

פרק רביעי

סיכוני פריקה אלקטרוסטטית בתעשיית הדלק והשמנים ובעת תדלוק

בעיית הבטיחות העיקרית במיתקנים המייצרים דלק ושמנים היא סכנת בעירה של אדי דלק וממיסים הנוצרים בזיקוק, שינוע, ערבוב, מילוי ואחסנה של חומרי הגלם ושל המוצרים המוגמרים. גם פיצוץ אדי דלק וממיסים עלול להיגרם בנסיבות שונות:

- צביעה באמצעות ריסוס צבע במקום המכיל אדי דלק;
 - ניקוי מיכל המכיל שאריות דלק באמצעות מתזי מים קרים או קיטור. הפרדת המים לטיפות זעירות יוצרת טעינה אלקטרוסטטית של המים וסכנה לפריקה א"ס בעלת עוצמה. אירועים כאלה התרחשו בניקוי מיכליות להובלת נפט ומוצריו;
 - הזרמת הדלק בצנרת במהירות גבוהה;
 - שינוע שני סוגי נוזלים שאינם נוטים להתערבב בתוך מיכל משותף, כגון: מים ובנזין;
 - נפילה חופשית של דלק מצינור המילוי לתוך מיכל תוך היווצרות טיפות, רסס ואדים. בספרות המקצועית מצאנו מספר ניתוחי תאונות אשר אירעו בתעשייה זו. במאמר "התפוצצות במיכל דלק בעל גג קוני", שפורסם בכנס לקידום הבטיחות בעבודה בניו-יורק, (1983), מסופר על עובד בבית זיקוק שנהרג כתוצאה מפיצוץ במיכל דלק, בשעה שעסק בנטילת דגימת דלק מתוך המיכל. כפי הנראה, הפיצוץ התרחש עקב פריקה אלקטרוסטטית ממוט ידית הדגימה אל פתח המיכל העליון, אשר היה מוארק. המוט היה כנראה טעון בכמות ניכרת של מיטען סטטי. כאשר המוט הוחזר אל תוך המיכל, הוא גרם לפריקת הבזק דרך אווירה עשירה באדי בנזין ומימן שנוצרה בעקבות שינוי ייעוד של המיכל - מאחסנת בנזין לאחסנת דלק סילוני. בנזין ידוע כצובר מיטען אלקטרוסטטי, בהיותו נוזל בעל בידוד חשמלי גבוה.
- במאמר מפורטות מספר המלצות לשיפור הבטיחות:

- אין להזרים דלק למיכל כאשר לחץ האדים במיכל מגיע ל-90kPa (קילו-פסקל), או כאשר לחץ האדים יגיע, עקב ההזרמה, ל-90kPa;
- אין להזרים נוזל בטמפרטורה גבוהה מ-93°C כאשר במיכל מצוי נוזל קר;
- יש להתקין מערכת אזעקה להתראה על התפתחות מצב מסוכן;
- יש לתכנן התקנת מחליפי חום ומקררים בקווי הזרמת דלק;
- יש למנוע חדירת מזהמים, כגון מים, לתוך צנרת מילוי הדלק;
- יש לספק שסתומים להסטת זרימת הנוזלים אל מיכלים חלופיים דרך צנרת מקוררת;
- דרושים אמצעי ניטור על היווצרות תערובות של הידרו-קרבונטים (דלק), המועשרות במימן.

דוגמאות היסטוריות

בתעשייה המשתמשת בבנזין כחלק מתהליך הייצור אירעו הצתות של אדי בנזין. בשנת 1995 הוצתו אדי בנזין בעל נר"מ (נקודת רתיחה מיוחדת) במפעל המייצר להבי חיתוך מפלדה ויהלומים. ההצתה אירעה כשבנזין זרם דרך גוף מתכתי צף, אשר צבר את המיטען הסטטי במגעו עם הבנזין, ופרק אותו באמצעות פריקת הבזק דרך אדי הבנזין. הצתת אדי בנזין אירעה מספר פעמים בעת תדלוק רכב בתחנות תדלוק, בגלל ליקוי בהארקת המשאבה המתדלקת, או עקב ליקוי בהארקת מיכל הדלק ברכב. הצתות של אדי דלק בעת תדלוק של רכב נרשמו במספר מקרים בתחנות דלק בארה"ב - כאשר נהג הרכב נכנס לתוך רכבו, ואח"כ יצא מהרכב וניגש שוב למשאבת הדלק הנעוצה בפתח המילוי של המכונית. הושטת יד לעבר המשאבה גרמה לפריקה אלקטרוסטטית בין קצה האצבע לאקדח המשאבה, להצתה ולדליקה.

מינהל הנפט בארה"ב המליץ לנהגים שלא להיכנס לרכב כשהם ממתנינים לסיום התידלוק; ובמיקרה שהם בכל זאת נכנסו לרכב - מומלץ לנהג היוצא שוב מרכבו שלא להתקרב לאקדח התדלוק הנעוץ במיכל, ולבקש מעובדי תחנת הדלק לשחרר את מיתקן התידלוק מפתח המיכל. בעבר נמצא שבמספר דגמים של כלי רכב - בגלל טעות בתיכון זיווד מיכל הדלק - המיכל לא גושר כיאות אל מרכב המכונית. עקב כך לא נתקיימה מערכת שוות פוטנציאל, הכוללת את מיכל הדלק וגוף הרכב. יצרנים אשר גילו בשלב כלשהו את הליקוי, פעלו להודיע על כך לציבור לקוחותיהם, והחזירו את כלי הרכב למוסכים, לתיקון הגישור החשמלי בין מיכל הדלק לגוף הרכב.

דליקות/פציצות דלק וממיסים

סיווג לפי התנגדות נפחית

בעבר בוצעו מספר בחינות מעבדה למוצרי הדלק השונים, כדי לאמוד את יכולת החומרים ליצור מיטענים סטטיים. התוצאות לא נתנו תמונה עקבית ולכן לא התאפשר לסווג את הדלקים השונים על-פי נטייתם לייצור חשמל סטטי בחיכוך. אך, ניתן למדוד בדייקנות את ההתנגדות הנפחית של נוזלים. ההתנגדות הנפחית (Ωm או Ωcm) מהווה מדד ליכולת של נוזל לצבור בתוכו מיטענים סטטיים. ככל שהתנגדות הנוזל גבוהה יותר - כך המיטענים הסטטיים ניידיים פחות ולכן הם אחוזים היטב בתוך מולקולות הנוזל. כאשר התנגדות נוזל קטנה מ- $10^8 \Omega m$ והמיכל מתכתי ומוארק - המיטענים הסטטיים ניידיים דיים כדי לנוע בתוך הנוזל ולהגיע אל האדמה מבלי לגרום לפריקת הבזק. הניסיון מלמד שרוב סוגי הדלק הגולמי, המזוט, האספלט ונוזלים דליקים המתערבבים היטב במים, אינם צוברים מיטענים סטטיים.

רכיבים של מנגנון הכשל

אדי דלק יתפוצצו או יוצתו כאשר מנגנון הכשל כולל מספר מרכיבים:

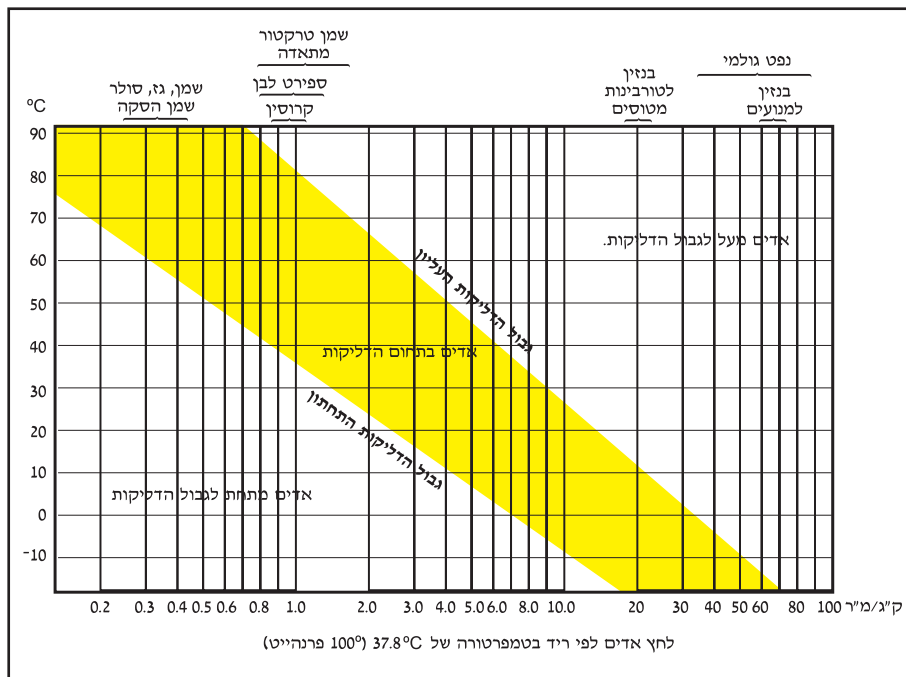
- א. טמפרטורת הדלק גבוהה מנקודת ההבזק של אדי הדלק.
- ב. ריכוז בתחום הנפיצות/דליקות של אדים ואוויר (יחס מיזערי ומירבי של נפח אדים בנפח אוויר). תחום הדליקות של מוצרי נפט שונים, בתלות בלחץ האדים לפי "ריד" (Reed) ובתלות בטמפרטורת האדים מוצג באיור 29.
- ג. קיים מקור אנרגיה להצתת התערובת. מקורות אנרגיה פוטנציאליים: ניצוץ חשמלי ממכשירי חשמל, כלי חשמל וגופי תאורה; פגיעת ברק; ריתוך; עישון; קרינה אלקטרומגנטית; פריקה אלקטרוסטטית.

סכנת הפיצוץ גדלה במקומות סגורים, כגון: צנרת שינוע, מיכליות שינוע, מיכלים לאחסנת-ביניים ומיכלים לאחסנת תזקיקים ומוצרי נפט שונים.

טמפרטורת הדלק או הממיס וריכוז האדים:

כאשר טמפרטורת הנוזל נמוכה מנקודת ההבזק - תערובת האדים והאוויר מעל הנוזל תהיה בריכוז נמוך מכדי לגרום להצתה. התערובת תכיל ריכוז של אדי דלק הנמוך מגבול הדליקות התחתון של נוזל מסוים זה. לנוזל בטמפרטורה גבוהה מנקודת ההבזק יש סיכוי רב ליצור תערובת דליקה של אדים בחללים "חופשיים" מעל הנוזל. במהלך התאדות הנוזל מצטרפות מולקולות האדים למולקולות האוויר המצויות בנפח הפנוי מעל פני הנוזל. אם התהליך מתרחש בכלי סגור - מופעל על דפנות הכלי לחץ, שהוא סיכום כל הלחצים הנגרמים ממולקולות הנוזל וממולקולות האוויר. הלחץ שהאדים מפעילים נקרא "לחץ האדים" והוא תלוי בטמפרטורת הנוזל. כאשר לחץ האדים מגיע לרמה מרבית מסוימת, לא תיתכן התהוות נוספת של אדים, אלא על-ידי הוצאת האדים אל מחוץ למיכל (הפחתת הלחץ) או על-ידי העלאת טמפרטורת הנוזל. בחללים של מיכל סגור, כאשר טמפרטורת הנוזל גבוהה מנקודת ההבזק, יימצא כעבור זמן לחץ אדים מירבי המייצג ריכוז אדים רווי עשיר מכדי להידלק.

כאשר טוענים נוזל דליק לתוך מיכל בעל נפח אוויר גדול, יתהוו אדים אשר ריכוזם עולה בהתמדה. ריכוז האדים שבמיכל ימצא לזמן מה בתוך גבולות הריכוז הדליק. פרק זמן זה הוא קריטי לגבי בטיחות המערכת, מכיוון שחייבים להבטיח שלא יימצא או יתהוו בזמן הזה מקור הצתה כלשהו, אשר עלול להצית את התערובת הדליקה. באקלים טרופי, ובשינוע והחסנה של נוזלים בעלי נקודת הבזק נמוכה, נוצרת במהירות תערובת אדים-אוויר עשירה מכדי להידלק. לא סביר שתיגרם הצתה כאשר תערובת כזאת נחשפת לניצוץ פריקת הבזק. לעומת זאת, כאשר התערובת נמצאת בטמפרטורה גבוהה אך מעט מנקודת ההבזק - התערובת שתיווצר תימצא זמן רב בתוך גבולות הריכוז הדליק והסיכוי להצתה יגבר. מתוך כך מתבקשת מסקנה מעניינת לגבי נוזל המאוחסן במיכל סגור: אם טמפרטורת הסביבה גבוהה, אך קרובה, לטמפרטורת ההבזק - נדרש לקרר את הנוזל. אם טמפרטורת הסביבה גבוהה בהרבה מנקודת ההבזק - לא נדרש קירור. אך, אם עומד להתרחש מצב אשר יגרום להפחתת לחץ האדים במיכל, כגון הוצאת נוזל או אדים מחוץ למיכל - יש לקרר את המיכל לפני הפחתת הלחץ.



איור 29: הקשר בין טמפרטורה, לחץ אדים לפי ריד, וגבולות הדליקות של מוצרי דלק

קרוסין ונוזלים אחרים בעלי נקודת הבזק גבוהה מטופלים, בדרך-כלל, בטמפרטורת סביבה נמוכה מטמפרטורת ההבזק שלהם. לכן, ריכוז האדים-אוויר יהיה מתחת לגבול התחתון של ריכוז הדליקות ולא תתאפשר הצתה. בגובה רב מעל פני הים, כאשר הלחץ הברומטרי נמוך, טמפרטורת ההבזק והטמפרטורה שבה מתקבלת תערובת קריטית להצתה יורדת ביחס ישר לירידה בלחץ הברומטרי. נוזלים דליקים "כבדים" (בלתי נדיפים) עלולים להפוך בלחץ ברומטרי נמוך לנוזלים נדיפים, היוצרים בקלות תערובות דליקות. לסיכום: סכנת ההתלקחות של האדים תלויה בטמפרטורת הנוזל. כאשר טמפרטורת הנוזל גבוהה בהרבה מטמפרטורת ההבזק של הנוזל, או נמוכה בהרבה ממנה - סכנת ההתלקחות עולה או יורדת בהתאמה. טמפרטורת ההבזק של הנוזל תלויה בלחץ הברומטרי שבו הוא נתון.

היווצרות מיטען סטטי ופריקה אלקטרוסטטית

מיטען סטטי נוצר בעת שהנוזל הזורם יוצר מגע עם חומרים שונים, לדוגמה: בזרימה דרך צינור, בערבוב, מזיגה, שאיבה, סינון ועירבול. סינון הנוזל דרך מסנן קרמי או דרך מיקרו-פילטר גורם לטעינה אלקטרוסטטית מוגברת, עד פי 200 מכמות המיטען הסטטי שנוצר ללא המעבר דרך מסנן. בתנאים מסוימים, כאשר הנוזל הוא דלק מסוג פחמן-מימני, ונוצרת צבירה גבוהה של מיטען סטטי, תיתכן פריקת הבזק מפני הנוזל הטעון אל גוף מוליך מוארק.

מיטענים חופשיים על פני שטח של נוזל

כאשר מזרימים נוזל טעון אלקטרוסטטית לתוך מיכל, המיטענים הסטטיים בעלי הקוטביות הזוהה דוחים זה את זה. בעקבות כך נע המיטען החשמלי הסטטי ממרכז הנוזל אל הדפנות, וגם אל אזור פני שטח הנוזל אשר מעליו מצוי מירווח האוויר. אם הדפנות עשויות ממתכת מוארקת - המיטענים המגיעים אליהן יתאחדו עם מיטענים נגדיים וינטרלו. הזמן הדרוש לניטרול המיטען הסטטי במיכל נקרא "זמן ההרפיה" והוא עשוי להימשך משבריר שנייה עד מספר רב של דקות, בתלות בהתנגדות הנפחית של הנוזל. המיטענים הסטטיים המגיעים אל פני הנוזל אשר מעליו מצויה שיבת האוויר הם "מיטענים בלתי קשורים", והתפרקותם אל האדמה עלולה להתרחש באופן של פריקה דמויית פריקת הבזק. למרות שהמיכל מוארק - כל עוד קיימים מיטענים סטטיים בנוזל ייווצרו הפרשי פוטנציאלים בין המיטענים החופשיים שעל פני הנוזל לבין דפנות המיכל, ותיתכן פריקה אל דפנות המיכל. לפריקה כזאת אין אנרגיה מספיקה להצתתם של אדי הדלק. מכל מקום, כאשר מחזירים אל תוך המיכל גוף מתכתי בעל זיזים או בעל צורת מוט ומקרבים אותו אל פני הנוזל - תיתכן פריקה אנרגטית בין המיטען האלקטרוסטטי החופשי המצוי על פני הנוזל לבין מוט המתכת. לפריקה מסוג זה יש אנרגיה גבוהה יחסית אשר עלולה לגרום להצתת האדים. ההתפוצצות במיכל הדלק בעל הגג הקוני (המתוארת במבוא לפרק זה) מזכירה באופיה מנגנון כשל כזה. לעומת זאת, מנתחי התאונה שם העריכו שהאדם אשר עסק בנטילת הדגימה של הדלק היה טעון במיטען סטטי, ולכן המוט שאחז בידו היווה אלקטרודה. באמצעות המוט נוצרה הפריקה האלקטרוסטטית אל פתח הגג, שהכיל באותה שעה אדי דלק בריכוז דלק.

כאשר דפנות המיכל עשויות ממתכת בלתי מוארקת, הדופן הפנימית של המיכל יטען במיטען אלקטרוסטטי נגדי לזה של הנוזל. על הדופן החיצונית ייווצר "מיטען חופשי" בעל קוטביות זהה לזו של הנוזל. המיטען החופשי יכול להתפרק אל הסביבה כאשר מתקרב אליו גוף בעל פוטנציאל שונה, או כאשר הגוף מוארק. מרבית תאונות ההצתה אשר אירעו במיכלים בלתי מוארקים נגרמו עקב פריקת הבזק של המיטען החופשי. מיטען סטטי חופשי הפוגש גוף חיצוני המוחדר אל המיכל, כגון צינור תדלוק, יוצר פריקת הבזק דרך התערובת הדליקה ועלול לגרום להצתת התערובת. מנגנון כשל זה גרם כפי הנראה, לתאונה קטלנית - כאשר אדם מילא בנזין במיכל שהוצב על רצפת טנדר שהיתה מצופה במבודד (ראו תיאור האירוע בפרק 9).

אמצעי פיקוח על מיטענים סטטיים ומניעת הצתת אדי דלק

מיכלי אחסון דלק

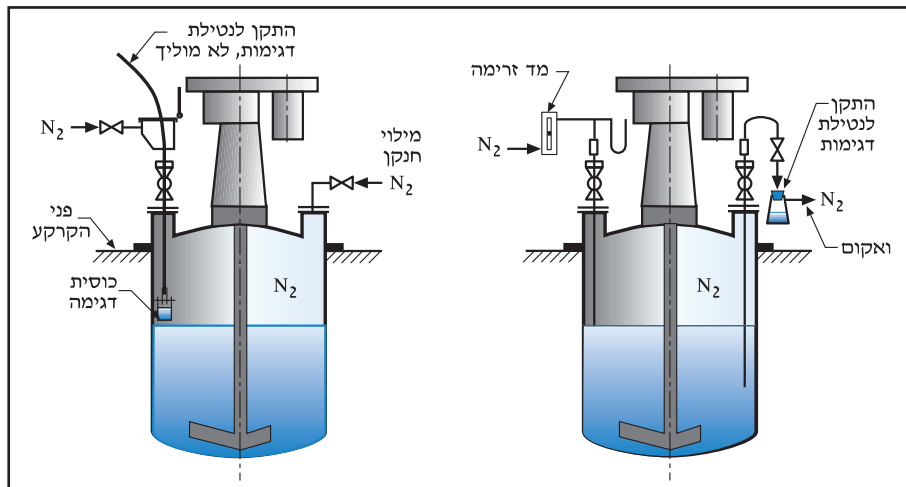
קיימים 2 סוגים של מיכלי דלק:

- מיכל בעל מירווח אוויר (גג קבוע), שנוצרת בו תערובת אדים ואוויר; (אופייני למיכל בעל גג קוני);

- מיכל ללא מירווח אוויר, שבו לא תיתכן אווירה של אדי דלק. (אופייני למיכל בעל גג צף);

כאשר ממלאים מיכל בעל מירווח אדים ואוויר יש לנקוט באחד, או יותר, מהאמצעים המפורטים בהמשך:

- (א) בהזרמת דלק בעל תכונות של בידוד חשמלי - יש למנוע היווצרות מערבולות התזה של הנוזל לתוך חלל המיכל. מערבולות במהלך הזרימה מותרות רק בדלק גולמי, שכמעט אינו יוצר מיטענים סטטיים.
- (ב) יש להשתמש בטובלן (צינור טבול בדלק) אשר קצהו מגיע עד תחתית המיכל. השימוש בטובלן דרוש הן למילוי המיכל והן לריקונו. לחילופין ניתן למלא/לרוקן מיכל באמצעות ברז או פתח בתחתית המיכל. רצוי להציב את פתח הצינור בכיוון אופקי - במקביל לרצפת המיכל.
- (ג) ניתן להקטין את היווצרות המיטען הסטטי על-ידי ויסות מהירויות השאיבה ומהירות זרימת הדלק בצינורות. במהירויות זרימה נמוכות ממטר לשנייה לא נוצרים מיטענים סטטיים משמעותיים. לאחר שפתח הטובלן כוסה בשיכבת דלק - ניתן להגביר את מהירות הזרמת הדלק. יש לשאוף שמהירות הזרימה לא תהיה גבוהה מ-10 מטרים בשנייה.
- (ד) שמירה על ניקיון (טהור) הנוזל. ככל שהנוזל טהור יותר הוא נטען פחות. חלקיקי מוצקים ומים בדלק הם נשאים פוטנציאליים של מיטען אלקטרוסטטי, והם מגבירים את קצב היווצרות המיטען.
- (ה) יש למנוע שאיבת אוויר עם הדלק והחדרתו אל תוך המיכל. בועות אוויר החדרות מתחתית המיכל ועולות על פניו, מגבירות את קצב היווצרות המיטענים הסטטיים ומעלות את כמות המיטען החופשי הנאגר על פני הנוזל.
- (ו) כאשר המיכל מכיל אדים ואוויר ורוצים שיהיה מוגן בפני פיצוץ, בעת החדרת נוזל נוסף או בעת ריקונו - יש לאוורר תחילה. האוורור נועד להקטין את ריכוז האדים באוויר לרמה של 50% מסף ריכוז הדליקות התחתון של אדי הדלק.
- (ז) יש למנוע החדרת עצמים מתכתיים "צפים" חשמלית אל תוך המיכל, בגלל האפשרות לפריקה אלקטרוסטטית מפני הנוזל אל העצם המתכתי. תיתכן גם טעינה של העצם ה"צף" (נשאן מיטען) ופריקה אנרגטית שלו עם התקרבותו אל חלק מתכתי מוארק (קולטן של מיטען), כאשר בתווך נמצאים אדי דלק.
- (ח) נטילת דגימות או מדידת גובה הנוזל בעזרת מוט מתכת דרך פתח בגג המיכל, תבוצע רק לאחר מילוי המיכל וכעבור זמן המתנה, ארוך מהזמן הדרוש להירגעות הנוזל. זמן ההמתנה המיזערי הוא כ-30 דקות. ניתן ליטול דגימות או למדוד גובה נוזל באמצעות צינור מתכת קבוע הנמצא במיכל, שבתוכו נמצא מוט המדידה או המוט לנטילת הדגימות. במקרה כזה השדה הסטטי הקטן, הנוצר בתוך הצינור המוארק, לא מאפשר את פריצת המיטען הא"ס (ראו איור 30).



איור 30: התקנים בטיחותיים לנטילת דגימות

קיימים מיכלים בעלי "גג צף". מדובר במצוף המותקן מעל פני הנוזל, מכסה אותו, ומשנה את מיקומו לפי גובה הנוזל (עולה יחד עם עליית מיפסל הנוזל). במיכל בעל גג צף יש לנקוט את כל אמצעי הבטיחות שפירטנו קודם, עד שהגג צף על הנוזל. כאשר אין חלל בין הגג לנוזל - לא נדרשים אמצעי בטיחות מיוחדים.

צנרת

חיכוך נוזלים מבודדים ($10^8 \Omega m >$ התנגדות נפחית) בדופן צינור עלול ליצור טעינה אלקטרוסטטית משמעותית. כך גם במעבר דרך בריזים, מסננים מיקרוניים וכל התקן היוצר מערבולות בנוזל.

צנרת עשויה מזכוכית איננה מהווה קולטן (אביזר מתכתי הבא במגע עם הנוזל ואדיו), ולכן נוזל טעון לא יתפרק אליה. מיכל מקום, נוזל מבודד זורם דרך צנרת מבודדת חשמלית - ייטען ביתר שאת, ובהגיעו לקולטן הוא עלול לגרום להתרחשות פריקה אלקטרוסטטית.

יש לנקוט באמצעים הבאים:

(א) לגשר או להאריק את כל חלקיה של צנרת מוליכה, כדי ליצור מערך שווה פוטנציאל ולמנוע פריקה אלקטרוסטטית חיצונית.

(ב) אין צורך לגשר צינור מתכת גמיש או מעבר צינור בעל ציר מתכת. יש לגשר צינור כנ"ל אם החומר שממנו עשוי ציר הצינור אינו מוליך. התנגדות גישור עד $1M \Omega$ נחשבת להתנגדות גישור אלקטרוסטטית תקינה.

(ג) אין להשחיל צינור בלתי מוליך, כגון גומי, בתוך צינור מוליך חשמלי (ראו איור 15). ניתן להשחיל מוליך חשמלי בתוך חומר הצינור עצמו או מעליו (ראו איור 14).

טעינה ופריקה של מיכליות (כלי רכב) שהמיכל שלהן עשוי מחומר מוליך

מיכליות דלק מצוידות בצמיגים מוליכים. רוב הצמיגים מכילים פיח למניעת שחיקה בנסיעה, והוא הופך אותם למוליכי חשמל. המיכלית תהיה מוארקת בעת נסיעה על הכביש, כאשר האספלט מוליך. אך, כאשר האספלט יבש מאוד - מוליכותו יורדת והוא מתנהג כמבודד. בכל מקרה, אין צורך בשרשראות הארקה או בסרטים נגררים. מיכלית דלק תצבור מיטען סטטי ניכר במהלך מילוי מיכליה במסוף הדלק. הדלק הטעון במיטען אלקטרוסטטי מוזרם אל תוך המיכלית, נצמד לדופן המתכת של המיכלים וטוען את הרכב במיטען אלקטרוסטטי (בהנחה שהרכב אינו מוארק). ההסתברות לאירוע הצתה עקב טעינה אלקטרוסטטית תלויה במספר גורמים:

- ההתנגדות החשמלית של הדלק, או נטייתו ליצור מיטענים סטטיים בתהליכים של חיכוך והפרדה.

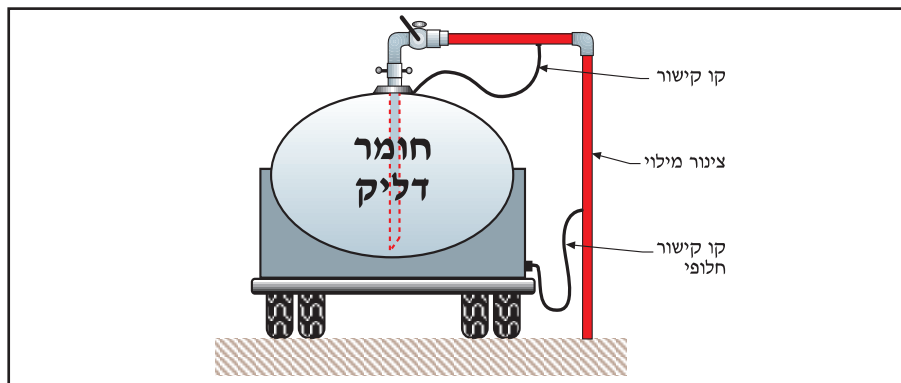
- כמות הדלק המוזרמת לתוך המיכלים. ככל שנפח הדלק המוזרם גדול יותר, תגדל כמות המיטען הסטטי שנוצר.

- בידוד או הארקה הרכב. אם הרכב אינו מוארק בכלל - המתח האלקטרוסטטי שנוצר על פניו (V) תלוי בקיבולו החשמלי (C) ובכמות המיטען הסטטי (Q) שנוצר. הקשר בין 3 הגורמים מבוטא באמצעות הנוסחה $V=Q/C$. צמיגי הרכב, כאמור, הם מוליכים ולכן קיימת זליגה מתמדת של מיטענים סטטיים לקרקע (או לאספלט). הזליגה מגבילה את עליית המתח האלקטרוסטטי של הרכב, וגורמת כעבור זמן קצר לרכב להיות ללא מיטען סטטי. מכל מקום, בעת מילוי מיכלית במסוף הדלק וגם בעת ריקונה - יש להאריק את הרכב באמצעות מגשר מוליך, כדי לוודא שלא יצטבר מיטען בגוף הרכב.

מניעת הצתה בעת מילוי מיכליות דרך פתח מילוי עליון:

בעת מילוי מיכלית דרך הפתח העליון של המיכל (ראו איור 31) עלולה להתפתח סכנת התלקחות עקב פליטת אדי דלק ופריקה אלקטרוסטטית. בין צינור המילוי המוארק לבין גוף המיכלית עלול להיווצר הפרש פוטנציאלים א"ס משמעותי, אשר יגרום לפריקת הבזק בין שני הגופים. כדי למנוע את הסכנה, יש לבצע גישור חשמלי בין שני

הגופים או להאריק - בנפרד - את צינור המילוי ואת המיכלית. סדר הפעולות חשוב מאד: תחילה יש לבצע את הגישורים החשמליים או את הארקת הגופים, ורק אחר-כך מותר לפתוח את המכסה העליון של המיכל ולהזרים את הדלק. בסיום תהליך המילוי, יש לסגור את המיכלים, ורק אז לנתק את הגישורים החשמליים או את חיבורי ההארקות.



איור 31: מילוי מיכלית דלק דרך פתח המילוי העליון

ניתן לקשור באופן קבוע את קצה מגשר ההארקה אל צינור המילוי או אל כל חלק מתכתי המקושר באמצעות מוליך אל צינור המילוי. בסוף המילוי נותר רק לקשור את הרכב החונה אל ההארקה.

אין צורך בגישור פרקים גמישים או צירים בצינור המילוי, אלא אם הציר או הפרק עשויים מחומר מבודד.

התפסן בקצה הנייד של כבל ההארקה המתחבר אל הרכב, יהיה מסוג תפסן "תנין" (בדומה לתפסן המחובר אל כבל התנעה חיצוני של רכב). כך שאם הרכב יתחיל בנסיעה מבלי שהנהג ניתק את הכבל, התפסן ישתחרר וימנע את קריעתו של הכבל. במקרים הבאים אין צורך במגשר הארקה:

- מילוי המיכלית בנוזלים שאינם צוברים מיטענים סטטיים, כגון: דלק גולמי, מזוט ואספלט.

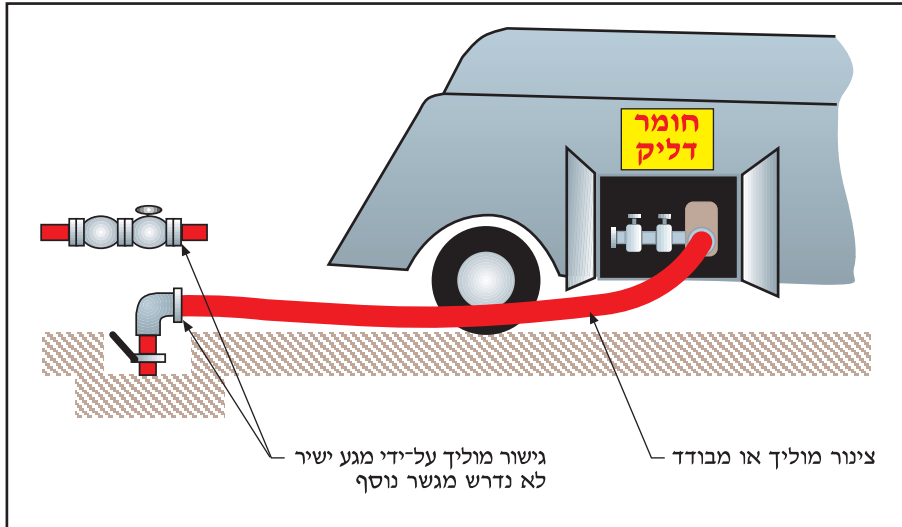
- המיכלית נטענת/מרוקנת דרך מערכת צנרת סגורה (ראו איור 32) אשר איננה מאפשרת פליטת אדים באזורים שבהם עלולה להתרחש פריקת הבזק. להולכה או לאי-הולכה חשמלית של החומר אשר ממנו עשוי צינור המילוי אין השפעה. בשני המקרים אין צורך במקשר הארקה. במערכת סגורה, חיבור הצנרת בין המיכלים מבוצע לפני תחילת הזרמת הדלק. פירוק הצנרת מבוצע עם גמר הזרמת הנוזל וסגירת המגופים משני צדי הצינור. תדלוק באוויר בין שני כלי טייס הוא דוגמה מובהקת לשימוש בטכניקת מערכת התדלוק הסגורה.

טעינה ופריקה של קרונות מיכל על פסים

יש לגשר בין צינור המילוי לבין קרון הרכבת. הגישור דומה עקרונית לזה המוצג באיורים 31 ו-32: הקרונות עצמם, מתכתיים וניצבים על פסי מתכת, ולכן מוארקים היטב לאדמה. הגישור אינו נחוץ במערכת מילוי/ריקון סגורה, וכאשר נקודת ההבזק של הדלק גבוהה מ-65°C.

מילוי מיכל אשר הכיל קודם דלק או נוזל אחר

כאשר ממלאים מיכל שהכיל קודם מוצר בעל לחץ אדים גבוה מלחץ האדים של המוצר הנוכחי - תיתכן הצתה של אדי הנוזל. לדוגמה: מילוי סולר במיכל שהכיל קודם לכן בנזין.



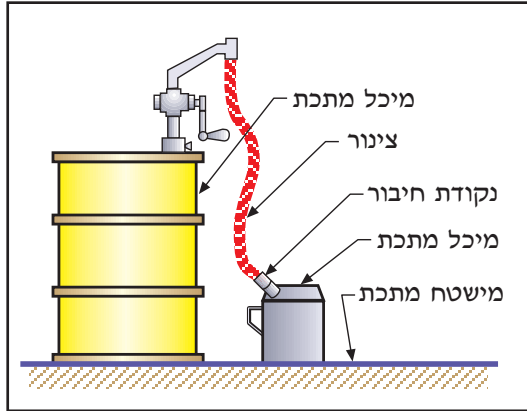
איור 32: מילוי/ריקון מיכלית דלק דרך פתח תחתון במערכת סגורה

בעת מילוי מיכל שעבר שינוי ייעוד, יש לנקוט במספר אמצעים למניעת הצתה:

- (א) במילוי דרך פתח עליון: חובה להשתמש בטובלן המגיע עד קרקעית המיכל.
- (ב) כאשר הטובלן אינו מגיע לתחתית המיכל: מהירות הזרמת הדלק לא תעלה על מטר לשנייה, ועד שגובה הדלק במיכל יכסה את פתח צינור המילוי.
- (ג) כאשר הטובלן מגיע עד לקרקעית המיכל, או כשפתח הצינור כוסה כבר בנוזל: ניתן להגביר את מהירות הזרמת הדלק עד ל-6 מטר בשנייה (תלוי בקוטר הצינור).
- (ד) מילוי תחתי (איור 32): כדי למנוע התזה ומערבולות, יש להתחיל את הזרמת הדלק במהירות איטית - נמוכה ממטר לשנייה.
- (ה) כל חלקי המתכת של צינור המילוי חייבים להוות מערכת שוות פוטנציאל. לדוגמה: אם צינור המילוי עשוי מפלסטיק ובקצהו אוגן מתכתי המשמש להתחברות אל המיכל - חובה לגשר את אוגן המתכת אל חלקי המתכת של מסוף המילוי, או לוודא שהאוגן מוארק באמצעות חיבורו אל המיכל.
- (ו) במשך המילוי ומיד עם סיום המילוי: אין להחדיר למיכל חלקים מתכתיים, כגון מזיד גובה, מוט לנטילת דגימות, מד-טמפרטורה וכיו"ב. בגמר מילוי המיכל, יש להמתין להירגעות סופית של הנוזל. רק לאחר-מכן ניתן לבצע פעולות הקשורות בהחדרת רכיבי מתכת לתוך המיכל.
- (ז) לפני ביצוע המילוי או במהלכו: יש לוודא בבדיקה חזותית כי שום חלק מתכתי - שאינו מגושר למערכת המילוי או לרכב - לא חדר/יחדור אל תוך המיכל.
- (ח) מסננים מיקרוניים המסננים חלקיקים מוצקים בגודל של אלפית המילימטר נחשבים ליוצרים ("גנרטורים") של מיטענים סטטיים. לכן דרוש פרק זמן להרגעת המיטענים הסטטיים, בין מוצא המסנן לבין המיכל שאליו זורם הנוזל הדליק. ניתן להשיג זאת על-ידי הארכת קטע הצינור בין המסנן לבין המיכל; על-ידי הגדלת קוטר הצינור; על-ידי הוספת מיכל-ביניים; או על-ידי הקטנת מהירות הזרימה.
- (ט) כאשר מוסיפים לדלק תוספים מוליכים: ניתן להסיר מיגבלות של מהירות זרימה, אך לא ניתן לוותר על גישור והארקה של כל המרכיבים המתכתיים בצינור המילוי ובמיכלית.
- (י) ריקון המיכלית אל מיכל תת-קרקעי דרך צנרת סגורה: לא נדרשים מגשרי הארקה חיצוניים.

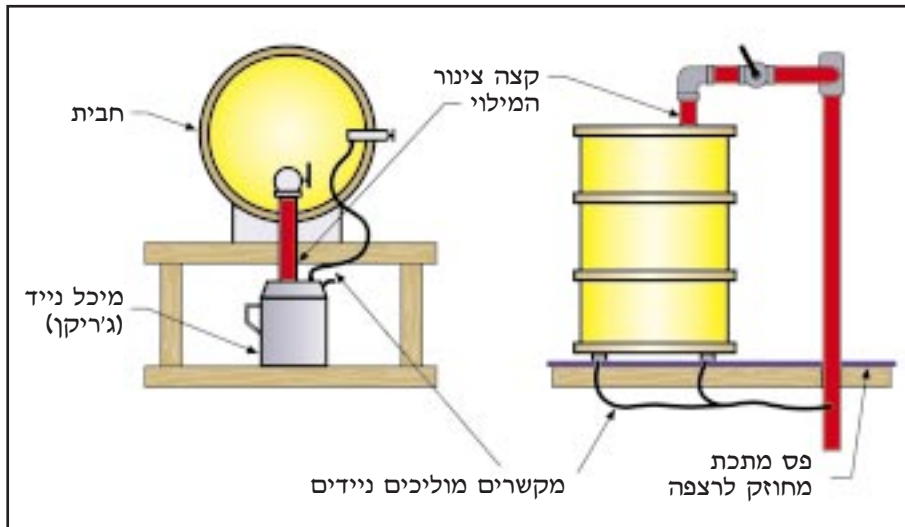
טעינה ופריקה של חביות וכלי קיבול קטנים

מילוי חביות דומה למילוי משאית-מיכלית. הנפח הקטן יותר ומהירות הזרימה האיטית יוצרים הרבה פחות מיטענים אלקטרוסטטיים. בעת מילוי חביות ומיכלים ניידים (ג'ריקנים) ממתכת - נדרש משפך ממתכת, צינור מתכת או קצה צינור מתכתי של מוליך יהיו שווי פוטנציאל עם החבית או המיכל. ניתן לקיים מערך שווה פוטנציאל על-ידי הבטחת מגע מוליך בין כל חלקי המתכת כמוצג באיור 33. במקרה זה לא נדרש שימוש במגשרים ניידים. את המיכלים הניידים יש להניח על גבי מישטח מוליך ממתכת (לוח פח, אלומיניום, נחושת).



איור 33: השוואת פוטנציאל של מערך מילוי באמצעות מישטח מוליך

במילוי חביות עד נפח 210 ליטר לא נדרש להשתמש בטובלן. במילוי נוזלים דליקים מבודדים חשמלית, כגון אצטון ($R_V > 10^8 \Omega m$), מומלץ להשתמש בטובלן. אם לא ניתן להבטיח מגע מוליך בין צינור המילוי לבין גוף החבית - יש לגשר בין רכיבי המתכת השונים באמצעות מגשר נייד, כמוצג באיור 34. למילוי מיכלים מחומר מבודד (זכוכית, פלסטיק, טפולן) בנפח קטן מ-20 ליטר, אין צורך באמצעי זהירות מיוחדים.



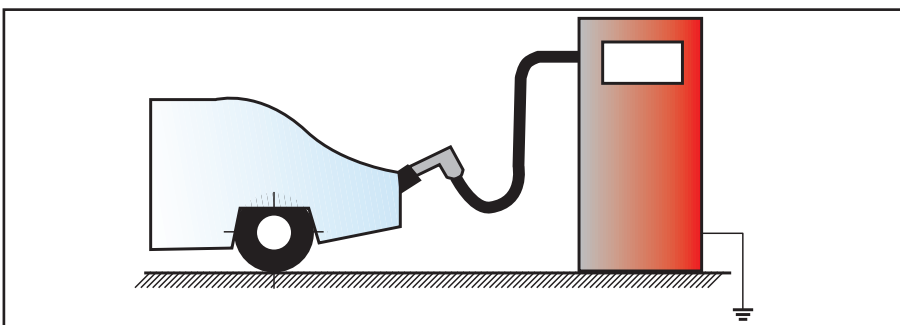
איור 34: השוואת פוטנציאל של מערך מילוי על-ידי מגשרים ניידים

במיכלים בנפחים שבין 20-210 ליטרים, העשויים מחומר מבודד, תיתכן פריקת הבזק אשר עלולה להצית אדי דלק וממיסים. כאשר ממלאים את המיכל, נוצרים מיטענים סטטיים עקב התזה, עירבול או סינון מיקרוני. המיטען הסטטי נצבר על פני שטח הנוזל או ברכיבים מוליכים המצויים במיכל, כגון חבק מכסה ממתכת. מיטען סטטי יכול להיווצר גם עקב חיכוך בין פני השטח החיצוניים של המיכל לבין חומרים שונים הבאים איתו במגע בעת שינוע ובביצוע פעולות תחזוקה של המיכלים. אמצעי הבטיחות כוללים גישור והארקת כל רכיבי המתכת בתוך המיכל ולידו, כאשר אחת ממידותיו של רכיב גדולה מ-50 מ"מ. את המיכל במערכת מילוי סגורה יש למלא דרך פתח תחתי. מילוי באמצעות טובלן מתכת מוארק מאפשר פיזור מיטענים סטטיים הנוצרים בנוזל. שימוש במשפך מתכתי מחייב הארקת המשפך לפני תחילת המילוי. כאשר נעשה שימוש במסנן מיקרוני - מהירות המילוי חייבת להיות איטית במיוחד. את המסנן המיקרוני יש להתקין רחוק ככל האפשר מהמיכל, כדי לחבר ביניהם בקטע צינור ארוך, רצוי ממתכת, להרגעת המיטענים הסטטיים.

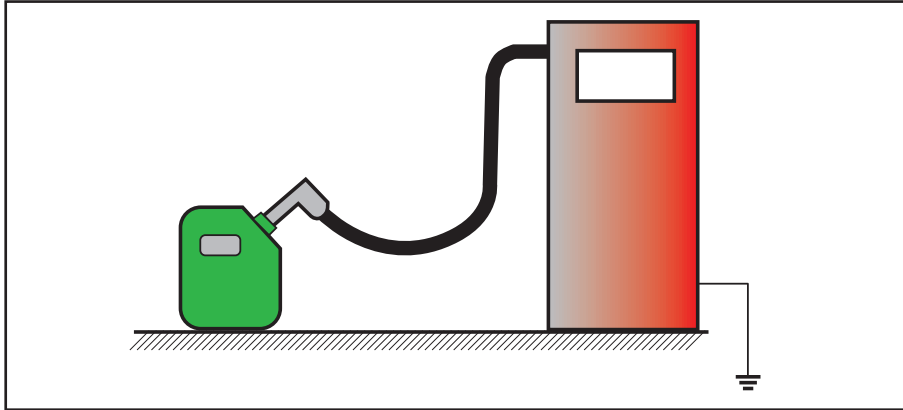
תחנות תדלוק

בעבר אירעו מספר הצתות של מכוניות בתחנות תדלוק, עקב ליקוי בהארקת צינור התדלוק אל האדמה דרך משאבת הדלק. כאמצעי בטיחות - יש לבדוק את תקינות חיבור הארקת אקדח התדלוק אל המשאבה בעזרת אוהם-מטר (מד התנגדות):
א. בכל מקרה של החלפת צינור במשאבת דלק;
ב. במקרה של ביצוע פעולות תחזוקה הקשורות בחיבור/ניתוק צנרת משאבת הדלק - אין לכסות את אקדחי התדלוק בכיסויים פלסטיים. האיש המתדלק את הרכב זקוק, לצורך הארקת גופו, למגע ישיר בין עור ידיו לבין המתכת המוארקת של אקדח התדלוק.

אקדח התדלוק מוארק באמצעות מוליך הטמון בתוך צינור הגומי. המוליך מגיע אל התברג שבקצה הצינור. בעת התקנת התברג אל המשאבה - ייתכן שנעשה שימוש מופרז בסרט טפלון (המשמש לאיטום התברג), והתוצאה - נתק בהארקת הצינור. בכל מקרה של ביצוע פירוק והרכבה של צינור התדלוק מהמשאבה או מאקדח התדלוק - יש לוודא את רציפות הארקת מערכת הצינור, מהמשאבה עד לפיית התדלוק, באמצעות מדידת התנגדות.
בשעת מילוי של רכב - פיית התדלוק חייבת להיצמד היטב לצינור המוביל למיכל. כך מובטח שגם הרכב יהיה מוארק (ראו איור מס' 35).
מותר להשתמש במיכלי פלסטיק ידניים (ג'ריקנים) קטנים בלבד (ראו איור מס' 36). מיטענים הנצברים בנוזל המצוי במיכלים מפלסטיק מתפזרים לאט מאוד. הבעיה קיימת בעיקר במיכלים בנפח גדול מ-5 ליטרים. לכן מותר להשתמש רק במיכלי פלסטיק ידניים (ג'ריקנים) קטנים.



איור מס' 35: הרכב מוארק באמצעות פיית תדלוק המחוברת לצינור המוביל למיכל



איור מס' 36: מילוי מיכלי פלסטיק ידניים (ג'ריקנים) בתחנת תדלוק מותר רק כאשר הם קטנים מ-5 ליטרים

תדלוק אוניות

מילוי וריקון אוניות-מיכל (מיכליות) אינו דורש ביצוע גישור גלווני והארקה אל הצנרת בחוף, מכיוון שהאוניה מוארקת היטב במגע עם מי הים. באופן זה לא תיתכן טעינה אלקטרוסטטית של גוף האוניה. מילוי וריקון אוניה מבוצע על-ידי מערכת שאיבה סגורה. גם כאשר קיימת סבירות נמוכה מאוד לפריקת הבזק חיצונית - לא סביר שיימצא ריכוז דליק של אדים באזור הפריקה האלקטרוסטטית. אמצעי הבטיחות, הנדרשים במילוי מיכלים שקיים בהם נפח גדול של אדים ואוויר, ישימים גם למילוי מיכליות. ניקוי בקיטור של מיכלי דלק "ריקים" במיכליות, כאשר במיכלים נותרו שרידים של אדי דלק, עלול לגרום לפריקת הבזק ולהצתת אדי הדלק. פיצוץ אדי דלק בתוך מיכליות כבר גרם בעבר לטביעתן של מספר אוניות.

תדלוק כלי טייס

תדלוק מטוס על הקרקע

לפני תחילת התדלוק יש לחבר, חשמלית, את גוף המטוס אל מיכלית התדלוק או אל חבית המילוי באמצעות מוליך. המטוס, מערכת המילוי, ומיכל הדלק יהוו מערכת שוות פוטנציאל ומוארקת, המאפשרת ניטרול מיידי של מיטענים סטטיים עם היווצרותם במיכלי הדלק במטוס. כאשר התדלוק מבוצע מעל כנף המטוס - יש לחבר את קצה צינור המילוי עם המטוס על-ידי מגשר מוליך קצר. את החיבור בין שני הגופים יש לבצע לפני פתיחת מכסה הדלק במטוס. בתום המילוי, לאחר סגירת מכסה הדלק במטוס וסגירת מגוף הדלק במיכלית, יש לנתק את גישור/הארקה המטוס. כאשר התדלוק מבוצע מתחת לכנף המטוס - שינוע הדלק מבוצע על-ידי מערכת תדלוק סגורה. מערכת זו מספקת מגע מוליך אמין בין קצה צינור התדלוק לבין גוף המיכל דרך פתח המילוי כך שאין צורך במגשר הארקה. יש להאריק את המטוס ואת מערכת התדלוק כאשר המילוי מבוצע על-ידי צינור בלתי מוליך. כאשר מרוקנים את מיכל הדלק של המטוס יש לנקוט באותם אמצעי בטיחות, הנדרשים בעת תדלוק המטוס.

במספר רשויות תעופה קיימות תקנות להארכת המטוס ומערכת התדלוק למסה הכללית של האדמה. לא תמיד מתאפשרת הארקה, לדוגמה: בתדלוק מטוס בשדה תעופה ארעי. כאשר שתי המערכות - המתדלקת והמתודלקת - מהוות יחידה שוות פוטנציאל תודות לגישור ביניהן, לא קיימת בעיית בטיחות, למרות היעדר ההארכה למסה הכללית של האדמה.

תדלוק מטוס באוויר

כדי ליצור מערך שווה פוטנציאל יש צורך לגשר את כל חלקי המתכת של המטוס. ייתכנו מספר מקרים שבהם לא ניתן ליצור גישור מוליך מלא, כגון אלמנטים מוליכים המחוברים על גוף המטוס דרך תושבות המבודדות אותן מגוף המתכת של המטוס (אנטנות לדוגמה), המחוברות דרך קבל חשמלי טורי ולא על-ידי גישור חשמלי ישיר.

אין לאפשר הימצאות אדי דלק ליד חלקי מתכת כאלה, אשר מסיבה כלשהי לא ניתן לגשרם לגוף המתכת של המטוס.

לחות גבוהה באוויר איננה מסייעת בסילוק מיטענים סטטיים מכלי טייס המצוי באוויר. כאשר הלחות עוברת את נקודת הרוויה והופכת לנוזל - כמות המיטענים הסטטיים הנוצרים גוברת. מיטען זה מכונה "P-Static" או "מיטען של מימטרים". בקצות הכנפיים ובקצות הזנב של כלי טייס מותקנים עוקצי פריקה סטטיים. התקנים אלה פורקים את המיטען הסטטי על-ידי פריקת "קורונה" (פריקה ללא קולטן, ישירות לאוויר). פורקי המיטען הסטטי אינם מסלקים לחלוטין את המיטען הסטטי האגור בכלי הטייס, הם רק מקטינים באופן משמעותי את הפוטנציאל הסטטי של המטוס.