



מנועי בית שמש בע"מ - אגף הפיתוח



# קורלציה להערכת גודל הטיפות בריסוס של מזרק דלק סובב (סלינגר)

יום עיון ה-16 במנועי סילון וטורבינות גז - הטכניון

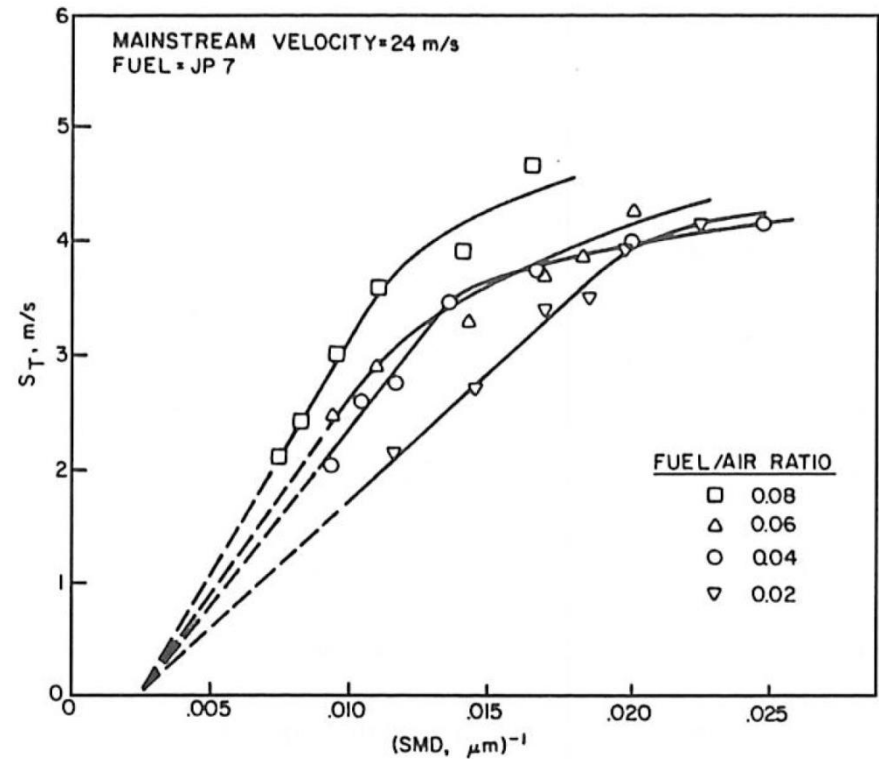
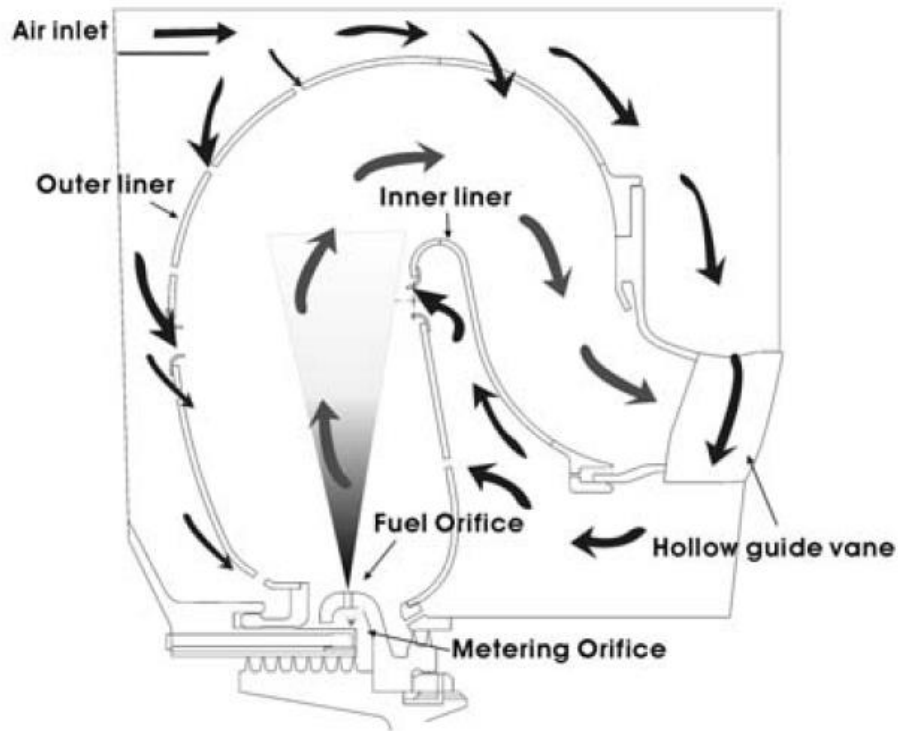
נובמבר 2017

אריאל כהן



# תא שריפה סלינגר

2



Sources: Choi, S., Lee, D. and Park, K., "Ignition and Combustion Characteristics of the Gas Turbine Slinger Combustor," *Journal of Mechanical Science and Technology*, 2008.

Lefebvre, A. H., "Gas Turbine Combustion - Second Edition," Taylor & Francis, 1999.

מסמך זה מכיל מידע השייך למב"ש. העתקה או הפצה של המידע מותרת רק באישור בכתב של גורם מוסמך במב"ש.



## מוטיבציה

3

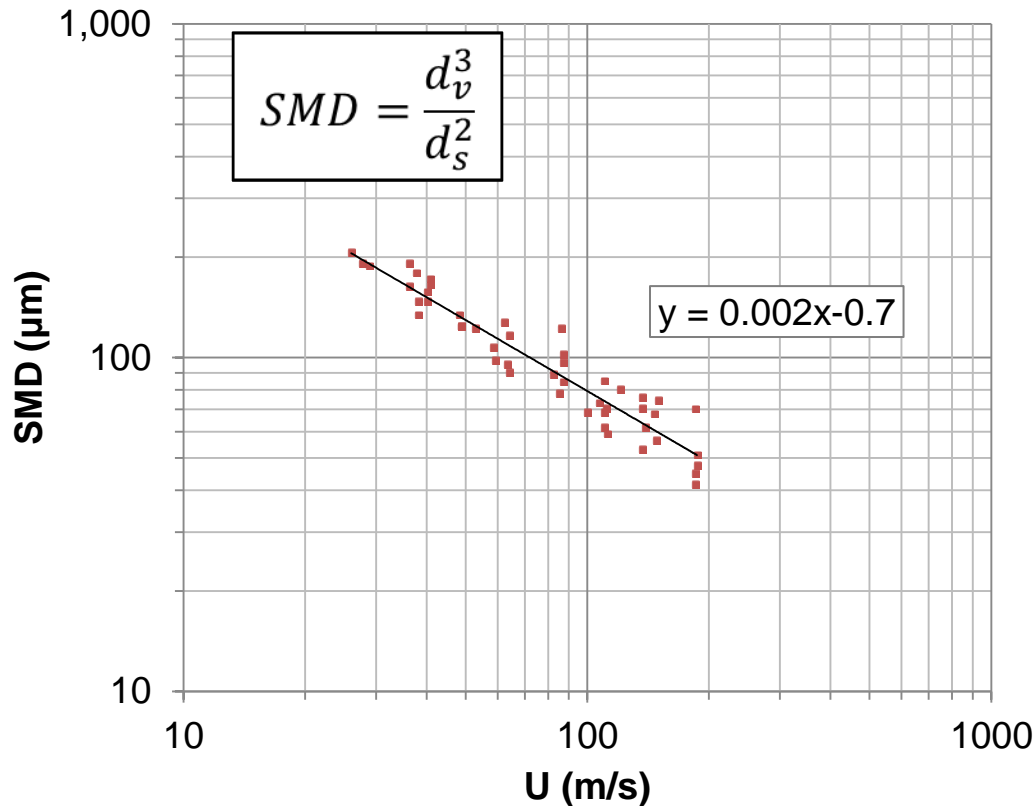
- בסימולציות CFD עבור תאי שריפה מסוג סלינגר יש שתי דרכים ליישם את תנאי השפה עבור מזרק הדלק:
  1. הנחת הזרקת דלק בפאזה גזית
  2. הנחת דלק נוזלי ומידול תהליכי פירוק הטיפות ואיוד הדלק
- בניסיון שלנו השיטה הראשונה אינה מסוגלת לדמות את תהליכי הבעירה ואת יחסי דלק-אוייר באזורים השונים וכתוצאה מכך מיקום מוקד הבעירה המחושב אינו מדויק
- בכדי לבצע סימולציות בשיטה השנייה, יש צורך בהערכות לגודל הטיפות עבור גל סלינגר עם גיאומטריה ומהירות סיבוב נתונים
- יש בספרות מספר תוצאות אקספרימנטליות, ותוצג כאן קורלציה המבוססת עליהן



# Morishita - סקר ספרות

4

- בתחילת שנות ה-80 בוצעו מספר ניסויים ע"י Morishita כשגודל הטיפות נמדד ע"י מדידת טיפות על פלטה זכוכית ממוקמת 100mm מנקודת ההזרקה



- במדידות במרחקים שונים - בין 40 ל-120mm, נמצא שגודל הטיפות אינו מושפע משמעותית מהמרחק
- Morishita מצא שניתן לאפיין את גודל הטיפות (SMD) באמצעות המהירות הקווית בנקודת ההזרקה

Source: Morishita, M., "A Development of the Fuel Atomizing Device Utilizing High Rotational Speed," Proceedings of the ASME, 1981.

מסמך זה מכיל מידע השייך למב"ש. העתקה או הפצה של המידע מותרת רק באישור בכתב של גורם מוסמך במב"ש.

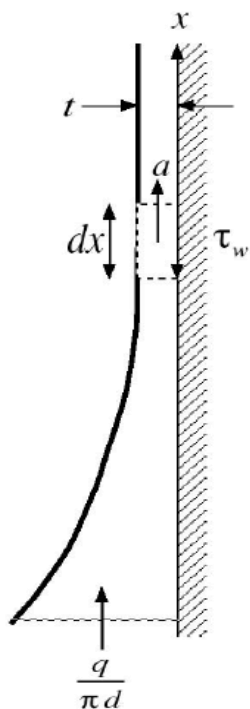


# סקר ספרות - Morishita - המשך

5

• רוב הניסויים בספרות, כולל אלא שהוצגו בשקף הקודם, בוצעו עם מים ולא דלק

• ע"י הוספת ethyl-alcohol למים בכדי לקבל תכונות דומות לדלק, Morishita בדק את השפעת תכונות הנוזל, והגיע למסקנה שה-SMD פרופורציונלי למקדם M:



$$M = \left( \frac{\sigma}{\rho t} \right)^{0.5}$$

כאשר  $\sigma$  הוא מתח הפנים של הנוזל,  $\rho$  הוא צפיפות הנוזל ו  $t$  הוא עובי שכבת הדלק בתוך חור ההזרקה:

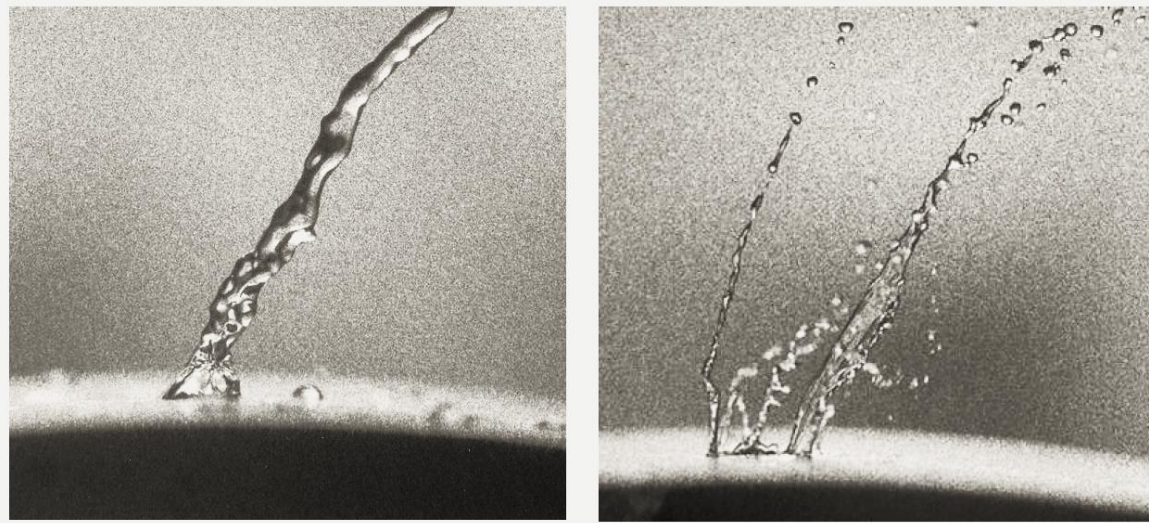
$$t = \left( \frac{6\mu Q}{\rho \pi d^2 \omega^2} \right)^{1/3}$$



# סקר ספרות - Dahm et al.

6

- בתחילת שנות ה-2000 Dahm et al. ביצעו סדרת ניסויים שבהם הוא צילם את הריסוס, אבל לא מדדו את גודל הטיפות
- הם מחלקים בין שני תחומים של ריסוס - תת-קריטי ועל-קריטי:



Sources: Dahm, W. J. A., Patel, P. R. and Lerg, B. H., "Visualization and Fundamental Analysis of Liquid Atomization by Fuel Slings in Small Gas Turbine Engines," 32nd AIAA Fluid Dynamics Conference and Exhibit, 2002.

Dahm, W. J. A., Patel, P. R. and Lerg, B. H., "Visualizations of Liquid Breakup by Fuel Slings," Proceedings of the 9th International Conference on Liquid Atomization and Spray Systems, 2003.

Dahm, W. J. A., Patel, P. R. and Lerg, B. H., "Analyses of Liquid Breakup Regimes in Fuel Slinger Atomization," Atomization and Sprays, 2006.

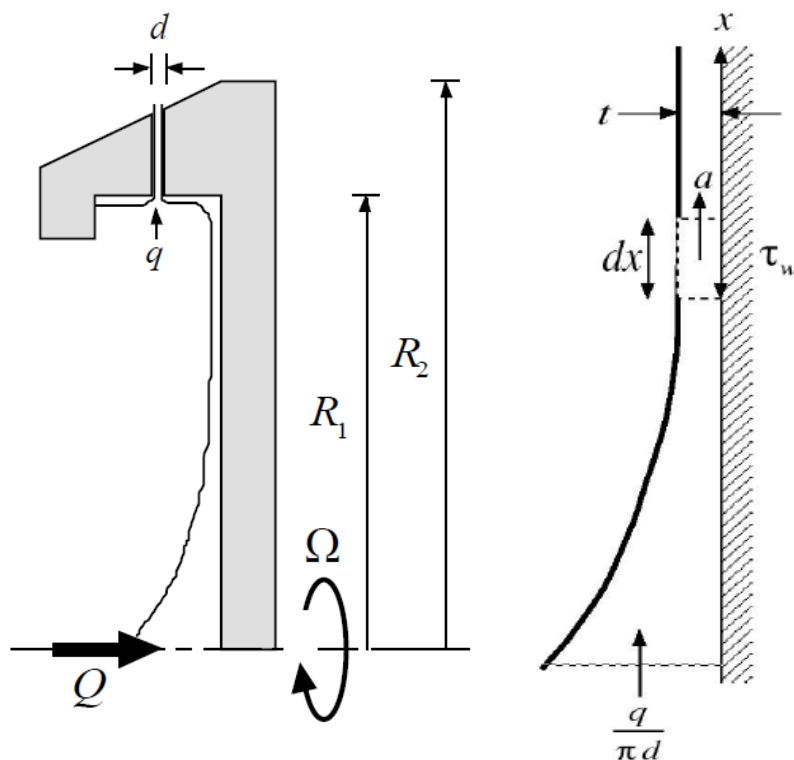
Dahm, W. J. A., Patel, P. R. and Lerg, B. H., "Experimental Visualizations of Liquid Breakup Regimes in Fuel Slinger Atomization," Atomization and Sprays, 2006.



# סקר ספרות - Dahm et al. - המשך

7

- ע"י ניתוח של הזרימה בתוך החור, Dahm et al. פיתחו משוואה דומה לזאת של Morishita עבור עובי השכבה בחור ההזרקה:



$$t = \left(\frac{3}{\pi}\right)^{1/3} \left(\frac{\mu Q}{\rho R \omega^2 d}\right)^{1/3}$$



# סקר ספרות - Dahm et al. - המשך

8

- Dahm et al. הגיעו למסקנה שהיחס בין אפקטים אווירודינמיים (ששזורים את הטיפות) והשפעת מתח הפנים (שמנסה לגבש את הריסוס לסילון אחד) שווה למספר וובר ושהוא מאפיין את המעבר מתחום התת-קריטי לתחום העל-קריטי:

$$\frac{T_{\sigma}}{T_I} \sim \left[ \frac{\rho_G U_C^2 t}{\sigma} \right]^{1/2} \equiv We_t^{1/2}$$

- ניתן לאפיין את גודל הטיפות בשני התחומים, כדלהלן:

על-קריטי

$$\frac{SMD}{d'} = f(We_{d'})$$

$$d' = \frac{2}{\sqrt{\pi}} (dt)^{1/2}$$

תת-קריטי

$$\frac{SMD}{t} = f(We_t)$$

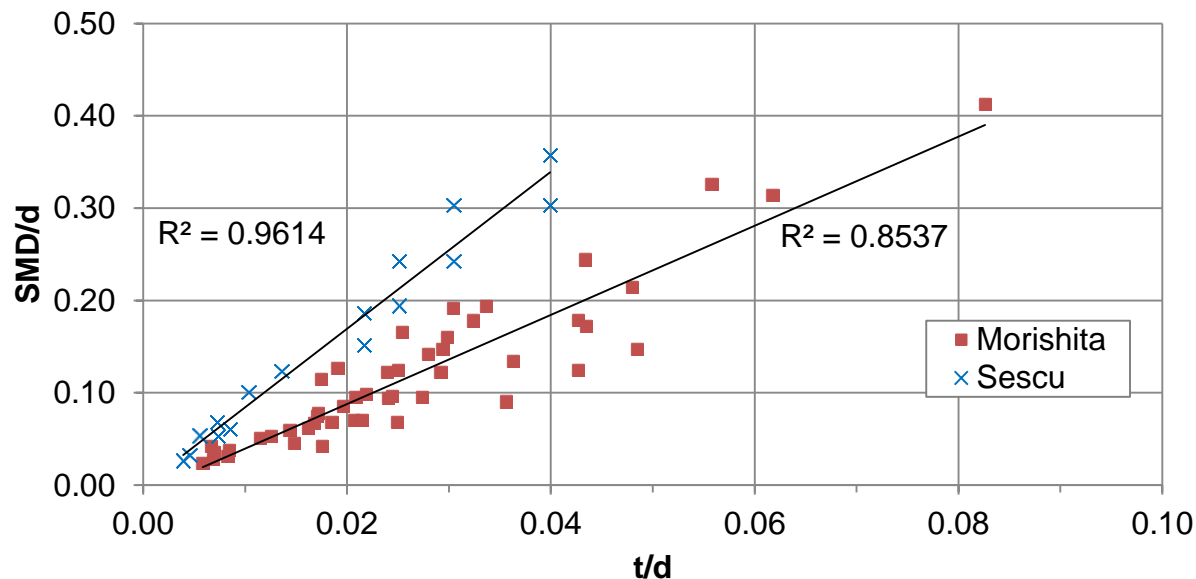




# סקר ספרות - Sescu et al.

9

- בשנת 2008 בוצעו ניסויים חדשים שבהם גודל הטיפות נמדד עם אמצעים מודרניים, במרחק של 100mm מנקודת ההזרקה
- תחום הסל"ד בניסויים אלה היה נמוך יחסית ל- Morishita
- נמצאה קורלציה טובה בין גודל הטיפות ועובי השכבה בחור, אבל ההתנהגות שונה מהנתונים של Morishita



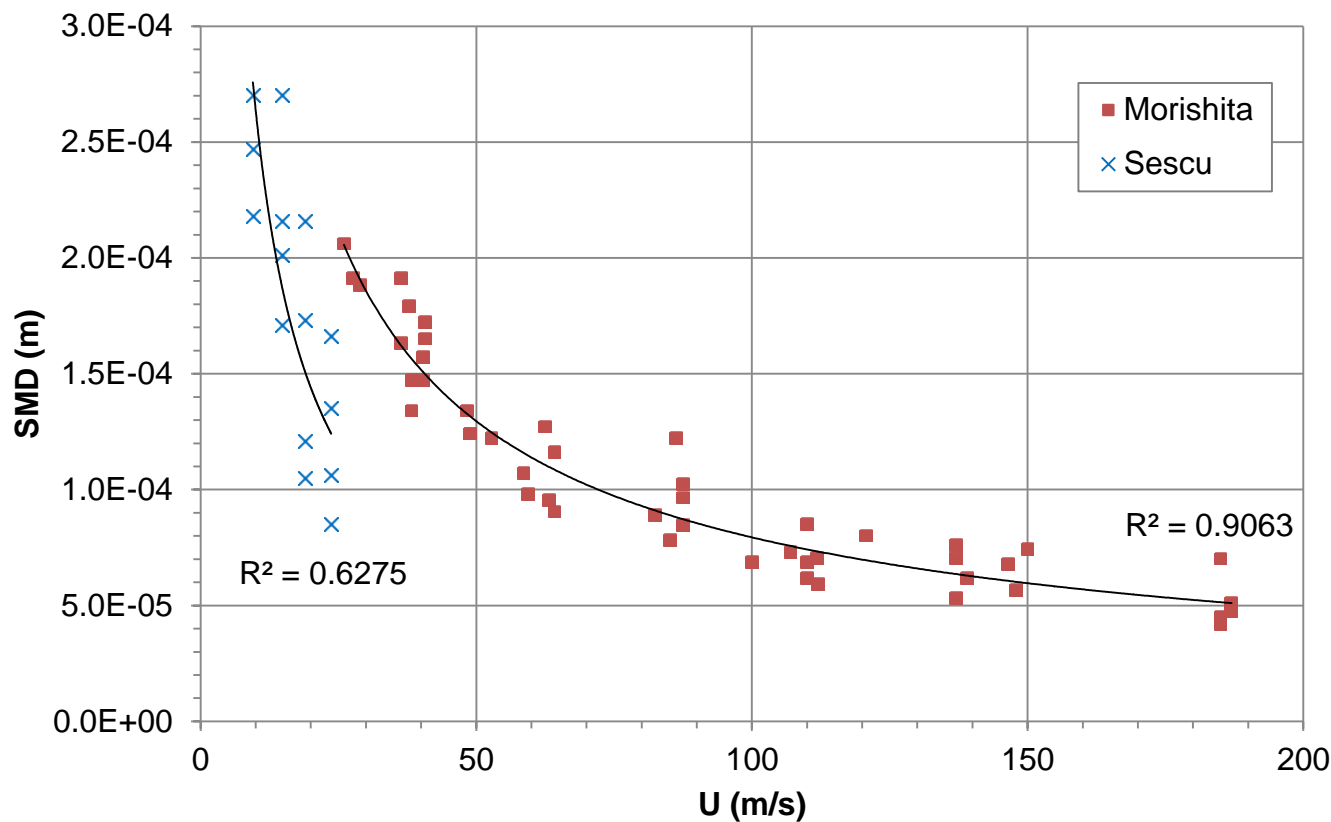
Sources: Sescu, C., "Experimental and Computational Study on Liquid Atomization by Slinger Injector," The University of Toledo, 2011.  
 Sescu, C., Kucinski, B. R. and Masiulaniec, C. K., "Experimental Test Rig with Results on Fuel Atomization by Slinger Injectors," 44th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit, 2008.



# סקר ספרות - Sescu et al. - המשך

10

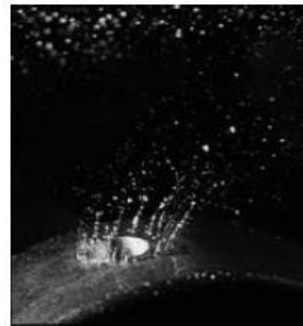
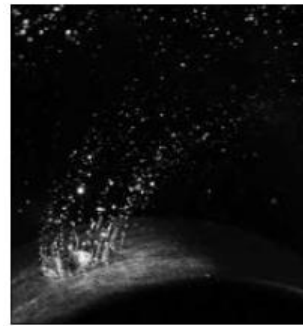
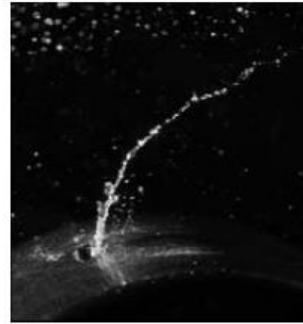
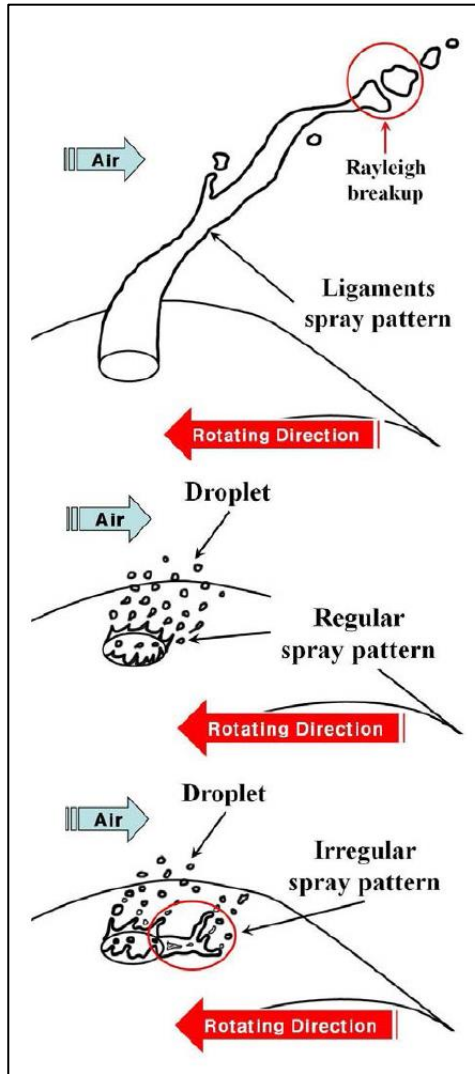
- קורלציה עם מהירות הקווית - כפי שממליץ Morishita - פחות טובה לנתונים של Sescu et al., אבל ניתן לראות מגמה





# סקר ספרות - Choi et al.

11

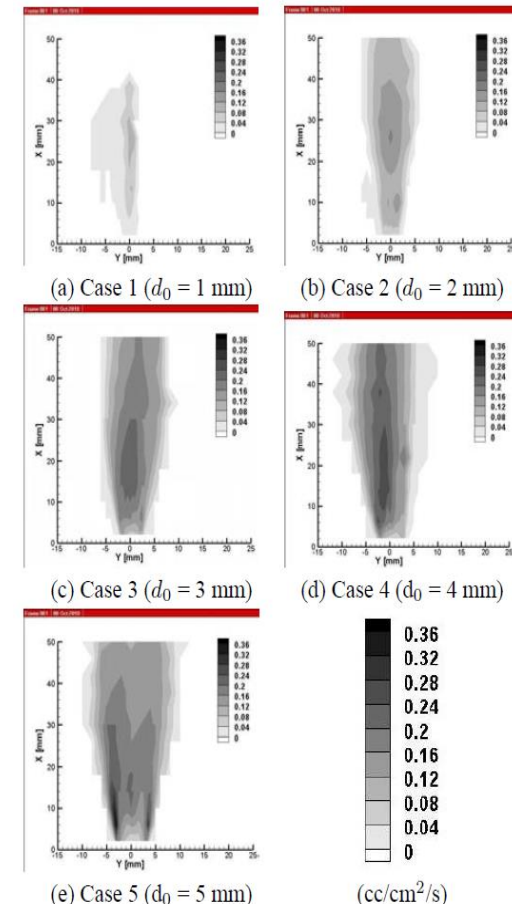
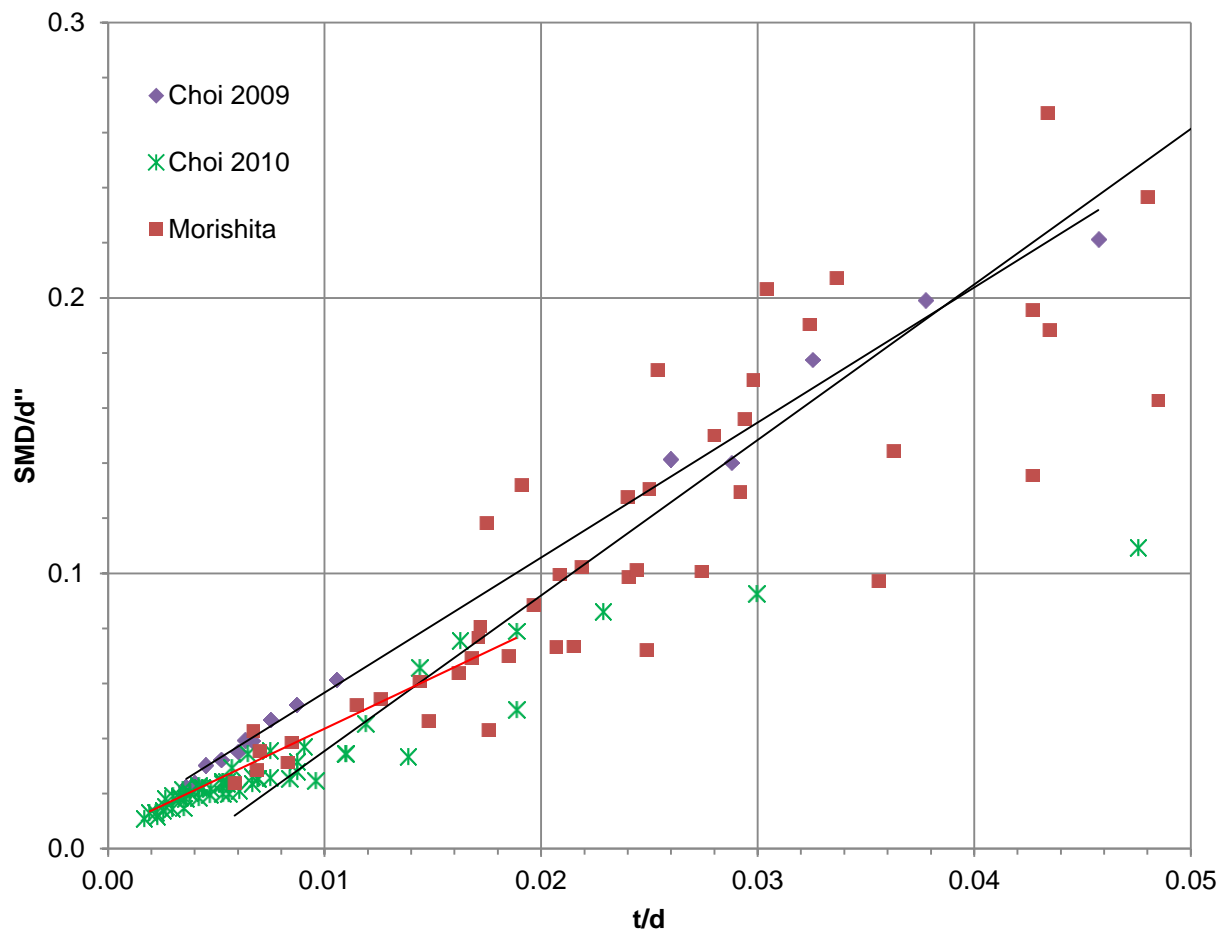


- שתי סדרות של ניסויים נוספים, בתנאים שנופלים בין אלא של הקודמים, בוצעו ע"י Choi et al.
- המדידות בוצעו במרחק של 30 עד 50mm מהחור
- בניסויים האחרונים Choi et al. זיהו שלושה תחומים של פירוק הטיפות
- נמצאה קורלציה טובה בין SMD מנורמל ע"י קוטר אפקטיבי של החור לבין עובי השכבה
- בתחום הפירוק הרגיל נמצאה התאמה בין הנתונים של Choi et al. והנתונים של Morishita
- בנוסף Choi et al. מדדו את זווית הריסוס עבור קטרי חור שונים



# סקר ספרות - Choi et al. - המשך

12



Sources: Choi, S. M., Jang, S. H., Lee, D. H. and You, G. W., "Spray Characteristics of the Rotating Fuel Injection System of a Micro-Jet Engine," *Journal of Mechanical Science and Technology*, 2010.

Choi, S. M. and Jang, S. H., "Spray Behavior of the Rotary Atomizer with In-Line Injection Orifices," *Atomization and Sprays*, 2010.

Choi, S. M., Yun, S., Jeong, H. J. and Corber, A., "Spray in Cross Flow of a Rotary Atomizer," *Atomization and Sprays*, 2012.

Choi, S. M., Yun, S., Jeong, H. J. and Corber, A., "Spatial Drop Behavior of a Rotary Atomizer in a Cross Flow," *Atomization and Sprays*, 2012.

מסמך זה מכיל מידע השייך למב"ש. העתקה או הפצה של המידע מותרת רק באישור בכתב של גורם מוסמך במב"ש.



## סקר ספרות - Chen et al.

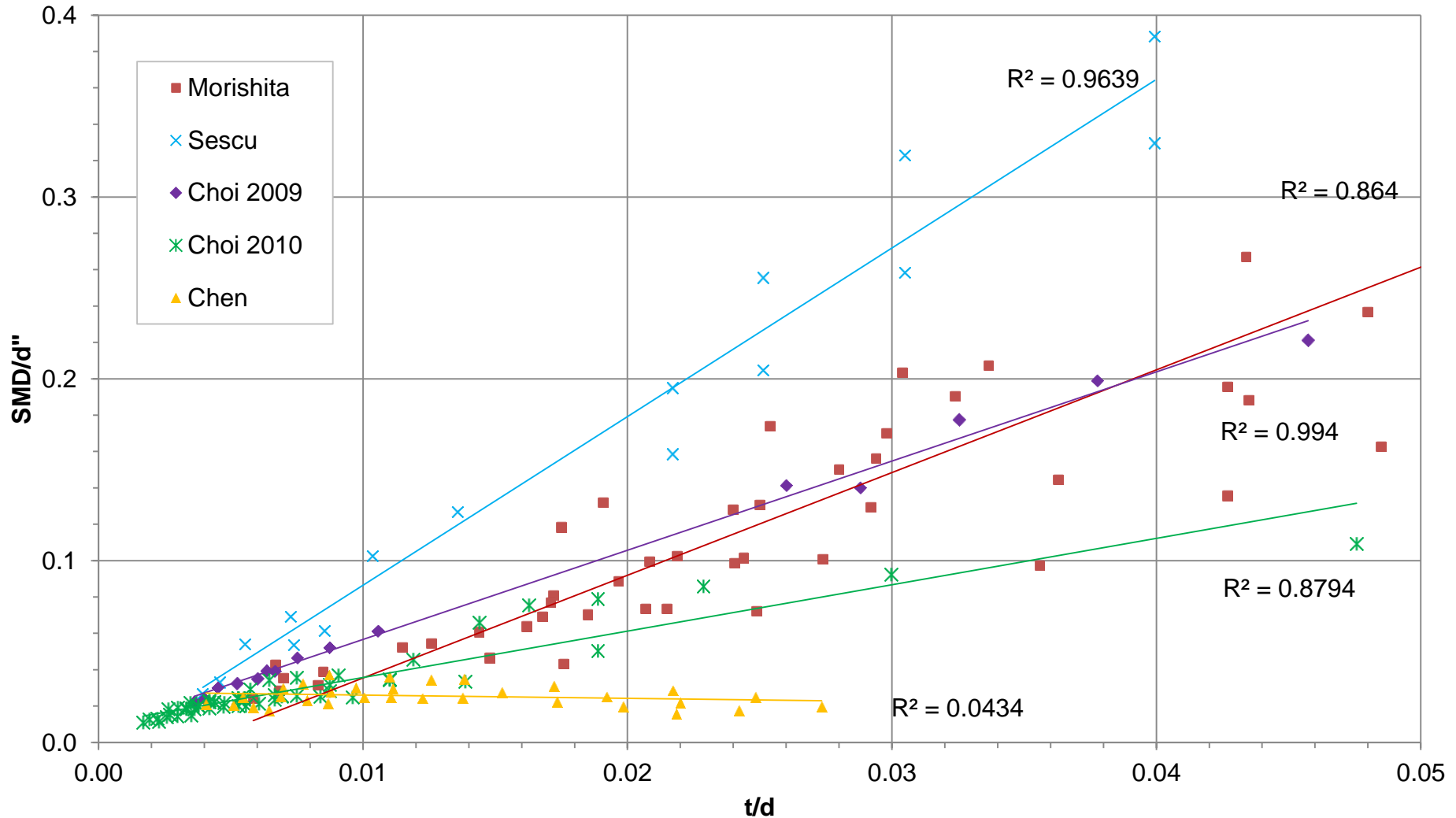
13

- הנתונים האחרונים שקיימים בספרות הם אלא של Chen et al., שביצעו ניסויים בסל"ד גבוה יותר מקודמיו
- המדידות בוצעו במרחק של 125mm מנקודת ההזרקה
- קיימים פערים בין בתוצאות של Chen et al. ושאר הנתונים, לדוגמה עלייה בספיקה גרמה להקטנה של הטיפות
- כשמשווים את כלל התוצאות מספרות בקורלציה המוצעת ע"י Choi et al., מתקבל פיזור גדול (ראה שקף הבא)



# סיכום כלל התוצאות - קורלציה מול עובי שכבה

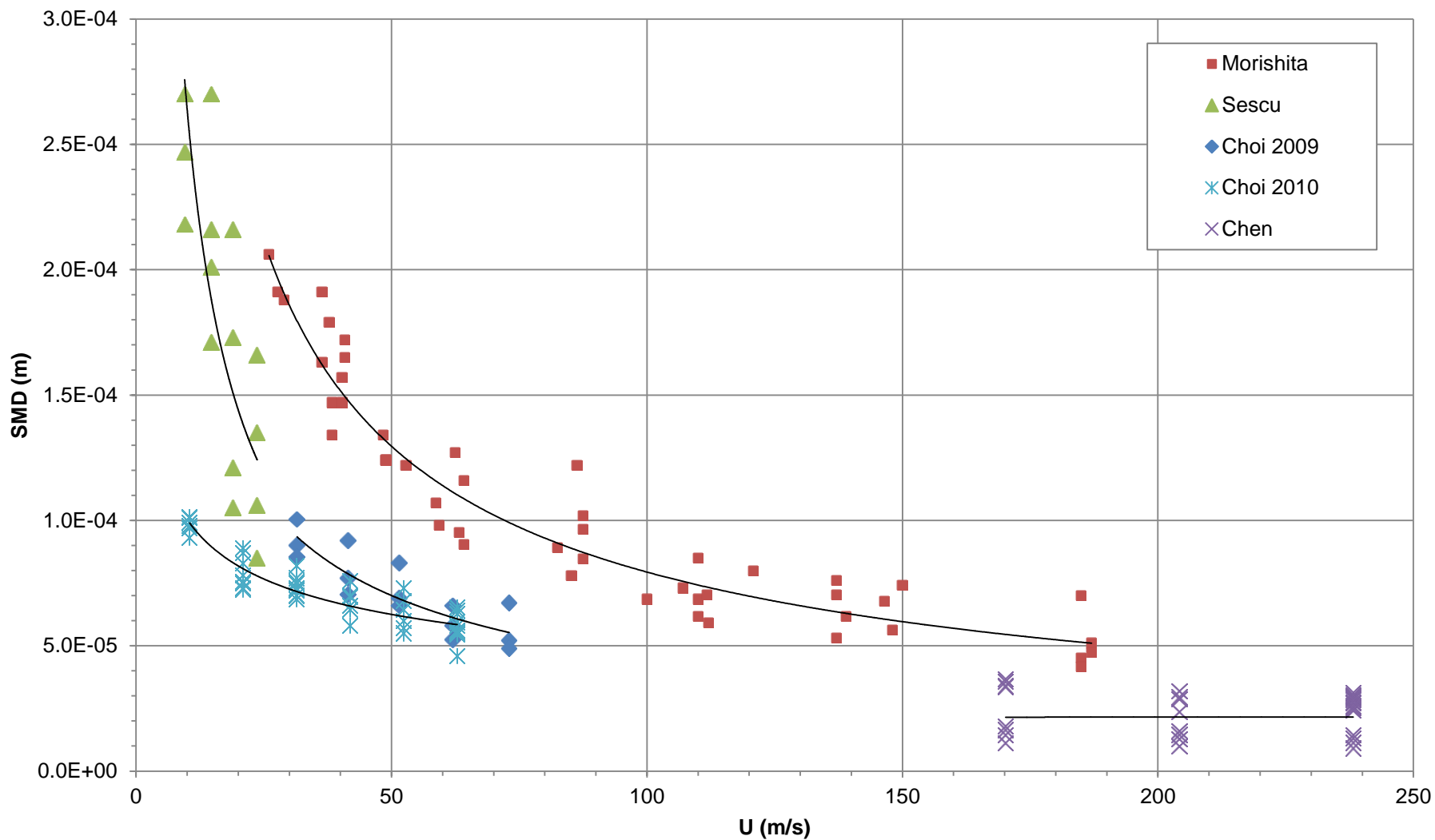
14





# סיכום כלל התוצאות - קורלציה מול מהירות הקווית

15





## תיקון נתוני הספרות

16

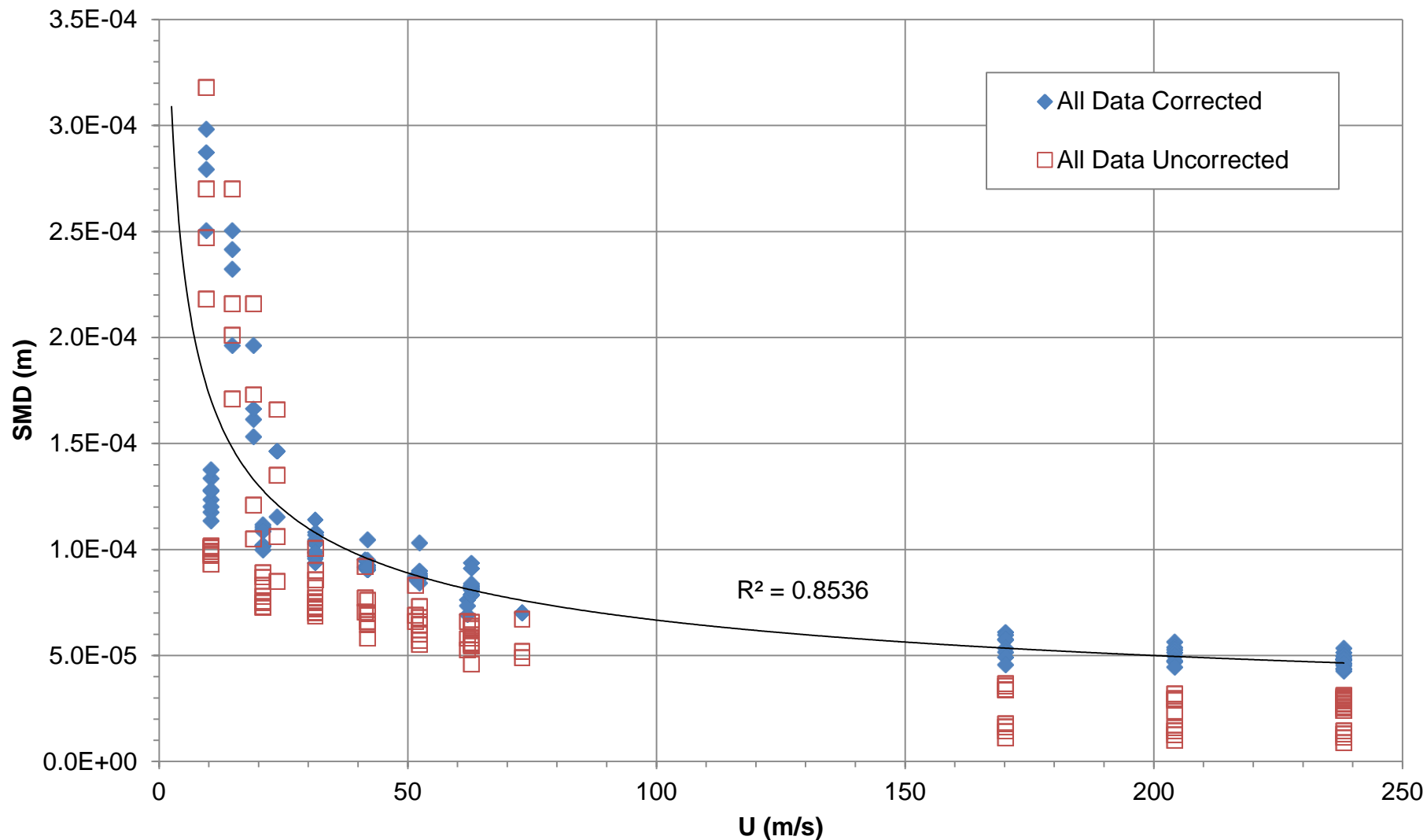
- במטרה להשיג אחידות בין התוצאות של החוקרים השונים, ניתן לבצע את התיקונים הבאים:
  1. בספרות של Choi et al. יש גרף של SMD נגד ספיקה; על סמך הקורלציה הזאת, מתקנים את כלל התוצאות לספיקה נתונה (כאן -  $1E-6 \text{ m}^3/2$ )
  2. בכל אחד מהמאמרים יש תוצאות עם קטרי חורים שונים; על בסיס המגמות האלה ניתן לתקן כל סט של נתונים בנפרד לקוטר חור ספציפי (כאן 1.5mm)
- לאחר התיקונים הנ"ל, וכשמתעלמים מהנתונים של Morishita (שנמדדו באמצעות שיטה פרימיטיבית), מתקבלת קורלציה טובה בין ה-SMD ומהירות הקווית
- קורלציה טובה יותר מתקבלת בין ה-SMD ופרמטר UM (שכולל את מתח הפנים של הזורם)





# נתונים מתוקנים - קורלציה בין SMD למהירות קווית

17





# נתונים מתוקנים - קורלציה בין SMD ו-UM

18

