

המוסד לבטיחות ולגיהות

מרכז מידע ואינטרנט

רח' מזא"ה 22, ת.ד. 1122, תל-אביב 61010

טלפון: 03-5266455 פקס: 03-5266456

e-mail: info@osh.org.il

ת-188

סיכוני חשמל סטטי נוזלים דליקים



מאי 2014

מאת: דוד זיו



המוסד לבטיחות ולגיהות
בטיחות ובריאות בעבודה - זה אנחנו.

תוכן העניינים

<u>פרק</u>	<u>נושא</u>	<u>עמוד</u>
א.	הקדמה	2
ב.	מבוא	2
ג.	מוליכות חשמלית - הגדרות	3
ד.	אמצעי מנע בעת טיפול בנוזלים	3
ה.	מכלים	4
ו.	משאבות, מגופים (סגורים חלקית), מדידות , לקיחת דוגמאות / דיגום	9
ז.	צנרת	11
ח.	מתקנים תהליכים (ערבול, ערבוב, התגבשות) התזת נוזלים, ניקוי מכלים מערכות זכוכית	12

תודתנו נתונה למר אייל צדוק על הערותיו והארותיו המקצועיות

סיכוני חשמל סטטי בנוזלים - דגשים

תקן ישראלי 32-60079

הקדמה

פרסום זה מוצא לאור על ידי מרכז המידע והאינטרנט של המוסד לבטיחות וגיהות. מטרתו הוא מתן מידע בסיסי, דגשים כלליים והכוונה בטיחותית ראשונית בלבד שמקורה בתקן הישראלי הבא הדין בפירוט בנושאי סיכוני חשמל סטטי - ת"י 60079 חלק 32 - אטמוספרות נפוצות: סיכוני חשמל סטטי מאמר זה מבוסס על הרצאה שניתנה בנושא בערב עיון בלשכת המהנדסים - הפורום הישראלי לחשמל סטטי, 8.4.2014.

מבוא

סיכוני חשמל סטטי בתהליכים תעשייתיים ובסביבות תעשייתיות מהווים מקור לתקלות, כדלקות, השחתת ציוד וכן סיכונים לעובד. תהליכים תעשייתיים אלו כוללים טיפול במוצקים, נוזלים, אבקות, גזים, תרסיסים, חומרי נפץ. בכל אחד מהמקרים יש לאבחן ולזהות את המקור והאופי של גורמי הסיכון להיווצרות מטעני חשמל סטטי, ואת דרכי ההתמודדות.

במאמר זה נדון בדגשים עיקריים הנותנים כיוונים כיצד להימנע מסיכוני חשמל סטטי, בהתאם לכל מקום או סוג פעילות אשר מחייב הערכה מקומית ופרטנית. סוגים רבים של פעילויות בנוזלים דליקים מייצרים אטמוספירה דליקה על ידי אידוי הנוזל המטופל. נקודת ההבזקה מספקת אינדיקציה מקורבת לטמפרטורת פני השטח בה עלולה להיווצר אטמוספירה דליקה בתהליך. עם זאת השוני בין תנאי קביעת נקודת ההבזקה (מעבדתיים) והתנאים התעשייתיים, תנאי המדידה, מובילים להנחה שקולה שאטמוספירה דליקה יכולה להתקיים גם כאשר טמפרטורת פני הנוזל נמוכה מנקודת ההבזקה שניתנה עקב אי הודאות לגבי טמפרטורות, הרכב הנוזל ועוד.

רגישות של הצתת אטמוספירה דליקה תלויה בריכוז האדים ובאנרגיית הצתה המינימלית (MIE) של החומר. נוזלים נטענים במטען חשמלי כאשר הם נעים תוך מגע/חיכוך עם חומרים מוצקים או כאשר מצויות שתי פאות נוזליות או יותר בלתי ניתנות לערבוב והן בתנועה. גם התזת נוזל יכולה ליצור ענן טיפות או ערפל טעון מטעני חשמל סטטי.

הסכנה להיווצרות מטעני חשמל סטטי בנוזל ולצבירתם תלויה במאפייני הנוזל, כמוליכות וצמיגות. צבירת מטעני החשמל הסטטי גדלה ככל שהתנגדותו החשמלית של הנוזל גבוהה יותר. זמן הדעיכה (פיזור) של מטעני חשמל סטטי בחומר מבודד מתארך מאוד, והמטען שנצבר נפרק רק אחרי פרק זמן ארוך.

מוליכות חשמלית

מאפייני הנוזל כמוליך חשמלי חולקו ל-3 קבוצות סיווג, כאשר לכל קבוצה מאפיינים ודרכי התמודדות שונים בהתאם למוליכות חשמלית.

הגדרות

מוליכות חשמלית נמדדת ביחידות של pS/m - "פיקו סימנס למטר".

קבוצות החלוקה

- מוליכות גבוהה, 1000 PS/M ומעלה.
- מוליכות בינונית, בין 50 PS/M ל-1000 PS/M.
- מוליכות נמוכה, קטנה מ- 50 PS/M.

אמצעי מנע בעת טיפול בנוזלים

אמצעי המנע הנדרשים הנם רבים ומגוונים כאשר קיימים נושאים עקרוניים כלהלן:

- גישור והארקה – של אביזרים מחומר מוליך חשמלית-אשר מבודדים, כחלקי מתכת, מכלי מתכת, אובייקטים מוליכים הנמצאים כחלק מצנרת מבודדת.
- הגבלת יצירת מטעני חשמל סטטי
 - הגבלת מהירות הזרימה/ספיקה או הגדלת קוטר הצנרת
 - מניעת הימצאות פזה נוספת, כגון מים, בתחתית המכל, אם לא ניתן להגביל את מהירות הזרימה.
 - הימנעות מהתזה בעת המילוי, שימוש במילוי תחתי, או עילי עם צינור לתחתית, אם לא ניתן להגביל את מהירות הזרימה שלא תעלה על 2 מ/ש.
- ערבול/ערבוב/בחישה
 - הגבלת הספק המערבל, או מהירות הסיבוב (כגון, מקסימום 0.37 kw/m^3 עבור תרחיף של 1000PS/M, סימוכין: B.S.5958)
 - הימנעות מפזה נוספת שאינה מתמזגת כגון, מים, שמן, מוצקים
- ניקוי מכל עם סילון של נוזל
 - הגבלת לחץ השטיפה
 - הימנעות מפזה נוספת בעיקר אם הנוזל ממוחזר
 - התזת הנוזל בצורת טיפות ולא ריסוס דק כסילון.
 - הימנעות של היווצרות שלולית מבודדת בתוך המכל.
- הימנעות מיצירת אטמוספירה מסוכנת
 - מניעת היווצרות חלל אויר ריק מנוזל
 - יצירת אווירה אינרטיית בחלל מעל הנוזל על ידי גז כחנקן, CO_2
 - הימנעות מטעינת חילופין (switch loading)
 - טיהור וניקוי המכל לאחר שינוע נוזל נדיף
 - הבטחת העברת אוויר נקי דרך המערכת בקביעות ובדיקת ריכוז הגזים
- הוספת תוסף אנטי סטטי להגברת המוליכות החשמלית.

מכלים

הסיכונים האפשריים הנובעים ממתעני חשמל סטטי ושיוך אמצעי המנע האפשריים מתחלקים בהתאם לחומרים מהם בנויים המכלים: מוליכים, מפזרים, או מבודדים כדלהלן:

• מחולקים לפי חומרי המבנה וציפויים

- מוליכים – עם ההתנגדות לאדמה $1\text{K}\Omega$ ומטה
 - מפזרים - עם ההתנגדות לאדמה $1\text{M}\Omega$ ומטה
 - מבודדים
 - שימוש במכלים עם ציפויים/צביעה, יריעות
- הפעילויות הגורמות להיווצרות מטעני חשמל סטטי בתוך המיכל כולל מילוי העברה/ שאיבה (תוכן המיכל), ריקון, מדידה ודיגום. אם יכולה להתקיים אווירה דליקה אזי חייבים לנקוט באמצעי מנע.

• מכלים מחומר מוליך

- חלוקת משנה
- מכלים גדולים - מכלים בעלי אלכסון גדול מ- 5 מטר.
- מכלים בינוניים - מכלים בעלי אלכסון קטן או שווה ל- 5 מטר, ונפח גדול מ- 1 מ"ק
- מכלים קטנים - מכלים בעלי נפח קטן או שווה ל- 1 מ"ק

• מכלים גדולים

- עקב אי אחידות במוליכות הנוזל או במבנה המכל יש לנקוט באמצעי המנע הבאים:
- הארקת כל חלקי ואביזרי המכל המוליכים.
- אנשים הנכנסים למכל או עובדים ליד פתחים גלויים, יהיו מאורקים
- הימנעות ממילוי בהתזה,
- כניסה מהצד/דופן ליד התחתית, או צינור אנכי מגיע עד לתחתית.

• מכלים עם גג קבוע

- עבור נוזל עם מוליכות נמוכה ובינונית, בדיקת פנים המכל בתדירות קבועה לאיתור של חלקי מתכת חופשיים
- אמצעי זהירות עבור נוזלים עם מוליכות חשמלית נמוכה כגון:
- מיקום משאבות ומסננים רחוק מהמכל לאפשר פריקה של מטענים
- מהירות מילוי עד 1 מ/ש עד:
- קצה צינור המילוי ואבזרים נוספים חייבים להיות שקועים בנוזל
- אם מצויים מים בצינור המילוי - עד שלא יישארו מים בצינור
- אם מצויים מים או משקעים על הקרקעית, יש לנטר ולנקז ככל האפשר
- ניתן להגביר מהירות המילוי עד 7 מ/ש אם הנוזל בעל פאזה אחת ולא מהול, בהעדר סיכון אחר.

• מכל עם גג צף פנימי וחיצוני

- מהירות מילוי עד 1 מ/ש עד שהגג צף.

• מכלים בינוניים

- מילוי ראשוני מהירות מילוי עד 1 מ/ש עד שקצה הצינור שקוע בנוזל, אי הימצאות מים ומשקעים
- זרימה מלאה במידה ואין הפרעות כמשקעים או מים על הקרקעית, ניתן להגביר מהירות מילוי עד 7 מ/ש לפי חישוב מגבלת $V \cdot D$.

- מהירות מילוי עד 1 מ/ש אם קיימים משקעים, נוזל מהול, מים שמתערבלים

• מגבלת מהירות המילוי משתמשת בחישוב של $V \cdot D$

כאשר :

V – מהירות זרימת הנוזל במטר לשנייה.

D - קוטר פנימי (במטר) של צינור הכניסה למכל.

- מגבלת $V \cdot D$ תלויה בצורת המכל, שיטת המילוי, (עילי/תחתית) והנוזל עצמו

- המכל הקריטי הוא קובייה

- הנפח הקריטי נמצא בתחום של 1 עד 5 מ"ק

- הבדלים בין מכלים קבועים וניידים המשפיעים על חישוב $V \cdot D$

- במכלים קבועים ניתן לחשב את מהירות הזרימה (בגלל קוטר מכל קבוע)

- במכלים ניידים כמכליות כביש (שוני בנפח תאי המכלית) יש לחשב לתא הקטן ביותר

- במוליך (חשמלי) מרכזי הקיים במכלית בלבד (באמצע תא של מכלית, מסייע בפריקת מטעני חשמל

סטטי), משפיע על חישוב $V \cdot D$

- סוג הנוזל והרכבו, כגון תכולת הגופרית בסולר פחות מ- 50 ח.ל.מ

• מכלים קבועים

כדי להימנע או להקטין היווצרות מטעני חשמל סטטי, רצוי לנקוט אמצעים כדלהלן :

- צנרת מוליכה או מפזרת

- יש להימנע ממילוי בהתזה

לעיתים חייבים למלא נוזל בהתזה בגלל התהליך אזי :

- צינור המילוי יהיה צמוד ומקביל לדופן המכל

- מהירות המילוי לא תעלה על 50% מ-VD ובכל מקרה לא יותר מ- 2 מ/ש

- מרחק בין קצה צינור המילוי ופני הנוזל המקסימאלי לא יפחת מ- 20 ס"מ, כדי למנוע פריצת ניצוץ בין קצה הצינור לבין פני הנוזל.

- נוזלים שאינם נדיפים, כשמנים, ניתן למלא לא בהתאם למגבלות, בהעדר גורמי סיכון.

- יש למנוע חדירת אוויר וגזים לצנרת

- אין לנקות קווים או עם אוויר או גזים כדי למנוע מעבר מגבלת מהירות של 2 מ/ש

• משוואות המילוי

$$V \cdot D = N \cdot 0.5 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$V \cdot D = N \cdot 0.38 \text{ m}^2/\text{s}$$

בחירת המשוואה לפי שיטת המילוי וקיום/אי קיום מוליך מרכזי

חסם עליון מהירות מילוי עד 7 מ/ש

כאשר:

V – מהירות זרימת הנוזל במטר לשנייה. D – קוטר פנימי של צינור המילוי במטר.

N – פקטור התלוי באורך המכל או תא המכלית,

בוחרים $N=1$ למכליות כביש (מצב הגרוע ביותר – תא הקטן ביותר)

– אם קיים מוליך מרכזי בוחרים $0.5 = V \cdot D$

• מילוי מכליות כביש

- גישור כל חלקי המכלית

- הארקה וחיבור למתקן המילוי

- התקנת מערכת ניטור הארקה ושילוב הפסקת המילוי ברגע של ניתוק הארקה.

דוגמאות לספיקות עבור ממיסים וכימיקלים

Table 4 - Maximum filling velocities for loading low conductivity liquids other than petroleum products into road tankers

Fill pipe diameter* mm	Road Tankers			
	Top Loading $vd = 0,50 \text{ m}^2/\text{s}$		Bottom Loading $vd = 0,38 \text{ m}^2/\text{s}$	
	Filling Velocity m/s	Flow Rate m^3/min	Filling Velocity m/s	Flow Rate m^3/min
50	7,0	0,83	7,0	0,83
80	6,3	1,90	4,7	1,40
100	5,0	2,40	3,8	1,80
150	3,3	3,50	2,5	2,70
200	2,5	4,70	1,9	3,50

* or diameter of critical pipe section (see definition of d in 5.4.4.2.2).

טבלה מהתקן

דוגמאות לספיקות עבור דלקים

Table 7 - Flow rate limits for road tankers

Fill pipe diameter *mm	$vd = 0,25$		$vd = 0,35$		$vd = 0,38$		$vd = 0,5$	
	Fluid velocity m/s	Filling rate l/min	Fluid velocity m/s	Filling rate l/min	Fluid velocity m/s	Filling rate l/min	Fluid velocity m/s	Filling rate l/min
50	5	590	7	830	7,0	830	7,0	830
80	3,1	940	4,4	1 300	4,7	1 400	6,3	1 900
100	2,5	1 200	3,5	1 650	3,8	1 800	5,0	2 400
150	1,7	1 800	2,3	2 500	2,5	2 700	3,3	3 500
200	1,25	2 400	1,75	3 300	1,9	3 600	2,5	4 700

*or diameter of critical pipe section of feeding line, (see definition of d in text).

טבלה מהתקן

דוגמאות לספיקות עבור דלקים – עבור סולר עם ריכוזי גפרית שונים

Table 6 - Influence of the sulphur content on *vd* limits for road tankers

Product class	Conductivity pS/m		
	>50	>10	<10 or unknown
Diesel or gas oil with > 50 ppm S and all other fuels	$vd < 0,5$	$vd < 0,5$	$vd < 0,38$ ($vd < 0,5$)
Diesel or gasoil with < 50 ppm S	$vd < 0,5$	$vd < 0,38$ ($vd < 0,5$)	$vd < 0,25$ ($vd < 0,35$)

NOTE Values in brackets apply to vehicles suitable for high speed loading (see Table 5). The additional low sulphur restrictions do not apply to gasolines

טבלה מהתקן

• מכלים קטנים מוליכים ממתכת - חביות, מכלי דלק, מכלי קובייה (IBC)

- אם המכלים מצופים יש להתנהג כמכלים מבודדים
- אמצעי מנע שיש לנקוט כשאטמוספירה נפיצה יכולה להימצא
- כל חלקי המכל והמערכת המוליכים צריכים להיות מאורקים
- אין לבודד משפך מתכתי מהמכל על ידי מחבר/ מעבר מפלסטיק
- אין להשתמש במשפך מפלסטיק אלא מחומר מפזר
- אין לעבור את מגבלות VD לגבי נוזל בעל פאזה אחת.
- מהירות מילוי נוזל בעל 2 פאזות בעלי מוליכות נמוכה ובינונית לא תעלה על 1 מ/ש
- מהירות המילוי לנוזלים בעלי רגישות להצתה לא תעלה על 1 מ/ש
- אם מותקן מסנן מיקרוני בכניסה יש לנקוט אמצעי זהירות לפיזור המטען החשמלי.
- מכלים לנוזלים הנמנים בקבוצת IIC יהיו מחומר מתכתי או מפזר.

• מכלים קטנים מפזרי חשמל סטטי

- בדומה למכלי מתכת יש לסמנם כמכלים מפזרי חשמל סטטי
- אם קיימים בהם אביזרים מחומר מבודד מעל שטח מסוים, יש להתייחס אליהם כמכלים מבודדים.

• מכלים עם פני שטח מבודדים

מכלים מוליכים ומפזרים עם בידוד פנימי.

- אמצעי מנע להיווצרות מטעני חשמל סטטי
- חייב להיות מגע טוב בין הציפוי לדפנות
- חייב להיות מוליך חשמלי לאורך המכל עבור כל סוג של נוזל

- בעת כניסה למכל לניקוי, האדם צריך להיות עם ביגוד ונעליים אנטיסטטיות ומאורק, אחרת עשוי לצבור עליו מטען חשמל סטטי ופריקתו תהיה בתוך המכל

- יש להימנע מתדירות מילוי גבוהה, כדי לאפשר למטענים שנצברו להתפזר

מכלים מוליכים ומפזרים עם בידוד חיצוני

בידוד חיצוני יכול להיטען וגם לבודד אביזרים מוליכים, אם עובי הציפוי קטן מ- 2 מ"מ פריקת מברשת יכולה לקרות, יש להאריק את כל חלקי המתכת.

• מכלים עם ציפוי מוליך קבוע בדפנות

יש להתייחס לני"ל כמכלים מוליכים עם ציפוי פנימי וחיצוני ובנוסף יש לנקוט באמצעים הבאים:

- השכבה המוליכה צריכה להיות קשיחה ומוארקת

- אם הנוזל אינו במגע עם השכבה המוליכה, יש להתקין פלטת מתכת בתחתית המכל או צינור מילוי מוליך

עד לקרקעית.

- אם השכבה המוליכה היא רשת או סריג מתכתי יש מגבלות שטח מגע עם הנוזל.

• מכלים בינוניים (IBC) מבודדים עם מעטפת מוליכה.

מכלים בנפח של כ- 1 מ"ק – מכלי פלסטיק (בדרך כלל קובייה).

- מכלים עם ציפוי חיצוני מוליך מלא או עם רשת פתוחה לכל הדפנות (6)

- אמצעי מנע נדרשים עבור נוזלים בעלי רמת אנרגיה הצתה מסוימת או קבוצות סיווג לפיצוץ

- אסור למלא נוזלים רגישים במיוחד כגון מתנול

- אי שימוש במכלים באזורי סיכון " 0 "

- כל המכל חייב להיות מוקף ברשת/ ציפוי מוליך בעלי מיפתח שאינו עולה על 10,000 ממ"ר

- מקומות שאינם מוקפים יהיו מחומר מפזר ומאורקים (כפקקי המילוי)

- מוליך מתכתי יהיה במגע עם הנוזל ומאורק.

- כל האביזרים והחלקים המוליכים צריכים להיות מגושרים ומאורקים.

- יש להימנע ממילוי בתדירות גבוהה

- אין למלא עם נוזל אחר

- יש להגביל את ספיקת המילוי ל – 400 ליטר/דקה, ומהירות המילוי לא תעלה על 2 מ/ש

- אין למלא את המיכל מיידית לאחר ניקוי או היצור, המיכל עלול להיות טעון בחשמל סטטי.

- יש להתאים את המכלים ואמצעי המנע בהתאם לסיווג קבוצות הנוזל

• מכלי (IBC) המשמשים לערבול או לערבוב נוזלים

אמצעי מנע נדרשים

- שימוש במיקסר/ מערבל מוגן נגד התפוצצות

- כפות מערבל מתכתיות גדולות וטבולות בנוזל

- המוליכות החשמלית של אחת הפאזות תהיה לפחות 1000 PS/M

- יש לדאוג להארקת המכל והמיקסר כולל הכפות המתכתיות

- אין להפעיל את המיקסר עד שהכפות טבולות לגמרי

- מהירות הסיבוב ההיקפי עבור פאזה אחת 7 מ/ש ועבור מספר פאזות 1 מ/ש
- אם מערבלים נוזל שמטבעו נטען במטען גבוה, יש לנקוט באמצעים מיוחדים כאווירה אינרטי
- במקרה של מהירות סיבוב גבוהה, נדרש שימוש במערבל עם אמצעים מיוחדים כגון dissolvers

• מכלים בנויים בשלמותם מחומר מבודד

- מכלים תת-קרקעיים

- במקרה כזה מתייחסים כמכלים מוליכים אבל עם ציפוי פנימי
- עבור נוזלים דליקים יש צורך במגע מתכתי כמו צינור מילוי מאורק
- יש למנוע מילוי חוזר בתדירות גבוהה, כדי לאפשר למטענים שנצברו להתפזר

- מכלים על – קרקעיים

- לא מומלץ להשתמש עבור נוזלים היכולים ליצור אווירה דליקה בתוך או מחוץ המכל.
- אם חייבים יש לנקוט באמצעים מיוחדים.
- באזורי סיכון ניתן להשתמש במגבלות בהתאם להערכת סיכונים של מומחה, באזור "0" אין להשתמש במכלים מבודדים אלא רק בקטנים (עד נפח 1 ליטר) עבור לקיחת דוגמאות ממכל.

• נוזלים בעלי צמיגות גבוהה (קינמטית מעל 100 ממ"ר לשנייה)

- נוטים להיטען יותר מאשר נוזלים בעלי צמיגות קינמטית נמוכה כדלקים וממיסים, לכן המלצות עבור נוזלים עם צמיגות נמוכה אינן מתאימות עבורם.
- יש להימנע מטעינת חילופין כגון מילוי שמן מנוע אחרי בנזין.

• פילטרים, מסננים מפרידי מים

- זרימה דרך פילטרים עדינים (קטנים מ- 150 מיקרון) ומפרידי מים מגבירה מאוד היווצרות מטעני חשמל סטטי, לדוגמה זרימה דרך מיקרו פילטר (קטנים מ- 30 מיקרון) יוצרת צפיפות מטען שיכולה להגיע ל- $5000 \mu\text{C}/\text{m}$ לעומת צפיפות מטען של $10 \mu\text{C}/\text{m}$ בזרימה בצינור.
- מסננים בדרך כלל מגבירים את היווצרות המטענים בצורה מתונה
- יש צורך בפריקת המטענים בעת הזרימה לפני כניסה למכל

אמצעי מנע

- חלקים מתכתיים מגושרים ומאורקים
- חלל המסנן או תא השהיית הנוזל חייב להיות מלא כדי למנוע היווצרות אווירה דליקה
- כאשר ידוע זמן הפריקה המינימלי של הנוזל, יש לתכנן זמן השהייה פי 3 על מנת לאפשר פיזור המטען החשמלי הסטטי

- כאשר זמן השהייה נמוך מאוד או לא ידוע, יש לנקוט בזמנים שונים בהתאם לדרגות הסיכון
- כאשר לא ניתן להשהות, יש לנקוט אמצעים מיוחדים כיצירת אווירה אינרטי במכל

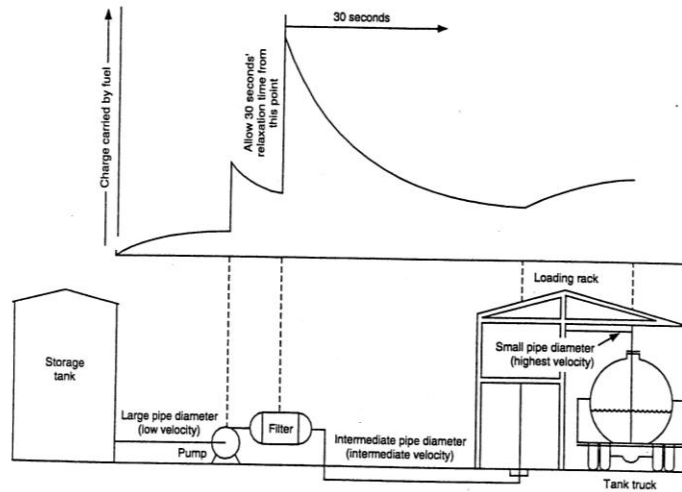


Figure 7—Electrostatic Charge Generation During Tank Truck Loading

• משאבות, מגופים (סגורים חלקית)

משאבות או מגופים הסגורים חלקית בדרך כלל אינם גורמים להיווצרות מטעני חשמל סטטי גבוהים, אי לכך זמן השהייה המומלץ לפיזור המטענים תוך כדי הזרימה הוא פי 3 מזמן המינימלי של הנוזל אולם מקסימום 30 שניות.

• מדידות, ולקיחת דוגמאות / דיגום

מדידת פני גובה הנוזל במיכל ולקיחת דוגמאות עלולות לגרום לפריקת/הצתת מטעני חשמל סטטי לאחר פעילות כלשהיא במכל, בדגש לאחר מילוי/ הזרמה למיכל או ערבול וזאת ללא תלות בגודל/נפח המיכל. ציוד המדידה/דיגום והאדם המבצע את הפעילות עלולים להיטען ממטעני חשמל סטטי אשר נמצאים על הנוזל במכל.

אמצעי מנע/זהירות

- כל החלקים המוליכים ו/או המפזרים צריכים להיות מאורקים למכל או ישירות לאדמה.
- לגבי נוזל עם מוליכות נמוכה או בינונית, החוט (המשמש להורדת ציוד המדידה או הדיגום), מכשיר המדידה והכלי ללקיחת דוגמאות (קטן מ- 1 ליטר) עדיף שיהיו עשויים מחומר מבודד.
- יש להקפיד שהאדם לא יהיה טעון במעני חשמל סטטי על ידי שימוש בביגוד ונעליים אנטי סטטיות.
- כאשר אין מערכת מדידה קבועה או צינור מוביל במכל להורדת / העלאת ציוד המדידה או הדיגום יש לנקוט באמצעים הבאים :
- אין לבצע מדידות או לקיחת דוגמאות בעת הזרמה או ערבול.
- יש להמתין לפחות 30 דקות לאחר גמר פעילות מילוי, סחרור ושיקוע.
- אין לקחת דוגמאות דרך פתח גלוי כאשר יש אווירה אינרטיית
- אין לבצע מדידות או לקיחת דוגמאות בעת סופת ברקים, גשמים או שלג.

צנרת

זרימת נוזל בצנרת לסוגיה (קשיחה, או גמישה) יוצרת מטעני חשמל סטטי. במידה והצנרת בנויה מחומרים מוליכי חשמל או מפזרי חשמל, מגושרת ומאורקת, מטעני חשמל סטטי אינם יכולים להצטבר על דפנות הצנרת. מטעני החשמל הסטטי שנוצרים תוך כדי הזרימה מועברים עם הזורם למיכל (במידה ולא מתפוגגים בדרך).

כאשר הצנרת בנויה מחומרים מבודדים, מטעני חשמל סטטי יכולים להצטבר על הדפנות ולגרום לסכנות. עוצמת המטען הנוצרת תלויה במספר משתנים כחומר ממנו בנוי הצינור, מוליכות הנוזל, והגיאומטריה של הצנרת.

מטעני החשמל הסטטי יכולים להיווצר על הדופן הפנימית ו/או החיצונית של הצינור.

סיווג צנרת קשיחה – קטגוריות

הצנרת מסווגת לקטגוריות בהתאם למוליכותה כלהלן:

- מוליכה התנגדות קטנה מ- $1\text{K}\Omega/\text{m}$
 - מפזרת $1\text{K}\Omega/\text{m} < \text{התנגדות} < 1\text{M}\Omega/\text{m}$
 - מבודדת ההתנגדות גדולה מ- $1\text{M}\Omega/\text{m}$
- בסוגי הצנרת הבאים יש לנקוט באמצעי המנע כדלהלן:
- צנרת מוליכה ומפזרת חייבת להיות מגושרת ומאורקת
 - צנרת מוליכה עם ציפוי פנימי – יכולה להיות מבודדת, מותנה בסוג הציפוי

• צנרת מבודדת על קרקעית

- לגבי נוזל בעל מוליכות נמוכה ובינונית, יש להתאים את התנגדות הצנרת בהתאם להערכת סיכונים של מומחה. בכל מקרה יש לבחור בהתאם למקרה הגרוע.
- נוזל בעל מוליכות גבוהה
- לנקוט כמו לגבי נוזל בעל מוליכות נמוכה ובינונית או:
- יש להבטיח שהנוזל יהיה במגע מלא עם אביזרים מוליכים כמגופים ושמהירות הזרימה לא תעלה על 1 מ/ש .
- יש להאריק כל חלק מתכתי בצנרת – כמו אוגנים ומגופים
- כדי למנוע פריקה פנימית, יש לדאוג שהצינור יהיה מלא או לקיום אווירה אינרטית.
- כדי למנוע פריקה וחירור הדופן, יש לבחור צינור עם מקדם דיאלקטרי גבוה.

• צנרת מבודדת תת קרקעית

- בדרך כלל אמצעי זהירות אינם נדרשים, אם לצנרת יש מקדם התנגדות גבוהה יש לדאוג ל:
- בעת הזרמת נוזל בעל מוליכות גבוהה
- מגע של הנוזל עם חלקים מוליכים כמגופים
- הגדלת החוזק הדיאלקטרי למניעת חירור הדופן, ולמהירות זרימה נמוכה
- כיסוי נקודות חיבור של חלקי צנרת בעלי סלילי חשמל ששימשו לריתוך הצנרת.

- בעת הזרמת נוזל בעל מוליכות קטנה ובינונית
- הגדלת החוזק הדיאלקטרי למניעת חירור הדופן , ולמהירות זרימה נמוכה
- מניעת אטמוספירה מסוכנת בתוך הצנרת (על ידי הזרמה של מלוא שטח חתך הצנרת
- בעת חשיפת חלקי צנרת, יש להיזהר מחלקים מוליכים גלויים באווירה דליקה. למניעת סכנה יש להאריקים.

• צנרת גמישה

• סיווג הצנרת – קטגוריות

הצנרת מסווגת לקטגוריות בהתאם למוליכותה כלהלן:

- מוליכה , גישור / רצף חשמלי - התנגדות קטנה מ- $R < 1k\Omega$.
בהתאם לתקן ISO 8031 התנגדות קטנה מ- $R < 100k\Omega$
- מוליכה - התנגדות קטנה מ- $R < 1k\Omega$.
בהתאם לתקן ISO 8031 התנגדות קטנה מ- $R < 1M\Omega$
- מפזרת התנגדות $1k\Omega \leq R < 1M\Omega$
בהתאם לתקן ISO 8031 התנגדות בין $1k\Omega \leq R \leq 100 M\Omega$
- מבודדת ההתנגדות $1 M\Omega \leq R$
בהתאם לתקן ISO 8031 התנגדות גדולה מ- $R \geq 100 M\Omega$

ההתנגדות הנה ליחידת אורך (כולל הצינור ואביזרי החיבור) לצינור מקצה לקצה (חיבור לחיבור)

- תת הגדרות לסיווגים של צנרת גמישה מופיעות בתקן ISO 8031
קיימים מספר תת-סוגים של צינורות גמישים, מוליכים או מפזרים
- צינור עם רשת מתכתית בהיקף בין שכבות הצינור המחוברת לאביזרי הקצה ממתכת.
- צינור עם מוליך / חוט מתכתי בתוך שכבות הצינור ומחובר לאביזרי הקצה ממתכת.
- שכבה חיצונית ו/או פנימית של הצינור מוליכת חשמל (בעלת התנגדות) ומחוברת לאביזרי הקצה ממתכת.

מתקנים תהליכים (ערבול, ערבוב, התגבשות)

תהליכי ערבול, ערבוב, או התגבשות של נוזלים או תרחיפים יכולים לגרום לסיכון של הצתה כתוצאה ממטעני חשמל סטטי. כאשר התהליכים הנ"ל כוללים נוזלים בעלי מוליכות חשמלית נמוכה ולעיתים בינונית, המטען נצבר/ נותר בפאזה הנוזלית בתרחיף שבנוזל או בחלקיקים המוצקים, או על חלקים מתכתיים מבודדים. אם קיימת אווירה דליקה קיים סיכון של הצתה מפריקת חשמל סטטי.

רמה גבוהה של מטען אלקטרו סטטי נוצרת כאשר מעורבים נוזלים שאינם ניתנים למיזוג (כדלהלן: כשמן ומים) או נוזל שיש בו מוצקים מרחפים.

על מנת למנוע היווצרות מטענים העלולים לגרום לפריקה מומלץ לנקוט אמצעי מנע:

- גישור והארקת כל החלקים המתכתיים
- ערבול בתוך הקו אינו מהווה סיכון בדרך כלל מאחר והקו מלא עם נוזל כך שלא יכולה להיווצר בו אווירה דליקה ואפשרות של פריצת ניצוץ פנימי בקו.
- יש לאפשר זמן דעיכה למטען לפני הגיעו למכל.
- **ערבול במכל**
 - אם קיים גם נוזל מפזר כחלקיקים או מוצקים, ניתן להקטין את הסיכון ממטעני החשמל הסטטי ע"י:
 - תוספת אחוז מסוים של ממיס מוליך
 - הכנסת תוסף אנטי סטטי
 - יצירת אווירה אינרטיה במכל
- **ערבול על ידי זרם נוזל**
 - אם הנוזל מעל 50 PS/M אין סיכון מיוחד במידה ואין שבירת פני הנוזל
 - הכנסת תוסף אנטי סטטי לשיפור המוליכות החשמלית
- **במידה ולא ניתן לקיים את הנ"ל גורמים שיש לבדוק**
 - סמיכות של חלקים פנימיים במכל לפני הנוזל
 - נוכחות של פאזה נפרדת כמים בתחתית
 - האם ממלאים את המכל תוך כדי הערבול
 - פרק הזמן שחלף מסיום המילוי.

התזת נוזלים וניקוי מכלים

- התזת נוזלים לתוך מכלים גורמת לטיפות וערפל הנושאים מטעני חשמל סטטי העלולות לגרום לפריקה.
- התזת מים יכולה להתבצע בתחום מוגבל של לחצים המפורטים בתקן, כמו כן ניתן לבצע גם למכלים המשמשים לצרכי תהליכים עם מגבלה לביצוע עד גודל מסוים (קטרי מכל)
 - התזת נוזל כימי בעל מוליכות נמוכה למכלים מתכתיים עד נפח מסוים ובלחץ וספיקה מסוימת.
 - אסור שהנוזל יהיה בעל 2 פאזות (מעל ערך נתון)

ניקוי מכלים בקיטור

- ניקוי מכלים שהכילו פחמימנים / דלקים עד נפח 100 מ"ק - ניתן לנקות עם קיטור במגבלות המפורטות בתקן

מערכות זכוכית

פריקה חשמלית יכולה להתרחש במערכות מזכוכית בעיקר בנוזלים בעלי מוליכות חשמלית נמוכה, המטען נוצר על פני הזכוכית. לעיתים הזכוכית מצופה חיצונית בחומר פלסטי, בעל מוליכות חשמלית נמוכה ואז הצטברות המטען גדלה באופן משמעותי.

- **אמצעי מנע בנוזלים בעלי מוליכות נמוכה**

בהתאם לסיווג קבוצות הנוזל (מוליכות חשמלית)

- הארקה של כל חלקי המתכת כאוגנים

- במערכות היוצרות מטענים רבים כפילטרים, גם האוגנים יהיו מחומר מבודד

- במערכות זכוכית או זכוכית מצופה מתכת המזרימות נוזלים מוליכים, יש לדאוג להארקה על ידי הכללת חלק מתכתי באחת הקצוות המערכת /צנרת או, הכנסת חלק מתכתי בתחתית המערכת.

אמצעי מנע - גישור הארקה דוגמאות (מקור NFPA 77)

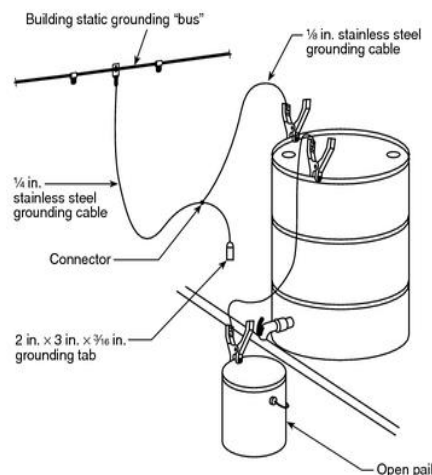
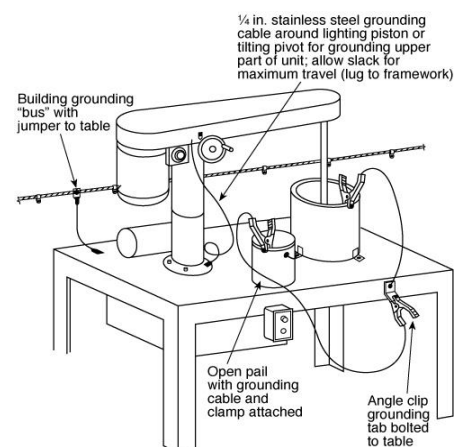


FIGURE G.1(e) Typical Grounding System for Small Volume Solvent Dispensing via Drum Tap. (Source: NPCA, Generation and Control of Static Electricity.)



Typical Grounding System for Small Equipment. (Source: NPCA, Generation and Control of Static Electricity.)

FIGURE G.1(g)

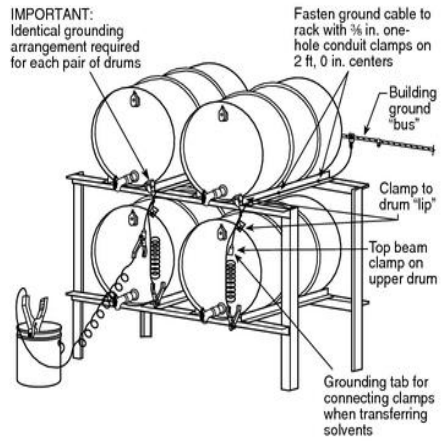


FIGURE G.1(h) Typical Grounding System for Small Volume Solvent Handling at Dispensing Station. (Source: NPCA, *Generation and Control of Static Electricity*.)

אמצעי מנע - גישור הארקה דוגמה (מקור CSB, usa)

