

סיכוני חשמל סטטי בנוזלים - דגשים

תקן ישראלי 60079-32



דוד זיו

מרכז המידע והאינטרנט, המוסד לבטיחות וגיהות

אפריל 2014 לשכת המהנדסים

מוליכות חשמלית - הגדרות

- מוליכות חשמלית נמדדת ב- PS/M "פיקו סימנס למטר".

- חלוקה לקבוצות

- מוליכות גבוהה $1000_{\text{PS/M}}$ ומעלה.
- מוליכות בינונית בין $50_{\text{PS/M}}$ ל- $1000_{\text{PS/M}}$.
- מוליכות נמוכה קטנה מ- $50_{\text{PS/M}}$.

סיכום אמצעי מנע בעת טיפול בנוזלים

- גישור והארקה – של חלקים מוליכים 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 כמים בתחתית המכל אם לא ניתן הגבלת מהירות הזרימה
 - הימנעות מהתזה בעת המילוי, מילוי תחתני, או עילי עם צינור לתחתית, אם לא ניתן הגבלת מהירות הזרימה
- שלא יעלה על מ/ש 2

• ערבול/ערבוב/בחישה

- הגבלת הספק המערבל, או מהירות הסיבוב

(כגון, מקסימום 0.37 kw/m^3 עבור תרחיף של 1000PS/M, מקור B.S.5958)

- הימנעות מפזה נוספת שאינה מתמזגת כגון, מים ושמן

• ניקוי מכל עם סילון של נוזל

- הגבלת לחץ השטיפה

- הימנעות מפזה נוספת בעיקר אם הנוזל ממוחזר

- התזת הנוזל בצורת טיפות ולא סילון, הימנעות של היווצרות שלולית מבודדת.

• הימנעות מיצירת אטמוספירה מסוכנת

- מניעת היווצרות חלל ללא נוזל

- יצירת אוויר אינרטי בחלל מעל הנוזל על ידי גז כחנקן, CO_2

- הימנעות מטעינת חילופין
- טיהור ניקוי המכל אחרי שינוע נוזל נדיף
- הבטחת העברת אוויר נקי דרך המערכת בקביעות ובדיקת ריכוז הגזים
- הוספת תוסף אנטי סטטי להגברת המוליכות החשמלית.

מכלים

- מחולקים לפי חומרי המבנה וציפויים
 - מוליכים – שההתנגדות לאדמה $1_{K\Omega}$ ומטה
 - מפזרים - שההתנגדות לאדמה $1_{M\Omega}$ ומטה
 - מבודדים
 - שימוש במכלים עם ציפויים/צביעה , יריעות
- מכלים מחומר מוליך
 - חלוקת משנה
 - מכלים גדולים
 - מכלים בינוניים
 - מכלים קטנים

• מכלים גדולים

עכב אי אחדות במוליכות הנוזל או במבנה המכל יש

לנקוט באמצעי המנע הבאים:

- הארקת כל חלקי ואביזרי המכל.

- 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 בתדירות

קבועה לחלקי מתכת חופשיים

**- אמצעי זהירות עבור נוזלים עם מוליכות חשמלית נמוכה
-מיקום משאבות ומסננים רחוק מהמכל לאפשר פריקה של
מטענים**

- מהירות מילוי עד 1 מ/ש עד :

- קצה צינור המילוי ואבזרים נוספים מוצפים

- אם מצויים מים בצינור המילוי עד שהצינור ישאר ללא מים

**- אם מצויים מים או משקעים על הקרקעית יש לנטר ולנקז
ככל האפשר**

ניתן להגביר מהירות המילוי עד 7 מ/ש אם הנוזל בעל פזה

אחת ולא מהול, אם לא יגרם 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 מוצף, אי הימצאות מים ומשקעים
- זרימה מלאה במידה ואין הפרעות כמשקעים, מים על הקרקעית ניתן להגביר מהירות המילוי עד 7 מ/ש לפי חישוב מגבלת VD.
- אם קיימים משקעים, נוזל מהול, מים שמתערבלים מהירות מילוי עד 1 מ/ש
- מגבלת מהירות המילוי משתמשת בחישוב של V^*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, עילוי,

תחתי ותכונות הנוזל עצמו

- המכלים הקריטיים הנם קובייה

- הנפח הקריטי הם בתחום של 1 עד 5 מ"ק

- מגבלות (הבדלים) שונות בין מכלים קבועים וניידים

- מכלים קבועים ניתן לחשב את המהירות

- מכלים ניידים כמכליות כביש יש לחשב למקרה הגרוע

- מוליך מרכזי) באמצע תא של מכלית, מסייע בפריקת מטעני חשמל סטטי)–

קיום

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

ח.ל.מ

- **מכלים קבועים**
- **צנרת מוליכה או מפזרת**
- **מילוי בהתזה**
- **יש להימנע**
- **לעיתים חייבים בגלל התהליך אזי:**
- **צינור המילוי צמוד ומקביל לדופן**
- **מהירות המילוי לא תעלה על 50% מ-VD ובכל מקרה לא יותר**
- מ - מ/ש 2**
- **מרחק בין קצה צינור המילוי ופני הנוזל המקסימלי לא יפחת מ -**
- 20 ס"מ , כדי למנוע פריצה (מרווח).**
- **נוזלים שאינם נדיפים כשמנים ניתן למלא לא בהתאם למגבלות,**
- אם אין סיבות אחרות.**

- יש למנוע חדירת אוויר וגזים לצנרת

- אין לנקות קווים עם אוויר או גזים כדי למנוע מעבר מגבלת מהירות

• 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
מגבלה עליונה 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)

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

• מילוי מכליות כביש

- גישור כל חלקי המכלית

- הארקה וחיבור למתקן המילוי

- מערכת ניטור הארקה ושילוב הפסקת המילוי בניתוק 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
2"	50	7,0	0,83	7,0	0,83
3"	80	6,3	1,90	4,7	1,40
4"	100	5,0	2,40	3,8	1,80
6"	150	3,3	3,50	2,5	2,70
8"	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).					

דוגמאות לספיקות עבור דלקים

Table 7 - Flow rate limits for road tankers

	$vd = 0,25$		$vd = 0,35$		$vd = 0,38$		$vd = 0,5$	
Fill pipe diameter *mm	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
2" 80	3,1	940	4,4	1 300	4,7	1 400	6,3	1 900
3" 100	2,5	1 200	3,5	1 650	3,8	1 800	5,0	2 400
4" 150	1,7	1 800	2,3	2 500	2,5	2 700	3,3	3 500
6" 200	1,25	2 400	1,75	3 300	1,9	3 600	2,5	4 700
8"								

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

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

• מכלים קטנים מוליכים – ממתכת

חביות, מכלי דלק, מכלי קובייה (IBC) אם מצופים יש להתנהג כמכלים מבודדים

- אמצעי מנע שיש לנקוט שאטמוספירה נפוצה יכולה להימצא
- כל חלקי המכל והמערכת המוליכים צריכים להיות מאורקים
- משפך מתכתי אין לבודדו מהמכל על ידי מחבר מפלסטיק
- אין להשתמש במשפך מפלסטיק אלא מחומר מפזר
- מגבלות VD אין חלות כאן לנוזל בעל פזה אחת הם גבוהות מדי
- מהירות מילוי נוזל בעל 2 פזות בעלי מוליכות נמוכה ובינונית לא תעלה על 1 מ/ש

- נוזלים בעלי רגישות להצתה מהירות המילוי לא תעלה על 1 מ/ש
- אם מותקן מסנן מיקרוני בכניסה יש לנקוט אמצעי זהירות.
- 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
- מגע טוב בין הציפוי לדפנות
- חייב להיות מוליך חשמלי לאורך המכל עבור כל סוג של נוזל (מוליכות).
- כניסה למכל לניקוי האדם צריך להיות עם ביגוד ונעליים מפזרות ומאורק
- יש להימנע מתדירות מילוי גבוהה, עלול לגרום לפריקת חשמל סטטי

- **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, כל חלקי המתכת יש להאריק.

- **מכלים עם ציפוי מוליך קבוע בדפנות**

יש להתייחס כמכלים מוליכים עם ציפוי פנימי וחיצוני ובנוסף האמצעים הבאים:

- השכבה המוליכה צריכה להיות קשיחה ומוארקת

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

אם השכבה המוליכה היא רשת או סריג מתכתי יש מגבלות לגודל שטח גלוי .

- מכלים בינוניים (IBC) מבודדים עם מעטפת מוליכה.
מכלים בנפח של כ- 1 מ"ק – מכלי פלסטיק.
- מכלים עם ציפוי חיצוני מוליך מלא או עם רשת פתוחה סביב כל הדפנות (6)
- אמצעי מנע נדרשים עבור נוזלים בעלי רמת אנרגית הצתה מסוימות או קבוצות סיווג
- אי מילוי עם נוזלים רגישים במיוחד
- אי שימוש במכלים באזורי סיכון "0"
- כל המכל מוקף ברשת/ ציפוי מוליך פרט לאזורים/שטחים גלויים שסיכומם אינו 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
- ספיקת המילוי יש להגביל ל – 400 ליטר/דקה, ומהירות המילוי לא תעלה על 2^{ש/מ}
- יש להתאים את המכלים ואמצעי מנע בהתאם לסיווג קבוצות הנוזל
- מכלי (IBC) המשמשים לערבול או לערבוב נוזלים
 - אמצעי מנע נדרשים
 - שימוש במיקסר מוגן נגד התפוצצות
 - כפות המערבל מתכתיות גדולות וטבולות בנוזל
 - המוליכות החשמלית של אחת הפזות תהיה לפחות 1000 PS/M

- הארקת המכל , המיקסר כולל הכפות המתכתיות
- אין להפעיל את המיקסר עד שהכפות טבולות לגמרי
- מהירות הסיבוב ההיקפי עבור פזה אחת מ/ש 7 ועבור מספר פזות מ/ש 1
- אם מערבלים נוזל שמטבעו נטען במטען גבוה יש לנקוט באמצעים מיוחדים כאווירה אינרטית
- במקרה של מהירות סיבוב גבוהה, נדרשים אמצעים מיוחדים כגון שימוש במערבל עם ציוד פיזור
- 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

- מניעה של מילוי חוזר מהיר
- 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, באזור "0" אין להשתמש במכלים מבודדים 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, ממיסים, המלצות עבור נוזלים עם צמיגות נמוכה אינם מתאימות כאן
- 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
- מסננים בדרך כלל מגבירים בצורה מתונה
- יש צורך בפריקת המטענים בעת הזרימה לפני כניסה למכל

אמצעי מנע

- חלקים מתכתיים מגושרים ומאורקים
- חלל המסנן או תא השהייה חייב להיות מלא למנוע היווצרות אווירה נפוצה
- כאשר ידוע זמן הפריקה המינימלי של הנוזל יש לתכנן זמן השהייה פי 3
- כאשר זמן השהייה נמוך מאוד או לא ידוע יש לנקוט בזמנים שונים בהתאם לדרגות הסיכון
- כאשר לא ניתן להשהות יש לנקוט אמצעים מיוחדים כאווירה אינרטית במכל

זמן השהייה לפריקת חשמל סטטי

22

API RECOMMENDED PRACTICE 2003

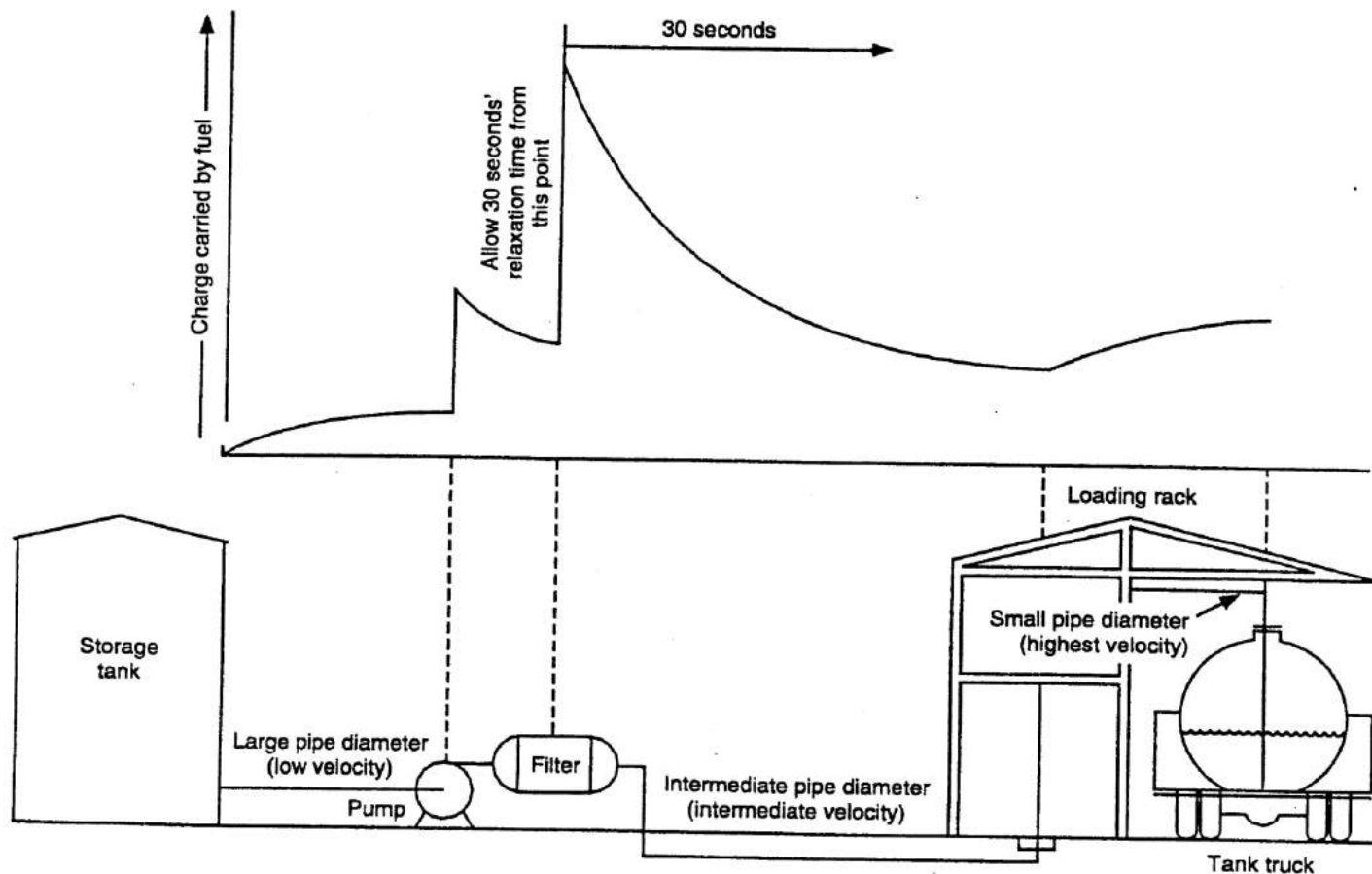


Figure 7—Electrostatic Charge Generation During Tank Truck Loading

- משאבות, מגופים(סגורים חלקית)

בדרך כלל אינם גורמים להיווצרות מטעני חשמל סטטי גבוהים, זמן השהייה מומלץ פי 3 מזמן המינימלי מקסימום 30 שניות.

- מדידות ולקיחת דוגמאות

אמצעי מנע /זהירות

- כל החלקים המוליכים ו/או המפזרים צריכים להיות מאורקים

למכל או ישירות לאדמה

- נוזל עם מוליכות נמוכה או בינונית החוט, מכשיר המדידה

והכלי ללקיחת דוגמאות (קטן מ-1 ליטר) עדיף שיהיו מחומר

מבודד.

- יש להקפיד שהאדם לא יהיה טעון.

כאשר אין מערכת מדידה קבועה או דרך צינור מוביל יש לנקוט באמצעים הבאים:

- אין לבצע מדידות או לקיחת דוגמאות בעת הזרמה או ערבול
- יש להמתין לפחות 30 דקות לאחר גמר פעילות מילוי, סחרור, שיקוע.
- אין לקחת דוגמאות דרך פתח גלוי כאשר יש אווירה אינרטי
- אין לבצע מדידות או לקיחת דוגמאות בעת סופת ברקים, גשמים או שלג.

צנרת

- מטענים יכולים להיווצר על הדופן הפנימית ו/או החיצונית

סיווג הצנרת, קשיחה – קטגוריות

- מוליכה התנגדות קטנה מ- $1\text{K}\Omega/\text{m}$
- מפזרת $1\text{M}\Omega/\text{m} <$ התנגדות $1\text{K}\Omega/\text{m} <$
- מבודדת ההתנגדות $1\text{M}\Omega/\text{m} <$
- צנרת מוליכה ומפזרת חייבת להיות מגושרת ומאורקת
- צנרת מוליכה עם ציפוי פנימי – יכולה להיות מבודדת, מותנה בציפוי

• צנרת מבודדת על קרקעית

- נוזל בעל מוליכות נמוכה ובינונית, יש להתאים התנגדות הצנרת בהתאם להערכת סיכונים או, בהתאם לידע מצוי בכל מקרה בהתאם למקרה הגרוע.
- נוזל בעל מוליכות גבוהה
- לנקוט כמו לנוזל בעל מוליכות נמוכה ובינונית או:
- יש להבטיח שהנוזל יהיה במגע מלא עם אביזרים מוליכים כמגופים ומהירות הזרימה לא תעלה על 1 מ/ש
- יש להאריק כל חלק מתכתי בצנרת – אוגנים מגופים
- כדי למנוע פריקה פנימית יש לדאוג שהצינור יהיה מלא או קיום 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 לנקוט:

- נוזל בעל מוליכות גבוהה

- במגע עם חלקים מוליכים כמגופים

- הגדלת החוזק הדיאלקטרי למניעת חירור הדופן, מהירות זרימה נמוכה

- כיסוי נקודות חיבור לסלילי חשמל לריתוך.

- נוזל בעל מוליכות קטנה ובינונית

- הגדלת החוזק הדיאלקטרי למניעת חירור הדופן, מהירות זרימה נמוכה

- מניעת אטמוספירה מסוכנת בתוך הצנרת

- בעת חשיפת חלקי צנרת יש להיזהר מחלקים מוליכים גלויים באוויר דליקה, למניעה יש להאריקם.

- **צנרת גמישה**
- **סיווג הצנרת – קטגוריות**
- מוליכה התנגדות קטנה מ- $R < 1\text{k}\Omega$
- מפזרת $1\text{M}\Omega/\text{m} > R \geq 1\text{k}\Omega$ התנגדות
- מבודדת ההתנגדות $R \leq 1\text{M}\Omega$
- תת הגדרות מופיעות בתקן ISO 8031
- ההתנגדות הנה לצינור מקצה לקצה (חיבור לחיבור)

מתקנים תהליכים (ערבול, ערבוב, התגבשות)

- גישור והארקת כל החלקים המתכתיים
- ערבול בקו אינו מהווה סיכון בדרך כלל מאחר והקו מלא
- יש לאפשר זמן דעיכה למטען לפני הגיעו למכל.
- ערבול במכל
- אם קיים גם נוזל מפזר כחלקיקים או מוצקים ניתן להקטין את מטעני החשמל הסטטי
- תוספת ממיס מוליך
- הכנסת תוסף אנטי סטטי
- יצירת אווירה אינרטית במכל
- ערבול על ידי זרם נוזל
- אם הנוזל מעל PS/M 50 אין סיכון מיוחד במידה ואין שבירת פני הנוזל
- הכנסת תוסף אנטי סטטי

- במידה ולא ניתן לקיים את הנ"ל גורמים שיש לבדוק
 - סמיכות של חלקים פנימיים במכל לפני הנוזל
 - נוכחות של פזה נפרדת כמים בתחתית
 - האם ממלאים את המכל תוך כדי הערבול
 - פרק הזמן שחלף מסיום המילוי.

התזת נוזלים וניקוי מכלים

- ההתזה גורמת לטיפות וערפל הנושאים מטעני חשמל סטטי
- התזת מים יכולה להתבצע גם בלחץ גבוה עד 500 בר
- במצבים מסוימים ולמכלים תהליכים עד קטרים מסוימים
- התזת נוזל כימי בעל מוליכות נמוכה למכלים מתכתיים עד נפח מסוים ובלחץ וספיקה מסוימת.
- הנוזל אסור שיהיה בעל 2 פזות (מעל ערך נתון)
- ניקוי מכלים בקיטור
- ניקוי מכלים שהכילו פחממנים / דלקים ניתן עד נפח 100 מ"ק

מערכות זכוכית

- המטען נוצר על פני הזכוכית, לעיתים הזכוכית מצופה חיצונית עם חומר פלסטי
- אמצעי מנע בנוזלים בעלי מוליכות נמוכה
 - בהתאם לסיווג קבוצות הנוזל
 - הארקה של כל חלקי המתכת כאוגנים
 - במערכות היוצרות מטענים רבים כפילטרים גם האגנים יהיו מחומר מבודד
- בנוזלים מוליכים במערכות זכוכית או זכוכית מצופה מתכת, יש להאריק על ידי הכללת חלק מתכתי באחת הקצוות או, הכנסת חלק מתכתי בתחתית המערכת .

אמצעי מנע

-גישור הארקה דוגמאות

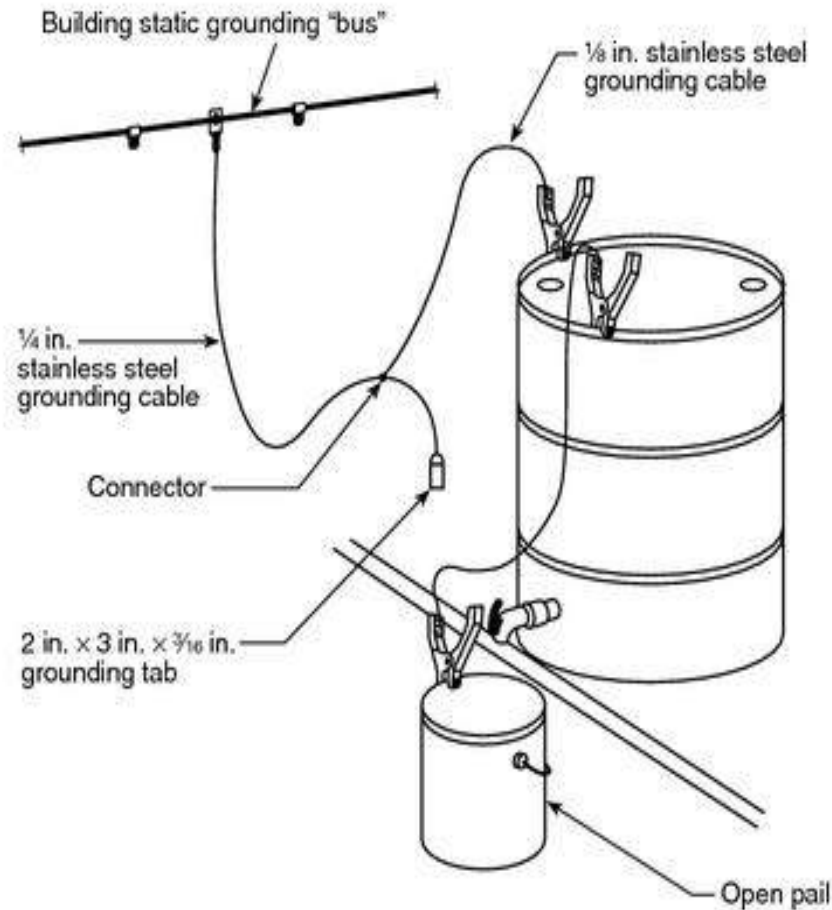
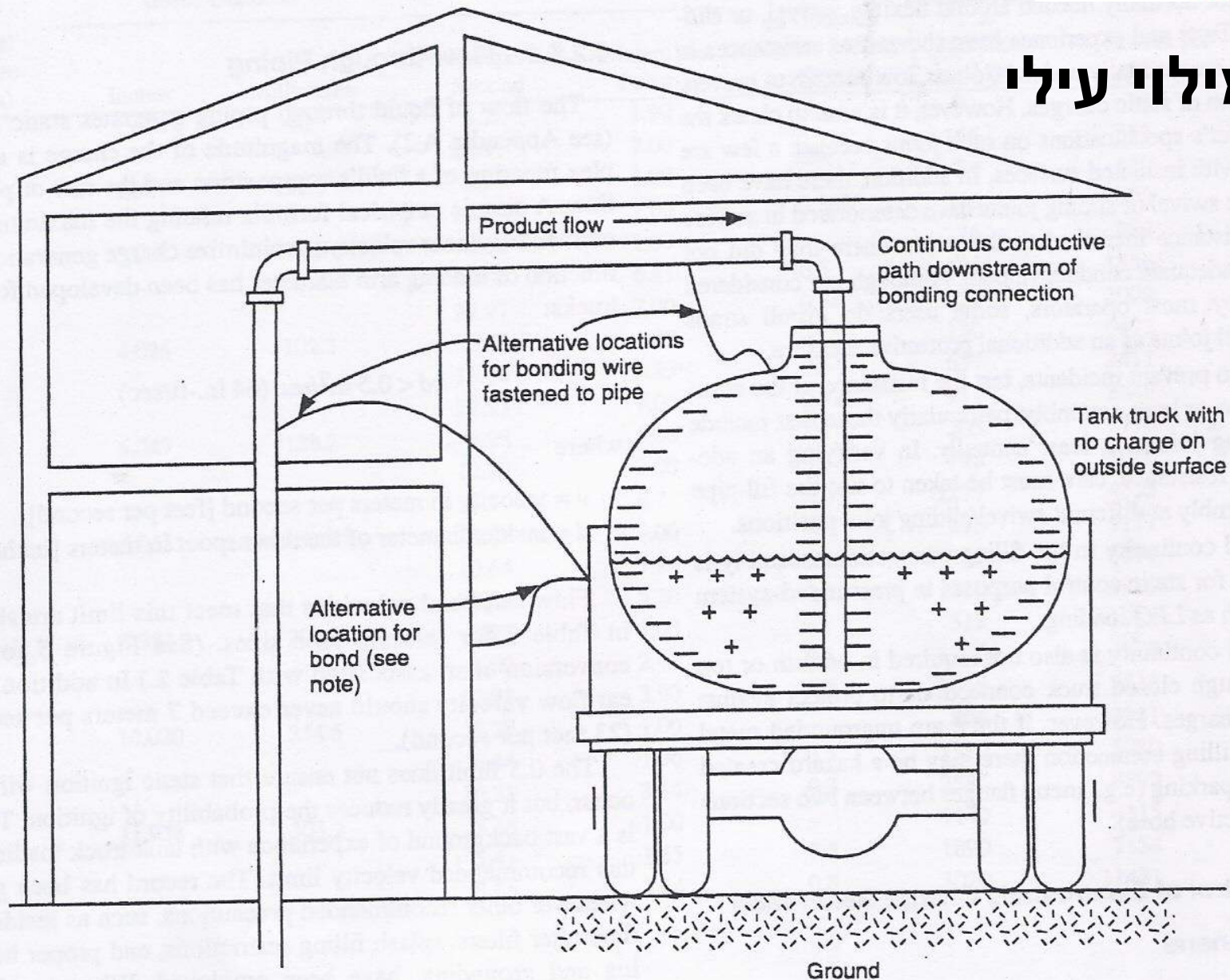


FIGURE G.1(e) Typical Grounding System for Small Volume Solvent Dispensing via Drum Tap. (Source: NPCA, *Generation and Control of Static Electricity*.)

מילוי עילי



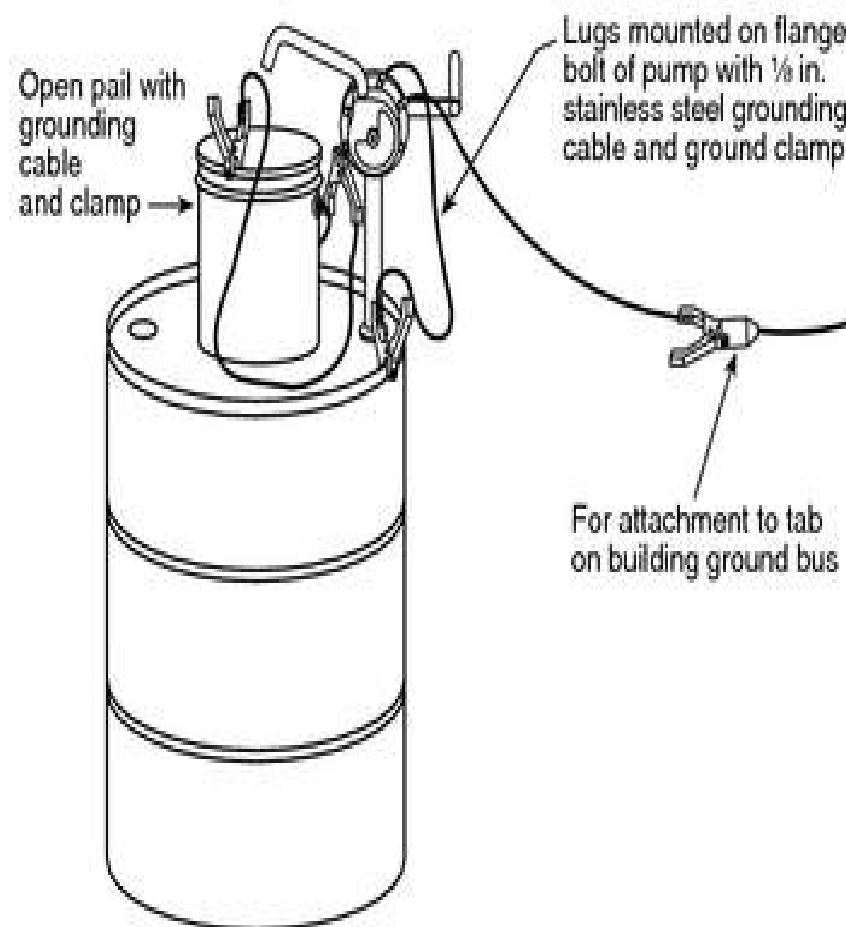


FIGURE G.1(f) Typical Grounding System for Small Volume Solvent Dispensing via Drum Pump. (Source: NPCA, *Generation and Control of Static Electricity*.)

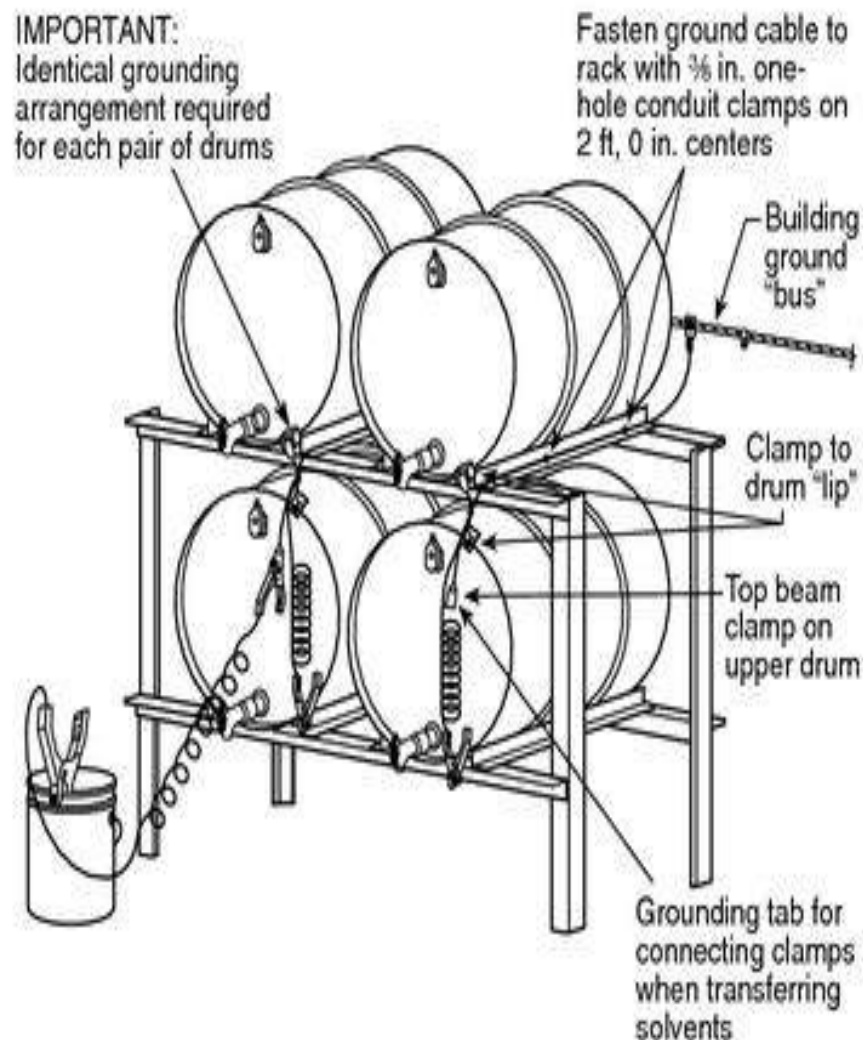


FIGURE G.1(h) Typical Grounding System for Small Volume Solvent Handling at Dispensing Station. (Source: NPCA, *Generation and Control of Static Electricity*.)

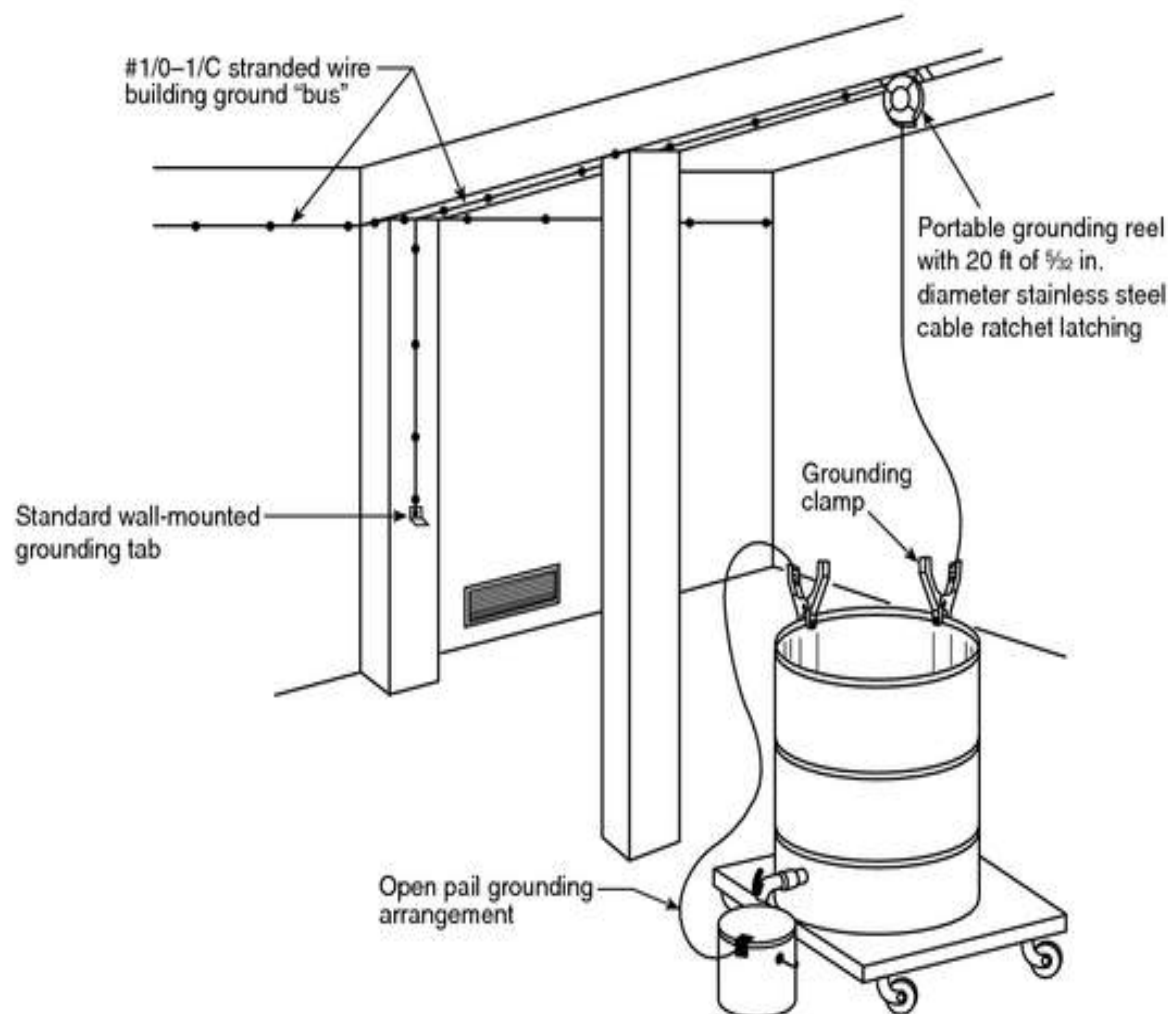


FIGURE G.1(i) Typical Grounding System for Small Volume for Portable Tank and Drum Transfer Area. (Source: NPCA, *Generation and Control of Static Electricity*.)

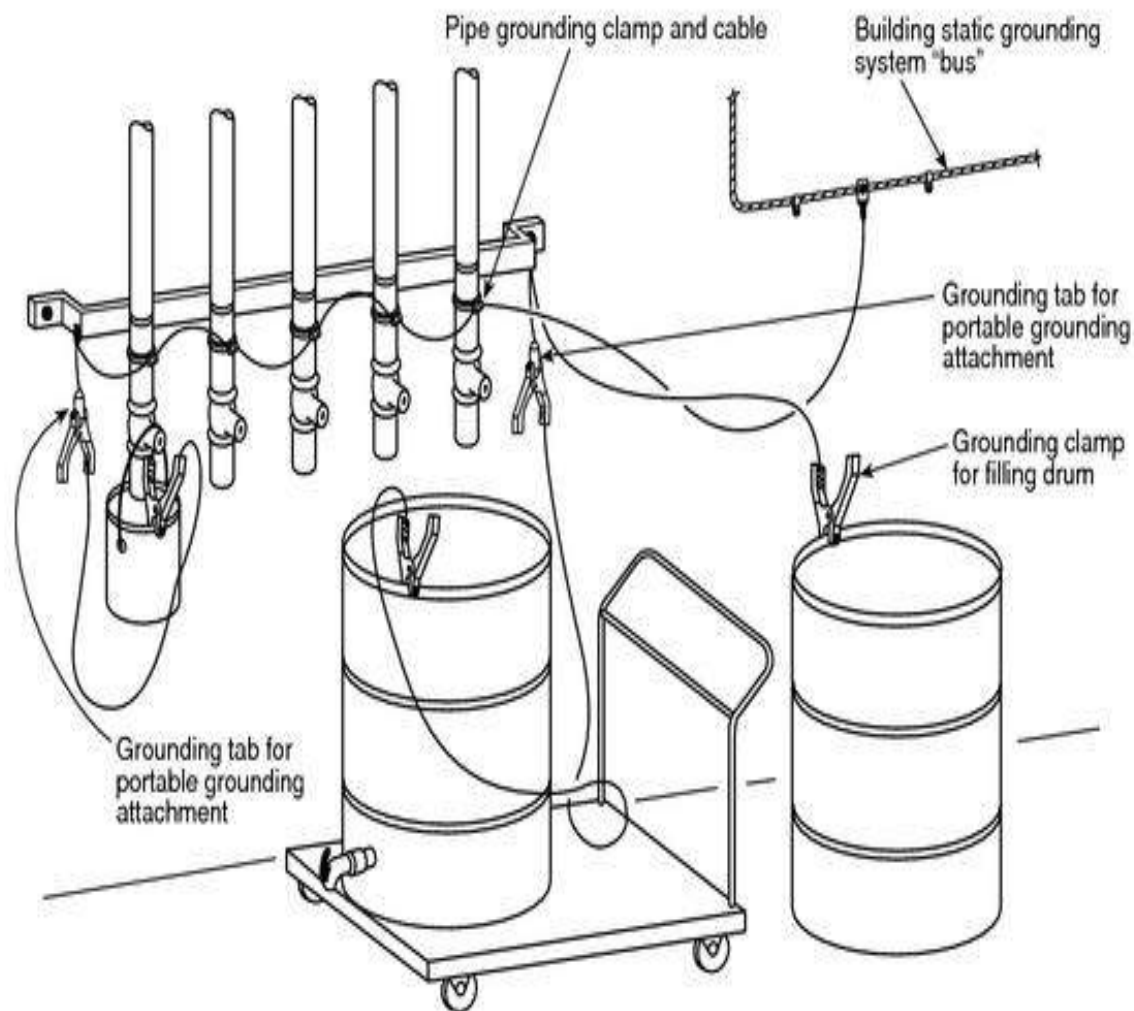


FIGURE G.1(j) Typical Grounding System for Drum Rack. (Source: NPCA, *Generation and Control of Static Electricity*.)



תודה על
ההקשבה