



# תאונת חשמל לנגר בעבודות חוץ

מאת מהנדס דוד דודסון

הכותב - מהנדס מכונות וחשמלאי מוסמך, לשעבר ראש קבוצה במינהל הבטיחות והבריאות התעסוקתית במשרד הכלכלה

באיור ניתן לראות שפרפורי לב יתחילו אחרי 110 מילישניות בעוצמות זרם של 500 מיליאמפר, אבל רק אחרי 35 שניות בעוצמת זרם של 30 מילי אמפר.

כמו כן, גם באיור 3, הלקוח מ-"Utilisation de L'Electricite" ("השימוש בחשמל") בהוצאת OPPBTP ניתן לראות עד כמה שונה השפעתו של אותו זרם בתלות בזמן המגע עם גוף האדם:

העקומה בצבע אדום, L, המחלקת את הגרף לשני אזורים בלבד, נקראת עקומת הבטיחות.

**אזור 1:** בדרך כלל, אין תגובה;

**אזור 2:** בדרך כלל אין השפעות פיזיולוגיות מסוכנות;

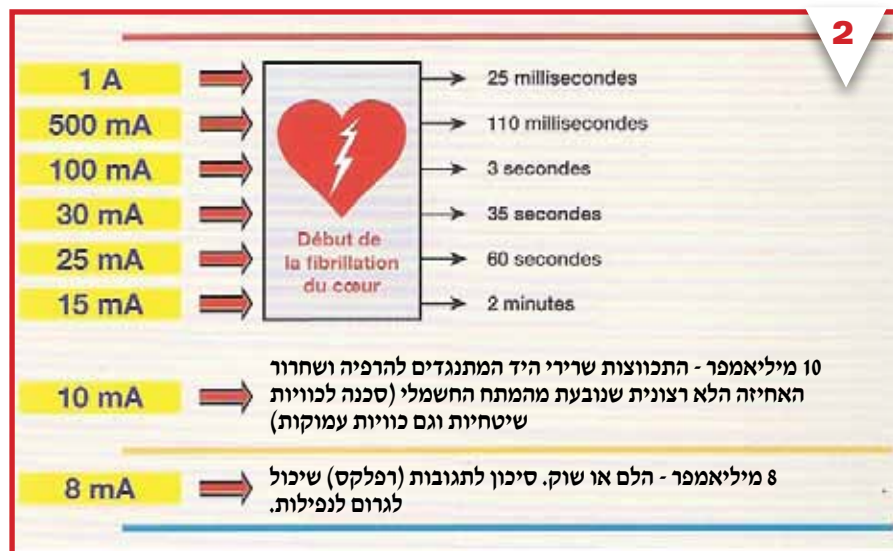
**אזור 3:** בדרך כלל לא נגרם נזק בלתי הפיך. מכאן אפשר לראות שאפילו זרם בעוצמה של 500 מיליאמפר לא יגרום לנזק בלתי

מאד (0.03 שניות). שכן, כאמור, גם למשך המגע בין הזרם החשמלי לגוף האדם יש השפעה מכרעת על סכנת החיים לנפגע.

מפסק המגן הפועל בזרם דלף ברגישות 30 מיליאמפר נפוץ ביותר בשימוש ביתי. קיימים אמנם גם מפסקים הפועלים ברגישויות שונות: 500 מיליאמפר (רגישים פחות) או 10 מיליאמפר (רגישים יותר).

את השפעת עוצמת הזרם החשמלי על גוף האדם כפונקציה של זמן, ניתן לראות באיור 2 הלקוח מ-"Carnet de prescription de securite electrique pour le personnel du BTP habilite BS" (פנקס הוראות בטיחות בחשמל לעובדים בבנייה ובבנייה הנדסית עבור חשמלאים מעשיים בהוצאת OPPBTP - ארגון בטיחות בבנייה ובנייה הנדסית (עבודות ציבוריות) צרפת, מאוגוסט 2012).

## תחילת פרפורי הלב



לבית ישן בצרפת הוזמן נגר כדי לשייף רצפת עץ באחד החדרים. העבודה בוצעה באמצעות מכונת שיוף חשמלית. את המכונה חיבר הנגר לבית תקע שמצא בחדר אמבטיה סמוך.

תוך כדי התנועה של הנגר על פני רצפת החדר, כשהוא מחזיק בידית מכונת השיוף, נגע החלק האחורי של גופו בתנור המותקן באופן קבע, לחימום החדר בימי החורף הקרים (איור 1). ברגע בו נגע גופו בתנור - הנגר התחשמל ומת.

בעל הבית, שהזמין אותו לביצוע העבודה, נכח במקום והבחין מיד שגופו של הנגר נשאר ללא תזוזה, כאילו קפא במקום, הנגר לא יכול היה להוציא הגה מפיו, וידיו לפתו בחוזקה את ידית מכונת השיוף מבלי יכולת להשתחרר. בעל הבית הבין שהנגר התחשמל ורץ מיד לחדר האמבטיה הסמוך והוציא את תקע מכונת השיוף מבית התקע; אבל זה היה כבר מאוחר מדי. פעולת הניתוק של גוף הנגר ממקור הזרם החשמלי, נכונה כשלעצמה, כבר לא הועילה. מאמציה החייאה שנעשו על ידי כוחות חילוץ שהגיעו למקום לא עזרו. ניתוח לאחר המוות הגיע למסקנה חד משמעית: הנגר מת כתוצאה מהלם חשמלי (התחשמלות).

## הגנה באמצעות מפסק מגן

הגבול העליון של הזרם החשמלי המקובל שאיתו "רשאי" לבוא במגע עם גוף האדם הוא 30 מיליאמפר. מאחר וגם עוצמת זרם כזו יכולה לפגוע קשות בגוף האדם, מכשירי הגנה נגד התחשמלות (כמו מפסק מגן הפועל בזרם דלף), אמורים לא רק לנתק את הזרם החשמלי של 30 מיליאמפר במקרה של מגע, אלא גם לעשות זאת מהר

הפיך, אם משך זמן המגע עם גוף האדם קטן מ-50 מילישניות.  
**אזור 4:** פרפורי לב, כוויות עמוקות.

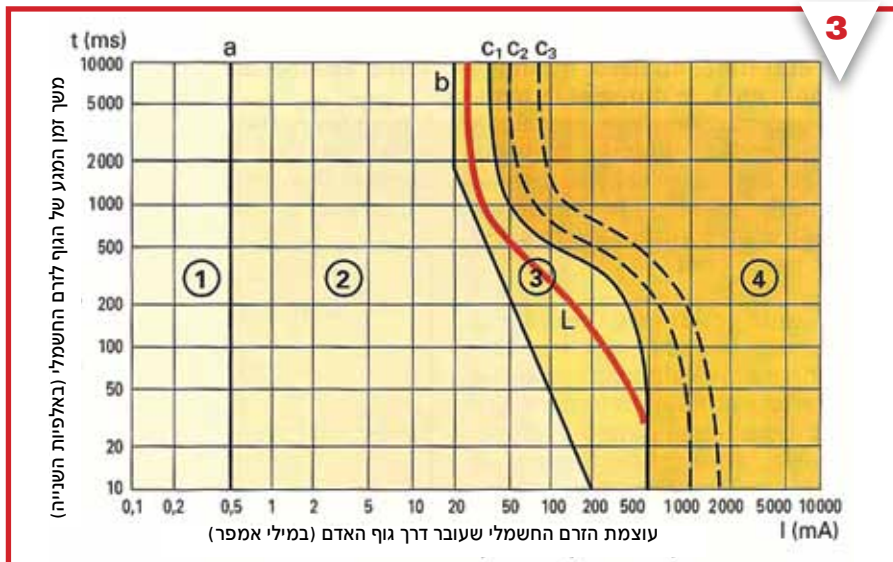
## מסלול הזרם

גורם חשוב אחר המשפיע על חומרת ההתחשמלות, הוא מסלול הזרם בגוף האדם. בד"כ האדם מתחשמל כאשר ידו נוגעת בחלק הנמצא תחת מתח חשמלי. הזרם עובר דרך היד לבית החזה (שם נמצאים הלב והריאות) ומשם לרגליים (האדם ניצב על הקרקע, על מישטח בטון או מרוצף באריחים) וסוגר מעגל לאדמה. הפגיעה היא לרוב, קשה, כי הזרם עבר דרך בית החזה והפרעות בפעולתם התקינה של הלב ו/או של הריאות עלולות להיות קטלניות.

מסלול אחר בו הזרם החשמלי עובר לאדמה דרך גוף האדם: היד נוגעת במקום בו עובר זרם חשמלי, אבל בגלל היותו של האדם על רצפה שאינה מוליכה, או על שטיח מבודד, או שהוא נועל נעליים מבודדות, הזרם לא מוצא דרך לסגור מעגל לאדמה ולא קורה כלום. אבל, אם מסיבה כלשהי, ידו השנייה של העובד נוגעת בחלק של הבניין (עמוד, קיר), באותו חלקיק שניה, הזרם סוגר מעגל חשמלי לאדמה והאדם מתחשמל. הדבר היחיד ששונה, הוא מסלול הזרם בגוף האדם, קרי, יד - בית החזה - יד שניה - אדמה. המסלול הזה של הזרם בגוף האדם מסוכן בדיוק באותה מידה כי בשני המקרים הזרם עובר דרך בית החזה ופוגע בפעולתם התקינה של הלב ושל הריאות. המסלולים יד - בית חזה - רגליים - אדמה ויד בית חזה - יד שניה - אדמה, הם שני המסלולים השכיחים ביותר במקרה התחשמלות, וגם המסוכנים ביותר.

כאן המקום לפתוח סוגריים ולספר שבהיותי במשרד הכלכלה, חקרתי תאונת עבודה שסיבתה היתה התחשמלות: עובד נמצא על אחת הדיוטות של פיגום זקפים מצניורות בשלבי הקמה. הפיגום הוקם בקרבת כבלי מתח גבוה של חברת החשמל, במרחק קטן מהנדרש והמצוין בתקנות הבטיחות בעבודה (עבודות בנייה), התשמ"ח, 1988 (המתח בכבלים היה 22,000 וולט והמרחק היה הרבה יותר קטן מהנדרש בחוק, קרי קטן מ-3.25 מטרים). העובד החזיק ביד חוט מתכת שזור בו השתמש לקשירת הפיגום (גם "קשירה" מעין זו אסורה בתכלית האיסור).

תוך כדי הושטת היד באוויר, החוט השזור שבידו הגיע קרוב מאד לכבלי חברת החשמל, הזרם "פרץ", והעובד נפל על רצפת הפיגום.



השפעת הזרם החשמל על גוף האדם כתלות בזמן המגע

ברגישות של 500 מיליאמפר.  
 • צחוק הגורל, הנגר השתמש בזמן העבודה בצידוד מגן אישי כמו מגיני אוזניים להגנת השמיעה ובמסיכה להגנה נגד אבק מזיק. למרות שמוליכי כבל הזינה נגעו במכונת השיוף והנגר החזיק בידית שלה, כל עוד הוא היה במגע רק עם רצפת העץ (היבשה) המבודדת בלבד, לא קרה כלום. אבל הזרם החשמלי סגר מעגל לאדמה דרך גופו (ידיים - בית החזה - החלק האחורי של גופו - התנור המתכתי המותקן מתחת לחלון - אדמה) ברגע שחלקו האחורי של הגוף נגע בתנור החימום המתכתי.

עד אותו רגע, לא היה קיים הפרש פוטנציאלי בין גוף הנגר לבין הרצפה; רק כאשר הוא נגע בתנור, כתוצאה מההפרש הפוטנציאלי בינו לתנור (הוא החזיק בידית מכונת השיוף, בה נגעו המוליכים של כבל הזינה), התאפשר לזרם לעבור דרכו ולגרום למותו.

## הסיבות לתאונה

• **בידוד כבל הזינה של מכונת השיוף** היה פגום. כבל זינה או כבל מאריך פגום מהווה סיבה אופיינית לתאונות חשמל. יש לוודא לפני השימוש שכבל הזינה נמצא במצב תקין ולא להתפשר על כך. אם יש צורך, להחליף אותו.

• **קיום הארקה תקינה.** הארקה היא אמצעי בסיסי נגד התחשמלות שמאפשרת לזרם החשמלי לסגור מעגל לאדמה בדרך בעלת התנגדות חשמלית קטנה בהרבה מההתנגדות החשמלית של האדם (בהארקה ההתנגדות היא של אוהם אחד עד מספר אוהמים בודדים, ואילו ההתנגדות של גוף האדם היא אלפי אוהמים ויותר).

במילים אחרות, במקרה שהמעטפת

בכך הוא התנתק מהמגע עם הזרם ועל גופו אפשר היה לראות את המסלול שעבר הזרם בדרכו לאדמה: כווייה גדולה בכף היד שהחזיקה את החוט השזור; בהמשך, לאורך הזרוע כולה, כווייה דומה לקו שכאילו משהו סימן על גופו בטוש בצבע אדום, הקו נמשך מתחת לבית השחי, ירד לכיוון המותן ושם שוב כווייה עגולה גדולה (כנראה שהעובד נשען באותו חלק של גופו על המעקה המתכתי של הפיגום). הכוויות נוצרו בגלל הביטוי (האפקט) התרמי של הזרם החשמלי (העברת זרם חשמלי גורמת לחום).

זהו אחד משלושת האפקטים של הזרם החשמלי (השניים האחרים, הם האפקט הכימי והאפקט המגנטי). זהו מסלול נדיר, אבל מסוכן הרבה פחות, כי בדרכו לאדמה הזרם החשמלי לא עבר דרך בית החזה ולא פגע בלב או בריאות. העובד שנפגע עבר טיפולים ממושכים בכוויות, אבל ניצל.

## ולתאונת העבודה של הנגר

ובחזרה לנגר שבא לשייף רצפת עץ של בניין ישן בצרפת: לאחר התאונה התבררו מספר עובדות:

• כבל הזינה של מכונת השיוף ניזוק במספר מקומות; באחד מהם אף נקרע ו"תוקן" בצורה מסוכנת.

• במהלך העבודה, מכונת השיוף עברה מספר פעמים מעל כבל הזינה וגרמה לחשיפתם של המוליכים החיים שבאו במגע עם המעטפת המתכתית של מכונת השיוף.

• על לוח החשמל ממנו ניזון בית התקע באמבטיה, אליו היה מחובר כבל הזינה, הותקן מפסק מגן הפועל בזרם דלף

אותו. אם אספקת הזרם נפסקת, סימן שהמכשיר תקין. יש לחזור על הבדיקה כל 30 יום. אם אספקת הזרם החשמלי לא הופסקה, סימן שמפסק המגן כבר אינו תקין ויש להחליפו. בכרטיס בה מתוארת התאונה הזאת, אין התייחסות למצבו של מפסק המגן.

בישראל, כמעט ואין כיום בית שעל לוח החשמל שלו לא מותקן מפסק מגן הפועל בזרם דלף ברגישות של 30 מיליאמפר.

רגישות לערכים של עוצמות זרם של 500 מיליאמפר כפי שהיה במקרה המתואר, יכולה להיות מסוכנת, רגישות לערכים של עוצמות זרם קטנות יותר (10 מיליאמפר), אמנם בטיחותית יותר, אבל היא יכולה לגרום לניתוק הזרם החשמלי לעיתים קרובות מדי, לפעמים ללא צורך.

יחד עם זאת, לא צריך סקר מדעי כדי לקבוע שאחוז האנשים שמקפידים לבצע מידי חודש בחודשו בדיקות תקינות המפסקים הפועלים לזרם דלף, הוא מזערי. לפעולת הבדיקה של תקינות מפסקי המגן, הכל כך פשוטה, יש חשיבות עליונה.

אין ספק שהזנה במתח נמוך מאד (שאינו עולה על 24 וולט בזרם חילופין או 60 וולט בזרם ישר בין כל שני מוליכים באותה שיטת אספקה) היא הבטוחה ביותר, אבל מכונת השיוף, שהיא ציוד "סוג I" אינה פועלת במתח זה.

מפסק המגן שהיה מותקן, אמור היה לפעול ברגישות של 500 מיליאמפר. בדרך כלל מפסק מגן כזה נמצא בשימוש בתעשייה - מחד מעוניינים בהגנה נגד התחשמלות ומאידך לא רוצים הפסקות תכופות מדי באספקת הזרם החשמלי. כפי שכבר כתבת קודם, יתכן שהמפסק לא היה תקין.

## מה היה צריך לעשות?

- יש להקפיד שכבל הזינה של מכונת השיוף יהיה במצב תקין; חובתו של בעל מכונת השיוף, היתה לבדוק לפני השימוש את שלמותו של בידוד כבל הזינה. אורכו הגדול של הכבל מחייב את בדיקתו בכל פעם לפני תחילת העבודה (איור 4).

- מומלץ שמפעיל המכונה יגיע לביצוע העבודה עם מפסק מגן הפועל בזרם דלף משלו, המותקן באופן קבוע על הכבל החשמלי שהביא איתו. בכבל כזה מורכב מפסק מגן, כשלקצה אחד של הכבל - בית תקע בו יתחבר התקע של מכונת השיוף, ובקצה השני - תקע שיחבר לבית

חומרת הפגיעה במקרה של התחשמלות תלויה בשלושה גורמים: עוצמת הזרם, משך זמן המגע בין הזרם החשמלי לגוף האדם ומסלול הזרם בגוף האדם.

לשאלת מיליון הדולר איזו עוצמה צריכה להיחשב כמסוכנת עבור גוף האדם ואיך ניתן לחזות זאת מראש, טרם נמצאה תשובה מדויקת.

הפיזיקאי הגרמני גאורג סימון אוהם (1854-1789), גילה עוד בשנת 1826 את היחס הקיים בין עוצמת הזרם (I) למתח החשמלי (V) ולהתנגדות

$$I = \frac{V}{R} \quad (R)$$

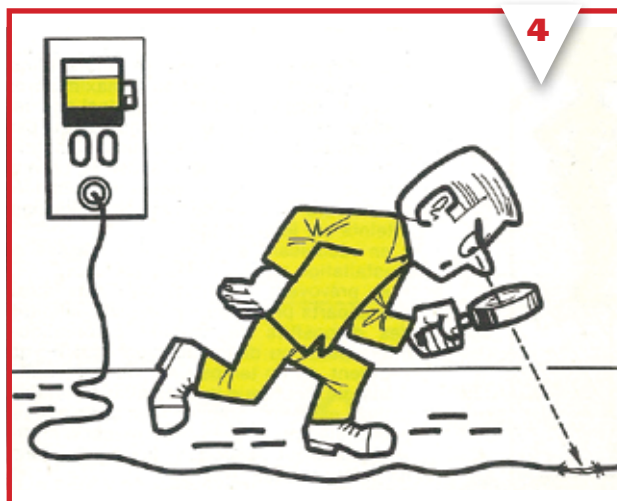
נוסחה זאת, המוכרת כחוק אוהם, אומרת, שכדי לחשב את עוצמת הזרם, נצטרך לחלק את המתח החשמלי להתנגדותו החשמלית של האדם.

התנגדותו החשמלית של גוף האדם נעה בגבולות רחבים מאוד: -100,000 1,000 אוהם. זאת ועוד: במקרים קיצוניים, ההתנגדות החשמלית יכולה להגיע אפילו ל-500,000 אוהם, או לרדת עד ל-300 אוהם בלבד (אדם הנמצא במים).

כאשר אנשים שונים מתחשמלים מאותו מקור זרם, המתח החשמלי (V) הוא זהה אך העוצמה של הזרם שתעבור דרך גופם, תהיה שונה בגלל הערכים השונים כל כך של ההתנגדות (R).

בזרם דלף, דורש היצרן מהלקוח לחוץ על לחצן הבדיקה שבמכשיר (בדרך כלל אחת לחודש), ובמקומות העבודה יש להכין נוהל לביצוע ולמעקב.

לחצן הבדיקה מביים תקלה - הוא "גונב" מהמגעל זרם בעוצמה שאמורה להפעיל



החשמלית של המכשיר נמצאת תחת מתח, "מפתה" ההארקה את הזרם לעבור דרכה לאדמה ולא דרך גוף האדם. נקודה במעטפת המתכתית של המכשיר (הדק הארקה) מחוברת למוליך ולפין התחתון שבתקע המכשיר. פין זה, ארוך במקצת (מ"מ או שניים) משני הפינים (מופע ואפס) האחרים, כדי שבהכנסת התקע לבית התקע, יתבצע קודם כל חיבור להארקה. מבית התקע, נמשכת הרציפות החשמלית בין הפין התחתון לכבל החשמל שבסופה של דרך ארוכה מגיע לאדמה (פעם עבר המסלול דרך צינורות המים המתכתיים, היום הוא עובר דרך הזיון שביסודות המבנה).

בתיאור תאונת המוות של הנגר (במאמר המקורי) לא צוין נושא ההארקה; ייתכן מפני שמדובר שם בבית ישן. אולי אין ציון לנושא ההארקה מפני שהיא לא נבדקה זמן רב, או שאולי היא מזמן כבר לא היתה קיימת.

מכונת השיוף היא מכונה "סוג I". על פי תקנות הבטיחות בעבודה (חשמל), התשנ"ה-1990. ציוד "סוג I" הוא ציוד חשמלי שלכל חלקיו החיים יש לפחות בידוד תפעולי ושמותקן בו הדק או מגע לחיבור הארקה מגן. במקרה שלנו - גם אם הארקה ההגנה היתה תקינה, היא לא היתה יכולה למנוע התחשמלות אם ההארקה של בית התקע ניזוקה. מכונת השיוף איננה מוגדרת כציוד חשמלי מיטלטל (איננה מיועדת להיות מוחזקת ביד בעת ההפעלה) ועל כן איננה מחויבת בבידוד כפול.

- מלבד הארקה, היה צורך לדאוג לאמצעי נוסף להגנה נגד התחשמלות. אמנם על הלוח נמצא מפסק מגן הפועל בזרם דלף ברגישות 500 מיליאמפר. קשה לשער את עוצמת הזרם שעברה דרך גוף הנגר. בכל מקרה מפסק המגן לא ניתק את הזרם.

יכול להיות שעוצמת זרם הדליפה שעבר דרך גוף הנגר היה קטן מ-500 מיליאמפר כדי שיפעיל את מפסק המגן. יכול להיות שעוצמת הזרם שעבר דרך גוף הנגר היתה גדולה מ-500 מיליאמפר ובכל זאת הוא לא פעל. הרי מפסק המגן הפועל בזרם דלף נדרש לפעולה רק במקרה של תקלה (של דליפת זרם). יכול להיות שתקופה ארוכה מאד הכל היה תקין והוא לא נדרש לפעולה בבית הישן בו עבד הנגר. אולי הוא לא היה תקין כבר זמן מה, אבל איש לא ידע. כדי לוודא תקינות של מפסק המגן הפועל

מפסק מגן



התקע במקום בו עליו לבצע את העבודה. כמו כן, רגישותו של "מפסק מגן אישי" מומלץ שתהיה 30 מיליאמפר או אפילו 10 מיליאמפר. שימוש במפסק מגן הפועל בזרם דלף "אישי", הפועל ברגישות של 10 מיליאמפר, או אפילו 30 מיליאמפר כמתואר קודם, היה משחרר את העובד (נגר במקרה זה) מהימצאותו או היעדרו של מפסק מגן ברגישות מתאימה על לוח החשמל של מזמין העבודה, או בצורך לבדוק את תקינות המפסק שמותקן על הלוח (במקרה שהוא קיים).

לשיטת ההגנה נגד התחשמלות באמצעות הארקה, יש יתרונות - היא זולה ופשוטה, אבל גם חסרונות משמעותיים. החיסרון הגדול ביותר שלה, הוא שהיא פגיעה מאד. בחלוף הזמן, ההתנגדות החשמלית של מוליך הארקה עולה (שיתוך, חלודה) ולפעמים אף יכול להיווצר נתק בנתיבה הארוך של ההארקה לאדמה. משמעות הדבר: היתה הארקה ואיננה עוד. כל זאת ללא שום התראה.

בכל מקרה זה המקום להזכיר, שבמיוחד בבתים ישנים, יש להזמין חשמלאי מוסמך לבדוק את תקינות ההארקה. ■

## מחוז דרום פותח קורס לממונים על הבטיחות

בתאריך 17.6.14

משך הקורס 36 ימים  
(328 שעות לימוד)

לפרטים נוספים:  
(08)6276389

מספר המקומות מוגבל