



תקן לבטיחות בחשמל במקום העבודה

סקירה בנושא דרישות הבטיחות בחשמל, שיטות עבודה
ודרישות לציוד ולתחזוקה

ד"ר אלכס טורצקי

מהנדס חשמל, ממונה בטיחות, בעלי ATES

מבוא

מטרת המאמר היא לתת סקירה כללית על
תקן "בטיחות בחשמל", הנוגע לדרישות
הבטיחות בחשמל לעובדים, מגדיר שיטות
עבודה הקשורות לבטיחות, וכן, שיטות
עבודה מיוחדות ודרישות לציוד ולתחזוקה.

המאמר מתייחס למבנה ולפרקים עיקריים
של התקן, עם הרחבה בנושא סימון לוחות
וציוד חשמלי, ולסימון סיכונים חשמלי
על ידי הבזק וקשת חשמלית. ניתוח סיכונים
זה קובע את רמת האנרגיה בקשת, את
גבולות ההתקרבות ללוחות חשמל ולציוד
חשמלי, ולציוד המגן הנדרש ולקביעת
מרחקי ההתפשטות של הקשת החשמלית
(באזורים שעשויים להיות חשופים אליה).

בצמוד לתקן זה קיים גם תקן NFPA 70B.
בעוד NFPA 70E מתמקד בבטיחות חשמל

במקום העבודה, 70B מתאר שיטות עבודה
מומלצות בתעשייה לתחזוקת ציוד חשמלי
וכולל גם ציוד אלקטרוני, כמו גם מערכות
תקשורת וציוד. מאמר זה מתייחס רק לתקן
"בטיחות בחשמל במקום העבודה".

התקן להנחיות לעבודה בטוחה, הנדרשת
להגנה על כוח אדם באמצעות הפחתת
החשיפה לסכנות חשמליות עיקריות, מסייע
להימנעות מפציעות במקום העבודה
ומנפגעים כתוצאה מהלם, מהתחשמלות,
מהבזק קשת ומפיצוץ קשת.

א. מטרת התקן

מטרת התקן היא לספק אזור עבודה בטוח
מעשי לעובדים מהסכנות הנובעות משימוש
בחשמל.

התקן מכיל נספחים רבים, המאפשרים

לחשב את גבולות הסיכונים, לארגן מערך
ניהול סיכונים ולבצע תהליכי ביצוע
עבודות גם בניתוק מעגלים חשמליים וגם
בעבודות במתקן חי. הוא מרחיב ומסדר
תהליכי ביצוע עבודות, חלקם קיימים בחוק
ובתקנות החשמל. התקן מוסיף דברים
חסרים ומכיל מידע רב, כולל חישובים
וטבלאות.

נתייחס בהרחבה למהדורת 2018
(שעודכנה בשנת 2021, כפי שמופיע
בהמשך), הכוללת שלושה פרקים (פרק 1
- שיטות עבודה הקשורות לבטיחות; פרק 2
- בנושא בטיחות - דרישות תחזוקה; פרק 3
- דרישות בטיחות לציוד מיוחד), 23 סעיפים
ו-15 נספחים, שכוללים גם תוכנית בטיחות
חשמל, הערכת סיכונים ובקרת סיכונים,
תוכנית נעילה ותיוג, הדרכה והכשרה של
עובדים ועוד.

שתי הסכנות העיקריות הנדונות במאמר
הן התחשמלות והבזק קשת חשמלית.

ב. מהות התקן:

פרק 1: שיטות עבודה הקשורות לבטיחות

שיטות עבודה ונהלים, תוכנית בטיחות,
סיכונים, הגנות נגד התחשמלות ועומס יתר.

התקן מתייחס בהרחבה להכשרה ולאחריות
של המעביד והמבצע, למבדקים ולביקורת,
וכן, לטעויות אנוש.

התקן עובר תהליך עדכון תקופתי על בסיס קבוע בכל
שלוש שנים. הגרסה האחרונה עודכנה בשנת 2021.
השינויים הבולטים ביותר במהדורת 2021 כוללים:

- תוקן סעיף דרישות כלליות לנהלי עבודה הקשורים לבטיחות חשמל. הסעיף כולל דרישות כלליות לתוכניות עבודה ונהלים הקשורים לבטיחות בחשמל.
- שונתה ההתייחסות לציוד עמיד בפני קשת חשמלית, שמרחיבה את השימוש בסוגי הציוד שונים.
- נוספו שינויים בטבלה המפרטת משימות רגילות או חריגות להערכת סיכונים בסוללות.
- השינויים ב-PPE כוללים שילוב של ASTM D120 עבור כפפות, ודרישה לשכבות חיצוניות של בגדים. אם לובשים שכבת לבוש חיצונית, עליה להיות מדורגת, עמידה לקשת, והשכבה הפנימית חייבת לעמוד בדרישת הקלוריות של משימת העבודה.

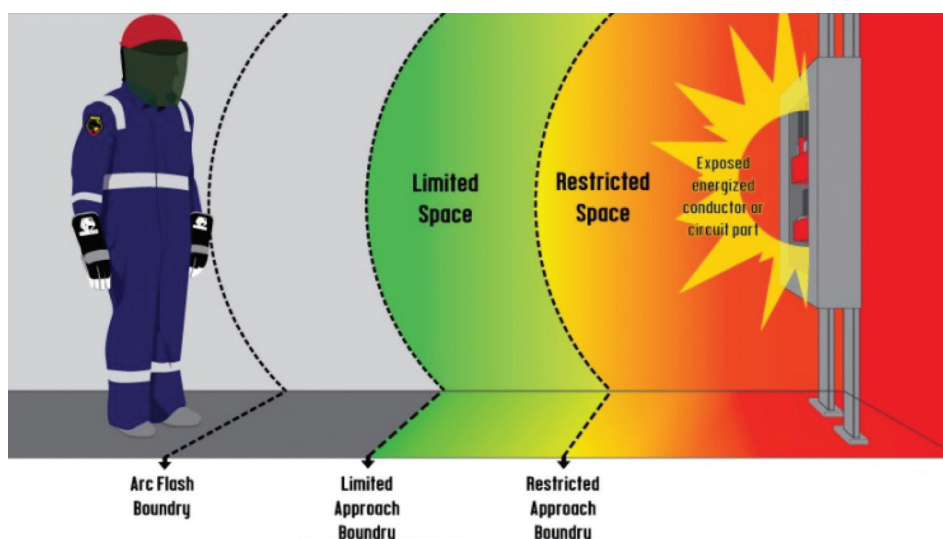
**אם נדרשים אמצעי
הגנה נוספים, הם ייבחרו
וייושמו על פי
ההיררכיה של בקרת
סיכונים שזוהתה**

צילום אילוסטרציה: Freepik



פתרון בטוח על ידי נעילה ותיג

**התקן להנחיות לעבודה
בטוחה, הנדרשת
להגנה על כוח אדם, מסייע
להימנעות מפציעות במקום
העבודה ומנפגעים כתוצאה
מהלם, מהתחשמלות,
מהבזק קשת ומפיצוץ קשת**



איור 1. גבולות גישה לקשת חשמלית

ייבחרו ויושמו על פי ההיררכיה של בקרת סיכונים שזוהתה. אמצעי ההגנה הנוספים כוללים שימוש בצידוד מגן אישי, לפי הפרמטרים הבאים:
המתח שאליו ייחשפו אנשי הצוות, דרישות הגבול לקשת חשמלית ולהבזק הקשת.

גבולות הגנה מהלם. הגנה מהלם חשמלי זוהה כגבול גישה מוגבל (limited approach boundary) או גבול מסווג (restricted), הגישה המותרת במקום שבו נמצאים אנשי

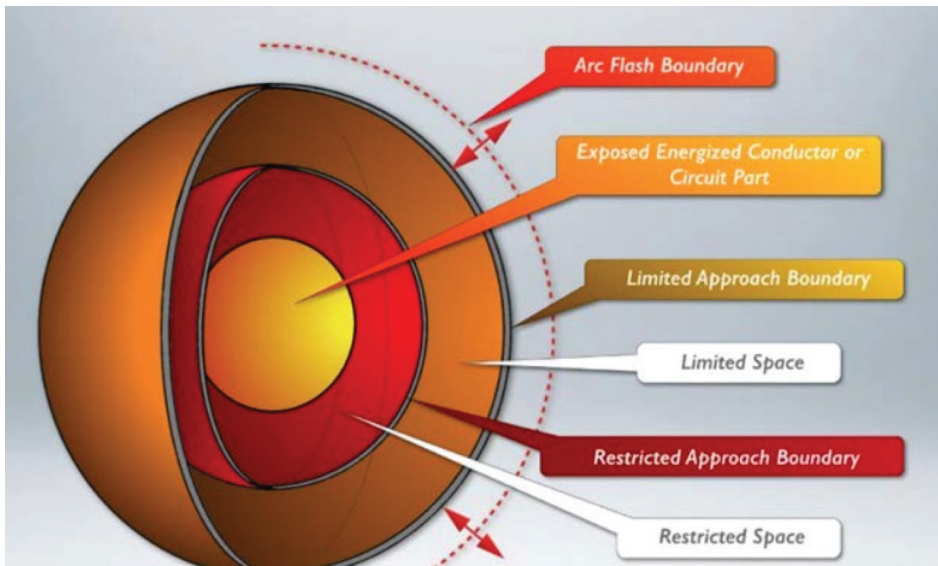
חלק ניכר של התקן מציע פתרון בטוח על ידי ניתוק המתקן מהמתח (נעילה ותיג) ועבודה תחת מתח (עבודה במתקן חי), שהוגדרו גם בתקנות החשמל.

סעיף נפרד מתייחס לשימוש בצידוד חשמלי נייד, לתדירות הבדיקה והאחריות, כולל כבלי הארכה ושקע מעבר.

התייחסות מיוחדת ניתנת להערכת סיכוני התחשמלות (Shock Risk Assessment) ולאמצעי הגנה נוספים.

המשך בעמוד הבא

אם נדרשים אמצעי הגנה נוספים, הם



איור 2. ציון והגדרות גבולות סיכון וקרבה למעגל או למוליך חי.

קרבה למתקן חי".

◀ המשך מעמוד קודם

גבול גישה מסווגת (Restricted Approach Boundary): אף אדם בלתי מוסמך לא יתקרב או לא יחזיק כל חפץ מוליך בקרבת מוליך חי. מרחקי גבול הגישה מפורטים בטבלה 4, אלא אם חל אחד מהתנאים הבאים (איור 1): האדם המוסמך מבודד או מוגן מפני מגעים חשמליים חיים בלתי מכוסים ופועלים ב-50 וולט AC או יותר. הוא יצייד בצידוד מגן אישי - PPE (personal protective equipment), שישתמש בו רק לעבודה באזור מעגלים חיים שעליהם מתבצעת העבודה. הגישה מוגדרת בתקנות החשמל כ"אזור עבודה במתקן חי".

סעיף הערכת סיכונים של הבזק קשת חשמלית (Arc Flash Risk Assessment): מגדיר שיטת הערכת סיכון קשת חשמלית, זיהוי נפגעי קשת, פגיעה בבריאות ודרישות ל-PPE. לפי הסבירות וחומרת הנזק יש לתכנן ציוד חשמלי והגנות בפני זרם יתר, וזמני הפעלתו, וכן, תחזוקה בטוחה. גבול הקשת (איור 2).

מקום חשוב בהערכת סיכון בתיעוד. התוצאות של הערכת הסיכון לקשת יתועדו. אזור כניסה לגבול מסווג יש לציין בשלט אזהרה (איור 3).

גבול הבזק קשת (Arc Flash Boundary): יהיה המרחק שבו אנרגיה שווה ל- 1.2 Cal/cm^2 או 2.5 J/cm^2 . גבולות הבזק הקשת הוגדרו גם בטבלאות מתאימות בתקן. הוגדרו גם שיטות ניתוח אנרגיית אירועים (פריצת קשת והבזק). אנרגיית האירוע, רמת החשיפה, תתבסס על מרחק העבודה

הצוות שמתקרבים למעגלים או למוליכים חשמליים חשופים חיים (ראו טבלה 1) תשמש עבור המרחקים הקשורים לטיפול במערכות זרם חילופין במתח נמוך וגבוה. בתקן קיימת גם טבלה למרחקים הקשורים למערכות זרם ישר במתחים שונים.

גבול גישה מוגבלת (Limited Approach Boundary): גישה לאנשים לא מוסמכים (ללא רישיון חשמלאי מתאים), אלא אם הותרה על ידי אחראי, בהדרכתו ובפיקוחו. הגישה מוגדרת בתקנות החשמל כ"אזור



איור 3. שלט סימון אזור מסווג. כניסה רק לעובדים מורשים

טבלה 1. בתקן טבלה 130.4(a)(D) – גבולות גישה למוליכים חיים חשופים במתח חליפין

Table 130.4(D) (a) Shock Protection Approach Boundaries to Exposed Energized Electrical Conductors or Circuit Parts for Alternating-Current Systems.

1	2	3	4
Nominal System Voltage Range, Phase to Phase ^a	Limited Approach Boundary ^b		Restricted Approach Boundary ^b Includes Inadvertent Movement Adder
	Exposed Movable Conductor ^c	Exposed Movable Conductor ^c	
Less than 50V	Not specified	Not specified	Not specified
50 V - 150 V ^d	3.0 m (10 ft 0 in.)	1.0 m (3 ft 6 in.)	Avoid contact
151 V - 750 V	3.0 m (10 ft 0 in.)	1.0 m (3 ft 6 in.)	0.3 m (1 ft 0 in.)
751 V - 15 kV	3.0 m (10 ft 0 in.)	1.5 m (5 ft 0 in.)	0.7 m (2 ft 2 in.)
15.1 kV - 36 kV	3.0 m (10 ft 0 in.)	1.8 m (6 ft 0 in.)	0.8 m (2 ft 9 in.)
36.1 kV - 46 kV	3.0 m (10 ft 0 in.)	2.5 m (8 ft 0 in.)	0.8 m (2 ft 9 in.)
46.1 kV - 72.5 kV	3.0 m (10 ft 0 in.)	2.5 m (8 ft 0 in.)	1.0 m (3 ft 6 in.)
72.6 kV - 121 kV	3.3 m (10 ft 8 in.)	2.5 m (8 ft 8 in.)	1.0 m (3 ft 6 in.)
121 kV - 145 kV	3.4 m (11 ft 0 in.)	3.0 m (10 ft 0 in.)	1.2 m (3 ft 10 in.)
145 kV - 169 kV	3.6 m (11 ft 8 in.)	3.6 m (11 ft 8 in.)	1.3 m (4 ft 3 in.)
169 kV - 230 kV	4.0 m (13 ft 0 in.)	4.0 m (13 ft 0 in.)	1.7 m (5 ft 8 in.)
230 kV - 345 kV	4.7 m (15 ft 4 in.)	4.7 m (15 ft 4 in.)	2.8 m (9 ft 2 in.)
345 kV - 500 kV	5.8 m (19 ft 0 in.)	5.8 m (19 ft 0 in.)	3.6 m (11 ft 8 in.)
500 kV - 765 kV	7.2 m (23 ft 9 in.)	7.2 m (23 ft 9 in.)	4.9 m (15 ft 11 in.)

של אזורי הפנים והחזה של העובד ממקור קשת פוטנציאלי למשימה הספציפית. אם יש סכנה להתקרבות יתר לאזור חי, שגורם לאנרגיית קשת גדולה יותר, יש להשתמש ב-PPE ברמת הגנה גבוהה יותר עבור כל חלק של הגוף שקרוב יותר ממרחק העבודה שבו נקבעה אנרגיית האירוע הקודם, בטבלה לעיל.

פרק 2 – דרישות בטיחות בתחזוקה

בפרק 2 מדובר על תחזוקה מעשית הקשורה לבטיחות, דרישות לצידוד ולמתקנים חשמליים במקומות עבודה. דרישות אלו מתייחסות רק לתחזוקה הקשורה ישירות לבטיחות העובדים. הפרק מגדיר אנשים המוסמכים כעובדים המבצעים עבודות תחזוקה לצידוד ולמתקנים חשמליים, בעלי רישיונות חשמל מתאימים לתחזוקת מתקני חשמל ולהגנה בפני זרם יתר, ומרחקים ומרווחים בצידוד חשמלי. **דרישות להארקה וחיבורים** – כל חיבורי הארקה לצידוד ולמתקנים יישמרו כדי להבטיח רציפות חשמלית.

דרישות לסימני אזהרה – שלטי אזהרה, במידת הצורך, יהיו גלויים, מחוברים היטב ומתוחזקים במצב קריא.

דרישות אזור. כאשר מערכות אזור מאולצות או טבעיות נדרשות על ידי תכנון מערכת הסוללה והן קיימות, הן ייבדקו ויתוחזקו כדי למנוע הצטברות גזים ופיצוץ תערובות. תחזוקה זו תכלול בדיקה תפקודית של כל מערכות הזיהוי והאזהרה. חובה להחזיק מכשיר לשטיפת עיניים וגוף ולשמור אותו במצב תקין.

הפרק מגדיר דרישות תחזוקה כללים חשמליים ניידים וציוד – תקעים, שקעים, לוחות כיסוי, ומחברי כבל מאריך.

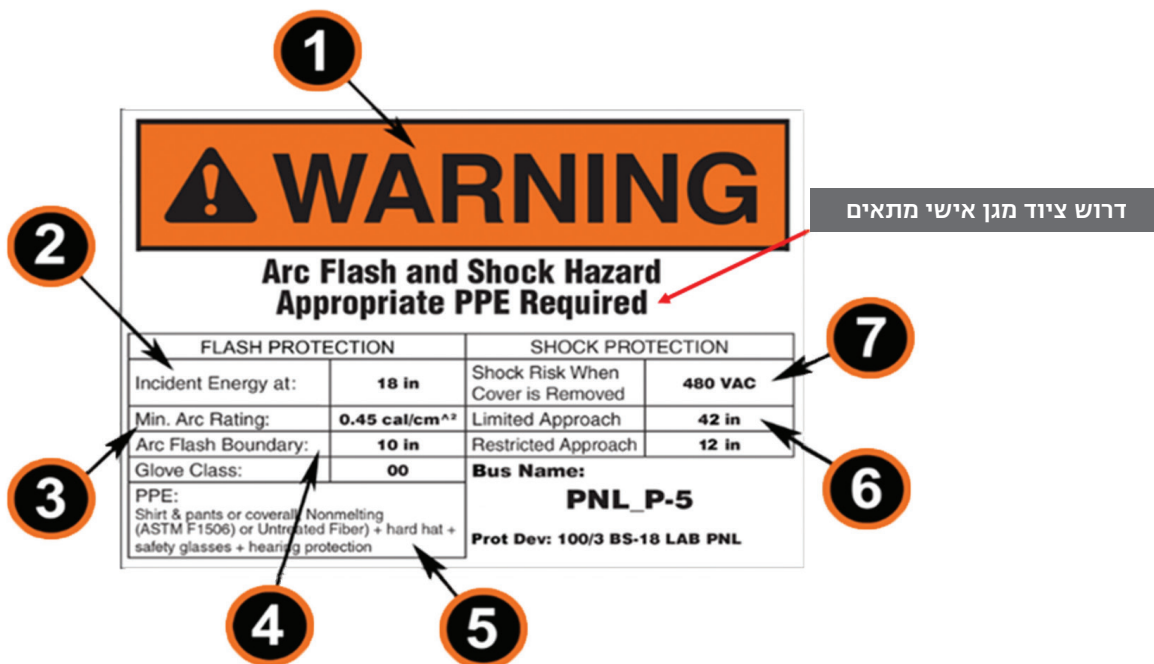
סעיף דרישות תחזוקה לבטיחות אישית וציוד מגן – ציוד בטיחות אישי והגנה, ציוד הארקה, כגון מכשירי בדיקה, מחסומים וכיסויים לבידוד, מגשרים עוקפים, יישמרו במצב תקין.

סעיף כלי עבודה ידניים, כולל דרישות לשימוש ובדיקה – בדיקה וביקורת של ציוד כוללת בדיקות ויזואליות לשלמות כל מרכיבי הכלי ולהתנגדות חשמלית לבידוד כפול.

ערכות כבלי הארקה והארקה אישיות נבדקו לאיתור חתכים במעטפת המגן ונזק לחיבורים. מהדקים והתקני שחרור מתחים של מחברים נבדקו לאטימות. בדיקות אלו יבוצעו לאחר גמר תוקף המוצר ולאחר מכן

המשך בעמוד הבא <<

סעיף סוללות וחדרי סוללות, מגדיר



דרוש ציוד מגן אישי מתאים

איור 4. דוגמה לתווית אזהרת הבזק הקשת המינימלית

– תווית אזהרה להבזק קשת מינימלי
(ראו לדוגמה תווית באיור 4) לפי הערכת
סיכונים של הבזק קשת חשמלית.

תוויות Arc Flash נדרשות על ידי NFPA 70e בארצות הברית ו-CSA Z462 בקנדה. המהדורה העדכנית ביותר של NFPA 70e מזהה את הדרישות המינימליות לתווית אזהרת הבזק הקשת שיש להתקין בשטח בזמן ההתקנה.

דרישות תווית - Arc Flash 2
לפי התקן, טבלה 1 מגדירה גבולות התקרבות בטוחים להגנה נגד התחשמלות בעבודות חשמל, לפי גבולות הקשת (איור 2). מצב זה מאפשר עבודה בטוחה מסכנות חשמל, ואמצעי זהירות להכנת נוהלי בטיחות. טבלאות המגדירות אומדן של הסבירות להתרחשות אירוע הבזק קשת עבור מערכות AC ו-DC גם בטבלה 2 - ניתוח אנרגיה בתקרית.

הסימון בתווית אזהרה:

1. **כותרת סכנה או אזהרה.**
אם הוא נמוך מסף זה, בד"כ נעשה שימוש בכותרת "אזהרה" בעוצמה 2 cal/cm², הנחיה נפוצה היא להשתמש בכותרת "סכנה", כאשר המתח הוא מעל 600 וולט או כאשר אנרגיית האירוע היא מעל 40 cal/cm². אירוע – מצב תקלה או תאונה המסכנת את בריאות האדם.

2. אנרגיית האירוע "הוא מרחק העבודה

המשך מעמוד קודם

- בהתאם לתנאי השירות, אך בשום מקרה המרווח לא יעלה על שנה.

נספחים אינפורמטיביים:

- A פרסומים אינפורמטיביים
- B שמור
- C מגבלות גישה
- D שיטות חישוב גבולות אנרגיה והבזק הקשת
- E תוכנית בטיחות חשמל
- F הערכת סיכונים ובקרת סיכונים
- G תוכנית נעילת/תיוג לדוגמה
- H הנחיות לבחירת ביגוד מגן ואישי אחר ציוד מגן (PPE)
- I תדריך עבודה ורשימת תכנון
- J אישור עבודה במתקן חשמלי חי
- K הגדרות כלליות של סכנות חשמל
- M שכבות של ביגוד מגן ודירוג מערכת קשת כוללת
- N דוגמה לנהלים תעשייתיים ומדיניות עבודה ליד ומעל קווי חשמל וציוד
- O דרישות תכנון הקשורות לבטיחות
- P התאמת היישום של תקן זה לבריאות תעסוקתית ותקני ניהול בטיחות
- Q תפקוד אנושי ובטיחות חשמל במקום העבודה

ג. סימון אזורי עבודה מסוכנים בגישה למתקני חשמל

סימון ומרחקי אזהרה מקשת חשמלית

הנחיה נפוצה
היא להשתמש בכותרת
"סכנה", כאשר המתח הוא
מעל 600 וולט או כאשר
אנרגיית האירוע היא
מעל 40 cal/cm²



צילום אילוסטרציה: Freepik

המתאים". התקן מגדיר זאת כמדד בין נקודת הקשת האפשרית לראשו ולגופו של העובד הממוקם לביצוע המשימה שהוקצתה לו לפי IEEE.

3. מינימום דירוג קשת הוא "אנרגיית האירוע". מדידה בקלוריות/ס"מ ריבועי (Cal/cm²) של אנרגיה תרמית במרחק עבודה מתקלת הקשת.

4. **גבול הבזק קשת.** זהו המרחק הקצר ביותר שבו אדם שעובד בזמן הבזק קשת עלול להיפצע (כוויות מדרגה שנייה או גרוע מכך), אם אינו מוגן כראוי על ידי ביגוד עמיד להבה.

5. **ציוד מגן אישי (PPE).** כל קטגוריית סיכון דורשת רמת הגנה שונה. הקטגוריות נעות מ-1 עד 4. קטגוריה 0 הוסרה מהסימון.

6. **השדות "גבול גישה" ו"גבול מסווג" הם גבולות הגישה של סכנת הלם בגבול הגנת הבזק לעובד לא מוסמך ולעובד מוסמך.** מספר "גבול הגישה" על תווית הבזק הקשת מכתוב את המרחק הקרוב ביותר שאפשר להתקרב ללא שימוש ב-PPE.

גבול גישת הלם מסווג מסמן את מרחק גבול גישת ההלם על תווית בטיחות אשר

איור 4. דוגמה לתווית אזהרת הבזק הקשת המינימלית

בדיקה זמינים. קבוצת עבודה של IEEE הפיקה את הנתונים מבידיקות שביצעה לייצור מודלים של אנרגיית אירוע. הנתונים המלאים, כולל מחשבון גיליון אלקטרוני לפתירת המשוואות, אפשר למצוא במדריך IEEE 1584.

רק אדם "מוסמך" או עובד המלווה באדם "מוסמך" רשאי לחצות. כדי לקבוע את גבול הגנת ההבזק, יש לחשב את זרם הקצר הזמין (ראה נספח D - שיטות חישוב גבולות אנרגיה והבזק הקשת) ואת משך התקלה החזוי והמתח.

7. **סיכון הלם כאשר הכיסוי הוסר - סימון המתח של הציוד.**

גבולות ההבזק מבוססים על ניתוח סטטיסטי ועל התאמת עקומה של נתוני

טבלה 2. מרחקי גבול הבזק הקשת לעובד

NFPA 70E Table 130.2(C) - Approach Boundaries to Live Parts For Shock Protection

(All dimensions are distance from live parts to employee)

Table 130.4(D) (a) Shock Protection Approach Boundaries to Exposed Energized Electrical Conductors or Circuit Parts for Alternating-Current Systems.

1	2	3	4	5
Nominal System Voltage Range, Phase to Phase	Limited Approach Boundary		Restricted Approach Boundary; Includes Inadvertent Movement Adder	Prohibited Approach Boundary
	Exposed Movable conductor	Exposed Fixed Circuit Part		
0 to 50	Not specified	Not specified	Not specified	Not specified
51 to 300	10 ft 0 in.	3 ft 6 in.	Avoid contact	Avoid contact
301 to 750	10 ft 0 in.	3 ft 6 in.	1 ft 0 in.	0 ft 1 in.
751 to 15 kV	10 ft 0 in.	5 ft 0 in.	2 ft 2 in.	0 ft 7 in.
15.1 kV to 36 kV	10 ft 0 in.	6 ft 0 in.	2 ft 7 in.	0 ft 10 in.
36.1 kV to 46 kV	10 ft 0 in.	8 ft 0 in.	2 ft 9 in.	1 ft 5 in.
46.1 kV to 72.5 kV	10 ft 0 in.	8 ft 0 in.	3 ft 3 in.	2 ft 1 in.
72.6 kV to 121 kV	10 ft 8 in.	8 ft 0 in.	3 ft 5 in.	2 ft 8 in.
121 kV to 145 kV	11 ft 0 in.	10 ft 0 in.	3 ft 7 in.	3 ft 1 in.
145 kV to 161 kV	11 ft 8 in.	11 ft 8 in.	4 ft 0 in.	3 ft 6 in.
161 kV to 230 kV	13 ft 0 in.	13 ft 0 in.	5 ft 3 in.	4 ft 9 in.
230 kV to 345 kV	15 ft 4 in.	15 ft 4 in.	8 ft 6 in.	8 ft 10 in.
345 kV to 500 kV	19 ft 0 in.	19 ft 0 in.	11 ft 3 in.	10 ft 9 in.
500 kV to 765 kV	23 ft 9 in.	23 ft 9 in.	14 ft 11 in.	14 ft 5 in.