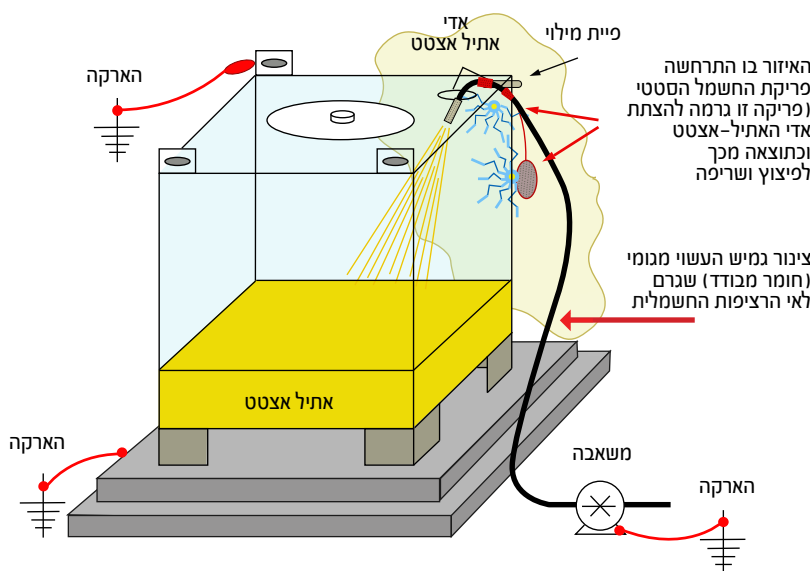


# פריקת חשמל סטטי

## כתוצאה משימוש בגופים מוארקים בקרבת נוזלים דליקים מבודדים

האם גישור והארקה יכולים תמיד למנוע פריקת חשמל סטטי, ובכך למנוע מקור הצתה אשר עלול לגרום לפיצוץ או לשריפה? מתברר שלא. מתאונות רבות שאירעו בתעשייה מתברר שלא רק שגישור והארקה אינם תמיד אפקטיביים למניעת פריקת חשמל סטטי, אלא שלפעמים הם עלולים להוות סיכון

מאת שי שגב M.Sc



בתעשייה התהליכית (תעשיית הכימיה, פרמצבטיקה, מזון, פטרוכימיה וכד') מתרחשת זרימה של נוזלים במערכות סגורות ופתוחות. זרימה או תנועה של נוזלים יוצרת מיטען חשמל סטטי. קצב הצטברות המיטען תלוי במאפייני הנוזל, לדוגמה: מוליכות וצמיגות. הצטברות המיטען תלויה גם במאפייני הזרימה - חשמל סטטי רב יותר מצטבר בזרימה דר-פאזית (זרימה של שני נוזלים בו זמנית, זרימה של גז ומוצק, של נוזל וגז וכד'). קצב היווצרות המיטען גדל עם עליית מהירות הזרימה ומושפע גם מאבזורים הקיימים לאורך נתיב הזרימה, לדוגמה: זרימה דרך מסנן תגרום להיווצרות מהירה של מיטען חשמל סטטי. ככלל אצבע, ככל שהנוקביות בפילטר תהיינה קטנות יותר - קצב היווצרות החשמל הסטטי יהיה גבוה יותר. כמו כן, הצטברות חשמל סטטי תלויה בתנאים סביבתיים: ככל שהלחות גבוהה יותר קטנים קצב הצטברות המיטען וההסתברות לפריקתו.

איור 1: אופן מילוי קוביית המתכת לפני הפיצוץ והשריפה. שימו לב שהצינור הגמיש שהיה עשוי מגומי (חומר מבודד) גרם להצטברות מיטען חשמל סטטי על פיית המילוי, למרות שהמשאבה והקובייה היו מוארקות.

### דוגמה לפיצוץ ושריפה כתוצאה מפריקת ניצוץ

במפעל 'Barton Solvents' במדינת איובה (Iowa) בארה"ב, מפעיל הכניס פיית מילוי לפתח שנמצא בחלקה העליון של קובייה מתכתית, שהיא מיכל נייד עשוי מנירוסטה בנפח של כ-1 מ"ק, על מנת למלא אותה באתיל אצטט שהוא ממס דליק. על גבי הפייה הונחה משקולת מתכת כדי לוודא שהפייה תישאר במקומה בזמן המילוי. לאחר שהמפעיל פתח את הברז והמשאבה והחל במילוי הוא הלך לבצע עבודות אחרות. לאחר זמן קצר נשמע פיצוץ. כשהמפעיל חזר הוא ראה את הקובייה אפופה בלהבות ואת פיית המילוי מוטלת על הרצפה כאשר ממנה זורם עדיין אתיל אצטט.

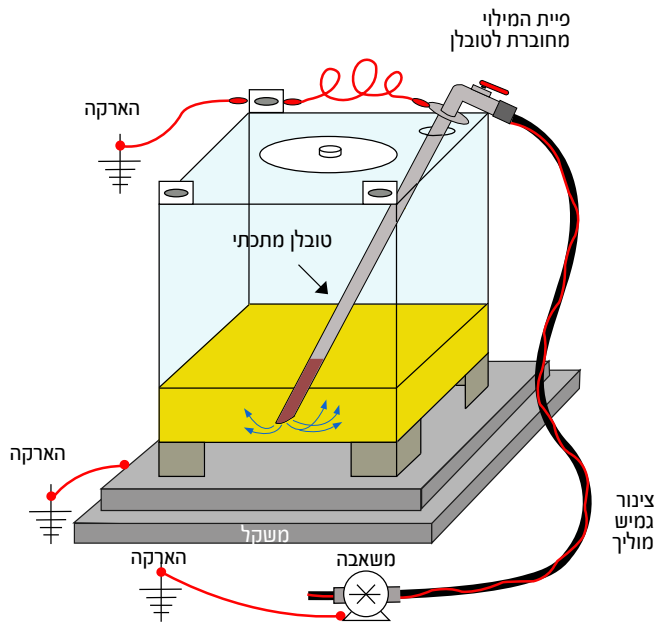
מתרחשת בנוזלים מבודדים היא יכולה לגרום, בסיטואציות מסוימות, לפריקת חשמל סטטי וכתוצאה מכך לפיצוץ או שריפה.

### מנגנון פריקת חשמל סטטי בנוזלים מוליכים - פריקת ניצוץ (Spark Discharge)

נוזלים מוליכים הם נוזלים שלהם מיטענים חשמליים החופשיים לנועה מוליכות החשמלית שלהם מעל 1,000 pS/m (היחידות המקובלות למוליכות חשמלית הן פיקו-סימנס למטר), לדוגמה: אתנול, מתנול, אצטון, אתיל אצטט, מים וכד'. מנגנון פריקת החשמל הסטטי הנפוץ ביותר בנוזלים מוליכים הוא מנגנון של פריקת ניצוץ (spark discharge) שבו הפריקה מתרחשת כתוצאה מהפרש פוטנציאלים, קרי: הפרש מיטענים בין שני גופים מוליכים.

מיטען החשמל הסטטי שנוצר יכול להצטבר הן על גבי הנוזל והן על גבי אבזרי מתכת במערכת שאינם מוארקים ("מתכת צפה"). כאשר ייווצרו התנאים המתאימים תתרחש פריקת מיטען החשמל הסטטי. אם ישנם גזים דליקים בתווך פריקת החשמל הסטטי, הפריקה עלולה לגרום לשריפה או לפיצוץ. ישנם שני מנגנונים מרכזיים לפריקות חשמל סטטי בנוזלים: פריקת ניצוץ (Spark Discharge) שהיא הפריקה הנפוצה ביותר בעבודה עם נוזלים מוליכים, ופריקת מברשת (Brush Discharge) שהיא הפריקה הנפוצה ביותר בעבודה עם נוזלים מבודדים. בעוד שגישור/הארקה הוא אמצעי בטיחות מרכזי למניעת פריקת ניצוץ, כאשר הפריקה

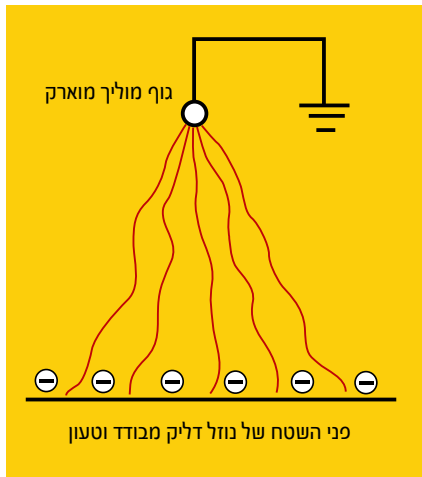
הכותב הוא מנהל המרכז לבטיחות תהליכית ומומחה לניתוח סיכונים תהליכיים וסיכונים אש דוא"ל: ssegev@cflppi.com www.cflppi.com



איור 2: אופן מילוי הקובייה המומלץ, שהיה מונע את פריקת החשמל הסטטי ואת הפיצוץ והשריפה שאירעו בעקבותיה

## מנגנון פריקת חשמל סטטי בנוזלים מבודדים - "פריקת מברשת" (Brush Discharge)

בנוזלים מבודדים כדוגמת טולואן, הקסאן, הפטאן וכד', המיטענים החשמליים אינם חופשיים לנוע ולכן - שימוש בגישור ובהארקה לא יבטיח את פריקת המיטען מהנוזל באופן בטוח. בנוסף לכך, בשונה ממנגנון פריקת החשמל הסטטי בנוזלים מוליכים ("פריקת ניצוץ" הנגרמת בשל הפרש פוטנציאליים בין שתי נקודות הנמצאות על גופים מוליכים שונים) מנגנון פריקת החשמל הסטטי בנוזלים מבודדים נגרם ע"י שדה חשמלי בין פני הנוזל הטעון לבין גוף מוליך, שנמצא סמוך לפני הנוזל ושאיננו טעון. לדוגמה: אם נקרב טובלן מתכתי לפני השטח של נוזל טעון, כגון טולואן,



איור 3: מנגנון "פריקת מברשת". הפריקה מתרחשת מפני השטח של הנוזל המבודד והטעון אל גוף מוליך מוארק. מאחר והפריקה היא מכל פני השטח, היא נראית בצורה של מעין מברשת.

העובדים שהיו באזור ניסו ללא הצלחה לכבות את האש בעזרת מטפים ידניים. האש התפשטה במהירות למחסן הכימיקלים הסמוך והציתה את הנוזלים הדליקים שאוחסנו בו. כתוצאה מהאש, החביות והמיכלים שאוחסנו במחסן החלו להתפוצץ ולעוף אל מחוץ לגדר המפעל, מה שגרם לנזק סביבתי רב ולפניו העובדים מכל המפעלים באזור. הסיבה לפיצוץ החביות היא שכאשר מיכלים מתכתיים חשופים לאש למשך זמן ממושך, נבנה בתוכם לחץ, עד להתבקעותם תוך העפת חלקים למרחקים גדולים ולהיווצרות כדור אש. מנגנון המכונה בספרות המקצועית - BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion).

תחקיר התאונה קבע כי בזמן האירוע היו בסמוך לפתח הקובייה אדי אתיל-אצטט בתחום הדליק. מאחר והצינור הגמיש בין המשאבה לפיית המילוי היה עשוי מחומר מבודד (גומי), הפייה לא היתה מוארקת. התנדודות של הפייה במהלך המילוי גרמו לכך שבמשך זמן קצר לא היתה רציפות חשמלית בינה לבין הקובייה המתכתית. למרות הזמן הקצר (חלקיקי שנייה) - נוצר מיטען חשמל סטטי על הפייה, מספיק בכדי לגרום להצתה. פריקת הניצוץ אירעה בשל הפרש הפוטנציאליים בין הפייה המתכתית שהיתה טעונה במיטען חשמל סטטי לבין הקובייה המתכתית שהיתה מוארקת, כלומר: עם מיטען אפס.

כשל בטיחותי נוסף היה אופן המילוי: מילוי דרך הפתח העליון יוצר התזה של הנוזל, וכתוצאה מכך להצטברות של חשמל סטטי עליו ולסיכון של ההתפרקות, הצתה ופיצוץ. את פריקת הניצוץ והפיצוץ שבא בעקבותיה ניתן היה למנוע באמצעים הבאים:

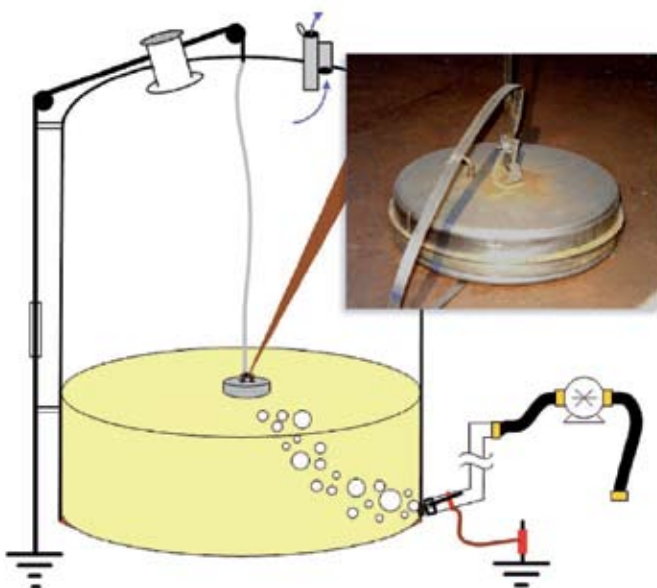
- אם הפייה היתה מוארקת באופן רציף וכתוצאה מכך היתה נמנעת הצטברות החשמל הסטטי עליה.

- אם פיית המילוי היתה מחוברת לטובלן ארוך, המגיע עד קרוב לתחתית המיכל, אשר היה מונע את המילוי בהתזה (איור 2).

לכן, על מנת למנוע הצטברות של חשמל סטטי בנוזלים מוליכים מומלץ:

- ✓ לוודא שהצנרת וכל האביזרים כגון: אוגנים, בריזים, מכשירי מדידה וכד', וכן ציודים שונים, מיכלים, ריאקטורים וכד', עשויים מחומרים מוליכים בלבד. שימוש באביזר שאינו עשוי מחומר מוליך עלול לגרום לניתוק הרציפות החשמלית במערכת וכתוצאה מכך להצטברות חשמל סטטי ופריקתו. אם הכרחי להשתמש בתהליך באביזר העשוי מחומר מבודד - כגון זכוכית או פלסטיק - יש להתקין "גישור" קרי חיבור כבל חשמלי לשני קצות האביזר, ובכך לשמור על הרציפות החשמלית במערכת.

- ✓ חשוב להאריק גם את המערכת: צנרת, מיכלים וכד', על מנת לאפשר למיטען חשמל סטטי שנוצר במהלך מילוי המיכל לזרום לאדמה, וכך למנוע הצטברות חשמל סטטי על חלקי המערכת השונים.



איור 4: המיכל בו התרחש הפיצוץ הראשוני, ככל הנראה כתוצאה מפריקה בין פני השטח של הנוזל המבודד למצוף או לכבל המתכתי שהיו מוארקים

**קורסים וימי עיון  
במחוז חיפה והצפון  
לחודשים מרץ, אפריל, מאי 2012  
הקורסים וימי העיון יתקיימו במלון הר הכרמל בחיפה**

מרץ		
<b>קורס מומים על הבטיחות בעבודה.</b> 36 ימי לימוד במתכונת יום בשבוע.	פתיחה 20.3	למהנדסים, בעלי תארים במדעי החיים, הנדסאים וטכנאים
קורס גאמיני בטיחות (בסיסי): 3 מפגשים רצופים	14.3-12.3	לעובדי תעשייה
קורס גאמיני בטיחות (מתקדם): 5 מפגשים רצופים	29.3-25.3	לעובדי תעשייה
קורס הובלת חומ"ס (בסיסי) השתלמות הובלת חומ"ס (רענון) יום עיון: בטיחות בעבודות חשמל	22.3-21.3; 8.3; 22.3; 5.3	לנהגים המעוניינים להוביל חומ"ס למובילי חומ"ס בעלי רישיון תקף לאנשי תחזוקה ועובדי תעשייה
אפריל		
קורס גאמיני בטיחות (בסיסי): 3 מפגשים רצופים	18.4-16.4	לעובדי תעשייה
השתלמות הובלת חומ"ס (רענון)	19.4; 5.4	למובילי חומ"ס בעלי רישיון תקף
מאי		
קורס גאמיני בטיחות (בסיסי): 3 מפגשים רצופים	16.5-14.5	לעובדי תעשייה
קורס הובלת חומ"ס (בסיסי) השתלמות הובלת חומ"ס (רענון) יום עיון: חומרי נפץ	24.5-23.5; 10.5; 25.5	לנהגים המעוניינים להוביל חומ"ס למובילי חומ"ס בעלי רישיון תקף לאחרים על פיצוצים

**קורסים וימי עיון שאין לגביהם מועד מדויק**  
בטיחות כללית ■ ציוד מגן אישי ■ הגנת מכוונות ■ סיכונים שמל ■ סיכונים עם חומרים כימיים ■ בטיחות בעבודה עם כלי עבודה ידניים ■ ארגונומיה ומניעת כאבי גב תחתון ■ הגורם האנושי בתאונות עבודה ■ ניהול תעסוקתית ■ עזרה ראשונה ■ תנאים סביבתיים (רעש, אבק, תאורה) ■ חקירת תאונות עבודה ■ בטיחות בהפעלת מלגה ■ בטיחות בעבודות בנייה ■ חוקים ותקנות (חוק ארגון ופקודת הבטיחות בעבודה) ■ אחריות משפטית ■ בטיחות בעבודות ריתוך ■ בטיחות אש ■ ניהול בטיחות ■ החלוקה, מעידות ונפילות ■ בטיחות בהפעלת עמרון ■ בטיחות בעבודות תחזוקה.

**לפרטים נוספים: מחוז חיפה והצפון**  
טל': 04-8218890-4, פקס: 04-8218895  
דוא"ל: [Haifa@osh.org.il](mailto:Haifa@osh.org.il)

**קורסים וימי עיון  
במחוז באר-שבע והדרום  
לחודשים מרץ, אפריל 2012**

הקורסים וימי העיון יתקיימו ב"בית יציב" באר-שבע

מרץ		
<b>קורס מומי בטיחות אש.</b> 11 מפגשים במתכונת של יום בשבוע	פתיחה: 20.3	לקהל הרחב
קורס גאמיני בטיחות (בסיסי) השתלמות הובלת חומ"ס (רענון) יום עיון: בטיחות בעבודות חשמל	20.3 + 13.3 + 27.3	לעובדי תעשייה ולקהל הרחב
	16.3	למובילי חומ"ס בעלי רישיון תקף לחשמלאים
	14.3	לחשמלאים
אפריל		
השתלמות הובלת חומ"ס (רענון)	20.4	למובילי חומ"ס בעלי רישיון תקף

**לפרטים נוספים: מחוז באר שבע והדרום**  
דוא"ל: [Beersheva@osh.org.il](mailto:Beersheva@osh.org.il)  
טל': 08-6276389, פקס: 08-6275129



איור 5: הפיצוץ שהתרחש במפעל 'Barton Solvents' באיובה ארה"ב - דוגמה לפריקת ניצוץ



איור 6: הפיצוץ שהתרחש במפעל 'Barton Solvents' בקנזאס ארה"ב - דוגמה לפריקת מברשת

עלוה להתרחש הצתה כתוצאה מפריקת מברשת. לכן, בעבודה עם נוזלים מבודדים, השימוש בגופים מתכתיים מוארקים - לרבות מוטות דיגום מתכתיים, טובלנים מתכתיים וכד' - עלול להוות סיכון לפריקת חשמל סטטי ולהצתה שתגרום לפיצוץ ו/או לשריפה.

**פיצוץ ושריפה שהתרחשו כתוצאה מפריקת מברשת**

במפעל אחר של חברת 'Barton Solvents' (קנזאס, ארה"ב), התרחש פיצוץ זמן קצר לאחר שהמפעיל בחוות המיכלים החל להעביר את תוכן התא האחרון של מיכלית כביש, שהכילה תזקינק נפט בשם VM&P Naphta, שהוא נוזל מבודד, לתוך מיכל אחסון של כ-60 מ"ק. מעוצמת הפיצוץ עף גג המיכל למרחק של כ-40 מ' באוויר ופרצה שריפה גדולה בחוות המיכלים שגרמה לפיצוץ של מיכלים נוספים כתוצאה מהאש מסביבם. פיצוץ המיכלים נבע ממנגנון "BLEVE". מתחקיר האירוע עלה כי:

- המיכל לא היה מחונקן (גז החנקן יוצר אווירה אינרטיית ולכן אינו מאפשר בעירה) ולכן היתה תערובת אדים נפיצה בתחום הנפיצות בחלקו העליון של המיכל.
- אופן המילוי מהתאים השונים, קרי זרימת הנוזל וכניסת האוויר, גרמו לטעינה מהירה של הנוזל בחשמל סטטי.
- במיכל היה מצוץ שהיה מחובר בכבל מתכתי מוארק. כנראה שהפריקה שהתרחשה היתה פריקת מברשת בין המצוץ או הכבל המתכתי לבין פני השטח של הנוזל.

**סיכום**

לפני קביעת אמצעי הגנה בפני חשמל סטטי, הכרחי לדעת אם הנוזלים בהם ייעשה שימוש בתהליך הם מוליכים או מבודדים. אם הנוזלים הם מוליכים - נשתמש בגישורים ובהארקות בכדי לוודא רציפות חשמלית בין כל חלקי המערכת השונים. לעומת זאת, אם הנוזלים הם מבודדים, יש להבטיח שלא יהיה מצב בו גוף מוליך מוארק יהיה בסמוך לפני השטח של הנוזל. ■