

# פרק ז'

## מפסק מגן לזרם דלף (מפסק פחת, מפסק נגד חישמול)

מפסק מגן לזרם דלף הפך לאחרונה לציוד נפוץ. אפשר למצוא אותו בבתי מגורים, במשרדים, בבתי מלאכה ועוד. ככל שמספרם של מפסקי המגן לזרם דלף שיוקנו יגדל – יקטן מספר תאונות החשמל ובעיקר הקטלניות שבהן. זאת הסיבה שמצאנו לנכון להקדיש לנושא זה פרק מיוחד.

את מטרות ההגנה ע"י מפסק מגן לזרם דלף ניתן להגדיר כך:

- לספק הגנה למיתקן שיש בו הארקת הגנה, אך התנגדות לולאת התקלה של המיתקן גבוהה ואיננה מאפשרת הפסקה של פעולת המיתקן ע"י המבטח, ולא ניתן לבצע הגנה ע"י איפוס במיתקן הנ"ל (במקרה זה דנו כבר בפרק על שיטות ההגנה מפני חישמול).
- להקטין סכנת שריפה כתוצאה מתקלה בבידוד וממעבר זרם בין מופע (פאזה) להארקה, או בין מופע (פאזה) לאדמה, גם כאשר הזרם איננו מגיע לערכים של זרם קצר והמבטח לא מפסיק אז את המעגל.
- כאשר המפסק הוא בזרם הפעלה של 0.03 אמפר הוא ימנע, בד"כ, תאונה קטלנית ממגע ישיר של אדם בגוף מחושמל או במוליך מופע (פאזה) חשוף.

## מבנה המפסק ופעולתו

מפסק מגן לזרם דלף מורכב מ-3 יחידות:

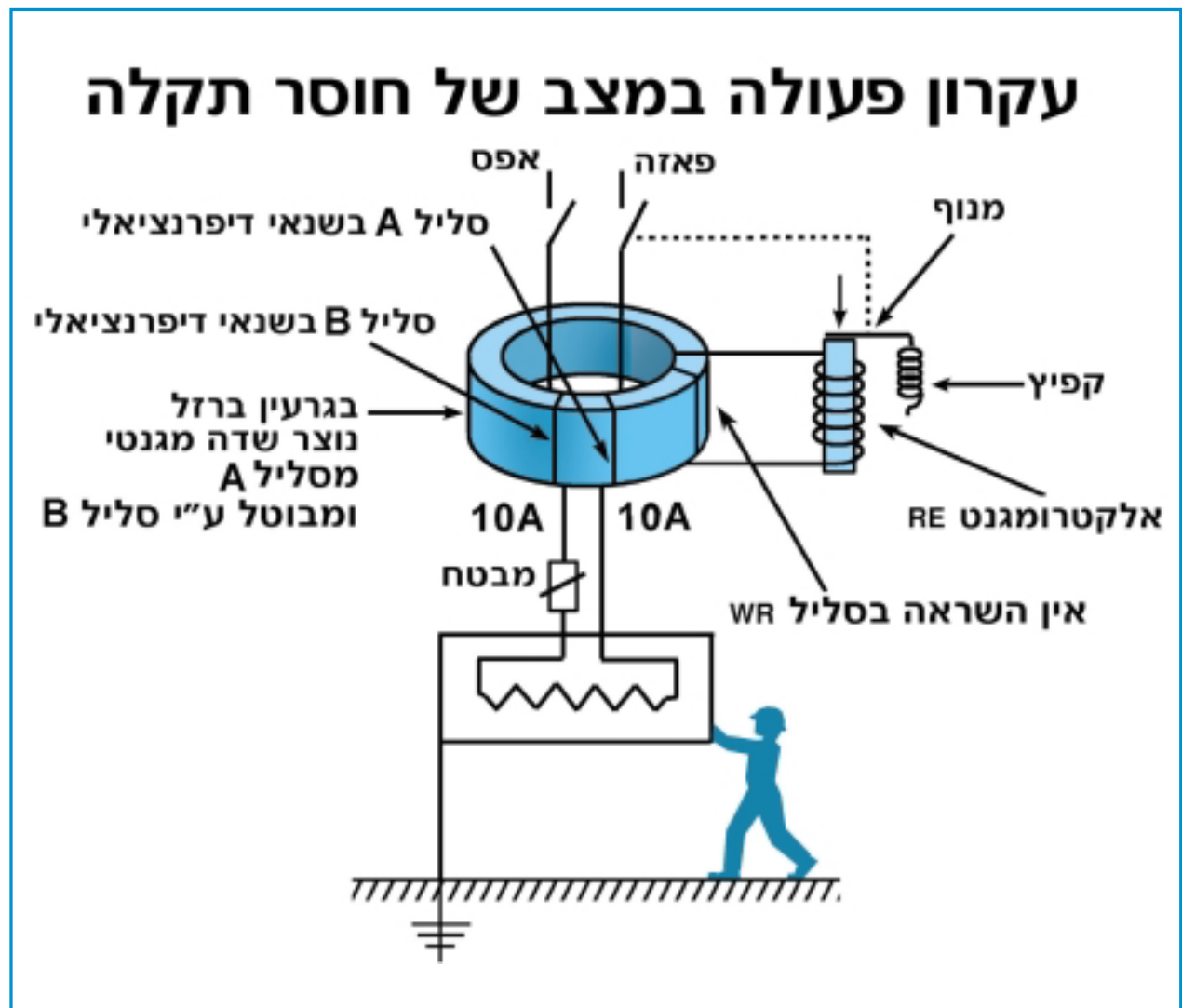
**שנאי דיפרנציאלי** – תפקידו לזהות אי-שוויון בין הזרמים הנכנסים והחוזרים;

**יחידת ההפעלה** – מזהה את גודל זרם התקלה. אם עוצמת הזרם גדולה מהנקוב, היא מפעילה את המפסק;

**מנגנון המפסק** – מפסק רגיל המופעל באופן מכני ע"י יחידת ההפעלה.

באיור 25 ניתן לראות את מבנה המפסק ואת דרך פעולתו. במצב תקין, כאשר אין תקלה, הזרם המגיע להדק המופע (פאזה) של המכשיר עובר דרך המפסק (כשהוא במצב מחובר) וממנו אל סליל A וגורם להופעת שדה מגנטי בגרעין הברזל. חוזק השדה (השטף המגנטי) הוא פונקציה ישירה של גודל הזרם העובר בסליל. אחרי שהזרם עובר דרך המכשיר החשמלי, הוא חוזר אל סליל B של השנאי הדיפרנציאלי. גם הזרם החוזר הזה יוצר שדה מגנטי בעל שטף שווה. מאחר ששטף זה נמצא בכיוון הפוך לקודמו (ראה כיוון הליפופים), הוא מבטל את השטף המגנטי שנוצר ע"י סליל A התוצאה: בגרעין הברזל לא מתקיים שדה מגנטי, לא מושרה

מתח על הסליל המשני WR, לא מסופק מתח ליחידת ההפעלה RE (האלקטרומגנט), והספקת החשמל לא מופסקת.

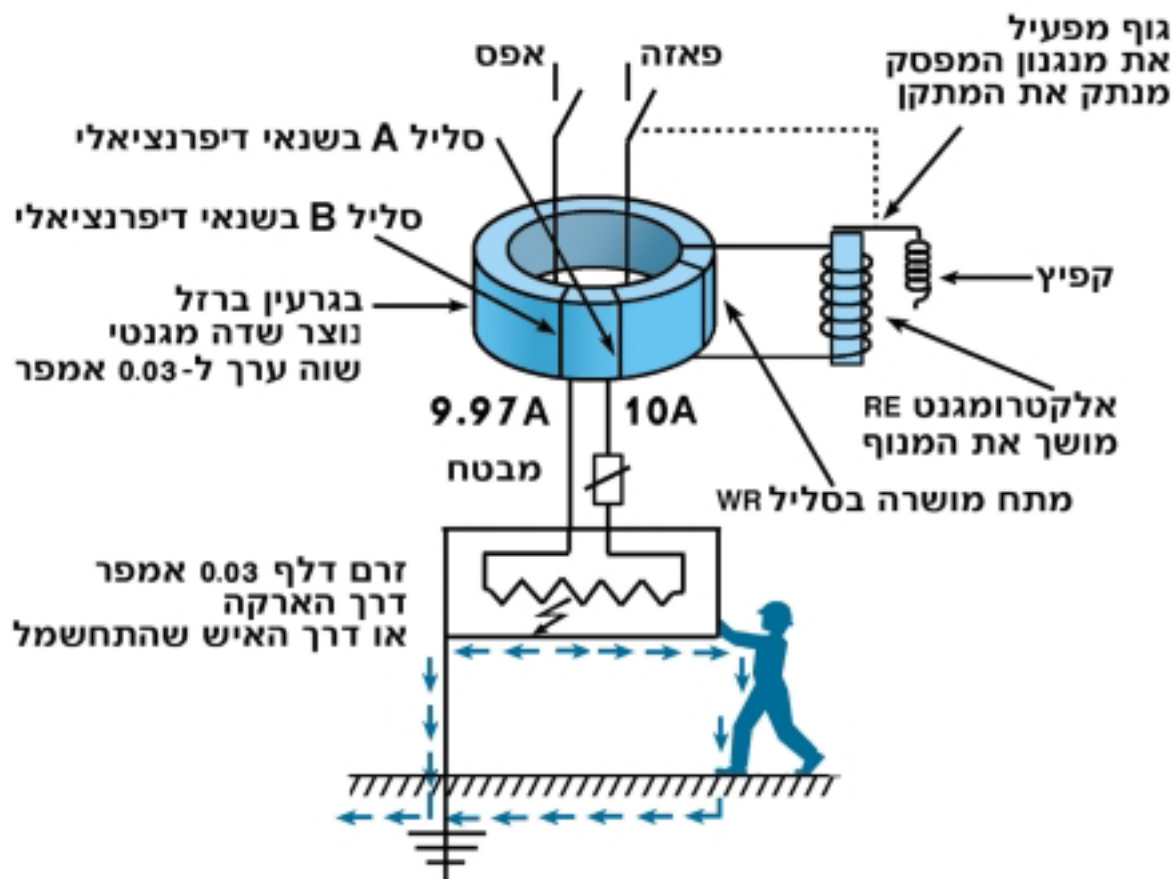


איור 25

המצב בזמן תקלה הוא אחר: גם במקרה זה נוצר שדה מגנטי כתוצאה ממעבר הזרם בסליל A כתוצאה, לדוגמה, מתקלה בבידוד במיתקן. חלק מהזרם סוגר מעגל דרך מערכת ההארקה, או שכתוצאה מהתחשמלות, נסגר מעגל חשמלי דרך גופו של הנפגע אל אדמה, אל הארקה השיטה ואל נקודת האפס שבשנאי.

במצב זה, הזרם שיחזור ושיזרום דרך סליל B יהיה קטן מהזרם שזרם דרך סליל A (במקרה זה ב-0.03 אמפר). התוצאה תהיה שהשדה המגנטי של סליל B לא יבטל כליל את השדה המגנטי של סליל A. בגרעין הברזל ישאר שדה מגנטי קטן שגודלו זהה להפרש ביו 2 השדות. השדה המגנטי הזה ישרה מתח בסליל WR. המתח יועבר לסליל של האלקטרומגנט, שמחובר למערכת ההפעלה. אם זרם הדלף זהה או גבוה מזרם ההפעלה הנקוב של המפסק (במקרה זה 0.03 אמפר), הוא יפעיל את מנגנון המפסק באופן מכני.

## עקרון פעולה במצב של תקלה



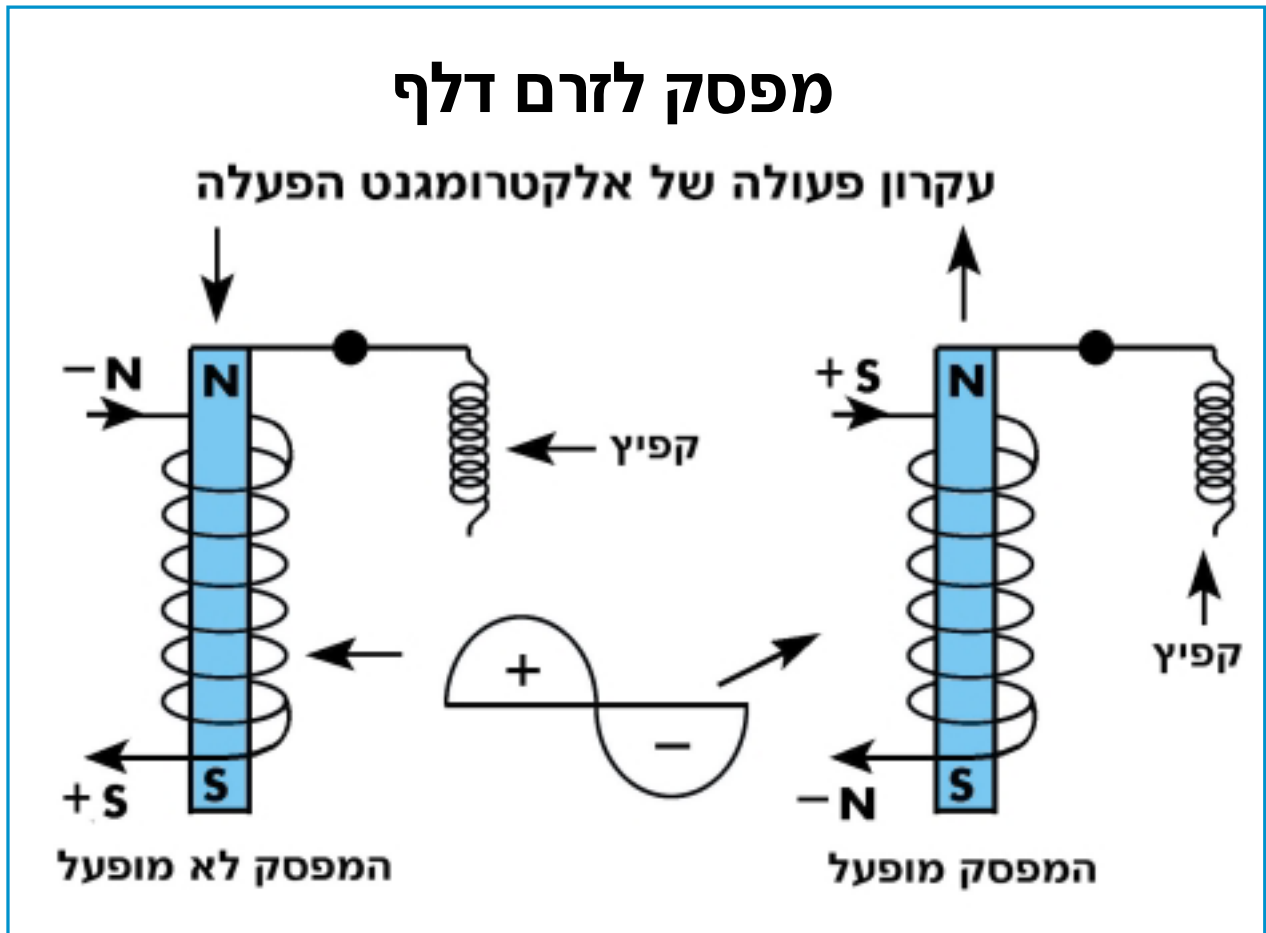
איור 26

המנגנון שהוצג באיורים 25 ו-26 נועד להסביר את עקרון הפעולה ואיננו מדויק. הוא מתאר מפסקים לא רגישים הפועלים בזרמי דלף גדולים. ככל שנזקקו למפסקי מגן ברגישות גדולה יותר – נתקלו בבעיה שהשדה אשר נוצר מזרם של 30 מיליאמפר חלש, ואין בכוחו ליצור זרם מספיק חזק בסליל המשני, אשר יספיק להפעלת מערכת ההפעלה (האלקטרומגנט). לכן חיפשו דרך לפתרון הבעיה. חלק מהיצרנים פתרו זאת ע"י תוספת של מנגנון אלקטרוני. באירופה הכניסו לשימוש יחידות הפעלה עם מנגנון מתוחכם יותר, המבוסס על שחרור המנוף בעזרת אלקטרומגנט (ולא ע"י משיכת המנוף) כך שאת העבודה מבצע קפיץ דרוך המותקן בצידו השני של המנוף.

### כיצד פועל המנגנון?

אלקטרומגנט עשוי, בדרך כלל, מגרעין של ברזל רך, שאין בו שדה מגנטי כל עוד לא זורם זרם בסליל שסביבו. בפתרון האירופאי הותקן דווקא גרעין ברזל מגנטי (ראה איור 27), שהקוטב הצפוני שלו מסומן ב-N והדרומי ב-S. במצב זה המנוף נמשך אל המגנט כל הזמן, והקפיץ שואף בו בזמן לשחרר אותו. הכוחות האלה נמצאים באיזון עדין. זהו המצב כאשר אין תקלה והמפסק מחובר.

## מפסק לזרם דלף



איור 27

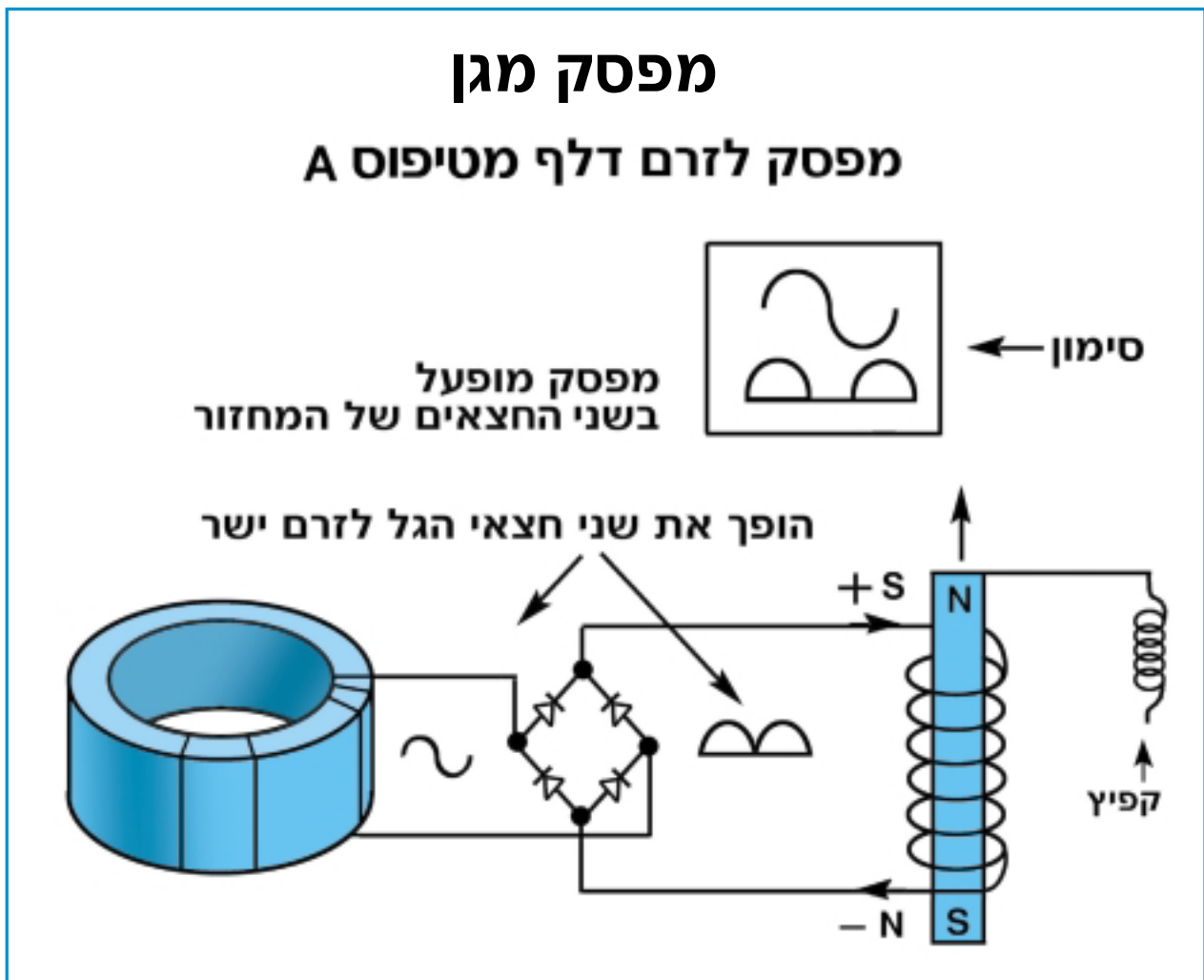
זרם ההספקה שאנו משתמשים בו הוא זרם חילופין. נניח שנקודת הזמן בה התרחשה התקלה היא בתחילת מחצית "החיובית" של מחזור הזרם. במצב זה מגיע לאלקטרומגנט זרם בכיוון מסוים. כיוון הזרם גורם לקוטביות המגנטית של הסליל להיות זהה לקוטביות של המגנט הקבוע. כתוצאה מכך המנוף לא משתחרר והמפסק לא מגיב. אך, כאשר מגיעה המחצית "השלילית" של המחזור, גורם כיוון הזרם לקוטביות הפוכה של הסליל, מה שמחליש את השדה המגנטי (סכום 2 השדות) וגורם לכך שהקפיץ מפעיל את מנגנון שחרור המנוף, והמפסק מנתק את המיתקן מהספקת הזרם.

ניתן להסיק מכך שהמפסק פועל רק במחצית המחזור אשר מחלישה את השדה המגנטי הכללי. במצב שכזה עלולה הפקודה להפסקת הזרם להגיע באיחור של 10 אלפיות השנייה (זמן מחצית המחזור). כל זה מתייחס למפסק זרם דלף רגיל, מהסוג שהיה בשימוש עד היום.

השיטה פעלה זמן רב לשביעות רצון כולם. אך, בשנים האחרונות מתרחב השימוש ב"חצאי מוליכים" ("מוליכים למחצה"), המשמשים לפיקוח ולבקרה על פעולתם של מכשירי החשמל השונים. כאשר מיתקן מזין מכשירים וציוד הכוללים "מוליכים למחצה" (המיועדים לוויסות פעולת המכשירים), אשר מחוברים ישירות למקור הספקת המתח ולא דרך שנאי, עלול מפסק המגן לזרם דלף שלא להגיב בשעת תקלה, והוא לא יפסיק את פעולת המיתקן.

הסיבה לכך היא שבזמן תקלה במיתקן מסוג זה, יתכן מצב שבו תתפתח התקלה כך שהיא תתקיים רק בחלק החיובי העליון של עקומת זרם החילופין. במצב זה, כפי שכבר הסברנו, המפסק לא יגיב ואדם, הנוגע בגוף מחושמל או במוליך חי יתחשמל גם אם המיתקן מוגן במפסק מגן בעל רגישות גבוהה.

לפיכך, במקומות שבהם קיים ציוד אלקטרוני מסוג זה, ובכל מיתקן חדש שבו מותקן מפסק מגן לזרם דלף, מומלץ לשקול את האפשרות להתקין מפסקי מגן מיוחדים, אשר כוללים מנגנון נוסף המסוגל להתגבר על הבעיה הזאת. מפסקים מסוג כזה מוגדרים כ"מפסק מגן לזרם דלף מטיפוס A".

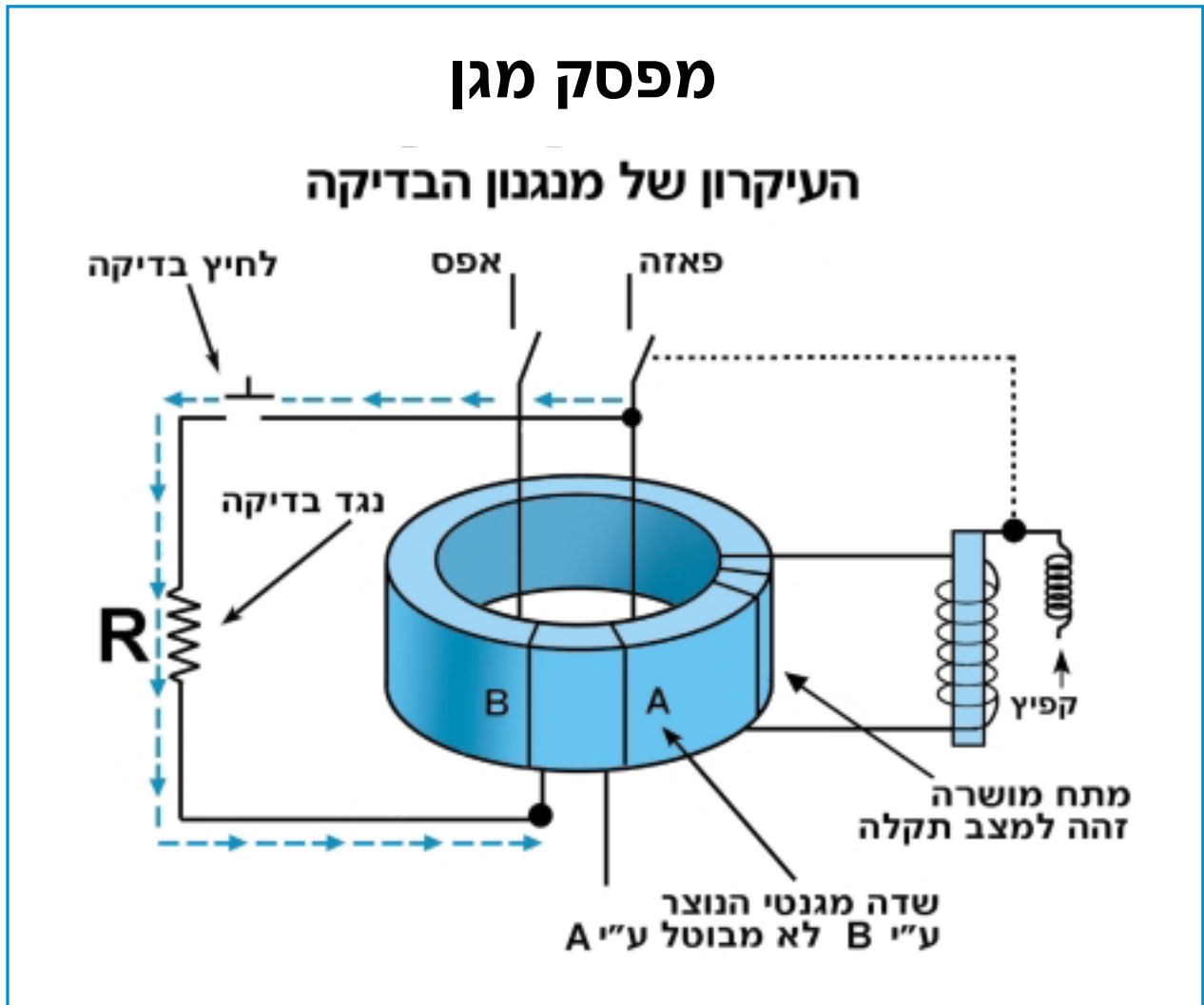


איור 28

למפסק הוסיפו אביזר אלקטרוני בין סליל ההשראה לבין האלקטרומגנט. תפקידו של האביזר לגרום לכך שבזמן תקלה, תמיד, בכל מקרה - בלי קשר באיזה חלק של מחזור זרם החילופין היא מתרחשת - הזרם יגיע לאלקטרומגנט מכיוון אחד בלבד (הכיוון הגורם להחלשת השדה המגנטי הכללי), לצורך שחרור המנוף ולהפעלת המפסק. בדוגמה שבאיור נמצא מיישר זרם פשוט המאפשר את התוצאה הרצויה.

## בדיקת תקינות המפסק

מפסק מגן לזרם דלף, כמו כל מכשיר אחר עלול להתקלקל או להיתקע ולא להגיב בשעת הצורך. לכן, יש לבצע בדיקות תקופתיות של פעולת המפסק (בדיוק כפי שחשוב לבדוק את הבלמים של המכונית). לצורך זה קיים במפסק "לחיץ בדיקה".



איור 29

במפסק שבאיור 29 הותקן נגד  $R$ , בטור עם לחיץ הבדיקה, כך שבזמן לחיצה על הלחיץ נסגר מעגל הפאזה דרך לחיץ הבדיקה, נגד  $R$ , והסליל B למכשיר. הזרם לא עובר דרך סליל A ולכן איננו מבטל את השדה המגנטי של הסליל. מצב זה מדמה מצב תקלה והמפסק מפסיק את המעגל החשמלי.

### מתי יש לבצע את הבדיקה וע"י מי?

בתקנות אין אזכור לגבי התכיפות בה יש לבצע את הבדיקה אך נאמר שבמיתקנים ביתיים יש לעשות זאת בהפרשי זמן סבירים. לגבי מקומות העבודה – הדרישה מחמירה והיא מחייבת

**לבדוק את פעולת המפסק פעם בחודש (לפחות).** לאחריה יש לתעד ביומן ייעודי כי המכשיר אכן נבדק ונמצא תקין. את הבדיקה הזאת יכול לבצע כל אחד, גם מי שאיננו חשמלאי.

## רמת ההגנה של המפסק

התיאוריה שעל פיה פותחה ההגנה מפני חישמול ממגע ישיר במופע (פאזה) מבוססת על מחקרים בנושא השפעת הזרם על גוף האדם. המסקנה במחקרים של פרופסור דלציאל, המצוטטים בספרות המקצועית, היא שזרם חשמל בעוצמה נמוכה מ-30 מיליאמפר איננו קטלני, בדרך כלל, לחיי אדם. ניתן למנוע את סכנת המוות גם בזרמים בעוצמות גבוהות יותר, אם מנתקים אותם במהירות, תוך פחות מכמה אלפיות השנייה מרגע הפגיעה. מפסק מגן לזרם דלף ברגישות של 30 מיליאמפר מפסיק את הספקת הזרם תוך 30 אלפיות השנייה. כך שהוא אמור, בדרך כלל, לתת הגנה סבירה מפני חישמול קטלני.

למרות כל זאת, המחוקק, איננו מאפשר הגנה מפני חישמול רק באמצעות מפסק לזרם דלף ודורש אמצעי הגנה נוספים. לגבי ציוד עם מעטפת מתכתית נדרשת גם הארקה. כך שהארקה, גם כשהיא איננה מספיקה לצורך הפעלת המבטח, היא זו שתפעיל את מפסק המגן לזרם דלף ולא גופו של האדם שנפגע.

**זכור:** מפסק מגן לזרם דלף איננו מגן על אדם שהתחשמל ממגע בין 2 פאזות או ממגע בין פאזה לאפס. המפסק פועל רק כאשר זרימת החשמל היא לאדמה.

## בחירת זרם ההפעלה של המפסק

ניתן להתקין מפסק מגן לזרם דלף ברגישות 30 מיליאמפר בכל מיתקן שבו לא נדרשת רגישות קריטית להפסקות חשמל. במיתקנים גדולים, בהם קיימים מעגלי חשמל רבים, יכול להתרחש מצב שבו יתפתח בכל מעגל זרם דלף קטן ולא מסוכן, שאיננו מצריך הפסקה של פעולת המיתקן. אך אם זרם התקלה המצטבר שיזרום לאדמה יהיה גדול, וכאשר מפסק המגן משמש גם כמפסק ראשי, עלול זרם התקלה המצטבר להיות גדול מזרם ההפעלה של המפסק ואז תופסק הספקת הזרם ואמינות ההספקה תיפגע. לפיכך, מומלץ שלא להתקין במיתקנים מסוג זה רק מפסק אחד, כללי, אלא לחלק את המיתקן למספר חלקים ולהתקין בכל אחד מהם מפסק מגן נפרד.

ככלל, צריך שכל מיתקן חשמלי יוגן באמצעות מפסקי מגן. במקומות בהם הסכנה מוגברת, כגון במטבחים, בתי מלאכה, מוסכים, ובעיקר בכל מקום שבו משתמשים במכשירים מיטלטלים – רצוי להתקין מפסקים בעלי רגישות נמוכה יותר מ-30 מיליאמפר (רגישות נמוכה יותר משמעותה שזרם ההפעלה של המפסק יהיה גבוה יותר).

במקרה מסוג זה יש לזכור שהמפסק איננו מיועד למניעת התחשמלות (זרם ההפעלה שלו גבוה יותר מסף הסיכון) אבל הוא מעניק הגנה נוספת, ובוודאי הגנה מפני זרמים העלולים לגרום לשריפה.

## סימונים של המפסק

על חלקו העליון של המפסק מודפסים פרטי הביצועים שלו וכן צורת חיבורו להספקה:

**זרם נומינלי** – הזרם הקבוע אותו מסוגלים מגעי המפסק להעביר במשך זמן ממושך בלי שייגרם נזק למפסק. כל מפסק צריך להתאים לעומס המירבי אשר מחובר אליו. זרם זה הוא, ברוב המקרים, גם גודל הזרם הנקוב של המבטח, להגנה מפני מפני עומס יתר, המחובר לפני מפסק המגן.

**זרם תקלה** – (זרם ההפעלה/זרם פחת) הוא עוצמת זרם הדלף לאדמה שבה יופעל המפסק וינתק את הספקת הזרם למיתקן. בשוק אמנם קיימים מפסקים עם ערכי זרם פחת שונים (0.03; 0.3; 1; 5 אמפר וכד'), אך רק מפסק עם זרם הפעלה של 0.03 אמפר (30 מיליאמפר) נותן הגנה סבירה ממגע ישיר במופע (פאזה) או בגוף מחושמל. שאר המפסקים מיועדים רק לצורך הגנה על ציוד מוארק, במקרים שהתנגדות גבוהה של לולאת התקלה במעגל, איננה מאפשרת לפתח זרם קצר מספיק גבוה להפעלת המבטח של המעגל.

## מקום ההתקנה ואופן ההתקנה

מפסק לזרם דלף חייב, בדרך כלל, להיות מחובר למיתקן אחרי המבטח הראשי (נתיך או מפסק אוטומטי) של המיתקן. התקנות מחייבות לחברו בצורה זו בכל דירת מגורים. צורת ההתקנה הזאת מבטיחה את ההגנה של המפסק מפני עומס יתר, מפני קצר ומפני בעיות של כושר ניתוק. בשוק קיימים מפסקים משולבים, של מפסק מגן עם מפסק אוטומטי. המפסקים המשולבים מחוברים ישירות להספקת הזרם והם ממלאים 3 פונקציות: מפסק ראשי + מבטח ראשי + מפסק מגן לזרם דלף.

הזרם הנקוב של מפסק מגן לזרם דלף חייב להתאים לגודל המירבי של הזרם אשר עשוי לעבור דרכו. כלומר: המפסק חייב להיות מסוגל להעביר דרכו את כל העומס העובר במיתקן מבלי שייגרם נזק להדקי החיבור של המפסק ולמגעים שלו.

בזמן התקנת המפסק – ע"י חשמלאי – יש לחברו לפי תרשים החיבורים שסיפק היצרן. התרשים מופיע, בדרך כלל, על גבי המכשיר, לפי סימוני ההדקים שעל המפסק. יש להקפיד במיוחד על חיבור מוליך האפס להדק הנכון במפסק. הנושא הזה הוא קריטי במיוחד במפסק תלת-פאזי.

אין שום איסור להתקין מפסק תלת-פאזי במיתקן חד-פאזי, אך יש להקפיד על חיבור פאזת הכניסה והיציאה להדקים שאליהם מחובר לחיץ הבדיקה של המפסק (מופיע בתרשים). אחרת לא יהיה ניתן לבדוק את תקינות המכשיר ע"י לחיץ הבדיקה.

## דרישות מחייבות להתקנה ולתחזוקה של מפסק מגן לזרם דלף

החובה להתקין מפסק מגן לזרם דלף במיתקן החשמל לא היתה קיימת עד לפני שנים אחדות. בשנים האחרונות פורסמו מספר תקנות המחייבות התקנה כזאת. מדובר במפסק לזרם דלף גם כאשר קיימת הארקה תקינה או איפוס תקין ולא במפסק לזרם דלף כהגנה בלעדית.



עד למועד פרסומה של חוברת זו פורסמו התקנות הבאות:

## דירות מגורים –

בתקנות החשמל (התקנת לוחות במתח עד 1000 וולט), התשנ"א-1991, תקנה 29(ד) נאמר: "לוח במיתקן דירתי יצויד במפסק מגן, אחד או יותר, כך שכל מעגל סופי במיתקן יוגן בפני זרם דלף העולה על 0.030 אמפר; מפסק המגן האמור יותקן בין המפסק הראשי (מפסק אוטומטי ראשי) לבין מבטחי המעגלים הסופיים, אך יכול שהוא יהיה יחידה משולבת עם המפסק הראשי".

לוח החשמל במיתקן של דירת מגורים הוא, בדרך כלל, מסוג "בידוד כפול", כך שאין חובה להתקין מפסק מגן לזרם דלף ראשי, אחד, שיגן גם על הלוח ואפשר לחלק את המיתקן לחלקים, כאשר כל מעגל סופי יוגן, בכל מקרה, ע"י אחד המפסקים הללו.

יש לבדוק באופן תקופתי, בפרקי זמן סבירים, את תקינותו של כל מפסק מגן לזרם דלף המותקן במיתקן חשמלי כלשהו. הבדיקה תיעשה ע"י לחיצה על לחיץ הבדיקה. אם נמצא שהמפסק לא פועל – ינותק המיתקן שאותו הוא מזין, עד לתיקונו של המפסק או עד להחלפתו. כאשר הלוח הראשי עשוי מתכת הוא חייב בהארקה, וחובה להתקין בו מפסק זרם דלף ראשי.

## בתי מלאכה, מפעלים ואתרי בנייה –

לגבי בתי מלאכה ומפעלים, שעליהם חלה פקודת הבטיחות בעבודה [נוסח חדש] התש"ל-1970, קיימות תקנות הבטיחות בעבודה (חשמל), התש"ן-1990 אשר מחמירות את דרישות הבטיחות במקומות העבודה. בתקנה 6 נאמר:

### "מכשיר חשמלי מיטלטל המוחזק ביד

(א) מכשיר חשמלי מיטלטל המוחזק ביד בעת השימוש בו, יהיה מסוג II (בידוד כפול) או מסוג III (מתח נמוך מאוד).

(ב) על אף האמור בתקנת משנה (א), מותר להשתמש במכשיר חשמלי מיטלטל ידני כבד מסוג I (מכשיר עם הארקה), המוחזק ביד (כגון מקדחה שקוטר המקדח שלה מעל 16 מ"מ) ובלבד שיוזן דרך מפסק מגן לזרם דלף ברגישות של 0.03 אמפר לכל היותר, או דרך שנאי מבדל."

המסקנה המעשית של תקנה זו היא שבמקומות העבודה מותר להשתמש אך ורק בכלים חשמליים מיטלטלים המוחזקים ביד המוגנים מפני התחשמלות באחת מהשיטות הבאות:

■ בידוד כפול;

■ מתח נמוך מאוד;

■ מפסק מגן לזרם דלף ברגישות של 30 מיליאמפר לכל היותר;

■ שנאי מבדל (למכשיר אחד בלבד!).

מפסק לזרם דלף שהותקן במקום עבודה לפי תקנה זו, חייב בבדיקת תקינות חודשית (לפחות פעם בחודש), באמצעות לחיצה על לחיץ הביקורת שלו. יש לבצע את הבדיקה כאשר המכשיר מחובר למתח החשמל, רצוי שהבדיקה תבוצע כאשר העומס מנותק (אחרי הפסקת פעולת מיכשור המחובר אליו) – בעיקר לגבי מכשירים רגישים, כמו מחשבים או מכונות שהתנעה בלתי מבוקרת שלהם עלולה לגרום לנזק או לתאונה.

את הבדיקה יכול לבצע גם מי שאיננו חשמלאי. לאחר כל בדיקה יש לרשום את התאריך בו נערכה ואישור על תקינותו של המפסק. אם נמצא שמפסק המגן לזרם דלף איננו תקין יש להזמין מיד חשמלאי, שיפסיק את השימוש במיתקנים החשמליים המחוברים למפסק הזה ויחליף אותו.

על פי הדרישות של תקנות הבטיחות בעבודה (חשמל), חייבים כל בתי התקע (השקעים) וכל לוח המזין בתי תקע אשר משמשים לחיבור מכשירים מיטלטלים המוחזקים ביד בשעת העבודה, להיות מוגנים מפני חישמול ע"י מפסק לזרם דלף. אם משתמשים בכבל מאריך להזנת המכשירים המיטלטלים – חייב גם הכבל להיות מוגן באמצעות מפסק לזרם דלף ברגישות של 30 מיליאמפר. כלומר: אם בית התקע אשר אליו מחובר הכבל המאריך איננו מוגן באמצעות מפסק לזרם דלף – חייב להיות מותקן מפסק לזרם דלף בתחילת הכבל המאריך, (ליד התקע) ולא בסופו (ליד השקע) כפי שנוהגים רבים. כך יהיה גם הכבל המאריך מוגן באמצעות מפסק המגן.

## אתרי בנייה –

- **בתי תקע חד-פאזיים** חייבים להיות מוגנים ע"י מפסק מגן לזרם דלף ברגישות של 30 מיליאמפר לפחות.
- **בתי תקע תלת-פאזיים** חייבים להיות מוגנים ע"י מפסק מגן לזרם דלף ברגישות של 500 מיליאמפר לפחות.

# פרק ח' שריפות

דיווחים על מקרי שריפה רבים מציינים "קצר חשמלי" כגורם לשריפה. הגדרה זו היא כוללנית ולא מדויקת. היא מציינת רק את ההנחה שהחשמל הוא אחד מגורמי השריפה. הסיבה האמיתית איננה דווקא "קצר" במשמעותו המקצועית. הסיבות לשריפה שנגרמה מכשל במערכת החשמל יכולות להיות שונות, כגון:

- התחממות המוליכים כתוצאה מזרם-יתר ותנאי סביבה.
- מגעים רופפים.
- פגיעות בבידוד וזרמי דלף לאדמה.
- התחממות יתר (כתוצאה מהצטברות אבק ומכיסוי של אבזרי החשמל).
- ניצוצות, קשת חשמלית, קצר בין מוליכים.
- חשמל סטטי וברקים.

## התחממות מוליכים כתוצאה מזרם-יתר ותנאי סביבה

לכל מוליך חשמלי יש התנגדות חשמלית. לכן, יש צורך באנרגיה מסוימת כדי להתגבר על ההתנגדות בזרימת זרם חשמלי דרך המוליך. אנרגיה זאת מתבטאת בחום – כל מוליך חשמלי מתחמם כאשר עובר דרכו זרם חשמלי. ככל שהזרם גבוה יותר, גוברת התחממותו של המוליך.

ההתחממות מנוצלת בצורה חיובית במכשירים שונים כגון: מנורות, תנורים וכד'. גם המוליכים במיתקן החשמל מתחממים, אך זוהי כבר תופעה שלילית אותה לא ניתן למנוע. לכן, יש להתחשב בהתחממות המוליכים ולדאוג שהיא לא תגרום נזק למיתקן (ע"י פגיעה במוליך, בבידודו ו/או בתיפקודו של המיתקן) וגם לא תגרום לשריפה בו ו/או בסביבתו. לצורך זה נדרש אביזר שימנע את התחממות היתר.

אביזר זה הוא ה"מבטח" ("פקק"). מוכרים 2 סוגים עיקריים: נתיך או מפסק אוטומטי.

תפקידו של המבטח להפסיק את הזרם במעגל כאשר הזרם מגיע לערך היוצר סיכון לאותו מיתקן. גודל המבטח נקבע על פי מספר גורמים: שטח החתך של המוליך; החומר ממנו עשוי המוליך; חומר הבידוד; תנאי הסביבה (פיזור החום) ועוד.

"סילוף" של מבטח ו/או התקנת מבטח גדול יותר מהנדרש עבור המיתקן או מבטח שאיננו תיקני מבטלים את הגנת המיתקן מפני התחממות. התוצאה עלולה להיות שריפה.

התחממות המוליך נמצאת ביחס ישר להתנגדות שלו ולזרם העובר דרכו. ההתנגדות בנקודת החיבור בין שני מוליכים, תהיה גבוהה יותר מאשר במוליך רצוף. לכן, יצרני הציוד החשמלי משתדלים ליצור מצב שההתנגדות של מהדקי החיבור של המוליכים או של מגעי המפסק תהיה קטנה ככל האפשר. ואמנם קיימת התייחסות לנושא זה בתקנים השונים.

למרות זאת, קיימות עדיין נקודות תורפה. אלה הם מקומות החיבור בין המוליכים או נקודות המגע בין התקע לבין בית התקע (השקע). יש לכך 2 סיבות:  
האחת – חיזוק לא נכון ו/או לא מקצועי של המוליכים;  
השניה – תחזוקה לא נאותה.

כל בורג, גם כאשר הוא מהודק כראוי, נוטה, מסיבות רבות, להתרופף במשך הזמן: כתוצאה מהתפשטות והתכווצות; כתוצאה מהפרשי טמפרטורה; חימצון של המתכת; תנודות ורטט של הציוד; כוחות מכניים של משיכה המופעלים על הכבלים בקירבת החיבורים ועוד. התוצאה היא מגע רופף. לכן, הדרך היחידה למנוע שריפות ותאונות הנגרמות בגלל מגעים רופפים היא ביצוע תחזוקה תקופתית נאותה.

כאשר משתמשים במכשיר בעל עומס גדול (בעיקר מכשירי חימום) המצויד בתקע אפשר להבחין, לא פעם, בסימני חריכה על המכסה של בית התקע או ליד מקום החיזוק של הפינים בתקע. במקרה כזה יש להפסיק מיד את השימוש במכשיר ולהזמין חשמלאי שיבדוק הן את התקע והן את בית התקע (למרות שהסימנים יופיעו רק על אחד משניהם).

תופעה נוספת הנוצרת כתוצאה מהתחממות היא כאשר אחד הפינים בתקע נעשה פתאום קצר יותר. הסיבה לכך היא שהפין התחמם, התיך את בסיס התקע ושקע פנימה. גם במקרה זה צריך להפסיק מיד את השימוש במכשיר.

ככלל, רצוי שלא להשתמש בבית תקע (שקע) מפוצל עבור מכשירים בעלי עומס גדול, כגון תנורים, ובכל מקרה – רצוי, ככל שניתן, להשתמש בתקעים היצוקים יחד עם הכבל, בהם המוליכים אינם מחוזקים בברגים אלא מרותכים לפינים.

## פגיעות בבידוד זרמי דלף לאדמה

כאשר קיים, במכשיר או במיתקן, בידוד לקוי כלפי ההארקה או האדמה, נוצרים זרמי דלף דרך האדמה אל שנאי ההספקה. מעבר הזרם מלווה בחימום מקומי (במקום התקלה), אשר נמצא ביחס ישר לריבוע עוצמת הזרם. החימום מגדיל את הפגיעה בבידוד ומגביר את זרם התקלה עד לממדים מסוכנים. במקרה זה – המבטח לא יזהה את המצב כתקלה ולא יפסיק את המעגל כל עוד לא מתקיים קצר מלא, וכל עוד זרם התקלה נמוך מהגודל הנקוב של המבטח עבור אותו המעגל. מאידך, זרם דלף כזה גורם להתחממות מסוכנת במקום התקלה ועלול לגרום לשריפה. המבטח איננו יכול לספק הגנה מפני סכנה מסוג זה. הפתרון היחידי כאן הוא התקנת הגנה נוספת ע"י מפסק מגן לזרם דלף, אשר יזהה זרמי דלף קטנים לאדמה ויפסיק מיד את המעגל, בלי קשר לגודל המבטח במיתקן.

## מניעת התחממות יתר

בעיה אחרת העלולה לגרום לשריפה היא שימוש לא נכון במיכשור חשמלי. במכשירים חשמליים רבים קיימים פתחי איוורור או אמצעים אחרים המיועדים לפזר את החום הנוצר בתוך המכשירים. כיסוי הפתחים ע"י חפצים, בגדים, שמיכות וכד' גורם להתחממות המכשיר ולשריפה. פעולה זו גם יכולה לשבש את פעולת התרמוסטט של המכשיר.

מכשירי חימום אינם מסוכנים יותר מכל מכשיר חשמלי אחר, בתנאי שמשתמשים בהם בצורה נכונה. מספר לא מבוטל של שריפות ומספר רב של קורבנות בנפש נגרמו לאו דווקא כתוצאה מקלקול במכשיר החימום, אלא כתוצאה משימוש לא נכון במכשיר או שימוש במכשיר החימום בקירבת חומרים דליקים, לדוגמה: הנחת חומרים דליקים בקירבת תנור או עליו; הפעלת תנורי חימום ללא השגחה ועוד.

כפי שכבר הזכרנו, מעטפת של ציוד חשמלי צריכה להתאים לתנאי הסביבה. במקומות בהם משתמשים או מאחסנים חומרים דליקים או גזים נפיצים – יש להשתמש בציוד מיוחד מוגן מפני התפוצצות. אם יש אפשרות – עדיף, ומומלץ שלא להתקין בכלל במקומות כאלה ציוד חשמלי.

## ניצוצות, קשת חשמלית, קצר בין מוליכים

בזמן ניתוק מערכת חשמלית נוצרת קשת חשמלית. הציוד החשמלי בנוי כך שהקשת תתקיים לזמן קצר בלבד ולא תגרום לנזק. קשת חשמלית כזאת נוצרת בכל מפסק חשמלי ובכל פעם ששולפים תקע מבית תקע.

קשת חזקה ומסוכנת יותר נוצרת במבטח בזמן קצר. במבטח מסוג נתיך קיימים חומרים מיוחדים שתפקידם לכבות את הקשת. אם מסלפים נתיך לאחר שנשרף הוא לא יהיה מסוגל להפסיק את הקשת, ומתעוררת סכנה של שריפה וגם של פגיעה באדם המסלף את הנתיך.

זכור: צריך להחליף נתיך בנתיך חדש בעל אותו זרם נקוב המותר במעגל בו הוא מותקן!

זו איננה הסכנה היחידה בקשת החשמלית! בעיה חמורה יותר היא קשת הנוצרת במקום התקלה (הקצר), כאשר נוצר מגע בין שני המוליכים. במיתקן המיועד לזרם גבוה יותר, נוצר חום גבוה יותר. כתוצאה מכך פורצת, לא פעם, שריפה. למעשה, זוהי השריפה היחידה שאת מקורה ניתן להגדיר כתוצאה מ"קצר חשמלי".

## חשמל סטטי וברקים

לסכנה מחשמל סטטי יש 2 מקורות שונים: ברקים ופריקה אלקטרוסטטית (פא"ס).

## ברקים

סכנת הברקים מתבטאת ב:

- סכנת חיים, כתוצאה מפגיעות ישירות של ברקים בבני אדם, בעיקר בשטחים פתוחים;
- סכנה של שריפות במבנים כתוצאה מאנרגיית החום הנפלטת בפגיעות הברקים, בעיקר כאשר קיימים במקום חומרים דליקים או נפיצים;
- סכנה לרשתות חשמל, תקשורת, מיתקני חשמל וציוד המחובר אליהם בזמן חדירת הברק לרשת.

הסבר מפורט בנושא "איך ומתי יש צורך להגן על מבנה מפגיעת ברק" ניתן למצוא בתקן ישראלי ת"י 1173. ההחלטה על ביצוע הגנות נקבעת עפ"י רמת הסיכון לפגיעת ברקים ורמת הסכנה העלולה להיווצר במקום בזמן פגיעה, כגון:

- המיקום הגיאוגרפי של המבנה (רמה איזומטרית – מספר ימי סופות ברקים במשך שנה באותו אזור);
- גובה המבנה מעל לסביבתו;
- אזור הררי;
- ייעוד המבנה וחשיבותו (מספר האנשים במבנה, מבנה חיוני, מבנה ציבורי או פרטי, מבנה בטחוני);
- החומר ממנו עשוי המבנה (בטון, מתכת, חומר לא דליק, חומר דליק);
- תכולת חומרים דליקים או נפיצים במבנה, ועוד;
- מידת סיכון לסביבה.

ההגנה מפני ברקים מבוצעת ע"י התקנת מוט מתכת או מסגרת מתכתית על הגג, במקום הגבוה ביותר במבנה, וחיבור האלמנט לאלקטרודה באדמה, ישירות ובדרך הקצרה ביותר, באמצעות מוליך בעל שטח חתך של 50 מ"ר לפחות ("כולא ברק").

כאשר מבצעים הגנה בשיטה זו נוצר "אזור מוגן" בצורת חרוט דמיוני, שקודקדו הוא המוט או המסגרת אשר על הגג וממנו נמתח לאדמה, בזווית של  $20^\circ$ , קו המעטפת הדמיונית של החרוט. כל מבנה (יחיד או יותר), או חלקי מבנה, הנמצאים בתוך תחום החרוט הזה מוגנים מפני פגיעת ברק.

הגנות כאלה צריכות להיות מתוכננות, בכל מקרה, ע"י מהנדס חשמל מומחה בנושא.

כאשר ברק פוגע ברשת החשמל הוא מעלה לזמן קצר את המתח של הרשת. המתח הזה מגיע גם למיתקנים הקשורים לרשת והוא עלול לגרום להם נזקים קשים. הדרך להגן על מיתקן מסוים ועל ציוד (בעיקר אלקטרוני) המחובר אליו, היא התקנת אביזרים להגנה מפני מתח יתר. את האביזרים האלה ניתן להתקין בלוח הראשי של המפעל. קיים גם ציוד, זול באופן יחסי, אותו ניתן להתקין בלוח דירתי וגם ציוד הגנה המיועד למכשיר בודד אותו מתקינים בין בית התקע לבין המכשיר.

## פריקה אלקטרוסטטית (פא"ס)

פריקה אלקטרוסטטית היא מעבר של ניצוץ חשמלי בין שני גופים הטעונים במיטענים חשמליים (סטטיים) נגדיים: פלוס (+) ומינוס (-). כאשר הניצוץ פורץ בתוך סביבה של חומרים דליקים או נפיצים הוא עלול לגרום לדליקה או לפיצוץ. מיטענים חשמליים סטטיים נוצרים כאשר שני חומרים שונים מתחככים זה בזה. המתח הנוצר בטעינה כזאת יכול להגיע לאלפי וולטים והוא מתפרק בשנייה מסוימת דרך תווך (האוויר בד"כ) בצורת ניצוץ.

עפ"י הרוב, התפרקויות מסוג זה אינן מסוכנות במובן של "מכת חשמל", אך הן הופכות לסכנת חיים כאשר הניצוץ פורץ בתוך תווך (מדיום) המכיל חומרים דליקים או נפיצים. בעבר התרחשו בארץ מספר תאונות קטלניות כתוצאה מניצוץ שפרץ בקירבת מיכלי דלק או בעת העברת דלק ממיכלים למכונות ו/או במקומות שהיה בהם אבק נפיץ או אדי חומרים דליקים. נזק אחר אשר עלול להיגרם ממיטענים אלקטרוסטטיים הוא פגיעה ברכיבים אלקטרוניים (חצאי מוליכים ואחרים). במקרים כאלה, התפרקות קטנה של מיטען אל רכיב גורמת לצריבת הרכיב ולשינוי תכונותיו.

בתעשיית האלקטרוניקה משתמשים בשיטת "השוואת פוטנציאלים", בצידוד ובלבוש אנטי-סטטיים למניעת צבירת מיטענים ונזקים מסוג זה. גם בתעשיות עם סביבות נפיצות קיימים עזרים שונים, כולל לבוש מיוחד אנטי-סטטי, המיועד למנוע היווצרות והצטברות מיטענים מסוג זה. בתקן ישראלי ת"י 1069 מפורטות הסיבות להיווצרות מיטענים סטטיים והדרכים לטיפול בהם. בין השאר מוזכרות שם שיטות לצמצום יצירת מיטענים כאלה ולניטרול הסכנה הנובעת מהם:

- ביטול רצועות מחומר מבדד;
- הקטנת מהירות הזרימה של נוזלים/גזים מבדדים מסוימים;
- הרחקת חומרים דליקים;
- השוואת פוטנציאלים והארקתם;
- הגדלת לחות האוויר עד מעל ל-70% (חשמל סטטי יכול להתקיים רק במקומות יבשים. אוויר לח - לחות יחסית גבוהה מ-70% - גורם להתפרקות המיטען ומונע את הצטברותו);
- שימוש במסרקים ובמברשות מוארקים;
- ריצפה מוליכה;
- הזרמת אוויר מיונן לחלל המועד להיווצרות מיטענים סטטיים.
- שימוש בלבוש מחומר מוליך. איסור שימוש בלבוש מחומרים סינתטיים;
- מניעת מערבולות בצנרת המזרימה נוזלים מבדדים מסוימים;
- ריסוס ע"י חומרים אנטי-סטטיים, ועוד.

כאשר מדובר במניעת מיטענים אלקטרוסטטיים במקומות שיש בהם סכנת שריפה או התפוצצות – צריך להתייעץ עם מהנדס מומחה לנושא.

**לסיכום:** כדי למנוע שריפות כתוצאה מחשמל יש לשמור על הכללים הבאים:

- אין לסלף מבטחים, אין להתקין מבטחים גדולים מאלה המתאימים למיתקן;
- יש להבטיח את אפשרות פיזור החום של המיתקן והמיכשור החשמלי;
- יש להקפיד על ניקיון מיתקני החשמל ולמנוע הצטברות אבק, נסורת וכדומה, עליהם ובתוכם;
- יש להרחיק חומרים דליקים מקירבת מערכות וציוד חשמלי, או להתקין מיתקנים מוגנים מפני התפוצצות.
- אין להוסיף עומס למערכת חשמלית לפני בדיקה מקצועית להתאמת המערכת לכך;
- יש להתקין אמצעי כיבוי מתאימים בקירבת מיתקני חשמל ובלוחות ראשיים. מומלצים אמצעים לכיבוי אוטומטי.
- יש להקפיד על קיום תחזוקה שוטפת ובדיקות תקופתיות.
- עבור מערכות חיוניות, כגון: מעליות, משאבות מים, תאורת חירום, וכד' – יש לדאוג לקווי זינה עמידים מפני אש, שיאפשרו את המשך פעולת המערכות בזמן שריפה.



# פרק ט' הטיפול בנפגע

בתאונות חשמל, אפשר לעשות רבות להצלת הנפגע. לשם כך דרוש קור רוח, ידע מועיל בנוגע לשיטות הצלה וכושר גופני מתאים.

בזמן פעולות הצלה מבחינים ב-2 שלבים:

■ הרחקת הנפגע מהגוף המחשמל;

■ טיפול וביצוע פעולות החייה בנפגע.

**יש לזכור:** הטיפול בנפגע יבוצע רק לאחר שחרורו ממתח החשמל! כאשר מבחינים באדם שהתחשמל, אסור לזנק אליו באופן ספונטני. יש לגשת אליו רק לאחר שננקטו אמצעי בטיחות נאותים. פעולה ספונטנית עלולה לגרום לסיבוך פעולות ההצלה במקום לעזור, מכיוון שגם המציל עלול להיפגע מזרם החשמל ובמקום נפגע אחד יהיו 2 נפגעים שצריך לטפל בהם.

## ניתוק המתח

הצעד הראשון המתבקש לאחר שאירעה תאונת חשמל, הוא שחרור הנפגע במהירות המירבית ממקור המתח. הדרך הבטוחה ביותר לשחרר את הנפגע מהמתח היא ניתוק הזרם, ע"י שליפת התקע או העברת המפסק של המכשיר/המיתקן למצב מופסק. כדי ליישם זאת יש לדאוג שהמפסקים הראשיים במיתקן ימלאו את התנאים הבאים:

■ המפסקים יותקנו במקום נוח לגישה ליד המכשיר או המיתקן (מקור החישמול) ו/או ברחבי המפעל יותקנו לחצני חירום להפסקת הספקת החשמל;

■ הם יותקנו בגובה שאליו מסוגל להגיע כל אדם ממוצע ללא סולם או אמצעי עזר אחר;

■ הם יסומנו באופן ברור, בולט ובר-קיימא.

■ בשטח המפעל ובאולמות השונים יותקנו שלטי הכוונה אל לוח החשמל הראשי של אותו אולם או אל המפסק המרכזי.

## שחרור הנפגע ממגע עם מקור החישמול

קיימות נסיבות בהן לא ניתן להפסיק את הספקת החשמל או שהתאונה נגרמה מנגיעה במוליך חי, קרוע, של רשת (חיצונית). במקרים אלה ניתן לנתק את הנפגע ממקור החישמול בדרכים נוספות. הדרכים הנוספות הללו מצריכות מגע ישיר עם הנפגע ו/או מקור החישמול. פעולות אלה מסוכנות, במידה לא מעטה, ולכן הן צריכות להתבצע רק ע"י אנשים המודעים היטב

לפעילות הנדרשת ויש להם בסיס הבנה בתחום החשמל (כגון: איך נסגר מעגל חשמלי? למה מתחשמלים? וכד'). אדם שאין לו הבנה מספקת בנושא שישתמש באמצעי ההצלה האלה עלול לגרום, כאמור, לתאונה כפולה.

כל האמצעים לניתוק הנפגע ממקור החישמול מבוססים על הרחקת גוף הנפגע מהגוף המחשמל, או את הגוף המחשמל מגופו של הנפגע. הפעולה יכולה להצליח רק אם האדם העוסק בהצלה לא יסגור בגופו מעגל חשמלי דרך האדמה (כדי שהוא עצמו לא יתחשמל). תנאי זה יכול להתקיים רק אם המציל יעמוד על מישטח של חומר מבודד (ינעל נעליים עם סוליות גומי, יעמוד על שטיח גומי או פלסטי, יעלה על כיסא עץ או שולחן עץ (או מחומר מבודד יבש אחר) שניתן לעמוד עליו ביציבות. המציל יכול גם לעמוד על האדמה ולהפריד בין הנפגע לגוף המחשמל באמצעות מוט עץ יבש או חומר מבודד יבש אחר. יש ללבוש כפפות גומי יבשות (אם הן בהישג יד). יש לוודא שהאמצעים שננקטו אומנם מבדדים מספיק כדי למנוע חישמול.

גם כאשר עומדים על חומר מבודד, כאשר מנסים להרחיק את הנפגע מהגוף המחשמל, יש להימנע ממגע של חלקי גוף חשופים בגוף המחשמל. יש להקפיד ששום חלק מחלקי הגוף לא יגע בקיר או בחלק אחר של המבנה (אשר עלולים להיות מוליכים), או בחלקי מתכת של ציוד כלשהו בסביבה.

תמיד, לפני הטיפול בנפגע או בעצם כלשהו החשוד כמחשמל – יש לגעת בגוף באמצעות גב היד ולא לקרב את חלקה הפנימי של כף היד. כאמור, כאשר אדם מחושמל, מתכווצים שרירי גופו בחוזקה. כף היד, לדוגמה, נסגרת בחוזקה סביב הגוף המחשמל ללא יכולת להשתחרר.

רק אחרי כל אלה ניתן להמשיך בפעולת ההצלה.

### **יזמה ומחשבה מהירה בזמן תאונה**

אשה התחשמלה ממגע במוליך חי של רשת החשמל של חברת החשמל שנקרע ונפל בחצר ביתה. בעלה שהוזעק למקום לא היה יכול, כמובן, להפסיק את הזרם, אך הוא הסיר מציריה את אחת מדלתות העץ של הבית (פעולה קלה ומהירה) והשתמש בכנף הדלת להרחקת הכבל המחשמל מהנפגעת. דלת כזאת, כשהיא יבשה, יכולה לשמש גם כמישטח מבודד שעליו ניתן לעמוד לצורך הרחקת העצם המחשמל מהנפגע.

כל הפעולות שמנינו מתייחסות לפעולות הצלה כאשר החישמול הוא ממתח הספקה רגיל (230–400 וולט) כאשר התאונה היא ממתח גבוה, מסוכן מאוד להתקרב אל הנפגע.

כאן יש לנקוט בצעדים כדי למנוע התקרבות של אנשים למקום ולהזמין בדחיפות את חברת החשמל, מגן דוד אדום, ואת המשטרה. הפסקת הספקת החשמל למיתקנים במתח גבוה מותרת רק לחשמלאים המורשים לביצוע הפעולות האלה. אם במפעל נמצא חשמלאי כזה יש להזעיק אותו במהירות כדי שינתק את מקור המתח.

יתכן שאדם אשר נפגע מתאונת חשמל ניזרק או נפל כתוצאה ממכת החשמל. צירוף מקרים כזה יכול לשחרר את גופו מהמגע עם הציוד המחשמל.

יש להתחיל במהירות האפשרית בפעולות ההחייאה, אך אסור לשכוח שהמיתקן הלקוי או הציוד המחשמל עדיין מסכנים אנשים אחרים. יש להרחיק כל אדם ולמנוע מאנשים מלהתקרב למקום, וכן לדאוג לניתוק הספקת החשמל למיתקן הלקוי.

פעולות ההחייאה וההנשמה להצלת חיים טובות לכל מקרה, כולל פגיעה ממתח גבוה.

## החייאה

---

בדיקה ראשונית של הנפגע מיועדת לקבוע אם הוא נושם ואם לבו פועם. אם לא – יש לבצע מיד פעולות החייאה (הנשמה מלאכותית ועיסוי לב חיצוני) עד שהנפגע יתחיל לנשום בכוחות עצמו או עד שרופא יקבע אחרת.

יש להימנע מטילטול הנפגע ממקום למקום.

במקביל – יש להזעיק עזרה רפואית מוסמכת (מד"א או חובש מוסמך, אם נמצא במקום).

**כל פעולות ההחייאה תבוצענה אך ורק ע"י אדם שהוכשר לכך.**