

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 לכול דבר)
- לבעלי שיער 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 נעליים 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

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • הקפד על סביבת עבודה נקייה- ציוד שאינו בשימוש, החזר אותו למקומו. • בעת החלפת ראש סילון, וודא כי הראש מוברג היטב וההתקן נסגר הרמטית. • לא יודע כיצד להפעיל? קרא למדריך או טכנאי. |
|--|

תקיפת סילון

מטרת הניסוי

1. מדידת הכוחות הפועלים על משטחים בעלי גיאומטריות שונות כתוצאה מפגיעת סילון מים.
2. השוואה בין התוצאות הניסיוניות לתוצאות התיאורטיות.

רקע תיאורי

משוואת שימור התנע הקווי עבור נפח בקרה דרכו עובר נוזל:

$$\iint_S T d\bar{A} + \iiint_V \bar{B} \rho dV = \iint_S \bar{v}(\rho \bar{v} \cdot d\bar{A}) + \frac{\partial}{\partial t} \iiint_V \bar{v}(\rho dV) \quad (1)$$

כאשר

T - כוחות שטח

B - כוחות גוף

A - שטח

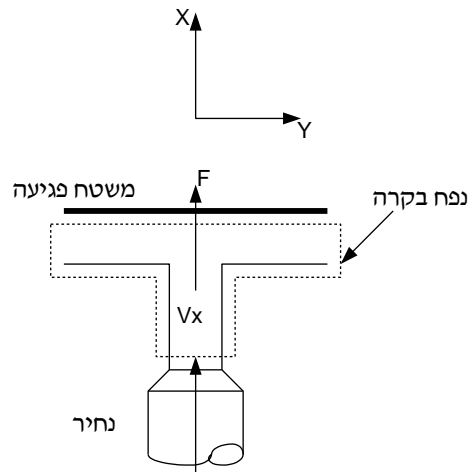
V - נפח

ρ - צפיפות הנוזל

V - וקטור מהירות הנוזל

בעזרת משוואה זו ניתן לחשב את הכוח שמפעיל סילון נוזל על משטח בו הוא פוגע.

נחשב בעזרת משוואת שימור התנע את הכוח שמפעיל סילון מים הפוגע במשטח המוצב במאונך לו.



תרשים 1 – חישוב הכוח הפועל על משטח כתוצאה מפגיעת סילון נוזל

בניח:

א. זרימה עמידה $\left(\frac{\partial}{\partial t} = 0\right)$

ב. הזורם בלתי צמיג ובלתי דחיס.

ג. הזנחת כוחות גוף (במידה ולא נזניח את כוח הגרביטציה נידרש לחשב את נפח הנוזל בנפח הבקרה, דבר שאינו ניתן לחישוב מדויק. ככל שהפיה קרובה יותר למשטח ההנחה של הזנחת כוחות הגרביטציה טובה יותר) על ידי שימוש בהנחות הנ"ל תקבל משוואה (1) את הצורה הבאה:

$$\iint_S T d\bar{A} = \rho \iint_S \bar{v} (\bar{v} \cdot d\bar{A}) \quad (2)$$

אגף שמאל במשוואה (2) מבטא את הכוחות החיצוניים הפועלים על נפח הבקרה. ניתן לכתוב כוחות אלה בתורה הבאה:

$$\iint_S T d\bar{A} = \bar{F} - \iint_S P d\bar{A} \quad (3)$$

כאשר

P – לחץ

F – הכוח שמפעיל משטח הפגיעה על נפח הבקרה. מכיוון שסילון הנוזל הוא סילון חפשי נקבל:

$$\iint_S T d\bar{A} = \bar{F} \quad (4)$$

משוואות שימור התנע הן משוואות וקטוריות. נפתור אותן בכיוון X ובכיוון Y , מטעמי סימטרייה ו/או מתוך ההנחה שהנוזל בלתי צמיג הכוח בכיוון Y שווה ל-0. עבור כיוון X נציב את משוואה (4) במשוואה (2) ונקבל:

$$F_x = \rho \iint_S v_x (\bar{v} \cdot d\bar{A}) = -\rho v_x^2 A \quad (5)$$

כאשר a הוא שטח החתך של סילון המים בכניסה לנפח הבקרה והוא שווה לשטח הנחיר. במידה ונמדוד את שטח הנחיר ואת הספיקה ניתן לחשב את V_x .

$$v_x = \frac{Q}{a} \quad (6)$$

הכוח שמפעיל סילון הנוזל על המשטח יהיה שווה בגודל והפוך בכיוון לכוח שקיבלנו.

$$F = \rho a v_x^2 = \frac{\rho}{a} Q^2 \quad (7)$$

בצורה דומה ניתן לחשב את הכוחות הפועלים על משטח הנמצא בזווית כלשהי לסילון ועל משטח כדורי (יש לבצע זאת כהכנה למעבדה).

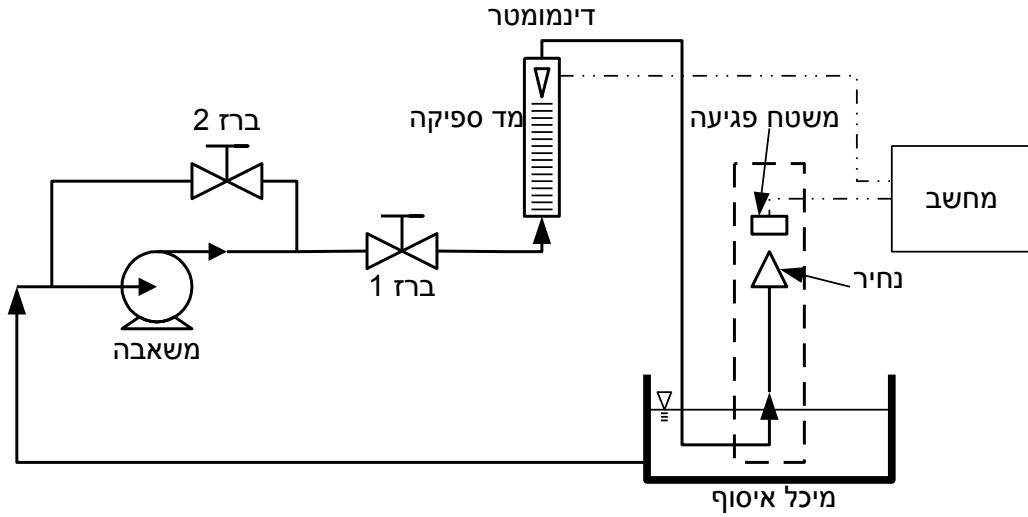
ניתן לכתוב בצורה כללית את היחס בין מהירות הנוזל לכוח הפועל על המשטח בצורה הבאה:

$$F = k v^n \quad (8)$$

כאשר k ו- n הם קבועים התלויים בגיאומטריה:

לדוגמא: עבור השטח הישר נקבל מתוך הפיתוח התיאורטי:

$$k = \rho a ; n = 2 \quad (9)$$

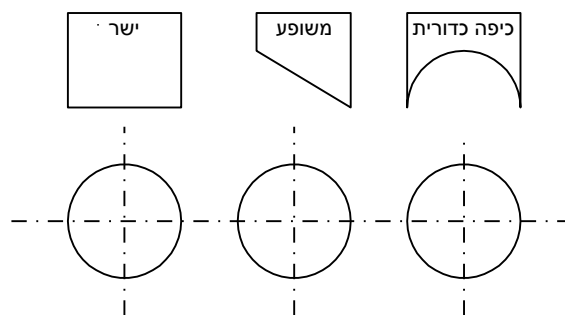


תרשים 2 – מערכת הניסוי

תיאור המערכת:

מים נשאבים ממיכל האיסוף בעזרת משאבה צנטריפוגלית כמתואר בתרשים 2. המים זורמים דרך ברז מס' 1 ודרך מד ספיקה אל הנחיר. מהנחיר יוצאים המים כסילון חפשי ופוגעים במשטח. הכוח הפועל על המשטח נמדד בעזרת דינמומטר המחובר למשטח. באמצעות מעקף (by pass), ברז מס' 2 וברז מס' 1 אפשר לכוון את הספיקה הרצויה. מדידת התוצאות נעשית בעזרת מדדים מכניים (במערכת אחת) ומדדים חשמליים במערכת השנייה אשר מאפשרים הזנת נתונים למחשב PC.

בניסויים ישנם שלושה סוגי משטחים כמתואר בתרשים 3:



תרשים 3 – משטחי פגיעה: חתך והיטל על

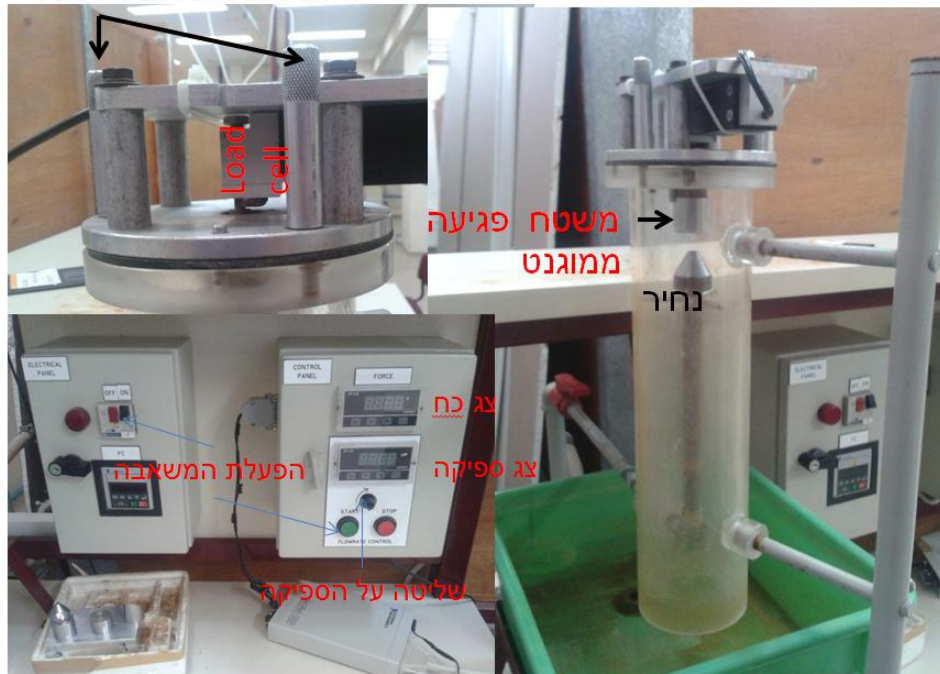
עבור כל משטח יבוצע הניסוי עבור שני נחירים בעלי קטרים: 8 מ"מ, 5 מ"מ.

מהלך הניסוי במערכת בעלת המדידים המכניים

ההוראות כתובות בלשון זכר אך הן מיועדות לשני המינים, עמכן הסליחה.

1. הרכב למערכת הניסוי את הנזיר בעל קוטר 8 או 5 מ"מ.
2. הרכב את משטח הפגיעה הנורמלי (ישר - מס' 1).
3. הפעל את המשאבה.
4. פתח בהדרגה את ברוז מס' 1 עד שמד הספיקה יראה את מקסימום הספיקה הניתנת לקריאה.
5. חזור על מדידה זו שמונה פעמים בתחום הספיקות שבין מקסימום הספיקה הניתנת לקריאה לבין 25% מסקלת מד הספיקה וקריאת הדינומטר.
6. חבר את משטח מס' 2 וחזור על סעיפים 2 עד 5.
7. חבר את משטח מס' 3 וחזור על סעיפים 2 עד 5.

3 ברגים לפתיחה ידנית



ניתוח התוצאות

1. הסבר כיצד היו משתנות התוצאות אילו הייתה משתמש בנחיר השני.
2. שרטט גרף של F_x כפונקציה של v_x (גרף אחד 6 עקומות + קווי מגמה) עבור החישוב התיאורטי ועבור תוצאות הניסוי, הצג את הגרף על סקאלה לוגריתמית.
3. ציין על גרף נפרד את גודל השיאה.
4. חשב את הערכים התיאורטיים של K ו- n לכל מקרה והשווה לערכים שהתקבלו מתוצאות הניסוי.

מסקנות

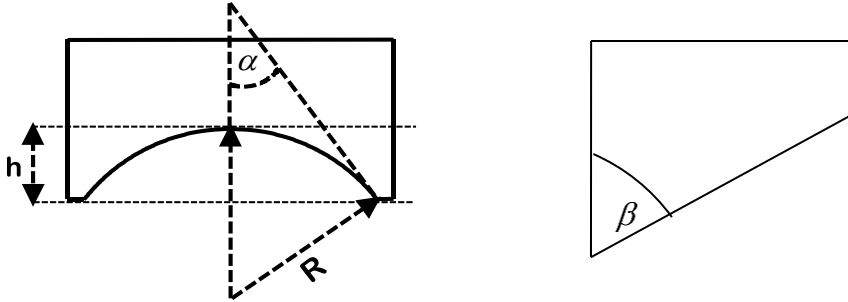
1. הסבר את ההבדלים בין תוצאות הניסוי לתוצאות התיאורטיות (במידה וישנם כאלה).
2. חווה דעתך של דיוק תוצאות המדידה וחישוב השגיאה.

ספרות

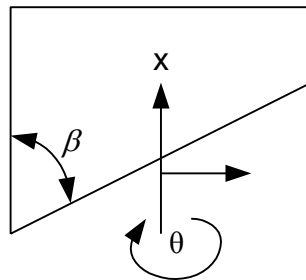
1. Streeter, V, L. and Wylie, E, B., "Fluid Mechanics", Chap. 3, McGraw Hill. 1979.
2. Shames, I, H., "Mechanics of Fluids", Chap. 5, Exam 1: Pelton Water Wheel, McGraw Hill 1962.

שאלות הכנה לניסוי

1. פתח את הביטוי המתאים לחישוב הכוח על משטח כדורי כשהזורם יוצא ממנו בזווית α כפונקציה של מהירות הזורם.
2. פתח את הביטוי המתאים לחישוב הכוחות בכיוון X ו-Y הפועלים על משטח משופע בעל זווית β כפונקציה של מהירות הזורם.



3. על איזה מבין שלושת הדגמים הנבדקים בניסוי פועלת התקיפה הגדולה ביותר? ועל איזה הקטנה ביותר? הסבר.
4. כיצד ניתן לתאר את $F = F(V)$ כקו ישר?
5. כיצד תקבע את הקבועים k ו-n עבור התוצאות הניסוייות במשוואת הכוח כפונקציה של מהירות ($F = kv^n$)?
6. הסבר כיצד מודד מד הכוח במערכת הניסויית את הכוח הפועל על המשטח (ראה שרטוט המערכת בניסויית בפרק המתאים למעבדה זו).
7. אלו גורמים מוזנחים בניתוח התיאורטי? האם ניתן להימנע מהזנחות אלו או מחלקן? כיצד תשפיע הימנעות מהזנחות על הכוח המחושב?
8. האם יש חשיבות לזווית θ בה תציב את המשטח האלכסוני במערכת הניסוי על הכוח הנמדד? הסבר!



9. כיצד תקבע את הכוח הפועל על המשטח המשופע בכיוון Y (ראה שרטוט לשאלה 2)?
10. כיצד תחשב את הזווית α במשטח הכיפתי במידה ידוע לך קוטר המשטח $D = 33mm$ ועומק הכיפה $h = 8.8mm$? (ראה שרטוט לשאלה 1).