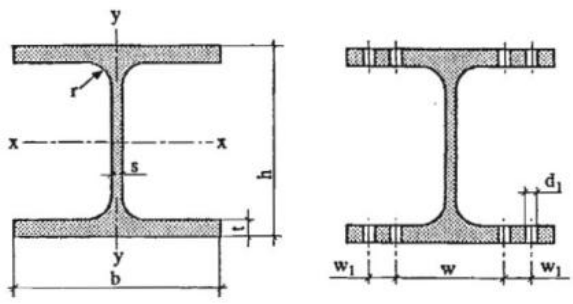
פרופיל פלדה I - רחב אוגנים (IPB I)



פרופיל פלדה I - רחב אוגנים IPB

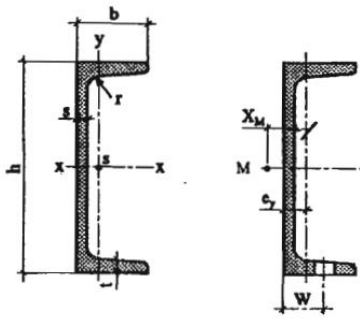
פרופיל RHS - מלבני

פרופיל RHS - ריבועי

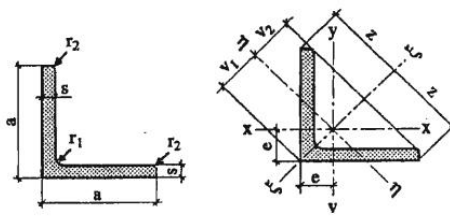


# פרופילי פלדה אסימטריים (לא סימטריים)

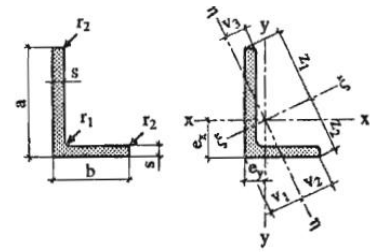
פרופיל פלדה UPB U



פרופילי פלדה LPN  
זוויתנים שווי שוקיים



פרופילי פלדה LPN  
זוויתנים שוני שוקיים



תפסיק חישוב: (חתך מורכב - יותר מפרופיל או צורה אחת)

1) אני קובע מיקום ראשית הצירים של החתך הנתון.  
בחתכים סימטריים לכוחות (צב ימין צב שמאל), מומנט למקם ציר y באמצע. (ללא אם נתן אחרת).

2) אם החתך מורכב מכמה פרופילי פלדה, אני צריך להתעסק עם כל צורה בנפרד. אם החתך הוא צורה יחידה אפילו מופסקת את מרכז הכובד בה, אני מתחיל אותו מכמה צורות יחידות מופסקות את מרכז הכובד יחד כל חלק בנפרד.

3) אני בונה טבלה מורכבת מתאים 'אורות', ומספר עמדות יווה למספר צורות בחתך:

	①	②	③
$A [cm^2]$ ← יטאם כל צורה.	יטאם צורה ①	יטאם צורה ②	יטאם צורה ③
$x [cm]$ ← מרחק מרכז הכובד הפרטי לצורה, מציר x.	$x_1$	$x_2$	$x_3$
$y [cm]$ ← מרחק מרכז הכובד הפרטי לצורה, מציר y.	$y_1$	$y_2$	$y_3$
$I_x [cm^4]$ ← מומנט אנרגיה פרטי לצורה סביב ציר x.	$I_{x1}$	$I_{x2}$	$I_{x3}$
$I_y [cm^4]$ ← מומנט אנרגיה פרטי לצורה סביב ציר y.	$I_{y1}$	$I_{y2}$	$I_{y3}$

4) חישוב מרכז הכובד הכללי (לכל חלקי המורכב):  
 מרכז הכובד מוגדר אחת נקודות:  $(X_c, Y_c)$

$$\rightarrow X_c = \frac{X_1 * A_1 + X_2 * A_2 + \dots + X_n * A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} = \square \text{ cm}$$

$$\rightarrow Y_c = \frac{Y_1 * A_1 + Y_2 * A_2 + \dots + Y_n * A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} = \square \text{ cm}$$

5) חישוב מומנט אינרציה כללי (לכל חלקי המורכב):

$$\rightarrow I_{x, \beta} = I_{x_1} + A_1 * (y_1 - y_c)^2 + I_{x_2} + A_2 * (y_2 - y_c)^2 + \dots + I_{x_n} + A_n * (y_n - y_c)^2 = \square \text{ cm}^4$$

$$\rightarrow I_{y, \beta} = I_{y_1} + A_1 * (x_1 - x_c)^2 + I_{y_2} + A_2 * (x_2 - x_c)^2 + \dots + I_{y_n} + A_n * (x_n - x_c)^2 = \square \text{ cm}^4$$

## שינוי אורך:

שינוי אורך =  $\Delta L$



למיצת זרמת ← התקצרות.

התארכות ← התארכות.

$$\Delta L = \frac{N * L * 1000}{E * A}$$

N [ton] : כוח.

A [cm<sup>2</sup>] : שטח.

L [cm] : אורך.

E [ $\frac{kg}{cm^2}$ ] : מודול אלסטיות של החומר.

\* כאשר ערך E זכור ← החומר קשיח.

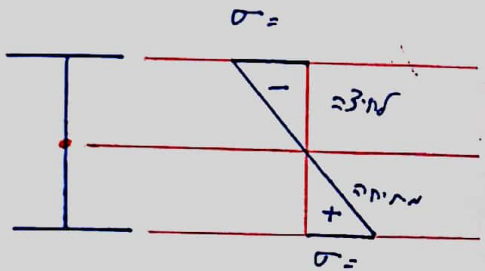
\* כאשר ערך E קטן ← החומר זעיר.

\*  $E = 2.1 * 10^6 \frac{kg}{cm^2}$  ← אלא אם נתון אחרת.  
= 2,100,000  $\frac{kg}{cm^2}$

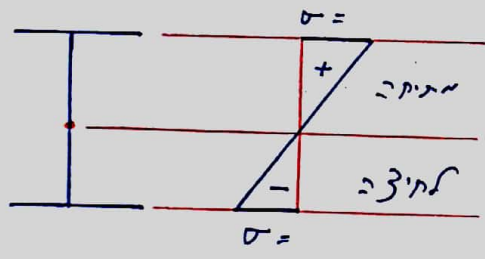
# מאנז'י כפיפה (מאנז'י מתיחה ולחיצה)

## ① עמוד פרופיל אחיז (בוצר) $\sigma$

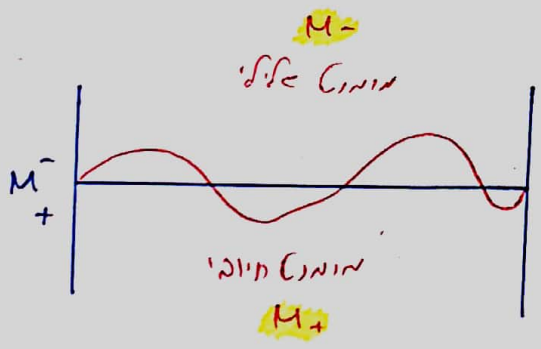
א- ח'ם וצ'ט אר פרום המאנז'ים פרופיל הנגון באומט מקסימלי  
א באומט פ נקודה מסוימת :



עקור אומט חיובי  $(M+)$



עקור אומט שלילי  $(M-)$



$$\sigma = \frac{M \cdot 10^5}{W_x} = [\text{kg/cm}^2]$$

M: האומט המקסימלי אר פרום המאנז'ים בנקודה מסוימת = ton.m

$W_x$ : הנגזרות החזק (אומט) הנגזרת של החזק =  $\text{cm}^3$

ג - גודל הכובלים מתאים עבור מומנט הקסימלי או עבור מומנט  
 של נקודה מסוימת, לשיעור התנאי האלה כפיפה מותר:

(סוג הכובלים נתון, אבל צריך לבחור צנזר):

$$\omega_x = \frac{M * 10^5}{\sigma_{מותר}} = [cm^3]$$

M: מומנט = ton.m  
 מומנט הנקודה  
 מסוימת.

$\sigma_{מותר} = 1600 \text{ kg/cm}^2$  (נתון תמיד)

אנני חישוב אט, אני מחפש בטבלה ערך שווה או קצת יותר הגא'אן. אסור לבחור פחות!

ז - חישוב מומנט הקסימלי (מומנט בנקודה) שמתק ינוח לקבל:

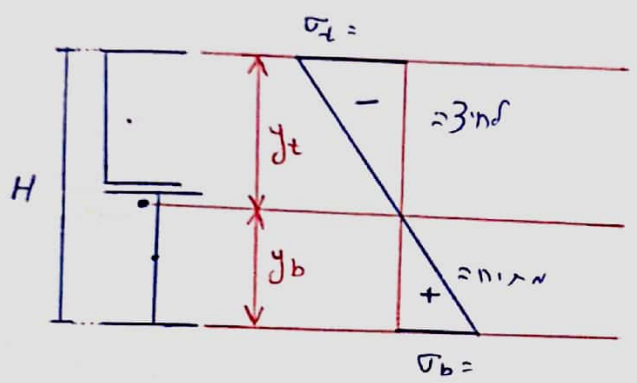
$$M = \frac{\sigma_{מותר} * \omega_x}{10^5} = [ton.m]$$

$\sigma_{מותר} = 1600 \text{ kg/cm}^2$  (נתון תמיד)

$\omega_x = \frac{\text{התנצרות המתק (מומנט התנצרות) א המתק}}{10^5} = cm^3$

2) עבוד פרוסיל מוכה 8

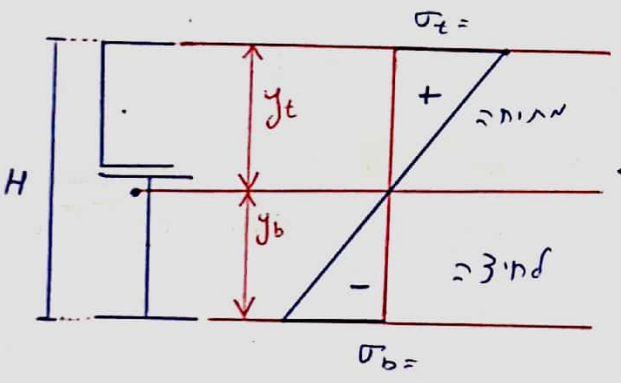
- תשע ופרסיל את פרסיל המאזנים למעק פתרון במחשבו המקסימלי  
 או במחשבו של נקודה מסוימת:



$M^+$   
 עבוד מומנט חיובי

\*  $y_b = y$ : צורה נקודת: מרכז הכובד מתישה יודע.  
 \*\*  $y_t = H - y_b$ : נגון H

עלפי פתרון 8



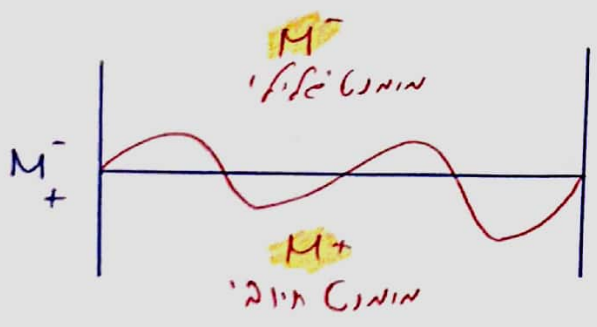
$M^-$   
 עבוד מומנט שלילי

$$\omega_{xt} = \frac{I_{xx}}{y_t} \quad \leftarrow 1$$

$$\sigma_t = \frac{M \times 10^5}{\omega_{xt}}$$

$$\omega_{xb} = \frac{I_{xx}}{y_b} \quad \leftarrow 2$$

$$\sigma_b = \frac{M \times 10^5}{\omega_{xb}}$$



\*  $\omega_{xt} =$  מומנט התנצבות של החלק בצב הסליון =  $cm^3$

\*  $\omega_{xb} =$  מומנט התנצבות של החלק בצב החתון =  $cm^3$

\*  $\sigma_t =$  מאטר הכפיפה בצב הסליון =  $kg/cm^2$

\*  $\sigma_b =$  מאטר הכפיפה בצב החתון =  $kg/cm^2$



ג- חשב את המומנט המקסימלי (מומנט מסובל) של החלק  
המורכב משימוק בתנאי של ממשל כפיפה מוגר:

יגבי פתרון:

$$y_b = y_c \quad -1$$

$$y_t = H - y_b \quad -2$$

$$\omega_{xt} = \frac{I_{xx}}{y_t} \quad -3$$

$$\omega_{xb} = \frac{I_{xx}}{y_b} \quad -4$$

$$M_t = \frac{\bar{\sigma}_{max} * \omega_{xt}}{10^5} \quad -5$$

$$M_b = \frac{\bar{\sigma}_{max} * \omega_{xb}}{10^5} \quad -6$$

המארה הסופית היא  
המומנט הקטן  
 מקינ'ת המאובות. [ton.m]

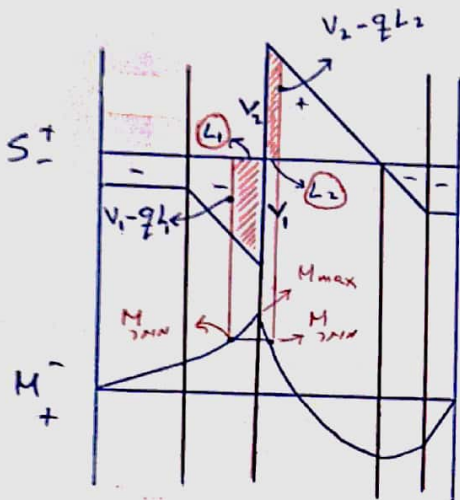


חישוב גודל חיפוק

$q = \frac{\text{קטן הסולמות}}{\text{הסולמות}} = \text{טון/מ}$

סולם מפורס מלבני  
↓  
זכירה אלכסונית

מלבן  
①



בנקודה הזו, יש לנו  
גודל חיפוק:  
א- גודל ממשל ממוצע  
הקסימלי,  
ב- גודל ממוצע ממוצע  
הקסימלי.

\* המטרה היא למצוא את  $(L_1, L_2)$ :

מכיוון שיש לנו זכירה שווה יש לנו גודל  
הממוצע:



א- חישוב  $L_2$ :

א- חישוב  $L_1$ :

$$\frac{V_2 + (V_2 - qL_2)}{2} * L_2 = M_{max} - M_{min}$$

$$\frac{V_1 + (V_1 - qL_1)}{2} * L_1 = M_{max} - M_{min}$$

$$\frac{2V_2 - qL_2}{2} * L_2 = M_{max} - M_{min}$$

$$\frac{2V_1 - qL_1}{2} * L_1 = M_{max} - M_{min}$$

$$(2V_2 - qL_2) * L_2 = 2(M_{max} - M_{min})$$

$$(2V_1 - qL_1) * L_1 = 2(M_{max} - M_{min})$$

$$2V_2 * L_2 - qL_2^2 = 2(M_{max} - M_{min})$$

$$2V_1 * L_1 - qL_1^2 = 2(M_{max} - M_{min})$$

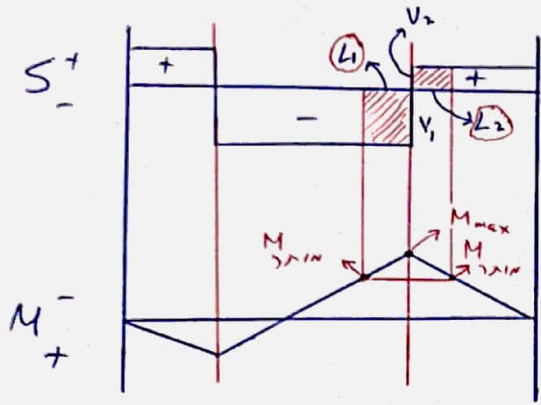
$$qL_2^2 - 2V_2L_2 + 2(M_{max} - M_{min}) = 0$$

$$qL_1^2 - 2V_1L_1 + 2(M_{max} - M_{min}) = 0$$

\* אחרי פתרון משוואה ריבועית, אנחנו  
בוחקים בגובה ההזינוקית מקיין  
שניהם (הגובה השלילית תיפוס).

\* אחרי פתרון משוואה ריבועית, אנחנו  
בוחקים בגובה ההזינוקית מקיין  
שניהם (הגובה השלילית תיפוס).

כוח מרוכז  
 ↓  
 גזירה מלבנית  
 מצב (2)



→ במקרה הזה  
 יש לנו תוחמי  
 חיסוק:  
 א- תוחם מנעף למוחם  
 מקסימלי.  
 ב- תוחם מוחן למוחם  
 מקסימלי.

\* המשוואה היא לוקוס את  $(L_1, L_2)$ :  
 מכיוון שעל המוח ישנה עיבוד גזירה  
 הומוגנית:

ג- חיסוק  $L_2$ :

$$V_2 * L_2 = M_{max} - M_{min}$$

$$L_2 = \frac{M_{max} - M_{min}}{V_2}$$

א- חיסוק  $L_1$ :

$$V_1 * L_1 = M_{max} - M_{min}$$

$$L_1 = \frac{M_{max} - M_{min}}{V_1}$$

א. מאמצים מכומת ציריים \*

א. כלל התחשבות בקרוסה האלמנטים לחוזים:

אלמנטים  
במתח  
תחילת משתנים  
ג. כה

$$\sigma_{צירי} = \frac{N * 1000}{A}$$

$\sigma_{צירי} = \text{מאמץ מכומת ציריים}$  [kg/cm<sup>2</sup>]

$N = \text{כוח צירי}$  [ton]

$A = \text{שטח חתך האלמנט}$  המופעל עליו כוח צירי [cm<sup>2</sup>]

ב. התחשבות בקרוסה האלמנטים לחוזים:

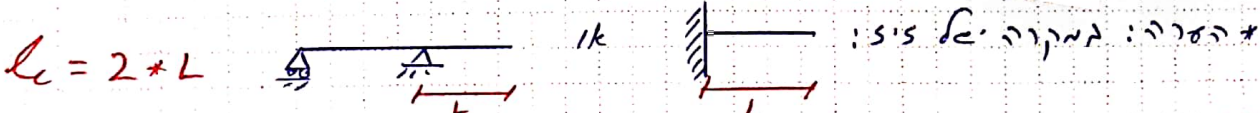
$$\sigma_{צירי} = \frac{N * 1000 * \omega}{A}$$

$\omega = \text{אומצה}$  מקדם קרוסה (מספר קרוסה)

חישוב אומצה  $\omega$  - מקדם הקרוסה (מספר קרוסה):



א. קרוסה אונק קרוסה  $l_x$  [cm] ← האורך המופעל עליו כוח צירי.



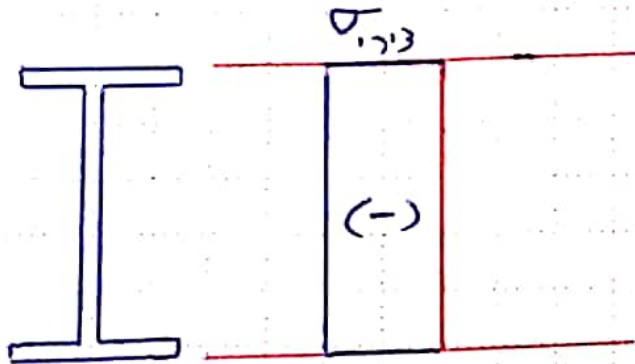
ב. קרוסה רביוס האנודיה  $i_x$  [cm] \* למחך אחיד = אבחה \* למחך מוכב או יפני =

$$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}}$$

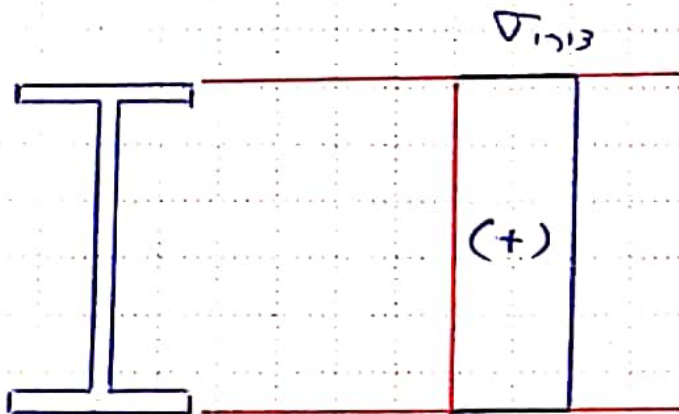
ז. חישוב למכא  $\lambda$ :  $\left[ \lambda = \frac{l_x}{i_x} \right]$ ; (מספר אלמ יחידת מופיה)

$\omega$  אומצה

ב. אבחה 1 מ' בחוברת סטטיקה, עמוד 49 פרוכט  
אבחה 3 מ' בקומת סטטיקה עמוד 50 צינור



עקב כוח  
צירי האמצעי



עקב כוח  
צירי האוחז

צ. דגור כרופים מתאים גרתימ'קות גכפופה וכומוה ציכיים:

יטלי פתרון:

(1) חישוב  $W_x$  מכפופה גרפ: 
$$W_x = \frac{M \times 10^5}{\sigma_{\text{דגור}}}$$

M: עוק הומוט  
המקסימלי או  
מומט גוקופה  
מסוימת.

(2) עגור  $W_x$  מתיטטי, גומר כרופים מתאים מטבלות הפופילים לט סוז הפופים ג'טלה (IPN, IPE, ...)

(3) עגור הפופים יתורטי אני נו'טם אר עוק ה-  $W_x$  -  $cm^3$  או  $cm^2$  יטלו.

(4) מח'ט מכפ'ס אר מטלי הפפופה עגור הפופים יתורטי. כוומר, מטת'ס ה-  $W_x$  יתורטי מטבלה:

$$\sigma = \frac{M \times 10^5}{W_x}$$
  
כפופה

(5) מח'ט אר מטלי עקב הכוומר היכויים ג'טרה נקופה יט מומוט המקסימלי או נקופה יט'הם גוק'טו.

$$\sigma_{\text{ציני}} = \frac{N \times 1000}{A}$$
 או 
$$\sigma_{\text{ציני}} = \frac{N \times 1000 \times W}{A}$$
  
מ'ט'ט'י מטבלה      מ'ט'ט'י מטבלה  
מ'ט'ט'י מטבלה      מ'ט'ט'י מטבלה  
אם ציניק

(6) 
$$\sigma_{\text{כפופה}} + \sigma_{\text{ציני}} < 1600$$

אם כן, הפופים מתאים.  
אם לא, גומר כרופים יוגר ג'דול ומוזר מס'יל 3.

חישוב ממוצע מקסימלי של חתך יכול לקבל, בהתחשבות  
במאטל נכפה ובכמות צינוריים:

$$1600 = \frac{M + 10^5}{\omega_x} + \frac{N * 1000}{A}$$

מאטל מותר → 1600  
 נעלב → M  
 חיטבו קורב →  $\omega_x$   
 נתיב → N  
 מאטל קרויס →  $\frac{N * 1000}{A}$

$$1600 = \frac{M * 10^5}{\omega_x} + \frac{N * 1000 * \omega}{A}$$

מאטל מותר → 1600  
 נעלב → M  
 חיטבו קורב →  $\omega_x$   
 נתיב → N  
 מספר קרויס →  $\omega$   
 מאטל קרויס →  $\frac{N * 1000 * \omega}{A}$

$$\left[ 1600 - \frac{N * 1000 * \omega}{A} \right] = \frac{M * 10^5}{\omega_x}$$

צרך פתרון!

$$\frac{\left[ 1600 - \frac{N * 1000 * \omega}{A} \right] * \omega_x}{10^5} = M$$

מאטל סיפוט