

קריסת מוטות

שנה ג סמסטר א

13/09/2012

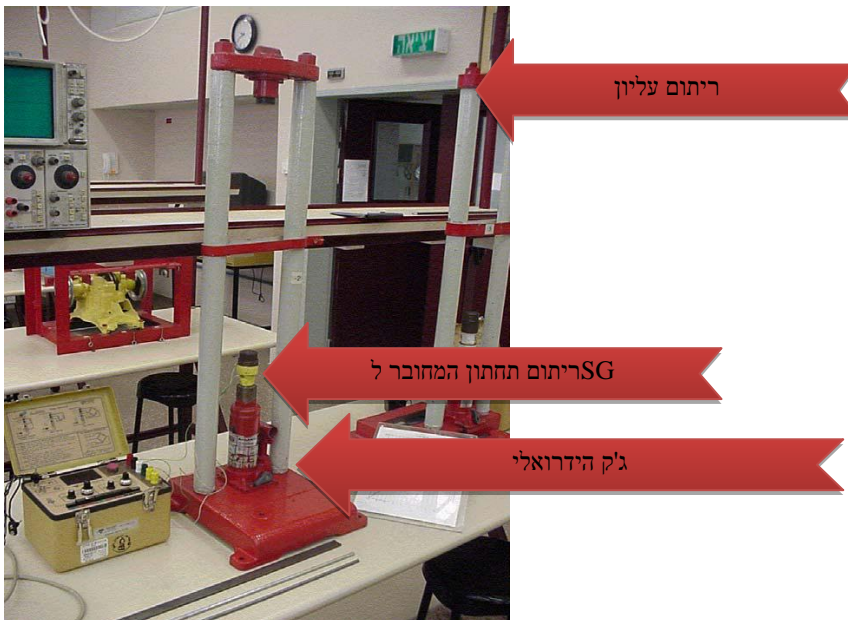
Ben Gurion University of the Negev

profmgr

פרק בטיחות- מעבדת קריסת מוטות

- המעבדות הן שטח תפעולי המשופע במכלולים נעים, עצמים חמים וזרמי חשמל גבוהים.
- מותר לסטודנטים לעבוד במעבדה רק כאשר נמצא במקום עובד מסגל המעבדה ו/או מדריך מוסמך אשר מודע לניסוי אותו הם מבצעים .
- אין להכניס למעבדה מזון ושתייה. אין לאכול, לשתות או לעשן במעבדה. אסור להשתמש בטלפונים סלולריים בתוך המעבדה (המעבדה היא שיעור לכול דבר)
- לבעלי שיער ארוך- חובה לאסוף את השער בכניסה לכל חדר מעבדה או ניסוי ולהכניסו מתחת לחולצה
- אין לעבוד עם שרזולים ארוכים ולא רכוסים ו/או בגדים רפויים
- סטודנט שלא יגיע עם נעליים סגורות -היינו נעלים סגורות באופן מלא גם מלפנים (אצבעות רגליים) וגם מאחור (קרוסול חשוף) לא יוכל לבצע המעבדה ולא יקבע לו שיבוץ מחדש. הערה- אין להגיע עם נעלי "CROCS" למעבדות
- בכל מקרה של ספק או חשש בהפעלה של מערכת הניסוי יש להתייעץ עם המדריך או איש הסגל האחראי. חל איסור חמור על הפעלת מערכות ניסוי ללא אישור טכנאי או מדריך ו/או במידה ויש ספק או חשש.
- לא יקבע מועד שיבוץ חדש לסטודנט אשר לא ימלא חובות אלו

- מתקני הניסוי גבוהים וממוקמים על השולחן-יש לשים לב לבל יפלו או יחליקו מהשולחן
- יש למקם את המוט או הפלאח השטוח באופן מדוייק על הריתום המתאים-אחרת בהפעלת הלחץ ישנה סכנה של ניתור המוט אל עבר המפעיל
- יש להפעיל את הג'ק ההידראולי בצורה העדינה ביותר האפשרית- שוב, למניעת ניתור של הפרופילים אל המפעיל
- יש להשתדל לא לעבור את התחום הפלסטי במוטות (היינו לא לעקמם)
- הקפד על סביבת עבודה נקייה- במידה והמוט סיים את תפקידו הנח אותו במדף העליון (במדף מעצור מובנה)
- אין למקם מוטות על השולחן אלא על המדף העליון- אלו יכולים ליפול בנקל על כפות רגלי המפעיל
- נהג בעדינות בריתומים- לאלו מחוברים STRIANGAGES רגישים
- לא יודע כיצד להפעיל? קרא למדריך או טכנאי



1. מטרת הניסוי

- (א) הכרת מנגנון הקריסה במוטות ארוכים ודקים.
 (ב) חישוב הכוח הקריטי הגורם לקריסה במוטות שונים באופן תיאורטי ומתוך ניסוי.

2. רקע תאורטי

מנגנון הקריסה הוא מנגנון כשל הנובע מאי יציבותו של המבנה המועמס. מנגנון הקריסה הוא גורם עקרי בכשל של מוטות ארוכים ודקים. כאשר מוטות אלו נתונים לחיצה צירית סביר מאד שתתרחש קריסה של המבנה עוד בטרם תתרחש כניעה של החומר. כאשר הלחץ על המוט הולך וגדל, המוט עובר למצב לא יציב מאבד את יכולתו לשאת את העומס וקורס.

תיאורית קריסת המוטות האלסטית מבוססת על ההנחות הבאות:

- החומר הוא הומוגני, איזוטרופי ומתנהג בצורה אלסטית ליניארית.
 - העמסת המוט היא צירית בלבד.
 - תזוזות המוט קטנות מאד.
- נביט באיור 1 של מוט תחת לחיצה צירית. כדי למצוא את העומס הקריטי בו המוט קורס עלינו להשתמש במשוואה הדיפרנציאלית לשקיעת מוטות.

$$(1) EIw''(x) = M(x)$$

כאשר E - מודול יאנג, I - מומנט האינרציה של חתך המוט, M(x) - מהלך המומנטים לאורך המוט, w - שקיעת המוט בניצב לציר הלחיצה.

המומנט הפועל בנקודה x כלשהי:

$$M(x) = -pw(x) \quad (2)$$

נציב את (2) ב-(1) ונקבל:

$$EIw''(x) + pw(x) = 0 \quad (3)$$

$$(4) w''(x) + \frac{p}{EI} w(x) = 0$$

פתרון המשוואה הדיפרנציאלית נתון ע"י:

$$w(x) = A \sin(ax) + B \cos(ax) \quad (5)$$

תנאי השפה נתונים (אין שקיעה בקצוות):

$$w(0) = w(L) = 0 \quad (6)$$

נציב את תנאי השפה (6) לפתרון (5):

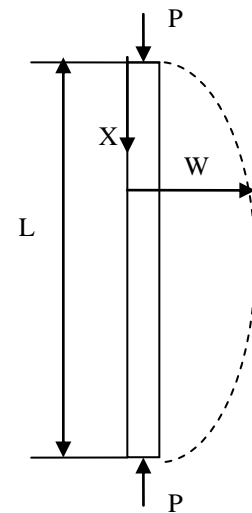
$$w(0) = A \cdot 0 + B \cdot 1 = 0 \rightarrow B = 0 \quad (7)$$

$$w(L) = A \sin(aL) = 0 \rightarrow \sin(aL) = 0 \rightarrow aL = n\pi \quad (8)$$

כדי למצוא את a נציב את פתרון (5) במשוואה (4) (לאחר הצבת B=0)

$$-Aa^2 \cdot \sin(ax) + \frac{p}{EI} \cdot A \sin(ax) = 0$$

$$-a^2 + \frac{p}{EI} = 0 \rightarrow a = \sqrt{\frac{p}{EI}} \quad (9)$$



איור 1

נציב את (9) לתוך (8)

$$L\sqrt{\frac{p}{EI}} = n\pi$$

$$p = \frac{n^2 \pi^2 EI}{L^2} \quad (10)$$

ב Mode הקריסה הראשון, $n = 1$ נקבל את הכוח הקריטי הנמוך ביותר:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \quad (11)$$

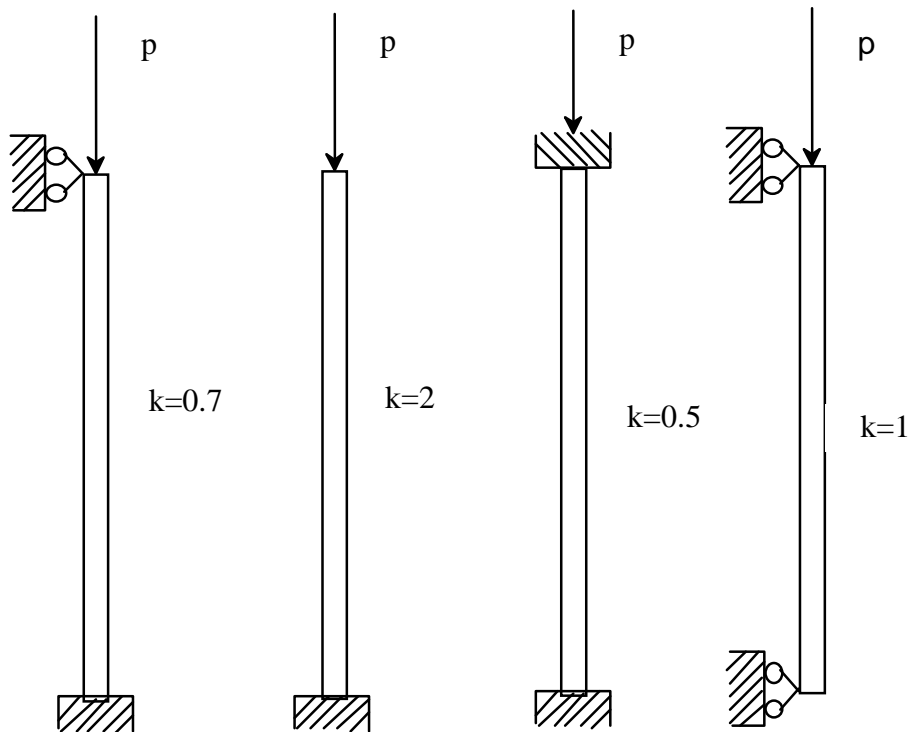
העומס הנקבע במשוואה (11) נקרא Euler Load ומנגנון הקריסה נקרא - Euler Buckling. את שקיעת המוט ניתן לקבל מהביטוי הבא:

$$w(x) = A \sin\left(\sqrt{\frac{p}{EI}} x\right) \quad (12)$$

נוסחה זו קובעת רק את צורת המוט אך לא האמפליטודה מפני ש- A אינו ניתן לקביעה.

באיור 2 ניתן לראות שעבור מוט תנאי שפה שונים קיימים פתרונות שונים הנבדלים זה מזה בקבוע (k):

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(kL)^2} \quad (13)$$



איור 2

3. ספרות

Popov: Introduction to Mechanics of Solids /1968 edition/ chapter 14

4. מערכת הניסוי

ללחיצת מוטות בעלי שטח חתך עגול ומלבני. על הבוכנה

שני מתקני לחיצה הידראוליים עם מתאמים

הלוחצת מחובר בחלק החיצוני מדיד עיבור המחובר לרב מודד.

במהלך הניסוי נשתמש בשלושה מוטות:

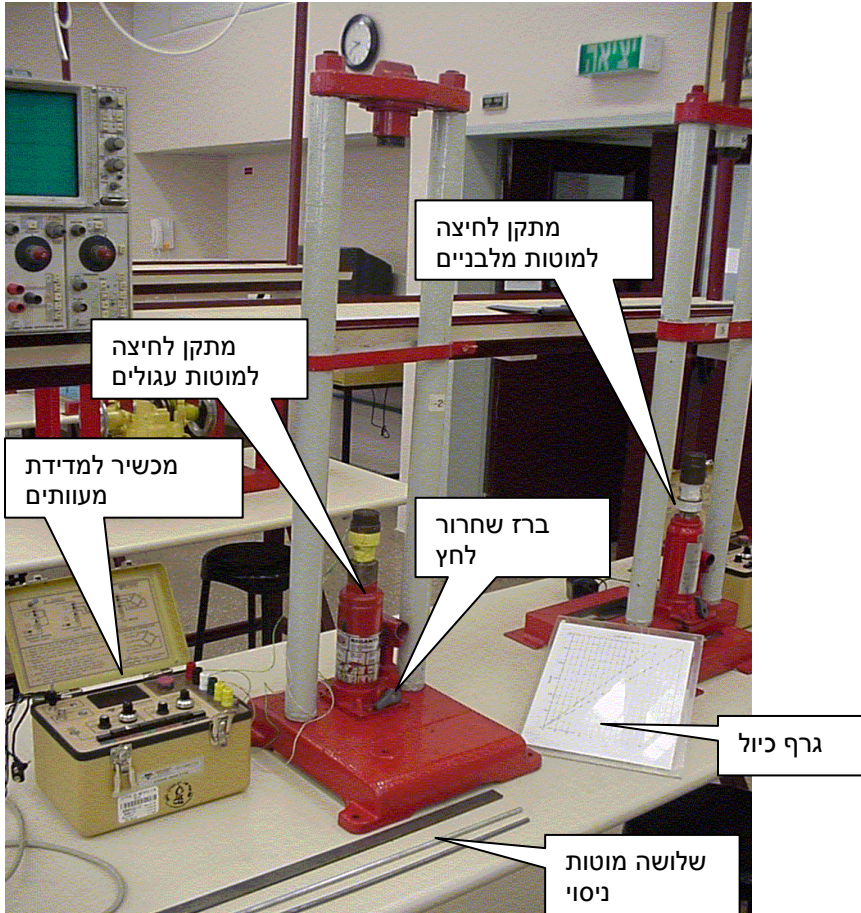
(א) מוט פלדה בעל שטח חתך עגול.

(ב) מוט אלומיניום בעל שטח חתך עגול.

(ג) מוט פלדה בעל שטח חתך מלבני.

$$E = 2.1 \cdot 10^6 \left[\frac{kg}{cm^2} \right] : \text{פלדה}$$

$$E = 0.77 \cdot 10^6 \left[\frac{kg}{cm^2} \right] : \text{אלומיניום}$$



5. שאלות הכנה

1. הסבר מהו שווי משקל יציב, אדיש, לא יציב.
2. תאר מצבי שווי משקל של קורה הנלחצת על ידי כוח P , הסבר מהי קריסה ?
3. הסבר כיצד מקבלים את הנוסחה עבור הכוח הקריטי.
4. איזה סוגי אקצנטריות קיימים בזמן לחיצה על מוט ?
5. נתון: למוט א' כוח קריטי 1000 ק"ג. למוט ב' כוח קריטי של 300 ק"ג. אם תחום ההעמסה הוא עד כוח לחיצה של 100 ק"ג, עבור איזה מוט נקבל תוצאה מדוייקת יותר עבור הכוח הקריטי ?

במעבדה**6. שאלות מקדימות:**

- האם יש מקום לזהות את P_{cr} הגורם לקריסה עם σ_{yp} הגור מעבר אלסטי-פלסטי?
- האם קריסה פירושה שבירה ?
- כיצד משפיע מודול האלסטיות על הכוח הקריטי ?
- לאיזה כיוון תקרוס קורה מלבנית ומדוע?
- כיצד באה לידי ביטוי בחישוב צורת אחיזת המוט בקצותיו ?
- כיצד ניתן להעזר ב k בכדי לדעת את צורת המוט לאחר הקריסה ?

7. מהלך הניסוי:

- הפעל את מכשיר מדידת העיבורים.
- מדוד את המוטות בהם תשתמש בניסוי.
- סגור את ברזי שחרור הלחץ במתקני הלחיצה.
- הצב כל מוט בתורו במתקן הלחיצה. הפעל **באיטיות** (הפעלה לא איטית תגרום לכך שתחמיץ את המעוות הקריטי)
- לחץ הדרגתי על המוט. עקוב אחרי עלית ערך המעוותים (μs) עד שהוא מפסיק לעלות. רשום ערך זה.
- התאם בין מספר מתקן הלחץ לעקומת הכיול שלו בגרף (2 למוטות בעלי חתך עגול ו 3 לחתך מלבני). קבל בעזרת המעוות שרשמת את הכוח הקריטי למוטות השונים.

8. עיבוד תוצאות:

- ערוך טבלה שבה מופיעים סוגי המוטות, המעוותים לקריסה, כוח קריטי מניסוי וכוח קריטי מחושב (ציין מהו k במקרה שלנו).
- הצג בדו"ח את המידות וחישוב מלא של מומנטי האנרציה והכוחות הקריטיים למוטות השונים.
- בצע חישוב של שגיאה יחסית עבור הכוח הקריטי לכל המוטות.
- הראה ציור איכותי של ארבעת המוטות באיור 2 לאחר קריסה (לכל מוט צורה שונה של חיבור בקצותיו השונים).
- רשום את ה k המתאים לכל מצב.

9. סיכום ומסקנות:

- מהן התופעות אותן בדקת בניסוי :
 - * הבט בפרמטרים השונים אותם בדקת
 - * הבט בחישובים השונים אותם ביצעת.
- מהן הסיבות האפשריות לשגיאות בניסוי, פרט.

10. צורת הדו"ח:

- מטרות הניסוי.
- טבלאות של תוצאות וחישובים שונים.
- חישובים, דוגמאות חישוב, שגיאות יחסיות ודרישות ספציפיות לניסוי אם יש.
- סיכום מסקנות