

דף הנחיות לדו"ח סופי לניסוי מתיחה וקושי

מבנה הדו"ח

1. תקציר.
 2. תוכן עניינים.
 3. רשימת סימנים (סימון, יחידות והסבר קצר).
 4. מבוא.
 5. מטרת הניסוי.
 6. רקע תיאורטי – הרקע התיאורטי יהיה תמציתי וילווה בסימוכין¹.
 7. ניסוי ותוצאות.
 - 7.1. הצג טבלת מדידות (אורך, קוטר וקריאות קושי, לפני ואחרי המתיחה).
 - 7.2. מהלך הניסוי – יש לרשום מהלך ניסוי ומכשור מפורטים.
 - 7.3. ערוך טבלת נתונים עבור כ-20 נקודות מדידה σ_{real} , σ_{eng} , ϵ_{real} , ϵ_{eng} , $P [kN]$, $\Delta l [mm]$, $\sigma_{real} \left[\frac{kgf}{mm^2} \right]$, $\sigma_{eng} \left[\frac{kgf}{mm^2} \right]$. (עבור כל חומר) - יש להציג ערכים בדיוק של 3 ספרות בלבד אחרי הנקודה.
 - 7.4. ציין על גבי הגרפים נקודות קריטיות σ_{UTS} , σ_F , $\sigma_{Y0.2}$.
 - 7.5. מצא בצורה גרפית את המעוות האלסטי והמעוות הפלסטי הטהור.
 - 7.6. חשב את מודול יאנג E ע"פ שיטת הריבועים המינימליים (ראה נספח, ראה את כל החישוב) והשווה לערכים בספרות. תן שגיאה יחסית. (שים לב – יש לאלץ את הקו הלינארי לעבור בראשית).
 - 7.7. חישובי שגיאות:
 - 7.7.1. הצג טבלת שגיאות מדידה עבור σ_{real} , σ_{eng} , ϵ_{real} , ϵ_{eng} , המקבילה לטבלה בסעיף 7.3. יש לתת פיתוח ודוגמת חישוב עבור כל ערך.
- שגיאת המדידה של ה-Extensometer היא $0.1\% \cdot \Delta l_{measured}$, כאשר $\Delta l_{measured}$ היא ההתארכות הנמדדת.
 - שגיאת מדידת ה-Load Cell תהיה ע"פ איור 1. השגיאה תהיה סכום השגיאות כפול ערך ה-(F.S) Full Scale של המכשיר – 10 Ton. נשמיט את השגיאה האחרונה (Thermal effect) כיוון שכל המדידות התבצעו באותה הטמפר'.

NON-LINEARITY	0.11 % F.S
HYSTERESIS	0.18 % F.S
THERMAL ZERO SHIFT	0.01 % F.S
THERMAL EFFECT ON SENSITIVITY	0.01 % F.S

איור 1 - שגיאת מדידת ה-Load Cell.

¹ עבור המידע הנכנס לרקע התיאורטי, חובה לציין מאין הגיע. כלומר, יש להפנות למקור המתאים ברשימת הסימוכין (ביבליוגרפיה) באמצעות מספר הסעיף (לדוגמא: [2]).

- חישוב השגיאות עבור ערך $f = f(f_1, f_2, \dots, f_n)$ יבוצע ע"פ הנוסחה הבאה :

$$E_f = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial f_i} \Delta f_i \right)^2}$$

כאשר Δf_i היא השגיאה בפרמטר f_i .

- 7.7.2. חשב את שגיאת מודול לאנג E עבור כל חומר. הצג את השגיאה המתקבלת בשיטת הריבועים המינימליים (ראה נספח).
- 7.8. בנה גרפי מאמץ-מעוות הנדסיים ואמיתיים ע"פ הטבלה מסעיף 7.3. על גבי הגרף יש להציג קווי שגיאה (Error bars) ע"פ הערכים שחושבו בסעיף 7.7.1.
- 7.9. להשוות ערכי ערכי קושי מדוד לפני (ממוצע) ואחרי הניסוי ולהציגם בצורה גרפית כתלות במיקום המדידה לאורך הדגם (גרף נפרד עבור כל חומר).
- 7.9.1. ערכי הקושי לפני המתיחה יוצגו כקו בממוצע שלושת הנקודות.
- 7.9.2. עבור ערכי הקושי שנמדדו לאחר המתיחה, יש להציג את פיזור הנקודות בצירוף קו מגמה.
8. דיון בתוצאות.
9. מסקנות.
 - 9.1. הסבר את השינויים בהתנהגות עקומות מאמץ-מעוות הנדסיות ואמיתיות עבור שני החומרים. יש להסביר בנוסף את ההבדלים בין החומרים הנגזרים מהעקומות.
 - 9.2. מהם ההבדלים בין E מחושב לבין ערכו בספרות. נמק.
 - 9.3. יש להסביר את המצאות נקודות הקושי על קו מגמה ישר (אופקי, עולה או יורד) ולהסביר את ההתנהגות הצפויה באזור הצוואר. יש להתייחס בתשובה לתוצאות בדיקת הקושי עבור הדגמים המדופנים.
 - 9.4. כל מסקנה נוספת העולה מן התוצאות.
 10. סיכום.
 11. המלצות לשיפור הניסוי.
 12. ביבליוגרפיה.
 13. נספח – עיבוד תוצאות שהוגש במהלך הסמסטר.

דגשים

- יש להציג דוגמאות חישוב מפורטות.
- שימו לב, כי גם לערך (0,0) בטבלת הנתונים יש שגיאה.
- בסעיף המסקנות אין להסתפק רק באלו שהועלו בדו"ח המעבדה.
- כל טבלה, גרף ואיור חייבים להיות ממוספרים עם כותרת המתארת את תוכנם.

נספח

התאמת גרף לינארי

כאשר אנו מנסים להתאים גרף לינארי לאוסף של נקודות במערכת צירים המתארות תוצאות של מדידה, עלינו לקחת בחשבון גם את השגיאה בכל מדידה וכן להבחין בכך שישנו פיזור של התוצאות סביב הקו הישר. עלינו למצוא את הקו הישר הטוב ביותר שיתאים לתוצאות. בניסוי מעשי עלולות להיות תוצאות חריגות אשר בוודאות אינן מתאימות לתיאוריה אותה אנו מעוניינים למדוד, אם נכניס לשיקולים גם את הנקודות החריגות אנו עלולים לעוות את התוצאה. כאן יש מקום להפעלת שיקול דעת להחליט איזו נקודה היא חריגה ולמחוק אותה מהגרף.

שיטת הריבועים המינימליים להתאמת קו ישר

שיטה זו היא שיטה אנליטית למציאת הקו הישר הטוב ביותר המתאים לאוסף של נקודות (x_i, y_i) . תקפות הנוסחאות שנציג כאן מותנית בכך שהשגיאה בערכי x קטנה ביחס לשגיאה בערכי y , $\Delta x \ll \Delta y$. נניח שאנו מחפשים קו ישר מהצורה $y = ax + b$, הסטייה בין כל נקודת מדידה לקו הישר נתונה ע"י המרחק האנכי $d_i = y_i - (ax_i + b)$. המדד שבו נשתמש לקו הטוב ביותר הוא סכום ריבועי הסטיות

$$(1) \quad S^2 = \sum_{i=1}^N d_i^2 = \sum_{i=1}^N (y_i - ax_i - b)^2$$

צמד הפרמטרים שעבורם S^2 יהיה מינימלי יתארו את הקו הטוב ביותר. אם נגזור את S^2 לפי a ו- b ונשווה לאפס נקבל שתי משוואות מהן נוכל לקבוע את הערכים של הפרמטרים a ו- b . הנוסחאות המתקבלות הן:

$$(2) \quad a = \frac{1}{A} (N \cdot S_{xy} - S_y \cdot S_x) \quad ; \quad b = \frac{1}{A} (S_{xx} \cdot S_y - S_{xy} \cdot S_x)$$

כאשר:

$$(3) \quad S_x \equiv \sum_{i=1}^N x_i \quad ; \quad S_y \equiv \sum_{i=1}^N y_i \quad ; \quad S_{xx} \equiv \sum_{i=1}^N x_i^2$$
$$S_{yy} \equiv \sum_{i=1}^N y_i^2 \quad ; \quad S_{xy} \equiv \sum_{i=1}^N x_i y_i \quad ; \quad A \equiv N \cdot S_{xx} - S_x^2$$

הנוסחאות עבור הערכת השגיאה בפרמטרים הן:

$$(4) \quad \Delta a = \Delta y \sqrt{\frac{N}{A}} \quad ; \quad \Delta b = \Delta y \sqrt{\frac{S_{xx}}{A}}$$

כאשר הגודל המסומן כ- Δy הוא המקסימלי מבין שני הפרמטרים:

$$\Delta \bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta y_i \quad \text{1. השגיאה הממוצעת}$$

2. סטיית התקן עבור הפיזור

$$(5) \quad \sigma_y \equiv \sqrt{\frac{1}{N-2} \sum_{i=1}^N d_i^2}$$

$$= \sqrt{\frac{1}{N-2} (S_{yy} + a^2 S_{xx} + Nb^2 - 2aS_{xy} - 2bS_y + 2abS_x)}$$

דוגמא להתאמת קו ישר בשיטת הריבועים המינימליים

נניח שבניסוי מסוים נמדדו ערכי x וערכי y, והתקבלו התוצאות הבאות:

x	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
y	14.5	16.0	18.5	20.0	22.5	24.5	26.0	27.0	29.0

נניח כי אין שגיאה בערכי x ואילו השגיאה בערכי y היא $\Delta y_i = 0.2$.

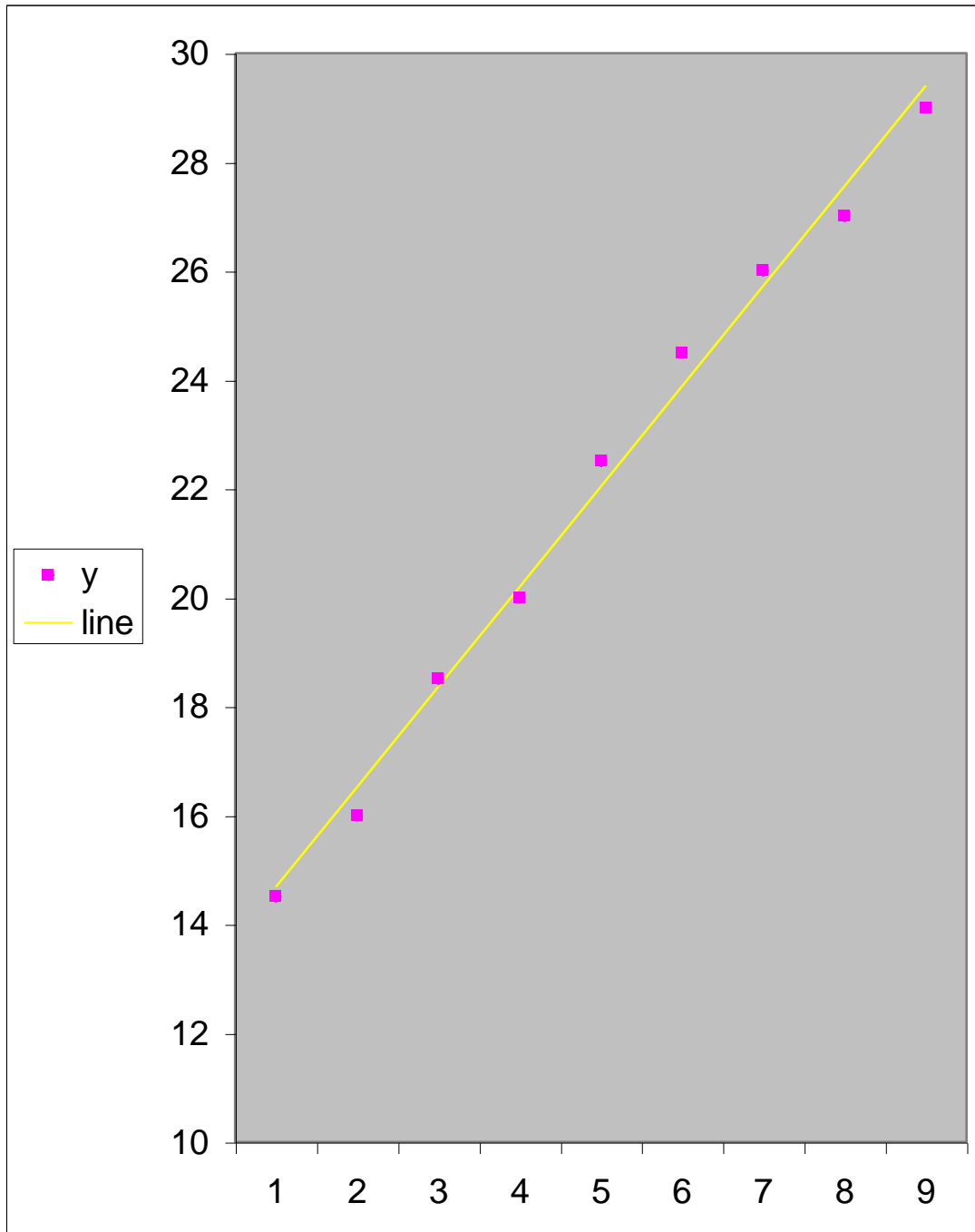
כדי לחשב את הפרמטרים עבור הקו הישר נכניס את הנתונים למחשב ונחשב את הגדלים המופיעים במשוואות (8-11). (העיבוד נעשה באמצעות תוכנת Excel)

index	x	y	x ²	y ²	xy
1	2	14.5	4	210.25	29
2	3	16	9	256	48
3	4	18.5	16	342.25	74
4	5	20	25	400	100
5	6	22.5	36	506.25	135
6	7	24.5	49	600.25	171.5
7	8	26	64	676	208
8	9	27	81	729	243
9	10	29	100	841	290
Sx	Sy	Sxx	Syy	Sxy	
54	198	384	4561	1298.5	
A	a	b			
540	1.841667	10.95			
sigma	<Ey>	Ey	Ea	Eb	
0.462267	0.2	0.462267	0.059678	0.389817	

הערכים עבור הפרמטרים לאחר עיגול ספרות משמעותיות הם:

$$(6) \quad a = 1.84 \pm 0.06 \quad ; \quad b = 11.0 \pm 0.4$$

התוצאות מופיעות בגרף בציור 4.



ציור 4 : נקודות ביחד עם הקו הישר הטוב ביותר עפ"י הריבועים המינימליים.