

# סיכוני חשמל ומניעתם

## תקציר

מאת א. ברזלי

## תוכן

### שריפות

- 3..... התחממות המוליכים כתוצאה מזרם יתר ומתנאי סביבה
- 4..... מגעים רופפים
- 4..... בידוד פגום וזרמי דלף לאדמה
- 5..... אבק, רטיבות כיסויי אבזרי חשמל ופגיעה במערכת האיוורור של הציוד החשמלי
- 5..... ניצוצות, קשת חשמלית, קצר בין מוליכים
- 6..... חשמל סטטי וברקים

### החישמול והדרך למניעתו

- 8..... הסיבה לתופעת החישמול
- 8..... אמצעי הגנה נגד חישמול
- 8..... הארקת הגנה
- 9..... איפוס
- 9..... מפסק מגן הפועל בזרם דלף (כהגנה בלעדית)
- 10..... בידוד מגן (בידוד כפול)
- 10..... הפרד מגן (שנאי מבדל)
- 10..... מתח נמוך מאד (מתח בטיחות)
- 10..... זינה צפה (שיטה בלתי מאורקת)

### הגורמים לתאונות חשמל

- 11..... הסיבות העיקריות לתאונות
- 11..... תאונות חשמל הנגרמות לאנשים עקב מגע אקראי במוליכים חשופים וברשתות חשמל
- 11..... תאונות חשמל בביצוע עבודות חשמל או "תיקונים קלים" ע"י אנשים שאינם מוסמכים
- 12..... תאונות בגלל פגם במיתקן ותחזוקה לקויה
- 12..... תאונות בשל ליקוי במכשירי חשמל ובעיקר במכשירים מיטלטלים

### סיכונים והוראות בטיחות בעבודות שונות

- 13..... חשמלאים
- 14..... רתכים
- 14..... עובדים באתרי בנייה

## כללים להצלת נפגעים מחישמול

- 15..... השפעת זרם החשמל על גוף האדם
- 17..... הצלה ועזרה ראשונה לאחר ניתוק הנפגע מהמתח
- 17 ..... הנפגע בהכרה
- 17 ..... הנפגע איננו בהכרה
- 17 ..... לאחר הצלת הנפגע

## הנשמה מלאכותית

- 18..... הנשמה מפה לפה
- 18..... הנשמה מפה לאף

# סיכוני חשמל ומניעתם

אין אפשרות לתאר את החיים בעידן המודרני ללא חשמל. הוא משמש כמקור האנרגיה העיקרי לתעשייה, למאור, ולכל השימושים הביתיים. אך אליה וקוץ בה: החשמל כולל גם סכנות. זלזול בהתייחסות לסכנות עלול להוביל לסיכון החיים. כדי שהשימוש בחשמל יהפוך לידידותי - יש להתייחס בכובד ראש לכל הסכנות האפשריות, ולנקוט באמצעי המניעה הדרושים.

החשמל גורם ל-2 סוגי סכנות:

- שריפות
- התחשמלות

## שריפות

בדיווח של מקרי שריפה רבים, מציינים "קצר חשמלי" כגורם לשריפה. ההגדרה הזאת היא כוללנית ולא מדויקת. היא מציינת רק השערה שהגורם לשריפה הוא הציוד החשמלי ולמעשה, הסיבה האמיתית איננה דווקא "קצר חשמלי" כהגדרתו המקצועית.

לשריפה שהגורם לה הוא ציוד חשמלי יכולות להיות סיבות רבות ושונות, כגון:

- התחממות המוליכים כתוצאה מזרם יתר ומתנאי הסביבה;
- מגעים רופפים;
- בידוד פגום וזרמי דלף לאדמה;
- אבק, רטיבות, כיסוי אבזרי חשמל ופגיעה במערכת האיוורור של הציוד החשמלי;
- ניצוצות, קשת חשמלית, קצר בין מוליכים;
- פריקת חשמל סטטי וברקים.

### התחממות המוליכים כתוצאה מזרם יתר ומתנאי סביבה

לכל מוליך חשמלי יש התנגדות. כדי להתגבר על ההתנגדות הזאת יש צורך בכמות מסוימת של אנרגיה. האנרגיה הזאת מתורגמת לחום. במלים אחרות: כל מוליך חשמלי מתחמם כאשר עובר דרכו זרם. ככל שהזרם גבוה יותר - התחממות המוליך גדלה. במכשירים חשמליים שונים, כמו מגהצים, תנורים וכו', מנצלים את ההתחממות הזאת. אך, עצם ההתחממות הבלתי נמנעת, של המוליכים במיתקני החשמל, היא תופעה שלילית. התחממות יתר עלולה לגרום נזק למוליך ולבידוד המקיף אותו. יש להביא בחשבון את קיומה של התופעה ולדאוג שהיא לא תגרום נזק למיתקן ולא תוביל לשריפת החומרים אשר עליהם מורכב המיתקן, או הנמצאים בקירבת המוליכים. לצורך כך נדרש אביזר שימנע את התחממות היתר אשר עלולה לגרום לשריפה. האביזר הזה הוא המבטח ("היפק").

קיימים 2 סוגי מבטחים, לפי עקרון פעולתם:

■ נתיכים

■ מפסקים אוטומטיים (מ.ז.ז.; מאמ"ת; מפסק חצי אוטומטי).

תפקידו של המבטח להפסיק את הזרם במעגל כאשר הוא מגיע לערך מסוכם לגבי אותו מיתקן ("זרם יתר"). גודל המבטח נקבע לפי מספר גורמים, וביניהם שטח החתך של המוליך והחומר שממנו הוא עשוי; סוג חומר הבידוד; הסביבה שבה הוא מותקן (פיזור החום) ועוד.

ברגע שמסלפים את ערכו של מבטח ו/או מתקינים מבטח גדול מדי, או מבטח לא תקני - מתבטלת ההגנה על המיתקן כנגד התחממות יתר והתוצאה היא שריפה.

## מגעים רופפים

התחממות המוליך היא ביחס ישר להתנגדות ולזרם העובר דרכו. לכן, ההתנגדות במקום שבו בוצע חיבור בין שני מוליכים תהיה גבוהה יותר מאשר במוליך רצוף.

בתהליכי הייצור של ציוד חשמלי, משתדלים ליצור מצב שבו התנגדות מהדקי החיבור של המוליכים או מגעי המפסק, תהיה קטנה ככל האפשר. למרות זאת, כל מקומות החיבור של מוליכים או המגעים בין תקע ובית תקע הם נקודות תורפה, המובילות להתחממות יתר ממספר סיבות:

■ חיזוק לא נכון/ לא מקצועי של המוליכים;

■ תחזוקה לא נאותה;

■ העמסת יתר.

כל בורג, גם אם הודק כראוי, מתרופף עם הזמן, ויוצר מגע רופף. הסיבות לכך רבות: התפשטות והתכווצות של המתכת כתוצאה מהפרשי טמפרטורה; התחממות של המתכת; תנודות/ ויברציות של הציוד; כוחות מכניים (משיכה) המופעלים על הכבלים בקירבת מקום החיבור לרכיבים ועוד.

הדרך היחידה למנוע תאונות ושריפות מהסיבות שמנינו היא תחזוקה תקופתית נאותה.

כאשר משתמשים במכשיר חשמלי בעל עומס גדול (מדובר בעיקר במכשירי חימום), המצויד בתקע, מגלים לעתים קרובות סימני חריכה על המכסה של בית התקע, או סמוך לנקודות החיזוק של הפינים בתקע. בכל מקרה כזה יש להפסיק מיד את השימוש במכשיר ולהזמין חשמלאי, שיבדוק את התקע ואת בית התקע (למרות שהסימנים מופיעים רק על אחד מהם), ויחליף את הציוד הפגום.

תופעה שכיחה נוספת היא כאשר אחד הפינים בתקע נעשה קצר יותר. הסיבה לכך היא התחממות הפין, אשר גרמה להתכת הבסיס של התקע ולשקיעתו של הפין. גם במקרה זה יש להפסיק מיד את השימוש במכשיר.

ככלל: רצוי שלא להשתמש בבית-תקע מפוצל עבור מכשירים בעלי עומס גדול, כגון תנורים.

בכל מקרה רצוי להשתמש, במידת האפשר, בכבלים המצוידים בתקעים היצוקים יחד עם הכבל. בציוד כזה המוליכים מרותכים לפינים (ולא מחוזקים בברגים).

## בידוד פגום וזרמי דלף לאדמה

כאשר במכשיר או במיתקן חשמלי נוצר ליקוי בבידוד בין המוליכים לאדמה ו/או הארקה, נוצרים זרמי דלף העוברים דרך האדמה אל השנאי של מערכת ההספקה. מעבר הזרם מלווה בחימום מקומי של אזור התקלה, אשר נמצא ביחס ישר לריבוע הזרם. החימום מגדיל את הפגיעה בבידוד ומגביר את זרם התקלה לממדים מסוכנים. במקרה כזה, כשזרם התקלה לא עולה על הגודל הנקוב של המבטח באותו מעגל, וכל זמן שלא מתקיים קצר מלא - המבטח לא יזהה את המצב כתקלה ולא יפסיק את הספקת הזרם למעגל. אך, הזרם הזה גורם להתחממות מסוכנת במקום התקלה ועלול לגרום לשריפה.

הפתרון היחידי להגנה כנגד סכנה מסוג זה הוא **התקנת אמצעי הגנה נוסף, כגון: מפסק מגן לזרם דלף**, אשר מזהה דליפת זרמים קטנים לאדמה ומנתק מיד את המעגל, בלי קשר לגודל המבטח שבמיתקן.

## אבק, רטיבות, כיסוי אבזרי חשמל ופגיעה במערכת האיורור של הציוד החשמלי

כדי למנוע תאונות שמקורן בחשמל - לא מספיק שהציוד החשמלי במיתקן יהיה תיקני ואמין. יש לדאוג שהציוד גם יותאם לתנאי הסביבה שבו הוא מותקן, הדרישה קיימת, לדוגמה, בתקנות החשמל (מעגלים סופיים, הניזונים במתח עד 1000 וולט), התשמ"ה-1984.

### 4. התאמה למקום ההתקנה

(א) ציוד חשמלי של מעגל סופי יתאים לתנאים הקיימים במקום ההתקנה, כגון: רטיבות, סכנה של פגיעות

מכניות, השפעה כימית, אש, התפוצצות, הצטברות אבק או לכלוך הפוגמים באוורור התקין.

הכוונה ב"התאמת הציוד" היא להתאמת המעטפת החיצונית של הציוד, כך שהיא תגן על הציוד החשמלי מפני נזק אשר עלול להיגרם לו בהשפעת הסביבה. לדוגמה: בית תקע מהסוג הרגיל (המיועד להתקנה בדירות מגורים) איננו מתאים לשימוש במסגרייה, שם קיימת סכנה מוגברת לפגיעות מכניות, וודאי שאיננו מתאים לשימוש במכון לשיטפת מכונות, שם יש סכנה לחדירת מים ורטיבות לתוך הציוד.

### ההגנה של מעטפת הציוד החשמלי מדורגת לפי רמת ההגנה שהיא מעניקה לציוד.

את דרגות ההגנה כנגד הסכנות מסמנים ב: I.P-X<sub>1</sub>X<sub>2</sub>X<sub>3</sub> כאשר:

X<sub>1</sub> = סיפחה המציינת את רמת ההגנה מפני חדירת גופים זרים;

X<sub>2</sub> = סיפחה המציינת את רמת ההגנה כנגד מים;

X<sub>3</sub> = סיפחה המציינת את רמת ההגנה כנגד פגיעות מכניות.

לדוגמה:

מפסק המותקן ליד דוד שמש המוצב על הגג - חייב להיות בעל דרגת הגנה של I.P 557.

ציוד חשמלי ומכשירים באתרי בנייה, אשר יכולים להיות בשימוש תחת כיפת השמים - חייבים להיות בעלי דרגת הגנה של I.P 44X לפחות, או שיהיו מוגנים ע"י מעטה שווה ערך.

את טבלת דרגות ההגנה וסימונן ניתן למצוא בתקן ישראלי ת"י-981.

את רמת ההגנה הדרושה לגבי מקרים חריגים ניתן למצוא בתקנות החשמל אך קביעת דרגת ההגנה נתונה, בדרך כלל, לשיקולו של המתכנן, בהתאם לתנאי הסביבה של המיתקן המסוים.

גורם נוסף לשריפות הוא שימוש לא נכון במיכשור החשמלי. בכל מכשיר חשמלי קיימים פתחי איורור או אמצעים אחרים, המיועדים לפזר את החום הנוצר בפעולת המכשיר. כיסוי של פתחי האיורור הללו ע"י חפצים שונים, בגדים שמיכות וכדומה, גורם להתחממות המכשיר ולשריפה. בנוסף, כיסוי הפתחים או פגיעה במערכת האיורור עלולות לשבש את פעולת התרמוסטט של המכשיר.

מכשירי החימום אינם יוצרים סיכון גדול יותר ממכשירי חשמל אחרים, בתנאי שהשימוש בהם נכון. שריפות לא מעטות, שגבו גם קורבנות בנפש, נגרמו כתוצאה משימוש לא נכון במכשיר תקין, או שימוש במכשיר חימום בקירבת חומרים דליקים (הנחת חומרים דליקים בקירבת תנור או עליו), או כתוצאה מהפעלת תנורי חימום ללא השגחה.

גם המעטפת של הציוד החשמלי צריכה להתאים לתנאי הסביבה. לדוגמה: במקומות שבהם קיימים חומרים דליקים או גזים נפיצים - יש להשתמש בציוד ייעודי, מיוחד, עמיד כנגד התפוצצות. ומוטב, אם ניתן, לא להתקין ציוד חשמלי במקומות האלה.

## ניצוצות, קשת חשמלית, קצר בין מוליכים

כאשר מנתקים מערכת חשמלית ממקור הזרם נוצרת קשת חשמלית במקום שבו מבוצע הניתוק. הציוד החשמלי בנוי כך שהקשת הזאת תתקיים רק לזמן קצר, ולא תגרום לנזק. קשת חשמלית נוצרת בכל מפסק חשמלי ובכל פעם ששולפים תקע של מכשיר, שאיננו מצויד במפסק, מתוך בית תקע (כלומר: כאשר ניתוק הספקת הזרם למכשיר נעשה בזמן שליפת התקע מבית התקע).

קשת חשמלית חזקה ומסוכנת יותר נוצרת במבטח בזמן קצר. במבטח מסוג נתיך קיימים חומרים מיוחדים שתפקידם לכבות את הקשת. אך, אם מסלפים נתיך שרוף - הנתיך לא מסוגל להפסיק את הקשת ונוצרת סכנה לשריפה ואף לפגיעה באדם המשתמש בנתיך המסולף.

נתיך שנשרף יש להחליף בנתיך חדש, בזרם הנקוב המותר במעגל שבו הוא מותקן.

בעיה חמורה יותר היא קשת הנוצרת במקום התקלה (הקצר), כאשר נוצר מגע בין שני המוליכים. ככל שהמיתקן מיועד לזרם גבוה יותר - נוצר חום גבוה יותר בנקודת המגע. כתוצאה מכך פורצות, לא פעם, שריפות. אלה הן, למעשה, השריפות היחידות שניתן להגדירן ככאלה שהתרחשו בעקבות קצר חשמלי.

#### **כדי למנוע שריפות שמקורן במערכת החשמל יש לשמור על הכללים הבאים:**

- ✓ אין לסלף מבטחים, אין להתקין מבטחים בעלי ערכים גבוהים מאלה המתאימים למיתקן המסוים;
- ✓ יש להבטיח אפשרות לפיזור החום הנוצר במיתקן חשמל ובמיכשור החשמלי;
- ✓ יש להקפיד על ניקיון מיתקני החשמל ולמנוע הצטברות אבק, נסורת וכדומה;
- ✓ יש להרחיק חומרים דליקים מקירבת מערכות חשמל וציוד חשמלי, ו/או להתקין אמצעים נגד התפוצצות;
- ✓ אין להוסיף עומס על מערכת חשמלית לפני התאמתה לעומס המוגבר;
- ✓ יש להתקין אמצעי כיבוי מתאימים בקירבת מיתקני חשמל. בלוחות החשמל הראשיים רצוי למקם אמצעים לכיבוי אוטומטי.
- ✓ יש להקפיד על ביצוע תחזוקה שוטפת ועל הבדיקות התקופתיות הנדרשות;
- ✓ יש לדאוג שקווי הזינה עבור מערכות חיוניות, כגון: מעליות, משאבות מים, תאורת חירום ועוד, יהיו עמידים בפני אש ויאפשרו המשך פעולת המערכות גם בזמן שריפה.

### **חשמל סטטי וברקים**

לסכנה מחשמל סטטי 2 מקורות שונים:

- ברקים
- פריקה אלקטרוסטטית (פא"ס) של חשמל סטטי, הנוצר מחיכוך בין חומרים שונים.

#### **ברקים**

הברקים יוצרים מספר סיכונים:

- סכנה לחיי אדם כתוצאה מפגיעות ישירות של ברקים, בעיקר בשטחים פתוחים;
- סכנה של שריפות במבנים מפגיעות הברק, במיוחד כאשר קיימים במקום חומרים דליקים ו/או נפיצים;
- סכנה למיתקני תקשורת, למיתקני חשמל ולציוד המחובר אליהם, כתוצאה מפגיעת ברק ברשת חיצונית או באנטנה, וחדירת הברק לתוך מיתקן החשמל ו/או לציוד התקשורת;
- ההחלטה איך ומתי יש צורך להגן על מבנה מפני פגיעת ברק מפורטת בתקן ישראלי ת"י - 1173. ההחלטה נקבעת לפי רמת הסיכון לפגיעות ברקים באזור ורמת הסכנה הצפויה בזמן פגיעה ברק, כגון:
  - מבנה הקרקע באותו אזור (הררי, מישורי);
  - המקום הגיאוגרפי שבו נמצא המבנה (רמה קראונית - השכיחות הממוצעת של מספר סופות רעמים במשך השנה);
  - גובה המבנה;
  - ייעוד המבנה וחשיבותו (האם הוא מבנה חיוני/ ביטחוני; מבנה פרטי או ציבורי);
  - החומר שממנו עשוי המבנה (בטון, מתכת, חומר דליק או חומר לא דליק וכו');
  - קיומם של חומרים דליקים/ נפיצים במבנה;
  - הסיכון לסביבה.

ההגנה נגד ברקים מבוצעת באמצעות "כולא ברק" - מוליך בעל שטח חתך של 50 ממ"ר לפחות המחובר בקצהו האחד למוט מתכת או מסגרת מתכתית, המותקנים במקום הגבוה ביותר על גג המבנה, ובקצהו השני ישירות - בדרך הקצרה ביותר - לאלקטרודה באדמה.

הגנה מסוג זה יוצרת "אזור מוגן" - שצורתו כחרוט (דמיוני), שקודקודו הוא המוט או המסגרת על הגג. כל התחום הכלוא במעטפת החרוט (הנוצר ע"י יתר היוצא מהקודקוד בזווית 20° לאנך ומגיע לקרקע), אמור להיות מוגן כנגד פגיעת ברק. כך

שכל מבנה, אחד או יותר, או חלקי מבנה, הנמצאים בתוך תחום החרוט - אמורים להיות מוגנים. **הגנות מסוג זה צריכות להיות מתוכננות ע"י מהנדס חשמל מומחה בנושא.**

כאשר ברק פוגע ברשת חשמל הוא מעלה, לזמן קצר, את מתח הרשת. המתח הזה מגיע גם למיתקנים הפרטיים המחוברים לרשת ועלול לגרום להם לנזקים קשים.

הדרך להגן על מיתקן פרטי ועל הציוד שבו (בעיקר ציוד אלקטרוני) היא התקנת אביזרים כנגד מתח יתר. קיימים אביזרים להתקנה בלוח החשמל הראשי של המפעל; אביזרים זולים יחסית להתקנה בלוח החשמל במיתקן דירתי וציוד הגנה המיועד למכשיר בודד (לדוגמה: מחשב), שאותו מתקינים בין בית התקע למכשיר.

### **פריקה אלקטרוסטטית (פא"ס)**

פריקה אלקטרוסטטית היא מעבר מיטען חשמלי, בצורת ניצוץ חשמלי, בין שני גופים הטעונים במיטענים חשמליים נגדיים: פלוס (+) ומינוס (-), הנוצרים כאשר שני חומרים שונים מתחככים אחד בשני. המתח הנוצר כתוצאה מהחיכוך יכול להגיע לאלפי וולטים. ברגע מסוים המתח הזה מתפרק דרך האוויר בצורת ניצוץ. בדרך כלל, התפרקות מסוג זה איננה יוצרת סיכון למכת חשמל מסוכנת, אך היא מהווה סכנה לחיים כאשר הניצוץ פורץ בתווך המכיל חומרים דליקים ו/או נפיצים. כאשר הניצוץ פורץ בסביבה כזאת - הוא עלול לגרום לדליקה או לפיצוץ.

בעבר התרחשו בארץ מספר תאונות קטלניות, כולל בצה"ל, כתוצאה מניצוץ שפרץ בקירבת מיכלי דלק או בעת העברת דלק בין מיכליות לבין מיכלי דלק באתר תידלוק.

פא"ס של מיטענים מסוג זה עלולה לגרום לפגיעה ברכיבים אלקטרוניים (חצאי מוליכים), כאשר גם התפרקות של מיטען קטן לתוך הרכיב גורמת לצריבתו ולשינוי בתכונותיו.

למניעת נזקים מסוג זה בתעשיית האלקטרוניקה ובתעשיות שיש בהן אווירות "נפיצות" משתמשים ב"השוואת פוטנציאלים" ובציוד אנטי-סטטי. קיימים עזרים שונים, כולל לבוש מיוחד אנטי-סטטי, המיועדים למנוע היווצרות מיטענים, או לבטל מיטענים, הנוצרים כתוצאה מחיכוך בין חומרים. בתקן הישראלי ת"י-1069 מפורטות הסיבות להיווצרות מיטעני חשמל סטטי והדרכים לטיפול במיטען כזה. בין השאר מפורטים שם הסיכונים שיוצרים המיטענים ושיטות להקטנתם:

- ביטול רצועות הנע;
- הקטנת מהירות זרימה;
- הרחקת חומרים דליקים;
- השוואת פוטנציאלים והארקות;
- הגברת הלחות באוויר (מעל ל-70%);
- מסרקות מאריקים;
- ריצפה מוליכה;
- הזרמת אוויר מיונן;
- איסור לבוש מחומר סינתטי;
- שימוש בביגוד מחומר מוליך (שימוש בביגוד אנטי-סטטי);
- מניעת מערבולות במערכות צנרת;
- ריסוס החלל בחומר אנטי-סטטי.

חשמל סטטי יכול להתקיים רק במקומות יבשים. במקומות שבהם הלחות היחסית גבוהה מ-70% האוויר הלח גורם להתפרקות המיטען ומונע את הצטברותו.

**בכל מקרה שבו מדובר במניעת היווצרות מיטעני חשמל סטטי, במקומות שיש בהם סכנת שריפה או התפוצצות - יש להתייעץ עם מהנדס מומחה.**

# החישמול והדרך למניעתו

## הסיבה לתופעת החישמול

כדי להבין את הסיבה לכך שאדם מתחשמל, יש צורך להבין את דרך פעולתה של מערכת החשמל. זרם חשמלי יכול להתקיים רק אם קיים הפרש של פוטנציאלים (או במילים אחרות: כאשר קיים מתח בין 2 הקטבים של מקור הזינה), ובתנאי יסודי נוסף - שקיימת רציפות וקיים קשר גלווני בין 2 הנקודות של מקור המתח (במילים אחרות: **רק כאשר קיים מעגל סגור** המאפשר לאלקטרונים לעבור מקוטב אחד של מקור המתח לקוטב השני של המקור). מעגל סגור כזה נוצר כאשר מופעל המפסק במעגל החשמלי של מכשיר המחובר למיתקן חשמל (פעולה דומה לזו של פתיחת ברז במערכת המים).

בשנאי של חברת החשמל קיימים 3 סלילים שהם המקור למתח החשמלי. המתח בין קצותיו של כל סליל הוא 230 וולט. כל אחד מהסלילים האלה מחובר בקצה אחד שלו לנקודה משותפת, המוגדרת כנקודת האפס. זוהי שיטת ההספקה התלת-פאזית. בין כל קצה של סליל (פאזה/מופע) ובין נקודת האפס קיים מתח של 230 וולט, ובין כל 2 פאזות קיים מתח של 400 וולט. נקודת האפס של השנאי מחוברת גם לאלקטרודה באדמה (**הארקת שיטה**). החיבור הזה הופך את האדמה לחלק מנקודת האפס. אדם הניצב על הקרקע ונוגע במוליך פאזה - כאילו נגע בנקודה שבין פאזה לאפס, והוא סוגר בגופו מעגל חשמלי העובר מהאדמה לנקודת האפס בשנאי. האדם מתחשמל.

הסכנה לחיי אדם בזמן חישמול (= התחשמלות, מכת חשמל) מושפעת מ-3 גורמים:

- עוצמת הזרם העובר דרך הגוף (שהוא פועל יוצא של התנגדות הגוף וגודל מתח המגע);
- מסלול מעבר הזרם בגוף (המעבר דרך הלב הוא המסוכן ביותר);
- משך הזמן שבו עובר הזרם דרך גופו של האדם הנפגע;

כל אחד מהגורמים הללו קובע את גודל הסכנה ויש לדאוג לצמצם אותם, ככל האפשר.

עוצמת הזרם העובר דרך גוף האדם הוא תוצאה של מתח המגע וגודל ההתנגדות של הגוף. כלומר: עוצמת הזרם נמצאת ביחס ישר למתח המגע וביחס הפוך להתנגדות. לדוגמה: אדם יחף, או מי שעומד בתוך שלולית מים, חשוף לסכנת מוות מחישמול מכיוון שהתנגדות גופו במקרה זה נמוכה מאד; אדם שחלקי גופו מכוסים בגדים יבשים, ואשר נועל נעליים מחומר מבודד, חשוף פחות לתאונת חשמל מאדם שחלקי גופו חשופים.

המתח החשמלי אשר אמור להיות בטוח יחסית הוא "מתח נמוך מאד". בתנאי סביבה רגילים זהו מתח שאיננו עולה על 50 וולט ובמקום של סכנה מוגברת - לא יעלה על 24 וולט. כל מתח גבוה מהערכים האלה נחשב למסוכן, וחובה לנקוט בנוכחותו באמצעי הגנה נגד חשמול.

## אמצעי הגנה נגד חישמול

**בתקנות החשמל (הארקות ואמצעי הגנה בפני חישמול במתח עד 100 וולט), התשנ"א-1991** מפורטות 7 שיטות להגנה נגד חישמול, המותרות לשימוש במדינת ישראל. חלק מהשיטות הן חובה וחלקן ניתנות לבחירה - הכל בהתאם לסוג המיתקן ולמיקומו.

### הארקת הגנה

במכשירי חשמל בעלי עטיפה מתכתית (מגהץ, מקרר, תנור וכוי), עלול להופיע מתח על פני המעטפת החיצונית כאשר הבידוד של רכיבי החשמל פגום. מתח על גבי המעטפת הנגישה עלול לסכן את חייו של אדם הנוגע במכשיר. כדי למנוע את הסכנה דורשות תקנות החשמל לבצע "**הארקת הגנה**" במיתקן החשמל. החוק מחייב לחבר את כל חלקי המתכת של הציוד החשמלי באמצעות מוליך הארקה (מוליך צהוב/ירוק) לאלקטרודה (= גוף מתכת הטמון באדמה). **בעבר, כאשר צנרת המים במבנים ובקרקע היתה כולה ממתכת, השתמשו במערכת הובלת המים כאלקטרודה**. אך כיום, מכיוון שרוב צנרת המים במבנים חדשים היא אל-מתכתית - אסור להשתמש במבנים חדשים במערכת המים כאלקטרודה.



במקום זאת משתמשים בתשתית ברזל הזיון של יסודות הבניין כאלקטרודה ומוגדרת כאלקטרודה מסוג "הארקת יסוד". במצב שבו קיימת הארקת הגנה - כאשר תהיה תקלה בבידוד של מכשיר חשמלי, וייווצר מגע בין הפאזה ומעטפת המתכת הנגישה של המכשיר - יעבור זרם קצר גבוה דרך "לולאת התקלה", יגרום להפעלת המבטח שינתק את הספקת הזרם למכשיר ולניתוקו מהזינה.

**לולאת התקלה** היא המסלול שדרכו יעבור הזרם בציוד מוארק בזמן תקלה, המתחיל בפאזה שבשנאי, דרך מוליכי רשת ההספקה, מוליכי המיתקן הפרטי, מקום התקלה במכשיר הלקוי, מערכת ההארקה, האדמה, הארקת השיטה של השנאי ונקודת האפס בשנאי. להתנגדות הנמוכה של לולאת התקלה יש חשיבות רבה מאוד: ככל שההתנגדות הזאת תהיה קטנה יותר (קרובה ל-0 אוהם), זרם הקצר שיתפתח יהיה גבוה יותר וההגנה של המיתקן תגיב מהר יותר. אך כאן טמונה בעיה: לעתים קרובות נתקלים במצבים שבהם, מסיבות שונות, לא ניתן להשיג התנגדות מספיק נמוכה (ביחוד כאשר מדובר במיתקנים בעלי הספק גבוה) ואז ההארקה לא יכולה לספק את ההגנה הדרושה.

המחוקק, שהיה ער לבעיה זו, מאפשר שימוש בשיטת הגנה נוספת - אשר מיועדת להשלים את החסרונות והמגבלות של הארקת הגנה.

## איפוס

ה"איפוס" מבוצע ע"י חיבור, באמצעות מוליך, בין מערכת ההארקה (פס השוואת פוטנציאלים) ובין מוליך האפס בחיבור הראשי של חברת החשמל במבנה. התוצאה של האיפוס היא שכאשר נוצר מגע בין פאזה להארקה - זרם התקלה יכול לזרום במסלול נוסף ומקוצר, דרך מוליך האפס ברשת (שהתנגדותו נמוכה), וע"י כך לפתח זרם קצר גבוה, אשר יפעיל בכל מקרה, ובמהירות גבוהה, את המבטח.

לכאורה - כל הבעיות נפתרו. אך לא. השימוש באיפוס מותר רק כאשר מתקיימים מספר תנאים, וביניהם:

- חייבים לבצע במבנה "השוואת פוטנציאלים"; האלקטרודה במבנה חייבת להיות מסוג "הארקת יסוד";
- רשת החשמל המזינה את המבנה צריכה להיות בעלת חתך מסוים, ועוד.

למעשה, אפשר להימצא במצב שבו קיימת במקום הארקת ההגנה, והתנגדות לולאת התקלה גבוהה מדי - אך לא ניתן לבצע איפוס מכיוון שלא מתקיימים במקום כל התנאים הדרושים. במקרה כזה, המקרה מוארך מאפשר להשתמש בשיטת הגנה נוספת, בנוסף להארקת ההגנה שאיננה מספקת: "הגנה ע"י מפסק מגן המופעל בזרם דלף".

## מפסק מגן הפועל בזרם דלף (כהגנה בלעדית)

מפסק מגן לזרם דלף מבוסס על עיקרון של מדידת עוצמת הזרם הנכנסת למיתקן, ועוצמת הזרם המוחזרת מהמיתקן והשוואה ביניהן. כאשר עוצמות הזרם אינם שוות - סימן שקיים פגם בבידוד, או שיש חישה. כלומר: חלק מהזרם הנכנס למיתקן זורם לאדמה ודרכה לשנאי של חברת החשמל.

מפסק המגן לזרם דלף מזהה את אי האיזון הזה, וכאשר הזרם הדולף לאדמה גבוה מזרם ההפעלה של מפסק המגן (בדרך כלל 30 מיליאמפר) - הוא מפסיק את הספקת החשמל למיתקן, ומונע בדרך זאת אפשרות לתאונה קטלנית. ב"תקנות החשמל (התקנת לוחות במתח עד 1000 וולט), התשנ"א-1991" קיימת דרישה המחייבת (החל מחודש יולי 1995) לצייד כל לוח חשמל במיתקן דירתי (שחובר להספקה אחרי התאריך הקובע) במפסק מגן - אחד או יותר, כך שכל מעגל סופי במיתקן יהיה מוגן בפני זרם דלף העולה על 0.030 אמפר.

כאשר מפסק המגן נועד לפתור בעיית התנגדות גבוהה של לולאת תקלה, במיתקן חשמל המוגן בהארקת הגנה (המפסק משמש במקרה כזה כהגנה בלעדית) - חלות על השימוש במפסק המגן מגבלות שונות, כגון: מפל המתח על אלקטרודת הארקת ההגנה לא יעלה על 50 וולט (או 24 וולט במקומות של סכנה מוגברת) כך שמתח המגע של הגופים המוארקים לא יגיע לרמה מסוכנת כל עוד המפסק לא מנתק את ההספקה.

כל השיטות שהוזכרו עד כה מיועדות להגנה של גופים בעלי מעטפת מתכתית (חלקים מתכתיים של מיתקן או מכשירי חשמל). שיטות ההגנה האלה מבוססות על הפסקת הספקת הזרם למיתקן בשעת סכנה. אך, קיימות שיטות נוספות - אשר מגינות גם נגד חישה מוגברת ישיר במוליך חי, ואשר אינן מפסיקות את ההספקה בשעת תקלה.

## בידוד מגן (בידוד כפול)

מכשיר עם "בידוד כפול" הוא ציוד שבין החלקים החשמליים שלו ובין המעטפת החיצונית שלו קיים בידוד נוסף אשר מיועד למנוע באופן מוחלט אפשרות של מעבר מתח אל המעטפת החיצונית. **ציוד עם בידוד כפול אסור להאריק!** (הארקה של מכשיר עם בידוד כפול עלול לגרום לחישמולו דרך מערכת ההארקה, בעת תקלה במכשיר אחר המחובר למיתקן החשמל). על כל מכשיר עם בידוד כפול חייב להימצא הסימון הבינלאומי: □.

להגנה כזאת יש חשיבות ויתרונות במיוחד עבור מכשירים מיטלטלים, בתנאי ששומרים על שלימות הציוד, פתיל הזינה שלו והתקע.

## הפרד מגן (שנאי מבדל)

הסיבה לחישמוול, כפי שהסברנו, היא סגירת מעגל חשמלי ע"י גוף האדם כאשר הוא נוגע במוליך חי של פאזה. הגוף סוגר את המעגל דרך האדמה ודרך הארקה השיטה, לנקודת האפס בשנאי המזין את הרשת. העקרון של שיטת ההפרד היא יצירת "תת-מערכת" להספקת זרם שבה הגוף לא יסגור מעגל עם האדמה וכך תימנע ההתחשמלות, כלומר - מערכת ללא הארקה שיטה. מעשיית, מכיוון שרשת ההספקה הכללית כוללת הארקה שיטה, השימוש בשנאי מיוחד - "שנאי מבדל" - מאפשר ליצור מקור מתח שאמנם מקבל את האנרגיה מהרשת הכללית אך איננו מחובר לקרקע (איננו כולל הארקה שיטה). השנאי יוצר מחיצה (הפרדה) גלוונית מוחלטת בין הספקת החשמל הרגילה לבין המקור המיוחד של מתח ההפרד. בדרך כלל משתמשים בשנאי המוגדר כ-"1:1" (מתח הכניסה והיציאה הוא 230 וולט). בשנאי מסוג "מבדל" יש בידוד מוגבר בין הסלילים. הכריכות של הסליל השני של השנאי אינן מחוברות לאדמה (= ללא קיימת בו הארקה שיטה). תנאי נוסף: מותר לחבר לשנאי מבדל רק מכשיר אחד, בו זמנית. אם השנאי הוא מסוג מיטלטל - הוא חייב להיות גם בעל בידוד כפול.

## מתח נמוך מאד (מתח בטיחות)

"מתח נמוך מאד" (מתח בטיחות) הוא מתח שאיננו עולה בתנאים רגילים על 50 וולט, ובמקום של סכנה מוגברת - מתח שאיננו עולה על 24 וולט. אולם, לא כל מתח בערכים האלה מוגדר כמתח **בטיחות** נמוך מאוד - מתח ברמות האלה יכול להיות גם מתח תפעולי, הדרוש לציוד מסוים. כדי שהמתח הנמוך מאוד יהיה מתח **בטיחות** - המקור שממנו הוא מגיע חייב להיות מובטח כנגד חדירת מתח גבוה יותר, אשר עלול להוות סיכון.

אם מקור המתח הוא שנאי - יש להשתמש ב"שנאי מבדל" כמו בשיטת ההפרד. כאשר השנאי הוא מסוג מיטלטל - הוא צריך להיות בעל "בידוד כפול".

גם במקרה זה, כמו בשיטת ההפרד, אין להאריק את הסליל השני של השנאי ובדרך כלל גם אין לבצע הארקה הגנה. למעשה, שיטת "מתח בטיחות נמוך מאוד" זהה, לשיטת ההפרד, אלא שהמתח בה מוגבל עד ל-50 וולט ומותר לחבר למערכת כזאת יותר ממכשיר אחד.

## זינה צפה (שיטה בלתי מאורקת)

שיטה בלתי מאורקת מבוססת על העקרון של הגנה בשיטת ההפרד, אולם שלא כמו בשיטת ההפרד - אין הגבלה במספר המכשירים שאותם מותר לחבר בו-זמנית לשנאי (בגבולות ההעמסה המותרת על השנאי).

כפי שהסברנו קודם, לגבי שיטת ההפרד, מותר לחבר רק מכשיר אחד. הסיבה לכך היא שכאשר מתרחשת התקלה הראשונה שבה דולף זרם לאדמה - השיטה הופכת להיות מאורקת. כדי להתגבר על הבעיה מתקינים ליד השנאי גשש (מוניטור), אשר מוודא כל הזמן את תקינות הבידוד של המיתקן כלפי האדמה. כך שבמקרה של תקלה ראשונה, כשעדיין אין סכנת חישמוול - הספקת הזרם לא נפסקת אך מופעלת מערכת התראה המודיעה על התקלה בבידוד. לאחר ההתראה מותר להשלים את העבודה (אם היא דחופה) ולאחר מכן לנתק המיתקן מהספקת המתח ולתקן את התקלה. מערכת התראה צריכה להיות במקום מאויש, כך שיהיה מי שיגיב ויטפל בתקלה (בד"כ החשמלאי).

השיטה הבלתי מאורקת יקרה בשימוש ויש בה בעיות באיתור תקלות. יתרונה העיקרי הוא עבודה ללא הפסקות בהספקה ("אמינות הספקה גבוהה"); וכן - מניעת שריפה בזמן קצר לאדמה ומניעת התחשמלות גם כאשר אדם נוגע ישירות באחד המוליכים.

השימוש העיקרי של השיטה הלא מאורקת הוא בחדרי ניתוח בבתי החולים; במקומות של סכנה מוגברת לחישמוול; להגנה נגד חישמוול בגנרטורים ניידים עבור מיתקנים זמניים ובכל מקום שבו יש צורך באמינות הספקה גבוהה.

# הגורמים לתאונות חשמל

## הסיבות העיקריות לתאונות

### תאונות חשמל הנגרמות עקב מגע אקראי במוליכים חשופים וברשתות חשמל

■ **מכת חשמל כתוצאה מפגיעה ברשת או בחיבור של חברת החשמל, בעת טלטול של ציוד מתכתי** (לדוגמה: מוטות זיון של בניינים, זקפים של פיגומים, צנרת השקיה ניידת וכו'). יש להקפיד להרחיק כל אלמנט מתכתי ארוך מקווי החשמל בעבודות בנייה ובפיזור קווי השקיה בשדות בקירבת קווי חשמל. מכת חשמל ממרחק גבוה יכולה להיגרם לאדם הנושא את ציוד המתכת גם ללא מגע ממשי עם רשת החשמל, אלא כבר כאשר הוא מתקרב לכבלים.

■ **חישמול בעקבות מגע אקראי של עגורן בקווי חשמל עיליים**  
כל אדם הניצב על הקרקע ונוגע באחד מחלקי המנוף, כגון הכבל הנושא את המיטען או מבנה המתכת יכול להתחשמל. גם המפעיל יתחשמל ברגע שינסה לרדת מהרכב הנושא את המנוף המחושמל ורגליו יגעו בקרקע. לכן חל איסור על המפעיל לרדת מהכלי במצב כזה.

### התחשמלות בעקבות הסתבכות עפיפון ברשת החשמל

■ **סכנת התחשמלות כתוצאה מפירוק צנרת מים ללא התקנת גישור בין חלקי הצנרת**  
שרברב המפרק מד-מים או קטע של צינור מים, המשמש כחלק ממערכת הארקה ההגנה של המיתקן החשמלי במבנה, ואיננו מתקין גישור בין שני חלקי הצינור לפני הפירוק - מסכן את עצמו ואת כל צרכני החשמל והמים שמערכת הארקה שלהם מחוברת לצנרת הזאת (המצב הזה קיים בכל הבתים הישנים שבהם צנרת המים משמשת כאלקטרודה). ניתן צינור מים, המשמש כחלק ממערכת הארקה, הוא פעולה מסוכנת מאוד. המחוקק היה ער לכך, ולכן קיימת דרישה בתקנות הבטיחות בעבודה (חשמל), התש"ן-1990 (תקנה 9 (ג)) האומרת: "לפני פירוק חלקים אשר מהווים רצף של הארקה, לרבות צנרת מים מתכתית, מד-מים, או פס הארקה, יותקן גשר אשר יבטיח את רציפות הארקה".

■ **חישמול בעקבות דריכה על כבלי חשמל חשופים המונחים על הרצפה** - בעיקר כאשר אין השגחה נאותה על שלמות הכבלים ואביזרי הקצה שלהם (כגון תקעים ושקעים).

■ **חישמול בעקבות פגיעה בכבלי חשמל תת-קרקעיים בעבודות חפירה** - עד לשנים האחרונות היה נהוג להגן על כבלים תת-קרקעיים באמצעות אריחים שהונחו מעל לכבלים. אך התברר שהאריחים הללו אינם מספקים הגנה נאותה כאשר מופעלים כלים מכניים בחפירת תעלות. בעקבות זאת נקבעה שיטה לסימון מסלול הכבלים באמצעות סרט פלסטי גמיש ובעל מקדם התארכות גבוה, שעליו מודפסות כתובות אזהרה. את הסרט מניחים גבוה מעל לכבל, כך שמכונת חפירה תחשוף אותו הרבה לפני שכף החפירה מגיעה לעומק שבו טמון הכבל, וכך תימנע הפגיעה בכבל.

### תאונות חשמל בביצוע עבודות חשמל או "תיקונים קלים" ע"י אנשים שאינם מוסמכים

■ **טיפול לא מקצועי/ חובבני במיתקני חשמל** - זוהי אחת הסיבות העיקריות לתאונות חשמל קטלניות. המקרים האופייניים:

- סילוף נתיכים הגורמים לשריפות גורם לפגיעה ביעילות ההגנה של מערכת הארקה;
- חיבור לא נכון של מוליכים ברכיבי חשמל, שלא בהתאם לצבעים המקובלים (בתקעים, בתי תקע, פתילי זינה מאריכים וכו').

**צבעי הזיהוי של המוליכים בהתאם לייעודם, על פי התקנות בגירסתן האחרונה:**

|            |   |                                    |
|------------|---|------------------------------------|
| פאזה/ מופע | - | חום (מותר שיופיע פס סימון לאורכו); |
| אפס        | - | כחול;                              |
| הארקה      | - | צהוב-ירוק.                         |

**חוק החשמל, התשי"ד-1954**, אוסר על ביצוע עבודות חשמל ללא רשיון מתאים (הרשאה של משרד העבודה). קיימים מספר סוגים של רשיונות, המסווגים לפי גודל מיתקני החשמל באמפרים, או לפי סוג המתח (מתח נמוך (עד 1000 וולט) או מתח גבוה). כל אדם העוסק בחשמל, גם אם הוא עובד במסגרת "החצרים" של מפעל, חייב להיות בעל רשיון מתאים. זכרו: **קיים איסור מוחלט לבצע עבודות חשמל ללא רשיון, כולל החלפת תקעים ובתי-תקע!**

**האם לצורך החלפת נורה יש צורך בחשמלאי?**

המחוקק התייחס גם לסוגיה זו, ותשובתו היא:  
פעולות "חשמליות" כביכול, כמו החלפת נורות, החלפת נתיך מתברג או נתיך אנגלי, הפעלת מתגים (מפסקים) וכיוצא באלה, ללא שימוש בכלים - אינן נחשבות כעבודות חשמל.  
**לאור זאת - כל פעולה "חשמלית" שאיננה נכללת בתחום המוגדר הזה אסורה לביצוע ע"י מי שאיננו מורשה לכך.**  
אך, גם החלפת נורה יכולה להיות מסוכנת ויש לנקוט באמצעי מניעה מתאימים:  
✓ יש להשתמש בסולם תקני (רצוי סולם עץ, שבתחתית רגליו מותקן בידוד מהרצפה);  
✓ לפני החלפת הנורה יש להפסיק את הספקת החשמל למעגל, ומומלץ יותר - למיתקן הפרטי כולו. אין להסתפק בניתוק באמצעות המפסק של אותה מנורה;  
✓ חלק מה"עמעמים" (דימרים) הנפוצים כיום במערכות תאורה אינם מצוידים במפסקים. גם כאשר קיים מפסק - מצב הפסקת ההספקה איננו ברור. לכן, החלפת נורה ללא הפסקה של הספקת הזרם עלולה לגרום לכוויות (במיוחד בנורות מסוג הלוגן) ולתאונה.

**תאונות בגלל פגם במיתקן ותחזוקה לקויה**

■ **רשלנות ואי-תיקון ליקויים בזמן.** מספר רב של תאונות ושריפות נגרם בגלל מכסה שבור של תקע או מפסק; פגמים בעטיפות של כבלים ופתילים, ניתוק במוליך הארקה ראשי; לוחות מבטחים לקויים והצטברות אבק על מבטחים, שלא תוקנו מיד.  
לכן: יש לדאוג לביצוע ביקורות תקופתיות של מיתקני חשמל. הביקורות צריכות להיות בתכיפות גדולה ככל שהמיתקן עומד בעומסי עבודה גדולים יותר;  
עד לאחרונה לא היתה קיימת הוראה מפורשת לגבי חובת קיום בדיקות תקופתיות. לאחרונה פורסמה תקנה חדשה (ק"ת 6211, מה-28.11.2002) **לתקנות החשמל (הארקות ואמצעי הגנה בפני חשמול במתח עד 1,000 וולט), התשס"ג-2002**, אשר מוסיפה דרישה המחייבת בדיקה תקופתית של כל מערכות הגנה נגד חשמול במיתקן חשמלי. החובה חלה על כל סוגי המיתקנים: דירות; משרדים; בתי-מלאכה ותעשייה. את הבדיקות האלה יבצע רק חשמלאי בעל רשיון בודק.

**תאונות בשל ליקוי במכשירי חשמל ובעיקר במכשירים מיטלטלים**

חלק ניכר מתאונות החשמל הקטלניות נגרם בשל ליקויים במכשירי חשמל מיטלטלים. המכשיר המיטלטל משמש אנשים רבים והוא גם חשוף לפגיעות רבות יותר. התקלות האופייניות בצידוד המיטלטל הן: פגמים בבידוד של הפתילים המזיינים את המכשיר; שברים בבידוד של התקעים/השקעים; השתחררות של מעטפת הפתיל מהחיוק בתקע (אשר מיועד למנוע הפעלת כוחות מכניים על חיבורי החשמל שבתקע) ועוד. לכן:

- ✓ יש להקפיד על דיווח לגבי תקלות במכשירי חשמל, על סימון מכשירים לא תקינים ועל נוהל הספקה של מכשירים תקינים בלבד, ממחשני המפעל.
- ✓ ככלל, רצוי לעבור לשימוש במכשירים בעלי "בידוד כפול". בהתאם לתקנות הבטיחות בעבודה - מכשירים מיטלטלים המוחזקים ביד בשעת העבודה חייבים להיות מוגנים באחת משיטות ההגנה הבאות:
  - המכשיר יהיה מסוג בידוד כפול (האופציה הרצויה והטובה ביותר);
  - מתח העבודה של המכשיר לא יעלה על מתח נמוך מאוד;
  - המכשיר מוגן באמצעות מפסק מגן לזרם דלף בזרם הפעלה שלא יעלה על 30 מיליאמפר;
  - המכשיר יוגן בשיטת ההפרד (בדרך כלל שנאי מבדל).

## סיכונים והוראות בטיחות בעבודות שונות

### חשמלאים

- הסכנה לחשמלאים טמונה במצבים הבאים:
    - ניתוק רשת מעגל או רשת לא נכונים;
    - ניתוק חלקי של המתח;
    - פגמים באמצעי הניתוק במיתקן או במכשיר;
    - החזרת מתח למיתקן ע"י גורם זר, בשעה שהחשמלאי עדיין מטפל במיתקן;
    - טיפול במיתקן חי (בניגוד לדרישת התקנות);
  - ניתן למנוע את הסכנות הללו ע"י הקפדה על הכללים הבאים:
    - ✓ סימון נכון ובר-קיימא של המעגלים ופסי החיבורים בלוחות החשמל;
    - ✓ יש לשמור תוכנית, בתא מתאים, בכל לוח חשמל של המיתקן;
    - ✓ ניתוק המעגל החשמלי שבו מטפלים מכל מקור זינה אפשרי, והתקנת "מקצרים" בין כל המוליכים וההארקה ברשת המנותקת;
    - ✓ יש לוודא אם קיים גנרטור בבניין, ולבדוק שאכן לא קיים מתח במעגל המופסק גם אחרי הפעלת הגנרטור;
    - ✓ המפסקים הראשיים והמפסקים למכונות יהיו מצוידים בהתקנים לנעילה במצב מופסק, ויינעלו בזמן ביצוע של כל פעולת תחזוקה;
    - ✓ ארגו החשמל יהיה נעול בזמן העבודה. הנתכים במעגלים מופסקים יורחקו מקירבת הלוח ובמקום ייתלו **שלטי אזהרה** בנוסח: **זהירות! אסור להפעיל! עובדים במקום!**
    - ✓ בדיקת היעדר מתח לפני תחילת העבודה, באמצעות מכשיר "בודק מתח", שתקינותו נבדקה במקום לפני הפסקת הספקת הזרם;
    - ✓ אין להשתמש ב"טסטר" כמברג. שימוש כזה גורם לפגיעות מכניות במברג ובאמינות פעולתו.
    - ✓ ככלל, אסור לעבוד במיתקן חי הנמצא תחת מתח (איסור זה לא חל לגבי פעולות מדידה). קיימים מצבים מיוחדים שבהם מותרת עבודה גם תחת מתח: מדובר אך ורק במיתקנים תחת מתח נמוך (עד 1000 וולט), ובתנאי שמתקיימים כל התנאים המוגדרים בתקנות, כגון:
      - העבודה תבוצע ע"י צוות של 2 חשמלאים בעלי רשיון בתוקף, לפחות של חשמלאי מסויג/ מוסמך, ובעלי הכשרה (שהוכשרו ע"י מהנדס) לעבוד תחת מתח;
      - סיבה מוצדקת (על פי ההגדרות בתקנות) לביצוע עבודה תחת מתח;
      - הוראה בכתב מחשמלאי בעל רשיון "מהנדס" לביצוע העבודה האמורה;
- ועוד הגבלות רבות, נוספות, המפורטות בתקנות.

## רתכים

הרתכים מסכנים את עצמם בעיקר כאשר הם מבצעים ריתוכים בתוך מיכלים או דודי מתכת כשגופם חשוף. הצפיפות והחום במקום הסגור ("מקום מוקף") מגבירים את סיכוני החישמול. הזיעה על עורו של העובד, הגוברת בהשפעת תנאי הסביבה, מפחיתה את ההתנגדות של העור למעבר חשמל בגופו של העובד ובעקבות זאת עוצמתו של זרם החישמול תהיה גבוהה יותר. **כדי למנוע תאונות חישמול הרתך חייב:**

- ✓ לעמוד במקום יבש;
- ✓ לעבוד בלבוש מלא;
- ✓ לדאוג להארקת הגוף המעובד (המיכל/ הדוד שאותו הוא מרתך);
- ✓ בעבודה בתוך מיכל ("מקום מוקף"):
- לצפות את דפנות המיכל בחומר מבודד, להגנה מפני מגע אקראי, פרט לאזור שבו מתבצע הריתוך;
- להשתמש בזרם ישר ולא בזרם חילופין;
- לעבוד רק אם נוכח במקום אדם נוסף המשגיח על הרתך;
- לדאוג לסילוק הגזים הנוצרים בתהליך הריתוך מתוך המיכל ולספק לחלל המוקף אוויר צח (לפי הצורך).

## עובדים באתרי בנייה

אתרי בנייה הם מקומות מועדים לפורענות, ומתרחשות בהם תאונות רבות - כולל תאונות חשמל. אתר בנייה נחשב כ"מקום של סכנה מוגברת, ולכן קיימות דרישות מחמירות לגבי הציוד המותקן ובמקום והמותר לשימוש בו.

■ **מיתקן קבוע (נייח)** תקנות החשמל המיוחדות לאתרי בנייה לא תחולנה על מערכות חשמל של משרדים, חדרי אוכל ומבנים אחרים המשמשים את העובדים; מעליות; עגורנים וכדומה, למרות שהמיתקנים והציוד הנ"ל נמצאים באתר בנייה, יחולו עליהם תקנות החשמל הרגילות המיועדות למיתקנים קבועים.

שאר המיתקן והציוד באתר נחשבים כ"מיתקן ארעיי" בעל "סכנה מוגברת" ויחולו עליו דרישות המפורטות **בתקנות החשמל (מיתקן חשמלי ארעי באתר בניה במתח שאינו עולה על מתח נמוך), התשס"ג-2002**, ביניהן:

- לוח החשמל יתאים לתקן IEC 439-4 ;
- כל החיבורים ללוח ייעשו דרך בתי-תקע;
- תקעים ובתי-תקע יתאימו לתקן הישראלי ת"י - 1109 (בית תקע תעשייתי);
- בתי-תקע חד-מופעיים (חד-פאזיים) 16 אמפר ו-32 אמפר, יוגנו באמצעות מפסק מגן לזרם דלף, בעל זרם הפעלה של לא יותר מ-0.030 אמפר;
- בית-תקע חד מופעי בעל זרם העולה על 32 אמפר, או בית-תקע תלת-מופעיי - יוגנו באמצעות מפסק מגן לזרם דלף, בעל זרם הפעלה של לא יותר מ-0.500 אמפר;
- קווי החשמל והמעגלים יחברו אך ורק באמצעות פתילים מסוג HO7RN-F (בעלי עטיפת נאופרן או גומי); אלה הן רק חלק מהדרישות המובאות בתקנות החדשות (שתיכנסנה לתוקף במאי 2003). כדי להגן על חיי העובדים - מומלץ למלא אחרי התקנות בכל זמן, גם אם עדיין אינן מחויבות על פי החוק.

# כללים להצלת נפגעים מחישמול

אפשר לעשות הרבה מאוד בנוגע להצלת חיי אדם שנפגע בתאונת חשמל. דרושים לכך קור-רוח וידע בביצוע החייאה.

בהצלת נפגע מחישמול יש להבחין היטב בין 2 שלבים שונים, המתייחסים לזמן:

- **שלב ראשון** - מתייחס לזמן שבו הנפגע עדיין נמצא בהשפעת מתח חשמלי ("תחת מתח");
- **שלב שני** - מתייחס לזמן שלאחר שיחרורו של הנפגע מן המתח.

אמצעי ההצלה שיש לנקוט בהם בכל שלב שונים זה מזה ומתוארים להלן:

## השפעת זרם החשמל על גוף האדם

תגובות גוף האדם לזרם חשמלי הן בהתאם לעוצמת הזרם ולמסלול מעבר הזרם בגוף. כאשר אדם סוגר מעגל בין נקודות מגע שהמתח שלהן הוא 230 וולט (מתח נמוך) הוא מסכן את חייו. ידועים מקרים של תאונות קטלניות שהתרחשו גם בהשפעת מתח נמוך יותר, כגון: מתח במעגל ריתוך (80-70 וולט).

בכל פגיעה של חשמל נגרמת התכווצות של השרירים. כאשר אדם נוגע בכף ידו בגוף מחושמל - הזרם מכווץ את שרירי כף היד והיא נסגרת על הגוף המחושמל כך שהנפגע איננו יכול להשתחרר מהמגע עם הגוף המחושמל. לעומת זאת, אם המגע של הגוף עם החפץ המחושמל נוצר בחלקים אחרים של הגוף או בגב היד - הזרם "יזרוק" את האדם מהגוף המחושמל והוא לא יקפח את חייו מחישמול. אך כאן טמונה סכנה אחרת: נפילת הנפגע מגובה (אם הוא עובד בגובה ואיננו מאובטח כראוי).

זרם חשמלי העובר דרך הלב גורם לפרפורים בלב;

זרמים העוברים דרך החזה עלולים לגרום לשיתוק מערכת הנשימה;

זרמים בעוצמות גבוהות גורמים לכוויות.

הצעד הראשון מיד לאחר שאירעה תאונת חשמל הוא לשחרר את הנפגע **במהירות המירבית** ממקור המתח. הדרך הבטוחה ביותר לשחרר את הנפגע מהמתח היא: **ניתוק הזרם**, ע"י שליפת התקע מבית התקע או ע"י הפסקת אספקת החשמל למכשיר / למיתקן באמצעות המפסק. כדי שהאמצעים הללו יוכלו לשרת את המצילים בשעת חירום, יש להקפיד למלא את התנאים הבאים:

✓ כל אמצעי החיבור / הניתוק מאספקת הזרם יותקנו במקום נוח לגישה;

✓ גובהם של אמצעי הניתוק מהרצפה יהיה כזה שכל אדם יוכל להגיע אליהם ללא סולם או אמצעי הגבהה אחר;

✓ האביזרים יסומנו בבירור, במדויק, בצורה בולטת לעין וברת-קיימא. בנוסף, יותקנו ברחבי המפעל ובאולמות השונים שלטי הנחיה, המפנים למיקומו של לוח החשמל שבו מותקן המפסק הראשי של אותו אולם, או ללוח עם המפסק המרכזי.

קיימות נסיבות שבהן האמצעים האלה, להפסקת ההספקה, אינם בהישג יד, או שהתאונה נגרמה בעקבות מגע בפתיל קרוע של הרשת הכללית. במקרים כאלה ניתן לשחרר את הנפגע בדרכים אחרות, שלביצוען יש צורך ליצור מגע ישיר עם הנפגע או עם מקור החישמול. השיטות הללו כוללות סיכון לא מבוטל למחלץ, ומתאימות ליישום רק ע"י אנשים המבינים היטב את תהליך הביצוע ושיש להם הבנה כללית בחשמל (לפחות איך נסגר מעגל חשמלי ומדוע מתחשמלים). כאשר אדם אחר (שאינו לו הבנה בנושא) משתמש בשיטות הללו - הוא עלול להיכשל בחילוץ וגם לגרום לתאונה כפולה.

שיטות השחרור הללו מבוססות על העיקרון שהאדם אשר מגיע לעזרה ומתכוון לנתק את הנפגע מהגוף המחשמל, ע"י מגע בנפגע או בציוד המחושמל, לא יסגור בגופו מעגל חשמלי דרך האדמה ולא יתחשמל בעצמו. התנאי הזה יתקיים רק אם המחלץ יעמוד על מישטח של חומר מבודד, וגופו (או חלק מגופו) לא יגעו אף לא לרגע, בו זמנית, בחלקי בניין או בעצמים אחרים שיש להם קשר לאדמה. לחילופין, ידיו צריכות להיות מבודדות באמצעות כפפות מבודדות.

כבר ציינו שמכת חשמל גורמת לשריריו של הנפגע להתכווץ, כך שכך יד, הבאה במגע עם עצם מחשמל, תיסגר סביב העצם ללא יכולת לשחרר אותה. לכן, לפני פעולות השחרור והמגע עם הנפגע או הגוף המחושמל - יש לגעת קודם בגב כף היד ולא בחלק הפנימי שלה, כדי לוודא שאמצעי הבידוד שנקטו אכן מבדדים מספיק. רק כאשר האמצעים באמת מונעים את החישמול מותר להמשיך בפעולת החילוץ, ולהרחיק את המכשיר המחושמל מהנפגע או את הנפגע מהמכשיר המחושמל.

ניתן ליצור את הבידוד הרצוי מהקרקע באחת מהדרכים הבאות:

■ **עמידה על חומר מבדד יבש.** יש לנעול נעליים בעלות סוליות גומי, או ערדליים/מגפיים מגומי; או לעמוד על חומר מבדד, שאפשר לעמוד עליו באופן יציב, כגון שטיח מגומי או מחומר פלסטי, או על גבי שטיח ארוג מקופל פעמים רבות ככל האפשר; אפשר לעמוד על לוחות עץ, על כיסא או שולחן מעץ (שגם רגליהם עשויות עץ); על ערימת ספרים יציבה או ערימת עיתונים, או על כל עצם אחר מחומר מבדד.

המחלץ חייב להיות בטוח שמישטח העמידה המבדד יבש. חומר רטוב או לח הוא מוליך חשמל והאדם המגיע לעזרה יהיה מועמד לחישמול. המחלץ יכול לנסות להפסיק את המגע בין החלק המחושמל לבין הנפגע, ע"י הפרדה פיזית ביניהם, רק לאחר שברור לו שהוא עומד ביציבות על חומר מבדד, ולאחר שנגע בגב ידו בנפגע או בעצם המחושמל ונוכח, כאמור, שהאמצעים שנקטו אכן יעילים.

במהלך ההפרדה הפיזית בין הנפגע והעצם המחושמל יש לשמור על כללי הבטיחות הבאים:

✓ אין לגעת, בו זמנית, בחלק המחשמל ובנפגע;

✓ להיזהר שלא לגעת בשום חלק של הבניין או חפץ אחר, אשר עלולים להעביר זרם חשמלי לאדמה. מגע בגופים כאלה עלול להכניס את המחלץ למעגל החישמול.

■ **בידוד כפות הידיים.** אפשר ללבוש כפפות יבשות מגומי, או לעטוף את הידיים בחומר מבדד יבש, כגון: אריג עבה, שמיכה, בגד עבה וכו'; או להשתמש במקל או לוח עץ יבש, כדי לנסות להפסיק את המגע בין הנפגע לבין העצם המחושמל ע"י הרחקתם זה מזה. אין לגעת בנפגע או בחלק המחשמל בחלקי הגוף הבלתי מוגנים, מלבד הידיים (המוגנות או המצוידות בלוח עץ). חלקי הגוף ללא ההגנה אינם מבודדים, ומגע אקראי כתוצאה מתנועה לא זהירה עלולה לגרום להעברת הזרם דרך הגוף.

אם הנפגע עלול ליפול מגובה לאחר הפרדתו ממתח החשמל - יש להכין מבעוד מועד אמצעים מתאימים לבלימת הנפילה, אך, אין לעכב את ניתוק הנפגע מהזרם כדי לרפד את הנפילה.

### **יוזמה ומחשבה מהירה הצילו חיים**

אישה התחשמלה בעקבות מגע בכבל חשמל קרוע של הרשת הכללית, שנפל בחצר ביתה. בעלה שהוזעק למקום לא היה יכול להפסיק את הספקת הזרם של רשת החשמל ולכן מיהר להסיר מציריה את דלת העץ של הבית (פעולה קלה ומהירה) והשתמש בה כחומר מבדד להרחקת הכבל הקרוע מהנפגעת. דלת כזאת גם יכולה לשמש כמישטח עמידה מבודד לצורך אותה פעולה.

כל הכללים המפורטים כאן (ובכל התקציר שבידכם), נכונים רק לגבי "מתח נמוך" (המתח המקובל בארץ 230/400 וולט). אמצעי ההגנה האלה אינם מתאימים במקרה של תאונה ממתח גבוה (מעל 1000 וולט). השימוש באמצעי ההצלה שתוארו מסוכנים ולא מתאימים **והשימוש בהם מהווה סכנה לחיי המשתמש!**

**במקרה של תאונת חשמל ממתח גבוה** - יש להזמין בדחיפות את חברת החשמל, מגן דוד אדום ומשטרה, ולמנוע התקרבות אנשים למקום. רק לחשמלאים מורשים לטיפול במתח גבוה מותר להפסיק את פעולת המיתקנים למתח גבוה. אם במפעל נמצא חשמלאי מורשה כזה, יש להזעיקו במהירות כדי להפסיק את מקור המתח.



## הצלה ועזרה ראשונה לאחר ניתוק הנפגע מהמתח

פעולות ההנשמה להצלת הנפגע **לאחר ניתוק מהזרם** טובות לכל מקרה - כולל פגיעה ממתח גבוה. אך, קיימת סכנה גם בהתקרבות לנפגע ממתח גבוה בגלל הקירבה למיתקן הנושא את המתח הגבוה, אשר עלול לגרום להתחשמלות גם ללא מגע פיזי בו.

לשלב זה של מאמצי ההצלה נודעת חשיבות מכרעת. בשלב השחרור מהמתח המחלצים מוגבלים באמצעים ובתנועות. בשלב העזרה הראשונה, לאחר הניתוק מהגורם המחשמל, ניתן לבחור בין שיטות הצלה ואמצעים שונים, ולפעול ללא חשש לסיכון חיי המצילים. הסטטיסטיקה מצביעה על כך שמהירות תגובה ופעולה נכונה - בניתוק מהמתח ובמתן עזרה ראשונה - מגבירים מאוד את הסיכוי להציל את חיי הנפגעים מחישמול. במקרים של תאונת חשמל, הנפגע נמצא, למעשה, במצב של חוסר נשימה ודום לב והחזרתו לחיים תלויה באמצעים ובצעדים שיינקטו.

הצעדים והאמצעים להצלת הנפגע הם:

### הנפגע בהכרה:

- ✓ אם הנפגע נמצא בהכרה ונושם באופן סדיר - יש להעביר אותו למקום מאוורר ולהשכיב אותו במקום נוח כדי שינוח. בו בזמן יש להזעיק רופא או צוות מגן דוד אדום;
- ✓ יש לנתק את הספקת זרם החשמל מן החפץ שגרם לתאונה (אם הדבר לא נעשה קודם לכן) ולסמן אותו כדי שלא יחזרו להשתמש בו אלא רק לאחר בדיקתו ותיקונו, כדי למנוע אפשרות של תאונת חשמל נוספת;
- ✓ כדי לפעול במהירות - מומלץ להיעזר באנשים נוספים (אם נמצאים במקום) שיבצעו את הפעולות הנדרשות במקביל.

### הנפגע איננו בהכרה:

- אם הנפגע שרוי במצב של חוסר הכרה ואיננו נושם - יש לנקוט מיד בצעדים הבאים:
- ✓ להעביר את הנפגע למקום מאוורר הקרוב ביותר האפשרי למקום התאונה, להשכיב את הנפגע, לשחרר אותו מכל פריט אשר עלול להפריע לנשימה חופשית, כגון: חגורות, מחוכים, עניבה, צווארון וכוי ולהתחיל מיד בהנשמה מלאכותית ועיסוי-לב לסירוגין כדי להחזיר את הנשימה ואת מחזור הדם;
- ✓ בו בזמן יש להרחיק מסביבת הנפגע כל אדם שאיננו חיוני; להזעיק רופא ו/או צוות מגן דויד אדום ולנתק את הספקת החשמל לחפץ שגרם לתאונה, כדי למנוע תאונה נוספת.
- ✓ אם הדבר איננו אפשרי - יש להרחיק אנשים מהמקום ולדאוג שאחרים לא ייפגעו.

**למהירות שבה מופעלת ההנשמה המלאכותית יש חשיבות רבה מאוד: ככל שמקדימים בפעולות ההנשמה - גדלים הסיכויים להצלת הנפגע**

### לאחר הצלת הנפגע

מומלץ להפנות את מי שנפגע מחשמל להמשך מעקב בבית-חולים, כדי לוודא שלא תופענה תופעות לוואי, כגון: פרפור חדרים בלב, אי-סדירות דופק וכדי, אשר עלולות לסכן אותו בהמשך.

# הנשמה מלאכותית

## הנשמה מפה לפה

### אופן הביצוע (עקרונות):

1. משכיבים את הנפגע על גבו (מצב המאפשר לבקר את תנועת בית החזה);
2. מנקים במהירות האפשרית את פיו של הנפגע מרייר/ מכיח ע"י הטיית ראשו הצידה ומוציאים מחלל הפה את כל הגופים הזרים הנמצאים בו (שיניים תותבות, גומי לעיסה וכו'). פעולה זו חייבת להיות מהירה!
3. מטים את ראש הנפגע לאחור ולוחצים על הסנטר כדי לפתוח את פיו (מומלץ להניח כרית או שמיכה מתחת לכתפי הנפגע אם מתאפשר ללא הפסד זמן);
4. סותמים את נחירי הנפגע באמצעות האצבעות כדי למנוע דליפת אוויר דרכם;
5. שואפים אוויר ומצמידים את השפתיים הפתוחות לרווחה אל פיו של הנפגע.
6. נושפים בכוח את האוויר, עד שחזהו של הנפגע מתרומם. להנשמת אדם בוגר דרושה נשיפה חזקה למדי, להנשמת ילד יש לנשוף בזהירות, כמו בנשימה רגילה. הנשיפות הראשונות חייבות להיות עמוקות ומהירות, לאחר מכן עוברים לקצב נשימה רגילה (12-16 פעמים בדקה);
7. כאשר חזה הנפגע מתרומם - מסירים את השפתיים מפיו כדי לאפשר שחרור טבעי של אוויר מחזהו. כאשר אין אפשרות להנשים מפה לפה יש לבצע את ההנשמה המלאכותית מפה לאף. בערכות העזרה הראשונה קיים אביזר מיוחד למטרה זו. מומלץ לכל החשמלאים, ובכלל - לכל אדם, לעבור קורס החייאה ללא ידע מעשי עלול לסכן את חיי הנפגע.

## הנשמה מפה לאף

### אופן הביצוע:

1. מטים את ראש הנפגע לאחור, עד שהלסת התחתונה פונה כלפי מעלה;
2. סותמים בכף היד את פיו של הנפגע;
3. מצמידים את השפתיים אל אפו של הנפגע ונושפים לתוכו (בסדר המפורט בהנשמה מפה לפה).

### הוראות למנשים:

- ✓ להתחיל בהנשמה מיד.
- ✓ להזעיק עזרה נוספת, אשר תארגן את העברת הנפגע לבית-חולים.
- ✓ להמשיך בהנשמת הנפגע עד הגיעו לטיפול רפואי מוסמך יותר, שייקח על עצמו את המשך הטיפול.