

## מדידת מהירות זרימה של אוויר

lab5  
22/02/00

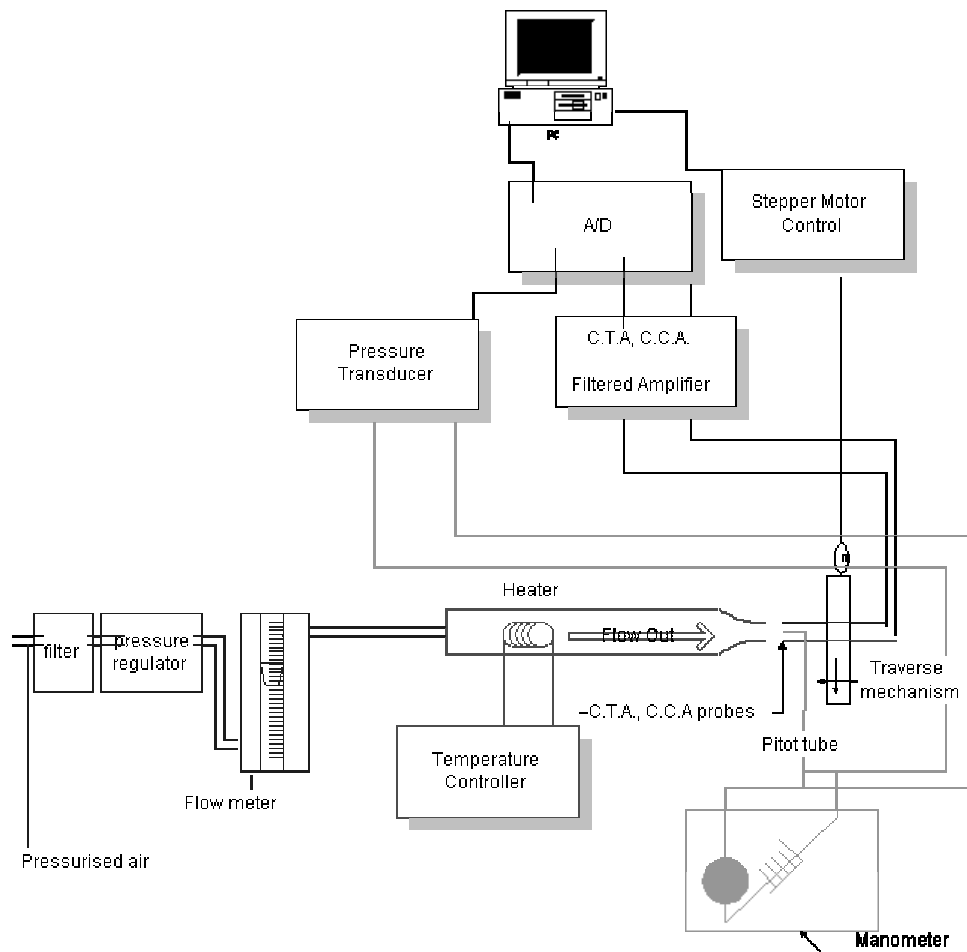
### מטרת הנסוי

הכרת כלי מדידה המשמשים למדידת מהירות זרימה של אוויר ובדיקת רגישותם לפרמטרים שונים ("גדלים משפיעים").

1. פרוט מכשור הניסוי:
  - א. אנמומטר בעל שני ערוצים. ערוץ אחד עובד במצב CONSTANT TEMPERATURE ANEMOMETER וערוץ שני עובד במצב CONSTANT CURRENT ANEMOMETER
  - ב. מחשב אישי תואם IBM PC
  - ג. אוסצילוסקופ דיגיטלי OSCILLOSCOPE
  - ד. רב מודד דיגיטלי.
  - ה. מדיד חוט להט HOT WIRE PROBE
  - ו. מדיד פיטו-פרנדטל.
  - ז. מנומטר אלכהול משופע מתוצרת MERIAM - בתחום מדידה 0-4" מים.
  - ח. מתמר לחץ מתוצרת VALIDYNE תחום קריאה ???, מתח מוצא? דיוק???
  - ט. נחיר ליצירת סילון עגול.
  - י. נחיר ליצירת סילון מחומם.
  - יא. מד טמפרטורה (צמד חומני מסוג T).
  - יב. מערכת שינוע למדיד (ארבעה צירים, האנכי מבוקר מחשב).
  - יג. מד-ספיקה רוטמטר. תחום מדידה 0-32.4 CFM בדיוק של  $\pm 2\%$ .
  - יד. מערכת אספקת אוויר דחוס.

### 2. תאור מערכת הניסוי (איור 1):

המדידות נעשות בשדה זרימה של סילון טורבולנטי הנפלט מנחיר בקוטר של 25 מ"מ. האוויר לנחיר מסופק ע"י מערכת אוויר דחוס. הכניסה למערכת הסילון נעשית דרך מסנן המונע מחלקיקים הנמצאים במערכת האוויר הדחוס לפגוע בחוטי הלהט. ספיקת האוויר נשלטת ע"י וסת לחץ מסוג דיאפרגמה המאפשר שמירה על לחץ קבוע בכניסה למד ספיקה. ברז ויסות הנמצא על קו אספקת האוויר שולט על הספיקה (הנמדדת ע"י רוטמטר). בנחיר הותקנה מערכת סלילי חימום, הניתנים לחימום מבוקר, המאפשר להעלות את טמפרטורת האוויר ביציאה מהנחיר מעל לטמפרטורת הסביבה ולשמור אותה יציבה ( $\pm 1$  מעלות C). הנחיר ומערכת יצירת הסילון קבועים במקומם (למעט הזזה בכיוון הזרימה, רק ע"י המדריך). מערכת השינוע מאפשרת הזזת המדדים השונים בשלושה צירים יחסית ל"מקור" הסילון. הציר האנכי ממונע ומבוקר מחשב.



איור מס' 1 – מערכת הנסוי

3. תיאור מכשור המדידה:

#### המחשב

המחשב המנהל את הניסוי הינו מחשב אישי תואם IBM PC המופעל בעזרת מערכת הפעלה WINDOWS NT כרטיס ממיר A/D בעל 16 כניסות אנלוגיות ברזולוציה של 12 ביט ותחום כניסת מתחים  $\pm 10V$  המשמש לדגימה ובקרת הניסוי. קצב הדגימה המרבי הנו 1.25 MHz לערוץ בודד, כרטיס נוסף משמש לבקרת מנוע הצעד.

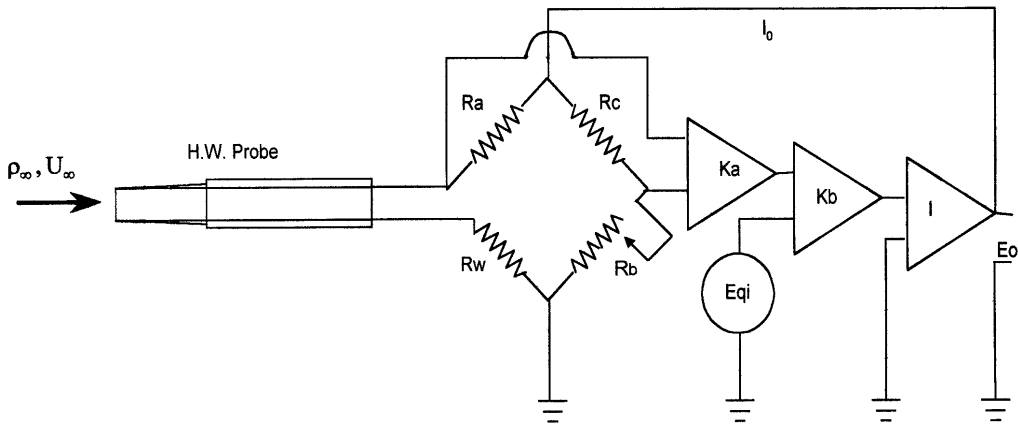
#### מערכת שינוע אנכית

על המסוע האנכי (מתוצרת UNISLIDE ארה"ב), הותקן מנוע צעד (מתוצרת SLO-SYN ארה"ב). בעזרת מערכת דחיפה חשמלית מתאימה, ניתן להניע את ציר המנוע בצעדים בני  $1/200$  סיבוב (צעד  $1 = 0.8$  מעלה) בשני הכיוונים. מערכת הדחיפה מאפשרת, בעזרת תוכנה מתאימה, לנוע כל מספר רצוי של צעדים לשני הכיוונים.

#### אנמומטר תוצרת A.A.LAB SYSTEMS, ישראל

#### מתמר חוט להט מסוג C.T.A

אחד ממתמרי חוט הלהט שבמעבדה הינו מטיפוס C.T.A (Constant Temperature Anemometer) דיאגרמת בלוקים של מערכת זו מתוארת באיור מס' 2.



איור מספר 2: דיאגרמת בלוקים של מערכת CTA.

המערכת כוללת גשר נגדים ומגבר פעיל. הזרוע הפעילה של הגשר מורכבת מהמדיד והנגד  $R_c$  ונגד מקוז  $R_b$ , כאשר הגשר מאוזן, השגיאה במתח בין שתי הכניסות מתאפס. כל שינוי במהירות או בטמפרטורת הזרימה משנה את קצב מעבר החום מהמדיד, את טמפרטורה של המדיד, וכתוצאה מכך את ההתנגדות שלו. השינוי בהתנגדות יוצר הפרש מתח בכניסה למגבר. היציאה של המגבר מסופקת לאלכסון הניצב של הגשר, במידה המספיקה לאזן אותו; על כן הטמפרטורה הבסיסית נשמרת. המגבר חייב לעבוד במשוב בעל הגבר גבוה, בתדירות גבוהה וביציבות מרבית, וזאת כדי להקטין את מתח השגיאה באלכסון האופקי של הגשר. דהיינו, לאזן במהירות את השינוי שחל בטמפרטורת המדיד. המתח הרגעי הדרוש לאיזון הגשר, (מתח הגשר), הינו מדד למידת איבוד החום של המדיד, ובהנחה שאר המשתנים קבועים, מדד למהירות הזרימה. התנגדות חוט הלהט ושינוי הזרם דרכו ביחס לשינוי המהירות אינם לינאריים. לפי חוק קינג (ראה ספרות), ניתן לרשום את הקשר בין מתח היציאה מהמתמר  $E$  לבין המהירות המזודה  $U$  בקרוב טוב בצורה:

$$E^2 = A + B * \sqrt{U} \quad (1)$$

כאשר  $A$  ו- $B$  הנם קבועים אמפיריים. משוואה (1) מייצגת את היחס בין האנרגיה הנוצרת בחוט הלהט לאנרגיה הנפלטת ע"י חוט הלהט לזרימה (בהסעה מאולצת וחופשית).

#### מתמר חוט "קר" (C.C.A)

עקרון העבודה של מתמר חוט "קר" (C.C.A (Constant Current Anemometer) דומה לחוט הלהט אך בניגוד למעגל חוט הלהט אין משוב לגשר מהמגבר ולכן הזרם בגשר הינו קבוע, כאשר השאיפה שבחוט "הקר" לא יזרום כלל זרם וכך שינוי ההתנגדות ינבע אך ורק משינוי טמפרטורה. בפועל זורם זרם קטן בחוט "הקר" ולכן שינוי ההתנגדות בחוט הקר נובע משינוי הטמפרטורה של החוט עצמו עקב שינוי באיבוד החום כתוצאה משינוי בטמפרטורת הזרם.

#### מדיד פיטו-פרנדטל

מכשיר הייחוס למדידת מהירות האויר הינו מטיפוס פיטו-פרנדטל. למדיד שתי יציאות. האחת מסומנת ב- (+) והנה יציאת לחץ טוטאלי, והשניה ב- (-), והנה יציאת לחץ סטטי.

ניתן גם להשתמש בקוד הצבעים של המכשיר: ה- (+) הינו אדום, בעוד שה- (-) הינו כחול.

המכשיר עמיד עד טמפרטורה של 200 מעלות צלסיוס.

ממדי המדיד: קוטר חריר לחץ טוטלי: 1 מ"מ.

קוטר ראש המדיד: 3 מ"מ.

אורך "אף" המדיד: 28 מ"מ.

אורך הזרוע: 250 מ"מ.

זהו מד לחץ שנועד למדידת הפרשי לחצים העובד על עיקרון שפופרת U. הפרש הלחצים בין שתי הזרועות מתבטא בגובה עמוד נוזל אשר מבטא את הפרש העומד על המכשיר ונמדד ב- אינצ'ים מים. הטיית המנומטר מגדילה את רגישות המכשיר. המכשיר ניתן לפילוס בעזרת פלס בועתי וברגי כינון בתחתיתו. שים לב שקריאת שמנומטר לוקחת בחשבון את זווית ההטייה וצפיפות הנהל וניתנת באינצ'ים מים.

#### מתמר לחץ אלקטרוני – תוצרת VALIDYNE

מתמר הלחץ (המחובר במקביל ליציאות הלחץ ממדיד הפיטו והמנומטר) מורכב ממברנה ו- STRAIN GAGE למדידת עיבור המברנה.

הפרש הלחץ על הדיאפרגמה מתורגם באופן לינארי (עיבור לינארי עם לחץ בתחום האלסטי) למתח לפי  $\Delta P = A + B * V$  ניתן לאפס את המכשיר ולבטל בכך את הקבוע - A ולקבל את הקשר:  $\Delta P = B * V$  תצוגת המכשיר בס"מ מים.

#### 4. הכנה לניסוי

א. בתחילת החוברת הניסויים מצוינים מקורות המתאימים לעיון לפני ואחרי הניסוי, קרא בעיון את החומר המומלץ וקבל תמונה ברורה על עקרון הפעולה של מכשירי המדידה הבאים:

- אנמומטר חוטי-להט מסוג C.T.A, ו- C.C.A
- מדיד פיטו-פרנדטל
- מנומטר
- מתמר לחץ

ב. במהלך הניסוי תמדוד מהירות זרימה של אויר היוצא מנחיר ויוצר סילון טורבולנטי בעל ליבה פוטנציאלית. יש לעיין בחומר רקע על נושא זה.

#### 5. הוראות כלליות בטרם נגשים לבצוע הניסוי

הנך עומד להשתמש בציוד עדין ויקר ביותר, אל תבצע פעולה כלשהי מבלי שתבין משמעותה ותהיה בטוח בתוצאת הפעולה.

#### 6. בצוע הניסוי

- 6.1 פלס את מנומטר הנהל - באם אינו מפולס.
- 6.2 הפעל את הסילון במהירות המרבית (ספיקה של 90% - ברוטמטר). הצב את מדיד פיטו - פרנדטל בקרבת האזור המכונה "האזור הפוטנציאלי" ( $R=0, X/D=1$ )
- 6.3 רשום את קריאת המנומטר וקריאת מתמר הלחץ ותרגם את הקריאות למהירות. מצא את רוחבו של האזור "פוטנציאלי" על-ידי שינוע מדיד הפיטו בעזרת מערכת השינוע הרוחבית. חבר חוט להט וחוט "קר" למחזיקי המדידים (PROBE HOLDER) הצב את מדידים במרכז האזור הפוטנציאלי.
- 6.4 חבר חוט להט ובצע איזון סטאטי של הגשר ובדיקת תגובת תדר בנוכחות המדריך לפני תחילת הכיול!
- 6.5 בדיקת רגישות לשינוי מהירות (כיול חוט הלהט למהירות)
  - 6.5.1 דגום את קריאת המדידים בספיקות הולכות וקטנות (עד 10% שבע קריאות), רשום את הספיקות בהם בצעת את המדידות
  - 6.5.2 סגור את ספיקת האויר לחלוטין ורשום את קריאת המדידים.
  - 6.5.3 חזור והצב שלוש ספיקות ביניים השונות מהספיקות שבהן כיילת את חוט-הלהט (מדידות אלו ישמשו לבדיקת דיוק הכיול).
  - 6.5.4 הצב ספיקה של 50% ודגום את האותות.
  - 6.5.5 הרחק את המדידים בכיוון X עד לקבלת אות בעל משרעת תנודה גדולה מחוט הלהט (אוסילוסקופ).
  - 6.5.6 רשום את המיקום יחסית לנחיר ודגום את האותות.

- 6.6 בדיקת רגישות לשינוי זווית
- 6.6.1 הצב את המדידים חזרה במרכז הליבה הפוטנציאלית ( $R=0, X/D=1$ )
- 6.6.2 סובב את הנחיר סביב צירו בזוויות של: 0, 10, 20, 30, 40 מעלות (בין ציר ה-X לציר אורך המדיד) ודא שהמדיד תמיד במרכז האזור הפוטנציאלי (ללא פגיעה במדיד), ודגום את קריאת המכשירים.

- 6.7 בדיקת רגישות לשינוי טמפרטורה
- 6.7.1 הצב את המדידים במרכז הליבה של הסילון המחומם והצב ספיקה של 50%
- 6.7.2 דגום את קריאות המדידים
- 6.7.3 הפעל את גוף החימום, הצב טמפ' של 25 מעלות C וחכה להתיצבות הטמפרטורה. דגום את קריאת המדידים
- 6.7.4 חזור על סעיף 6.7.3 עשר פעמים כאשר כל פעם הנך מעלה את הטמפ' ב- 5 מעלות C
- 6.7.5 הצב את המדידים בנקודות שמצאת בסעיפים 6.5.4 ו- 6.5.6 הצב טמפ' של 50 מעלות C ודגום את האותות

## 7. עיבוד נתונים:

- 7.1 תאר בקצרה את מהלך הנסוי מזווית ראייתך (בעיות, תקלות, תוצאות משונות וכו')
- 7.2 צייר את המתח כנגד המהירות (המחושבת מצינור הפיטו) של שלושת מכשירי המדידה איזה מדיד רגיש יותר? אם הרגישות זהה בכל תחומי המהירות?
- 7.3 בעזרת TRENDLINE ב- EXCEL – קבל קבועי פולינום מדרגה 1, 2, 3 ו- 4 (עבור נקודות הכיול ללא מהירות 0) עבור חוט הלהט בלבד
- 7.4 מצא את קבועי חוק KING מתוך הגרף:  $U^{0.5}$  כנגד  $E^2$
- 7.5 צייר גרף מהירות - U כנגד המתח - E נקודות הכיול ונקודת ה- 0, חוק KING וארבעת הפולינומים השונים (על אותו גרף) בתחום המהירות שבו כיילת. צייר גרף נוסף בו תחשב את ערך הפולינומים במתחים של עד 20% מחוץ לתחום מתחי הכיול.
- 7.6 איזה עקומה נותנת את הדיוק הטוב ביותר? האם הדיוק זהה בכל האזורים? מה קורה לשגיאות מחוץ לתחום הכיול?
- 7.7 מצא את סטית התקן של כל אחד מהעקומות ביחס לנקודות הכיול. מצא את שגיאת הכיול לכל דרגת פולינום עבור 3 נק' בדיקת הכיול (שבהן לא השתמשת לכיול!)
- 7.8 האם נתן למדוד מהירות 0 בעזרת חוט להט?
- 7.9 האם נתן למדוד את כיוון המהירות בעזרת חוט להט?
- 7.10 תרגם את האותות מסעיפים 6.5.3 ו- 6.5.4 למהירות בעזרת האופיין המדויק ביותר שמצאת בסעיף 7.6
- 7.11 צייר את אותות המהירות כנגד הזמן.
- 7.12 האם יש הבדל בין אותות המהירות ב"ליבה הפוטנציאלית" ומחוצה לה? מדוע?
- 7.13 חשב את ממוצע אותות המהירות וה- RMS של הנ"ל, האם יש הבדל? מדוע?
- 7.14 תרגם את המתחים שדגמת בסעיף 6.6 למהירות בעזרת האפיין המדויק ביותר שמצאת בסעיף 7.6
- 7.15 צייר את המהירות כנגד הזווית של שלושת מכשירי המדידה, איזה מדיד רגיש יותר? האם הרגישות זהה בכל תחום הזווית?
- 7.16 צייר את המתח כנגד הטמפרטורה של שלושת מכשירי המדידה, איזה מדיד יותר רגיש לטמפ'? האם הרגישות זהה בכל תחומי המהירות? איזה פולינום מתאר את שינוי המתח כתלות בטמפרטורה? עבור כל מדיד. הסבר מדוע יש שינוי.
- 7.17 צייר את אותות שדגמת בסעיף 6.5.7 (מתח כנגד הזמן).
- 7.18 ממה נובעים השינויים במתח בכל אות? האם ניתן למדוד מהירות באמצעות הכיול מסעיף 7.6 בנקודה זו?
- 7.19 מהן מסקנותיך מהנסוי? (מתי מומלץ לשמש בחוט להט? מתי ב"חוט קר" ומתי במדיד פיטו?).