



מדידת ספיקה ומהירות

מגישי הדו"ח: 1. _____ ת.ז. _____
2. _____ ת.ז. _____
3. _____ ת.ז. _____

מספר קבוצה: _____
תאריך ביצוע המעבדה: ____/____/____
תאריך הגשת המעבדה: ____/____/____

מפתח לבדיקת הדו"ח

מתור	ניקוד	סעיף
4		מטרה ומהלך הניסוי
15		מכשירי מדידה + הסבר
5		תוצאות המדידה
10		גרף ספיקות אמיתית ומחושבת כנגד הפרש לחצים
10		גרף ספיקה אמיתית כנגד מחושבת למציאת C
3		התייחסות למקדם C - האם קבוע?
10		גרף מהירות כנגד שורש הפרש הלחצים
3		השוואה בין המהירות הממוצעת למהירות המחושבת ע"י מדיד פיטו
5		דוגמאות חישוב
5		חישובי שגיאות
5		הצגת השגיאות על הגרפים (error bars)
5		התייחסות לביצועי המכשירים בספיקות נמוכות
15		מסקנות
5		סיכום
100		סה"כ

חובה לצרף לדו"ח:

- את דף שער זה. יש למלא את שמות המגישים, ת"ז, שם המדריך, תאריכי ביצוע והגשה. (במידה וחסר 5- בניקוד)
- את תוצאות הניסוי, חתומות ע"י המדריך בתור נספח ראשון (במידה וחסר 15- בניקוד).
- הצהרת מקוריות חתומה ע"י כל המגישים בתור נספח שני (במידה וחסר 10- בניקוד).

שמות הסטודנטים	ציון בוחן	ציון עיבוד תוצאות	ציון סופי	אחוז
				20%
				80%
				100%

חתימת הבודק: _____



תדריך מעבדה - מדידת ספיקה ומהירות

1. מטרה

- הכרת אמצעים למדידת ספיקה ומהירות בזורמים ושימוש בהם תוך יישום ידע עיוני.

2. רקע תיאורטי

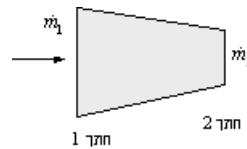
2.1 ספיקה מסית

עבור זורם בלתי דחיס (צפיפות קבועה ρ), הזורם במהירות ממוצעת \bar{U} בתוך צינור בעל שטח חתך A , הספיקה המסית \dot{m} של הזורם היא סה"כ המסה שעוברת ביחידת זמן דרך חתך מסוים (קצב מעבר המסה):

$$[\text{kg/sec}] \dot{m} = \rho \bar{U} A \quad (1)$$

2.2 חוק שימור המסה

העקרון המנחה מאחורי חוק שימור המסה הוא כי במצב מתמיד, מסת החומר הנכנס למערכת שווה למסת החומר היוצא מהמערכת. נתבונן באיור הבא:



איור 1: חוק שימור המסה

בהנחה כי אין כניסה או יציאה של מסה מהחלק העליון או התחתון (איור 1), הספיקה המסית העוברת דרך חתך מסוים תהיה שווה בכניסה (חתך 1) וביציאה (חתך 2):

$$\dot{m}_1 = \rho \bar{U}_1 A_1 = \rho \bar{U}_2 A_2 = \dot{m}_2 \quad (2)$$

2.3 חוק שימור האנרגיה לזורם (משוואת ברנולי)

משוואת ברנולי המוצגת במשוואה (3) מתייחסת לזרימה בלתי דחיסה, ללא הפסדים וחסרת חיכוך. האינדקסים 1,2 מתייחסים לחתכים 1,2 המוצגים באיור מס' 1. להלן משוואת ברנולי:

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{\bar{U}_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\bar{U}_2^2}{2g} + z_2 \quad (3)$$

כאשר $\gamma = \rho g$ היא המסה הסגולית של הזורם. האיבר הראשון במשוואה מבטא את האנרגיה של הזורם כתוצאה מהלחץ בו הוא שרוי, האיבר השני מבטא את האנרגיה הקינטית של הזורם והאיבר השלישי מבטא את אנרגיית הגובה של הזורם.

2.4 ספיקת זורם בצינור אופקי בעל חתך משתנה

מחוק שימור המסה (2), ניתן לבטא את מהירות הזורם בחתך 1 באמצעות מהירות בחתך 2 בצורה הבאה:

$$\bar{U}_1 = \bar{U}_2 \frac{A_2}{A_1} \quad (4)$$



באמצעות משוואת ברנולי (3) נוכל לקבל ביטוי עבור המהירות בחתך 2 התלויה בלחצים ובשטחי החתך בשני חתכים שונים. נציב את (4) לתוך (3), ועבור צינור אופקי ($z_1 = z_2$) נקבל כי:

$$\bar{U}_2 = \frac{1}{\sqrt{1 - (A_2/A_1)^2}} \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho}} \quad (5)$$

באמצעות (5) נוכל לקבל ביטוי עבור הספיקה הנפחית (Q) במצב אידיאלי של הזורם:

$$Q_{Ideal} = A_2 \bar{U}_2 = \frac{A_2}{\sqrt{1 - (A_2/A_1)^2}} \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho}} \quad (6)$$

מאחר והמערכת היא איננה אידיאלית קיימים הפסדים כתוצאה מחיכוך עם דפנות הצינור, הפסדי תנע וכו'. לכן, משוואה (6) איננה מתארת היטב את הספיקה הנפחית האמיתית. ע"י הכפלה בקבוע - מקדם הפריקה, נוכל לקבל את הספיקה האמיתית:

$$Q_{Real} = C \cdot Q_{Ideal} \quad (7)$$

מקדם זה תלוי במספר ריינולדס המתאים למצב הזרימה וכן בגאומטריית הצינור.

כעת, באמצעות יצירת הפרעה לזרימה ומדידת הלחצים בשני חתכים בעלי שטחים ידועים, נוכל למדוד את הספיקה הנפחית.

3. ציוד

ציוד מערכת הניסוי הוא כדלהלן:

- א. שסתום לויסות הספיקה + מסנן.
- ב. מד ספיקה מכויל (רוטמר או Massfloemeter).
- ג. מנומטר U (עם מים).
- ד. צינור ונטורי: $D_{max} = 12 \pm 0.1mm$, $D_{min} = 6.5 \pm 0.1mm$.
- ה. מדיד Orifice: $D_{max} = 12 \pm 0.1mm$, $D_{min} = 6 \pm 0.1mm$.
- ו. מדיד פיטו: $D_{max} = 12 \pm 0.1mm$, $D_{min} = 3 \pm 0.1mm$.
- ז. נחיר: $D_{max} = 12 \pm 0.1mm$, $D_{min} = 8 \pm 0.1mm$.

4. מערכת הניסוי

אוויר מוזרם דרך שסתום ויסות על מד הספיקה המכויל שבלוח הניסוי. משם ממשיך האוויר לזרום אל האטמוספירה בעוברו דרך צינור ונטורי, מד ספיקה או סביב מדיד הפיטו הנתון בתוך צינור. הפרש הלחצים במכשירים השונים נמדד בעזרת מנומטר מסוג U המכיל מים. ויסות הספיקה נעשה בעזרת השסתום והספיקה נמדדת במדויק בעזרת מד ספיקה מכויל. לרשותך מד טמפרטורה למדידת טמפרטורת האוויר.



תמונה 1: מערכת הניסוי.

5. מהלך הניסוי

- א. הזרם אוויר דרך מערכת הניסוי. כאשר הספיקה במד הספיקה היא מקסימלית בתחום המכיל. רשום את הפרשי הלחץ בכל מדיד.
- ב. הזרם אוויר ב - 5 ספיקות נוספות (קטנות מהספיקה המקסימלית) ורשום את הפרשי הלחצים בכל מדיד.
- ג. בדוק את תגובת המדידים בספיקות נמוכות, עד $Q = 0$ ורשום את התרשמותך מביצועי המדידים.
- ד. החתם את מדריך המעבדה על תוצאות המדידה.

6. דגשים לעיבוד התוצאות

- א. רשום את מטרת הניסוי ומהלכו.
- ב. תאר את מכשירי המדידה איתם עבדת בניסוי ותן הסבר קצר על אופן הפעולה שלהם.
- ג. הצג את תוצאות הניסוי בטבלה מסודרת.
- ד. עבור צינור ונטורי, דיאפרגמה ונחיר, הצג גרפי כיוול עיוניים (על-סמך פיתוח תיאורטי) ומעשיים (על-סמך המדידות) של ספיקה כתלות בהפרש הלחצים. הערה: מד הספיקה המכיל ישמש לבניית הגרף המעשי.
- ה. הצג חישובי שגיאה מפורטים עבור כל ערך מחושב בדוח. הצג את השגיאות על הגרפים שבסעיף ד' (error bars). הראה דוגמאות חישוב ופיתוח עבור כל שגיאה.
- ו. הצג את הספיקה הנמדדת (Q_{real}) כתלות בספיקה המחושבת (Q_{ideal}) עבור שלושת מדידי הספיקה (בגרף אחד), וחשב ערכו של מקדם הספיקה C (בהנחה כי ערכו קבוע). שים לב: הכללת התוצאות בפונקציה מסוג $y = ax$ תאפשר קבלת מקדם ספיקה המתאים לצורה שנלמדה בכיתה.
- ז. עבור מדיד פיתוח הצג בגרף את המהירות המקסימלית, המהירות הממוצעת, המחושבת לפי סעיף ח' בשאלות ההכנה, והממוצעת המחושבת לפי ספיקה חלקי שטח חתך, כתלות בשורש הפרש הלחצים הנמדד. התייחס לתוצאות המתקבלות.
- ח. יש לצרף לדו"ח הסופי את תוצאות המדידה החתומות ע"י המדריך.



7. דגשים למסקנות

- התייחס לביצועי המכשירים בספיקות נמוכות. מי נותן את הקריאה הכי ברורה? הסבירו.
- האם ערכו של המקדם C קבוע? הסבירו.
- האם קיים הבדל בין המהירות הממוצעת האמתית והנמדדת במדיד הפיטו? אם קיים הבדל, הסבירו מדוע לדעתכם הוא קיים וממה נובע.

8. שאלות הכנה

הערה: הניסוי נערך בתחום הספיקות $30-150 [L/min]$, עבור אוויר בתנאים סטנדרטיים.

- ספיקת אוויר בצינור בעל קוטר פנימי $12mm$ היא $100 [L/min]$. מהי המהירות הממוצעת של האוויר בצינור?
- בתוך צינור עגול בעל קוטר פנימי $12mm$ נתון מוט מתכת עגול (לא חלול) שקוטרו $3mm$. ספיקת האוויר בצינור היא $10 [L/min]$. מהי המהירות הממוצעת של האוויר בצינור?
- מה צריך להיות גובה מנומטר ה-U המשמש למדידת הלחץ בצינור הונטורי שבניסוי? הנוזל במנומטר הוא מים וספיקת האוויר מקסימלית.
- מה צריך להיות גובה מנומטר ה-U המשמש למדידת הלחץ במדיד Orifice שבניסוי? הנוזל במנומטר הוא מים וספיקת האוויר מקסימלית.
- מה תהיה ספיקת האוויר המינימלית הניתנת למדידה בעזרת צינור הונטורי שבניסוי כאשר הנוזל במנומטר הוא כוהל ($\rho = 0.8 gr/cm^3$)? האם ערך זה יהיה גבוה יותר לו בצינור יהיו מים? הפרש הגבהים נמדד באמצעות נייר מילימטרי.
- מהי מהירות האוויר המינימלית הניתנת למדידה באמצעות מדיד פיטו כאשר הפרש הלחץ בו נמדד בעזרת מנומטר U המכיל:
 1. כספית? ($\rho = 13.6 gr/cm^3$)
 2. מים?
- קבעו את השגיאה בערך המהירות כפי שיחושב ממדידה בעזרת מדיד פיטו, כאשר הפרש הלחץ הנמדד בעזרת מנומטר U המכיל מים. הסטייה בקריאת הפרש הלחצים היא $\pm 2mmH_2O$. הזורם הוא אוויר.
- בצינור שבו הזרימה מפותחת נעשה שימוש במדיד פיטו למדידת הספיקה. בעזרת מדיד הפיטו ניתנת קריאה של המהירות במרכז הצינור (u_{max}). הראו שהמהירות הממוצעת בחתך בצינור עגול הינה חצי מהמהירות במרכז הצינור.
רמז: הניחו שהזרימה מהסוג $u(r) = Ar^2 + Br + C$, השתמשו בתנאי השפה למציאת הקבועים A, B, C, מצאו את Q בחתך ומצאו את המהירות הממוצעת בעזרת: $u_{avg} = \frac{Q}{\pi R^2}$
- קבעו את השגיאה בערך הספיקה כפי שיחושב ממדידה בעזרת צינור הונטורי שבניסוי, כאשר הזורם בצינור הונטורי הוא אוויר ובמנומטר מים. הסטייה במדידת הפרש הלחצים היא $\pm 2mmH_2O$ והסטייה במידת הקטרים של צינור הונטורי היא $\pm 0.1mm$.