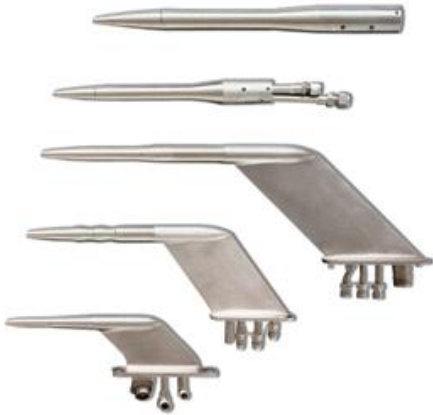


מדיד PITOT

הוראות בטיחות:

- המעבדות הן שטח תפעולי המשופע בעצמים 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 לכל דבר)
- לבעלי שיעור ארוך- חובה לאסוף את השער בכניסה לכל חדר מעבדה או ניסוי ולהכניסו מתחת לחולצה
- אין לעבוד עם שרוולים ארוכים ולא רכוסים ו/או בגדים רפויים
- סטודנט שלא יגיע עם נעליים סגורות -היינו נעלים סגורות באופן מלא גם מלפנים (אצבעות רגליים) וגם מאחור (קרסול 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

- יש לוודא עם המדריך הכנסת נתונים נכונה למערכת ההזנה של מיקום מדיד הפיטו.
- אין להישען על קונסטרוקציית האלומיניום.
- יש לוודא לפני הפעלה כי דלת מנהרת הרוח סגורה.
- הקפד על סביבת עבודה נקייה- ציוד שאינו בשימוש, החזר אותו למקומו.
- לפני פתיחת המנהרה להחלפת המדיד, חלוץ משקפיים והורד כיפה או כובע
- לאחר החלפת מדיד פיטו, יש לוודא שלא נפלו חפצים לתוך מנהרת הרוח.
- לא יודע כיצד להפעיל? קרא למדריך או טכנאי.



מטרת הניסוי

1. הכרת השימוש במדיד פיתו למדידת מהירות.
2. קבלת פרופיל מהירות בזרימת אוויר בחתך מרובע.
3. הכרת מדידים בעלי צורות ראש שונות ותכונותיהם.

רקע תיאורטי

נניח זורם בלתי דחיס המקיים את משוואת ברנולי (במונחי עומד) :

$$\frac{P_s}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} + z = const \quad 1$$

כאשר P_s לחץ סטטי, γ - משקל סגולי של הזורם (המונח לקבוע), v מהירות הזורם, z גובה הנקודה הנבדקת מרמת יחוס. במידה ונעצור בנקודה מסוימת את הזורם באמצעות מדיד, יעלה הלחץ לערך הסטגנציה P_t ונקבל:

$$P_t = P_s + \frac{\gamma v^2}{2g} \quad 2$$

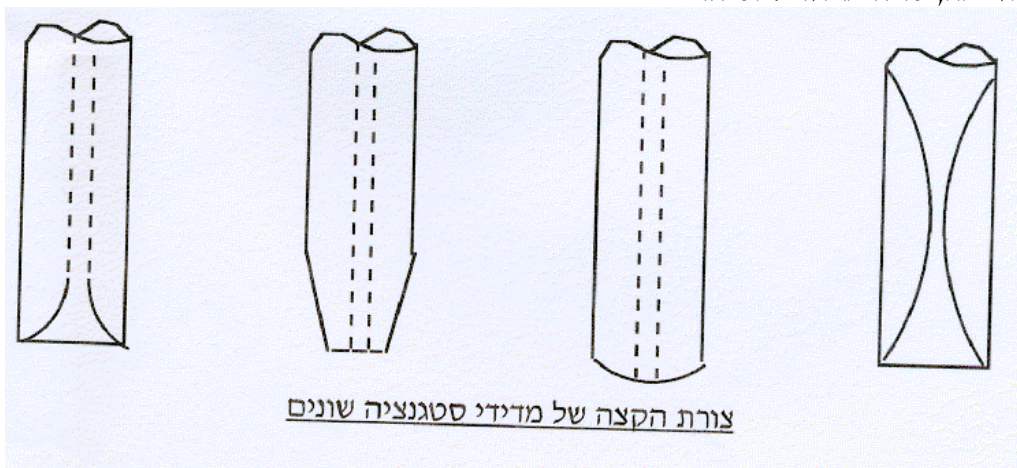
אם נמדוד בנקודה מסוימת את הלחץ הסטטי ואת לחץ הסטגנציה נוכל לקבוע לפי משוואה 2 את המהירות בנקודה זאת:

$$v = \sqrt{2g \frac{P_t - P_s}{\gamma}} \quad 3$$

הכנסת מדיד לתוך הזורם תגרום להפרעה בזרימה שתתבטא בשינויים מקומיים בלחץ הנמדד. מדיד קטן ובעל צורה המתאימה לקוי הזרם יקטין את ההפרעה אך בכל מקרה יש לתקן את משוואה 3 בצורה הבאה:

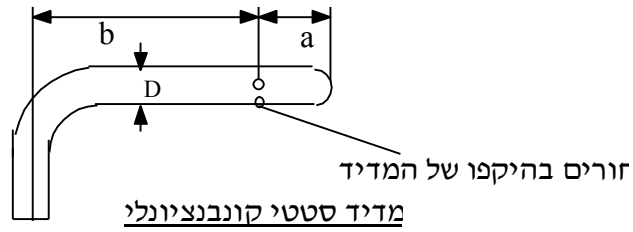
$$v = C \sqrt{2g \frac{P_t - P_s}{\gamma}} \quad 3$$

כאשר C הוא מקדם המכשיר. ניתן לקבל אותו על ידי כיול המדיד בעזרת מכשיר מדידה אחר והוא ניתן בדרך כלל על ידי יצרן המדיד. המשוואות הנייל מתאימות לזורם בלתי דחיס אך הן יתנו תוצאות טובות גם עבור זורם דחיס עבור הפרשי לחצים (לחץ סטגנציה פחות לחץ סטטי) נמוכים. מדיד טוב לכך הוא מספר המאך M של הזורם. ניתן להשתמש במשוואות הנייל כאשר $M < 0.1$. לחץ הסטגנציה עצמו אינו מושפע מהמדיד שכן ממילא זה לחץ המתקבל מעצירת הזרימה בנקודה. קיימות צורות שונות של מדידי סטגנציה (ראה איור 1). אם יכוונו בדיוק מול הזרימה, יתנו כולם אותה קריאה. אולם, הרגישות לקריאה, כאשר כיוון המדיד סוטה מכיוון הזרימה, שונה מאחד למשנהו.

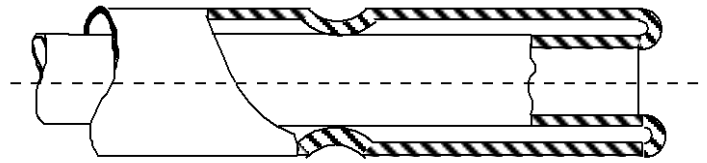


איור 1

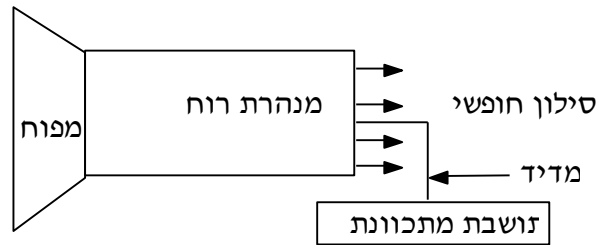
ניתן לנצל את רגישותם של המדידים לכיוון כדי לקבוע את כיוון הזרימה. ישנם מדידים מיוחדים המצטיינים ברגישות גבוהה לכיוון הזרימה שבעזרתם ניתן לקבוע בקלות את וקטור המהירות. הקושי העיקרי נעוץ במדידת הלחץ הסטטי שהוא הלחץ בזורם לפני הכנסת המדיד. הלחץ הסטטי הנמדד מושפע מצורת המדיד, ממקום חורי המדידה, ממספרם ומזווית הטיית המדיד ביחס לזרימה.



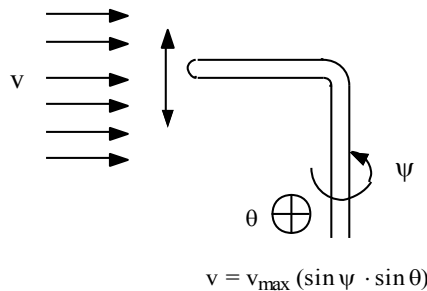
מדיד פיטו מהווה שילוב של מד סטגנציה ומדיד סטטי. הוא מורכב משני צינורות קונצנטרים כמתואר בתרשים הקודם. הצינור הפנימי פתוח בחרטומו - כך שהוא משמש כמד סטגנציה . הצינור ההיקפי סגור בחרטומו ואילו על היקפו מספר קדחים (בין 2 ל-8) והוא משמש כמדיד סטטי (בתנאי שציר המדיד מקביל לזרימה). חיבור היציאות לזרועות מנומטר מאפשר קביעת $P_t - P_s = P_d$. ומכאן חישוב המהירות בשדה הזרימה.



מדיד פיטו סטנדרטי



אוויר מוזרם ממפוח דרך מנהרת רוח בעלת חתך מרובע, לאטמוספירה כמתואר בשרטוט. בתוך הזרימה ממוקם המדיד אותו נבחן. בניסוי ישנם מספר מדידי סטגנציה הנבדלים זה מזה בצורת הקצה, ומספר מדידים סטטיים הנבדלים זה מזה במספר החורים ובמרחקם משפת ההתקפה של המדיד. כמו כן ישנם שני מדידי PITOT בעלי קטרים שונים. המדיד הנבחן יורכב על תושבת המאפשרת להזיזו במקביל, בכיוון אופקי ובכיוון אנכי וכן לשנות את זווית העלרוד (ψ PITCH) וזווית הסיבסוב (θ YAW) ביחס לצירים העוברים דרך חרטום המדיד.



כאשר: v - המהירות בנקודה
 v_{max} - המהירות המקסימלית (במרכז החתך).

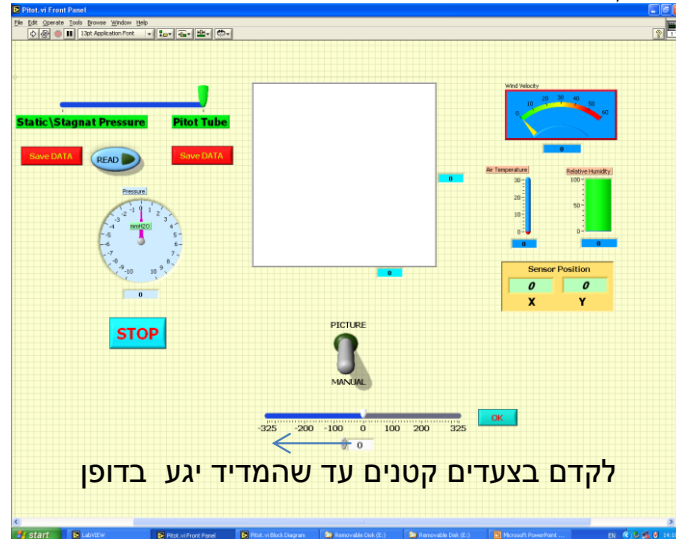
ההוראות כתובות בלשון לזכר אך הן מיועדות לשני המינימי, צמכן הסליחה.

הפעל את המפוח במהירות סיבוב שתקבע על ידי המדריך. מעתה ועד גמר הניסוי אל תשנה את מהירות המפוח ואל תפסיק פעולתו.



1. קבלת פרופיל מהירות.

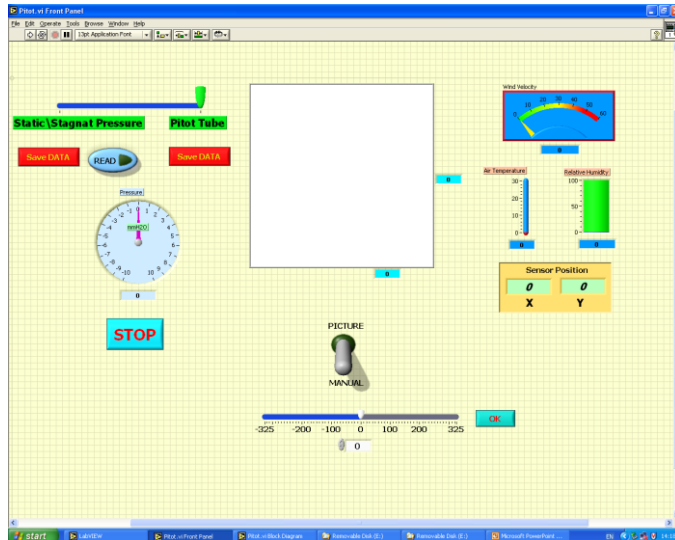
1.1. הצמד את מדיד הפיטו לדופן המנהרה על ידי הבורר ב מחשב



1.2. רשום את הלחץ הדינמי כל 3mm עד אשר הלחץ אינו משתנה עוד

2. רגישות מדידים סטטיים לסטיות מכיוון מקביל לזרימה :

2.1. העבר את מדיד הפיטו למרכז התעלה.



2.2. הרכב אחד מן המדידים הסטטיים על התושבת.



2.3. רשום הלחץ הסטטי המתקבל.

2.4. שנה את זווית הסבסוב θ בצעדים של 10° מ- 0° עד -60° . רשום הלחץ הסטטי המתקבל.

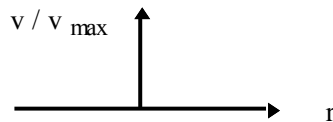
2.5. חזור על סעיפים 2.3-2.4 עבור מדיד סטטי נוסף.

3. רגישות מדידי סטגנציה לסטיות מכיוון מקביל לזרימה:

בצע סעיפים 2.3-2.5 עבור 2 מדידי סטגנציה. הפעם תרשום כמובן את הלחץ הטוטלי - Pt.

ניתוח תוצאות

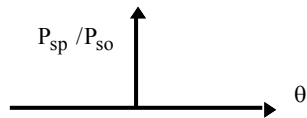
1. תאר בגרף את פרופיל המהירות בחתך.



2. חשב מתוך ידיעת פרופיל המהירות (סעיף 1) את ספיקת האוויר בתעלה ריבועית.

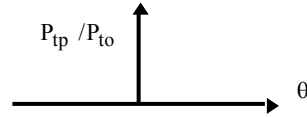
3. על סמך השוואה בין הספיקה בתעלה לבין הספיקה בכניסה לתעלה (תחת הנחה שהמהירות בכניסה לתעלה היא המהירות המציפה) מצא את C, מקדם התיקון למהירות כתוצאה מההפרעה של המדיד.

4. תאר בגרף את הלחץ הסטטי כפונקציה של הזווית, עבור כל מדיד (על אותה מערכת קואורדינטות).



כאשר: θ - זווית הסבסוב
 P_{sp} - הלחץ הסטטי המדוד
 P_{so} - הלחץ הסטטי הנמדד כאשר ציר המדיד מתלכד עם כוון הזרימה.

5. תאר בגרף את לחץ הסטגנציה כפונקציה של הזווית עבור כל מדיד.



כאשר: P_{tp} - לחץ הסטגנציה המדוד
 P_{to} - לחץ הסטגנציה כאשר $\theta = 0$
 θ - זווית הסבסוב

1. מסקנות

1. מה תוכל לומר על רגישותו של כל אחד ממדידי פיתו שבדקת ?
2. השווה פרופיל המהירות שקבלת לפרופיל התיאורטי.
3. כיצד תדרג רגישותם של כל אחד ממדידי הסטגנציה והמדידים הסטטיים לסטיות מכיוון מקביל לזרימה.
4. הסבר למה לדעתך יש שינויים ברגישות למיקום החורים במדידת לחצים סטטיים ?

1. רשום את משוואת ברנולי. מהן ההנחות הפיזיקליות עליהן מתבססת המשוואה ? מה משמעותם הפיזיקלית של האברים השונים במשוואה ?
2. מהי נקודת סטגנציה ?
3. האם נכון לומר כי הלחץ בנקודת הסטגנציה הוא תמיד הגבוה ביותר בשדה הזרימה ? הסבר!
4. הסבר את עקרון הפעולה של מדיד פיטו.
5. האם ניתן למדוד באמצעות מדיד פיטו את המהירות בצמוד לדפנות הצינור ?
6. הראה איכותית כיצד נראה פרופיל המהירות עבור זרימה בצינור בעל חתך עגול- עבור זרימה מפותחת וזרימה מתפתחת.
7. כיצד תחשב את ספיקת האוויר בצינור במידה וידוע לך פרופיל המהירות $v = f(r)$
8. מהי השגיאה הכרוכה במידת המהירות בניסוי זה.
9. כיצד תחשב את ספיקת האוויר בתעלה ריבועית במידה וידוע לך פרופיל המהירות $v = f(x)$ כאשר x הוא המרחק מהדופן.

מקורות

RL.Daugherty and J.B. Franzini , Fluid Mechanics with Engineering Applications
Mc - Graw Hill , Kogakusha Ltd 1977, Chap, 12