

חולק מ-1

פרק 1 - מבוא

תורת חולק החומרים הינה מקצוע הנדסי "שוא" להתפתח

מן הפיזיקה צמחה תורת חולק המבטא את חולקם של מבנים על בחירה מתמטית של מודל העברה והחומרים מהם הוא מכבד. י"ן ספק לגבי אמצעים הנה נבד נסיוני רב בתולו שלן בעצדון אלו אתן הנה לבנית וגרעני הערך בולגור העקבסיה והפורמקור ויתם הם הקימיו.

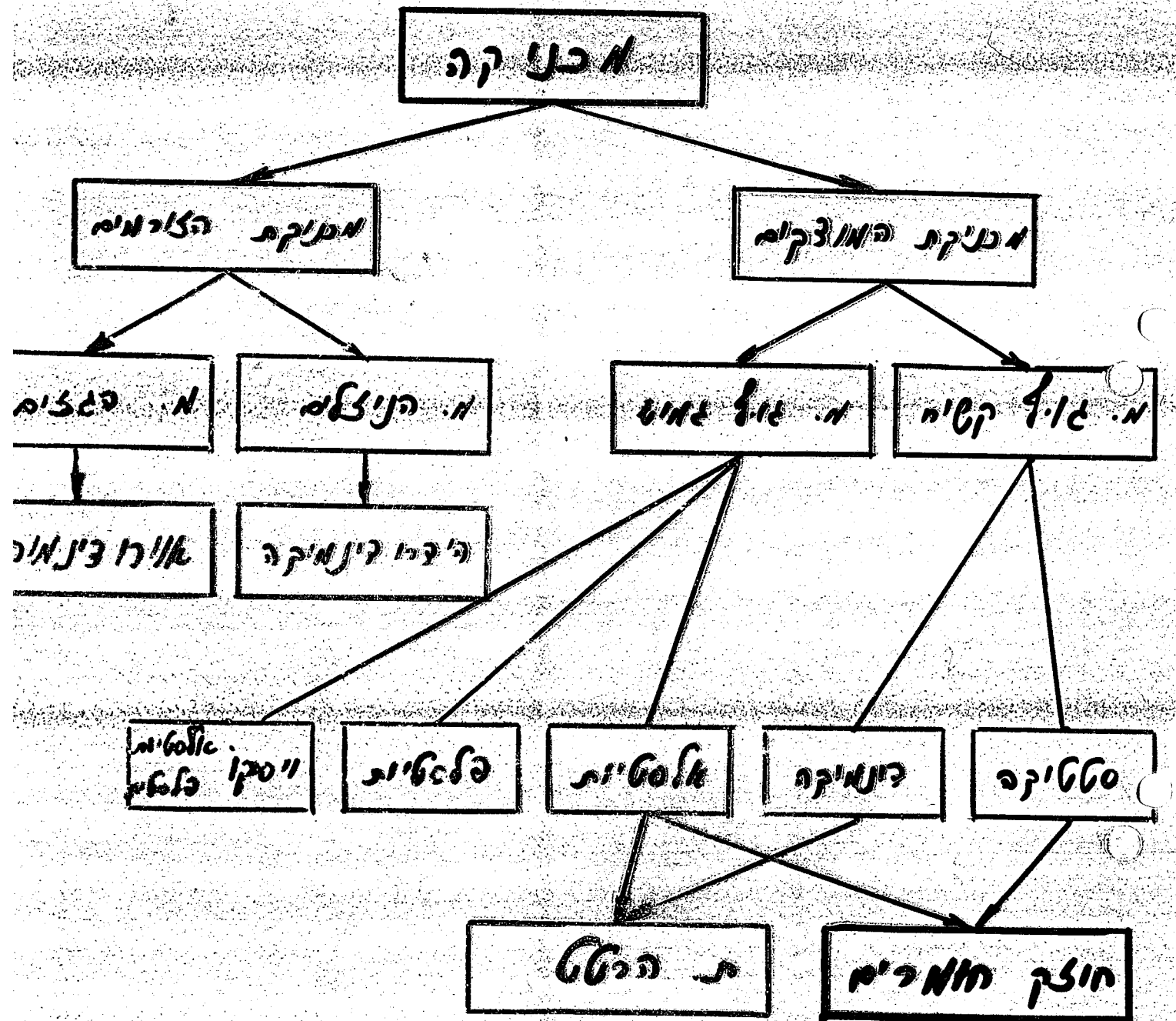
ואיכסוס (287-282) אפנה הנה את וסידור הסטטיקה בטלון ברוק המנהל וילם רק במאה ה-16 Stevinus ההולנדי (1548-1624) נוסח את חוק הסטטיקה הבסיסיות זקרה של תורת החולק פותח. אוממה ה-17- צבאומיו. וינו המצה לבנית מוכבות מסנקת המוסנת ית חיוני חולקם של מבנים באסוסים איונים וכו'.

תורת החולק ממנה חלק מן המבנה הקלאסיות. נובל אהבם זאת בצורת השלף הבא (שלף וג)

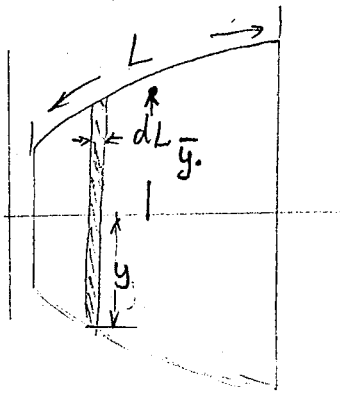
הקנים יחולק אלט חלקים : בחלקו הראשון נמצא את צביות הסטטיקה וית בחלקו השני (תחול אלכר וית נוסף תורת החולק צבמה

C

C







5.5 משפט פפוס Pappus Theorem

נניח לנו עקום המסתובב סביב ציר שיוט נחשב עמו יונק מרחק: $\bar{y}$ המבדל המסתובב.

$$dA = 2\pi y dy$$

$$A = 2\pi \int y dy$$

ולכן

$$\int y dy = \bar{y} L$$

ובכן

$$A = 2\pi \bar{y} L$$

באזור שטח המעטפת של צורה מסביב העקום שווה לשטח מעטפת קוטר שיוט ו- $\bar{y}$ באותה צורה ולא יסובב שטח סביב ציר שיוטו נחשב עמו יונק נכח הסוגה א:

$$V = 2\pi \bar{y} A$$

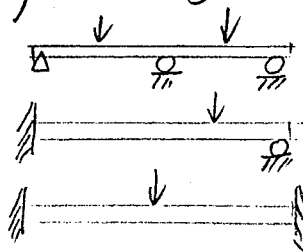
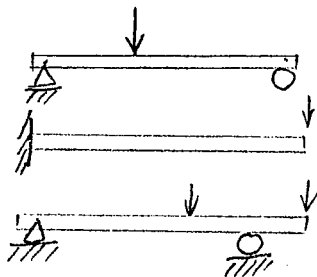
היכן $\bar{y}$ הוא המרחק היחסי $\bar{y}$ מרחק מרכז כובד מצי ה x .

חלק ב' נושאים שונים

5.6 קורות

חלק מהקשר המסורתי אלטר עומדי כפופה לקבוצה קורות. הק"ב הקורות הם מוחות פנימאטיות זריזות להכוחות החיצוניים מופצלים ברצף אזורי זריזים. הקורה היא חלק מהקורה החלופים ביותר.

מבחינה סטטית קומה קורות מסוימות ובלתי מסוימות סטטית בגורמים לחינה יחידה:

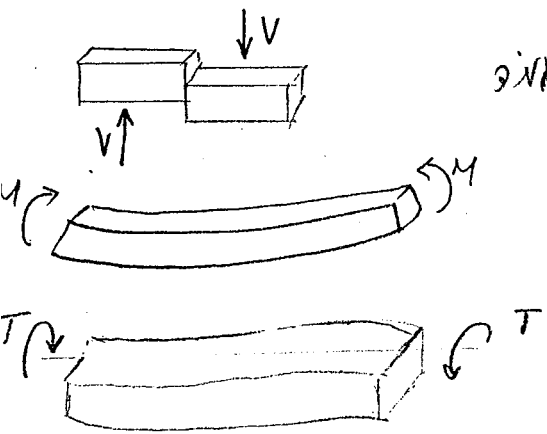


O

C

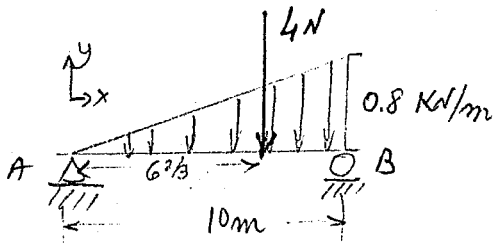
זו קורה וסל אפדל זואס מחוכ, זואס מחולק וזו סל קומבונד שיהיו.

גזירה כפיפה ופתיח



בנוסף למעטה וזו אחיצה וכלה קורה אמצע
הזארה הכפיפה הפתיח כמטויסט.
V נקטו כח הזארה, M מומנט הכפיפה
T-M מומנט הפתיח.

בזיס מופדל זל קורה זואס מחולק נפל אהשחאס בתקולו כבי
אחשב זח שזי המפל החיצון סל הקרה



צולאמא

חשב זח המאבול בסמטת A, B
נפנס מענה צומח זאזי הכח
המחולק והיה

$$w = \frac{0.8}{10} \cdot x \text{ kN/m} = 0.08x \text{ [kN/m]}$$

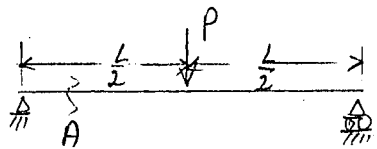
עצמת הטלול תהיה

$$Q = \int_0^{10} 0.08x dx = 0.04x^2 \Big|_0^{10} = 4 \text{ kN}$$

מקום הטלול.

$$Q \cdot d = \int_0^{10} w(x) \cdot x dx = \int_0^{10} 0.08x^2 = \frac{0.08}{3} x^3 \Big|_0^{10} =$$

$$4 \cdot d = \frac{80}{3} \quad d = \frac{20}{3} = 6 \frac{2}{3} \text{ m}$$



צולאמא זארה ומומנטים

בזיס נסחב הקרה שבתלסט
יחחק וזמה בתחק סל שיהיו A

כבי אשחז זל שזי המפל יפדל זל החחק כח זארה V ומומנט
M. אשחז זעלם זלזי חולבית רבה בחוכר חומות



עבינו העקרית של מיתן מקרה של שטח אקראי ומהחוקים
המכונים של של חלקי חלקי כפי שיוכל למצוא באמצעים שיופיעו עלינו;
אנחנו קבוצת עם הפונקציה של מילד אחר בקטח' של ציר הצומד
לפניה מידתה של כולל למצוא באמצעים הוויזואליים וכו'.

בנוסף למיתן חזקו של החלק יסאצטם ציונים גם על
קטיותו אמל ידבר מקרה אל די לתיבה חזקה ציה כפי
אלה צוות מסוים ולא לרצוי לתיבה גם מילדות במקרים
רבים (לתיבה מצטט) ציונים נוספים אמל צביר מוט
הענין לאחידה שיהיה יקרה - לא מצד זה יצוינו.

מטרה נוספת החיזק לופסי חסכו של חלק כפי להבטח זה:
חזקו, קטיותו ויצוינו.

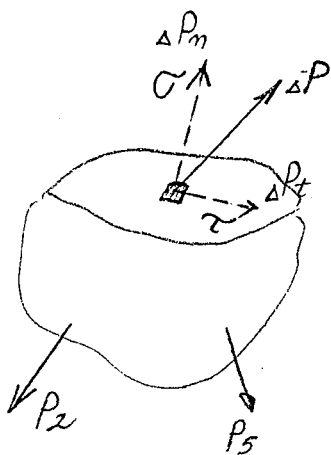
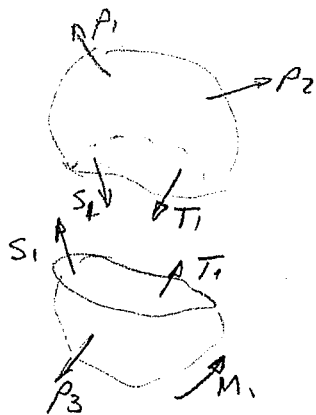
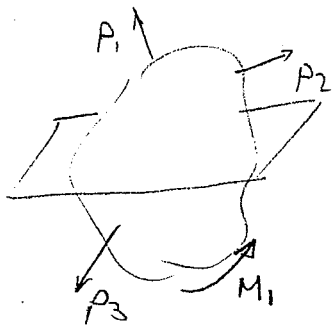
חוסן החיזקם לעצם החיזק חומרים הנה Galileo במחצית
ההולטנה של המטה ה-70 הנה עצם הצביר במילת באחידה ובמילתה
לביקור הנפשה. צביר העומד לעקרוז בזה מצבם של מסבי
חיזקם צבירים Coulomb, Poisson, Navier, St. Venant
ו- Cauchy. מקרוז החיזק הנה בזה יסודים (חזקים) במקור
התקנים י מנות, ווויזואליקה, בנק, חילול וכו'.

המקרוז מבסס ביסודו על אלה של מכניקה קלאסית (סטטיקה)
ותכונות החומרים ההתקנים.



7.2 שטח התחבום

אחת מהשיטות העיקריות הידועות בסטטיסטיקה היא לקבוע את פאז הבחנות הסטטיסטיות השונות בתוך גוף נתונה מהפצת תכונות החיזונית שלו. המושג הבסיסי הוא לטעון כימיות גוף תכונות של הגוף כולו ואזי מן אביז חלק של הגוף בצורה משנה העונה פיק חזקים בו וני מצינונים לדעת את מהלך הכוחות החיזוניים. נכח לקבוע כוחות אלו. משקל סטטיקה שטח חלק של הגוף נמצא בשטח משל.



7.3 מחזור

לספק את הוויז קטן של חלק התפוח
 על ולחזק שטח ΔA עליו פועל כח ΔP
 בתחת החלק וני מצינונים קרפיד הכביבו
 הוויזי והמשקל ΔA של הכח ה"ט
 ΔP_n ו- ΔP_t כח וני מסתכלים על צמבות
 הכח לחיזות שטח לאור הפצלים המצינונים ואתני הכח

$$\sigma = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta P_n}{\Delta A}$$

$$\tau = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta P_t}{\Delta A}$$



לפי $\Delta P / \Delta A$ וזו קבוצה מומלצת הנכנסת לשימוש
מקובל לקבוע המומלץ הנמצא τ וממילא הצורה τ המומלצת
הנמצאת יכל להיות מוטת (+) או לחיצה (-)

מבחינת סוגי המומלץ הוא מופיע לזו וקטורים וקטור הכח וקטור
השטח. לפיכך פוסקים מסוג זה וזו קבוצה טענה ביון נחה במוטת
זה יצורה בקיום בתורה האסטריות.

האשר למומלצת מומלצת הוא זה למומלצת שלם ומומלצת זהה לזו.
לא אחל הומלצת הבסיסית בטל SI הוא הספק

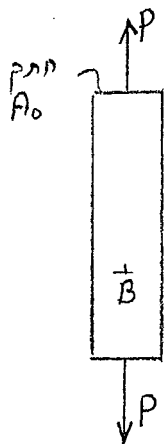
$$\left[\frac{N}{m^2} \right] = 1 Pa$$

כזה בגלל היותה קטנה מאד מטמטם במערכת

$$1 KPa = 10^3 Pa \quad 1 MPa = 10^6 Pa \quad 1 GPa = 10^9 Pa$$

$$1033 \frac{kgf}{cm^2} = 10.33 \frac{N}{cm^2} = 1.033 \times 10^5 Pa = 0.1033 MPa$$

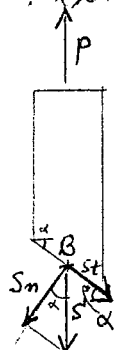
(חזק "לעבור" לזו וזוהי וזוהי במסור וזוהי העצמי היקנקונה
B שזוהי זה על מסור החזק הקים וקבל כזה בקונה B τ ו- σ
העסוס. (עצמי זהה בצורה המוטת הזו):



$$S = P$$

$$\sigma = \frac{P}{A_0}$$

$$\tau = 0$$



$$S = P$$

$$S_h = P \cos \alpha$$

$$S_t = P \sin \alpha$$

$$A = \frac{A_0}{\cos \alpha}$$

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \cos^2 \alpha$$



$$\alpha \rightarrow 90^\circ$$

$$\sigma \rightarrow 0$$

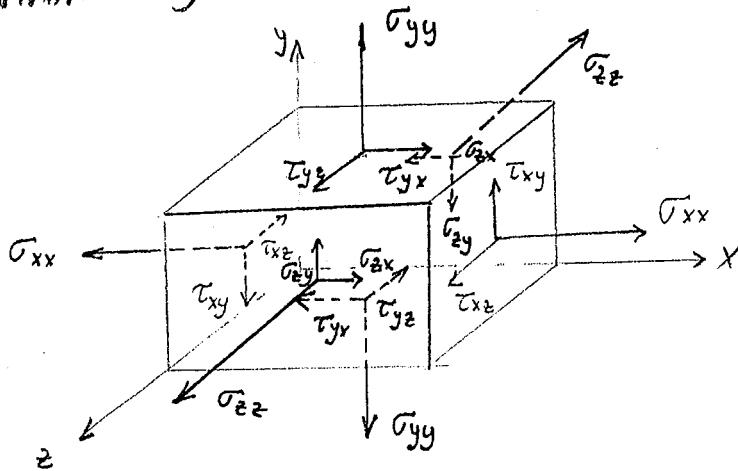
$$\tau \rightarrow 0$$

ממילא הפסד וזו המוטת לזוהי

באמצע גינת המומלץ הנרמל המאמר המכונה "החוקים" המכונים "החוקים" כדי להסביר בצורה הפשוטה ביותר את המאמר המקצועי בצורה צמודה ממומנים אלגנטית צמי הקואורדינטות (הנבחרת כרצוננו) ויציחה סבוב הנקודה תהיה קטנה מאוד מסמנה את הכבלים של לנציה המומלץ.

(סקל 7.1)

שטח הסמון



σ_{ij}

כיוון הכבל
הציר הממוקד למשור
הקבוע

שטח הסימנים

סימן כיוון המשוך - חובה הוא הנרמל למשור הוא הכיוון החיובי של הציר והפך
סיומן כיוון הכבל - חובה הוא כיוון הכבל כיוון הציר והפך.

סימן כבל המומלץ = (סומן כיוון המשור) x סומן כיוון הכבל.

(הצורה השונה לסומני נקטור והכונה ממנה ולחיצה)

7.4 תרומה צמיחה: מומלץ נרמל

לצמיחה ע"י החיכה נכונה של משור החתך וקבל את אילו של המומלץ בקלות וכן קבל מומלץ שהוא הצד המשמעות הנכונה. המכונה הכרטי הנשט ביותר הוא מוט ושר העתק למטה זו אלחיצה של שני כוחות קואורדינטים הפועלים P. המכונה לה נחתך את המוט במשור הממוקד אצלו. המכונה לה והוא המומלץ.

$$\sigma = \frac{P}{A} \text{ [N/m}^2\text{]} \quad (7.1)$$

מומלץ לה מחולק באופן יחיד על שטח החתך הממוקד.

C

C

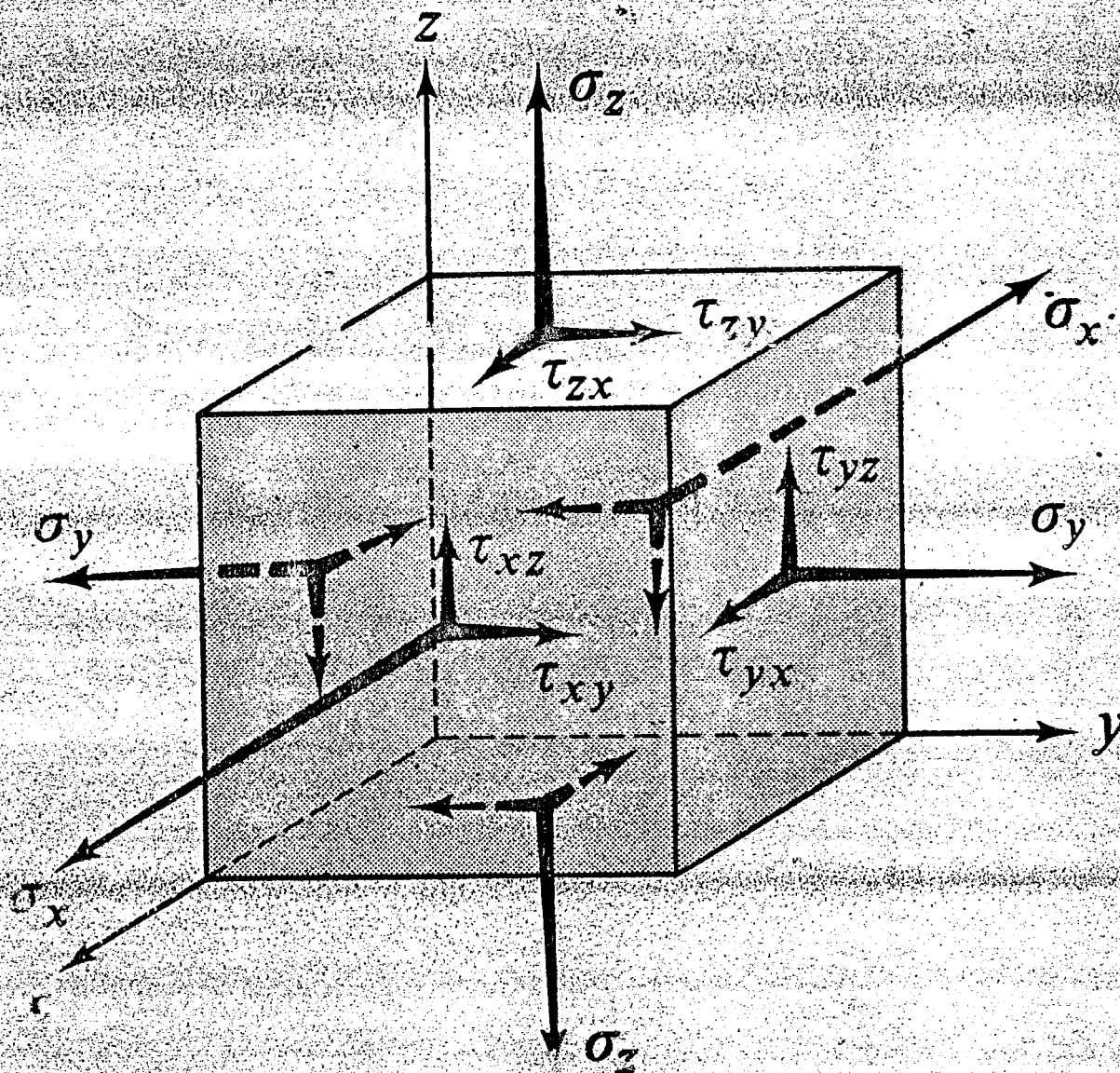


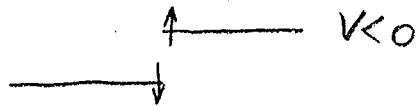
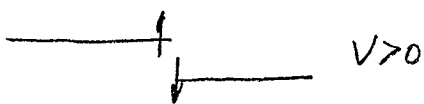
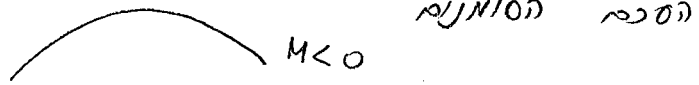
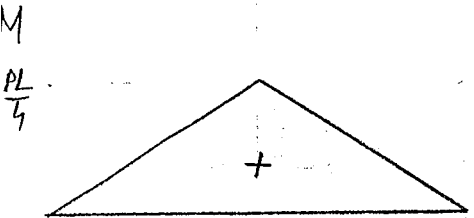
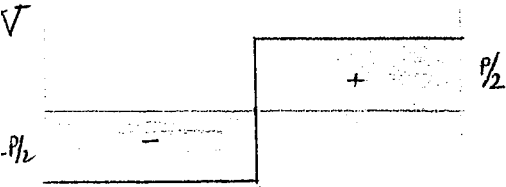
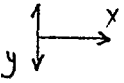
Fig. 1-3. The most general state of stress acting on an element



לפי חוקי האיזון של חתך הקורה

$$\sum F_y = 0 \quad V = \frac{P}{2}$$

$$\sum M_B = 0 \quad M = V \cdot x = \frac{Px}{2}$$





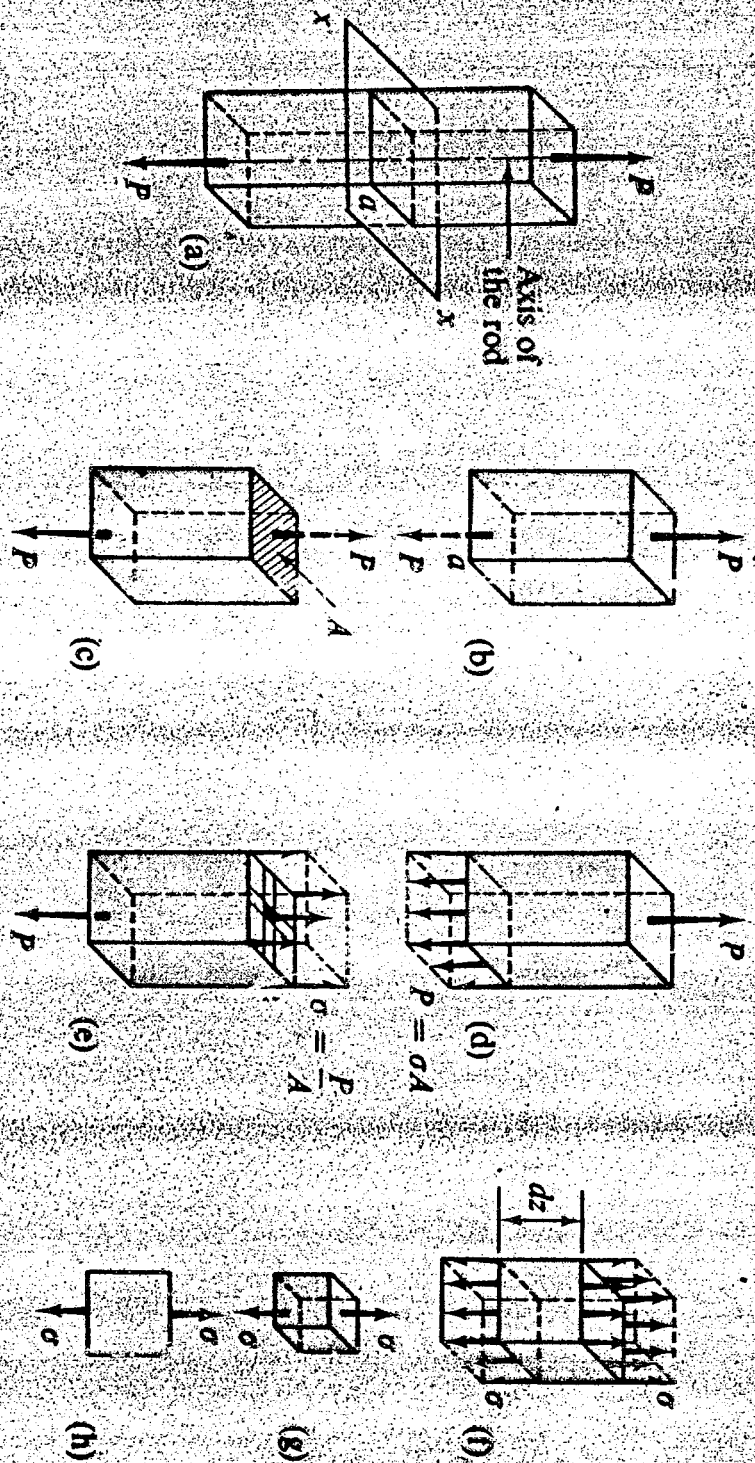
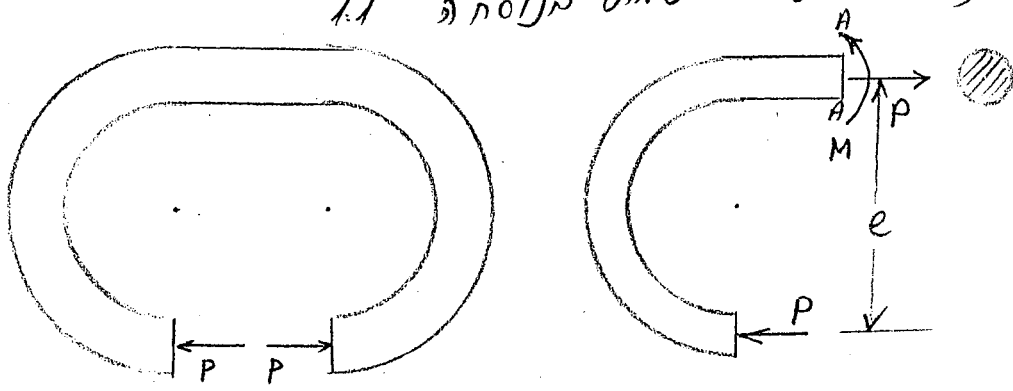


Fig. 4. Successive steps in the analysis of a body for stress

Stress Analysis 7.2 p.e

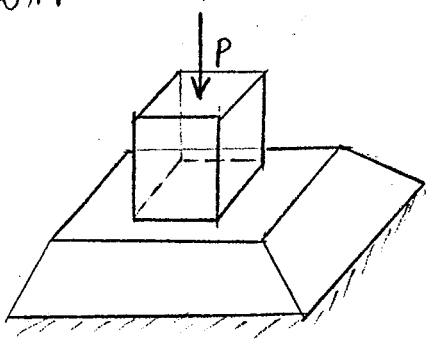


צוין אצל כ המומלץ ש המחלק על החתך A הוא סטטוס אקוויולנט
לכח P אומנו שקלו שנה ל-P וממנו שנה ל-ס. השקול צהר
צדק המכש המומלץ של החתך כסם שנה P המקורי. נכל
לם להעביר זה העצם ההפוך למעל לקבלת חלוקה לחיבה של מאמצי
בחתך על הכה המקורי אצרי צדק המכש המומלץ של החתך.
לכח צומח שיונה מאפסרה שמוט בנוסחה 1.1



מקרה המשיג החתך AA סדר בקול לכח P מומנט
 $M = Pe$
ונוכחן שכל המומלץ החתך הנל צל כזה ששקלו הסטטוס נהיה כח P
+ מומנט M. אך כל המומלץ לו נכל להיות יחיד החתך A-A.

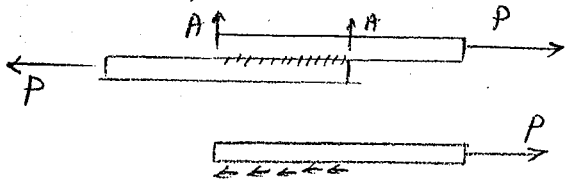
הצדקן שמוסבר לעל צדדי מקרה המטרה ישים במחקר זה לחיבה
מנה נוסף בו ישימה מטרה זו. הוא במאמצי אצרי. כוסה שני
אנוס הוא בעצד נוכח המופעל על העצם מקם צדדי צדק המכש
המומלץ של מטרה העצד נא להשתמש במשוואה 1.1



הבליק המומלץ ההסוס שהשיג
מומלץ העצד bearing stress
יחשב בהתאם לנוסחה הנל.



בשאל 7.3 מופגשים מס' מצבים בהם מופעל כח מחלק אחד של האיל לחלק שני. במקרים אלה מומנטים במסגרת המקביל לבה המופעל. במקרה זה נחתק



בהתק AA במשיכות בזמן נתון

שהמומנט מחלק בזמן נתון

שטח החתך נקרא שטח מומנט המצורה

$$\tau = \frac{P}{A} \quad [\text{זממ}^2] \quad \text{יטונה ל-} \quad (7.2)$$

במצב למקרה המעטה מתייחס נוסחה זו יקרא מומנט המצורה

הממוצע הוא בשאל 7.3. במקרה של מסמנה במשיכות e

ועל שני משוואי המצורה. בואי מופעל כח המנסה למצא את

המסמנה (e-c) נוצר בטטה המופעל בין המסמנה לחלק אחר

מומנט נייטרלי. פאזי הוא מופעל לו סביב ילק מחוץ וכן למסויה

למשל צמי המסמנה בצורה ציטו ופיה :

$$\sigma_b = \frac{P}{t \cdot d}$$

הינן טו - ציטו המס
d - קוטר המסמנה

במקרה של מסמנה המופעל למצורה כפולה יהיו שני מומנטי מופעל

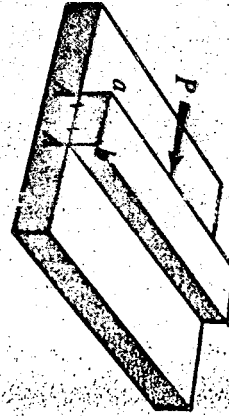
$$\sigma_{b1} = \frac{P}{t_1 d}$$

ציטו המס המופעל

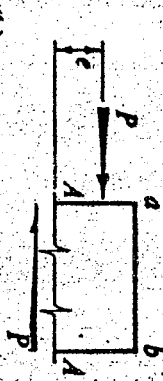
$$\sigma_{b2} = \frac{P}{t_2 d}$$

ציטו המס המופעל

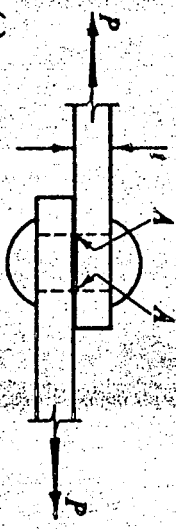




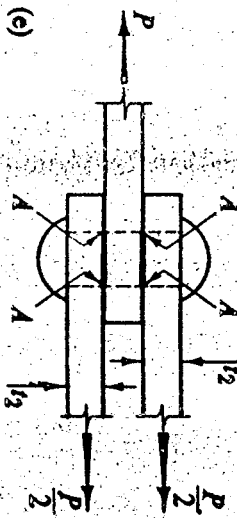
(a)



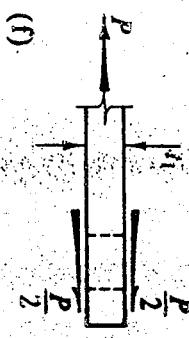
(b)



(c)



(e)



(f)

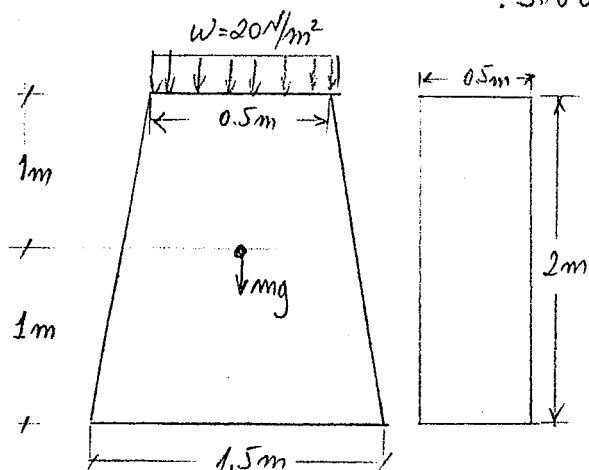


(g)

שקל 7.3 מומנט גזירה



בליח ל-P ו-A יבוצע נתן אולם ית נוסחאות (9.1) ו (9.2)
 מיקום בד"כ יאני מנהלם האלף ית ואת מקומות בהם P מקטות
 ו-A מינמלי לבזוק מצבית τ_{max} ו τ_{max} . לעקומות האלו
 יאני קוהומ החבטים הקרובים . ית הבחור P יאני מקבלים מהסטטוס
 בהתנה שמיעת האלף כאצט וזיון מטינות צקה ההחמסה התשוב
 של הכוחות נצטה בתצורה האלו מצומת אל המבנה . בשלב
 הבא יטסן נצטק במבנה מסוימות סטטוס .



פואנא א

נתן צמיח הסין כאטוסטס הנתין
 לעומת מחלק בקצהו . משקלו
 של הסין הוא 25 kN/m^3 . חשב
 ית המאונך הממסמח בחלק
 של ± 1 מ מציף הוהבמה .

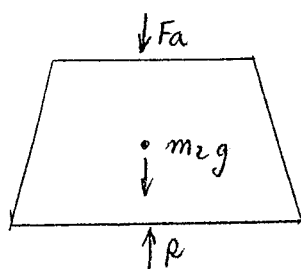
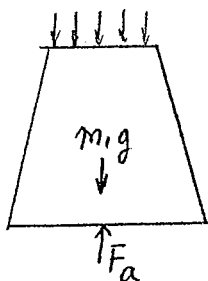
בתסין

א. חסמה התאבה של הקרמדי

$$W = \frac{(0.5+1.5)}{2} \times 0.5 \times 2 \times 25 = 25 \text{ kN}$$

$$P = 20 \text{ kN/m}^2 \times 0.5 \times 0.5 = 5 \text{ kN}$$

$$\sum F_y = R - W - P = 0 \Rightarrow R = 30 \text{ kN}$$



ב. בקצ חתק האבה ± 1 מ ונציו המאונך
 האל חסמ של שן החלקים

נצטל תחמה האל האליון

$$m_1 g = \frac{(0.5+1)}{2} \times 0.5 \times 2 \times 25 = 9.4 \text{ kN}$$



$$\sigma_a = \frac{F_A}{A} = \frac{14.4}{1 \times 0.5} = 28.8 \text{ kN/m}^2 = 28.8 \text{ kPa}$$

(בעקב עמסול של חולק התחתון)

$$mg_2 = \frac{(1+1.5)}{2} \times 0.5 \times 2 \times 25 = 15.6 \text{ N}$$

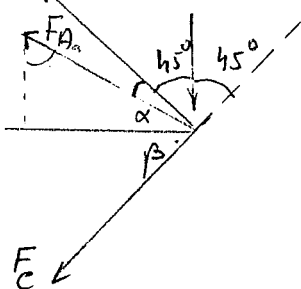
$$\sum F_y \quad F_A + mg_2 - R = 0 \quad \checkmark$$

סלע: במצב התחתון יונק מניק וזהו קרב קרב.

קואמא ב

צא מוטת התמסורת שבסלע 7.4 ניונים אמו $p = 15 \text{ kPa}$ ה מוטות
חלל וזון מנוצות בקצותיהם אמטות חביר חסב יאג המומואל
תנימול בכא מוט ואל ומומול חוהצ בפין C קטרי כל הפונימ 10mm.

א. רבדז מוממא זול חפס כבסחט. במוטת וסלעו רק כחור
וואכוס (מוט חוקין אלט כחור וכו'). ניטב יאג הצות α, β



$$\tan \alpha = \frac{1}{2} \quad \alpha = 26.57^\circ$$

$$\tan \beta = 1 \quad \beta = 45^\circ$$

בחני x-y במסורט ונסבה

$$\gamma = 90 - \alpha - \beta = 18.43^\circ$$

$$\delta = 90 - \alpha = 63.43^\circ$$

$$\sum F_y = 0 \quad F_A \cos \delta - p \cos (45 - \gamma) = 0$$

$$F_A = \frac{p \cos 45^\circ}{\cos 18.43^\circ} = 11.18 \text{ kN}$$

$$\sum F_x = 0 \quad -F_C - p \cos 45^\circ - F_A \cos 71.57^\circ = 0$$

$$F_C = 14.14 \text{ kN}$$



Fig. 1-23



$$\sigma_{AB} = \frac{F_A}{A} = \frac{11.18}{0.006 \times 0.015} = 124.22 \text{ MPa tension}$$

$$(\sigma_{AB})_{\text{net}} = \frac{F_A}{A_{\text{net}}} = \frac{11.18}{2 \times 0.005 \times (0.025 - 0.010)} = 74.53 \text{ MPa Tension}$$

$$\sigma_{BC} = \frac{F_C}{A} = \frac{11.14}{0.006 \times 0.025} = 94.27 \text{ MPa compression}$$

מוחלף המעגל בסין C : מין למצב

$$\sigma_b = \frac{F_C}{A_{\text{bearing}}} = \frac{11.14}{2 \times 0.01 \times 0.005} = 111.4 \text{ MPa}$$

מוחלף המעגל בסין C : מין למצב

$$\sigma_b = \frac{F_C}{A} = \frac{11.14}{0.01 \times 0.006} = 235.67 \text{ MPa}$$

מוחלף המעגל בסין C : מין למצב

$$\tau = \frac{F_C}{A} = \frac{11.14}{2 \cdot \pi (0.01/2)^2} = 90 \text{ MPa}$$

7.7 מוחלף מוחלף ומקצב בסין

חשב המוחלף הולמנט חסר טעם הוא הוא למוחלף באינסומב
לגב ולבטל של המוחלף מוחלף מוחלף המוחלף לטעם מוחלף לטעם קבוצת
כיסוי נטעני של פ מוחלף מוחלף מוחלף מוחלף מוחלף מוחלף מוחלף
קצב סטנדרטי כוטר המוחלף מוחלף מוחלף מוחלף מוחלף מוחלף מוחלף
מוחלף המוחלף המוחלף מוחלף מוחלף מוחלף מוחלף מוחלף מוחלף

$$\sigma_{UTS} = \frac{F_{UTS}}{A_0}$$



המיוחד האילו יותנו מתכננים הוא נחלק מ σ_{UTS} מסיבת של זי וצוות
 ביום לטוב החומר, עצמו הבחור האויבים מופצות כמו בחילה, התצופה,
 מאמצים שונים. כל חברה וז' נשנה קובצת מכו. המומחז האויב.
 המהיר למכון בחומרים שונים. הצקבא לוג מן אהצנו מקבם הטחון

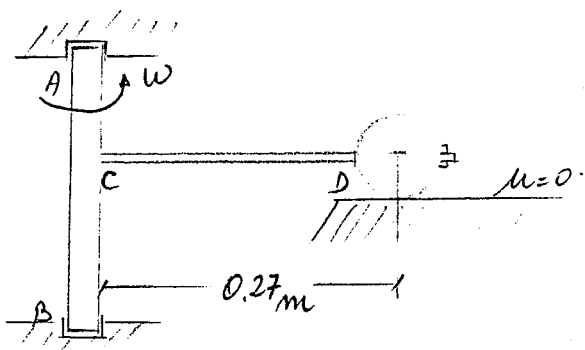
$$f_s = \frac{\sigma_{UTS}}{\sigma_{allow}}$$

7.8 בסן האקים התונים להצמסה צרות

בסן האק מסוג זה כשת לאפי סלח החתק התונים של האף
 כזה והיה:

$$A = \frac{P}{\sigma_{all}} \quad (7.12)$$

ישל וזהי מליטס נוסחה לוג צבוי מוטת לזכס התונים אלה צה
 ברם אלוהי להתחש קיוסו בציוס הנחיק בהורבה מזה התון
 ז' הנסמה בצלול.



ציא 1-6 (24)

הצוי AB מסוגה

התפיות של המד מוט

למסלול כנתיב וזליו כדור

למסגרו $m = 5.09 \text{ kg}$ מחובר

למוט AB וסוגה יחצ צמי

הנחיתן צליו מונה הנקוי חסי תוכק

חסי זמ שלח החתק של CD כק שהמוחל לאו יצלה של 70 MPa

$$F = m \cdot a = m \omega^2 r = (5.09) (2\pi f)^2 (0.27) =$$

$$5.09 \times (20\pi)^2 \times 0.27 = 5.43 \text{ N}$$

C

C

$$A_{net} = \frac{F}{\sigma_{allow}} = \frac{5.43}{70,000} = 0.0000777 m^2 = 77 mm^2$$

אולי לא נחשב את המסה של הסיב וזה היה נוסף בשנייה של המסה
כה של

$$dF = dm \omega^2 r = \mu \omega^2 r dr$$

$$F = \int_0^R \mu \omega^2 r dr = \frac{\mu \omega^2 R^2}{2}$$

$$\mu = 0.07 \text{ kg}$$

$$F = \frac{0.07 \times (20\pi)^2 \cdot 0.27^2}{2} = 10.072 \text{ new}$$

זה לא ישפץ את A בוצע.

1.9 סלם האישב הבסיסית

אכה החזות בתור החזק יש יאגרות בסיס ומטרת
אכתיון:

- א. מבטנים מתחבב ית הולאנט העפן ומטנטים סגה
- ב. החיצות מתחבב מתקלים סטלים (במבנים מסוימות)
- ג. בעקרה בה כרוב אחסב המיוול חמבה ית האל במשו
מיוולק אכר האל ומסירות חכו האל
- ד. מחשבוב ית הכותב השקלים סטלים הפוצלים בחתך
אלמיה שמשקלן כוחות צומם, יצירה, מומטי נפוסה ופתי
- ה. מוטמיה ית מוטמיה מניקת המוצקים לתיאם הכוחות אלמיה
- ו. בצדית המיוול העקסוול העומי עתן אבהו חומי מטוב לחלק
זו בום החומי עתן אבהו מומי ממומיה לחלק.
- ז. שקל הצבות זו צבות מולי בלב הצה

O

C

פרק 8 עבודות לחץ והיקף

8.1 בלוי

המסגרת הפתוחה יפון מושך העליון והתחתון עובי מוחלט
לחיצות שונות. בסיסו נשם יורד המושך של מוחלט עובי לחיצות
בצורת הלחץ-מסוגל מסוגל בהם יש רק מוחלט עובי יורד ביום.

8.2 עובי

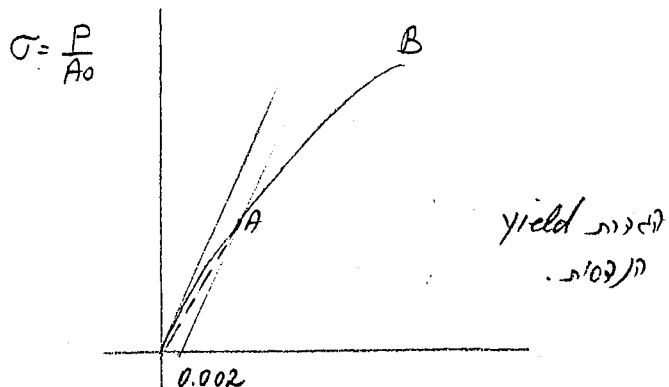
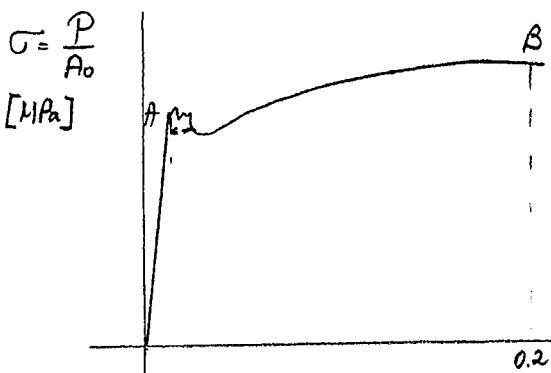
ערך כזה ליו התצפיות השינוי הצורה החלים כמובן מהפך
במחיצת גוף. הוא נמצא מוחלט פלדה נכח כי כמובן מהפך
הכח יתורק וזו יתקרה המוחלט. להתייחס להיחסית (וזה לא יתקרה)
אין קוראים עובי

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (8.1)$$

עובי מוחלט ש' הוא קטן בערך יורד יתלם חומרים כאלו בהם
יוזא נכח.

8.3 הקטי עובי מוחלט

הכפי לעצמם על הקטי עובי מוחלט וזו מהצדדים (סוג)
מתחלה מוחלט נקבה יורד הקטי הכמות בין העובי הנודע למוחלט
הזיס לזו קומא טפוסית לעצמה טפחה (וען בצורה אפסית).





המאמץ מחושב ביחידות אלפניני. צ"י חלוקת הכח בשטח החתך ההתחלתי
ולכן יקרא מאמץ הנכסי או חלק בשטח החתך הנצחי. הנה נקרא
מאמץ זמני. הבחנה פורת קומה בין הצביר ההנכסי (המיוחס ל L)
לבין הצביר הזמני (המיוחס ל L שטף)

צורת הצבירים σ - ϵ משתנה מידה מחומר לחומר. ההבחנה הבסיסית
היא בין חומרים הכוללים אצביר צבירי (עליות $\%$) שהם החומרים
המשיכים לבין חומרים שההסבום צבירי יב צבירי מצומצם והם
החומרים הסמיכים.

8.4 חוק הוק

לצבירי המוצג צבירי משיכה בקרים אל צבירים σ - ϵ .
בקטע מסוים מתחולת הצביר קיים נחש ושר (אין אחר) בין המאמץ
לצביר. צבירי חומרים כלבטגה וזו חומרים קרומים זה נכון כמעט
צבירי קומה הסביר בצורה שצביר חומרים כהטון או ביכל יצוקה כמעט
אין יוצרי נשכ. בלעגה קיים הוצרי כאיננה במהל צבירי קומה A.
בכל צבירי מבחנה מצטל נבן אומה שבהגומה מסוים ל חומרים
המלינחיים. חק זה נבוצ כחוק הוק (Robert Hooke 1676)
ונקן אנסח ממחשור בק.

$$\begin{aligned} \sigma &= E \epsilon & E &= \frac{\sigma}{\epsilon} & (8-2) \\ (F &= K x) & (K &= \frac{F}{x}) \end{aligned}$$

המכל E נקרא המודול הוולסטי או מודול יאנג או מודול
טחיתות מאמץ [MPa]. E מוצג יחד טפוצ הצבירים σ - ϵ
בתחומי האיןארי המסתיים בקבוצה הנקראת קומה לבול ההיפוכי
כיון ל- E קטן (נבוצ E הוא לבול צומא צבירי ביכל

$$E = 200 \text{ GPa} \quad (2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2)$$



יש לזכור כי נוסחה 8.2 ישומה רק עם ליגור הפורמורציונלי.

8.5 צקומה צמי-מחול

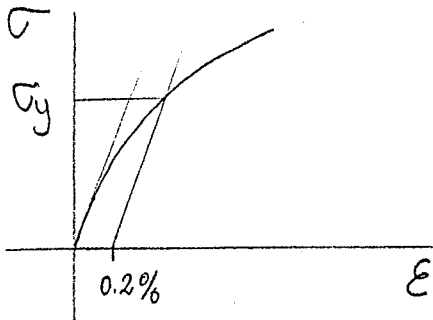
בניסול ליגור הפורמורציונלי קומה לקימה נוספת מחזקת
זו העקם צמי-מחול:

מחול המרה - Ultimate Stress

מייצג בסיסית בקנה B: המחול המרה וולט וכס אלוה
החומר

מחול הניצה Yield Stress

הפלטו שמעין לקנה A בליח המשיק לקנה מחול הניצה.
בקנה זה החומרים משיבים יש ליגור (פי 2) הצמי בליח
ליגור ליגור המחול בק"ץ עם באצט זהה ל אט של ליגור הפורמורציונלי
ולכן מקיבל לקימה בזהים החומרים בהם לקימה הניצה
ויוננה ביורה כמו בולומורומה הוא לקימה שמיחה
בני:



לביסול נצמי חומר וולסטי כחומר שצמי הסרת החומר מחזק.
חוצה ליגורו ההתחילי מלי שמיחה בו צמיחה כל שהם צמי
היבלת החומר נוצר לקימה (בליח החומרים) שטוב היאל ל
ושלם ליגורו ההתחילי לקימה זאת לקימה ליגורו הולסטי
ותחילת הפלסטיה.

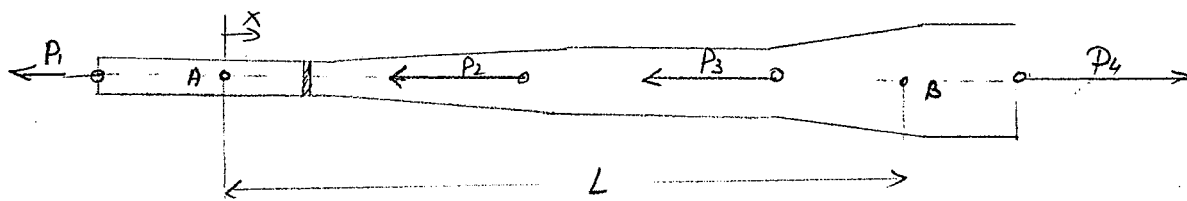
צמי כי ויל קטה בין אונחיות וולסטיה חומר בליח
ויונני ליגורו ביה הוא "מלי" וולסטי.



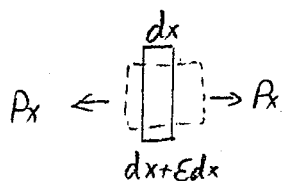
אלהי מגמת החומרים והתהליך באחיזה בומר לזכות להאמית
ומיגיל יזע שנה בטניח. ילע חומים שלב צמחים שנה
משכ בין אחידה אמתה כלן בטון ובכל יצירה.

26 התאגדות מועד התעסוקה צליל

נוסחאות 17, 18, 1-2 בתוספת אמיתות נוספות (תוך של
החומר ממוקד חסר ההכרח) שלמה מוס המצגות
אובייקט - נוסחאות במסגרת כללית במסגרת



המרחק הממוצע צריך להיות ρ_1, ρ_2, ρ_3 . בטבלת המרחק חיה מרחק $\overline{AB} = L$
באופן של מרחק המרחק צריך להיות זה. והמרחק הזה הוא פירי המרחק
של כל המרחקים בין A - B.



נקראו μ וחס σ μ וחס σ μ וחס σ
 μ וחס σ μ וחס σ μ וחס σ
 μ וחס σ μ וחס σ μ וחס σ

$$\epsilon = \frac{\sigma_x}{E} \quad \sigma = \frac{P_x}{A_x}$$

$$\epsilon = \frac{P_x}{EA_x}$$

בואם יאליק המעט ההתחל הור dx ואז אולי הסוכ 1 הור

$$dx + \varepsilon dx$$

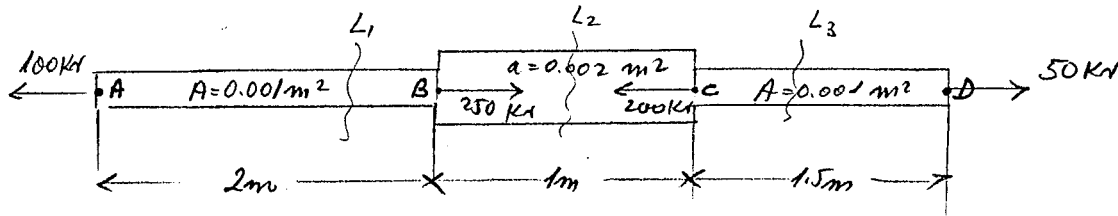
$$\varepsilon dx \quad \text{הנחה קטנה}$$

$$d\Delta = \epsilon dx = \frac{P_x}{A_x E} dx$$

$P^B P_x$



חשב את טעיני הוויק AD וצדדי מוט נלכה $E=200 \text{ GPa}$ הנחלקי קטגוריה



כיון שלמות שליסה וצדדי של חתך קבוצ (בין) בכה וצדדי וצדדי

קטע A-B

לחץ (חתך) ב L_1 וקבץ כ' $P_1 = 100 \text{ kN}$

$A_1 = 0.001 \text{ m}^2$

קטע B-C

חתך ב L_2 וקבץ $P_2 = -150 \text{ kN}$

$A_2 = 0.002 \text{ m}^2$

קטע C-D

חתך L_3 וקבץ $P_3 = 50 \text{ kN}$

$A_3 = 0.001 \text{ m}^2$

לכן ההתאמות הטלגר

$$\Delta = \int_A^D \frac{P_x}{EA_x} dx = \frac{1}{E} \left\{ \int_A^B \frac{P_1}{A_1} dx + \int_B^C \frac{P_2}{A_2} dx + \int_C^D \frac{P_3}{A_3} dx \right\} =$$

$$\frac{1}{E} \left\{ \frac{P_1 L_1}{A_1} - \frac{P_2 L_2}{A_2} + \frac{P_3 L_3}{A_3} \right\} = \sum \frac{PL}{EA} = 1 \text{ mm.}$$

2.7 מקרה סטטיסטי

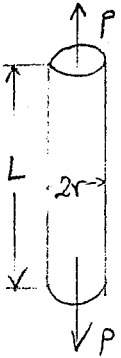
מכאן ההתאמות הטלגר החוצצות בבין מוטות לוחי חתך מוטות
 וצדדי מוטות בלוחי כ' וצדדי חתך המוטות הנצבים
 לכוון צדדי חתך מוטות חתך מוטות חתך מוטות
 מוטות וצדדי חתך מוטות חתך מוטות חתך מוטות



ה'תשס"ח י"ח ניסן (א) י"ח ניסן י"ח ניסן י"ח ניסן י"ח ניסן

$$\frac{\epsilon_{zz}}{\epsilon_{xx}} = \frac{\epsilon_{yy}}{\epsilon_{xx}} = -\nu \quad (8.5)$$

ν הינו מקדם פוזיטיו. גדול וממיר 0.5 מספרים וואריאציות:
 בחילויים $\nu=0$, פליקט 0.3-0.25, וואריאציות 0.33, פליקטיקום ~ 0.4
 אלא' $\nu=0.5$.
 $\uparrow p$



חשב זה לעי קיטת ונפמ' של מוט מצה לבתהוט:

$$E = 200 \text{ GPa}, \quad \nu = 0.25$$

$$E_{xx} = \frac{P}{EA} = \frac{P}{E \cdot \pi r^2}$$

$$\epsilon_{yy} = \epsilon_{zz} = -\nu \epsilon_{xx} = -\frac{\nu P}{E \pi r^2}$$

$$\frac{\Delta r}{r} = \epsilon_{yy} \quad \Delta r: r\epsilon_{yy} = -\frac{\nu P}{ETr^2} \cdot r = -\frac{\nu P}{ETr}$$

$$\frac{\Delta L}{L} = \epsilon_{xx} \quad \Delta L = L \frac{\rho}{E \pi r^2} \quad 2)$$

$$\frac{U_{in} V - V / \epsilon_0}{V / \epsilon_0} = \frac{\pi (r + \Delta r)^2 (L + \Delta L) - \pi r^2 L}{\pi r^2 L} = \frac{\pi (r^2 + 2r\Delta r + (\Delta r)^2) (L + \Delta L) - \pi r^2 L}{\pi r^2 L}$$

$$= \frac{\pi r^2 L + 2\pi \Delta r L r + \pi (\Delta r)^2 L + \pi r^2 \Delta L + 2\pi \Delta r \Delta L + \pi \Delta r^2 \Delta L - \pi r^2 L}{\pi r^2 L}$$

$$= \frac{2\Delta r}{r} + \frac{\Delta L}{L} = \epsilon_{xx} + \epsilon_{yy} + \epsilon_{zz} = \frac{P}{E\pi r^2} [1 - 2\nu]$$

מה בקיפה במא'?

פ.פ. חוק היין הכסף

אויסגאב פארמאגט אונז און אונזער
צווייטע. ווען וועט אונזער
און וועט אונזער און וועט אונזער
און וועט אונזער און וועט אונזער.



$$\epsilon_{xx} = \frac{\sigma_{xx}}{E} - \frac{\nu \sigma_{yy}}{E} - \frac{\nu \sigma_{zz}}{E}$$

$$\epsilon_{yy} = \frac{\sigma_{yy}}{E} - \frac{\nu \sigma_{xx}}{E} - \frac{\nu \sigma_{zz}}{E} \quad (8.6)$$

$$\epsilon_{zz} = \frac{\sigma_{zz}}{E} - \frac{\nu \sigma_{yy}}{E} - \frac{\nu \sigma_{xx}}{E}$$

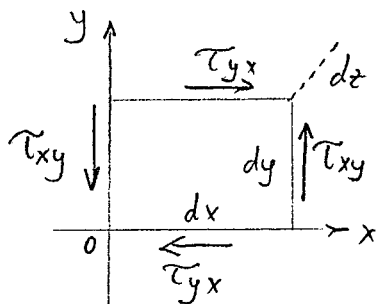
פירמא

קוביות פלדה מנופה אלומיניום פירמיסט $p = 200 \text{ MPa}$ חלל וזו התקצרות
 על יחידת מוצאית: $\nu = 0.25$, $E = 200 \text{ GPa}$ בלחץ הק' ביה 1 mm

$$\epsilon_x = -\frac{p}{E} + \frac{\nu p}{E} + \frac{\nu p}{E} = -\frac{p}{E} (1 - 2\nu) = -\frac{200 \times 10^6}{200 \times 10^9} (1 - 0.5) = -0.5 \times 10^{-3}$$

$$\Delta L_x = L \epsilon_x = 1 \text{ mm} \times (-0.5 \times 10^{-3}) = -0.5 \text{ mm}$$

בטל הכוונת החדים Δy , Δz והיוו לזרים



9.9 למכנה של משוואה (צבא)

שחלל בתקצרות של קוביות המוחל

מסבא במחב בכיוון y (ווי' x) וקבא

$$\text{פואה ימנה } (\tau_{xy} \cdot dy \, dz) = (\tau_{xy} \, dy \, dz)$$

מכיון ש τ_{xy} וזו τ_{yx} שווים לז' הפואה

(והנוכח בכיון במשולש)

(חשבא כז' מוחלטים סבא - 0

$$(\tau_{xy} \cdot dy \, dz) \, dx = (\underbrace{\tau_{yx} \cdot dx \, dz}_{\text{כז}}) \underbrace{dy}_{\text{כז}}$$

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} \quad 8.8$$

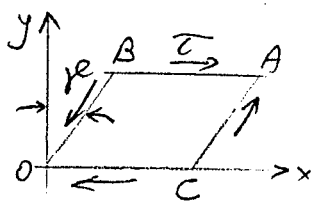
ומכיון שטנזור המוחל סומטרי $\tau_{ij} = \tau_{ji}$ וזו בצורה מוחל
 מוחל המצורה זל של משוואה וזכרונותיסומחליות הומוגניות לזה לזה שווה
 במ' כן אלם קיים סא. של וזאנט יתח מוחל המצורה לזה זל צורק
 בזל זואג שיבטיות. לימחל כוחה ומוחליות. תצורה של המצורה
 מופנים נק. שיבטיות. בזל קצותו של וזכרונות

C

C

8.10 חוק הוק במצורה

במצב ההצמסה של מצורה הלבד - המצורה טהורה יזכה



לזלזול אט צוות בצורה טהורה
מסוגל ב קוים מבחניה נסיונות, התחיה
הואלסטי הקטי הליקויה הלא

$$\tau = G \gamma \quad (8.9)$$

חוק ל- γ חרמי תצוט (הטעי מ-90°)

G- מודול המצורה הואלסטי לרוב קבוצ צבוי ט חומי בדומה
E-
הכללה (8.9) מתן:

$$\epsilon_{xy} = \tau_{xy} / G$$

$$\tau_{xz} = \tau_{xz} / G \quad (8.9a)$$

$$\gamma_{yz} = \tau_{yz} / G$$

ומן אהנווא ב בין שלולת הקבוצים הואלסטיים קוים קטי

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (8.10)$$

כאן כ יצוין למעשה לחיך חוק הלא אלה מאמצים נורמאליים במצב

מצורה (8.9a) אין הסעה העדית בין הכביהים השונים של העבור

8.11 כביצי מאמצים

ההנחה שכלים המאמצים לחיך בחתך של חלק המוצמס צויה

מתנה בדומה הכח המופעל מחלק צל החתך באופן אחיד

והוא שנויים מהירים באיזומטריות החלק בשני המצבים

שמיכבלי קימת תוספת מקומות היפוע ככביצי מאמצים, מתחין

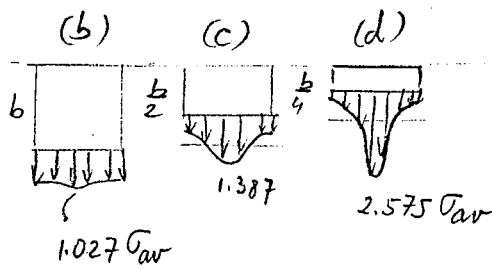
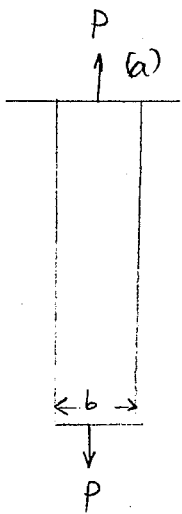
בדומה בעתה זה שיק אהנה הואלסטיות בהם עיון קצרי העופה

ומן אהיך זה כאן.



1. מומנט בקצה אחד מרכז

קריב מוליף למקרה הפשוט
 הכח $\sigma \rightarrow \infty$ בקצה
 הצורך של שטח וטכניקה
 הולקרה ממונה של המומנט
 נתקל בסבירות גבוהה בקצות עקבין
 St. Venant



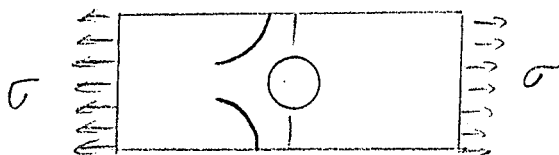
$$\sigma_{av} = \frac{P}{A}$$

מוקדם להדגיר את הפיקים "במסלול" הממוצע

$$\sigma_{max} = K \frac{P}{A}$$

K - מקדם הכפף הממוצע. למשל $K(d) = 2.575$

2. מומנט סביב חור:



$$r \rightarrow 0 \quad K = 3$$

$$r \text{ סופי} \quad 2.2 < K < 3.0$$

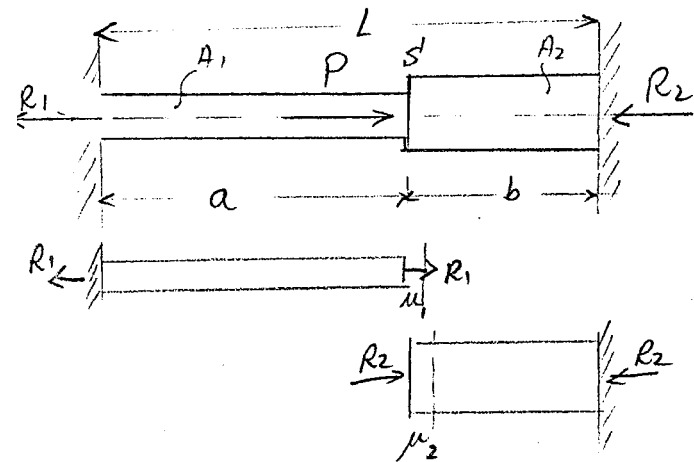


בחינת בלתי מסוימות סטטית - הפחמה צורות

8.12 המטרה הבסיסית

במבחנים בלתי מסוימות סטטית לא ניתן להיעזר באף אחת מהכוחות החיצוניים והפנימיים בצורת משוואות שיהפוך את הבעיה לבעיה סטטית. במקום זאת, בלתי מסוימות נפתרת בעזרת תנאים אחרים, ובהם תנאי התאמת כפי אפגזים ואלו הם תנאים שקולים לאנרגיה גרמאטורית ממוצעת וית הקינמטית של המבנה.

ציור 1



נתון המוט סטטיסטי.
 ו. בהנחה שהמוט הוא סטטי
 וית התאמת $R_2 - R_1$

סטטיקה נפתר לנו כי
 $P = R_1 + R_2$ (סטטיקה)

כדי למצוא את המוט ב S נרשום את כלל המוט וצמצום המוט
 התנאי של התאמת:

$$u_1 = u_2 \quad (\text{אנרגיה גרמאטורית})$$

$$\epsilon = \frac{P}{EA} \quad \Delta = \frac{PL}{EA}$$

$$\frac{R_1 a}{EA_1} = \frac{R_2 b}{EA_2}$$

$$R_1 = \frac{P}{1 + \frac{aA_2}{bA_1}}$$

$$R_2 = \frac{P}{1 + \frac{bA_1}{aA_2}}$$

$$R_1 = \frac{P}{4} ; R_2 = \frac{3P}{4}$$

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

$$a = 0.75 \text{ m}$$



8.13 מאמצים טרמיים

במבנים מסוימים סכסכים ניתן להצמידם הצמידויות הנקראות
מהתחממות המבנה שכן ניתן לו להתפשט חופשית. במבנים האלו
מסוימים ללא קב קבוע. בין שהיא מלאה מלאה חופשית וקבועה בו
מחממים עקב כך. הצמודי הנקרא כתוצאה מהתפשטות חופשית

$$\Delta = \alpha L (\Delta T)$$

הנני:

8.11

כאשר α מקדם ההתפשטות הליניאר ו- ΔT שיעור הטמפרטורה

קולומה 12.5 (11.4)

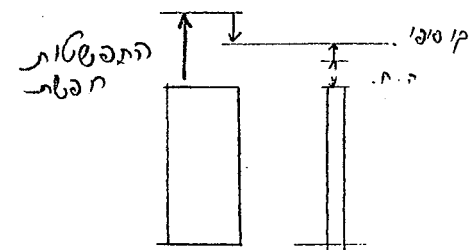
קני (חוט) שאורכו 300 מ"מ ואילו חתך של 2000 mm^2 מונח בין
שני בלמים חסימים (נתון לעתיד) (נתון α) (המחברים)
במרחק 4 ב"מ. המבנה עשוי לברז ואילו רכיוס של 200 mm . מחממים
את המערכת מ- 15°C ל- 70°C . באיך נמתן:

$$E_{cu} = 120 \text{ GPa} ; E_{st} = 200 \text{ GPa}$$

$$\alpha_{cu} = 16 \times 10^{-6} / ^\circ \text{C} \quad \alpha_{st} = 12 \times 10^{-6} / ^\circ \text{C}$$

פתרון:

כתוצאה מהחממה נוצר בלמים להתפשט יותר מרצף. ביום ברג
הרצף מצדדים זהה.



במצב שוני המעלה ונחוי הבדלים מתחמים
וההבדלים אלו יוצרים לוחות ברג P

$$P_{cu} = P_{st} = P$$

$$\Delta_{cu} = \Delta_s = \Delta$$

$$\alpha_{cu} L_{cu} \Delta T - \frac{P_{st} L_{st}}{E_{cu} A_{cu}} = \alpha_{st} L_s \Delta T + \frac{P_{st} L_s}{A_s E_s}$$

$$\Delta T = 55^\circ$$



$$P = 29,500 \text{ N}$$

$$\sigma_{cu} = 14.8 \text{ MPa}$$

C

C

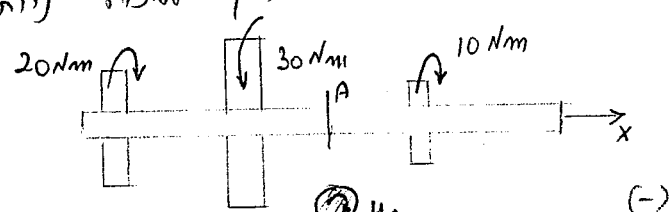
פירק 9 פתיל

9.1 מקוא

במסגרת הפיקים הקיצונים קני. מוצב המומצב הנקצ ממצמסה צוה
וכן מוצב הצווי הוילר. יא הפוקצ למכב בהצמסה מוול וחב- הצמסה
במומט פתיל ולי למכב הצק בפתיל של מוטת צמילי מליא וו חילי

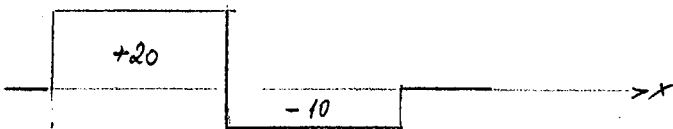
9.2 ילם שלל החתם

לם מצוה שקיל המומט הפוקצ בחתם של למ העמן לפתיל "חיתק"
והפתל למל בחתק A



$\sum M_x = 0$ חקטמול $30 - 20 - M_A = 0$
מומט צמילי העמן (-) $M = 10 \text{ Nm}$

לומ מומט הפתיל הפוקצ למ פני חתק
ומוט שיה הצקל לשקיל המומט החיבון הפוקצ צל האול והפוקצו במחמל
בצונה צומה וכן למצו ור פלי מומט הפתיל לוויק בל הפל העל :



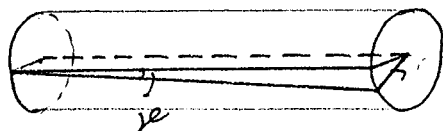
9.3 תחית חוסיב הפתיל מוט צילול

בני לקבצ ור הקטר בין מומט הפתיל בחתק לבין פלי המומצב
ה'וצרים וול יל צונק אהע מ' תחית יסוד בנסל אהעמ ההומיליו
והיזול חסומ של החומי :

ו. חרבי חמה רצבים לצבי העט וולר חומ משורים למט הפעולת
מומט הפתיל נשורים משורים ותר הפעולת המומט
וין כל צווי של המסורים הצקבילי העל למ וחב בק מוטמב
בוחס למשנהו .



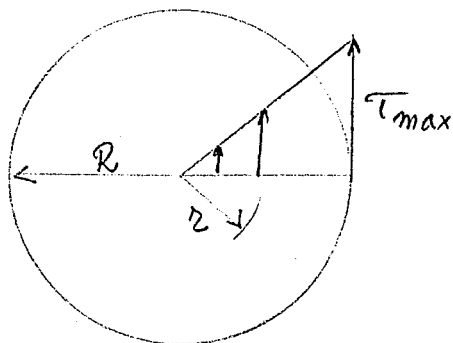
ה. צבירי האצורה של משתנה אנטרופיה במבין הכביס σ - N מתכבד הקל
לצרכו המרגי על שבת המוש



צבירי האצורה של כביס אסתובבות
אנטיגריס וקווסים וטרים.

* המבכצצת האצורה האנטיגריס המבכצצת ב- γ אנטרופיה
א. נניח כי החומר אנטרופיה וואזי מתקוות הקטל

$$\gamma = \frac{\tau}{\sigma}$$



9.4 נוסחת הסתירה

משתנה הנחה א' רב' נובע כי מומנט
האצורה משתנה אנטרופיה מתכבד החוצה

$$\tau = \tau_{max} \cdot \frac{r}{R}$$

נחשב את המומנט שלכוכב פלום זה נשתמשו אמונת הסתירה התוכן הפועל
על המוש T

$$\int_A \underbrace{\tau_{max}}_{\text{מאמץ}} \underbrace{\frac{r}{R}}_{\text{שטח}} dA \cdot \underbrace{r}_{\text{כוח}} = T \quad (9.1)$$

$$\frac{\tau_{max}}{R} \int_A r^2 dA = T$$

אמצע המומנט קבוע מומנט הוואנצורה הפועל על התק I_p
צבירי מוש בקל התק אצורה יונה צרכו

$$dA = r dr d\theta$$

$$\int_0^R \int_0^{2\pi} r^3 dr d\theta = \frac{\pi R^4}{2} = \frac{\pi D^4}{32} \quad (9.2)$$

O

C

אמבין שלי
(9.3)

$$\tau_{max} = \frac{T \cdot R}{I_p}$$

$$\tau(r) = \frac{\tau_{max} r}{R} = \frac{T r}{I_p} \quad (9.3.a)$$

נוסחה (9.3) ו-(9.3a) 'שומרת' למנטל חלול הולם נטויים ואת מומנט הוורצורה הפולי

$$I_p = \frac{\pi R_o^4}{2} - \frac{\pi R_i^4}{2} \approx 2\pi \bar{R}^3 t \quad (9.4)$$

$$t = R_o - R_i \quad \bar{R} = \frac{R_o + R_i}{2}$$

בטויל זה אמרנו כי צקר התנגדות המוט בטהיל נמצאת בחומר היחידק מן המרכז. נקח מוט צר $R_o = 1$ ונטוי ימ I_p שלו למוט צר $R_i = 0.9$; $R_o = 1$

$$(I_p)_1 = \frac{\pi R^4}{2} = \frac{\pi}{2} \quad (I_p)_2 = 2\pi R_o^3 \cdot 0.1 = 0.2\pi$$

$$\frac{mg_1}{mg_2} = \frac{\pi R_o^2}{2\pi R_o t} = \frac{1}{2 \times 0.1} = 5$$

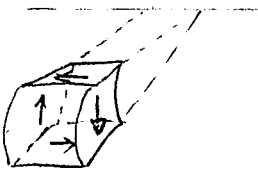
נטיה משלי של המוט

$$\frac{\pi/2}{0.2\pi} = 2.5$$

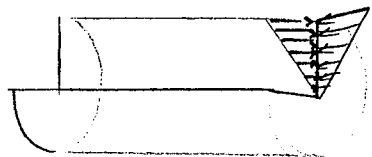
נחס' מומנטי הוורצורה

כאז ע' הסתה כי 5 במשל קבאני מוט כי 2.5 יותר חלש וזה כדאי!

9.5 פלוג מומנטי היצורה המוט



הולם נחק וואמנט מומנט בטהיל וזכי משקלי שווי משל חיבה להפסד גמרה ים על הסנים העליונות והתחתנות של הוואמנט ופאוקה ויהי ככה לזה של הסנים העקביות



בחומרים ויצטרופים ויון קוסי בדהר בום בצורה עשויה על שכלו צמיחות באצורה מכיון מסבא חלש בהדבה בוחס לזה לקוואוק אלה אירומה המומנטי הבחולים אכל הצורות



נתון ציר חלול שמימנו $d_i = 16 \text{ mm}$, $d_o = 20 \text{ mm}$, נתון לחומה פלדה

$T = 40 \text{ Nm}$ חסם, τ ב- r_o ו- r_i

$$I_p = \frac{\pi r_o^4}{2} - \frac{\pi r_i^4}{2} = 9.27 \times 10^{-9} \text{ m}^4 \quad (2\pi r_o^3 t = 9.16 \times 10^{-9} \text{ m}^4)$$

$$\tau_{max} = \frac{T r_o}{I_p} = \frac{40 \cdot 0.01}{9.27 \times 10^{-9}} = 43.1 \text{ MPa}$$

$$\tau_{in} = \frac{T r_i}{I_p} = \frac{40 \cdot 0.008}{9.27 \times 10^{-9}} = 34.5 \text{ MPa}$$

הקשר למחשבים המשלח חלק הפלדה כי הוחלט של החומה נתון להבין (13)
החומה בצורה טבעית, מחשבה לא מכנה החומה במחשבים וואונטי. נוסח חומה
והחומה בו מבוצע.

9.6 תכנון מטרות ציודים לפלדה

כדי שניתן לתכנן גלם לפלדה עלינו לדעת מה כשר החומות
של חומות שונים המכונה. מונפרימציה זוהי מתקבלת בתוספות 4
גלילים בקי דופן המפתחים לכל. וכלת החומות של חומות המכונה
הנוי נאום מצב טמפרטורה. לפי ASME מחולק ב- T_{allow} אפלצה
בטמפרטורות נמוכות הקטן מבין 5 MPa , 0.3 ג'ט; 0.18 ג'ט. בכל
מקרה שמעבר בתקנים החומות להתעצבות או מומסקט וסל אמצע
באופן מומצות T_{allow} .

נוסחת התכנון הבסיסית היא:

$$\frac{\tau}{R} = \frac{T}{I_p}$$

חומה מומצות חומה מומצות

בנוסף לה (בין צדדי מוט צדדי בקצה נאום למחשבים שלו) הוא $\frac{\pi R^3}{2}$ וקצה.



ואם יאמן מוסדות קבוצה חד צדדית של ר. צדדי מוט חלול תת נוסחה
 נומה ל (9.5) וינספור פתחתי דקה בוחם של שר במחטיות אינאמטיות
 חוסטיות R_i ו- R_o .

בד"כ בחטום ילד אל נמן ומחומס הנקט כ' צר הנספק חוצה ר
 פרק היל P ומפורט סביבו f הקטי ביניהם למחומס היל

$$P = \omega T = 2\pi f T \quad (9.6)$$

$$T = \frac{159 \cdot P (kW)}{f} [N \cdot m]$$

$$T = \frac{9540 \cdot P (kW)}{N} [N \cdot m] \quad (9.7)$$

הוכן ל-8 היל ה מקר של היל.

מחמל: (3.5) (66)

יש לרמן של קלום להצטרף 200kW הספק היל 20 rpm
 $T_{allow} = 70 \text{ MPa}$ 20,000

$$T_1 = \frac{9540 \times 200}{20} = 95,400 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$T_2 = \frac{9540 \times 200}{20,000} = 95.4 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$\frac{I_{p1}}{R_1} = \frac{T_1}{\tau_{max}} = \frac{95,400}{70 \times 10^6} = 1.36 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$\frac{I_{p2}}{R_2} = \frac{T_2}{\tau_{max}} = \frac{95.4}{70 \times 10^6} = 1.36 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$\frac{\pi R_1^3}{2} = 1.36 \times 10^{-3}$$

$$R_1 = 95.3 \text{ mm}$$

$$R_2 = 9.53 \text{ mm}$$

בימי כוג מחוסר ור הכון להצטרף הספק באחריות סביב אדלום
 הוקטניות בצורה דכסיות ור האינאמטיות למשל וקוצ סילון



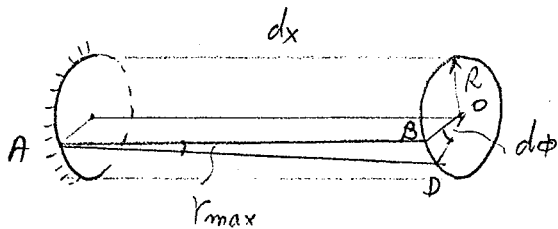
9.7 זווית הסטית של מוט ציל

יד בר כפ רבון פלוג המומלץ היל המצמס במחמקס הטל. כר
רבון בצוגט הטטיל הנצנת. הצונק אצוג יתצוג הטטיל נובצ מליסר
שקוליס:

א. כפי אופו שיהל יוט אמוט מפי וצוגר הצוג אצוגר מפי.

ב. לאכל כה חטיבוג בוגמח התנודות של אצוג סיבובים

ג. כפוי אכל בעל חטיבוג בעצוג בלוג מסווגט סטטוט של אצוג



לסכס א וואט וויק dx של
מוט הציל. הלטס חופת מומט
הטטיל חוג רבו AB יוצר.

צוג חסבוג צצ רבו למצבוג חקט AD .

כמו יוצר אנו. כי $\angle DAB = \phi_{max}$

$$BD = \gamma_{max} \cdot dx = R d\phi$$

$$\gamma_{max} dx = R d\phi \quad (9.7)$$

$$\gamma_{max} = \frac{\tau_{max}}{G} \quad \text{מחוק חוק בלזרה וקצ כי}$$

$$\tau_{max} = \frac{T R}{I_p} \quad \text{ואל}$$

חצוג ב (9.7) חתני:

$$d\phi = \frac{T}{I_p G} dx$$

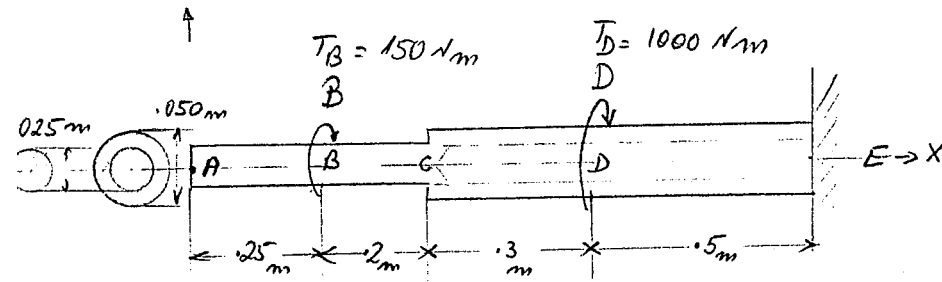
צוגי זוגט הטטיל חומסוג בוגלוג מלוגמח המוחקוג צה מצוג dx

$$\phi = \frac{T \cdot L}{I_p G} \quad \left(\begin{array}{l} \text{אצוג } T \\ \text{קצוג } I_p G \end{array} \right) \quad \phi = \int_A^B \frac{T}{I_p G} dx \quad (9.8)$$

לויסיה צוג צהר בצוגתה למחוס Δ המוט המצמס ורכוג (8.3)



(69) 3-7 1/19



נתון הוא להבטיח
היננו רוצים E. וזה
זה כוח הנחה ב A

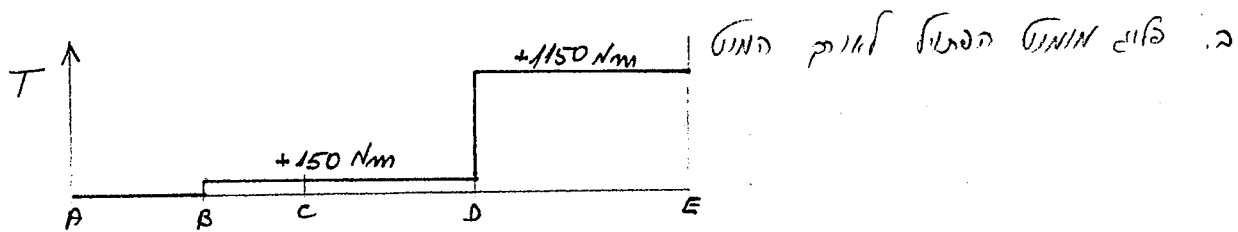
עקב כחיות המומנטים $T_D + T_B$

היה $G = 80 \text{ GPa}$ (הצבה)

המומנטים פה יהיו

$$I_{p1} = I_{pAC} = \frac{\pi d^4}{32} = \frac{\pi (2.5 \times 10^{-2})^4}{32} = 3.83 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$I_{p2} = I_{pCD} = \frac{\pi (d_o^4 - d_i^4)}{32} = 57.5 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$



$$\phi = \int_E^A \frac{T_x dx}{I_{p1} G} = \frac{1}{G} \left[\int_E^D \frac{T_{DE}}{I_{p2}} dx + \int_D^C \frac{T_{DC}}{I_{p2}} dx + \int_C^B \frac{T_{BC}}{I_{p1}} dx + \int_B^A \frac{T_{AB}}{I_{p1}} dx \right] =$$

$$\phi = \frac{1}{G} \left[\frac{1}{I_{p2}} (T_{DE} L_{DE} + T_{DC} L_{DC}) + \frac{T_{BC} L_{BC}}{I_{p1}} \right] =$$

$$= \frac{1}{80 \times 10^9} \left[\frac{1}{57.5 \times 10^{-8}} (1150 \times 0.5 + 150 \times 0.3) + \frac{150 \times 0.2}{3.83 \times 10^{-8}} \right] =$$

$$= +0.0233 \text{ rad} \equiv +1.33^\circ$$

9.8 כחץ המומנט הנחה

הניסוחים שבמחני (כוחות צמיגים וזאבים בזה בזה)
לחיות הוא ישט קבוצות חלקות בטטה החלק (מחלקות)



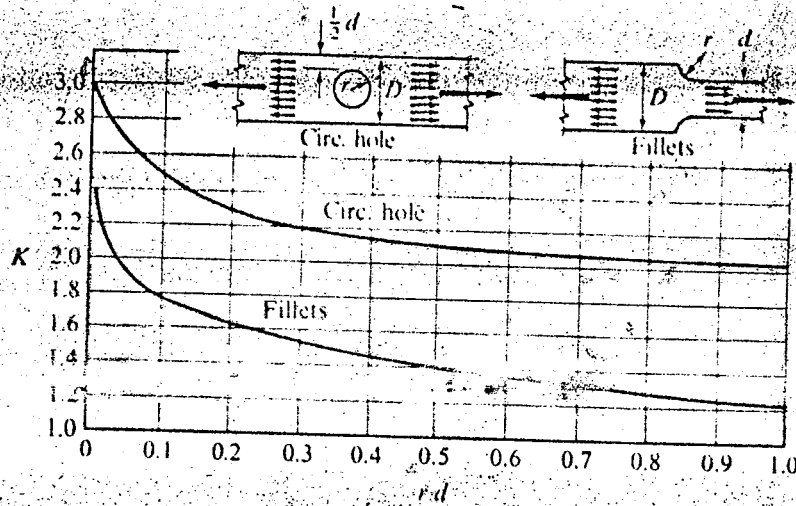


Fig. 2-17. Stress-concentration factors for flat bars in tension

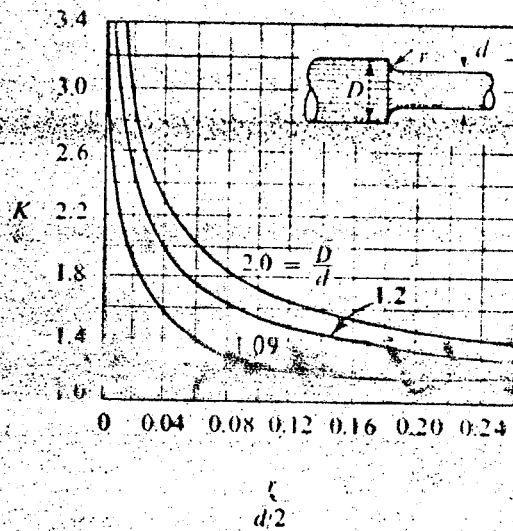


Fig. 3-15. Torsional stress-concentration factors in circular shafts of two diameters.

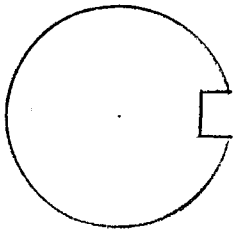


ואז האזר הקפצה והיו שנייה תכונות הפלוג המיוחדים: וזו רכז
מיוחדים ואשר צינור המצב אל מקרה צורת מואתל המוצגת בו

$$\tau_{max} = K \cdot \frac{\tau_c}{\tau_p} \quad (9.9) \quad \text{C - רדיוס המל הקטן}$$

הפלוטל א תלו בחס קטני המציגה אלפ ארדיוס ההצלה של
המצבר קומא כזה בשל 9.1

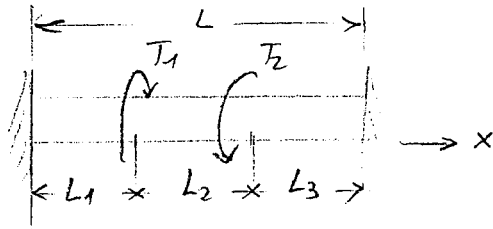
מקני של אכסז מואונים נובע מחומר ארדית שלן ומחוזי
שמה במקרה כזה מואתל ד" ASME
א הקטן יור כולל 25% .
(וייב 2 א רני שנת הולסטיות)



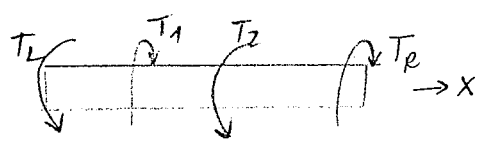


9.8 בצורת בלם מסומנת - פתרון

השדה הבסיסי לפתרון של בצורת בלם מסומנת סטור פתרון
 צורה אחרת שהצגנו צורה כפי להבין זאת (פנים בקוואלר הבאה):



קבץ הוא המומנטים החוקיות
 של חלקי הציר הבא:

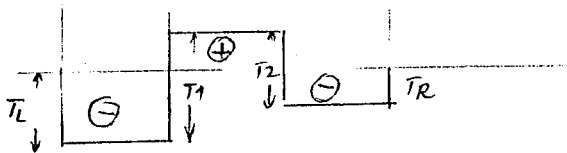


נעשה בנאימית אף תיכסי:

$$\sum M_x = 0 \quad T_L - T_1 + T_2 - T_R = 0 \quad (1)$$

יש לנו משוואה אחת בשני נעלמים ונניח נקודות אקסטרנאל
 שצריך להיות ציר ופירפודיות של הבלם. לעצוק זה נראה זה
 פלוג המומנט לאותה הבלם:

נשאלנו. שנייה ונצטרך



$$\begin{aligned} T_1 &= T_L \\ T &= T_1 - T_L \\ T &= T_2 \\ T &= T_R \end{aligned}$$

נשים את ציר

ואף יקראו כ'

$$\phi_1 = \frac{T_L L_1}{G I_p} \quad (2)$$

$$\phi_2 = \frac{T_R L_3}{G I_p} \quad (3)$$

$$\phi_1 + \phi_2 = \frac{(T_1 - T_L) L_2}{G I_p} \quad (4)$$

$$(2), (3), (4) \quad T_L L_1 + T_R L_3 = (T_1 - T_L) L_2 \quad (5)$$

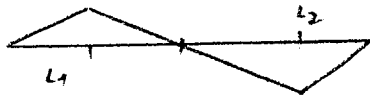


פתרון המשוואות (1) ו-(5) ניתן:

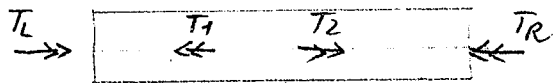
$$T_L = T_1 \left(\frac{L_2 + L_3}{L} \right) - T_2 \left(\frac{L_3}{L} \right)$$

$$T_R = -T_1 \left(\frac{L_1}{L} \right) + T_2 \left(\frac{L_1 + L_2}{L} \right)$$

$$(L = L_1 + L_2 + L_3)$$

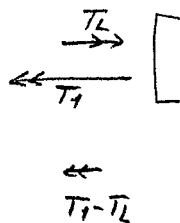
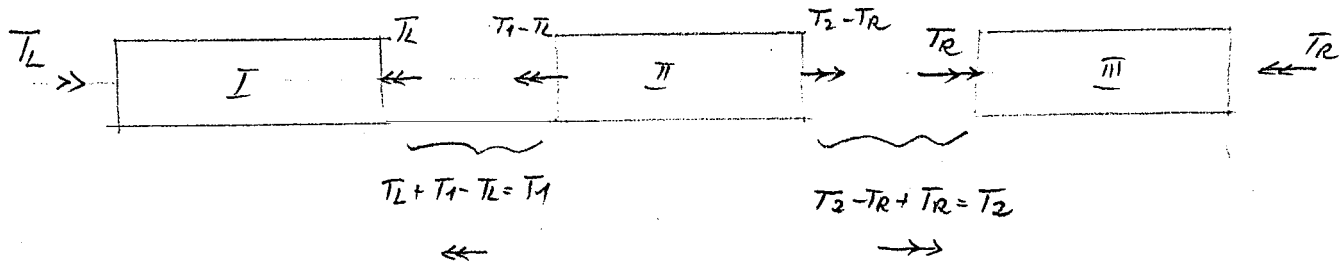


נניח כי תכופה אחרי הפעולה.



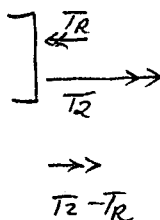
דיקט שניה אסתמין:

$$T_L - T_1 + T_2 - T_R = 0$$



אסתמין במחצית N של I ו-II

(במחצית N של II ו-III)

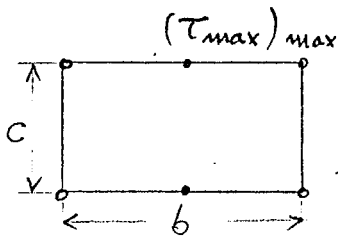




9.9 - הטל תגבש מלואים לאו צמלים

יוון מתיינתו אלמדי כיצד מנתחים תגבש פאלו ואלו ארבע
מסבי תגבש ומסבי תיצויות. שלט הנחיות היסודי להנחיות בהתלם
של משימת צמלים ויון מקבאות התגבש לאו צמלים. כולל מקום
צביל של המע $\sigma \neq \tau(x, y)$ וכן משימות ויון (שלושים משימות
פעמים צביל בעצות מילל של חתך מלבני.

הפתיח הוולטוס ארצות ואלו מנצח הוולטוס St. Venant וולטוס
נלמו במסגרת הקיום הוולטוסית בטל צה (צביל) במה פתיחות:



חתך מלבני
 $b > c$

צביל חתך צה ופיה הוולטוס
חמקסומלי

$$\tau_{max} = \frac{T}{\alpha b c^2}$$

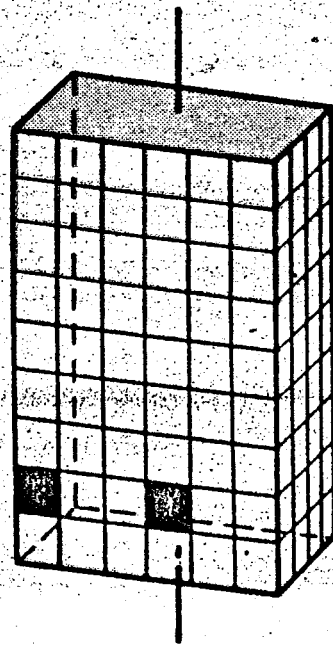
ולטוס הטל

$$\phi = \frac{T \cdot L}{\beta b c^3 G}$$

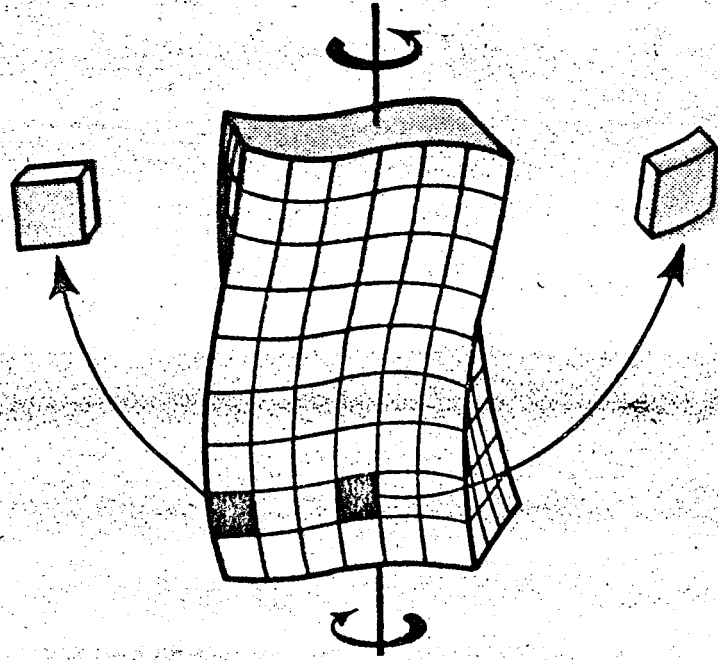
היכן שהקבוצה α ו- β חושבו נאמרות וולטוס צ

b/c	1.00	1.50	2.00	3.00	6.00	10.00	∞
α	0.208	0.231	0.246	0.267	0.299	0.312	$\frac{1}{3}$
β	0.141	0.196	0.229	0.263	0.299	0.312	$\frac{1}{3}$





(a)



(b)

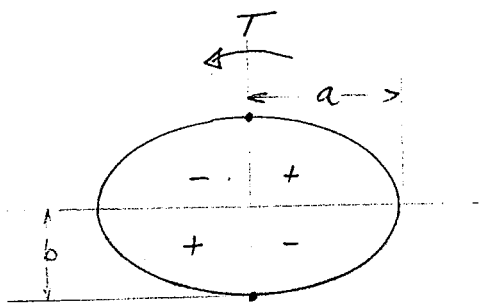
Fig. 3-17. Rectangular shaft (a) before (b) after a torque is applied.



א. המומנט המינימלי המקביל בקצות הקנטרי הקטנות ביותר
 למרכז ההתקן.

ב. המומנט המינימלי - 0. ככלי בסוגי קמורות המומנט - 0
 במינימל קצרות ועוד כפי מומנטים.

ג. עקב העקום מש' לוי' צליל היתוס בקצותיו והתקן לטיל
צליל לקיום



חלק אלסטי

$$\tau_{max} = \frac{2T}{\pi ab^2}$$

$$(for a=b=R \Rightarrow \frac{TR}{Ip})$$

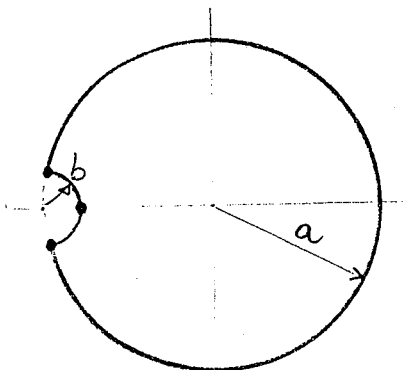
$$\phi = T \cdot L \cdot \frac{a^2+b^2}{\pi a^3 b^3 G} \left(\frac{TL}{GI_p} \right)$$

למשל א' (- +) ל ציור ההתקן.

חלק מומנטים על חתך

$$\tau_{max} = \frac{T}{Ip} (2a - b)$$

$$for b \ll 2a \quad \tau_{max} \approx 2(\tau_{max})_{לוי}$$





9.10 פתול המכסה סגורים דופן דופן

לצורך הפתול הממשי המוכח הפירוט לפתרון פתולם של מוטות
 או צדדים מלאים מסתמי לעצמו קניית דק' דופן בקל
 חתך כל שתי. הפתול פשוט נוסח.

נמאליני קניי שפצה (שקל 9.2). נחתך ממול פירוסה
 קטרפ. על כן ויבדל קנסנלטה כועלם ויבדל באות:
 F_1, F_2, F_3, F_4 הנבדל ממאליני המכונה x שטה החתך נשקלי שתי
 מלל וקבא:

$$F_1 = F_3 \quad (1)$$

$$F_1 = \tau_2 \cdot t_2 \cdot dx \quad (2)$$

$$F_3 = \tau_1 \cdot t_1 \cdot dx$$

ומסון נבדל כי

$$\tau_1 t_1 = \tau_2 t_2 = q \quad (3)$$

כעת שנין זה נקום עבוי כל חתך ואכל
 לקבוצ הכלה נקטו q.

מלאים הנחתות מואלי המכונה יאלי ונקציה כי הנחתות
 הבאים מקומם את החתך

$$\tau_2 = \tau_3 \quad (4)$$

$$\tau_1 = \tau_4$$

ומסון יבדל (3) ו-(4)

$$t_1 \tau_4 = t_2 \tau_3 = q \quad (5)$$

באות q קבוצ על כן כל שטה החתך של הצנתי.

○

○

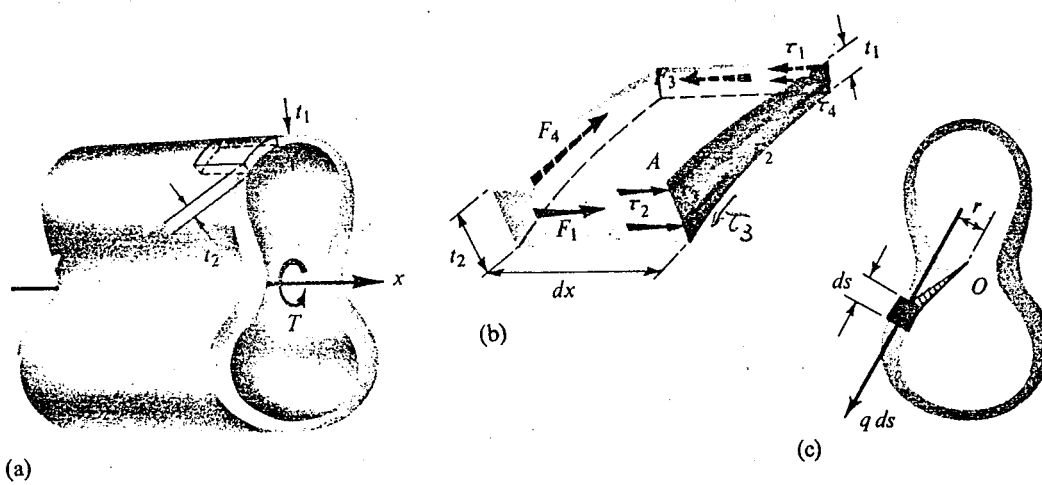


Fig. 3-22. Thin-walled member of variable thickness.

C

C

צמצום זרם וחתך אחריו וולאזי צ"כ זרימה נכס סביב החתך הפחית
 קבוצה כקל $V \cdot t \cdot \text{cast}$. צקא וולאזיה זרם מקובל לקרוא q זרם
 הזכרה - shear flow

נציג כזה אלסילי לוו משה (ג) באז זרם הזומט שיוצק זכר
 הזכרה בקצו וונפניסיומלי ל החתך סביב מקינה כל להנו 0 -

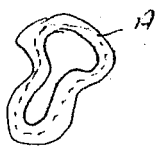
$$dT = r q ds$$

$$T = \oint r q ds$$

באז q קבוצה פני החתך ונלכיצו ל פני סומן הזינטלגה

$$T = q \oint r ds$$

מסרה ס הזינטלגה לזיו שניה לפזמיה השלם הכלט בתוך קו
 הזמקז ל החתך ופוא וולצי כ (A)



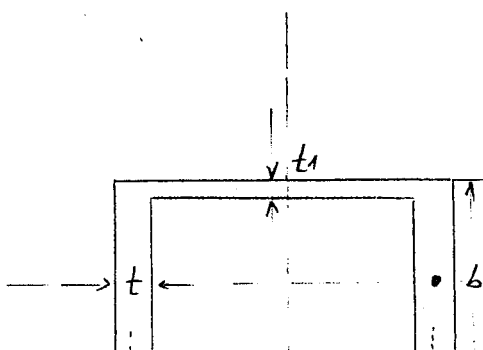
ומכאן:

$$T = 2(A)q$$

$$q = \frac{T}{2(A)}$$

ולס מואל הזכרה הזקסוזול ורזה כ t_{min} לן $\tau_{max} t_{min} = q$

$$\tau_{max} = \frac{T}{2(A) t_{min}}$$



קולמא:

סגח מואל הזכרה הזקסוזול

ב חתך הקול:



$$\tau = \frac{T}{2(a-t)(b-t_1)t}$$

בזמן t

$$\tau_1 = \frac{T}{2(a-t)(b-t_1)t_1}$$

בזמן t_1

שיעור הפיכת האנרגיה לזמן כפי מוצג (ברוך, וואלד, וואלד)
 כן הצגת הפיכת בזמן.

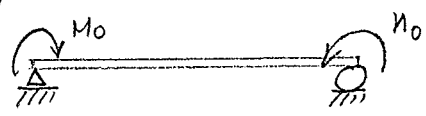
קואורנט נוסחה וקואורנט לתשובה זמן הפיכת זמן מוצג
 אף כי בקווי זה.



פיק 11 כפיפה טהורה של קורות

11.1 מבוא

מטרת המבוא של הפק לאפנון ארעבי של הקטב בין מומנט הכפיפה בחתך אפליז המומצא וליט הוא יוצר וי' למחנן. הנו אבד. כפי להקטין מסיבות הבדור וכפי להפחית אבדור יא הנולד הזה מוסי המומנט ומכא הכפיפה קורה להורה לאור כפיפה שבה השקל הורג העדל בחתך הומומנט לט $M=V=0$. בויאמי לרמ ומורה



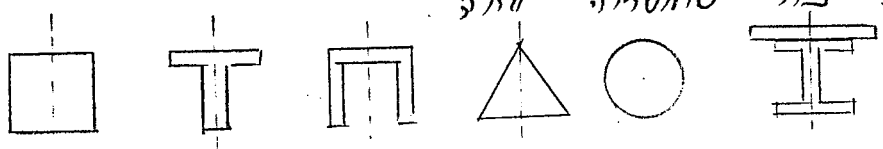
בטיסדס

11.2 מציאת טאיות

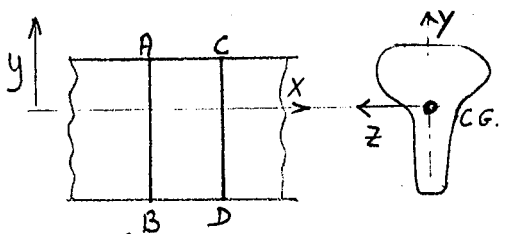
יני נני המסגרת הביון כי כל הפחות והמומנטים מופיעים קוויז - סטיות כמי כן עיר כי זין כל תופעת וי יצבור ומעלור להחליק הכפיפה.

11.3 תחת חוסר אל תור הכפיפה

א. יעני יק קורות יטיות הצלות חתך קבוצ שלטח החתך אפחת צור סומטיות אחר



כמו כן ינה ט המומנט פוצל במשור הציובי דרך צור הסומטיות

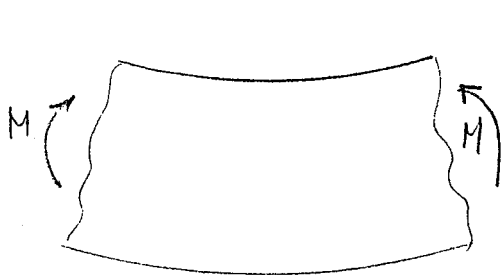


ב. אצור הציובי יק מוכ הכיפ של כל חתכי הקורה נקרא צור הקורה

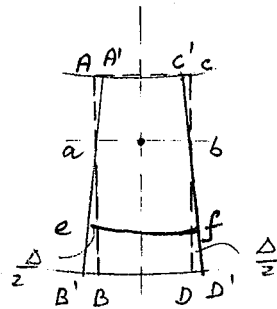
צורתו ליני טן משורח AB - CD המאונכאם א צור הקורה הורה כפיפה:



באשר בקורה תבוא נניח כי שני המסורים האלו נשארו משוררים
 וכן נשארו נקודות אצור הקורה הנחה זאת היעדר כוונת התחלה -
 אולי נמצאה מוצקה מבהינה נסיון.



(א)

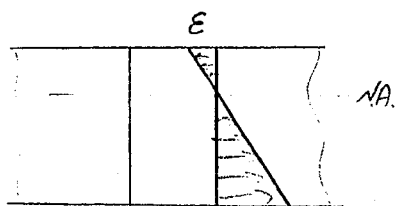


(ב)

משני צוות החתך ב (ב) בהם כי "סובים" בחלקה העליון של הקורה
 התקרה. הצורה של החלקה התחתון יתואר. מכאן טקסטים בולטים היו מקום
 משיג שצד פני הסובים לו שני יותארים המשיג הוא a-b - המטלה הניטלה
 לקר החתך בין המשיג הניטלה אחת הקורה קובים הצבי הניטלה של
 החתך בין שבין בסובים התוארים או התקרה הם יהיו חופפים
 מממש. כל הסובים שמצוין יתקרה. נאמר למתחם ומתחם (אולי חתך)

בטלים קבוע ומקומו של הצבי הניטלה נכון בהתקצרותם/התוארים
 של הסובים השונים. נסמך אמל בסוב ef סיבה התואר ב-Δ
 זמן צבוח הולך יהיה Δ/2 כש-Δ מוצג ית הולך ההתחלה
 בנס מהנחת בתלי יולי בהם ש-Δ יהיה לניטלה ב-Δ זמן
 נספא אנשי זאת המסקנה:

בקורה הנחה אנפיה הצבי הולך של הסובים משתנה אולי
 צמ מחתק של הסוב מהצבי הניטלה.

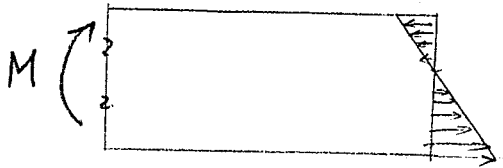


C

C

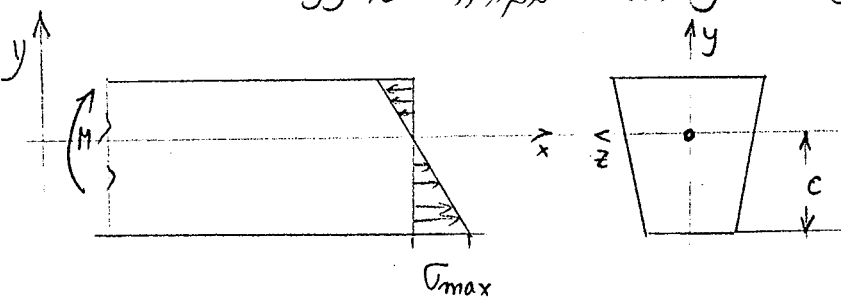
ג. הנחת הבסיס של תורה שהקורה מתחזקת לפי חוק החק
ופקט מולוסון והאונט-קצב בין הסובים תלנה לעצמה.

מתחמת ב יג' נובד ביצח חתק הקורה פועלים מוחצו
לחיצה ומחמת המפוזרים אונטיות סביב חצי הניטיל



11.4 נוסחאת הכפפה

בסביב נמצו זר הקשיב בין σ בחתק לאומות נחפס חסובה
לזבי מקומות של חצוי הניטילי. נסתכל בקורה שבתנו.



באי נעני זר המוחל חזקו ביותר כ σ_{max} וזר מחתקו מרכז
הניטילי כ- c וזי המוחל בכל גובה יהיה נתון צ"י

$$\sigma = -\sigma_{max} \frac{y}{c}$$

כמתחלם זר סביב הכוחות בסין x

$$\sum F_x = 0$$

$$\int_A \underbrace{\left(-\frac{y}{c} \sigma_{max}\right)}_{\text{מחול}} \underbrace{dA}_{\text{שטח}} = 0$$

כה



$$\frac{\sigma_{max}}{c} \int_A y dA = 0$$

ומכאן

$$\int_A y dA = \bar{y} \cdot A = 0$$

ובכן

באופן $\bar{y} = 0$ זה מראה כי המרכז המסתני של הנושא הוא במרכז הנושא. כלומר המרכז המסתני של הנושא הוא במרכז הנושא.

כעת נחשב את המומנט המסתני

$$ZM = M \text{ חיובי}$$

$$\int_A \underbrace{\left(-\frac{y}{c} \sigma_{max} \right)}_{\text{כוח}} \cdot \underbrace{dA}_{\text{שטח}} \cdot \underbrace{y}_{\text{לרוחב}} = - \frac{\sigma_{max}}{c} \int_A y^2 dA$$

מומנט

האיבר $\int_A y^2 dA$ נקרא מומנט האינרציה של החתך סביב מרכז המסה.

$$I = \int_A y^2 dA \quad (\text{הוא נקרא})$$

$$M = - \frac{\sigma_{max} I}{c} \quad (11.1)$$

$$\sigma = - \frac{My}{I}$$

צדדי מומנט חיובי
ו y חיובי ושניהם
לחיוב לאמצע!

$$\sigma_{max} = - \frac{Mc}{I} \quad (11.1a) \quad \text{ו}$$

(היסודות הוויזואליים של תורת הקוויבצור בהסטה) נוסחה (11.1a) נקראת
נוסחת הנכספה, והיא מציגה את המומנט המסתני (לחיוב)
המקסימלי המסתני בהתבסס על קוויבצור נכספה טהורה.
המומנט בכל סוב אחת נראה ונתן צ"ח

$$\sigma = - \frac{My}{I}$$



מ-5 מומנט הווינרבה של חתבה שונים

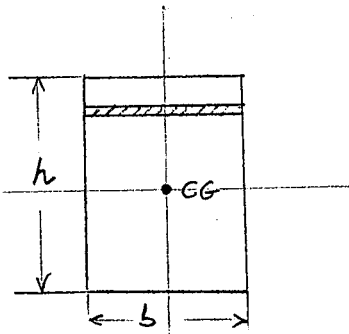
מומנט הווינרבה של חתק הקורה סביב מרכז הכבד חונה תכונה גאומטרית של החתק. נעסק בזה בעזרת לחשובו של I . בין I חוצצי סביב מרכז הכבד של החתק וזו הלאה היושן בעתיון הוא מציג מרכז הכבד. בין שתיים שהחתק סימטרי קומס לזכר ה- y וזו $\bar{x} \equiv 0$ ו- $\bar{y}$ נטן $\bar{y}$

$$\bar{y} = \frac{\int y dA}{\int dA}$$

בעזרתן לחשב את מומנט הווינרבה I_{zz}

$$I_{zz} = \int_A y^2 dA$$

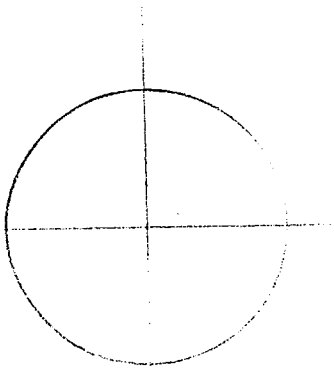
כס: y מרכז $C.G$



$$I_{zz} = \int_A y^2 dA = \int_{-b/2}^{b/2} \int_{-h/2}^{h/2} y^2 dA$$

$$dA = b dy$$

$$I_{zz} = \int_{-h/2}^{h/2} b y^2 dy = b \int_{-h/2}^{h/2} y^2 dy = \frac{bh^3}{12}$$



$$I_{zz} = \iint y^2 dA$$

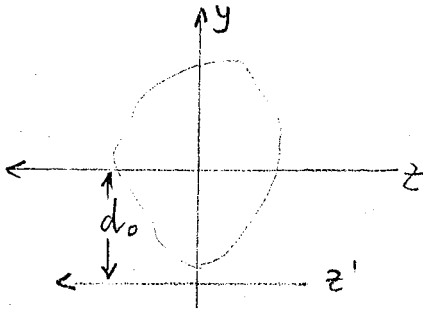
$$y = r \sin \theta \quad dA = r dr d\theta$$

$$I_{zz} = \int_0^{2\pi} \int_0^R r^2 \sin^2 \theta \cdot r dr d\theta = \int_0^{2\pi} (r^3 dr) \sin^2 \theta d\theta =$$



$$I_{zz} = \int_0^R r^3 dr \cdot \left[\frac{\theta}{2} - \frac{\sin 2\theta}{4} \right]_0^{2\pi} = \pi \int_0^R r^3 dr = \frac{\pi R^4}{4} = \frac{\pi D^4}{64}$$

למעשה קיימים כפי שנראה בהמשך יונן מצינונים לחשב את I_{zz} באחס
לכדי יחדיו שליוון צמיח צריך מוכח הכבוד. אלסמק נכח להשתמש
במשפט של פיינר:



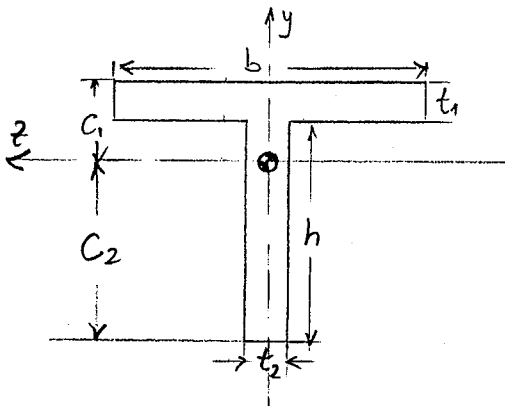
$$I_z' = \int (y + d_0)^2 dA =$$

$$\int y^2 dA + \int d_0^2 dA + 2d_0 \int y dA =$$

$$I_z' = Ad_0^2 + I_z$$

כאשר מונחם היונקרציה סביב צי הנמצא במרחק d_0 ממוכח הכבוד שווה
למונחם היונקרציה סביב צי הצמיח צריך מוכח הכבוד + אלסמ החתך $\times d_0^2$

למשפט זה ישנם דב החלטה מומחסי ומונרציה אל חתפס מוכרבים



דוגמה א

חשב את מונחם היונקרציה I_{zz}

אל חתך T

שלב א: קביעת מוכח הכבוד.

$$\bar{y} (bt_1 + ht_2) = ht_2 \cdot \frac{h}{2} + bt_1 \left(h + \frac{t_1}{2} \right)$$

$$\bar{y} = \frac{h^2 t_2 + bt_1 (2h + t_1)}{2(bt_1 + ht_2)} = C_2$$

שלב ב: תחומת חמלקן הומוסקי אל I_{zz}

$$\frac{bt_1^3}{12} + bt_1 \left(c_1 - \frac{t_1}{2} \right)^2$$

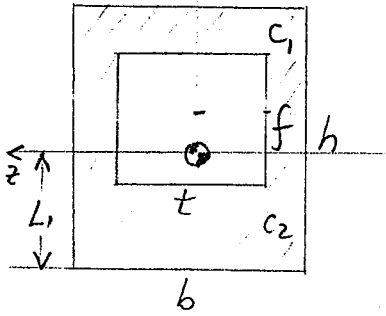


$$\frac{t_2 h^3}{12} + t_2 h \left(c_2 - \frac{h}{2}\right)^2$$

תמונה מואנן הולנד

$$I_{zz} = \frac{1}{12} [bt_1^3 + t_2 h^3] + bt_1 \left(c_1 - \frac{t_1}{2}\right)^2 + t_2 h \left(c_2 - \frac{h}{2}\right)^2 \quad \text{וסה"כ}$$

נתן אולם בקצרה זו החסיה המואננה מלמול ומימין נכתיבה מסומנת



במאמך

$$\bar{y} = bh \cdot \frac{h}{2} - tf \left(c_2 + \frac{f}{2}\right)$$

נחשב I_{zz} של מואנן בלי חור סביב

מנצי הכובד של כל הצורה:

$$I_{zz}^{(1)} = \frac{bh^3}{12} + bh \cdot \left(\frac{h}{2} - L_1\right)^2$$

נחשב I_{zz} של "חור" סביב מנצי הכובד של הצורה:

$$I_{zz}^{(2)} = \frac{tf^3}{12} + t \cdot f \cdot (h - c_1 - f/2 - L_1)^2$$

$$I_{zz} = I_{zz}^{(1)} \ominus I_{zz}^{(2)} \quad \text{וסה"כ}$$

חור

11.6 הצורה לזיהוי נוסחת הכפירה

הזיהוי נוסחת הנוסחת הכפירה וזו הנוסחה של y_{max} של החתך
תקבל המואנני המבסוואה

$$\sigma_{max} = \frac{Me}{I}$$

כיון שזיהוי החתך נתון I ו- c הם גודלים ידועים יוצאים (הודע)
אפשר יהיה חקש הנוסחה - מואנני הוואסטי של החתך

$$S' = I/c$$

$$\sigma_{max} = \frac{M}{S}$$

וואו

צבוי פרופילים וקוצים S נמצאו בטבלאות של ודינורה

השלב זה נכלל בעצרת נוסחת הכפיפה אחרת מס' העיוות חשוב

לפיכך.

דוגמא א

קומה שליש מרבית בהם ילן צינור אחר העת כפיפת קורה:

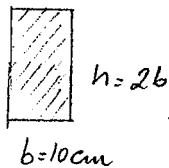
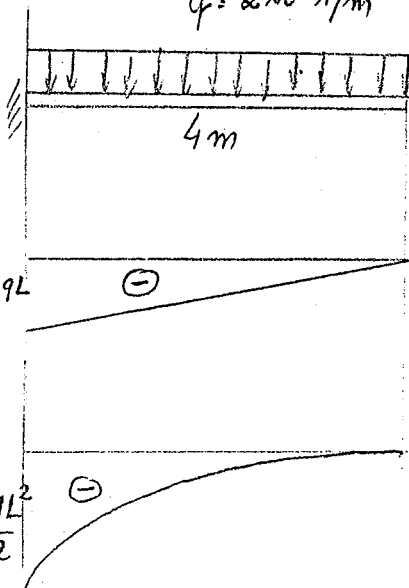
א. וילן צי - בה צבוי צומם ונתן יאזוואטורה (תורף רבש לא צבוי וית המומלץ העקסומלי

ב. תסבולת - בה צבוי קורה (תורף וחווי נתן רבש לא צבוי וית העצומם העקסומלי שממך להפצול צלילה.

ג. תכין - צבוי צומם נתן וחווי נתן ילן צינור אחר צלילה וית המומלץ הצינור.

ובתם שליש מרבית וילן בעצרת הקורה טבסטרוט

$$q = 2 \times 10^4 \text{ N/m}$$



$$\sigma_{allowable} = \pm 1.2 \times 10^8 \text{ Pa}$$

א. וילן צי

$$M_{max} = \frac{qL^2}{2} = \frac{2 \times 10^4 \times 16}{2} = 16 \times 10^4 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} \quad c = \frac{h}{2} \quad S = \frac{bh^2}{6} = 6.67 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$\sigma_{max} = \frac{M}{S} = \frac{16 \times 10^4}{6.67 \times 10^{-4}} = 2.4 \times 10^8 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$\sigma_{max} > \sigma_{allowable}$$

הקורה תתמוטט.

$$M_{max} = \frac{qL^2}{2}$$

$$M_{max} = \sigma_a \cdot S'$$

2. תגובה

$$\frac{qL^2}{2} = \sigma_a S'$$

$$q_a = \frac{2\sigma_a S'}{L^2} = \frac{10 \times 10^4}{m}$$

$$\frac{q_a}{q} = \frac{\sigma_a}{\sigma} = \frac{1200}{2400} = \frac{1}{2}$$

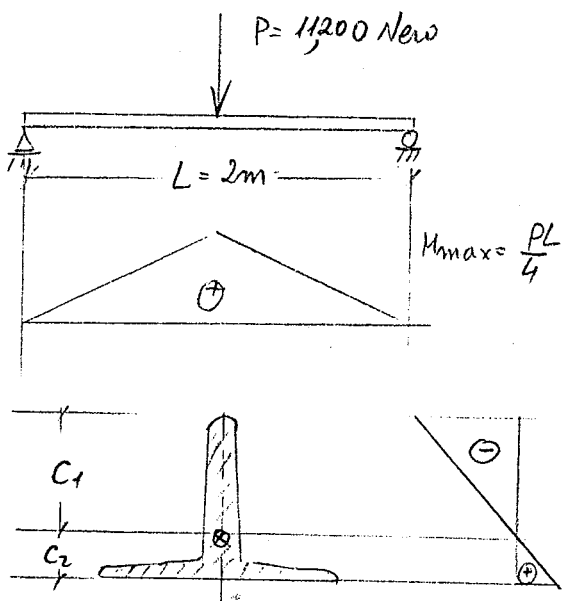
11 בקצרה

3. תוכן

מבני ב- של קורה כפ"ל שליוסטי צמחה בזווית חזית

$$S'_a = \frac{M_{max}}{\sigma_a} = \frac{b(2b)^2}{6}$$

$$b = \left[\frac{3}{2} \frac{M_{max}}{\sigma_a} \right]^{1/3} = \left[\frac{3}{2} \times \frac{16 \times 10^4}{1.2 \times 10^8} \right]^{1/3} = 12.6 \text{ cm}$$



1. תוכן הקורה שבמרכז העמוד N
הפריסוף 12.1. ותוכן תחומים
חמ/תרים הבוא

$$\sigma_{aT} = 10^8 \text{ N/m}^2$$

$$\sigma_{ac} = 1.8 \times 10^8 \text{ N/m}^2$$

1. חשב פסול החומרים בתוך הקורה:

$$M_{max} = \frac{PL}{4} = 5.6 \times 10^3 \text{ Nm}$$

$$(\sigma_{max})_c = \frac{M_{max} C_1}{I} = 1.333 \times 10^8 \text{ N/m}^2$$

$$(\sigma_{max})_T = \frac{M_{max} C_2}{I} = 5.02 \times 10^7 \text{ N/m}^2$$

$$\perp 12 \quad I_{zz} = 366 \text{ cm}^4$$

$$C_1 = 8.72 \text{ cm}$$

$$C_2 = 3.28 \text{ cm}$$

$$\sigma_a \approx \sigma_c \approx \sigma_t \quad \frac{\sigma_c}{\sigma_t} = \frac{C_1}{C_2}$$

באור

מה היה קורה לו העבנו את הבידוד?

ה. חסה במבולת הבידוד $\perp 12$ אם התנע ה'ר

$$(Ma)_c = \frac{\sigma_{ac} I_{zz}}{C_1} = \frac{1.8 \times 10^8 \times 366 \times 10^{-8}}{8.72 \times 10^{-2}} = 7,555 \text{ Nmm}$$

$$Ma_c = \frac{\sigma_{ac} I_{zz}}{C_2} = 20,085 \text{ Nmm}$$

$$(Ma)_T = \frac{\sigma_{at} I_{zz}}{C_2} = \frac{10^8 \times 366 \times 10^{-8}}{3.28 \times 10^{-2}} = 11,159 \text{ Nmm}$$

$$Ma_c = \frac{\sigma_{at} I_{zz}}{C_1} = 4,197 \text{ Nmm}$$

כאשר הקטן מבין השני הוא $(Ma)_c$ וזהו כיוון 'קצ' הכי המקסומי $(Ma)_T$

$$(Ma)_c = \frac{P_a L}{4} \quad P_a = \frac{4 \times 7555}{2} = 15,110 \text{ New}$$

$$P_a = 8395 \text{ New}$$

ד. בתי בידוד למעלה $P = 20,000 \text{ New}$ בלד כדור' להניחו $\perp$ וול T

הסיקור היציב במובן הוא $\perp$ כי צ"ס סביב זה ממשלה הממנה

בבידוד קטן מהחיצה ובק זה מתקם החומר $(\sigma_a)_T < (\sigma_a)_c$

$$S_a = \frac{M}{(\sigma_a)_c} = \frac{PL}{4(\sigma_a)_c} = \frac{2 \times 10^4 \cdot 2}{4 \times 1.8 \times 10^8} = 0.5555 \times 10^{-4} \text{ m}^3 = 55.55 \text{ cm}^3$$

משללה נחיה כי $\perp 14$

$$I_{zz} = 660 \text{ cm}^2 \quad S = \frac{660}{10.2} = 64.7 > 55.5 \text{ cm}^3 \quad \checkmark$$

אפסמ'ציה של קובות 117

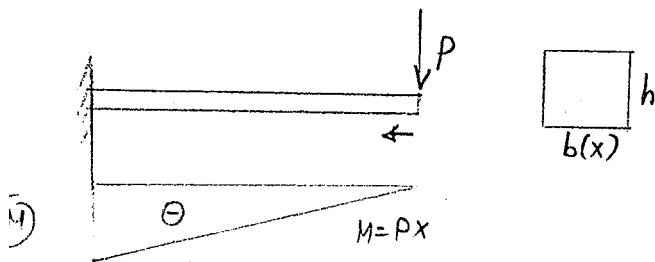
בין אייכבה של קורה המומנט יונני וחיד וזי היה ושלם החתך של הקורה קבוע נקבא זה פל'ם של המומנט המקסומלי שישנה מתק אמתק בין שתיקנה של הקורה וצטה לפי אט "צ'י מקב שבתכום כיום המומנט המקסומלי והיה קטן בהרבה מ-אט כאשר החומי "וצבה" באצילות נאוכה.



מבחינה אקדמית היינו חוצים שבהם חתם הקורה נמצא באמצעות
 σ_a ואזי הרצאות יתנו 100% נכס אפואץ לנק ז"ל זה
 שניקוי קורה בעלת שטח חתך משתנה. ביחס נסתם בתוספת
 הכפירה ואזי

$$\sigma_{max}(x) = \frac{M(x)}{S(x)}$$

היה י $S(x)$ ישתנה כמו $M(x)$ וקבל σ_{max} קבוע אלו נרשה אפואץ
 א σ_a .



דוגמא:

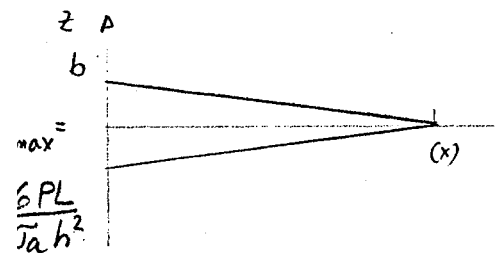
אנו קורא הזכר שהשטח
 בהנחה שלמה החתך קבוע
 קבוע וזה צוה השתנה יחיה

החתך $b(x)$ כדי ש σ_{max} וזה וזה, אלוהי הקורה

$$M = P \cdot x$$

$$I = \frac{b(x) h^3}{12}$$

$$\sigma_{max} = \frac{(Px) \cdot h/2}{\frac{b(x) h^3}{12}} = \sigma_a$$



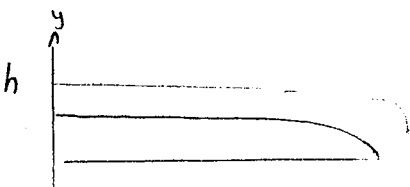
$$\frac{6Px}{b(x) h^2} = \sigma_a \quad b(x) = \frac{6P}{\sigma_a h^2} \cdot x = b_0 \cdot x$$

$$b_0 = \frac{6P}{\sigma_a h^2}$$

אזמכזות או דגלני ב קבוע ו- h משתנה היינו מקבלים

$$\frac{6Px}{b h^2(x)} = \sigma_a \quad h(x) = \sqrt{\frac{6P}{b \sigma_a}} \cdot \sqrt{x} = h_0 \sqrt{\frac{x}{L}}$$

כאמכן שזה היכה יותר קשה אפואץ.



$$\sqrt{6PL}$$



נשווה כעת המגלים של שתי הקורות האינטואיטית בנוסח לקורה בקנה
חלק קבוצ לבה

$$b = \frac{6PL}{\sigma_a h^2} \quad h = h_0$$

$$V_1 = \frac{6PL}{\sigma_a h^2} \cdot h \cdot L = \frac{6PL^2}{\sigma_a h} \quad 1. \text{ (פה הקורה הוויזיה)}$$

$$V = \frac{1}{2} \frac{6PL}{\sigma_a h^2} \cdot h \cdot L = \frac{3PL^2}{\sigma_a h} \quad 2. \text{ (פה הקורה עם למשתנה)}$$

3 (פה הקורה עם h משתנה)

$$V = \int_0^L b \cdot h(x) = b \sqrt{\frac{6P}{b\sigma_a}} \int_0^L \sqrt{x} dx = \sqrt{\frac{6Pb}{\sigma_a}} \left| \frac{2}{3} x^{3/2} \right|_0^L = \frac{2}{3} \sqrt{\frac{6Pb}{\sigma_a}} L^{3/2}$$

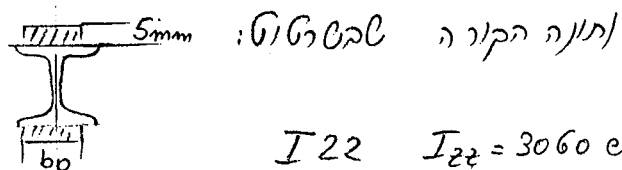
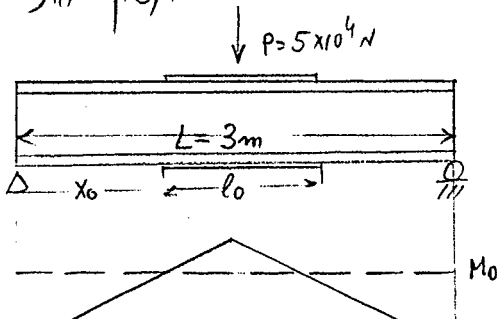
$$b = \frac{6PL}{\sigma_a h^2} \quad \text{נניח ש:}$$

$$V = \frac{2}{3} \sqrt{\frac{6P}{\sigma_a} \cdot \frac{6PL}{\sigma_a h^2}} L^{3/2} = \frac{2}{3} \cdot \frac{6PL^2}{\sigma_a h} = \frac{4PL^2}{\sigma_a h} \checkmark$$

מכאן שהקורה המושלמת האינטואיטית והחסכון בה 50% משלם !!!

בדומה בי קורה מחוצקת

אצטרם מסתמי שקרה ילונה צומחה בצומח הותן בקנה לאצטר קטן
שה הותן לאצטר צומח מצבה למחולף הצומח הותן הדרכים לחקן
זלית הותן צ"י הוספה מקומה של חזק שחזקה יות I מקטין וות ט



$$I_{22} \quad I_{zz} = 3060 \text{ cm}^4$$

$$\sigma_a = 10^8 \text{ N/m}^2$$



אמצע נשמט בהם לעברו 5mm קבוצה חתך הפה של ואורכו של שניקטור.
צמיג הקרה בדיוק. השורה לעתידות של בחורה פריפול גרוע יותר.

$$M_{max} = \frac{PL}{4} = \frac{5 \times 10^4 \times 3}{4} = 3.75 \times 10^4 \text{ נ"מ}$$

במהלך נחשך החתך (פניס אמצע) חתך של

$$S_a = \frac{M_{max}}{\sigma_a} = \frac{3.75 \times 10^4}{10^8} = 3.75 \times 10^{-4} \text{ מ}^3 = 375 \text{ סמ}^3 \Rightarrow I 26$$

משל I26 הוא 37.9 קג/מ

סגור נחשך לעתידות צמיג חתך:

בין שמומנט המועבר ופער וכן נחשך ארטיים ואת מומנט הוואורבה של

החתך המועבר בו

$$I_{21} = I_{20} + 2A\eta^2$$

$$\eta = \frac{h}{2} + \frac{0.5}{2} \text{ סמ} = 11.25 \text{ סמ.}$$

$$A = 0.5 \times b_0$$

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max} \left(\frac{h}{2} + 0.05 \right)}{I_{21}} = \sigma_a$$

$$I_{21} = \frac{M_{max} \left(\frac{h}{2} + 0.05 \right)}{\sigma_a} = \frac{3.75 \times 10^4 \text{ נ"מ} \times 0.115 \text{ מ}}{10^8 \text{ נ"מ/מ}^2} =$$

$$= 0.431 \times 10^{-4} \text{ מ}^4 = 4310 \text{ סמ}^4$$

$$4310 = 3060 + 2 \times 0.5 \times b_0 \cdot 11.25^2$$

$$b_0 = 9.896 \approx 9.9 \text{ סמ.}$$

בדיוק נחשך את ואורק הפה של. הוא חזיה ארטיים ואת כל האורק בו
סבאטי $M > M_0$ של הקרה המוקדית

$$M_0 = \sigma_a \frac{I_{20}}{c} = 2.78 \times 10^4 \text{ נ"מ}$$



$$M_0 = \frac{P x_0}{2} = 2.78 \times 10^4 \text{ Nm}$$

$$x_0 = \frac{2 \times 2.78 \times 10^4}{5 \times 10^4} = 1.11 \text{ m}$$

$$l_0 = L - 2x_0 = 77.6 \text{ cm}$$

נתון: משקל הקורה הממוצעת

$$G_1 = 31.3 \times 3 + 77.6 \times 9.9 \times 0.5 \times 7.8 \times 10^{-3} = 99.5 \text{ kg}$$

$$G_2 = 37.9 \times 3 = 113.7$$

$$\frac{G_1}{G_2} = 87\%$$

החסר: 13% משקל. הברזל פשוט זה חסכון יסודי בכסף!

11.8. אינטואיציה של חתכי קורה

עד כה בנו אינטואיציה של הקורה כולה במסגרת להבנה וזה לא החתכים עצמם הקרויים (גט) הן זמניות. כעת נבין החתך באופן מפורט. להשיג מקסמום מיעול ולסטיות של החתך ל' בחינות משקל (שטח החתך מקטן כיון יתרחש) לאורך יוני. מופיעה מקסמום אינטואיציה של S/A .

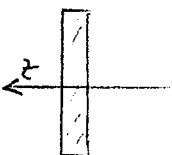
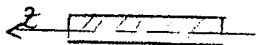
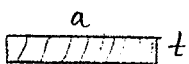
קואורדינטה

נתון פיינל היצו חתך מלבני axt כיצד נשתמש בו בזמן אינטואיציה

$$S_{xx} = \frac{at^3}{6}$$

$$S_{yy} = \frac{ta^3}{6}$$

$S_{xy} = 0$

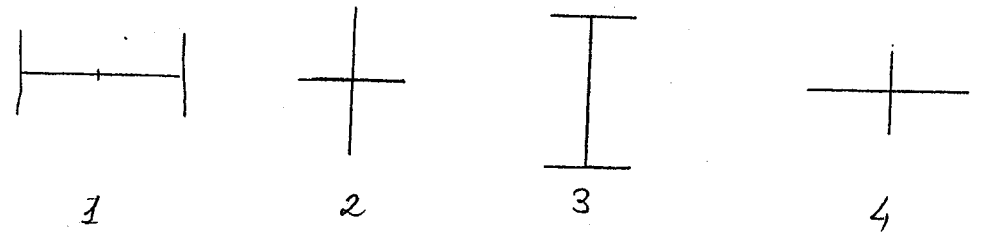


○

○

דוגמא ב

יש לי ציבוי פרינציפלי משהו ממש פשוט דברים מהו הציבוי הווינטואלי

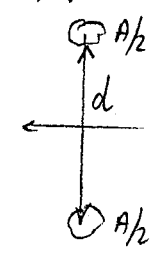


בין שטחי החתכים שווים הווינטואלי צורה התבטא ב S_{max}

ציבוי 3 הטיב מטלם ולתתיו ציבוי 2

ציבוי 1-4 גורמים במידה שווה במסל I_{zz}
 בהם ציבוי 1 טוב מציבוי 4 בסיון עץ I_{yy} .

בכל בחינה שטח חתך ממש עלינו להחזיק שטח זה
 בכל טעם מציבוי 2 לקבלת I מקסומלי באופן טאוטי עקוב חתך
 שטח A החתך הווינטואלי והיה



$$I_{zz} \approx 2 \cdot \frac{A}{2} d^2 = A d^2$$

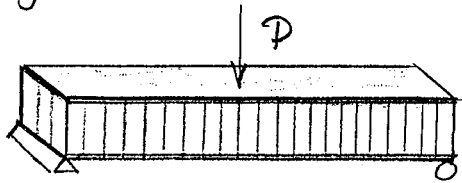
$$S' = \frac{I_{zz}}{d} = A d$$

ועבור מקבץ S יקבל מקסומא כול: $d \rightarrow \infty$ בהם מוצב זה
 מתעורר קושי לעד כה או נכון המוט היק (A) שבלחיצה עלול לקרס.
 'מכיון נולד הרציון הטל מזה יחד החתך הפדל החתך
 מהצורה 2 מתברר שחלקו "משפוי" שימנע קרסות וישא בעצומם
 המצורה שטח קני בו. להתחיל מסוים זה קובאום קורת סנקויל
 והוא ישים מוזג במקום אווירונאטיים



11.9 קריה כביק - Sandwich

זהו סעיף יחיד ביוני לקראת תסקאות זמורה לכפופה המיוחסות מילוי



מבנה הנריק מתואר בטורים:

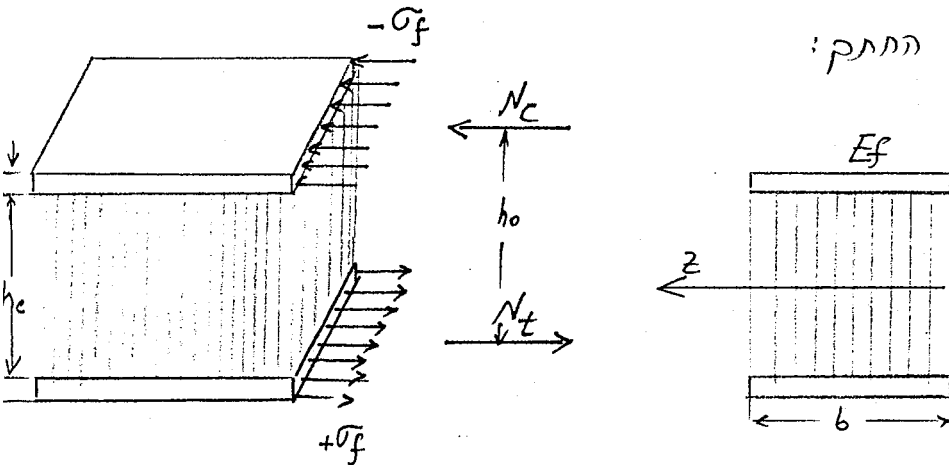
לכפופ שני יחידות:

יו. דפנות תוספות ויתר מילוי

הכפופה והתפתחותם ויתר תוספות.

ה. הדפנות תוספות המילוי הזכירה ומקטע מני קרופה חתוכה

שקל כדג הפדס' חתוק:



התחתית חתוכה:

$$t \ll h_c \Rightarrow h_c \approx h \approx h_0$$

$$\sigma_c \ll \sigma_f \Rightarrow \sigma_c \approx 0$$

$$E_c \ll E_f$$

$$M_z = N_c h_0 = N_t h_0$$

$$N_c = N_t = \sigma_f \cdot t \cdot b = \frac{M_z}{h_0} \Rightarrow \sigma_f = \frac{M}{t \cdot b \cdot h}$$

הסוגים מסתנים

לפני שמתחילים החתירה (החומר חתירה Ma)

$$t \cdot b = \frac{M_a}{\sigma_a \cdot h}$$

והסטה של הפדס'

$$A_c = t \cdot b = 2 M_a$$



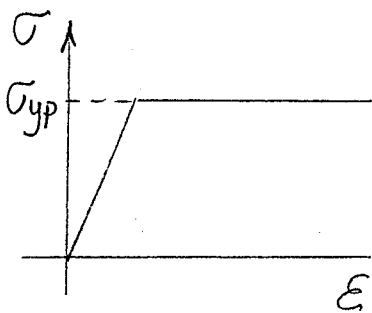
$$\sigma_a = \frac{6M_a}{bh^2} \Rightarrow A = bh = \frac{6M_a}{\sigma_a h}$$

צביר חתך מלא נאם

$$\eta_s = \left(\frac{M_a}{A_s} \right) = \sigma_a \frac{h}{2} \quad \eta_R = \left(\frac{M_a}{A_R} \right) = \sigma_a \frac{h}{6} \quad \frac{\eta_s}{\eta_R} = 3$$

11.10 כפיפה אלסטית-פלסטית של קורות

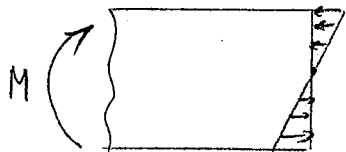
לסיכום מונחים חסר לא חלק חלק ירנני כ החומר בו
יוני ציסקים הוא חומר אלסטית-פלסטי למען יקרה הנתון
נניח כי החומר הוא חומר אלסטית-פלסטי-פלסטי לעקומת צביר



מחומר שלו כמתייחס בסיכום:
כאשר צביר מחומר קצת החומר
המאונקתי ולמחרת צביר שוב יזן
המחומר וכך לעלות יותר בחומר

לקח קורה מחומר שלמה ונצאוסה בטלבים:

שלב I - צמיחה התחום דאנסטי

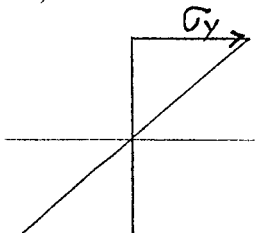


בטלבים חסר הקיצון ביותר נמצא
במחומר החומר ביותר. נצביר ית המחומר

צביר אוקנה בה

$$\sigma_{max} = \sigma_y$$

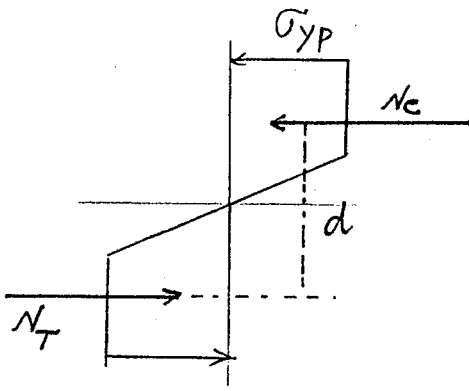
מחומר חסר המאונק ית הקצם צביר לעקומת הולסטיות בואם היתק סמלית
בוחס אצבי ע



$$M_{yp} = \frac{\sigma_{max} \cdot I}{c} = \sigma_y \cdot I$$



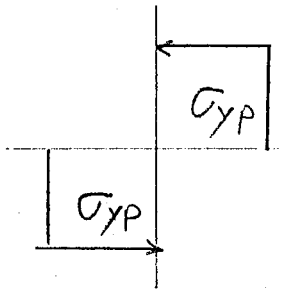
שלב II - צמיחה בתחילת הפלסטי



נמשך להיפרך את M בסדר החיזון
אין יכול לעלות יותר המומנט אבל צורה
הקו העקבי נשאר המומנט א קצת
זה בידיה קוממוס יותר והמומנט
שיטה התק וזהו הדין

$$M = N_c \cdot d$$

שלב III - צמיחה פלסטית מלאה



$$N_c = N_t = \sigma_y$$

בזה נמשך להיפרך את M נשאר
למעשה הקיבולת הזו כל התק וצורה
ה קצת המומנט וזהו במקרה זה צמיחת התק מלאה

$$M_u = \sigma_y \frac{bh}{2} \cdot \frac{h}{2} = \sigma_y \frac{bh^2}{4}$$

מומנט הפלסטי - M_u

$$\frac{M_u}{M_y} = 1.5$$

באזור

באזור זה נמשך להתק להיצא למצב פלסטי נכלל להיצאוסו ב 50% יותר
ומתק מלבד בו רק הסיב החיזון מלאה להיצא.

שיטת חשיבה כזו מקובלת בהנדסה ולכן נשאר להיפרך
מכונה מומנט קריאה התכנון הפלסטית.

באזור התק הקריה משתנה עם γ משתנה צורת החשב
כזו נראה בקצמא הבאה:





$$t_1 = t_2 = 2 \text{ cm} \quad \text{שתי אסות הקומות}$$

$$b = 10 \text{ cm}$$

$$h = 10 \text{ cm}$$

ציר הנייטרלי בפנימה ולסטיה = מתלכד עם מרכז הכובד ולכן מקומו

$$\bar{y} (10 \times 2 + 8 \times 2) = 10 \times 2 \times 9 + 2 \times 8 \times 4 =$$

$$\bar{y} = 6.777 \text{ cm}$$

במצב פאסיבי מלא משה יוב / אחרי שהוא גבוה מ-8 וחזק לפנים

$$8 \times 2 + (10 - 8) \times 10 = (10 - \gamma) 10$$

$$16 + 10\gamma - 80 = 100 - 10\gamma$$

$$20\gamma = 164$$

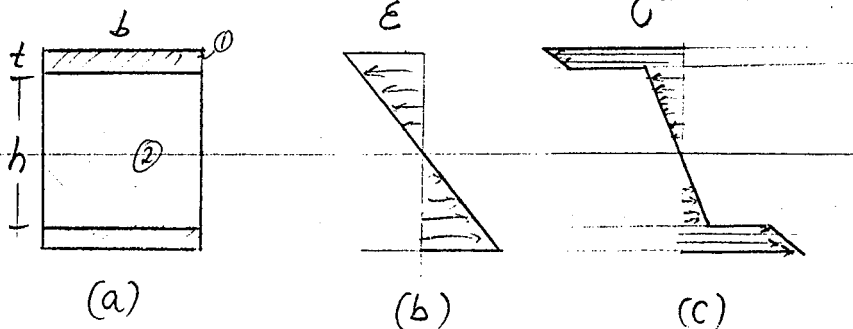
$$\gamma = 8.2 \text{ cm}$$

מ.מ. כפפת קרית הצלעות חתך הטהור

קווי מציבים הנפסויה בהם הקורה בנויה מלטן חומרים לאחל
קורה על החזיונות בפני פלדה, קורה בטון החזיונות החסות
בפני וכו'. במסגרת סעיף זה נענה קורה הטהור לשבוע

לסתם בקורה להטיסות הצלעות לטן חומרים ① ו ②. בהן E_1 ו E_2

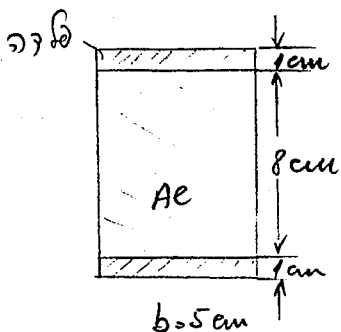
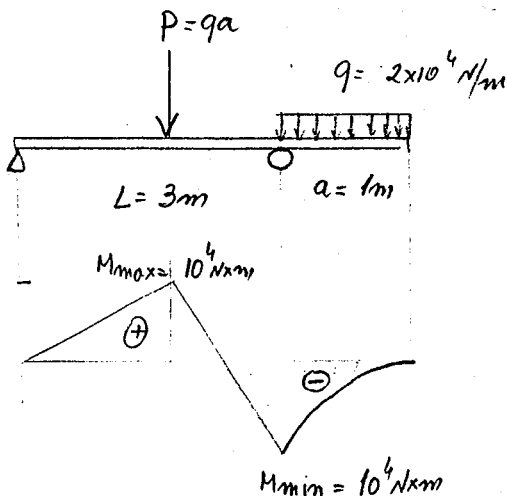
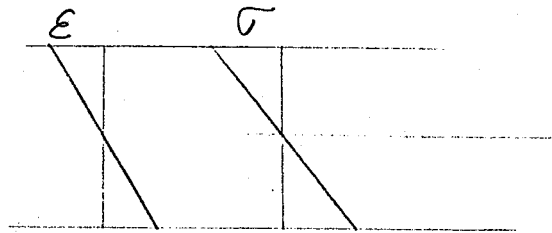
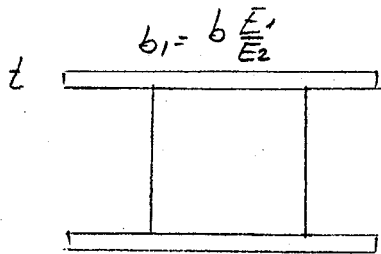
והנה כי $E_2 > E_1$





יש בקורה התחלתית ומקומות הנחת התנע ונולדו וכן פאזה (ב) היא
 איננה המומצת תלוי ב- E ($\sigma = E\epsilon$) וכן פאזה (ג) היא
 פאזה איננה (c). אספה זאת נכונה כמובן מהחוק תאורטיים היום
 נח ייתר לעצב צמידה שונה במקרה היעדר כשלם החתך
 הווקואטי. על פי שטח זאת מוצא יחד החומרים לחומר יתכן ויך
 איננו מלמד כי שיהיה A החתך הווקואטי אספה זה
 אזהל החתך המקרי אספה A

צורת החתך של החומר המוצא תאמר וזו תכונה על פי הוחס E_1/E_2
 רק בבין מקרה אזה הנסתר - x (פאזה זאת בקורה הקצרה)



$$E_{Fe} = 210 \text{ GPa}$$

$$E_{Al} = 70 \text{ GPa}$$

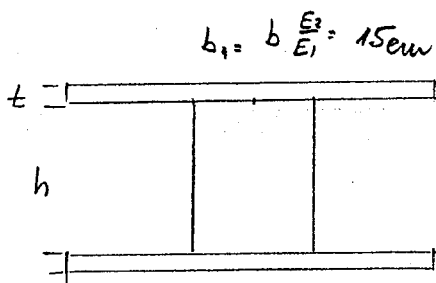
פאזה

ותנה הקורה ההתחלתית להבטחה

ציטוט: אזהל ולתור פאזה
 ולתור צמידה כשלם

$$\sigma_{Al} = \pm 9 \times 10^7 \text{ N/m}^2$$

$$\sigma_{Fe} = \pm 18 \times 10^7 \text{ N/m}^2$$



$$I_{\text{eq}} = \frac{1}{12} [b_1 h^3 - 2b(h-t)^3] = 823 \text{ cm}^4$$

2) $\sigma_{\text{max}} = \frac{M_{\text{max}}}{I_{\text{eq}}} = \frac{10^4 \cdot 4}{823 \times 10^{-8}} = 4.86 \times 10^7 \text{ N/m}^2 < \sigma_{\text{AL}}$

3) $\sigma_{\text{max}} = \frac{E_2}{E_{\text{AL}}} \cdot \frac{M c}{I} = 3 \cdot \frac{10^4 \cdot 5}{823 \times 10^{-8}} = 1.823 \times 10^8 \text{ N/m}^2 >$

σ_{Fe}

2.39 The rigid bar $ABCD$ is suspended from four identical wires. Determine the tension in each wire caused by the load P shown.

Answer: $T_B = P/5$, $T_D = 2P/5$, $T_A = P/10$, $T_C = 3P/10$.

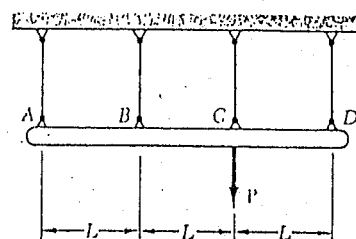


Fig. P2.39

2.45 Determine (a) the compressive force in the bars shown after a temperature rise of 200°F , (b) the corresponding change in length of the aluminum bar.

Answer: $P = -52 \text{ kips}$, $\delta_{Al} = 0.0124 \text{ in.}$

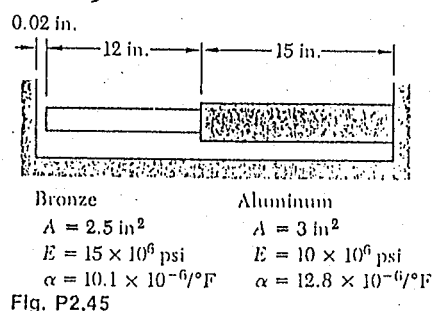


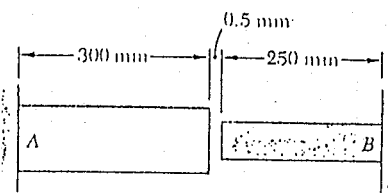
Fig. P2.45

2.46 At room temperature (20°C) a 0.5-mm gap exists between the ends of the rods shown. At a later time when the temperature reaches 140°C , determine (a) the normal stress in the aluminum, (b) the exact length of the aluminum rod.

Answer: $\sigma_{Al} = -114.6 \text{ MPa}$, $L = 300.34 \text{ mm}$.

2.47 Knowing that a 0.5-mm gap exists between the rods shown when the temperature is 20°C , determine (a) the temperature at which the normal stress in the stainless steel rod will be $\sigma = -150 \text{ MPa}$, (b) the corresponding exact length of the stainless steel rod.

Answer: $T = 103.7^\circ\text{C}$, $L = 250.18 \text{ mm}$.



Aluminum	Stainless steel
$A = 2000 \text{ mm}^2$	$A = 800 \text{ mm}^2$
$E = 70 \text{ GPa}$	$E = 190 \text{ GPa}$
$\alpha = 23 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$	$\alpha = 18 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$

Fig. P2.46 and P2.47

2.39 The rigid bar $ABCD$ is suspended from four identical wires. Determine the tension in each wire caused by the load P shown.

Answer: $T_B = P/5$, $T_D = 2P/5$, $T_A = P/10$, $T_C = 3P/10$.

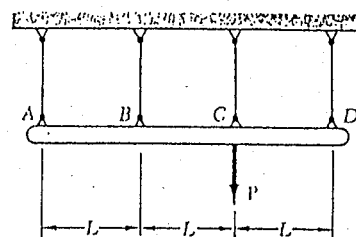


Fig. P2.39

2.45 Determine (a) the compressive force in the bars shown after a temperature rise of 200°F , (b) the corresponding change in length of the aluminum bar.

Answer: $P = -52 \text{ kips}$, $\delta_{Al} = 0.0124 \text{ in.}$

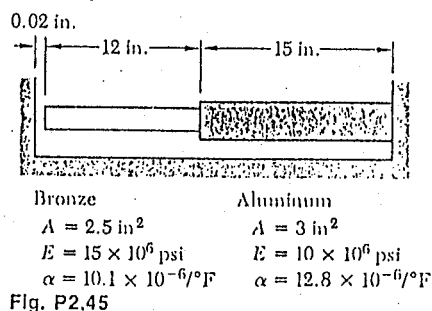
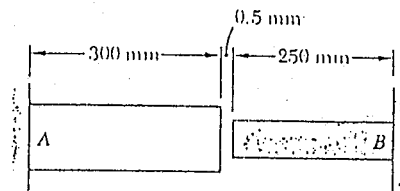


Fig. P2.45



Aluminum
 $A = 2000 \text{ mm}^2$
 $E = 70 \text{ GPa}$
 $\alpha = 23 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$

Stainless steel
 $A = 800 \text{ mm}^2$
 $E = 190 \text{ GPa}$
 $\alpha = 18 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$

Fig. P2.46 and P2.47

2.46 At room temperature (20°C) a 0.5-mm gap exists between the ends of the rods shown. At a later time when the temperature reaches 140°C , determine (a) the normal stress in the aluminum, (b) the exact length of the aluminum rod.

Answer: $\sigma_{Al} = -114.6 \text{ MPa}$, $L = 300.34 \text{ mm}$.

2.47 Knowing that a 0.5-mm gap exists between the rods shown when the temperature is 20°C , determine (a) the temperature at which the normal stress in the stainless steel rod will be $\sigma = -150 \text{ MPa}$, (b) the corresponding exact length of the stainless steel rod.

Answer: $T = 103.7^\circ\text{C}$, $L = 250.18 \text{ mm}$.

2.39 The rigid bar ABCD is suspended from four identical wires. Determine the tension in each wire caused by the load P shown.

Answer: $T_B = P/5$, $T_D = 2P/5$, $T_A = P/10$, $T_C = 3P/10$.

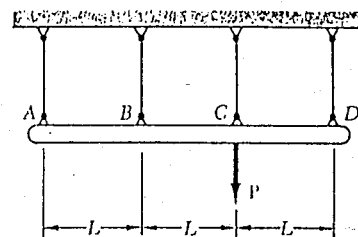


Fig. P2.39

2.45 Determine (a) the compressive force in the bars shown after a temperature rise of 200°F , (b) the corresponding change in length of the aluminum bar.

Answer: $P = -52 \text{ kips}$, $\delta_{Al} = 0.0124 \text{ in.}$

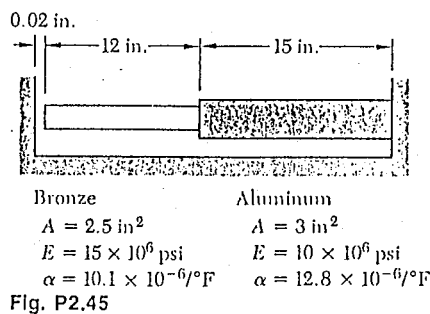
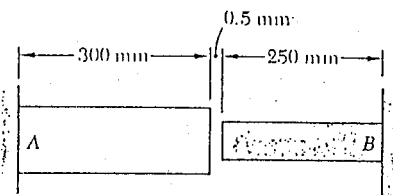


Fig. P2.45

2.46 At room temperature (20°C) a 0.5-mm gap exists between the ends of the rods shown. At a later time when the temperature reaches 140°C , determine (a) the normal stress in the aluminum, (b) the exact length of the aluminum rod.

Answer: $\sigma_{Al} = -114.6 \text{ MPa}$, $L = 300.34 \text{ mm}$.



Aluminum	Stainless steel
$A = 2000 \text{ mm}^2$	$A = 800 \text{ mm}^2$
$E = 70 \text{ GPa}$	$E = 190 \text{ GPa}$
$\alpha = 23 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$	$\alpha = 18 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$

Fig. P2.46 and P2.47

2.47 Knowing that a 0.5-mm gap exists between the rods shown when the temperature is 20°C , determine (a) the temperature at which the normal stress in the stainless steel rod will be $\sigma = -150 \text{ MPa}$, (b) the corresponding exact length of the stainless steel rod.

Answer: $T = 103.7^\circ\text{C}$, $L = 250.18 \text{ mm}$.

2.39 The rigid bar $ABCD$ is suspended from four identical wires. Determine the tension in each wire caused by the load P shown.

Answer: $T_B = P/5$, $T_D = 2P/5$, $T_A = P/10$, $T_C = 3P/10$.

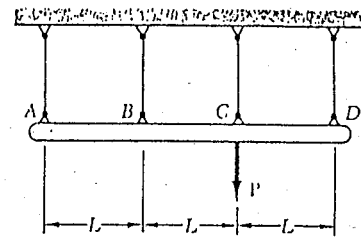


Fig. P2.39

2.45 Determine (a) the compressive force in the bars shown after a temperature rise of 200°F , (b) the corresponding change in length of the aluminum bar.

Answer: $P = -52 \text{ kips}$, $\delta_{Al} = 0.0124 \text{ in.}$

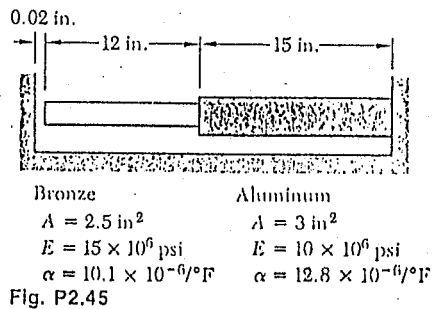


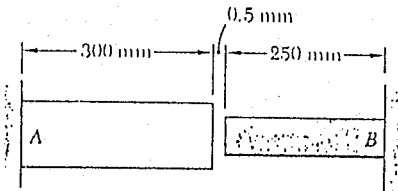
Fig. P2.45

2.46 At room temperature (20°C) a 0.5-mm gap exists between the ends of the rods shown. At a later time when the temperature reaches 140°C , determine (a) the normal stress in the aluminum, (b) the exact length of the aluminum rod.

Answer: $\sigma_{Al} = -114.6 \text{ MPa}$, $L = 300.34 \text{ mm}$.

2.47 Knowing that a 0.5-mm gap exists between the rods shown when the temperature is 20°C , determine (a) the temperature at which the normal stress in the stainless steel rod will be $\sigma = -150 \text{ MPa}$, (b) the corresponding exact length of the stainless steel rod.

Answer: $T = 103.7^\circ\text{C}$, $L = 250.18 \text{ mm}$.



Aluminum	Stainless steel
$A = 2000 \text{ mm}^2$	$A = 800 \text{ mm}^2$
$E = 70 \text{ GPa}$	$E = 190 \text{ GPa}$
$\alpha = 23 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$	$\alpha = 18 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$

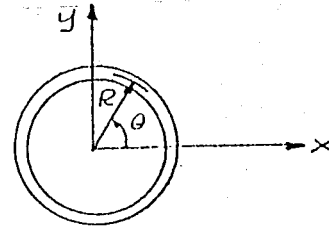
Fig. P2.46 and P2.47

- 1.1. A wire 100 cm. long is subjected to non-uniform heating so that the extensional strain along the wire is proportional to the distance from one end of the wire: $\epsilon_{xx}(x) = k \cdot x$.

If the wire stretches 1 cm., what is the extensional strain at the center of the wire?

Ans. $\epsilon = 10^{-2}$

- 1.2. A wire is in the form of a circular hoop as shown in Fig. 3.2. It is heated non-uniformly so that the extensional strain along the hoop is given by $\epsilon_\theta = k \sin^2 \theta$. Calculate the increase in length of the deformed hoop.



Ans. $\Delta L = kR\pi$

9. A rectangular plate is deformed so that the lower edge falls along a parabola as shown in Fig. 3.9, and no point of the plate displaces in the x direction. Compute (exactly) $\gamma_{xy}(x)$ anywhere along the lower edge of the plate.

Ans. $\gamma_{xy} = \tan^{-1}(2ax)$

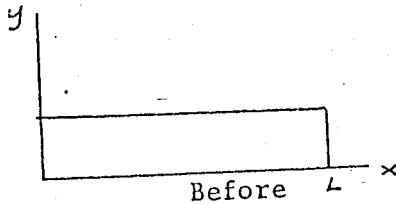
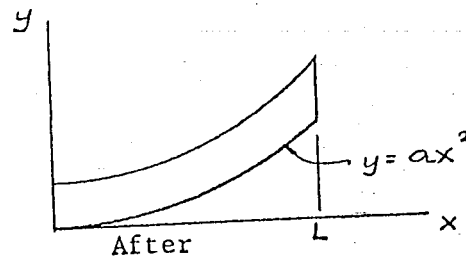


Fig. 3.9



TORSION

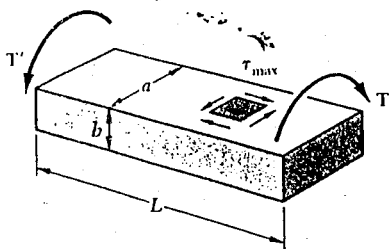


Fig. 3.47

The determination of the stresses in noncircular members subjected to a torsional loading is beyond the scope of this text. However, results obtained from the mathematical theory of elasticity for straight bars with uniform rectangular cross section will be indicated here for convenience.† Denoting by L the length of the bar, by a and b , respectively, the wider and narrower side of its cross section, and by T the magnitude of the torques applied to the bar (Fig. 3.47), we find that the maximum shearing stress occurs along the center line of the wider face of the bar and is equal to

$$\tau_{\max} = \frac{T}{c_1 ab^2} \quad (3.43)$$

The angle of twist, on the other hand, may be expressed as

$$\phi = \frac{TL}{c_2 ab^3 G} \quad (3.44)$$

The coefficients c_1 and c_2 depend only upon the ratio a/b and are given in Table 3.1 for a number of values of that ratio. Note that Eqs. (3.43) and (3.44) are valid only within the elastic range.

Table 3.1 Coefficients for Rectangular Bars in Torsion

a/b	c_1	c_2
1.0	0.208	0.1406
1.2	0.219	0.1661
1.5	0.231	0.1958
2.0	0.246	0.229
2.5	0.258	0.249
3.0	0.267	0.263
4.0	0.282	0.281
5.0	0.291	0.291
10.0	0.312	0.312
∞	0.333	0.333

We note from Table 3.1 that for $a/b \geq 5$, the coefficients c_1 and c_2 are equal. It may be shown that for such values of a/b , we have

$$c_1 = c_2 = \frac{1}{3}(1 - 0.630b/a) \quad (\text{for } a/b \geq 5 \text{ only}) \quad (3.45)$$

The distribution of shearing stresses in a noncircular member may be visualized more easily by using the *membrane analogy*. A homogeneous elastic membrane attached to a fixed frame and subjected to a uniform pressure on one of its sides happens to constitute an *analog* of the bar in torsion, i.e., the determination of the deformation of the membrane depends upon the solution of the same partial differential equation as the

†See S. P. Timoshenko and I. N. Goodier, *Theory of Elasticity*, 3d ed., McGraw-Hill.

המכללה האקדמית יהודה ושומרון

תורת החוזק 1

תרגיל מס' 4

1. In the following problems, points of a plate ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$) lying in the x - y plane undergo displacements u and v in the x and y -directions respectively. For each case :

(a) Compute the strains $\epsilon_x \equiv \epsilon_{xx}$, $\epsilon_y \equiv \epsilon_{yy}$, and $\epsilon_{xy} = \gamma_{xy}/2$.

(b) Determine the principal strains, principal directions and the maximum shear strain.

(c) Plot the deformed shape if $a=b=c=0.1$

Case (i) $u = ax + by$, $v = bx + cy$, $0 < a, b, c \ll 1$

Case (ii) $u = ax$, $v = 0$, $0 < a \ll 1$

Case (iii) $u = ax + bx^2$, $v = -2ax$, $0 < a, b \ll 1$

2.65. At point P in a surface, two rectangular coordinate systems are constructed as shown in Fig. P2.65. All strains given below have been multiplied by 10^6 , indicated by the symbol μ , which stands for micro-, i.e., 10^{-6} . Thus a strain of $\epsilon = 300\mu$ is actually $\epsilon = 300 \times 10^{-6} = .0003$.

(a) $\epsilon_x = 200\mu$, $\epsilon_y = 400\mu$, $\gamma_{xy} = 800\mu$, $\theta = 30^\circ$

Find: ϵ_n , ϵ_t , γ_{nt} .

(b) $\epsilon_x = -300\mu$, $\epsilon_y = 0$, $\gamma_{xy} = 600\mu$, $\theta = 15^\circ$

Find: ϵ_n , ϵ_t , γ_{nt} .

2.78. Determine the principal strains and locate the associated principal directions with respect to an xyz -rectangular coordinate system for each of the strain states below. The z -axis is known to be a principal direction in all cases, and μ stands for 10^{-6} .

(a) $\epsilon_x = 200\mu$, $\epsilon_y = 400\mu$, $\gamma_{xy} = 800\mu$.

(b) $\epsilon_x = -300\mu$, $\epsilon_y = 0$, $\gamma_{xy} = 600\mu$.

2.85. For the states of strain given in Prob. 2.78, determine the maximum shear strain and locate the associated directions in the xy -plane.

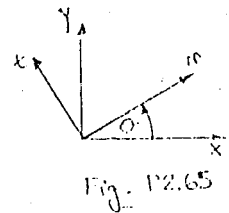


Fig. P2.65

Answers:

2.65 $\epsilon_n =$ (a) 596.4μ

(b) -130μ

$\epsilon_t =$ 3.6μ

-170μ

$\gamma_{nt} =$ 573μ

669μ

2.78 $\epsilon_1 =$ (a) 400μ

(b) 185μ

$\epsilon_2 =$ -600μ

-485μ

$\theta =$ $26.5^\circ, 116.5^\circ$

$-31.7^\circ, 58.3^\circ$

2.85 $\gamma =$ (a) $\pm 1000\mu$

(b) $\pm 671\mu$

$\theta =$ $-18.4^\circ, 71.6^\circ$

$13.3^\circ, -76.7^\circ$

המכללה האקדמית יהודה ושומרון

תורת החוזק 1

תרגיל מס' 5

2.56 A homogeneous plate $ABCD$ is subjected to a biaxial loading which results in the normal stresses $\sigma_x = 150 \text{ MPa}$ and $\sigma_z = 100 \text{ MPa}$. Knowing that the plate is made of steel for which $E = 200 \text{ GPa}$ and $\nu = 0.30$, determine the change in length of (a) edge AB , (b) edge BC , (c) diagonal AC .

Answer: (a) $\delta_{AB} = 60 \mu\text{m}$, (b) $\delta_{BC} = 20.6 \mu\text{m}$, (c) $\delta_{AC} = 60.4 \mu\text{m}$.

2.57 The homogeneous plate $ABCD$ is subjected to a biaxial loading as shown. It is known that $\sigma_z = \sigma_0$ and that the change in length of the plate in the direction must be zero, that is, $\epsilon_x = 0$. Denoting by E the modulus of elasticity and by ν Poisson's ratio, determine (a) the required magnitude of σ_x , (b) the ratio σ_x/σ_0 .

Answer: (a) $\sigma_x = \nu\sigma_0$, (b) $\frac{\sigma_x}{\sigma_0} = \frac{E}{1-\nu^2}$

4.12 A steel member ($E = 30 \times 10^6 \text{ psi}$, $\nu = .3$) is subjected to the stresses

$$\sigma_x = 15,000 \text{ psi}, \quad \sigma_y = -5000 \text{ psi}, \quad \sigma_z = 0,$$

$$\tau_{xy} = -8000 \text{ psi}, \quad \tau_{yz} = 0, \quad \tau_{zx} = 0.$$

Determine the principal strains and the principal directions.

Answer: $\epsilon_1 = 6.66 \cdot 10^{-4}$, $\epsilon_2 = -4.34 \cdot 10^{-4}$, $\theta = 70.7^\circ, 160.7^\circ$

4.13 For a steel, $E = 30 \times 10^6 \text{ psi}$, $\nu = \frac{1}{3}$. Determine the state of stress which responds to the following state of strain if the material obeys Hooke's law:

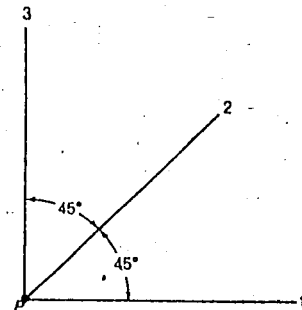
$$\epsilon_x = .001, \quad \epsilon_y = -.005, \quad \epsilon_z = 0,$$

$$\gamma_{xy} = -.0025, \quad \gamma_{yz} = -.0025, \quad \gamma_{zx} = 0.$$

Answer: $\sigma_{xy} = \sigma_{yz} = -2.81 \cdot 10^4$, $\sigma_{xx} = -6.75 \cdot 10^4$, $\sigma_{yy} = -20.25 \cdot 10^4$, $\sigma_{zz} = -9 \cdot 10^4 \text{ psi}$

4.17 A state of plane stress (see Prob. 4.7) exists at the free surface of a body. Strain measurements are taken at a point P on such a free surface by the 45° strain rosette shown in Fig. P4.17. If the material obeys Hooke's law, compute the principal stresses in terms of ϵ_1 , ϵ_2 , ϵ_3 , E , and ν .

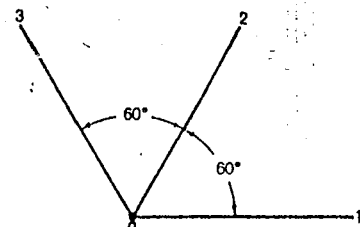
Answer: $\sigma_{1,2} = \frac{E}{2(1-\nu)}(\epsilon_1 + \epsilon_3) \pm \frac{E}{2(1+\nu)} [(\epsilon_1 - \epsilon_3)^2 + (2\epsilon_2 - \epsilon_1 - \epsilon_3)^2]^{1/2}$



P4.17

4.18 Repeat Prob. 4.17 for the 60° strain rosette shown in Fig. P4.18.

Answer: $\sigma_{1,2} = \frac{E}{3} \left[\frac{\epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3}{1-\nu} \pm \frac{2}{1+\nu} \sqrt{(\epsilon_1^2 + \epsilon_2^2 + \epsilon_3^2) - (\epsilon_1\epsilon_2 + \epsilon_1\epsilon_3 + \epsilon_2\epsilon_3)} \right]$



נתון: מבנה מרחבי המתואר בצויר עשוי מחומר אחיד ואלסטי בעל התכונות הבאות.
 $E = 200 \text{ GPa}$, $G = 80 \text{ GPa}$. חלקים FK ו-CD קשיחים אינסופית.

חתכי המוטות MJ ו-MH עגולים בעלי קוטר $d_2 = 0.2 \text{ cm}$; חתך המוט AB עגול בעל קוטר

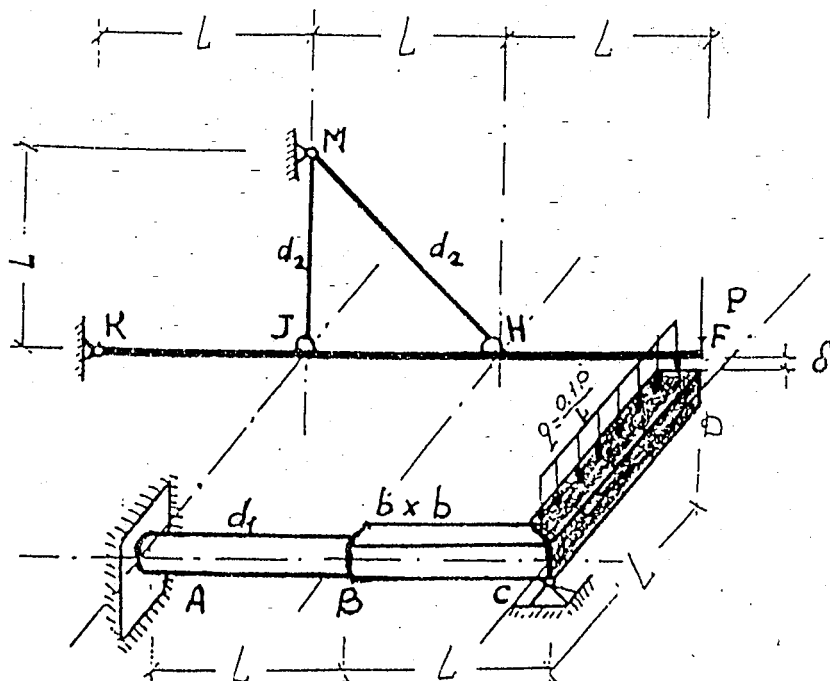
$d_1 = 4 \text{ cm}$; חתך המוט BC הוא מרובע $b \times b$, $b = 4 \text{ cm}$, $L = 1 \text{ m}$.

הרווח בין נקודות F ו-D $\delta = 0.3 \text{ cm}$.

על המבנה פועלים עומס מרוכז P ועומס מפוסט שווה $q = 0.1 \text{ P/L}$

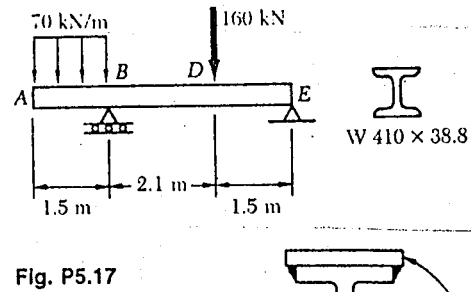
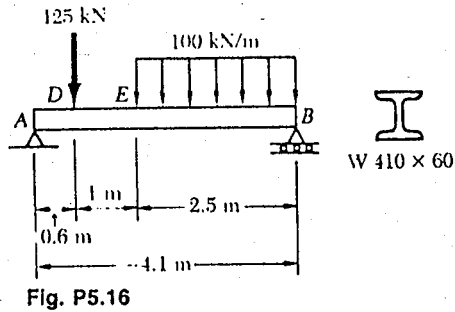
דרוש:

1. לחשב את השקיעות בנקודות D ו-F כאשר $P = 1 \text{ kN}$.
2. מה הוא ה- P_δ הדרוש לסגירת הרווח δ ? מה היא השקיעה בנקודה F כאשר $P = P_\delta$.
3. לחשב את השקיעה בנקודה F כאשר $P = 5 \text{ kN}$.
4. לבנות מהלכי מומנטי כפיפה ופיתול בחלקים DC, KF ו-AC כאשר $P = 5 \text{ kN}$.

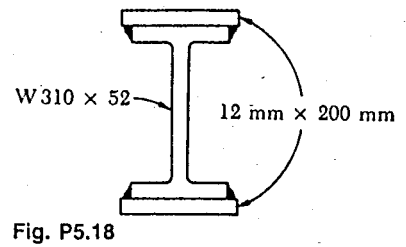


תורת החוזק 1
תרגיל מס 9

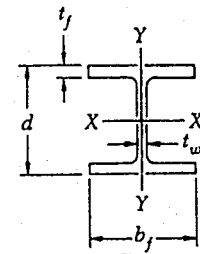
5.16 and 5.17 For the wide-flange beam and loading shown, determine in a section located halfway between points D and E, (a) the largest normal stress, (b) the largest shearing stress,



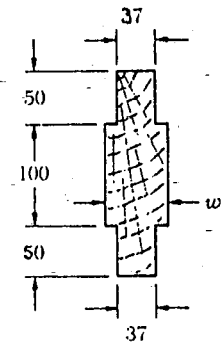
5.18 Two rectangular plates are welded to the 310-mm-wide-flange beam as shown. Determine the largest allowable vertical shear if the shearing stress in the beam is not to exceed 90 MPa.



Designation†	Area A, mm ²	Depth d, mm	Flange		Web Thick- ness t _w , mm	Axis X-X		
			Width b _f , mm	Thick- ness t _f , mm		I _x 10 ⁶ mm ⁴	S _x 10 ³ mm ³	r _x mm
W310 x 52	6850	317	167	13.2	7.6	118.6		
W410 x 114	14600	420	281	19.3	11.6	462	2200	177.8
85	10800	417	181	18.2	10.9	316	1516	170.7
60	7610	407	178	12.8	7.7	216	1061	168.4
46.1	5880	403	140	11.2	7.0	156.1	775	162.8
38.8	4950	399	140	8.8	6.4	125.3	628	159.0



3. For a timber beam having the cross section shown, determine the dimension w if the maximum allowable vertical shear force is 7.67 kN, and the shearing stress is not to exceed 1 MPa.



Dimensions in mm

4. **5.1** Three boards, each of 40 mm x 90 mm rectangular cross section, are nailed together to form a beam which is subjected to a vertical shear of 1 kN. Knowing that the spacing between each pair of nails is 60 mm, determine the shearing force in each nail.

5. **5.32** An extruded beam has the cross section shown and is subjected to a vertical shear of 50 kN. For t = 6 mm, determine the shearing stress at (a) point a, (b) point b.

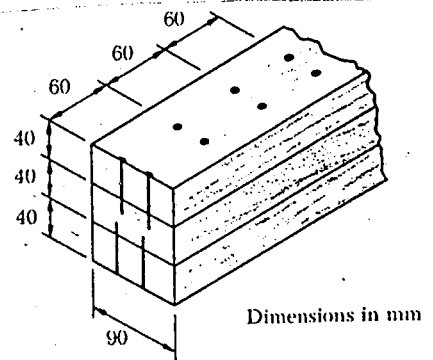
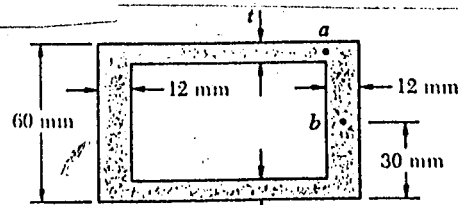


Fig. P5.1

Dimensions in mm

6.

נתון: קונסול פלדה (ציור א) מורכב משני זוויתנים 120/80/10mm ($A=19.1\text{cm}^2$, $I_x=276\text{cm}^4$)

ופח 200/12 מחברים ע"י ריחוך. הקונסול עומס

$P=575\text{ kN}$ בקצהו. האגף $l=2.0\text{m}$ 10MPa

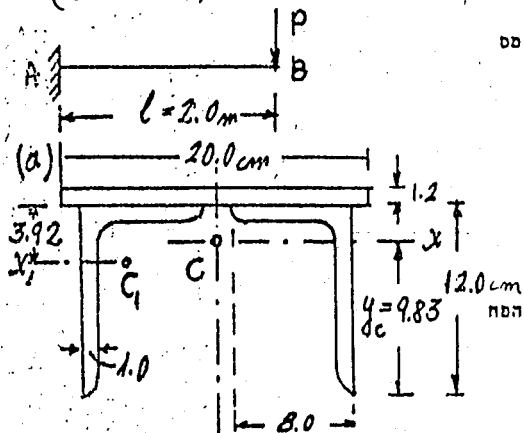
נדרש: א. להראות שמרכז הכובד C נמצא במרחק

$y_c = 9.83\text{cm}$ קלמטה ושמונת האינרציה $I_x = 853\text{cm}^4$.

ב. לבדוק אם המרוסיל מספיק.

ג. באיזה מרחק η מהריחום מותר לחפטיק את המס

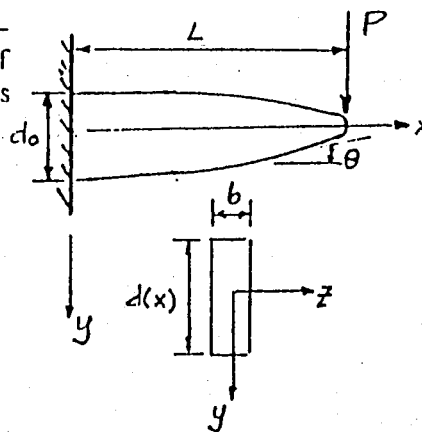
(ולחמשיך את הזוויתנים בלבד).



7. The cantilevered beam shown in the figure has a rectangular cross section of constant thickness but of varying depth $d(x)$. The beam is loaded at the free end.

Assuming that cross-sections remain plane and perpendicular to the deformed longitudinal axis, determine the required variation of the depth $d(x)$ so that the maximum value of the flexure stress at all cross sections should be constant over the length of the beam.

Answer: $d(x) = d_0 \sqrt{1-x/L}$



8. 5.72 $P_1=4.5\text{ kN}$ force is applied at point A of the cast-iron member shown. ($P_2=0$)

Knowing that the member has a diameter of 45 mm, determine the normal and shearing stresses at point H located on the top surface of the member, and at point K.

5.73 For the member of Prob. 5.72, determine the normal and shearing stresses at point K, when $P_1=0$ $P_2=4.5\text{ kN}$.

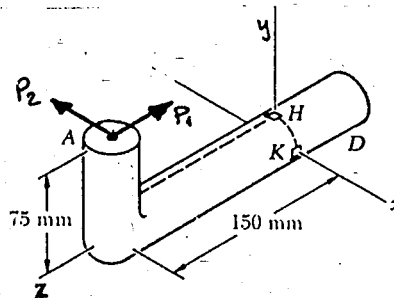


Fig. P5.72

המכללה האקדמית יהודה ושומרון

תורת החוזק 1

תרגיל מס' 10

8.17 and 8.18 For the cantilever beam and loading shown, determine (a) the equation of the elastic curve for portion AB of the beam, (b) the deflection at B, (c) the slope at B.

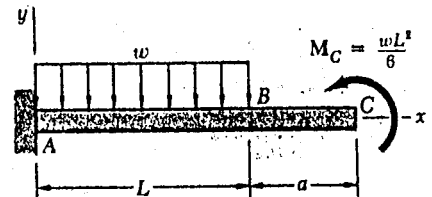


Fig. P8.18

8.25 and 8.26 For the beam and loading shown, determine (a) the equation of the elastic curve for portion BD, (b) the slope at B, (c) the deflection at the center C of the beam.

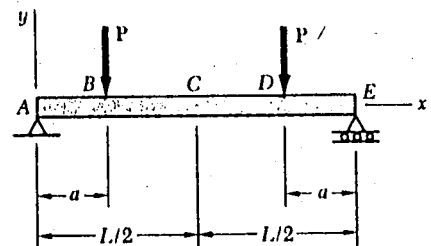


Fig. P8.26

8.41 through 8.44 For the beam and loading shown, determine the reaction at the supports, and the equation of the elastic curve.

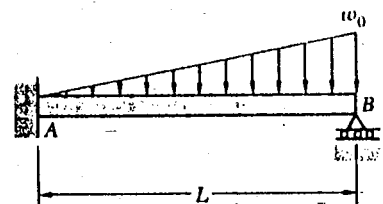


Fig. P8.44

8.45 through 8.48 Determine the reaction at the support and draw the bending-moment diagram for the beam and loading shown.

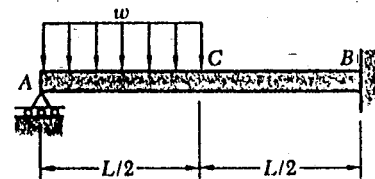


Fig. P8.46

8.55 and 8.56 Determine the reaction at A and draw the bending-moment diagram for the beam and loading shown. Determine the equation of the elastic curve.

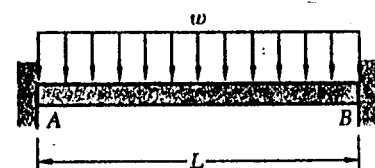
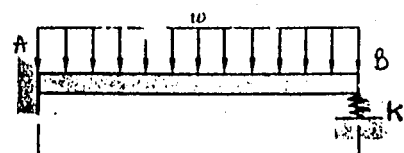


Fig. P8.55



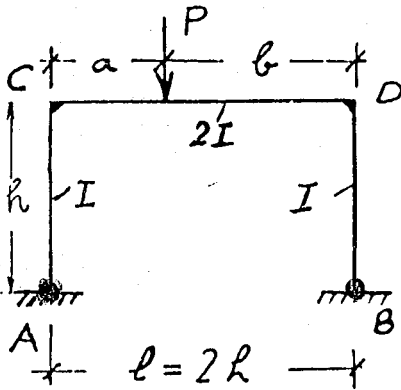
8.48. Determine the equation of the elastic curve, and draw it.

המכללה האקדמית יהודה ושומרון

תורת החוזק 1

תרגיל מס' 11

1.



נתון. מסגרת פורטל רחומה עמוסה לפי

הציור. $a = l/3$.

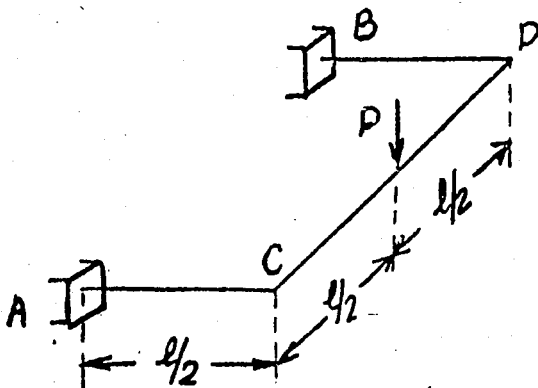
דרוש. לחשב את הריאקציות ואת מומנטי

הריתום ולשרטט את מהלכי N, S ו- M.

תשובה.

$$H_A = \frac{Pab}{2hl}; V_A = \frac{64Pb}{63l}; M_A = \frac{Pab}{7l}$$

2.



נתון. מסגרת סימטרית ארפקית המיוארת בציור

האקסונומטרי רחומה ב-A ו-B ועמוסה עומס

אנכי P. המסגרת בעלת קשיחות לכפיפה EI

וקשיחות לפיתול GI_T .

דרוש. לחשב את הריאקציות B, A את מומנטי

הכפיפה בריתומים M_B, M_A ואת מומנטי הפיתול

בריתומים T_B, T_A . ולשרטט את מהלכי M ו- T.

(להשוות)

זווית הכפיפה ϕ_C של EC לזווית הפיתול θ_C

של AC.

תשובה. $M_A = M_B = Pl/4; A = B = P/2$

$$T_A = T_B = \frac{Pl}{8} \frac{GI_T}{GI_T + EI}$$

8.136 For the loading shown, knowing that beams AB and DE have the same rigidity, determine the reaction (a) at A, (b) at D.

ans: (a) 14.07 kN↑ (b) 59.3 kN↑.

8.138 Before any load is applied, a gap $\delta_0 = 20$ mm exists between the W410 x 60 rolled-steel beam and the support at C. Knowing that $E = 200$ GPa, determine the reaction at each support caused by a uniformly distributed load of 24 kN/m.

ans: $R_A = R_B = 76.5$ kN↑
 $R_C = 39.9$ kN↓

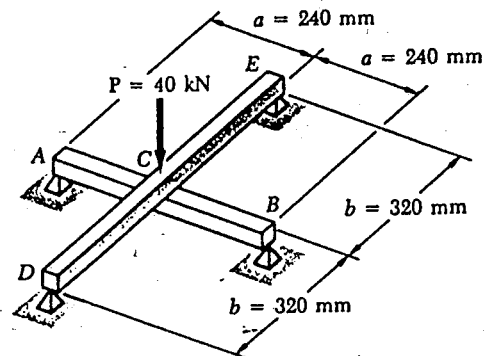
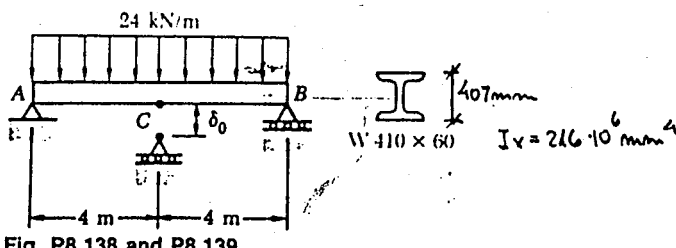


Fig. P8.136

