

השפעת ריכוז האתנול בתמיסת אתנול-מים על מאפייני הטפטוף של התמיסה דרך מחט דקה.

מגישים : סאלח פראג , איתי הרטמן , בולוס שחאדה

מנחים : פרופ דן שחר , דר רותי קפון

סיכום במשפט אחד :

המאמר עוסק בניטור (monitoring) רציף של דינאמיקת הטפטוף של תמיסות אתנול-מים בריכוזים שונים כאמצעי למדידת ריכוז התמיסה.

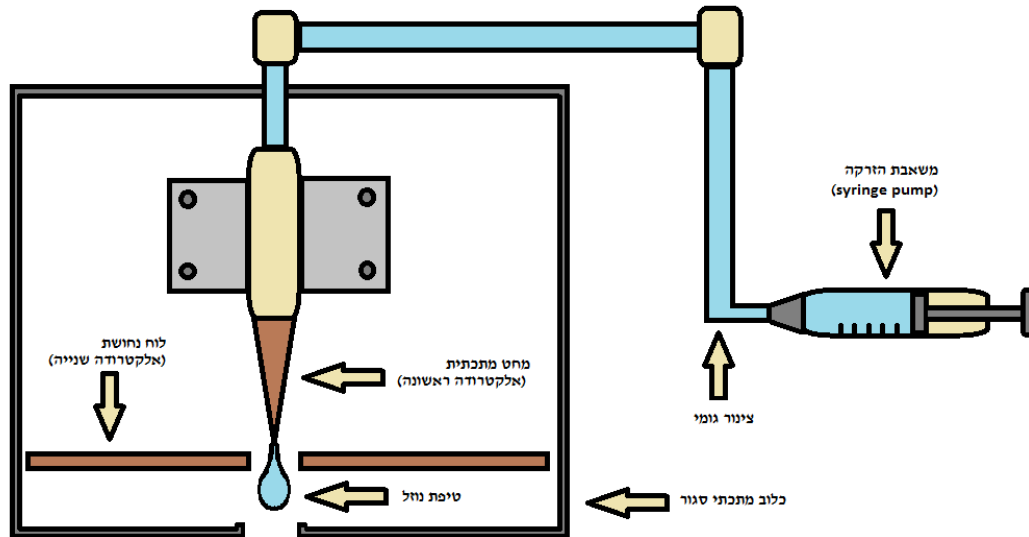
הקדמה :

טפטוף אנכי של נוזל דרך ברז או מחט מגלה תחום רחב של התנהגויות החל מהתנהגות מחזורית וכלה בהתנהגות כאוטית. התנהגויות אלו נובעות מיחסי הגומלין בין מתח הפנים, הצמיגות, הצפיפות, צורת הברז (קוטר המחט), כוח הכובד וקצב הספיקה (1). בניסוי שעשינו, ניתרנו את הדינאמיקה של הטפטוף של תמיסת מים ואלכוהול כפונקציה של ריכוז התמיסה. קוטר המחט וקצב הזרימה נקבעו כך שהטפטוף יהיה חד מחזורי (period one) ולא תתקבל זרימה רציפה באף אחד מהריכוזים שנבדקו. בתנאים אלו שינויים במתח הפנים ובצמיגות הנוזל יכולים לשנות את קצב הטפטוף ואת מימדי הטיפה. מכיוון שמתח הפנים והצמיגות של תמיסת אתנול-מים תלויים בריכוז התמיסה ננסה לבדוק אם ניתן להשתמש בדינאמיקה של הטפטוף כדי למדוד את ריכוז התמיסה. יצוין כי מתח הפנים והצפיפות של תמיסה זו יורדים עם הריכוז ואילו צמיגות התמיסה עולה עד לריכוז 45% ולאחר מכן יורדת (נספחים א'-ג').

מערכת הניטור כוללת שתי אלקטרודות המהוות קבל. אחת האלקטרודות היא המחט בה עובר הנוזל ואשר בקצה שלה נוצרות הטיפות והשנייה היא לוח נחושת אשר באמצעו חור עגול דרכו נופלות הטיפות המשתחררות מקצה המחט (ראה מערכת הניסוי). הקיבול בין האלקטרודות במהלך תהליך הטפטוף משתנה ומשקף את תהליך התהוות הטיפה והתנתקותה.

קובץ זה נועד אך ורק לשימוש האישי של מורים למתמטיקה, פיזיקה, כימיה וביולוגיה ולהוראה בכיתותיהם. אין לעשות שימוש כלשהו בקובץ זה לכל מטרה אחרת, ובכלל זה: שימוש מסחרי, פרסום באתר אחר (למעט אתר בית הספר בו מלמד המורה), העמדה לרשות הציבור או הפצה בדרך אחרת כלשהי של קובץ זה או חלק ממנו.

תיאור המערכת ופרטים טכניים של המרכיבים.



איור א': תרשים סכמטי של מערכת הניסוי

מערכת הניסוי כוללת:

משאבת הזרקה (syringe pump) רפואית אשר דוחפת את התמיסה בקצב קבוע של 50 ml/hr דרך צינור גומי המחובר בקצהו השני למחט מתכתית דקה המשמשת גם ליצירת הטיפות וגם כאלקטרודה. מחט זו מקובעת מעל מרכזו של חור עגול אשר נקדח בלוח נחושת. לוח זה משמש כאלקטרודה שנייה. שתי האלקטרודות מהוות קבל. המחט ולוח הנחושת הוצבו בתוך תיבה מתכתית סגורה שמסככת את המערכת מ השפעות חשמליות חיצוניות מונעת השפעות מכאניות (גלי קול ורוח) על תהליך הטפטוף ועל הקיבול.

מדידת הקיבול נעשית על ידי גשר קבלים שמוזן על ידי מגבר (lock-in amplifier) במתח חילופין בתדר של 2000 Hz . הגשר מסוגל למדוד ערכי קיבול הנעים בין $10^{-12} \mu F - 1 \mu F$ בדיוק של 0.01% .

הקיבול נמדד בקצב של 200 דגימות בשנייה (דגימה כל 0.005 sec). ערכי הקיבול הנמדדים הוזנו למחשב בעזרת ממשק Lab view ונשמרו לניתוח בעזרת תוכנת Igor.

המערכת כולה הוצבה על ספסל אופטי על מנת לצמצם רעשים מכאניים ולבטל את השפעתם על הניסוי.

קובץ זה נועד אך ורק לשימוש האישי של מורים למתמטיקה, פיזיקה, כימיה וביולוגיה ולהוראה בכיתותיהם. אין לעשות שימוש כלשהו בקובץ זה לכל מטרה אחרת, ובכלל זה: שימוש מסחרי, פרסום באתר אחר (למעט אתר בית הספר בו מלמד המורה), העמדה לרשות הציבור או הפצה בדרך אחרת כלשהי של קובץ זה או חלק ממנו.

מהלך הניסוי

בשלב הראשון הוכנו 13 תמיסות אתנול-מים בריכוזים שבין 0%-40% על ידי ערבוב כמויות מדודות של אתנול ומים מזוקקים. התמיסה הוכנסה למשאבת ההזרקה והוזרקה דרך צינורית גומי אל המחט (האלקטרודה הראשונה). לאחר מילוי הצינורית נבדקה המערכת בעין בכדי לוודא שאין בועות אוויר אשר עלולות להשפיע על איכות המדידות. בשלב הבא נסגרה המערכת למניעת רעשים חשמליים ומכאניים חיצוניים.

עבור כל ריכוז בוצעו 15 מדידות שונות כאשר כל מדידה ארכה 50 שניות ובה נדגמו 10000 דגימות. כל המדידות נשמרו בעזרת תוכנת Lab view והועברו לעיבוד ממוחשב בתוכנת Igor. בסך הכול, עבור כל ריכוז נלקחו 150,000 דגימות (750 שניות של טפטוף).

בין מדידה למדידה המערכת נוקתה על ידי לחץ אוויר על מנת להקטין את השגיאה בריכוז.

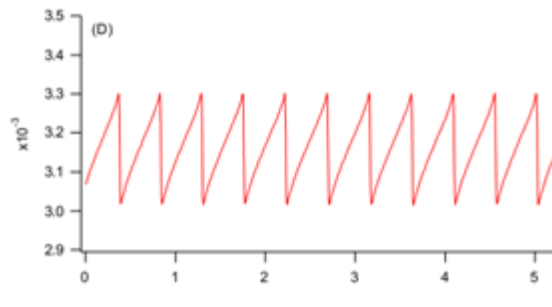
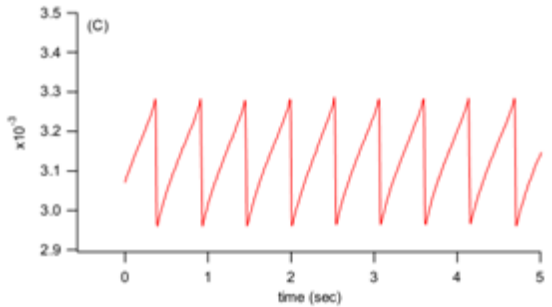
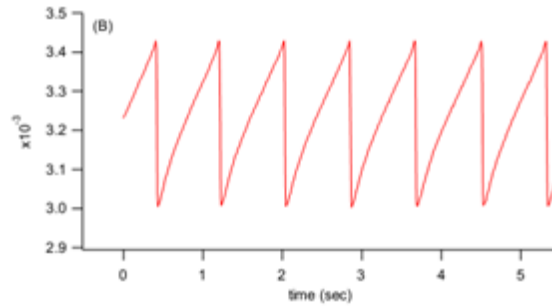
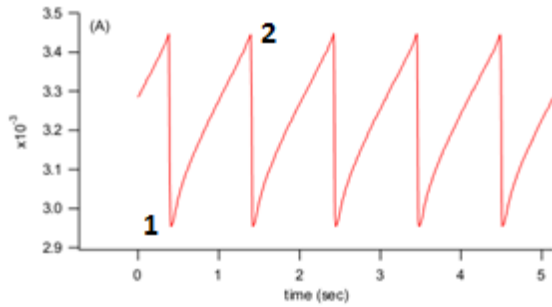
הצגת סיגנל קיבול והסבר על הקשר בין הסיגנל לטפטוף עצמו.

אות הקיבול המתקבל בין האלקטרודות (מחט+לוח נחושת) מייצג באופן מהימן את תהליך הטפטוף מתחילת היווצרות הטיפה ועד התנתקותה. קשר זה, בין אות הקיבול לבין תהליך היווצרות הטיפה הוכח בעבר בעזרת צילומי וידאו של הטיפה שנעשו במקביל עם מדידת הקיבול (Shemesh, Akselrod, Reich, Shahar, Kapon).

בתנאים שבהם ביצענו את הניסוי, התפתחות הטיפה מאופיינת על ידי שני שלבים עיקריים: בשלב הראשון נפח הטיפה גדל בעודה קשורה לקצה המחט ומתח הפנים שומר על צורתה הכדורית – במהלך שלב זה הקיבול גדל מערך מינימאלי (נקודה 1 באיור ב' A) לערך מרבי (נקודה 2 באיור ב' A). בשלב השני גדילתה של הטיפה גורמת לכך שהמסה שלה גדולה מדי ומתח הפנים אינו יכול לשמור אותה עגולה והיא מתארכת – נוצר צוואר והקיבול יורד בחדות עד לניתוקה של הטיפה, אז חוזר הקיבול לערכו ההתחלתי המינימאלי.

לאור הנאמר, השתמשנו במדידות הקיבול בכדי לחקור את השפעת שינוי הריכוז של תמיסת אתנול-מים על תכונות הטפטוף. מהתבוננות ראשונית באותות המתקבלים ניתן לראות הבדלים בין ריכוזים שונים. הבדלים אלו מתבטאים בקצב טפטוף שונה (איור ב') ובנוסף ניתן להבחין בהבדלים בגובה האות.

קובץ זה נועד אך ורק לשימוש האישי של מורים למתמטיקה, פיזיקה, כימיה וביולוגיה ולהוראה בכיתותיהם. אין לעשות שימוש כלשהו בקובץ זה לכל מטרה אחרת, ובכלל זה: שימוש מסחרי, פרסום באתר אחר (למעט אתר בית הספר בו מלמד המורה), העמדה לרשות הציבור או הפצה בדרך אחרת כלשהי של קובץ זה או חלק ממנו.



איור ב' - אותות שהתקבלו מטפטוף של תמיסות של (A) 0% (B) 5% (C) 25% ו-(D) 40% אלכוהול

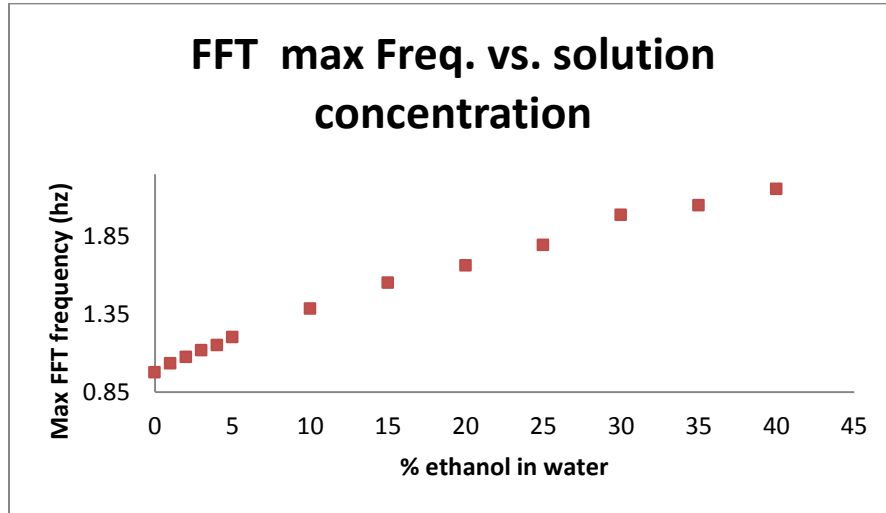
הצגת אות הקיבול כפונקציה של הזמן מאפשרת להבחין כי ככל שריכוז התמיסה גדל תדירות הטפטוף גדלה ומשרעת האות קטנה. בכדי לבדוק באופן כמותי את השפעת הריכוז על גובה האות ועל תדירות הטפטוף ביצענו עיבוד ממחושב לאותות השונים והגדרנו שני מדדים המאפיינים כל אות.

קובץ זה נועד אך ורק לשימוש האישי של מורים למתמטיקה, פיזיקה, כימיה וביולוגיה ולהוראה בכיתותיהם. אין לעשות שימוש כלשהו בקובץ זה לכל מטרה אחרת, ובכלל זה: שימוש מסחרי, פרסום באתר אחר (למעט אתר בית הספר בו מלמד המורה), העמדה לרשות הציבור או הפצה בדרך אחרת כלשהי של קובץ זה או חלק ממנו.

הצגת המדדים.

מדד התדר:

ניתוח האותות שהתקבלו נעשה בעזרת תוכנת Igor. בשלב הראשון בדקנו את השתנות קצב הטפטוף כתלות בריכוז. למדידה כמותית של קצב זה ביצענו ניתוח פורייה של כל אחד מהאותות ושרטטנו גרף המתאר את התדר המרכזי של כל אות כתלות בריכוז התמיסה. התוצאות הראו כי ככל שריכוז התמיסה עולה כך גם קצב הטפטוף.



איור ג': תדירות הטפטוף הממוצעת כתלות בריכוז תמיסת אתנול-מים

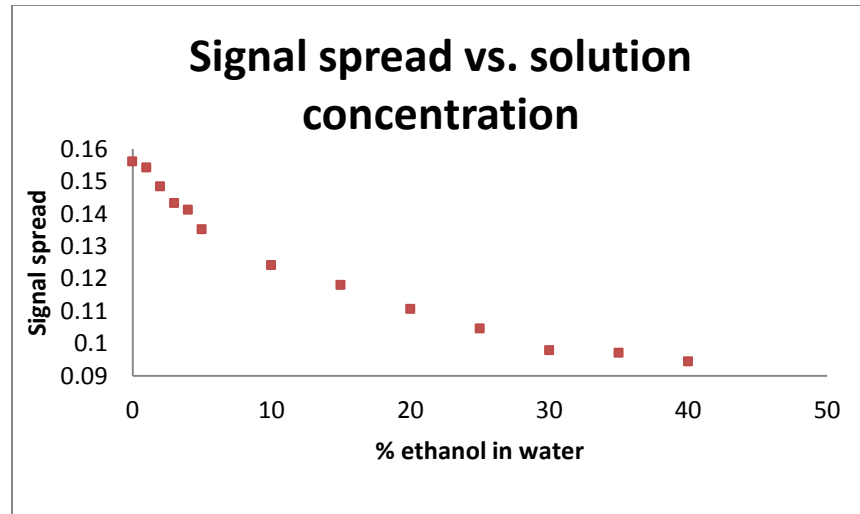
גרף התדר כפונקציה של הריכוז (איור ג') מראה עליה במדד התדר ככל שריכוז התמיסה גדל. גרף זה אינו ליניארי אלא מגיע לרוויה עבור ריכוזים הגבוהים מ 40%, נתייחס לעובדה זו בהמשך. עבור ריכוזים הנמוכים מ 40% ניתן לראות כי מדד התדר מבדיל בין ריכוזים שונים של תמיסת האתנול-מים.

קובץ זה נועד אך ורק לשימוש האישי של מורים למתמטיקה, פיזיקה, כימיה וביולוגיה ולהוראה בכיתותיהם. אין לעשות שימוש כלשהו בקובץ זה לכל מטרה אחרת, ובכלל זה: שימוש מסחרי, פרסום באתר אחר (למעט אתר בית הספר בו מלמד המורה), העמדה לרשות הציבור או הפצה בדרך אחרת כלשהי של קובץ זה או חלק ממנו.

מדד המשרעת :

המדד השני שבדקנו מאפיין את משרעת האות המתקבל מריכוזים שונים. מדד זה מחושב על ידי חלוקת ההפרש בין המקסימום והמינימום של האות בערך הממוצע של כל האות. על פי הגדרתו מדד זה חסר יחידות.

שינויים בהפרש בין ערך הקיבול המרבי (הקיבול במצב שבו הטיפה על סף התנתקות) לבין ערך הקיבול המזערי (הקיבול בתחילת היווצרות הטיפה) יכולים להצביע על שינויים בנפח המרבי של הטיפה הנוצרת (טיפה גדולה יותר תספק יותר חומר דיאלקטרי בין האלקטרודות ותגדיל את הקיבול).



איור ד': ממוצע משרעת האות כפונקציה של ריכוז תמיסת אתנול-מים

באיור ד' מוצג הערך הממוצע של משרעת אות הקיבול כפונקציה של ריכוז האתנול בתמיסת אתנול-מים. מגרף זה עולה כי ככל שריכוז התמיסה גדל הגובה המאפיין את האות קטן. גם מדד זה מגיע לערך רוויה עבור תמיסות בריכוזים הגדולים מ 40%.

משני הגרפים הנ"ל ניכר כי שני מדדים אלו, התדר המרכזי וגובה האות, מבדילים בין ריכוזים שונים של תמיסת אתנול-מים כאשר ריכוז התמיסה אינו עולה על 40%.

קובץ זה נועד אך ורק לשימוש האישי של מורים למתמטיקה, פיזיקה, כימיה וביולוגיה ולהוראה בכיתותיהם. אין לעשות שימוש כלשהו בקובץ זה לכל מטרה אחרת, ובכלל זה: שימוש מסחרי, פרסום באתר אחר (למעט אתר בית הספר בו מלמד המורה), העמדה לרשות הציבור או הפצה בדרך אחרת כלשהי של קובץ זה או חלק ממנו.

מניתוח תוצאות הניסוי ניתן לראות כי שני המדדים המאפיינים את אות הקיבול המתקבל מניטור רציף של דינאמיקת הטפטוף של תמיסת אתנול-מים דרך מחט דקה מצליחים להבדיל בין ריכוזים שונים של אתנול בתמיסה עבור תמיסות שריכוז האתנול בהן אינו עולה על 40%. מכיוון שדינאמיקת הטפטוף נשלטת על ידי גורמים רבים ננסה לקשר את הממצאים להתנהגותם של מתח הפנים, צפיפות, וצמיגות התמיסה.

הגדלת ריכוז התמיסה, בתווך שבין 0% ל 40% תוך כדי הזרקה דרך מחט דקה בספיקה קבועה בטמפרטורת החדר (תנאי הניסוי), גורמת:

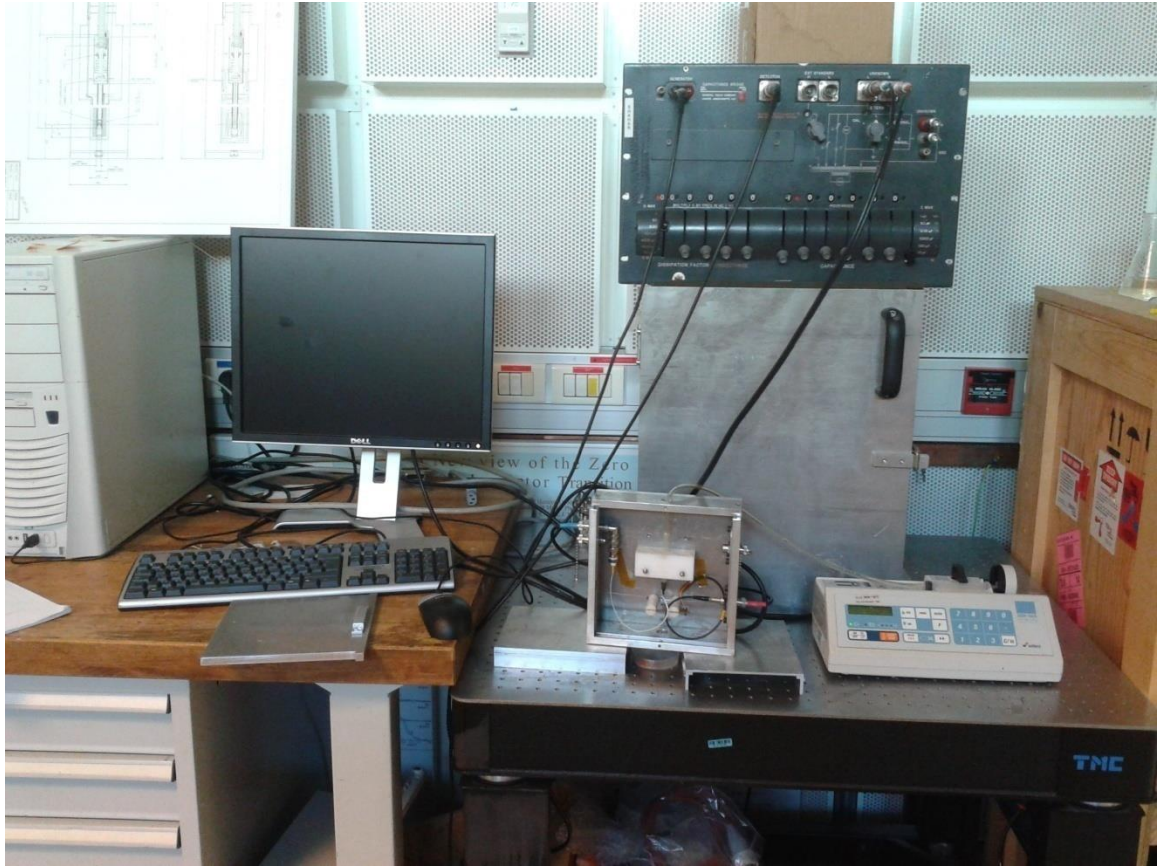
1. לעליה בקצב הטפטוף (התקצרות הזמן שבין תחילת היווצרות הטיפה להתנתקותה ונפילתה).
2. להקטנת משרעת הקיבול (ההפרש בין קיבול המערכת כאשר הטיפה מגיעה לנפח קריטי לבין קיבול המערכת בתחילת תהליך היווצרות הטיפה).

במקביל ניסויים מראים כי הגדלת הריכוז של תמיסת אתנול-מים גורמת לירידה במתח הפנים ובצפיפות התמיסה ולעליה בצמיגותה. עליית הצמיגות והירידה בצפיפות התמיסה מרמזים כי ככל שריכוז התמיסה גבוה יותר הזמן בו תיווצר טיפה במשקל נתון יהיה ארוך יותר. הירידה במתח הפנים מראה כי ככל שעולה ריכוז התמיסה המשקל הקריטי (בו מתנתקת הטיפה) יקטן. בנוסף לנוזלים בעלי צמיגות גבוהה יש נטייה ליצירת צוואר ארוך ודק בעת טפטוף. מסקנתנו עבור ניסוי זה היא כי משלושת המדדים (מתח פנים, צמיגות וצפיפות) השפעת מתח הפנים, בתנאי הניסוי שלנו, היא המשמעותית ביותר.

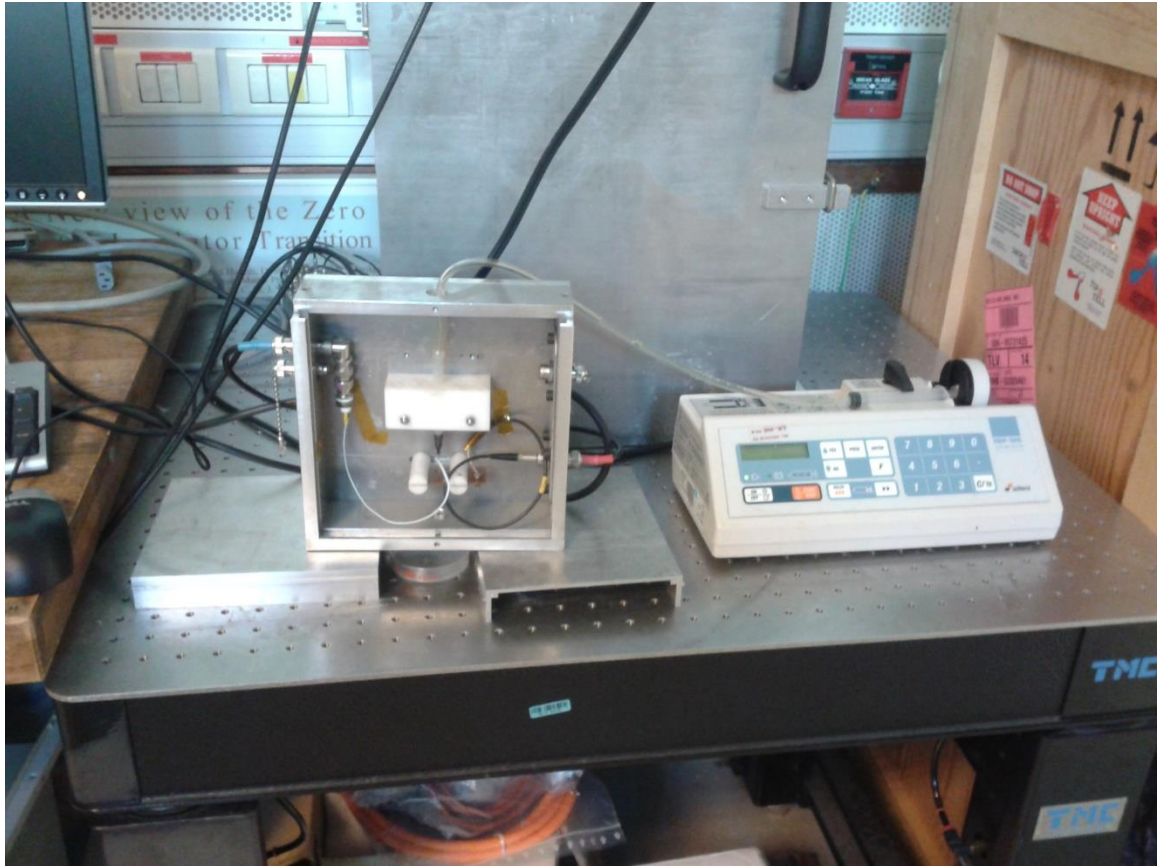
הצעות לשיפור המחקר

במערכת הניסוי בה השתמשנו מוזרק הנוזל הנבדק דרך צינור גומי המחובר למחט העשויה מפלסטיק. בין כל מדידה למדידה רוקנו את המערכת וניקינו את צינור הגומי בעזרת לחץ אוויר. מילוי צינור הגומי בתמיסה חדשה מלווה בהצטברות בועות אוויר בצינור. חלק מהאוויר הכלוא נוקז באמצעות הזרקה הנוזל אך ברוב המקרים היה ניתן להבחין בעין בבועות אוויר אשר נצמדו לדפנות הצינור. הימצאות בועות אוויר בצינור עלולה לגרום להפרעות בזרימת הנוזל ובסופו של דבר לשגיאות במדידות ולפגיעה ברמת הדיוק. אנו מציעים להחליף את חלקי המערכת העשויים גומי בחלקים העשויים מזכוכית ולשלב בהם מנגנון לניקוז יעיל יותר של בועות האוויר המצטברות בזמן המילוי. בנוסף, הגדלת נפח הנוזל במזרק יצמצם את הצורך במילוי מחודש של המערכת (עבור ריכוז קבוע) ועשוי להקטין את פיזור המדידות בכל ריכוז וריכוז ולתרום לשיפור הדיוק.

קובץ זה נועד אך ורק לשימוש האישי של מורים למתמטיקה, פיזיקה, כימיה וביולוגיה ולהוראה בכיתותיהם. אין לעשות שימוש כלשהו בקובץ זה לכל מטרה אחרת, ובכלל זה: שימוש מסחרי, פרסום באתר אחר (למעט אתר בית הספר בו מלמד המורה), העמדה לרשות הציבור או הפצה בדרך אחרת כלשהי של קובץ זה או חלק ממנו.



קובץ זה נועד אך ורק לשימוש האישי של מורים למתמטיקה, פיזיקה, כימיה וביולוגיה ולהוראה בכיתותיהם. אין לעשות שימוש כלשהו בקובץ זה לכל מטרה אחרת, ובכלל זה: שימוש מסחרי, פרסום באתר אחר (למעט אתר בית הספר בו מלמד המורה), העמדה לרשות הציבור או הפצה בדרך אחרת כלשהי של קובץ זה או חלק ממנו.



הצעות למחקרים עתידיים

בניסוי מקדים שביצענו שמנו לב כי שני המדדים המוצגים בגוף המאמר אינם מבדילים בין תמיסות אשר ריכוזן גבוהה מ 40%. סיבה אחת יכולה להיות הדומיננטיות של מתח הפנים בתהליך שנבדק. בנספח א' מוצג גרף של מתח הפנים של תמיסות אתנול-מים כפונקציה של ריכוז התמיסה. ככל שריכוז התמיסה עולה קצב השינוי של מתח הפנים קטן. יתכן ושינויים קטנים במתח הפנים אינם מתבטאים בשינויים ניכרים במדדי הניסוי. השערה נוספת שהעלינו בנושא זה קשורה להתנהגות צמיגות התמיסה. כפי שניתן לראות באיור ו' המוצג בנספח ב' הצמיגות של תמיסת אתנול-מים מגיעה לערך מרבי עבור ריכוז באזור ה-40%. השאלה המתבקשת היא האם ישנם מדדים חדשים המאפיינים את דינאמיקת הטפטוף של התמיסה דרך מחט דקה אשר כן יכולים להבדיל בין תמיסות בריכוזים גבוהים (מעל 40%). לחילופין מעניין לבדוק האם ניתן להגדיר מדד חדש כקומבינציה של המדדים שהגדרנו אשר יבדיל בצורה טובה יותר בין תמיסות בריכוזים שונים.

ברור כי השימוש במערכת ובשיטה המוצגת במאמר אינו מוגבל רק לתמיסות אתנול-מים. ניתן לבצע מחקרים דומים בכדי לבדוק האם המדדים שהוצגו יכולים להבדיל בין חלב בריכוזי שומן שונים או בין בנוזן באוקטן שונה ועוד.

קובץ זה נועד אך ורק לשימוש האישי של מורים למתמטיקה, פיזיקה, כימיה וביולוגיה ולהוראה בכיתותיהם. אין לעשות שימוש כלשהו בקובץ זה לכל מטרה אחרת, ובכלל זה: שימוש מסחרי, פרסום באתר אחר (למעט אתר בית הספר בו מלמד המורה), העמדה לרשות הציבור או הפצה בדרך אחרת כלשהי של קובץ זה או חלק ממנו.

רפלקציה

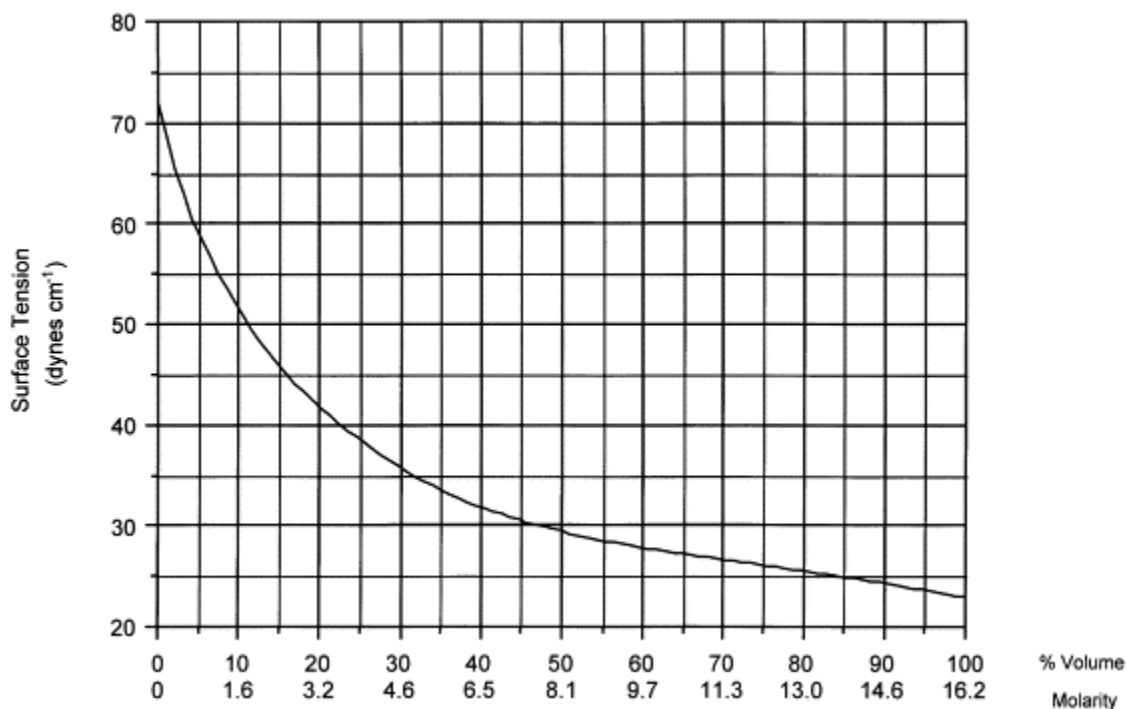
עבודתנו על הפרויקט החלה בקיץ 2011 בעת שהייה של שבועיים במעבדתו של פרופסור דן שחר. בזמן זה ובחודשים שאחריו למדנו להכיר את מערכת המדידה דרך התמודדות עם קשיים רבים המלווים כל ניסוי מדעי. החל מקשיים טכניים הקשורים לתכנון ושיפור חלקי המערכת (הקיימים והחדשים) ועד למציאת בעלי התפקידים השונים במכון אשר עזרו לנו כמיטב יכולתם. התמודדנו עם בעיות חומרה ותוכנה רבות אשר עיכבו את ביצוע הניסוי ומנעו מאיתנו, תקופה ממושכת, את היכולת לצבור מספיק נתונים. לבסוף, כאשר כבר היו מספיק נתונים בידינו היה עלינו להבין כיצד לעבד אותם במחשב ולהשתמש בפלטפורמה חדשה לעיבוד נתונים (Igor). חלק מהזמן ניסינו והצלחנו להתגבר על העיכובים בכוחות עצמנו אך אין ספק כי עזרת המנחים והאנשים היקרים במכון הייתה הכרחית ועל כך הערכתנו הרבה.

התנסות זאת בעבודת מעבדה חדשה (בניגוד למעבדות אשר אנו מבצעים עם תלמידינו) הוסיפה להבנתנו את מקצוע הפיסיקה מימד נוסף. המודעות למכלול הקשיים שאיתם מתמודד הפיסיקאי הניסיוני בכדי לצבור מידע ולעבדו תעבור, וכבר עוברת, אל הכיתות בהן אנו מלמדים. כמות האתגרים המלווים חקירה ניסיונית של נושא לא מוכר היא אמנם גדולה אך אינה מרתיעה מכיוון שזוהי העשייה אשר בבסיס ההתקדמות המדעית.

קובץ זה נועד אך ורק לשימוש האישי של מורים למתמטיקה, פיזיקה, כימיה וביולוגיה ולהוראה בכיתותיהם. אין לעשות שימוש כלשהו בקובץ זה לכל מטרה אחרת, ובכלל זה: שימוש מסחרי, פרסום באתר אחר (למעט אתר בית הספר בו מלמד המורה), העמדה לרשות הציבור או הפצה בדרך אחרת כלשהי של קובץ זה או חלק ממנו.

נספח א' – מתח הפנים של תמיסת אתנול-מים כפונקציה של ריכוז האתנול בתמיסה:

בגרף המוצג באיור ה' מוצג מתח הפנים של תמיסת אתנול-מים כפונקציה של ריכוז האתנול בתמיסה עבור ריכוזים בין 0% (מים מזוקקים) לבין 100% (אתנול). מגרף ברור כי ככל שריכוז האתנול בתמיסה גבוה יותר מתח הפנים של התמיסה קטן יותר. הגרף אינו ליניארי ומראה כי השינוי במתח הפנים קיצוני יותר ככל שריכוז התמיסה קטן יותר.



איור ה': מתח הפנים של תמיסת אתנול-מים כפונקציה של ריכוז התמיסה

הגרף נלקח מ:

Approaches to characterize the degree of water repellency

J Letey, M.L.K Carrillo, X.P Pang

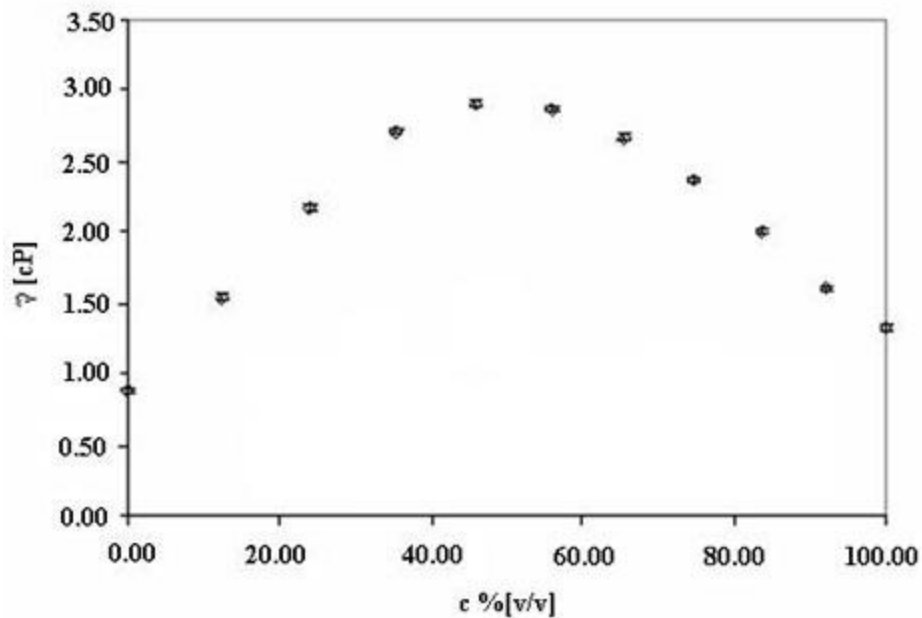
University of California, 900 University Avenue, Riverside, CA 92521, USA, Dec. 1999.

קובץ זה נועד אך ורק לשימוש האישי של מורים למתמטיקה, פיזיקה, כימיה וביולוגיה ולהוראה בכיתותיהם. אין לעשות שימוש כלשהו בקובץ זה לכל מטרה אחרת, ובכלל זה: שימוש מסחרי, פרסום באתר אחר (למעט אתר בית הספר בו מלמד המורה), העמדה לרשות הציבור או הפצה בדרך אחרת כלשהי של קובץ זה או חלק ממנו.

נספח ב' - צמיגות תמיסת אתנול-מים כפונקציה של ריכוז האתנול בתמיסה :

צמיגותו של נוזל היא מדד להתנגדותו לזרימה. בדיאגרמת הפיזור המוצגת באיור ו' מוצגות מדידות של צמיגות תמיסת אתנול מים עבור ריכוזים שונים של אתנול בתמיסה. גרף זה מראה התנהגות מעניינת של הצמיגות אשר עולה עם עליית הריכוז עד לערך מרבי, המתקבל כאשר ריכוז האתנול בתמיסה מתקרב ל 50%, ולאחר מכן יורדת ככל שהריכוז עולה. ההסבר להתנהגות זאת חורג ממסגרת עבודה זאת.

אם זאת חשוב לציין כי אין קשר מחייב בין הצמיגות של הנוזל לבין צפיפותו. התפיסה כי ככל שנוזל צפוף יותר צמיגותו גדולה יותר היא תפיסה שגויה רווחת. עובדה היא כי שמן פחות צפוף ממים וצמיגותו גדולה יותר.



איור ו': צמיגות תמיסת אתנול-מים כפונקציה של ריכוז התמיסה

הגרף נלקח מ:

Macrostructure of aqueous solutions of Ethanol and its implications

Józef Mazurkiewicz¹, Hanna M. Baranowska², Michał Wojtasik³, Piotr Tomasik⁴

¹ Department of Physics, University of Agriculture in Cracow, Poland

² Department of Physics, University of Life Sciences in Poznań, Poland

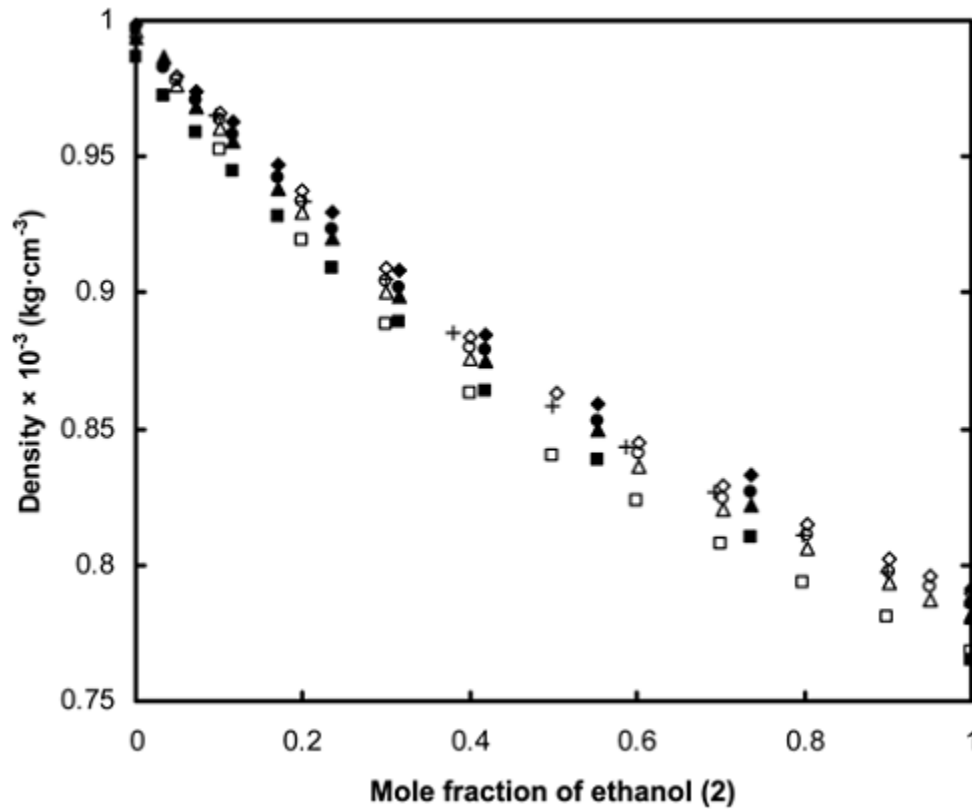
³ Institute of Petroleum Technology, Cracow, Poland

⁴ Department of Chemistry, University of Agriculture in Cracow, Poland

קובץ זה נועד אך ורק לשימוש האישי של מורים למתמטיקה, פיזיקה, כימיה וביולוגיה ולהוראה בכיתותיהם. אין לעשות שימוש כלשהו בקובץ זה לכל מטרה אחרת, ובכלל זה: שימוש מסחרי, פרסום באתר אחר (למעט אתר בית הספר בו מלמד המורה), העמדה לרשות הציבור או הפצה בדרך אחרת כלשהי של קובץ זה או חלק ממנו.

נספח ג' – צפיפות תמיסת אתנול-מים כפונקציה של ריכוז האתנול בתמיסה :

צפיפותו של נוזל היא היחס בין מסת הנוזל לנפחו. באיור ז' מוצגת צפיפותה של תמיסת אתנול מים כפונקציה של ריכוז האתנול בתמיסה (העיגולים המלאים מייצגים תמיסות בטמפרטורת החדר). כפי שניתן לראות צפיפות התמיסה יורדת עם העלייה בריכוז האתנול.



איור ז': צפיפות תמיסת אתנול מים כפונקציה של ריכוז האתנול בתמיסה

מתוך :

Density, viscosity, and surface tension of water ethanol mixtures from 293 to 323K

Ibrahim Sadek Khattab, Farzana Bandarkar, Mohammad Fakhree. Korean J. Chem. Eng., 29(6), 812-817 (2012)

קובץ זה נועד אך ורק לשימוש האישי של מורים למתמטיקה, פיזיקה, כימיה וביולוגיה ולהוראה בכיתותיהם. אין לעשות שימוש כלשהו בקובץ זה לכל מטרה אחרת, ובכלל זה: שימוש מסחרי, פרסום באתר אחר (למעט אתר בית הספר בו מלמד המורה), העמדה לרשות הציבור או הפצה בדרך אחרת כלשהי של קובץ זה או חלק ממנו.

- (1) Chaotic dripping Faucet, Ricky Patel, 2011
- (2) Continuous Monitoring of Dripping Faucet Dynamics by Capacitance Measurements, Dan Shahar and Ruti Kapon