

בטיחות בחשמל במהלך ביצוע עבודות אלקטרוניקה (חלק שני)

מאת ד"ר אלכס טורצקי

עבודות פיתוח, ניסוי, ייצור ובדיקת ציוד אלקטרוני/חשמלי מתבצעות ע"י עובדים ברמות שונות. העבודות כוללות ביצוע עבודות חשמל במתח נמוך וגבוה על ידי מי שאינם חשמלאים. חסרה מודעות לבטיחות בקרב מכשירנים שהם, בדרך כלל, ללא רישיונות מתאימים

"מחזיק במקום עבודה ימסור לעובד במקום העבודה מידע עדכני בדבר הסיכונים במקום, ובפרט בדבר הסיכונים הקיימים בתחנת העבודה שבה מועסק העובד, וכן ימסור לו הוראות עדכניות לשימוש, להפעלה ולתחזוקה בטוחים של ציוד, של חומר ושל תהליכי עבודה במקום."

● **פקודת הבטיחות בעבודה [נוסח חדש], תש"ל-1970:**

סעיף 202. איסור מעשה העלול לסכן "עובד לא יעשה במיד ובלי סיבה סבירה דבר העלול לסכן את עצמו או את זולתו."

● **חוק החשמל, תשי"ד-1954:**

סעיף 6. ביצוע עבודות חשמל "לא יעסוק אדם בביצוע עבודות חשמל, אלא אם יש בידו רישיון מאת המנהל המתיר לו ביצוע עבודה מסוג זה ובהתאם לתנאי הרישיון;"

● **תקנות הבטיחות בעבודה (חשמל), התש"ן-1990:**

תקנה 2. מוליכי חשמל על-קרקעיים "לא יימצאו במפעל מוליכי חשמל חשופים חיים (תחת מתח)."

■ הזנת הציוד דרך הפרד מגן לפי כללי הבטיחות.
■ כל החלקים החיצוניים המתכתיים, כולל מיישטחי עבודה, כיסויים וחלקים מתכתיים נגישים אחרים (פרט לאנטנות), ימוגנו בהארקת הגנה TT.

בנוסף לנהל כללי שיימצא בכל מחלקה, יש להוסיף שיטות ייחודיות להגנה - בהתאם למוצר המסוים ותנאי העבודה.

אחריות מעביד/עובד

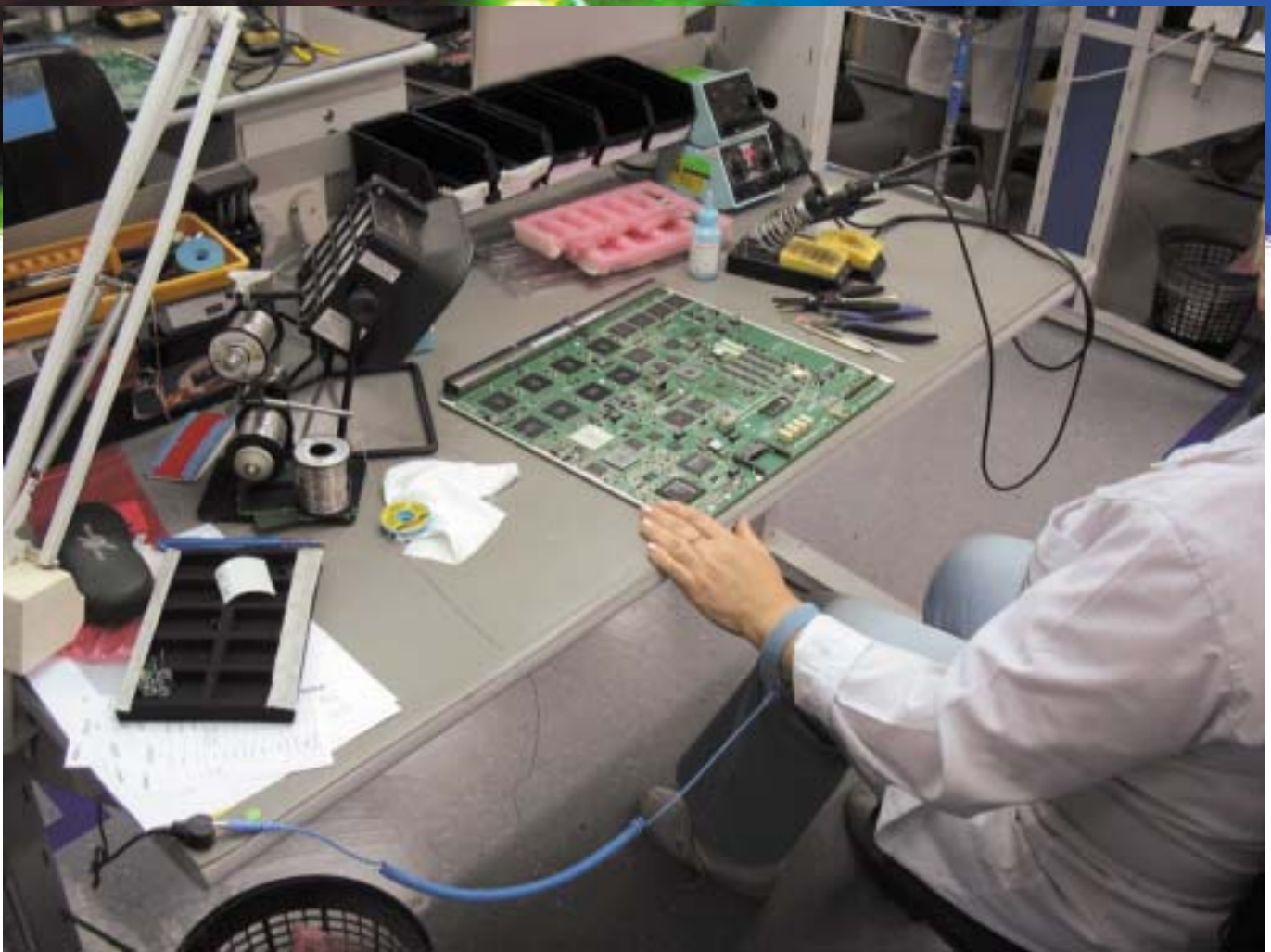
דרישות החוק בתחום הבטיחות בעבודה עם ציוד מסוכן - חשמלי או אלקטרוני - מתייחסות לחובות המעסיקים והעובדים בנוגע למצב הבטיחות בסביבת העובד. ניהול בטיחות תקין מחייב זיהוי הסיכונים והגנה מפניהם. בנוסף, המחזיק במקום העבודה חייב למסור לעובד תמצית של המידע, גם בכתב, על הסיכונים בעמדת העבודה ובתהליך העבודה. הוא גם חייב לסמן את האזורים המסוכנים, לשלט אותם ולהדריך את העובדים בשימוש בציוד מגן אישי.

● **תקנות ארגון הפיקוח על העבודה (מסירת מידע והדרכת עובדים), התשנ"ט-1999:**
תקנה 2. מסירת מידע בדבר סיכונים

שיטות הגנה מחישמול בעבודה עם מתחים - נמוך וגבוה:

- בידוד מגעים או מוליכים הנמצאים תחת מתח מסוכן. נדרש שימוש באמצעי בידוד בעלי עמידות דיאלקטרית (כושר בידוד) מתאימה למתחים מירביים אשר עשויים להימצא במיתקן/בציוד/במכשיר.
- הצבת מחיצות להפרדה מאזורים מסוכנים (של אזור אחד מאחר או של אדם מאזור מסוכן).
- כיסוי אזורים מסוכנים הקיימים בציוד על ידי מיכסים מבודדים.
- נקיטת שיטות להקטנת המתח, עד לרמה לא מסוכנת.
- הגדרה וסימון של אזורים ומגעים מסוכנים על ידי המתכנן/המפתח.
- בכניסה לאזור עבודה מסוכן יוצבו שלטי אזהרה, ובנקודות ספציפיות מסוכנות יוצבו דגלונים אזהרה לציון המתח, הזרם, הרכיבים המסוכנים וסיווג אזור העבודה.
- קיצור זמן פריקת החשמל במצבי חישמול עד לרמות לא מסוכנות, בסדר גודל של מיקרו-שניות (זמני פריקה ארוכים יותר, ב-2 סדרי גודל ויותר, עלולים לגרום ליצירת ניצוצות).
- שימוש בציוד מגן אישי להגנה מחישמול ומקשת חשמלית.
- הזנת הציוד תהיה דרך מפסק מגן ברגישות 0.03 אמפר.

הכותב הוא מדריך בטיחות ארצי בחשמל בתחום ההנדסה במוסד לבטיחות ולגיהות חלקו הראשון של המאמר התפרסם בגליון 316



עבודות שיגרתיות ובלתי שיגרתיות הנושאות אופי מסוכן, או שהן מתבצעות באזורים מסוכנים או בתנאים מסוכנים, להבטיח קיום תנאי בטיחות נאותים בביצוע עבודות ציוד אלקטרוני ולמנוע תאונות עבודה.

הנוהל מבוסס על הסיווג מ-A עד C של אזור העבודה לגבי סיכונים, כאשר A - אזור לא מסוכן, B - אזור מסוכן ו-C אזור מסוכן מאד (ראו את משולשי המדדים באיור 1, לבחירת סיווג אזור העבודה על פי רמות הבטיחות). הנוהל מיועד לעובדים העוסקים בעבודות שונות עם ציוד אלקטרוני, שהם בעלי כישורים מתאימים בנושא זה, לרבות מהנדסים, הנדסאים וטכנאים או עובדים אחרים. בנוהל צוינו הכשרה והדרכה של העובדים, אחריות מנהלים ומבצעים ושיטות לשימוש בהגנות ובציוד מגן אישי.

ההוראות מתייחסות למיגוון העיסוקים המבוצעים בעת טיפול וטיפול מכושרים וציוד אלקטרוני, באזורים מסוכנים שבהם חשופים העובדים לסיכונים בטיחות השונים שצוינו, כגון: חישימול גלווני (במגע), חישימול השראתי (ממרחק, ללא מגע), או חישימול מפריקת רכיבים קיבוליים - במישרין או כתוצאה מעמידות דיאלקטרית לקויה (בידוד לקוי) של המיתקנים, או חישימול מפריקת חשמל סטטי, חישיפה לקרינות למיניהן, פגיעות מחומר מסוכנים, לרבות יצירת סיכונים לעובדים אחרים בסביבת הסיכון, ולסביבה.

על פי הנוהל, המובא לפניכם, נדרש גם קיום מערך תקין של עזרה ראשונה והוראות להגשתה בשעת הצורך.

- ציון אזורים מסוכנים (בתכנית המוצר) לצורך עבודות ניסוי, בדיקה, הרכבה ופירוק;
- תכנון הגישה לאזור המסוכן, שתאפשר תנועה חופשית מבלי להתקרב לאזורי הסיכון ולהגביר בכך את סיכויי התממשות הסיכון;
- תכנון ציוד ומעגלי עזר ובנייתם לפי דרישות הבטיחות המובאות בתחיקה;
- שימוש בציוד מגן אישי כגון: כפפות מבודדות, משקפי מגן ועוד, ושימוש בכלי עבודה מבודדים.
- שימוש בשיטות הגנה נגד התחשמלות כמו:
 - הארכת הגנה TT ושיטת האיפוס;
 - הזנה דרך מפסק מגן;
 - הזנה דרך "הפרד מגן";
 - בידוד כפול;
 - מעבר למתח נמוך מאוד (בכל מקרה שאין אפשרות אחרת להגנה על אזור מסוכן).

נוהל בטיחות חשמל בעבודות אלקטרוניקה

לצורך הגברת רמת הבטיחות בתחום העבודות עם ציוד אלקטרוני הכנתי מודל הכולל נוהל בטיחות חשמל בעבודות אלקטרוניקה, קריטריונים לאיתור וקביעת "אזור מסוכן", הוראות לעובדים העוסקים בעבודות עם ציוד אלקטרוני, ודרכי ביצוע ואחראים על הביצוע (ראו מסגרת). הקריטריונים מבוססים על גבולות הסף של סיכוני החשמל, מהיבטי השפעתם על גוף האדם. הנוהל יחול על כל העובדים במקום העבודה, לרבות עובדי קבלן המועסקים בתחום זה. מטרת הנוהל היא לקבוע דפוסיס לתיאום מוקדם בין גורמים שונים הנוגעים בדבר, לצורך ביצוע

"(ב) ... לא יותקן מוליך חשוף בהתקנה גלויה אלא כשהגישה אליו היא לחשמלאי בלבד, וגישה באקראי אליו או נגיעה בו בלתי אפשריים."

תקנה 4. לוח חשמל קבוע

"(ד) חלקים חשופים חיים של הלוח יהיו מוגנים מפני נגיעה מקרית."

תקנה 9. ביצוע עבודות תיקון ותחזוקה בציוד המופעל באנרגיה חשמלית

"(א) בכל מקרה של עבודת תיקון ותחזוקה ינותק ציוד ממקור אנרגיה חשמלית;"

● תקנות החשמל (מעגלים סופיים הניזונים במתח עד 1,000 וולט), התשמ"ה-1984:

תקנה 6. הגנה בפני נגיעה מקרית

"ציוד חשמלי של מעגל סופי יותקן באופן המונע נגיעה מקרית בחלקים חיים."

● תקנות הבטיחות בעבודה (ציוד מגן אישי), התשנ"ז-1997

תקנה 3. חובות המעביד

"(א) מעביד יספק ציוד מגן אישי"

תקנה 6. טיב הציוד והתאמתו

"(א) ציוד מגן אישי יהיה באיכות נאותה, חזק ועמיד ובעל מבנה ותכונות למתן הגנה נאותה מפני הסיכונים שאותם הוא בא למנוע."

בטיחות כבר בשלב התכנון

תכנון נכון של מערך בטיחות חשמל בעבודה עם ציוד אלקטרוני מתחיל כבר בשלבי פיתוח הציוד וצריך לכלול דרכי הגנה מקובלות כמו:

- בידוד אזורים ורכיבים מסוכנים (עד למצב שבו החלקים הנגישים לא יהיו "חיים");

נוהל בטיחות חשמל בעבודות אלקטרוניקה

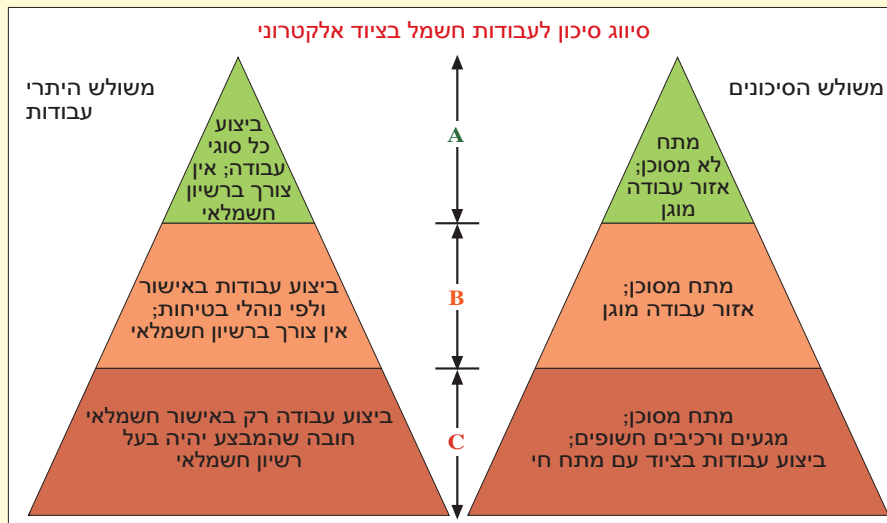
תהליך בחירת סיווג הסיכון באזור העבודה

- בדיקת המתח באזור העבודה:** אם המתח נמדד מ-50V AC או מ-120V DC - סיווג הסיכון יהיה A (אזור לא מסוכן);
- בדיקת סף הזרם באזור העבודה:** אם המתח עולה על הנתונים שבסעיף 1, והזרם באזור איננו עשוי לסכן את גוף האדם - עפ"י עוצמתו ומסלול המעבר שלו בגוף האדם, כמפורט בטבלאות התקן - סיווג הסיכון יהיה A (אזור לא מסוכן);
- בדיקת זמן הפריקה:** אם הזרם נחשב כ"מסוכן" עפ"י התקנים הנ"ל וזמן פריקת הזרם דרך גוף האדם אינו עולה על נתוני התקנים - סיווג הסיכון יהיה A (אזור לא מסוכן);
- הופעת קשת חשמלית:** אם אין מגעים חשופים באזור העבודה ואין סיכוי להופעת קשת חשמלית - סיווג הסיכון יהיה A (אזור לא מסוכן);
- אם התגלתה חריגה מהמותר בשלבים 1, 2 או 3 אך אין מגעים חשופים באזור - סיווג הסיכון יהיה B (אזור מסוכן);

גורמים נוספים אשר מעלים את רמת סיווג הסיכון של אזור העבודה הם:

- נוכחות רכיבים אשר עלולים לגרום להתפוצצות או שריפה (קבלים);
- מוקדים של פוטנציאל פריקת חשמל סטטי בעוצמה (מתח וזרם = ניצוץ), אשר עלולה לגרום לקשת חשמלית, שריפה וסיכון להתחשמלות;
- נוכחות ציוד בדיקה (צב"דים), שיש עליהם אביזרים נושאי מתח חי חשוף, או שהם עלולים לפלוט קרינה מסוג אלמ"ג או לייזר ברמה המהווה סיכון לאדם;
- נוכחות ציוד עבודה ומדידה שאין לו בידוד מתאים והוא יוצר סיכון התחשמלות למשתמש בו;
- ביצוע תהליכי עבודה, בהם: הלחמות, ניסויים ובדיקות שיש בהם סיכון כגון: חום, סיכונים כימיים, קרינות מסוגים שונים וכן, השלכות גיהותיות וסביבתיות שונות;

איור 1: משולשי סיכונים ועבודות מורשת בציוד אלקטרוני



- אם קיימת חריגה מהמותר בשלבים 1, 2 או 3 וקיימים באזור מגעים חשופים - סיווג הסיכון יהיה C (אזור מסוכן מאוד).



ביצוע עבודות בדיקה וכיול בציוד אלקטרוני (האזורים המסוכנים מסומנים)

סיווג אזורי עבודות חשמל ודרכי הפעולה בהם

לצורך בחירת דרך בטיחותית לביצוע עבודות חשמל בציוד אלקטרוני, צריך לסווג את אזור העבודה באחת מרמות הסיכון: A, B או C. כל רמה מאופיינת עפ"י היעדר סיכון או קיום הסיכון ורמתו. בהתאם לסיווג בוחרים את התהליך שאותו בטוח לבצע באזור המסוים. לפני התחלת העבודה יש לבצע בדיקה מתאימה כדי לוודא היעדר סיכון, או כאשר קיים סיכון - ביצוע העבודה תוך נקיטת כל אמצעי הבטיחות הנדרשים, כולל אישורים ופיקוח, עפ"י הדרישות לגבי אזור הסיכון המסוים.

בחירת רמת סיכון לאזור:

נתוני הזרם אשר עלול לעבור דרך גופו של אדם במצב התחשמלות חייבים להישאר נמוכים מנתוני הזרם אשר עלול לגרום להלם חשמלי ולפרפור חדרי הלב. הנתונים מובאים בטבלה שלפניכם. כאשר הנתונים באזור הנבחן חורגים מהנתונים שבטבלה, האזור המסוכן יסווג ברמה גבוהה יותר. לדוגמה: חריגת מתח או זרם מנתוני הטבלה - האזור יסווג כ-B; חריגת מתח או זרם מנתוני הטבלה, באזור עם מגעים חשופים - האזור יסווג כ-C.

הגדרת הנתונים למודל ההלם החשמלי בין התקנים IEEE-80 ו-IEC-479-1

כאשר:
 c - מקדם תיקון. דוגמה: לקרקע אחידה = 1.4;
 ρ - התנגדות סגולית של הקרקע [אוהם/מטר];
 V_T - מתח המגע (Touch Voltage) - מתח גלווני [וולט];
 t - משך הזמן [שניות] המותר (הבטוח) של זרם ההלם דרך גוף האדם (מובא בטבלאות, בתקן);
 A - שטח מגע הרגל עם הקרקע [סמ"ר] מבוטא בטבלאות התקן כשטח עיגול ברדיוס מתאים.

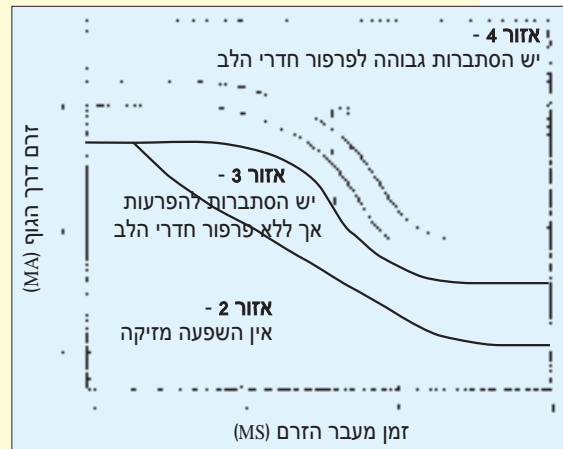
הגדרות	עפ"י: IEEE-Std-80	עפ"י: IEC 479-1
התנגדות גוף האדם	1,000 אוהם (לצורכי תכנון)	תלוי במתח ובמסלול הזרם
התנגדות מגע שוות-ערך (מקדם תְּבִינִין ²)	$1.5 \times c \times \rho$	אין הנחיות
מתח מגע שווה-ערך, עפ"י מקדם תְּבִינִין	$V_T = \frac{0.116}{\sqrt{t}} (1.5 \times c \times \rho + 1,000)$	אין הנחיות
הזרם המותר למעבר דרך גוף האדם	לאדם במשקל 70 ק"ג: $0.157 \times A \times \sqrt{t}$	ללא תלות בגודל האדם; עפ"י גרפים המובאים בתקן

1. מתוך: A Comparison of IEC-479-1 and IEEE-Std-80 on Grounding Safety Criteria

מאת: Chien-Hsing LEE & A.P. Sakis Meliopoulos

2. מקדם תְּבִינִין (ע"ש Charles Thevenin (1857-1926)) החשמלי (אדם, מוליכים, קרקע, ...) בביטוי אחד

זמני פריקת הזרם והשפעתו על גוף האדם



- C₁ - הסתברות של 5% לקיום אזור 4
- C₂ - הסתברות של 50% לקיום אזור 4
- C₃ - הסתברות של 95% לקיום אזור 4

תרשים זרימה לבחירת סיווג סיכון אזורי עבודה לפי קריטריונים להגדרת "אזור מסוכן"

באזור המסווג כ-C יש להקפיד על קיום:
 1. אישור ביצוע עבודה בציוד אלקטרוני "חיי" לפי דרישות תקנות החשמל (עבודה במתקן חי או בקרבתו), התשס"ט-2008.
 2. איסור או היתר לביצוע עבודות בציוד אלקטרוני "חיי" במתח נמוך. למפעל (מקום עבודה) אין סמכות לאשר עבודה בסביבת מתח גבוה.

דרישות לביצוע עפ"י סיווג האזור
 (יש לסמן X במשבצות הרלוונטיות לאחר ביצוע)

אזור בסיווג A:

- עבודות בציוד אלקטרוני שאינו תחת מתח או באזור לא מסוכן (לפי הגדרה):
- על הציוד להיות מנותק ממקור הזרם.
 - יש לפרוק מתח מכל רכיב קיבולי.
 - יש לוודא היעדר מתח בכל הרכיבים של המערכת, הציוד ובמכשירים עם השראה סביבתית (באחריות בעל רישיון חשמלאי).
 - יש לתת אישור עבודה במיתקן חשמלי שאינו תחת מתח.

אזור בסיווג B:

עבודות בציוד אלקטרוני הפועל באזור מסוכן, מוגן:

- אזור העבודה מוגן ואינו חשוף למגע מקרי.
- ביצוע בדיקה חזותית בלבד.
- יש לתת אישור עבודה בציוד אלקטרוני שאינו תחת מתח ביחד עם הרשאת בטיחות במיתקן מנותק מחשמל.
- ביצוע מדידות בלבד - העובד יהיה בעל הסמכה מפעלית, לאחר הכשרה והרשאה לעבודה.

אזור בסיווג C:

אזור עבודה מסוכן. קיימת אפשרות למגע מקרי, ישיר או בלתי ישיר, עם מתח מסוכן ועם רכיבים מסוכנים:

- אזור/מגע מסוכן לפי הקריטריונים המוגדרים.
- יש לתת אישור עבודה בציוד אלקטרוני "חיי" ביחד עם הרשאת בטיחות.
- יש לעבוד לפי הגדרות "ביצוע עבודה במיתקן חשמלי חיי".
- העובד יהיה אדם כשיר (בעל רישיון חשמלאי, לאחר הכשרה והרשאה לעבודה).

הדרכה והכשרה

הנהלת מקום העבודה צריכה להכשיר עובדים לעבודה בציוד אלקטרוני תחת מתח כדי לקבל הסמכה לרישיון "חשמלאי שירות" לפחות.

ההנהלה תזום הדרכה בנושא בטיחות בביצוע עבודות על פי הנוהל. את ההדרכה עבור העובדים במקום העבודה יש לקיים לפני ביצוע עבודה עם הציוד/המכשיר, ע"י גורם מקצועי. במסגרת ההדרכה ייכללו הנושאים הבאים:

1. הסכנות בעבודה, נוהלי בטיחות בעבודות חשמל.
2. הסכנות בקבלים, ספקי כוח וכד'.
3. סיכונים בעבודות או בסביבה של חומרים מסוכנים ועבודות הלחמה.
4. שימוש בציוד מדידה, כלי עבודה וצב"ד מוגנים.
5. זיהוי חלקים חיים של ציוד/מכשיר, שילוט וסימון אזורים מסוכנים.
6. ההגנות הקיימות והנדרשות מחישמול, כמו מפסקי מגן והארקות הציוד ועמדות העבודה.
7. ציוד מגן אישי הדרוש כדי להימנע מפגיעה או להקטין אותה.
8. עזרה ראשונה במקרה פגיעה או חישמול והתנהגות במקרה חירום, כולל תרגול. אחת לשנה תועבר לכל העובדים במקום הדרכה כללית.

סיכום

ע"י הפעלת הנוהל המוצג במאמר זה מקבלים אפשרות לזהות את רמת סיכוני העבודה ובהתאם לכך - הגדרת הסיכוי לסיכון באזור ומניעת פגיעות חשמל בעובדים. ■

