

# התקע המצדיע



כתב העת המקצועי לחשמל



תחנת משנה (תחמ"ש) "כנרות" (11.5/161 ק"ו) באתר ספיר

חברת החשמל



מס' 63 — אביב 1996

## תוכן העניינים

### דבר המערכת

איכות החשמל כיעד משותף

3

### משולחן הוועדות

א. ועדת ההוראות לביצוע עבודות חשמל

■ מיתקי חשמל באתרים רפואיים - שינויים בתקנות

ב. אנשי החשמל שואלים - ועדת הפירושים משיבה

■ מספר קווים או מעגלים סופיים בציור משותף

■ הגנה על מבילים

■ ניתוק הינה למיתקן פרוסומת במתח העולה על 1,000 וולט

■ הגנה מפני חישמל על ידי איסוס במבנה טרומי

■ מוליכי ההארקה במבנים בני ארבע קומות ומעלה

■ לחצנים לתאורת חודי מדרגות - חיבורים במוליך האפס

■ צבעי היכר של מוליכים במיתקן חשמל

### פאול שפר

4

מקורות: חברת המים - צרכן החשמל

חברת המים הלאומית מקורות היא צרכן החשמל הגדול בישראל

### הרמן הרשקוביץ

9

### תקנים ותקינה

■ ת"י ISO 9000 - תקנים לניהול האיכות בייצור ובשירותים

### אהוד גיתאי

14

התפלגות היכולת הנקובה של מערכת הייצור לפי אתרים\*1995

התפלגות הייצור לפי אתרים\*1995

16

ניהול פרויקט בביצוע מיתקן חשמל

### יסי סנדק

17

שיסות הזנה למנועים תלת מופעיים על ידי מהפך אלקטרוני

### אילן אקונס

22

צריכת החשמל לפי סוג התעריף ומתח האספקה\*

26

חומרים חדשים בהתקנות כבלים תת-קרקעיים במתח גבוה

### לאוניד חייקין

27

ההתייחסות של חברות החשמל בחו"ל לצרכנים הרגישים להפרעות

באספקת החשמל

### בוריס שוורץ

35

הפסקות חשמל חולפות - היבטים טכניים ופתרונות מעשיים

במיתקי הצרכנים

### נוראני שגיב

43

\* מתוך הד"ר וחשבון הסטטיסטי של חברת החשמל לשנת 1995

### עורך ראשי:

אורי ליינר

### עורך:

בני כהן

### עורך משנה:

איל גבאי

### מערכת:

יוסף בלבל, יעקב בלכמן, יצחק ברכה, בני גור, אברהם זיו, משה סרגלית, אלי נאנטרה, גרשון פרבר, יואל קורצין, יבגני קלימן

### מינהלה והוצאה לאור:

משה צירוף

### מנויים:

איציק עלקבא

### כתובת המערכת:

חברת החשמל לישראל בע"מ

ת"ד 10, חיפה 31000

טל' 04-8646761; פקס: 04-8646468

### עריכה גרפית וסדר מחשב:

טרפיק - כתיבה והפקה בע"מ, חיפה

### הדפסה:

דפוס תמיר בע"מ, חיפה

### הפצה:

סופר טייל בע"מ, תל אביב

### ניהול הפקה:

א. רביב - ארבע אונות, חיפה



### תמונת השער:

תחנת משנה (תחמי"ט) "נרות" (161/11.5 ק"ו) מספקת חשמל לתחנת השאיבה הראשית של המוביל הארצי באתר "ספיר".

בתחנה מורכבים ארבעה שאיבי נוספים של 28 מ"ר כל אחד.

תחנת השאיבה "ספיר", במקום צריכת וחברת מקורות, על 1,600 מ"ר, הם צרכני החשמל הגדולים בישראל (ראה כתבה בעמוד 9 - "מקורות: חברת המים - צרכן החשמל").

## איכות החשמל כיעד משותף

אף אם האזכור החוזר ונשנה הופך את האמירה לקלישאה, נאמר שוב. שיתוף הפעולה בין חברת החשמל לבין העוסקים בחשמל הוא הערובה לאספקת חשמל אמינה ואיכותית ולשביעות רצונם של הלקוחות המשותפים. הטיפול בנושא איכות החשמל הוא דוגמה נוספת ומובהקת לכך.

שיתוף הפעולה המעשי, שכבר קיים בשטח, עם התאחדות התעשיינים, המתבטא בבדיקת הנושא, באיסוף מידע על ידי מהנדסים יועצים וחשמלאים של המפעלים מצד אחד, ועל ידי מומחי חברת החשמל מצד שני, קיום הסדנאות וכדומה – כל אלה חשובים, אך אינם העיקר. העיקר הוא שבעקבותיהם הולך ונוצר בסיס ידע רחב שהוא בסיס ליישום פתרונות, והפתרונות מחייבים בכל מקרה שיתוף פעולה בין חברת החשמל (שצריכה לספק את המידע ולעתים גם פתרונות טכניים) לבין העוסקים בחשמל – מהנדסים יועצים, חשמלאים, ספקים וכו' – אשר ברוב המקרים צריכים לגבש וליישם את הפתרונות המתאימים.

"התקע המצדיע" מתגייס לנושא וימשיך לטפל בו ביתר שאת, הן במסגרת הכנסים המקצועיים והסדנאות בנושא והן במסגרת כתב העת, והקוראים מוזמנים לשאול, להגיב ולהעיד.

בברכה,

**אורי אייטני**  
העורך הראשי

### מסיבות טכניות

לא נכלל בגיליון זה של "התקע המצדיע"

**מצור השירות הפרסומי**

מדור השירות הפרסומי הוא אמצעי קשר

מרכזי בין היצרנים, המשווקים ונותני

השירותים לבין העוסקים החשמל,

והוא יחזור ויתפרסם כרגיל מן הגיליון הבא.

**מדור השירות הפרסומי**

תחת הכותרת "איכות לאורך כל הקו" התייחסנו בעבר (דבר המערכת, "התקע המצדיע" מס' 61 – סתיו 1995) למשמעותו המתרחבת של המושג "איכות" ולמרכזיותה של האיכות במשק המודרני. הדגשנו את חשיבותה המיוחדת של האיכות – תוך הקפדה על דרישות החוק והתקנים – בכל הנוגע לעבודות חשמל, והבטחנו ש"התקע המצדיע" ימשיך ויעמיק את המידע העדכני שהוא מפרסם לעוסקים בחשמל, כדי לאפשר שיפור מתמיד באיכות. במסגרת זו אנו מביאים בחוברת זו מאמר ראשון המציג את תקן האיכות הבינלאומי ISO 9000 וכן סקירה על ההתייחסות לנושאי האיכות באיחוד האירופי (ראה: מדור "תקנים ותקינה").

תחום אחר אשר חשיבותו רבה למקצת העוסקים בחשמל ולמקצת הלקוחות, הוא איכות החשמל כמוצר. כל הלקוחות רגישים במידה זו או אחרת לזמינות אספקתו של החשמל. סוגים מסוימים של לקוחות רגישים, במיוחד לאיכות החשמל (Quality of Power), כגון: ליציבות המתח והתדר, לסימטריה בין המופעים, להפרעות חולפות הנמשכות פחות מחצי שנייה, להבהובי מתח, להרמוניות וכד'. הפרעות מסוגים אלה, אשר רוב הצרכנות אינה חשה בהם, עלולות לגרום נזקים משמעותיים ללקוחות הרגישים להם כגון: מפעלי פלסטיקה, מאגרי מידע, ציוד אלקטרוני ועוד.

"התקע המצדיע" דיווח לקוראיו על הפעולות שמבצעת חברת החשמל, בשיתוף התאחדות התעשיינים, לגיבוש המלצות ופתרונות לצרכנות הרגישה במיוחד לאיכותו של החשמל, כולל בחירת שני מפעלי הדגמה בענף הפלסטיקה. בגיליון הקודם ("התקע המצדיע" 62 – חורף 1996) דיווחנו על סדנה ראשונה שהתקיימה בנושא "פתרונות למיתקני לקוחות הרגישים לאיכות אספקת החשמל".

במטרה לאפשר לכל קהילת העוסקים בחשמל להכיר היבטים שונים של נושא חשוב זה, החלטנו לפרסם סדרת מאמרים על ההיבטים השונים של איכות החשמל – סוגי הפרעות, סוגי הציוד הרגישים להפרעות השונות ופתרונות מומלצים. מקצת מאמרים יתבסס על הרצאותיהם של מומחי חברת החשמל בסדנאות (באמצע חודש מאי התקיימה הסדנה השנייה בנושא, הסדנה השלישית תתקיים בחודש אוגוסט, והרביעית – בנובמבר 1996).

בגיליון זה אנו מביאים סקירה על ההתייחסות להפרעות חולפות באספקת החשמל באירופה וסקירה ראשונה של פתרונות מעשיים במיתקני הצרכנים. אנו מאמינים שהקוראים ימצאו עניין רב במאמרים אלה.

אינג'י פאול שפר

## א. ועדת ההוראות לביצוע עבודות חשמל

גם כאן, תכונת המיתקן החשמלי הנדרשות, נקבעות על פי השימוש שעושים במיתקן ולא על פי האתר שבו הוא נמצא. התוספת הראשונה אינה מתיימרת למנות את כל השימושים האפשריים, אלא רק להדגים מהן התכונות הנדרשות לשימושים שונים – דוגמאות המאפשרות תכנון נכון גם לגבי שימושים דומים אחרים.

### 3" תיקון תקנה 4

בתקנה 4 לתקנות העיקריות, במסגרת תחנת משנה (א) יבוא:

(ג) מיתקן החשמל יתוכנן ויוכנה כך שתחזוקה של חלק מסגנו לא תגרום להפרעה בתפעול החלקים הנותרים של המיתקן;

התיקון כאן הוא אמנם מילולי בלבד. המילה "נאותה" שהיתה אחרי המילה "תחזוקה" בוטלה.

### 4" החלפת תקנה 13

במקום תקנה 13 לתקנות העיקריות יבוא:

זינה צפה (13)

13 נא כל חדר או סדרך חדרים מקבוצת שימוש 2, יזון משתי וינות צפות (13) לפחות, לכל זינה כאשר יהיה שטח סבדל משלה, כל זינה תהיה חד מפלחית ובלבדית לאתרו חדר או סדרך חדרים.

(ב) היתה זינת השנאים המבדלים כאשר בתקנה 13(13) וזום הענאים מססי צבדה מרדום.

(ג) לכל זינה, שולחן טיפוליים וזינה מקבוצת שימוש 2 יתקנו בתי תקע הסיונים משתי וינות צפות (13) לפחות, כל בית תקע יסופן בהתאם למקור זינתו, כל מעגל משני של שטאי מבדל לזינה צפה וזין 6 בתי תקע לכל היותר.

(ד) בית תקע חד מופני או מסבדל חד מופני יזון משטאי מבדל חד מופני.

(ה) השטאי המבדל יתאים לדרש בתקנה 14 ובזינתו לא יחלקן מפסק מק".

בתקנה זו חל שינוי משמעותי, משום שמתקנה 13 המקורית ניתן היה להבין כי כל שטאי יזין לא יותר מ-6 בתי תקע, ואילו הכוונה היתה שכל מעגל משני של שטאי יחובר לשיש בתי תקע לכל היותר.

(ב) מטופלים אינם יכולים לבוא במגע עם מכשירים רמואים חשמליים,

(ג) מכשירים רמואיים חשמליים שתמוספל כא במת איתם הם בעלי סיפור וזה עצמי, כזוג סוללה או מצבר.

(2) קבוצת שימוש 1 – שימושים שבהם מופעלים מכשירים רמואיים חשמליים החיוניים מרשד האספקה האר ממופל וכול לבוא במגע איתם כנת בדיקה או טיפול, הפסקת מעולתם של מכשירים אלה מסיבה כלשהי וכן חזרה בלמי ממוקדת של הוינה אינם נדרסים לסיכון של המסמל.

(3) קבוצת שימוש 2 – שימושים שבהם מופעלים מכשירים רמואיים חשמליים החיוניים למסופל כנת ניתוח, החייאת, הנשמה וכדומה, מכשירים אלה חייבים להמשיך למעול גם במקרה של קצר ראשון לפני המכשיר או לחדש את מעולתם לאחר כשל בזינה הרגילה תוך זמן מצנר.

(ב) סיווג השימוש בכל אתר ואתו ייקבע על ידי המוסף ועל אחריותו.

השינוי לעומת התקנות הקודמות הוא הדגש על "שימושים" במקום "אתרים". לכאורה, השינוי הוא סמנטי בלבד, אך יש לו חשיבות רבה בחיים המעשיים, מבחינת הניהול התקין של אתר רפואי.

כמו כן התוספת תקנת משנה 2 (ב) המטילה על המזמין את האחריות להגדיר מהן קבוצות השימוש המותרות בכל אתר ואתר, בהתחשב באופי המיתקן הקיים בו, או להפך – איך צריך להיות המיתקן כדי לאפשר שימוש מסוים באתר כלשהו.

### 2" החלפת תקנה 3

במקום תקנה 3 לתקנות העיקריות יבוא:

#### תכונות מיתקני החשמל

3. ותכונות הנדרשות ממיתקני החשמל בהתאם לקבוצות שימוש היענות ומעדרות בתקנה 2, דוגמאות של סיונים ודרריות, בהתאם לקבוצות השימוש, ממרמות בטבלה שבחסימת הראשונה.

## מיתקני חשמל באתרים רפואיים – שינויים בתקנות

כידוע, עוסקת ועדת משנה של ועדת ההוראות ברביזיה של תקנות החשמל (מיתקני חשמל באתרים רפואיים כמתח עד 1,000 וולט) התשנ"ה - 1994, קי"ת 5,629 עמ' 174. נתקבלו מספר פניות ודרריות לשינוי, להבהרה, לדיוק יתר בהגדרות וכו'. ועדת המשנה מטפלת בכל הפניות, לרבות הערות של חברי ועדת המשנה עצמם, שהינם מהנדסים העוסקים בקביעות בתכנון מיתקני חשמל באתרים רפואיים.

בשלב ראשון ראתה הוועדה צורך דחוף לפרסם כמה תיקונים, ולכן הופיע בקובץ התקנות מס' 5740 מיום 21.3.1996 תיקון המוגבל בשלב זה לארבע תקנות ולתוספת הראשונה בלבד.

להלן הפרטים:

### תקנות החשמל (מיתקני חשמל באתרים רפואיים כמתח עד 1,000 וולט) (תיקון), התשנ"ו - 1996

בתקני סמנטי לסי סעיף 13 לסי סעיף 13 לחוק החשמל והשייר - 1954, אלו מתקני תקנת אלה:

#### 1. החלפת תקנה 2

במקום תקנה 2 לתקנות החשמל (מיתקני חשמל באתרים רפואיים כמתח עד 1,000 וולט), התשנ"ה - 1994 וזהו: - התקנות העיקריות, יבוא:

#### קבוצות שימוש

2. (א) שימושים באתרים רפואיים מסוימים לקבוצות שימוש כמפורט להלן.

(1) קבוצת שימוש 0 – שימושים שבהם מתקיים אחד מאלה:

(א) אין בהם שימוש מכשירים רמואיים חשמליים.

3. ס"ח השייר, עמ' 190.

2. ק"ת התשנ"ה, עמ' 174.

פ' שפר – י"ד ועדת ההוראות ועדת המירושים שלד משרד האנרגיה והחשמל

5- במקום התוספת הראשונה לתקנות העיקריות יבוא:

תוספת ראשונה (תקנה 3)

## דוגמאות לתכונות הנדרשות ממיתקני חשמל לפי קבוצות השימוש

קבוצת השימוש	השימוש הרפואי	דרישות מיוחדות															
		א	ב	ג	ד	ה	ו	ז	ח	ט	י	כ	ל	מ	נ	ס	ע
0	רחצה וסטריליזציה מרפאות – חדרי רופאים מרפאות וטרינריות																
1	אישפוז תרפיה פיזיקלית הידרותרפיה עיסוי מרפאות – חדרי טיפולים מרפאות שיניים לידה (ללא ניתוח) כירורגיה אמבולטורית רנטגן (איבחון) מיון מדידת ביו-פוונציאלים נמוכים									+							
2	ניתוח + הכנה לניתוח התאוששות גבס בעת ניתוח טיפול נמרץ פנים רדיולוגיה (טיפול) אנגיאוגרפיה אנדוסקופיה דיאלוזה ניתוח לידה ניתוח לב פתוח ציתור לב												+				

### מקרא:

בתוספת הראשונה שונתה הכותרת כדי להבהיר שהיא כוללת דוגמאות בלבד, וכן שנו, בכמה מקרים, מספרי התקנות שבמקרא יש להשתמש אפוא בטבלה החדשה.

### החילה:

החילוצ של תקנות אלה 6 חדשים מיום מוסמך אולם מותר למעול לפיהן מיום מוסמך נקית ST40 או בניסן התעניו, 2019.12.21

בנוא העת יפורסמו גם יתר התיקונים הנמצאים עתה בהכנה.

### ראה תקנה:

- 7
- 8
- 13
- 15 (גז)
- 17
- 11 (ד)
- 19 (ה)
- 21
- 21
- 23
- 57 (א) (ז)
- 28
- 30 ו-11 (א)
- 30 ו-11 (ב)
- 32 (ג)
- 32 (ד)

### הדרישה:

- א' תאורה משני מעגלים
- ב' אספקה משני קווי אספקה
- ג' אספקה מרשת צפה (TT)
- ד' בתי תקע מטולי רישות צמות (TT)
- ה' מסתק מוגן לאספקה מוגנת לפי TN-S או TT
- ו' מסתק מוגן לאספקה מוגנת לפי TN-S או TT לווה מכשירים מיוחדים
- ז' התנגדות מורכבת של מוליכי הארקה 0.2 אוהם
- ח' השוואת פוטנציאלים סקומות (נוספת) כללית
- ט' השוואת פוטנציאלים סקומות (נוספת) רק בקרבת המושלם
- י' סחברי השוואת פוטנציאלים
- כ' הגבלת הפרשי מתחים ל-10 מיליולט
- כ' אמצעים למזנת התמוצות
- ס' מניעת הפרעות אלקטרומגנטיות בכך חלל החדר
- ג' מניעת הפרעות אלקטרומגנטיות בקייבת המסוסל
- ס' הוגה הלומית למטרות ניתוח תוך 0.5 שניות
- פ' הוגה הלומית כמולה תוך 15 שניות

## ב. אנשי החשמל שואלים – ועדת הפירושים משיבה

הצינור יושקע בתוך טיח, סימ, כסוף, או כיוצא באלה, כאשר עובי השכבה המבטח אותו לכל אורכו לא יקטן מ-5 ס"מ."

**שאלה:** בדבר "הגנה בפני הצטברות נחירות מיסי" (תקנה 9), איך צריך להגדיר דירת מגורים?

**תשובה:** אכן הבהרן היא לא אופי המיתקן במבנה, אלא התנאים הסביבתיים השוררים בו. "מקום לחי" ו"מקום רטוב" מוגדרים היטב בהגדרות של התקנות, ויש להגן על המיתקן בהתאם לתנאים הסביבתיים הקיימים, או העלולים להתקיים במיתקן.

**שאלה:** האם התקנת מוביל מתחת לריצוף של מרפסת או בתוך יציקת בטון של גג נחשבת להתקנה בתנאים נאותים כנדרש בתקנת משנה 9(ב)?

**תשובה:** בעת יציקתו הכסוף רטוב מעצם טבעו, לכן צינור המיתקן בתוך יציקת בטון חייב להיות שלם לכל אורכו, או שמקום הצימוד של שני צינורות יוגן בצורה נאותה, כך שמי הבטון בעת יציקתו לא יוכלו לחדור לתוך הצינור.

יתר על כן, ידוע שביציקה לא מושלמת יכולים להתהוות סדקים אשר דרכם מחלחלים המים. גם מסיבה זו הצינור חייב להיות שלם או שמקומות החיבור יהיו אטומים בצורה יעילה.

### ניתוק הזינה למיתקן פרסומת במתח העולה על 1,000 וולט

#### השאלה

תקנה 36 של תקנות החשמל (מעגלים סופיים הניזונים במתח עד 1,000 וולט) השתמיה – 1984, ק"ת 4731, עמ' 350, דנה בזינת מיתקן לשלטי פרסומת כדלהלן:

"א) במעגל הראשוני של שלטי פרסומת, מיתקן פרסומת אשר מיתחו עולה על 1,000 וולט, יותקן מנסק גוסף סחוף למבנה זכבל האפשר למטה ממיתקן הפרסומת;

ידית ההפעלה של מנסק זה תהיה כלפי מעלה במצב של המסקה וכלפי מטה במצב חיבור (ההדגשות של המערכת)..."

הגדרות אחיד לכל התקנות העתידיות. נושא זה הוסבר והוצג בגליונות קודמים של "התקע המצדיע".

ההגדרה הנוכחית של "מעגל" בתקנות מוליכים אכן אינה טובת: מה פירוש "סדרה של מוליכים המחוברים ביניהם שדרים יכול לעבור זרם חשמלי"?

ההגדרות החדשות מגדירות את המושגים האמורים כדלהלן:

**"מעגל** – מספר מוליכים, על אבוריהם, המוגנים באמצעות מבטח משותף.

**מעגל סופי** – מעגל המחובר ישירות למכשירים) או לבתי (בת) תקע.

**קו זינה** – מעגל המזין לוח."

ב) אשר להעברת שני קווים בצינור משותף – אכן מותר הדבר בכל מיתקן, לרבות דירות מגורים, בתנאי שמדובר בקווי זינה בלבד, דהיינו קווים המחברים במישרין מקור אספקה ללוח, או לוח אל לוח. בדירות מגורים הדבר יכול להיות מעשי בבית בן יותר מקומה אחת, או בן כמה אנפים, כאשר לכל קומה או לכל אגף יש לוח משנה משלו.

ג) השאלה, אם לאפשר העברת מעגלים שונים באותו צינור עד לתיבת המעבר הראשונה, תידון במסגרת הדיון ברביזה שתיערך בתקנות.

### הגנה על מובילים

גם במקרה זה שאל השואל כמה שאלות הקשורות זו בזו, ולטוחות הקוראים נציג את השאלות והתשובות, אחת לאחת.

**שאלה:** מה צריך להיות עובי הכיסוי על צינור כדי שיראה כמוביל בהתקנה סמויה?

**תשובה:** בתקנה 64(א) לתקנות החשמל (התקנת מובילים) התשנ"ו – 1965, ק"ת 1809, עמ' 472, נכתב בפירוש:

"צינור פלסטי בהתקנה סמויה לטיח, יוכנס להריצים עשויים בתוך קירות, תקרות, עמודים או חלקים קבועים אחרים של המבנה, ובלבד שאומק הריצים יעלה **בחמישה ס"מ** (הדגשת המערכת) לפחות מעל הקוטר הרוחבי של הצינור."

ובתקנת משנה 64(ו) נאמר שוב:

### מספר קווים או מעגלים סופיים בצינור משותף

#### השאלה

במכתב ארוך ומנומק מפנה השואל את תשומת הלב להגדרות הלא אחידות והלא ברורות של המושגים "קו" ו"מעגל" בתקנות החשמל (התקנת מוליכים) התש"ל – 1970, ק"ת 2569, כדלהלן:

"מעגל או מעגל חשמלי – סדרה של מוליכים המחוברים ביניהם, שדרכם יכול לזנוו זרם חשמלי,

**מעגל סופי** – מעגל הניזון דרך מבטח והמיועד להולכת זרם חשמלי במישרין למכשירים, למסגים בורכי זרם, או לצנוד חשמלי אשר, המתקנים באותו מעגל

**קו** – מעגל המחבר את מקוד האספקה ישירות או דרך מבטח עם לוח חלוקה אחד או יותר."

**שאלה ראשונה:** על פי ההגדרות האלה, "מעגל סופי" ו"קו" הם שני מקרים מיוחדים של "מעגל", אם לפי תקנה 13(א) אסור להעביר קווים או מעגלים שונים ומאחר שגם קו הוא מעגל, לא ברור למה הכוונה.

**שאלה נוספת:** האם על פי ההיתר הניתן בתקנת משנה 13(ה) מותר להעביר באותו צינור יותר מקו אחד בכל מיתקן, לרבות דירת מגורים?

**שאלה שלישית:** אם התשובה לשאלה השנייה היא חיובית, למה אסור להעביר שני מעגלים באותו צינור, לפחות עד לתיבת המעבר המשותפת הראשונה, לפני תיבת ההסתעפות הראשונה היתר כזה היה מקל את פתרון של בעיות רבות במיתקנים ישנים.

#### תשובת הוועדה

א) תקנות החשמל (התקנת מוליכים) הן מיושנות למדי ואכן הגיע הזמן לעדכון, אחרי 26 שנות שימוש בהן. עדכון ההגדרות הוא מן הדברים החשובים למניעת אי הבנת ומדגיש את הצורך שראתה הוועדה בהאחדה ובעדכון ההגדרות ובהפעלת קובץ

את שני המוליכים האלה באותו מוביל?

### תשובת הוועדה

סיבת התיקון הזה לתקנות הארקות יסוד נעוצה בבעיית האמינות של מוליך ההארקה הראשי בבניין רב דירות. לאחר שקבלן הבניין התקין את המוליך, ספק אם במשך שנות קיום הבניין מישוה בודק אותו, דואג לו או מבטיח את רציפותו עד לקומה האחרונה.

לא נראתה כל אפשרות להטיל את חובת בדיקתו ותחזוקתו של מוליך זה על מישהו בבניין. לכן אומץ הפתרון של הכפלת המוליך וחיבור בין שני המוליכים הסקבילים בכל קומה רביעית כדי ליצור מעין סולם בעל שלב אופקי בכל קומה רביעית.

כאשר המטרה היא אבטחת קיום התארקה, הרי יהיה זה אבסורד להתקין את שני המוליכים באותו צינור. אם המוליך המקביל הוא חלק מזיון המכנה בבטון, הרי קיימת ממילא הפרדה טבעית בין שני המוליכים. מצד אחר, אם הוא מוליך נחושת, הרי שיש למצוא לו תוואי נפרד מהמוליך הראשי, באופן שיבטיח שלא יותקו שניהם בעת ובעונה אחת.

## לחצנים לתאורת חדרי מדרגות – חיבורים במוליך האפס

### השאלה

בתקנת משנה 124(ד) של תקנות החשמל (התקנת לוחות במתח עד 1,000 וולט) התשנ"א – 1991, ק"ת 5375 עמ' 1109, נקבע:

"במוליך אפס לא יותקן נתיך או מספק המאפשר את ניתוקו כלכו".

למרות זאת מקובלת במערכות של תאורת חדר מדרגות השיטה של חיבור הלחצנים הקומתיים בין מוליך האפס לבין קצה סליל ההפעלה של הממסר, כשקצהו השני של הסליל מחובר למופע.

שיטה זו מאפשרת שימוש בשלושה מוליכים דרך הקומות, במקום בארבעה. שיטה דומה מקובלת גם בפיקודים שונים למסמרי עזר וכו'. האם אין הדבר עומד בניגוד לתקנה זו?

### תשובת הוועדה

התקנה נוסחה על מנת למצוא מענה לבעייה של מפעלים רבים, שבהם ההארקה איננה מאפשרת הנגה תקנית לאחר הגדלת החיבור למפעל הטבלה שבתקנה 42 נותנת ערכים של עכבת לולאת התקלה, ביחס לורמים הנקובים של הזינה, הנדרשים כדי להגן כראוי נגד זרמי קצר. ערכים אלה קשים ביותר להשגה בזרמים גבוהים, ולכן ניתנה האפשרות לשימוש בשיטת האיפוס, שיטה זו אפשרית בתנאי שקיימת השוואת פוטנציאלים – דבר שאפשרי תמיד גם במבנה קיים – ובתנאי הנוסף שבתקנת משנה 139(ג), שההתנגדות בין הארקה היסוד (אם היא קיימת) או בין האלקטרודה המקומית לבין המסה הכללית של האדסה לא תעלה על 20 אום.

במבנה קיים לא תמיד אפשר להגיע לברזלי הזיון, אך תמיד אפשר לנשר אל פס השוואת הפוטנציאלים את כל השירותים המתכתיים בבניין כדי ליצור "כילוב פראדי". הדבר נכון גם לגבי מבנה טרומי, שאין לו הארקה יסוד ואין בו אפשרות להגיע לברזלי הזיון, או שלא קיים זיון כלל.

מאידך, אם ברזלי הזיון נגישים ואפשר לחברם לפס השוואת הפוטנציאלים, הרי שרצוי ונכון לעשות כן.

## מוליכי ההארקה במבנים בני ארבע קומות ומעלה

### השאלה

בתקנות החשמל (הארקות יסוד), התשמ"א - 1981, בתיקון שפורסם בק"ת 5474 מיום 5.10.1992, נקבע בתקנת משנה 10(ד):

"במבנה כ-4 קומות ומעלה, יותקן מוליך נוסף, במקביל למוליך ההארקה הראשי (סליל מוליך סקביל) שיהיה נפרד מאסלה.

(1) מוליך מברזל אנכי הטמון בבטון הסכנה, המהווה חלק מזיון הסכנה וסביבתו ישור אנכית) ואשר ימלא את כל הדרישות הקיימות לגבי טבעת נישור.

(2) מוליך נחושת בעל חתך שווה לפחות לזה של מוליך ההארקה הראשי."

השאלה היא מהו המרחק המוערי בין מוליך ההארקה הראשי לבין מוליך ההארקה המקבילי האם מותר להתקין

בקניונים שבהם מותקנים שלטים רבים שבהם נעשה שימוש בקטודה קרה, הן לפרסומת והן להכוונת הציבור, או להדגשת אלמנטים ארכיטקטוניים, מביאה דרישה זאת לריבוי של מפסקים, שספק אם ידעו איפה ואיך להפעילם במקרה של שריפה.

האם אמנם יש טעם בהתקנת מפסקים רבים כאלה?

### תשובת הוועדה

המפסקים אכן מיועדים לשימוש הכבאים בעת שרפה. כפי שברור מהמילים המודגשות בציטוט התקנה, המפסק חייב להיות מחוץ למבנה, וההפסקה תיעשה על ידי דחיפת הידית כלפי מעלה באמצעות מוט כלשהו.

אך הכוונה בתקנה היתה לשלטים שמחוץ למבנה, אשר יכולים להוות סכנה במקרה של טיפול הכבאים מחוץ למבנה. כאשר יש צורך בכניסה לתוך המבנה, ממילא יש לנתק את המבנה מאספקת החשמל, למעט האספקה לשירותים חיוניים, כגון משאבות מים, מעליות וכו'.

המסקנה: אין כוונת התקנה לכך שבכל קניון יהיה אוסף של "מפסקי כבאים" לניתוק האספקה לשלטים שבתוך המבנה.

## הגנה בפני חיטומול על ידי איפוס במבנה טרומי

### השאלה

תקנה 139(ב) של תקנות החשמל (הארקות יסוד) ואמצעי הגנה בפני חיטומול במתח עד 1,000 וולט) התשנ"א – 1991, ק"ת 5375, קובעת:

"...מועד להתחמש כאיפוס במבנה אשר אין בו הארקה יסוד, אם יש לו אלקטרודת הארקה מקומית וקיימת במבנה הוואות פוטנציאלים נבדדו בתקנת הארקות יסוד, למעט חובת החיבור לזיון הסכנה..."

האם במבנה טרומי, שאין לו יסוד באדמה ואין לו אפוא, הארקה יסוד, יש לנשר לפס ההארקות גם את ברזל הזיון של המבנה שהוא חלק מתכתי במבנה?

**תשובת הוועדה**

התקנה האמורה מתייחסת לצידו של הלוח הראשי או על לוח משני, מטרתה להבטיח שמעגל לא ינותק על ידי הפסקת האפס בלוח, אם על ידי מפסק ואם על ידי נתיך האפס.

התקנה הרלוונטית לשאלה נמצאת בתקנות החשמל (מעגלים סופיים הניזונים במתח עד 1,000 וולט) התשס"ה – 1994, ק"ת 4731, עמ' 350. תקנה 22 קובעת:

(א) מפסק חד-קטבי במעגל חד-מפני יותקן את מוליך המופע.

(ב) מפסק תלת-קטבי במעגל תלת-מפני יותקן את מוליכי המופעים.

התקנה ברורות אפוא גם באשר ללוח וגם באשר למעגל הסופי.

השאלה הנשאלת היא, אם מעגל פיקוד, שמטרתו להפעיל דרך ממסר או ציוד פיקוד אחר את המעגל הראשי, נחשב למעגל לצורך התקנת האמורות, היינו שמיתונו ייעשה על ידי מפסק במוליך המופע בלבד?

הוועדה משוכנעת שמעגלי פיקוד ובקרה, אשר מעצם פעולתם זקוקים לעיתים למיתוג האפס, אינם כלולים בהגדרת "מעגלי" מטרתו של "מעגלי" היא להפעיל מכשיר להמרת אנרגיה חשמלית לאנרגיה אחרת או לאנרגיה חשמלית בצורה אחרת, כגון טרנספורמטור, ממיר או כיוצא באלה. לכן, הפיקוד לאוטומט של מערכת תאורת חדר מדרגות על ידי לחיצים באפס של מעגל הפיקוד כשרה היא.

**צבעי היכר של מוליכים במיתקן חשמל**

בעיית צבעי היכר של מוליכים, תמיד בוודאי להעסיק את הוועדה, ויחלוף עוד זמן רב, עד אשר יתרגלו הכול לשינוי שהתהווה עם פרסום התיקון לתקנות הרלוונטיות בינואר 1995, ואשר עומד להיכנס לתוקף ביולי 1996.

השאלות שנשאלו הן:

**שאלה ראשונה:**

בתקנת משנה 7(ג) שבתקנות החשמל (התקנת כבלים) התשכ"ז – 1968 ובתקנת משנה 11(ג) שבתקנות החשמל

(התקנת מוליכים) התש"ל – 1970 נקבע:

"אם אין צבע הכידוד של המוליך או הסימון הנדרש עבורו בקצה החופשי מאפשר זיהוי חד-משמעי, יותקן בקצה האמור שרול המסומן בהתאם ל"יעוד".

האם פירוש התקנה שמתר להשתמש לכל ייעוד במוליך שצבעו כלשהו, ובלבד שקצוותיו יסומנו בשרול, שצבעו מותאם ל"יעודו האמיתי של המוליך, כגון: חום ל"מופע", כחול ל"אפס" וכ"ו?

**תשובת הוועדה**

לא ולא: בכל התקנה חדשה יש להשתמש במוליכים בעלי הצבעים הנדרשים לפי תקנה 7(ב) – להתקנת כבלים ולפי תקנה 11(ב) – להתקנת מוליכים.

לגבי מיתקן קיים אין דרישה לשנות את הצבעים הקיימים, אולם אם מוסיפים במיתקן קיים מוליכים או כבלים חדשים, הם חייבים להיות בעלי צבעי היכר כנדרש בתיקון לתקנות. תקנת משנה 7(ג) או 11(ג), לפי העניין, מתייחסות אך ורק למוליכים שהותקנו כדין – בעבר, לפי הצבעים הישנים, וקעת לפי צבעי ההיכר החדשים – ומשום מה לא ניתן לזהות את צבעם בוודאות מפני שכוסו בצבע, או שצבעם התקלקל, או שהשחירו במשך הזמן וכ"ו. השרוולים הנדרשים, בתקנת משנה 7(ג), מטרתם להבטיח זיהוי קל ובטוח, במקרה של ספק, ולא כדי להרשות שוב אנדולמוסיה בצבעי המוליכים.

**שאלה שנייה:**

עקב קושי בזיהוי מוליך של "פאזה חוזרת" (מוליך המותקן בין מפסק למנורה, למשל), האם ניתן להשתמש במוליך שצבעו כלשהו, ובלבד שקצוותיו יסומנו בשרוולים שצבעם חום, כמשתמע מאותן התקנות 7(ג) או 11(ג) בהתאמה?

**תשובת הוועדה**

שוב, לא ולא: הנושא כבר נדון כמה פעמים, גם במליאת ועדת ההוראות, ולמען בטיחות המיתקן הוחלט שהמוליך היוצא מהמבטח שבלוח ועד למכשיר צורך הזרם, או לכית התקע שבקצה של מעגל סופי, יהיה חום לכל אורכו. המוליך החוזר מהמכשיר או

מכית התקע אל הלוח יהיה כחול לכל אורכו.

גם המוליך מהמפסק אל המנורה, או כל מכשיר אחר, הוא מוליך מופע וחייב להיות בצבע חום.

כידוע מאפשרים התקנים ייצור ושימוש במוליכים חומים עם סימונים כגון, פס צבע לאורך המוליך, או הטבעת אותיות או מספרים, כדי להבדיל בין מוליכי שלושת המופעים במיתקן תלת מופעי.

אין כל סיבה שלא להשתמש במוליכים חומים בעלי סימון נוסף, אם רוצים להבחין בין המוליכים שבין מפסקים מחלפים, או בין מוליך אל המפסק למוליך היוצא ממנו אל המנורה או אל המכשיר הממותג.

קיימים אפוא פתרונות טובים בלי להפר את הוראת התקנות החד משמעית שמוליכי המופע יהיו חומים.

**שאלה שלישית:**

תקנת משנה 7(ב)3(3) בתקנת כבלים ותקנת משנה 11(ב)3(3) שבתקנות מוליכים מתייחסות למעגלי פיקוד ובקרה, במעגלים אלה מותר צבע כלשהו, למעט צהוב, ירוק ושיטוב של צהוב וירוק, אך אין הגדרה מהם מעגלי פיקוד ובקרה לצורך התקנת האלה.

**תשובת הוועדה**

אכן, נכון שעדיין לא קיימת הגדרה ברורה של "מעגלי פיקוד ובקרה", אך אפשר להבדיל בין:

1) מעגלים המשמשים להפעלת ציוד או מכשירים ההופכים אנרגיה חשמלית לאנרגיה אחרת, כגון אור (מנורה), חום (נוף חימום), אנרגיה מכנית (מנוע או גנרטור) או שהופכים אנרגיה חשמלית לאנרגיה חשמלית אחרת, בשינוי המתח, התדר, המופעים וכ"ו (לדוגמה: טרנספורמטור).

2) מעגלים המפעילים אמצעי מיתוג בלבד, כגון מגנטונים, מספרים, קוצבי זמן וכ"ו, כשאמצעי מיתוג אלה מפעילים מכשירים לפי פיסקה 11).

במעגלי פיקוד ובקרה יש לכלול גם את המעגלים של מכשירי מדידה ושל טורות סימון ואת המעגלים להעברת מידע.



# "מקורות": חברת המים – צרכן החשמל

## חברת המים הלאומית מקורות היא צרכן החשמל הגדול בישראל



"תחת הלב" – מפעל הקו הרביעי לירושלים  
מנוע 2,500 כ"ס המחובר למשאבה

### מהנדס הרמן הרשקוביץ

מן הבחינה הבטיחותית, כפי שכל ילד יודע, "חשמל ומים לא הולכים יחד", אך כאשר המדובר באספקת מים בכלל, ובייחוד במדינה ענייה במקורות מים איתנים כישראל, אספקת המים "הולכת" בעזרת החשמל המפעיל את המשאבות. מסיבה זו, חברת המים הלאומית **מקורות** היא צרכן החשמל הגדול ביותר: 800 מנוואט הספק מותקן (כ-11.5 אחוז מכלל ההספק המותקן של חברת החשמל) וצריכה שנתית של כ-1.78 מיליארד קוט"ש (כ-7.5% מצריכת החשמל הארצית). שיתוף הפעולה ההדוק הנדרש והמתקיים בין מקורות לחברת החשמל, נובע מהעובדות הבאות:

- כל פרויקט מים גדול מלווה בפרויקט חשמלי לצורך הפעלתו.
- מקורות מפעילה מספר רב של מנועים גדולים שהתנעתם היא פוטנציאל להפרעות ברשת.
- אופי צריכת החשמל של מקורות מאפשר מידה רבה של גמישות, אשר יש בה כדי לאפשר שימוש בתעו"ז (תעריף עומס וזמן), ובמקרים רבים – ובכללם המביל הארצי – מאפשרת אף השלת העומס בעת דחק או בעת שיאים בביקוש.

במשק – כ-1.4 מיליארד מ"ק בשנת 1995 (איור 1), היתרה מסופקת על ידי מפעלי מים אזוריים ועירוניים, על ידי בארות פרטיות וכד'.

מקורות מפעילה היום 40 מפעלי מים, 1,400 קידוחים (בארות), 740 תחנות שאיבה, 660 ברכות (בקיבול של 500-20,000 מ"ק כל אחת), 70 מאגרי מים (בקיבול כולל של 62 מיליון מ"ק),

בהיקף רחב, של מפעלי מים ותחנות שאיבה המופעלים, כאמור, בחשמל. חברת מקורות הוקמה בשנת 1937, ביוזמתם של לוי אשכול ז"ל ושל פנחס ספיר ז"ל כדי לפתח את משק המים של ארץ ישראל ולהבטיח את כמויות המים הדרושות באזוריה השונים.

כיום פועלת החברה כחברה ממשלתית ומספקת כ-70 אחוז מכמויות המים

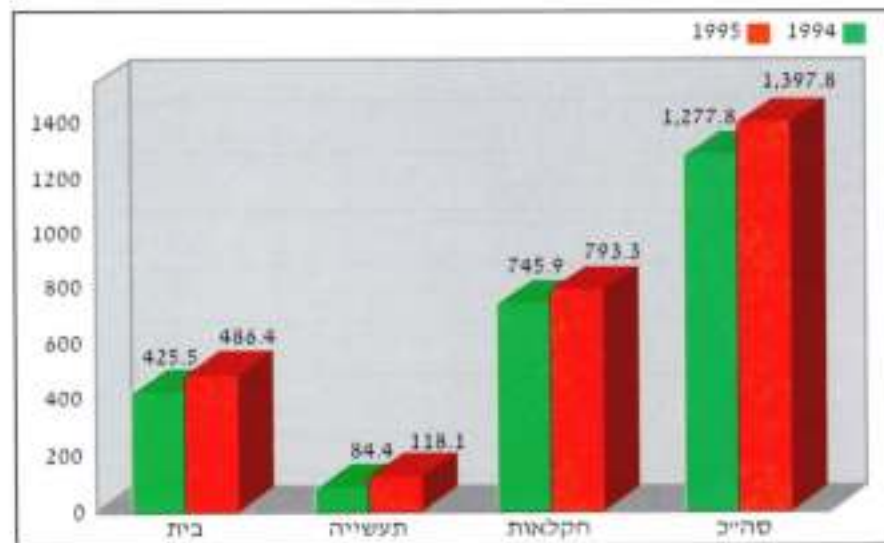
### מאב"י משק המים

משק המים בישראל מאופיין, כאמור, בהיותו עני במקורות מים איתנים, ומכך – בתלות הרבה בכמות הגשם השנתית. כמות הגשמים בצפון הארץ גדולה יחסית (800-1,000 מ"ק בממוצע שנה), כ-80 אחוז ממקורות המים מרוכזים באזור זה, אולם רוב הקרקעות הראויות לעיבוד הקלאי נמצאות בדרום הארץ. עתודות הקרקע העיקריות בנגב – המהווה 60 אחוז משטח המדינה – נהנות מכמות משקעים מזערית, כ-25 מ"מ גשם בלבד לשנה בממוצע.

גם התפתחותה של ירושלים, בייחוד מאז 1967, מחייבת הזרמה של כמויות מים גדולות והולכות מן השפלה לעיר הבירה, הממוקמת בהר ונעדרת מקורות מים משלה.

המחסור במים בכלל, המאפיין את ישראל כבר מימי קדם, ובייחוד חוסר האיוון בין מקורות המים לבין מוקדי הצריכה, הם שחייבו ומחייבים פיתוח

ה' הרשקוביץ – מנהל פרויקטים חשמל ארצי ודברנט כלפי חברת החשמל, חברת המים הלאומית מקורות.



איור 1 צריכת המים בשנת 1995 לעומת 1994 וחלוקתה למגזרים

לנצל את תעריפו תעויו. מעבר לכך, קיימים הסכמים בין מקורות לבין חברת החשמל בדבר השלת עומסים בשעות דחק או בעת שיאי ביקוש במערכת החשמל.

ההסכם העיקרי נוגע למשאבות המוביל הארצי, כפי שיפורט להלן. ארבע יחידות השאיבה הראשיות של המוביל ב"אתר ספיר" מופעלות על ידי מנועים של 25 מגוואט כל אחד. ההספק המותקן הכולל ב"תחנת ספיר" הוא 110 מגוואט, וההספק הכולל של מפעל המוביל הארצי הוא 140 מגוואט! על פי ההסכם יכולה חברת החשמל להפסיק בשעת דחק את השאיבה במוביל לתקופות קצרות. במקרים שבהם נתקלת חברת החשמל בקשיים לספק את ההספקים הנדרשים על ידי כלל לקוחותיה – בשל שיאי ביקוש או בשל תקלה ביחידות הייצור – ניתן להפסיק את השאיבה במוביל ובכך להבטיח את אספקת החשמל לצרכנים אחרים. הפסקת החשמל למוביל נעשית ישירות על ידי הפיקוח הארצי על העומס חברת החשמל.

הסדרים דומים, בהיקף קטן יותר, קיימים גם לגבי אתרים אחרים של מקורות, ובין החברות מתנהלים דיונים להרחבת ההסכם לאתרים נוספים.

בנוסף להסכם להשלת עומסים מתקיימים דיונים בין שתי החברות בדבר האפשרות שמקורות תעמיד את

הטכנולוגיים. איור 2 מציג מרכז פיקוד ובקרה ביחידת "צפון ירקון" (מרחב המרכז של מקורות).

מערכת החשמל של מקורות כוללת, בין היתר, שמונה שני"גים (שנאים גדולים) למתח עליון של 161 ק"ו, כ-1,200 שנאי רשת (בהספקים של 100-1,520 קו"א ובמתחים של 6, 22 ו-33 ק"ו), כ-3,000 מנועים בהספק שבין 40 עד 27,000 כ"ס וכ-500 דיזל-נגרטורים לשעת חירום, בהספקים שבין 50 עד 1,500 קו"א.

חברת החשמל מספקת את האנרגיה לכ-2,000 מיתקנים בכ-1,600 חצרים של מקורות – החל במוביל הארצי, שהוא צרכן החשמל הגדול במדינה (ראה בהמשך) ועד לברכות קטנות, שבהן משמש החשמל את מנוע מגוף הבריכה המיועד להפעיל ולהפסיק אוטומטית את הורסת המים לברכה בהתאם לצריכה ולמפלס. המדובר במנועים קטנים של 1-2 כ"ס ובחיבורי חשמל של 1x40 אמפר או 3x25 אמפר.

## שיחוף הכעולה עם חברת החשמל

למרות תלותו המוחלטת של משק המים באספקת החשמל, רוב מיתקניה וצרכיה של מקורות אינם תלויים באספקה שוטפת ומתמדת, דבר המאפשר נמישות תפעולית לשאיבת מים בשעות השפל בצריכת החשמל כדי

3,000 משאבות, 500 דיזל-נגרטורים לשעת חירום. אורך קווי העברת המים בצינורות, שקוטנם מ-6" עד "108", מגיע ל-7,000 ק"מ בקירוב.

המחזור הכספי השנתי של מקורות עומד על כ-500 מיליון דולר, והיא מעסיקה 2,200 עובדים. מספר לקוחותיה הוא כ-4,000.

מספר צרכני מקורות קטן בהרבה ממספר צרכני חברת החשמל, משום שמקורות אינה מספקת, ברוב המקרים, את המים לצרכן הסופי. אומנם, בפועל מגיעים מי מקורות כמעט לכל ברו בישראל, אך זה מתבצע באמצעות ארגונים וטפים, כגון: רשויות מקומיות, אגודות חקלאיות וכו'. ארגונים אלה הם רוב לקוחותיה של מקורות והם המספקים את המים לצרכן הסופי.

לעומת זאת, חברת החשמל מספקת את החשמל ישירות לצרכן הסופי – כל בית וכל בית עסק – ורק במקרים מעטים מוכרת חשמל בצובר (כגון: לחברת החשמל המזרח-ירושלמית ולרשויות מקומיות בשטחים).

בין לקוחותיה של מקורות, קיבוצים, מושבים, חקלאים פרטיים גדולים וגם תחנות הכוח של חברת החשמל.

פעילות מקורות מתבצעת באמצעות שלושה מרחבים גאוגרפיים – צפון, מרכז ודרום וחבל אחד – חבל הירדן, הממונה על המוביל הארצי. הביצוע מרוכז בצמ"כ (ציוד מכני כבד) – יחידת ביצוע ארצי של מקורות, ובשח"מ (שירותים חשמליים מכניים) – חברת בת של מקורות.

## היקפים ומאבני"ם השמל"ים

כאמור, מגיע סך היקף העומס החשמלי המותקן במיתקני מקורות ל-800 מגוואט, וצריכת החשמל השנתית שלה – המציבה אותה כצרכן החשמל הגדול בישראל – מסתכמת ב-1.78 מיליארד קוטי"ש בקירוב. צריכת החשמל הממוצעת למ"ק מים הינה 1.28 קוטי"ש. מכיוון שבלי מערכת החשמל של מקורות אין מיתקני המים שלה יכולים לפעול, מייחדת מקורות משאבים ומאמצים רבים לתחזוקה, לייעול ולחידוש מתמיד של ציודה, תוך שימוש במיטב החידושים והשכלולים



איור 2  
מרכז פיקוד ובקרה ביחידת "צפון ירקון" (מרחב המרכז של מקורות)

אספקת החשמל לתחנה נעשית במתח עליון (161 ק"ו), באמצעות תחמיש עצמאית (161/11.5 ק"ו) – תחמיש "כנרת" (ראה תמונת השער). בתחמיש "ספיר" מורכבים ארבעה שנאים בהספק של 28 מו"א כל אחד. כן מורכבים בתחנה שלושה שנאי רשת – כל אחד מהם 630 קו"א. התחמיש מצוידת בציוד מודרני ובמרכז בקרה ממוחשב הכולל פיקוד מרחוק. אחוקת ציוד מתח עליון בתחנה נעשית על ידי חברת החשמל, על בסיס חוזה שנחתם בין שתי החברות.

### הקו השלישי לנגב

מפעל הקו השלישי לנגב הושלם בשלהי 1991. מטרתו להבטיח אספקת כמויות מים הדרושות להשקיית שטחים חקלאיים בדרום הארץ. מפעל הקו השלישי לנגב הוא מפעל להשבת מי קולחין המגיעים מאזור גוש דן. במסגרת מפעל שמד"ן (שפכי גוש דן), ובו מופקים כ-100 מיליון מ"ק מי קולחין לשנה. מים אלה מוחדרים עתה לקרקע ונשאבים מחדש באזור שורק-זבנה. משם הם מובלים לאורך כ-80 ק"מ, ומשמשים להשקיה חקלאית בצפון הנגב.

בשלב זה מקיף המפעל כ-100 קידוחים, שלוש תחנות שאיבה וחמישה מאגרים,

### המוביל הארצי

לצורך העברת המים מצפון הארץ (שבו נמצאים, כאמור, 80 אחוז ממקורות המים של ישראל) אל מרכזי הצריכה במרכז הארץ ובדרומה, הוקם במהלך השנים 1953-1964 "המוביל הארצי" (מפא"ר – מפעל ארצי) המשולב עם "קו ירקון נגב". הקמתו של המוביל היוותה את הפרויקט הלאומי הגדול ביותר בשנות החמישים והשישים. אורכו הוא 270 ק"מ. במוביל הארצי מועברים כיום כ-600 מיליון מ"ק מים מהכנרת דרומה.

הובלת המים במוביל הארצי נעשית באמצעות 11 תחנות שאיבה, אגם אחד, שני מאגרי מים, ברכות וכאמור – 270 ק"מ של קווי מים. המים נשאבים ממפלס של 213 מ' מתחת לפני הים עד לרום של 153 מ' מעל לפני הים. קוטרו של צינור הלחץ לשאיבת המים אל תעלת המוביל הוא 2.80 מ'.

ההספק החשמלי הכללי של מפעל המוביל הארצי הוא 140 מגוואט, מזה כ-110 מגוואט ההספק המותקן של תחנת השאיבה הראשית "ספיר", בצפון מערב הכנרת. "תחנת ספיר" כוללת ארבע יחידות שאיבה גדולות, בעלות מגוונים בהספק של 25 מגוואט כל אחת, הפועלים במתח של 11.5 ק"ו.

משק הדיזל-גנרטורים שלה, כגיבוי לצורך ייצור חשמל למערכת הארצית, בשעות שיא ודחק.

השינויים במבנה תעריפי החשמל והרחבת הניצול של תעו"ז על ידי מקורות מאפשרים את צמצום עלותו של קוטי"ש ממוצע, וכפועל יוצא מכך – את עלות אספקת המים. בהקשר זה ראוי לציין כי סעיף האנרגיה הוא כ-25 אחוז מכלל עלויות אספקת המים.

ייעול השימוש של מקורות בתעו"ז והרחבתו נעשים על ידי הפעלה יעילה יותר של מערכות השאיבה והאספקה, תכנון קפדני יותר של שעות השפלה והגבע ניצול רב יותר של שעות השפל והגבע במערכת החשמל לשאיבה במקום בשעות הפסגה היקרות. לצורך זה משקיעה מקורות משאבים בהתקנת מערכות יעילות ומשוכללות יותר (בוסטרים, משאבות, מקדחים וכו').

עוד תחום אפשרי של שיתוף פעולה עתידי טמון בהשתתפותה של מקורות במרכזי חברת החשמל ליצרני חשמל פרטיים. מקורות מעוניינת לייצר חשמל בכ-10 מיתקנים במסגרת חוק החשמל החדש. במסגרת חוק זה מוקצה שיעור מסוים מכלל ייצור החשמל בישראל ליוזמים שמתוץ לחברת החשמל.

### מכערי מים גדולים והיבטיהם החשמליים

כאמור, מאופיין משק המים הישראלי בהיעדר מקורות איתנים, ולפיכך בתלות בכמות המשקעים השנתית, בריבוי יחסי של משקעים בצפון הארץ לעומת צרכים רבים יותר במרכז הארץ ובדרומה ובצורכי שאיבה ניכרים של מים אל האזור המתפתח של ירושלים וסביבותיה. מאפיינים אלה משפיעים על אופיים ועל מאפייניהם של מפעלי המים הגדולים ועל תוכניות הפיתוח של מקורות בעתיד.

מפעל המים הגדול ביותר של מקורות הוא המוביל הארצי. מפעלים גדולים שבוצעו בשנים האחרונות (בצד הרחבת יכולת השאיבה במוביל הארצי עצמו) הם מפעל השבת המים "הקו השלישי לנגב" ו"הקו הרביעי לירושלים".



איור 3

תחנת השאיבה "אלמוג" במפעל הקו השלישי לנגב  
שישה מגוונים – הספק כל מנוע: 1,800 כיס



איור 4

**תחנת "שואבה" – אחת מארבע התחנות במפעל הקו הרביעי לירושלים**

שטח מותקן: 12.5 מ"א, חמישה מנועים – הספק כל מנוע: 2,500 כ"ס, שלשה שאיבות, כל אחד 5 מנו"א 22/3 ק"ו

של תחנת "דניאל", בנה מחוז הדרום של חברת החשמל קו מתח גבוה משולב – עילי ותת-קרקעי – באורך של כ-4.5 ק"מ מתחמיש לוד וכן הוסיף מעגל שני בחלק מקו המתח (22 ק"ו) מתחמיש סתריה.

בכל תחנת השאיבה הותקן ציוד חשמל מודרני, כולל לוחות 22 ק"ו ו-3 ק"ו קומפקטיים מתוצרת מרלין גרין ומערכות מחשוב, בקרה ופיקוד.

השימוש במנועים גדולים בתחנת השאיבה ודרישותיה של חברת החשמל למניעת נפילת מתח בעת התנעת המנועים – 4.5% בפסי הצבירה של הצרכן ו-2.5% בפסי הצבירה של תחנת המשנה – חייבה גיבוש פתרונות מתאימים. בעזרת ייעוץ של יחידת הרשת הארצית בחברת החשמל, בתכנון של חברת תה"ל ובביצוע שח"מ – מקורות, יושמה התנעה ישירה לקו, דרך מערכת סוללת קבלים ובקר מתוכנת המאפשר את הפחתת זרם ההתנעה ואת "מכת המתח" במערכת ההתנעה, דבר המונע הפרעות במערכת החשמל.

**חוכניות לעתיד**

במסגרת התוכניות לפיתוח של מקורות כחברה עסקית, כמתחייב ממדיניות הממשלה, גיבשה החברה ארבעה תחומים להרחבת פעילותה, התפלת מים וייצור חשמל לצרכים

ק"מ וקוטרו 36". המערכת הוותיקה מופעלת באמצעות שמונה תחנות שאיבת.

ההספק החשמלי המותקן בארבע תחנות השאיבה של הקו הרביעי לירושלים הוא כ-50 מנו"א. שלוש מהתחנות – "לטרון", "הלר" ו"שואבה" – נמצאות בתחום טיפולו של מחוז ירושלים בחברת החשמל, ותחנה אחת – "דניאל" – באזור הטיפול של מחוז הדרום.

בכל אחת מארבע התחנות מותקנים מנועים גדולים, בהספק של 1,600-2,500 כ"ס, לצורך הפעלתם הוקמה בכל תחנת שאיבה תחנת טרנספורמציה 22/3 ק"ו. כל אחת מתחנות הטרנספורמציה מחוברת לשתי תחנות משנה של חברת החשמל, וזאת כדי להבטיח לכל תחנה אספקת חשמל חלופית. תחנות הטרנספורמציה שבאחריות מחוז ירושלים בחברת החשמל מחוברות לתחמיש "ירושלים" ולתחמיש "שער הגיא" ותחנת "דניאל" – לתחמיש "לוד" ולתחמיש "סתריה". תרשים חד קווי של הקו הרביעי לירושלים מוצג באיור 5.

לצורך אספקת החשמל לתחנות הקרובות לירושלים, בנתה חברת החשמל קו מתח עליון באורך של כ-11 ק"מ והקימה את תחמיש "שער הגיא" (30 מ"א, 161/22 ק"ו). לצורך הונחה

בנפח כולל של כ-400 אלף מ"ק. איור 3 מציג את תחנת השאיבה "אלמוג", במפעל הקו השלישי לנגב.

במסגרת עבודות הפיתוח המתבצעות עתה מתכננים את הפעלתם של 30 קידוחים נוספים – 20 בשנת 1996 ו-10 ב-1997. ביצוע תוכניות אלה יאפשר הפקה ואספקה של כ-30 מיליון מ"ק של מי קולחין ליישובים חקלאיים בנגב. העבודות מתואמות, כמובן, עם חברת החשמל לצורך אספקת החשמל לקידוחים החדשים.

ההספק החשמלי הכולל של מפעל הקו השלישי לנגב הוא כ-25 מנו"א, מהם כ-16.5 מנו"א בתחנה הגדולה במפעל – "תחנת גרנות". אספקת החשמל ל"תחנת גרנות" נעשית באמצעות תחנת טרנספורמציה 22/3 ק"ו. בתחנה – 10 שנאים 22/3 ק"ו, כל אחד מהם בהספק של 1,650 קו"א, ושמונה מנועים בהספקים של 1,900-4,500 כ"ס. החשמל לתחנת הטרנספורמציה מסופק על ידי חברת החשמל באמצעות שני קווי מתח גבוה עיליים נפרדים (22 ק"ו), באורך של כ-1.5 כל אחד, מתחנת המשנה "זמורות".

**הקו הרביעי לירושלים**

הקו הרביעי לירושלים הושלם והופעל בינואר 1995. הקו מיועד להבטיח את כמות המים הגדולה הדרושה לצרכיה של ירושלים נוכח ההתפתחות של בירת ישראל וסביבתה. מפעל הקו הרביעי לירושלים כולל ארבע תחנות שאיבה – "דניאל", "לטרון", "הלר" ו"שואבה" (איור 4). צינור מים באורך של כ-72 ק"מ ובקוטר של "34"-50" וארבע ברכות – כל אחת בקיבול של 5,500 מ"ק. המים נשאבים מרום של 70 מ' במרכז הארץ (איזור רמלה-לוד) לרום של 830 מ'. הקו מופעל באמצעות מערכות תפעול ובקרה ממוחשבות, שפותחו ויוצרו על ידי חברת הבת של מקורות – שח"מ.

המערכת החדשה של הקו הרביעי לירושלים משתלבת במערכת הוותיקה של אספקת המים לירושלים שלושת הקווים הקודמים כוללים את הקו המנדטורי – אורכו כ-30 ק"מ וקוטרו 18", קו מקביל באורך דומה ובקוטר של 24", והקו השלישי – אורכו כ-25

מים לעיריות. ניהול מערכות המים העירוניות ומערכות האספקה לתושבים נעשה על ידי העיריות, המשתמשות לעתים גם במקורות מים (בארות) עצמיים.

במקורות סבורים, שהידע והניסיון של החברה עשויים לסייע לעיריות ביעול מערכות המים העירוניות ובשיפור השירות לצרכן.

### מעבדות למחקר ופיתוח

שיפור איכות המים והמעקב המתמיד למניעת הפגיעה באיכותם הוא אחד מיעדיה הראשיים של מקורות. בכוננת החברה להפוך את מעבדותיה העוסקות בכך לגורם מוביל במחקר ובפיתוח בתחום זה.

במקורות מתכוונים לספק שירותי מעבדה ברמה גבוהה לגורמים אחרים הנזקקים למעבדות לבדיקת מים, ובהם רשויות מקומיות, משרדי ממשלה וטרמים פרטיים שונים.

במקורות רואים גם בחסכמי השלום עם ארצות ערב פתח להודמניות חדשות, למכירת שירותים ולביצוע פרויקטים משותפים בתחום המים, וכבר הוחל בהערכות לניצול אפשרויות אלה.

הקיסור המשמש לייצור החשמל לצורך ההתפלה, מנבלות המים בישראל מציבות את נושא ההתפלה במקום מרכזי בתוכניות לאספקת מים בעתיד, ואך טבעי הוא שבנושא זה יתקיים שיתוף פעולה בין שתי החברות.

### מפעלי ביוב כלליים ומקומיים

אחד האמצעים להתמודדות עם מחסור במים הוא באמצעות "מיחזור" – השבת מי קולחין וטיהור מי ביוב. הדבר מאפשר ניצול חוזר של המים בחקלאות וחיסכון במים. מעבר לפוטנציאל המחזור והחיסכון, חשוב הטיפול במים אלה כדי למנוע חלחול של מי ביוב ופגיעה במאגרי מי התהום (אקוויפרים).

מקורות מתכננת להקים ברחבי הארץ מכונים לטיהור מי ביוב ומערכות להשבת מי קולחין, ולהעביר את המים, לאחר הטיפול בהם, להשקיה, במקומות שבהם הם נחוצים.

### אספקת מים עירונית

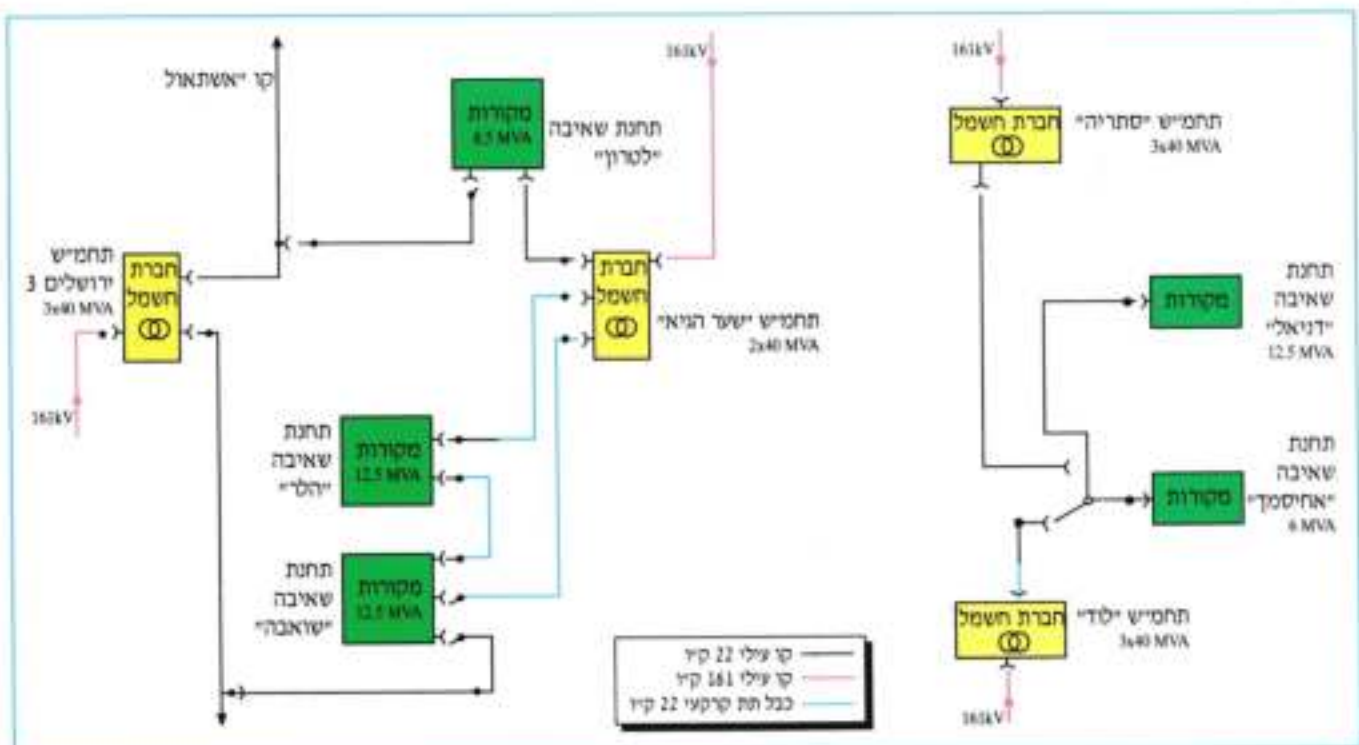
בכוננת מקורות לנצל את הידע ואת הניסיון שנצברו בחברת מקורות לצורך ניהול מערכות המים ברשויות מקומיות בשיתוף העיריות. כיום מספקת מקורות

עצמיים – כשיתוף חברת החשמל, הקמת מפעלי ביוב ארציים ומקומיים, אספקת מים עירונית ופיתוח שירותי המעבדות לאיכות המים. במקביל נערכת מקורות למסירת יותר עבודות פיתוח לגורמי חוץ במטרה לעמוד במשימות הביצועיות הרבות של פיתוח משק המים.

### התפלת מים וייצור חשמל

מקורות מקיימת דיונים עם חברת החשמל להקמת פרויקטים משותפים לייצור חשמל ולהתפלת מים. כמו כן נבדקת האפשרות לייצור עצמי של חשמל על ידי מקורות במקומות שבהם יש למקורות יתרון יחסי. להערכת מקורות, עשוי פיתוחה של מערכת חשמל עצמאית להביא לחסכון ניכר באנרגיה (במיוחד ככל שהדברים נוגעים למוביל הארצי, שצריכתו השנתית היא 2% מכלל צריכת החשמל הארצית).

נושא התפלת המים קשור קשר הדוק למערכת החשמל טכנולוגיות ההתפלה מחייבות שימוש בחשמל, וחלקן מיושם בסמוך או כחלק מאמצעים לייצור חשמל, תוך ניצול החום השזור של



איור 5

מפעל הקו הרביעי לירושלים – תרשים חד קווי

# ת"י ISO 9000 – תקנים לניהול האיכות בייצור ובשירותים

מהנדס אהוד גיתאי

סדרת התקנים ISO 9000 היא סדרת התקנים הנפוצה והנדרשת ביותר כיום בעולם האיכות. התקנים, אשר אומצו בישראל מינואר 1995 כתיי ISO 9000, הינם תקנים בינלאומיים לניהול האיכות בייצור ובשירותים.

ליצרנים, למשווקים ולנותני השירותים בתחום החשמל חשוב נושא תקני האיכות משתי סיבות עיקריות: הדרישה הגוברת וההולכת של ארגונים, בהם גם חברת החשמל לישראל, שספקיהם יעמדו בדרישות תקנים אלה (סיבה הנכונה גם בתחומים אחרים) והעובדה שחוק החשמל וחוק התקנים על תקנותיהם, מחייבים את העוסקים בחשמל. עמידה בתקנים ובתקנות חייבת להיות חלק מהדרישות של מערכת ניהול האיכות בארגון, ולכן משמשת מערכת זו כלי להבטחת העמידה בדרישות התקנים והתקנות.



למרות שסידרת התקנים, ת"י ISO 9000, הינם תקנים וולונטריים, ואינם נדרשים על פי חוק, הרי הדרישה, הגוברת וההולכת, מצד לקוחות בארץ ובעולם, שהספקים יהיו בעלי אישור והסמכה על פי תקנים אלה, יוצרת מצב שבו היצרנים ונותני השירותים מתאימים את עצמם לדרישה, ומביאים בכך לשיפור כולל באיכות. מבחינת הלקוח, העמידה בדרישות התקן היא ערובה לכך שהספק יעמוד באיכות המוצרים והשירותים לאורך זמן ויקפיד על שמירת הוראות החוק והתקנים הקיימים.

מטרתו של מאמר זה היא להציג ולהסביר את סדרת התקנים הנפוצה והמדוברת כל כך ואת תרומתה לארגון ולעסק העומדים בדרישותיה.

## מבוא

סידרת ת"י ISO 9000, כסדרת תקנים לניהול איכות, מגדירה, ברמות שונות, דרישות ממערך ניהול האיכות של היצרן או נותן השירות. רמת הדרישות נקבעת לפי סוג פעילותו של הארגון, כאשר:

- ת"י ISO 9001 מגדיר דרישות לספק העוסק בפעילות תכן (פיתוח), ייצור, התקנה ושירות.
- ת"י ISO 9002 מגדיר דרישות לספק העוסק בפעילויות ייצור והתקנה.
- ת"י ISO 9003 מהווה דרישה מנוונת ומתייחס לדרישות חלקיות, החל בשלב הבחינה הסופית ועד למסירה ללקוח.

בישראל נמצאים, עד עתה, יותר מ-1,700 ארגונים שהגישו בקשה למכון התקנים לאישור ניהול האיכות על פי תקני האיכות האמורים. כ-1,050 ארגונים כבר קיבלו את האישור ומערכת האיכות שלהם נמצאת בפיקוחו של מכון התקנים הישראלי.

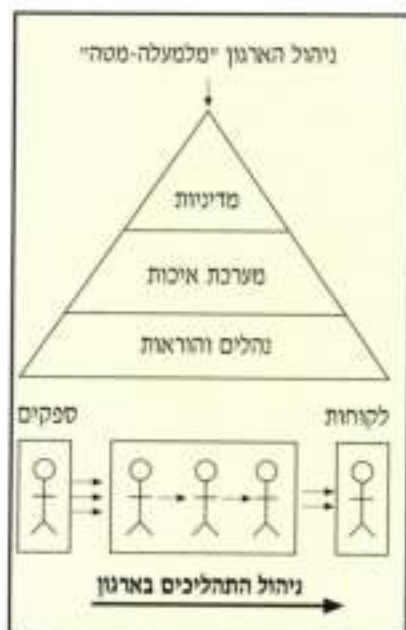
החברה ובמישור של ניהול התהליכים העסקיים בייצור ובשירות (איור 1). הגדרת האיכות מתייחסת למוצרים ושירותים באותה מידה כמו ליכולת המוצר, או השירות, לענות על צרכי הלקוח המפורשים בחוזה, או משתמעים משימוש במוצר ומתן השירות על ידי הספק.

בעולם אומצו תקני האיכות על ידי יותר ממאה מדינות, ועל ידי יותר מ-110,000 ארגונים שאושרו כעומדים בדרישות על פי אישוריהם של מכוני ההסמכה המוכרים.

ההנחה העומדת מאחורי התפתחות רחבה זו היא, שאימוצם ויישומם של מערכי איכות טובים בארגון, הם תנאי ובסיס לאיכות המוצר, לאיכות השירות, להקטנת עלויות בגין היעדר איכות ולהצלחת הארגון בעידן הנוכחי. המאופיין בשוק תחרותי ובהתעצמותה של המדיניות השיווקית מכוונת הלקוח, בסביבה כזו ארגון חייב להיות איכותי כדי לשרוד, והאיכות הנדרשת אינה יכולה להתמצות באיכות המוצר הספציפי, הנמדדת על פי מפרטים טכניים בלבד. יותר מכך, מערך ניהול האיכות ברמה גבוהה מטפל גם באיכות הניהול תוך הבטחת רמתם של מערכי בקרת האיכות של הארגון עצמו, כחלק מתהליכי העבודה. נמצא כי לאורך זמן מביאה העמידה בדרישות להתייעלות ולצמצום עלויות.

## מערכת איכות

מערכת איכות היא מערכת של כללי ניהול ונהלי ארגון המבטיחים טיפול נאות במישור של בקרת תהליכי ניהול



איור 1  
מערכת איכות

\* א' גיתאי – מהנדס איכות ראשי – חשמל, אלקטרוניקה, תוכנה וארגוני שירותים, אגף איכות והסמכה, מכון התקנים הישראלי

המערכת מיועדת להבטיח:

- זיהוי של הדרישות והצרכים הקיימים (דרישות מכוח חוקים, תקנות, תקנים אחרים וכיו"ב), צרכים ודרישות של לקוחות וצרכיהם של הלקוחות הפנימיים בארגון עצמו.

- תכנון של מכלול הפעולות, כולל תכנון המוצר, תכנון השירות ותכנון תהליכי העבודה.

- בקרה אפקטיבית ויעילה של הביצוע, כולל ביצוע פעילות מתקנת ומונעת לליקויים ולאי התאמות.

מערכת האיכות כוללת, בין היתר, את מדיניות האיכות ונהלים, הוראות ותהליכים המשפיעים על איכות המוצר או השירות. היא עושה שימוש במשאבים הקיימים בארגון – משאבי האנוש, ציוד וחומרים, ספקים, ידע ולקוחות. חלק בלתי נפרד ממנה הן פעולות התכנון והבקרה, כולל בקרה ניהולית ובקרה של תהליכי העבודה, בניגוד לביקורת האיכות שהיתה מקובלת בעבר – בקרת האיכות בתום התהליך בלבד, בבחינת "נילוי לאחר מעשה", ולא היה בה כדי למנוע את נזקי הפגמים שכבר התרחשו, ובוודאי לא היה בה לאפשר תהליך של שיפור מתמיד, החיוני כל כך בעולם תחרותי.

כאמור, בתחום החשמל חייבים החוקים, התקנות והתקנים המחייבים להיות חלק אינטגרלי ממערכת האיכות בארגון. מובן שכל העוסקים במערכות חשמל חייבים להיות מוסמכים לכך ובעלי רשיון מקצועי מתאים. מערכת האיכות חייבת להיות קשורה באופן חד ערכי עם החוקים, התקנות והתקנים המחייבים, כגון חוק החשמל, ת"י 900 – בדיקות בטיחות למכשירים חשמליים וכו'.

הבדיקה של ניהול האיכות בארגון נעשית בהתאמה לסעיפי הדרישות השימיים לארגון (20 דרישות ברמת ת"י ISO 9000, ואשר מידת העמידה בהן מצויינת באחת מארבע רמות ציון: "מבוצע כראוי", "טוען שיפור קלי", "טוען שיפור ניכר" או "לא מתאים".

בין הנושאים הנבדקים: אחריות ההנהלה, מערכת איכות, בקרת תיעוד ומידע, רכש, בקרת מוצר שסופק על ידי

הלקוח, ויהיו המוצר ועקיבותו, בקרת תהליך, בחינות ובדיקות – בקבלה, בתהליך ובדיקה סופית, בקרת מוצר לא מתאים, פעולה מתקנת ופעולה מונעת, בקרת רשומות האיכות, מבדקי איכות פנימיים, הדרכה והסמכה, מתן שירות ועוד.

## למה זה טוב? למה זה חשוב?

תקני ISO 9000, אשר אומצו במדינת השוונות בשנות שנים, מבוססים על העקרון של קיום דרישות המתייחסות לפעילויות השונות של הארגון, אך בלי שיהיה בהן כדי לחייב את הארגון לשיטת היישום. את הדרישות ניתן ליישם בדרכים רבות, והארגון עצמו בוחר את הדרך המתאימה לו בהתאם לאופי פעילותו, לטכנולוגיות שבהן הוא משתמש, לדפוסי פעילותו בעבר, לחתך עובדיו וכו'.

דרישות התקן זהות, מתאימות ושיימות לכל ארגון – החל בחברות גדולות, דרך ארגונים בינוניים ועד לעסקים זעירים, ובכל תחומי המשק – תעשייה ומלאכה, תעשייה עתירת ידע, גורמי מסחר ונותני שירותים. צורות היישום משתנות בהתאם לארגון, לאופי ולאופי פעילותו. קיימות הנחיות משלימות בהתאם לתחום הארגון, כגון ת"י ISO 9004-2 לארגוני שירותים.

המערכת פשוטה, הגיונית ומאפשרת יישום קל והדרגתי. האוניברסליות – תרתי משמע – של תקני ISO 9000 יוצרת בסיס להתקשרויות חוזיות בין לקוחות לספקיהם, ובשנים האחרונות מהווה סדרת התקנים בסיס לאישור פורמלי של מערכות איכות על ידי גורמים בלתי תלויים.

תקני האיכות מייצגים גישה מתקדמת לניהול האיכות בתעשייה ובשירותים ויישומה מאפשר שיפור ויעול משמעותי של כל פעילויות הארגון, ובכך מושג שיפור בכוח התחרות של הארגון. מעבר לכך, קיומו והצגתו של האישור הם כלי שיווקי חשוב. עוד ועוד גורמים, בארץ ובעולם, דורשים מספקיהם, או לפחות מקנים עדיפות, ליצרנים ולנותני שירותים אשר אושרו בהתאם לתקן האיכות הבינלאומי.

רוב מדינות העולם המתועש, כולל ארצות הברית, יפן ואוסטרליה אימצו

את התקנים כבסיס לאישור מערכות ניהול האיכות הלאומיות. הקהילה האירופית אימצה את סדרת ISO 9000, כסדרה אירופית שמספרה EN 29000, ובמקרים שבהם מחייבות תקנות הקהילה קבלת הוכחה לכך שמוצרים מתאימים לדרישות, יידרש היצרן להוכיח שמערכת האיכות במפעלו אשרה כמתאימה לדרישות תקנים אלה. כפועל יוצא מכך, וללא קשר לדרישות של הקהילה האירופית ושל גורמי משק מרכזיים בארצות השונות, מתבססות עוד ועוד חברות על תקני ISO 9000 ככלי לאישור של קבלת המשנה והספקים.

ראוי לציין בהקשר זה, כי מכון התקנים הישראלי התקבל השנה כחבר מלא ב-The International EQNet (Certification Network) – ארגון המסמיכים הבינלאומי, המאגד את כל ארגוני ההסמכה בקהילה האירופית וכן ארגוני הסמכה רבים מחוצה לה. (סמל EQNet מוצג באיור 2).



איור 2  
סמל EQNet

כמו כן הוסמך מכון התקנים על ידי ה-RVA, שהוא גוף הסמכה בינלאומי שאישר גם את גוף ההסמכה בבריטניה (BIS), בארצות הברית (UL) ועוד. מכיוון שקיימת הכרה הדדית בתעודות ובאישורים של הגופים המאוגדים ב-EQNet, יוכלו אישורי מכון התקנים על ידי הגופים המקבילים בארצות האחרות. כמו כן חתם מכון התקנים הישראלי על הסכמים להכרה באישוריו השונים גם עם ארגוני ההסמכה בארצות הברית (UL), אוסטרליה (QSA), בריטניה (BSI), גרמניה (DQS), שווייץ (ISQS), איטליה (UNI) ועוד.

## תהליך קבלת האישור

הגורם המרכזי בישראל שהקים את מערכת האישור בארץ ומוסמך להעניק את התעודות הנושאות את סמל י"תי

## סיכום

סידרת תקני האיכות הבינלאומיים ISO 9000, שאומצה בישראל בשם ת"י ISO 9000, מהווה אמצעי לשיפור תהליכי ניהול האיכות בכל סוגי הארגונים – גדולים כקטנים, וליעול פעילותם והגדלת ריווחיותם.

התאמת מערכות האיכות לדרישות תקנים אלה ואישורן בהתאם, נדרשים יותר ויותר כ"תעודת כניסה" לצרנים ולנותני שירותים בארץ ובעולם. תהליך זה, ההולך ומתעצם כחלק מתהליכים כלכליים וחברתיים בעולם, עולה בקנה אחד עם כלכלת "הכפר הגלובאלי".

בתחום החשמל משתלבות מערכות האיכות עם החוקים, התקנות והתקנים המתחייבים והמיועדים להבטיח את רמות הביצוע, האיכות והבטיחות החיוניים במיוחד בתחום זה.

יישום נכון של הדרישות מביא ליעול התהליכים ולהפחתת "עלויות אי-האיכות", ובכך תורם להגברת רוחיות הארגון ויכולת התחרות שלו.

שוטף של מכון התקנים, במסגרת הפיקוח, ובמטרה לוודא שמערכת האיכות ממוכנה לפעול כנדרש, עורך המכון ביקורים ובדיקה מדגמית בארגון (בדרך כלל פעמיים בשנה).

הטיפול עד מתן האישור והפיקוח השוטף כרוכים בתשלום כספי הסכום נקבע על פי גודל הארגון ורמת האיכות הנדרשת, שהם פועל יוצא של היקף הפעילות ושל מערכת האיכות הנדרשת בו. הצעת מחיר מפורטת מוגשת לארגון לאחר שזה הגיש את הבקשה למתן אישור. ניתן לבקש ביקור של מהנדסי מכון התקנים בארגון לצורך בדיקה ראשונית של התאמת המערכת הקיימת לתקני ת"י ISO 9000. יצרנים בעלי תו תקן וספקים מוסמכים של משרד הביטחון הנמצאים בפיקוח שוטף של אגף איכות והסמכה במכון התקנים, מקיימים למעשה את דרישות תקני ת"י ISO 9000. לפיכך, הטיפול בארגונים אלה נעשה בתהליך מקוצר לצורך ההשלמות הנדרשות בלבד.

ISO 9000 – מערכת איכות מאושרת" הוא מכון התקנים.

ארגון המעוניין בקבלת אישור צריך לפנות בבקשה, על גבי טופס מיוחד, לאגף איכות והסמכה במכון התקנים הישראלי (רח' חיים לבנון 42, תל אביב 69977, טל' 03-6465114, פקס' 03-6465205).

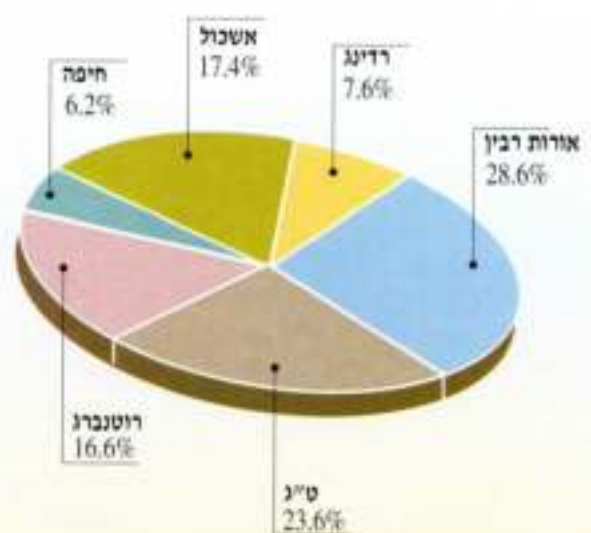
בשלב הראשון בודקים מהנדסי האגף את המצב הקיים בארגון בנושא ניהול האיכות. בהתאם לצורך ניתנים הדרכה והכוונה לצורך התאמת המצב לדרישות התקן. הארגון יקים מערכת איכות ונהליו ייבדקו על ידי מהנדסי מכון התקנים. לאחר היערכות מתאימה של הארגון ליישום נהלי האיכות שכתב, יערך מבדק איכות מלא בהתאם לתקן ISO המתאים לתהליכים המתבצעים בו. אם תימצא מערכת האיכות מתאימה לדרישות, תוענק התעודה המעידה על כך.

התעודה ניתנת לשנה אחת, ומסירתה מתנית בהסכמת הארגון לקיום פיקוח

התפלגות הייצור לפי אתרים \*1995



התפלגות היכולת הנקובה של מערכת הייצור לפי אתרים \*1995



\*מתוך הדין והחשבון הסטטיסטי של חברת החשמל לשנת 1995



# ניהול פרויקט בביצוע מיתקן חשמל\*

יוסי סנדק, כלכלן

ניהול פרויקטים הוא אחד הנושאים הנדונים והנלמדים ביותר בשנים האחרונות בכל מערכות הניהול ובכל מגזרי המשק. מעצם הגדרתו, שתובא בהמשך, יובן כי הנושא חשוב ונוגע, בדרך זו או אחרת, גם לכל העוסקים בחשמל, וזאת משום שניתן לכלול בהגדרה "פרויקט" את מערכת הפעולות להשלמת מיתקן חשמל בדירת מגורים, כמו גם את הפרויקטים הגדולים ביותר, כגון הקמתן של תחנות הכוח.

מאמר זה מיועד להציג את ההגדרות והמטרות של ניהול פרויקטים, להבהיר מושגים שונים בתחום זה ולהצביע על נורמים קריטיים להצלחתו.

מטבע הדברים יתבסס הנשא על החומר העיוני הקיים ועל נסיונו של הכותב, אך הדברים נכונים ושימיים, בהיקפים המתאימים ובהתאמות הנדרשות, לפעילותו של כל עוסק בתחום.

השילבים הבאים התלולים בו, ומהצד האחר לא יוקדם באופן העלול לגרום לקשיים לוגיסטיים או להקדמת הוצאות מיותרת. לפיכך, מטרתו של ניהול פרויקט היא לתכנן את ביצועה של המשימה ולפקח עליה כדי שזו תתבצע באיכות הדרושה, בהתאם לזמן נתון ובעלות המוערית הנדרשת.

מן המטרות נגזרת הדרך להעריך את הצלחתו של הפרויקט. דרך זו נבחנת, בסופו של דבר, על פי התשובה לשלוש שאלות אלה:

דומה להתייחסות לפרויקט ולניהול פרויקטים.

## מהי הצלחה של פרויקט?

אחד ממאפייניו העיקריים של פרויקט הוא הצורך לתאם בין שלבים וגורמים, לביצוע הפעולות בסדר מסוים. הסדר נקבע לפי שיקולים טכנולוגיים, לוגיסטיים וכלכליים, במסרה לאפשר זרימה שוטפת של העבודה, באופן שכל שלב יסתיים במועד האופטימלי, כך שמצד אחד לא יגרום לעיכוב של

## מבוא

מבין ההגדרות הרבות שבהן מגדירים את המושג "פרויקט", המקובלת והנפוצה ביותר, היא זו המגדירה את הפרויקט "משימה חד פעמית בעלת נקודות התחלה וסיום, המורכבת מפעולות שונות, שיש לבצע במסגרת לוח זמנים מוגדר ובמסגרת תקציבית מוגדרת".

חשיבותו של נושא ניהול הפרויקטים גוברת והולכת נוכח שתי תופעות משקיות וחברתיות מרכזיות:

- התגברותה של התחרות בכל המגזרים המחייבת כל עוסק, בתחום, לייעילות מרבית ולמתן פתרונות בזמן הנדרש וביחס הולם של עלות-תועלת.
- ההתמחות וההתמקצעות של העוסקים בתחומים השונים, תוך התמקדות בענפי משנה ו"ית-תחומים" המחייבת תיאום בין יותר אושי מקצוע ויותר ספקים, לביצועה של כל משימה.

חשוב לציון כי שלבים או חלקים מסוימים של פרויקט, עשויים לחזור על עצמם במהלך הפרויקט, או בפרויקטים אחרים של אותו עוסק, וכי ברוב המקרים, ובייחוד בפרויקטים גדולים, קיימים שלבים מורכבים – "תת פרויקטים" – שהתייחסות אליהם

\* מבוסס על הרצאה בנושא זה בכנס המקצועי השנתי ה-12 של העוסקים בתחום החשמל בישראל.

יוסי סנדק – עוזר מנהל, מיתוג – הנדסת חשמל בע"מ



■ האם הפרויקט נותן פתרון טוב לבעיה או לצורך שעליו נועד לענות.

■ האם עלותו תואמת את התקציב המתוכנן.

■ האם הפרויקט הסתיים במועד המתוכנן.

כל שלושת המרכיבים חשובים ומשפיעים זה על זה. הקצאת יותר משאבים עשויה, לעתים, לאפשר קיצור של לוחות זמנים; הקצאת פרקי זמן ממושכים יותר עשויה, לעתים, לשפר את האיכות ולהשפיע על העלויות (אשר עלולות להיות גבוהות יותר, אך עשויות להיות גם נמוכות יותר – הדבר שונה ממקרה למקרה). תכנון הפרויקט צריך ליצור אופטימיזציה בין המרכיבים, אשר מידת חשיבותם תלויה בנסיבות הספציפיות. יש שהאיכות חשובה יותר מלוח הזמנים ומן העלויות, ויש שהעמידה בלוח הזמנים היא הגורם החיוני ביותר וכד.

אחת הבעיות שעימן בא ניהול הפרויקט להתמודד היא גורמי אי הוודאות הרבים הקיימים בכל פעילות. גורמי אי הוודאות הם האחראים למערים בין הציפיות לבין המציאות – בטיב, בעלויות ובלוחות הזמנים. ניהול נכון וטוב של פרויקט מאפשר לצמצם את גורמי אי הוודאות. הדבר נעשה על ידי זיהוי מדויק ומפורט של מרכיבי הפרויקט והתאמתם למחזור החיים של הפרויקט, תוך שילוב של מערכות מתאימות למעקב ולבקרה.

## דוגמאות של פרויקטים בתחום החשמל

כאמור, במונח פרויקט כלולים פרויקטים יום-יומיים של כל חשמלאי, בהתקנה או בניצוץ שינויים במיתקן חשמל ביתי, עבור לפרויקטים בעלי היקף גדול יותר ועד הפרויקטים הגדולים, שבהם מטפלת חברת החשמל.

ביצוע של מיתקן ביתי מחייב הגדרת צרכים, הכנת תוכניות, רכישת חומרים, תיאומים עם הלקוח ועם חברת החשמל, ביצוע בשלבים שונים (כגון: חציבה, חיווט, התקנת אבזרים וכיו"ב), בדיקת המיתקן וכו'. יש לוח זמנים מיועד לסיוע מכלול הפעילויות

ותקציב המבוסס על המשאבים והעלויות הצפויות (צידוד, חומרים, כוח אדם וכד.). מכלול הפעילויות מחייב תיאום וסדר מסוים, כאשר חלק מהפעולות מתבצע בטור, הינו סיום פעולה אחת מתחייב לפני ביצועה של פעולה אחרת (החציבה קודמת להתקנת הצנרת, חיווט אינו אפשרי לפני התקנת הצנרת), וחלק אחר יכול וראוי שייעשה במקביל, לדוגמה: בחירת מתגים, שקעים וצידוד קצה אחר קודמת לרכישתם, אולם ניתן לבצע את הבחירה והרכישה במקביל לפעולות אחרות. אם יבצעו את הבחירה והרכישה רק לאחר שהושלמו העבודות האחרות, יגרום הדבר לעיכוב מיותר בלוח הזמנים.

הפרויקט של ייצור והרכבה של לוח מתח גבוה מורכב משלבים עיקריים אלה:

- אישור תוכניות.
- הזמנות (בארץ ובחז"ל).
- עבודות מתכת.
- עבודות צבע.
- חיווט והרכבה.

- בדיקות במפעל.
- התקנה בשטח.

כאמור, לפחות מקצת מהשלבים לעיל הם "תת-פרויקטים", כאשר לכל אחד מהם ניתן להתייחס כאל פרויקט העומד בפני עצמו. כאן המקום להתייחס לאבחנה המקובלת בין "פרויקט יחידני" לבין "פרויקט סדרתי". פרויקט יחידני הוא כזה שהתוצר שלו הוא יחידה אחת, לדוגמה: הקמת תחנת כוח, ממש כמו ביצוע מיתקן חשמל ספציפי באתר. לעומת זאת בפרויקט סדרתי התוצר הוא מספר יחידות של אותו מוצר, לדוגמה: ייצור של שנאים או מפסקים במפעל, כמו גם ביצוע מיתקני החשמל הביתיים בבתי מגורים דומים בעבור קבלן בנייה בשכונת מגורים חדשה.

## מרכיבים עיקריים בניהול פרויקט

איור 1 מציג, בצורה סכמתית, את המרכיבים העיקריים של ניהול פרויקט ואת רכיבי המשנה הכלולים בהם. תהיה זו טעות לחשוב, שהמורכבות המתוארת והמושגים הארגוניים, יש



איור 1  
ניהול פרויקטים  
המרכיבים העיקריים של ניהול פרויקט ורכיבי המשנה הכלולים בהם

בהם כדי להעיד כאילו הדברים נכונים ומתאימים לפרויקטים גדולים בלבד, ולא היא. כל המרכיבים הראשיים, ורבים ממרכיבי המשנה הם חלק בלתי נפרד גם מן הקטן שבפרויקטים. במקרים רבים, עוסקים רבים בחשמל מנהלים ומבצעים בפועל פרויקטים קטנים בעבודתם הרגילה בלי להגדיר את העבודה כ"פרויקט". כך הדבר גם לגבי מרכיבי הניהול. למנהלי פרויקטים גדולים ברורים המושגים מאלהם, אך גם כל מי שמבצע עבודת חשמל פשוטה ללקוח פרטי יוכל לזהות במרכיבי הפרויקט את המרכיבים והשלבים של עבודתו. "המשנה הסדורה" – התייחסות הנכונה למרכיבים והתכנון הנכון לפי שלבים – יש בהם לתרום לייעול הביצוע בכל מקרה ובכל סדר נודל של פרויקט.

הבסיס הראשי המשפיע על כל מרכיבי הפרויקט הוא אפיונו. אין פרויקט אחד דומה למשנהו, ואף אם מרכיבים שונים דומים, או חוזרים על עצמם בפרויקטים שונים, הרי שניסיונות של זמן, של מקום, של שיטתיים בסביבה ובנסיבות מעמידים כל פרויקט כ"פרויקט בפני עצמו". אפיון הפרויקט כולל את אפיון הצרכים, את האפיון הטכנולוגי, עלות-תועלת של התצורה, עלות מחזור החיים של הפרויקט וניהול התצורה. על משמעותם של מושגים אלה, כמו גם על חלק גדול ממרכיבי הניהול של פרויקטים, נעמוד בהרחבה בהמשך.

המרכיבים המקובלים של ניהול פרויקטים הנובעים ותלויים באפיון הפרויקט הם:

#### ■ המבנה הארגוני

ההירארכיה, מבנה הארגון של הפרויקט, מבנה העבודה ומרכזי העבודה, שבהם מתבצעות פעולות הקשורות בפרויקט.

#### ■ הלוגיקה

תואור רשת הפעולות הנדרשות לביצוע המשימה ומשימות המשנה, ה"יערסלים" (קבוצות של פעולות הקשורות זו בזו) ואבני הדרך המהוות נקודות ציון של השלבים השונים ברשת הפעולות.

#### ■ הזמן

מבנה לוח השנה (ימים, שעות, תאריכים, ימי עבודה מול ימי שבתון וכו'), משכי הביצוע, המבטאים את משך הזמן נטו, הדרושים לביצוע משימות ומועדי ביצוע. משכי הביצוע הם פועל יוצא של תכנון לוחות הזמנים והקשר בין הפעולות ושל מבנה לוח השנה.

#### ■ המשאבים

כל סוגי המשאבים הדרושים והיקפם: כספים, כוח אדם, ציוד, גישות המשאבים ומינותם. בהתאם לכך – הקצאה של המשאבים הקיימים בהתאם לתוכנית.

#### ■ התקציב

העלות – הישירה והקבועה, תזרים המזומנים והקצבות לפי אפיונים.

#### ■ הבקרה

מערכת הדיווח, התצורה, בקרת העלויות, בקרת הזמן ולוחות הזמנים, בקרת האיכות וביצוע תחזיות ועדכון.

#### ■ תכנון וביצוע

תכנון הפרויקט מחייב הנדסה ברורה של כל הפעולות הדרושות לביצוע. הנדסת הפעולות, כוללת גם את ציון סוגי הקשר בין הפעולות השונות, אבני הדרך, משכי הביצוע, מועדי ביצוע והמשאבים הדרושים.

ככל שרמת הפירוט של הפעולות תהיה עמוקה יותר – חלוקה של כל פעולה לתת-פעולות ופילוח של תת-פעולות לתת-תת פעולות וכן הלאה – כך תגבר יכולת הבקרה והשליטה בתהליכים, כמו גם היכולת לצפות תקלות ולהיערך לקראתן, ואף לפתור בעיות במהלך הפרויקט.

כפועל יוצא של המשאבים יש לאמוד את התקציב הדרוש לעלויות הישירות ולעלויות העקיפות ואת תזרים המזומנים החווי של הפרויקט.

ניהול תקין של הפרויקט הכולל תכנון מפורט ובקרה עקיבה במהלך הביצוע, עשויים למנוע תקלות, לאתר בשלב מוקדם תקלות וסטייות המתרחשות בכל זאת ולאפשר תגובה מהירה לתיקון ולמזעור הנזק. בהיעדר תכנון ובקרה מתרחשת התופעה, אשר למרבה הצער

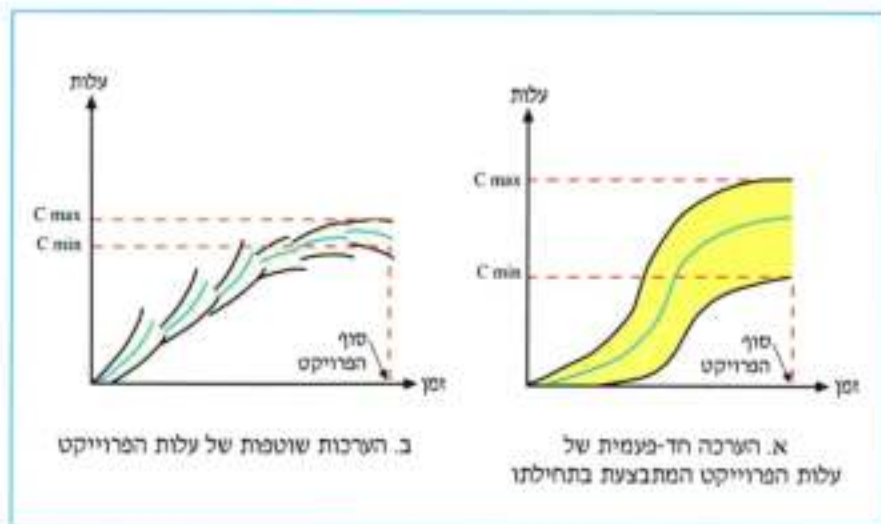
מוכרת לרבים, של גילוי בעיות בשלב מאוחר, כאשר ההשפעה על הפרויקט היא קריטית (חריגה מהתקציב, פיגור בלוחות הזמנים וכו').

כדי לסיים פרויקט בהצלחה על מנהל הפרויקט לפתח כלי חיזוי לצורך הערכת היכולת לעמוד במשימה הסופית. ביצוע, התאמה ותיקונים בתכנון בשלבים המוקדמים והסמוכים, ככל האפשר, לגילוייה של כל סטייה מהתוכנית, מחייבים שימוש במערכת בקרה המשווה באופן שוטף בין התכנון לבין הביצוע.

גם אם "כל תוכנית היא בסיס לשינויים", "חוקי מרפי אורבים בכל פינה" ו"המצאות חזקה מכל תוכנית" (אמרות שהפכו זה מכבר לקלישאות – הסברים בעקבות כשלונות ומחדלים), הרי קיומם של תוכנית מפורטת ושל מנגנוני בקרה הם הערובה היחידה ליכולת לשלוט בפרויקט. כאשר הם קיימים, אף שאין בהם כדי למנוע תקלות, הרי הם מאפשרים להנהלה לשלוט באירועים. בלעדיהם האירועים הם שישלטו במנהלים, ורבים הסיכויים לכישלון.

איור 2 מציג דוגמה של כלי חיזוי בהערכת העלות של הפרויקט. הערכת עלות חד-פעמית הנושית מראש, בשלב התכנון או בתחילת הפרויקט, מוצגת באיור 2 א'. הקו הכחול מציין את העלות החזויה (הממוצעת) על פני ציר הזמן, והשטח הצבוע צהוב מציין את תחום הסטייה האפשרית. הקווים האדומים על ציר העלות מסמנים את העלות המרבית הסופית ( $C_{max}$ ) ואת העלות המזערית הסופית ( $C_{min}$ ). החזויות לפרויקט. מקורו של הטווח הרחב יחסית הוא בקיומם של גורמי אי ודאות רבים בטרם הוחלל בביצוע.

איור 2 ב' מתאר מהלך שבו מתבצעת הערכה שוטפת של עלות הפרויקט תוך חיזוי שוטף ובקרה עקיבה. בכל שלב ושלב, העומד בפני עצמו, נורמי אי-הודאות קטנים יותר, הן משום היקפו הקטן יותר, והן משום שבמהלך הביצוע נסמך כל שלב על התחום היחיד שבו קיימת ודאות (החלק שכבר בוצע). לפיכך, במקרה זה ניתן לראות שהמרווחים קטנים יותר, ומטבע הדברים השליטה והביצועים יהיו



איור 2  
הבדלים בין הערכת עלות חד פעמית לבין הערכות שוטפות

כאמור, לפעולות. החלוקה והפירוט מאפשרים להגדיר ברור יותר את היקף הנושא ואת תכולתו ולהקצות בהתאם לכך את המשאבים השונים בצורה מדויקת יותר. הפירוט מאפשר גם יותר תיאום, צפייה מראש של תקלות והגדרת תחומי אחריות ברורים יותר.

תכנון הפעולות נעשה בשני מישורים: שלבי הפעולות והתיאום ביניהן והתאמת הפעולות לנושאי עבודה אחרים בפרויקט. כך, למשל, נושא אבטחת האיכות יכלול בשלבי הפעולות את ריכוז התקנים המחייבים והאיכות הנדרשת בפרויקט, את התאמת התקנים לתקני העבודה במפעל ואת ריכוז פעולות אבטחת האיכות במהלך הפעולות והשלבים השונים של חיי הפרויקט. במישור השני – התאמת פעולות אלה לפעולות המתבצעות בנושאי עבודה אחרים – נדרש לתאם את עלות ההפעלה של מערכת האיכות (עם נושא המימון) ואת בדיקות הביניים בתהליך (עם נושא הייצור).

■ **משאבים**

הערכה והקצאה של המשאבים הדרושים לביצוע השלבים והפעולות השונות, בדיקה ותכנון הקשר ביניהם (כספים, ציוד, כוח אדם וכדו') ופרקי הזמן שלהם נדרשים המשאבים לביצוע כל פעולה.

ומהותם תלויים באופי הפרויקט ובהיקפו.

■ **חלוקה לפעולות**

את נושאי העבודה יש ל"פרק" ולפרט,

טובים ויעילים יותר. נוכח הצורך בתכנון מראש, המהווה בסיס לעבודה, והמציאות הדינמית – המחייבת מעקב ובקרה, אין ההערכה מראש וההערכות השוטפות באות זו במקום זו – ראוי להכין הערכה כללית מראש (איור 2 א') ובמהלך הפרויקט להמשיך בביצוע הערכות שוטפות, על פי חיזוי ובקרה בשלבים (איור 2 ב').

**נושאי תכנון עיקריים**

בתכנונו של הפרויקט כולו ובתכנון של כל שלב משלבו קיימים נושאי תכנון אחדים, שיש להתייחס לכל אחד ואחד מהם, ואלה הנושאים:

■ **חלוקה לנושאי עבודה עיקריים**

מומלץ לחלק את הפרויקט ו/או את שלביו לנושאי העבודה השונים בהתאם למיומנויות ולתחומים המקצועיים הנדרשים בהם (מימון, רכש, אבטחת איכות, פיקוח על התפעול והייצור, משאבי אנוש וכו'). מספר הנושאים





החשמל לכל לקוח, כמו גם למשק בכלל. חיוניות החשמל מגבירה הן את השיבות של האיכות והבקרה התקציבית ויחס עלות-תועלת ועמידתם בתכנון, והן את חשיבות העמידה בלוחות הזמנים.

המרכיבים העיקריים בניהול פרויקט בהתאם לאפיונו, הם המבנה הארגוני, הלוגיקה, הזמן, המשאבים, התקציב והבקרה.

תחומי התכנון היסודיים של פרויקט כוללים את חלוקתו לנושאי עבודה עיקריים, חלוקת הנושאים לפעולות, המשאבים, תזמון הפעולות והמשאבים, הצוות, תיעוד התקדמות הפרויקט וחיווי תקלות צמיות.

כל דיון בנושא ניהול פרויקטים מחייב לתת את הדעת למשמעות של "מחזור החיים של פרויקט" ושל "עלות מחזור חיים של פרויקט", תוך התייחסות למדדי ביצוע, לכלי תכנון, לבקרת הביצוע ולגורמים שהם קריטיים להצלחתו של כל פרויקט. על אלה נרחיב במאמר נפרד.

#### ■ חיזוי תקלות (Contingency Plan)

במסגרת התכנון יש לשאוף לחיזוי מראש של מרב התקלות הצפויות ולתכנן מראש את התגובות המתאימות להתגבר עליהן. חיזוי התקלות מתבסס על חשיבה ועל ניסיון העבר ויוצר, עם תוכנית התגובה, מעין "תיקי מגרה" לימקרה של ...".

#### ■ סיכום

פרויקט הוא משימה המורכבת מפעולות שונות שיש לבצע על פי לוח זמנים מתוכנן ומסגרת תקציבית מוגדרת. ניהול נכון של פרויקט הכולל תכנון מפורט מראש ובקרה שוטפת על הביצוע, יתרמו להצלחתו.

בתחום החשמל מתנהלים פרויקטים רבים בסדרי גודל שונים.

למעשה, הקמה של כל מיתקן חשמל היא פרויקט, ולכן חשוב נושא ניהול הפרויקטים לכל העוסקים בחשמל, בייחוד בהתחשב בכך שבתחום החשמל יש חשיבות יתר לניהול הטוב של פרויקטים, זאת לאור חיוניותו של

#### ■ תזמון

תכנון התזמונים של הפעולות ושל המשאבים הנדרשים להן, קביעת המועדים האופטימליים והתיאום בין מועדי הפעולות והשלב, על מני ציר הזמן, להבטחת השתלבותם ועמידה בלוחות הזמנים המתוכננים.

#### ■ ציוות

חלוקה בין עבודה עצמית לקבלנות משנה – בהתאם למדיניות שנקבעה לפרויקט, בחירת צוותי העובדים, או קביעת צוות של תכנון ופיקוח בלבד (במקרה של פרויקט המבוסס בעיקרו על קבלני משנה).

#### ■ תיעוד התקדמות הפרויקט

יש לתכנן מראש את מערכת המידע, כולל החלטה על סוגי המידע הדרוש ברמות ובשלבים השונים, נתונים שיש לאסוף ולתעד, אופן איסוף הנתונים, הניתוחים והחתיכים שיידרשו ואופן הצגת המידע. חשוב לזכור שחוסר מידע עלול לגרום לטעויות בקבלת החלטות, אך גם עודף מידע עלול להקשות לא פחות:

# שיטות הזנה למנועים תלת מופעיים על ידי מהפך אלקטרוני



מהנדס אילן אקונס, M.Sc.

במערכות הינע רבות קיים הצורך להזין מנוע לורם חילופין ממקור זרם ישר, כגון מצברים, תאי שמש וכו'. ההתפתחות האדירה שחלה בעולם האלקטרוניקה בעשרים השנים האחרונות בנושא רכיבי ההספק האלקטרוניים, הביאה לפיתוחם של מהפכי (Inverters) המצב המוצק, הממירים את מקור המתח הישר למתח חילופין (אמפליטודה ותדר).

כיום ניתן למצוא מהפכים המסוגלים להזין מנועים עד להספקים של עשרות קילו-ואטים, ובעתיד עם פיתוחם של רכיבים להספק גבוה יגיע תחום ההזנה אף למאות קילו-ואטים.

מאמר זה דן במהפך תלת מופעי (תלת פאזי) המסוגל להזין מנועים תלת מופעיים: סינכרוניים, אסינכרוניים ואף מנועים לורם ישר ללא מברשות.

המאמר יסקור את שלוש שיטות הפעולה הנפוצות בעבודה עם מהפכים תלת מופעיים (ללא הפסדים) שהן:

- מהפך תלת מופעי בעל תקופת הולכה רציפה של  $120^\circ$  חשמליות במופע.
- מהפך תלת מופעי בעל תקופת הולכה רציפה של  $180^\circ$  חשמליות במופע.
- מהפך תלת מופעי העובד בשיטת אפנון רוחב פולס.

לאדמה ואילו ארבעה המתגים הנתרים יהיו פתוחים.

במהפך יתקיים המצב הבא: מתג אחד יחובר למקור, המתג השני יחובר

## מבנה המהפך התלת מופעי

המהפך התלת מופעי הוא מעגל הספק המבוסס על גשר בעל שישה מתגים אלקטרוניים. סדר מיתוג המתגים נקבע ומבוקר על ידי מעגלי הצעה (שילוב של מעגלים אנלוגיים וספרתיים)

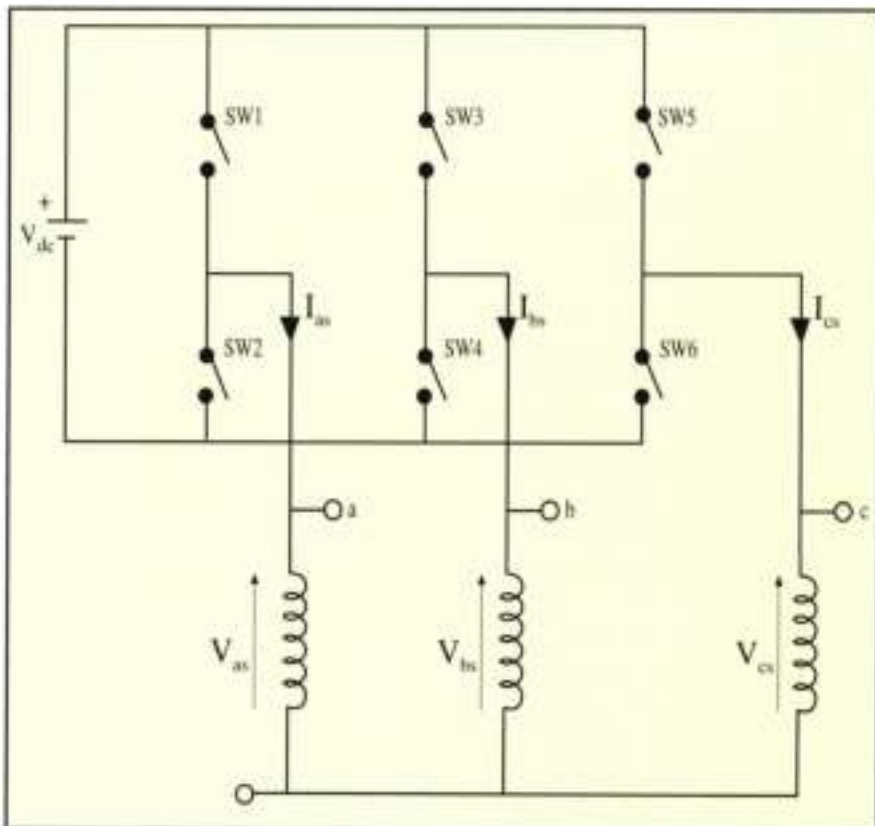
סוגי המתגים האלקטרוניים הנפוצים במעגלי ההספק:

- טרניסטורים מסוג Bi-Polar.
- טרניסטורים מסוג MOSFET.
- טרניסטורים מסוג IGBT.

אזור 1 מציג מהפך תלת מופעי המזין את ליפופי העוגן, המחובר בחיבור כוכב.

## מהפך בעל תקופת הולכה רציפה של $120^\circ$ חשמליות במופע

בשיטת פעולה זו תקופת הולכת הזרם בכל מופע היא:  $120^\circ$  חשמליות. כלומר: עבור מופעי המנוע נקבע כי אחד מהם יחובר למקור המתח, השני יחובר לאדמה, ואילו המופע השלישי מנותק.



איור 1

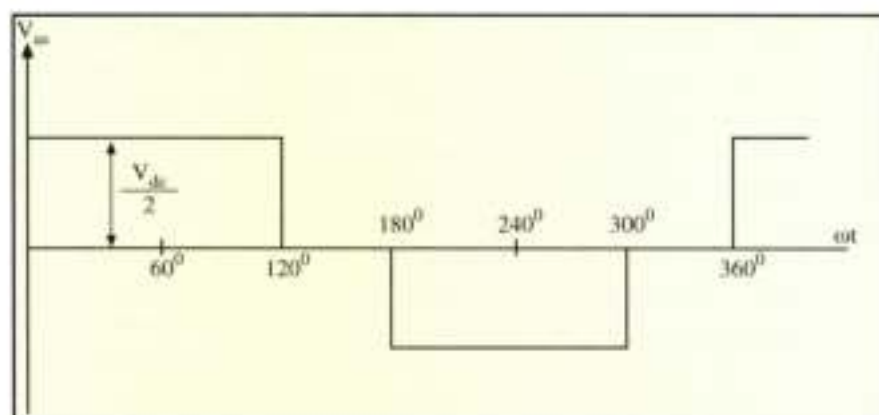
מהפך תלת מופעי המזין את ליפופי העוגן המחובר בחיבור כוכב

א' אקונס – אגף מחקר ופיתוח, מחלקת מיתוג מערכת מסירת השנאה ותכנון רעיוני, חברת החשמל

### טבלה 1

ששת מצבי המתנים ומתחי המופעים במהפך תלת מופעי בעל תקופת הולכה רציפה של 120° חשמליות במופע

תחום הזוויות	60°-0°	120°-60°	180°-120°	240°-180°	300°-240°	360°-300°
מתנים סגורים	4,1	6,1	6,3	3,2	5,2	5,4
מתנים פתוחים	6,5,3,2	5,4,3,2	5,4,2,1	6,5,4,1	6,4,3,1	6,3,2,1
המתח $V_{an}$	$\frac{V_{dc}}{2}$	$\frac{V_{dc}}{2}$	0	$-\frac{V_{dc}}{2}$	$-\frac{V_{dc}}{2}$	0
המתח $V_{bn}$	$-\frac{V_{dc}}{2}$	0	$\frac{V_{dc}}{2}$	$\frac{V_{dc}}{2}$	0	$-\frac{V_{dc}}{2}$
המתח $V_{cn}$	0	$-\frac{V_{dc}}{2}$	$-\frac{V_{dc}}{2}$	0	$\frac{V_{dc}}{2}$	$\frac{V_{dc}}{2}$



איור 2

מתח המופע "א" במהפך תלת מופעי בעל תקופת הולכה זרם רציפה של 120° חשמליות

טבלה 1 מציגה את כל שישה המצבים של המתנים ואת מתחי המופעים.

איור 2 מציג את מתח המופע "א" בקהפך תלת מופעי, שבו תקופת הולכת הזרם בכל מופע היא 120° חשמליות במופע.

פירוק פורייה של גלי המתחים המופעים במקרה זה הוא:

$$V_n = \frac{\sqrt{3} \cdot V_{dc}}{\pi} [\cos(\omega t + \alpha_1) - \frac{1}{5} \cos(5\omega t + \alpha_1) + \frac{1}{7} \cos(7\omega t + \alpha_1) - \frac{1}{11} \cos(11\omega t + \alpha_1) + \frac{1}{13} \cos(13\omega t + \alpha_1) - \dots] \quad (1)$$

עבור מופע "א" יש לרשום בנוסחה  $\alpha_1 = 0^\circ - 1$   $v_{in} = v_{an}$  (1)

עבור מופע "ב" יש לרשום בנוסחה  $\alpha_1 = -120^\circ - 1$   $v_{in} = v_{bn}$  (1)

עבור מופע "ג" יש לרשום בנוסחה  $\alpha_1 = +120^\circ - 1$   $v_{in} = v_{cn}$  (1)

נוסחה (1) מצביעה על קיומו של גל סינוסואידלי בתדר היסודי, אך באמפליטודה הנמוכה מהמתח הישר (0.55·V<sub>dc</sub>) המזין את הקהפך, כמו כן מופיעים גלים עליונים לא רצויים מסדר 5, 7, 11, 13 וכן הלאה.

## ההפך בעל תקופת הולכה רציפה של 180° חשמליות במופע

כשיטת פעולה זו תקופת הולכת הזרם בכל מופע היא 180° חשמליות, כלומר כל שלושת המופעים מחוברים, דרך המהפך התלת מופעי, למקור המתח או לאדמה. במהפך יתקיים תמיד המצב הבא: שלושה מתנים סגורים, ושלושה המתנים הנותרים יהיו פתוחים.

טבלה 2 מציגה את כל ששת מצבי המתנים ואת מתחי המופעים.

איור 3 מציג את מתח המופע "א" בקהפך תלת מופעי, שבו תקופת הולכת הזרם בכל מופע היא 180° חשמליות במופע.

### טבלה 2

ששת מצבי המתנים ומתחי המופעים במהפך תלת מופעי בעל תקופת הולכה רציפה של 180° חשמליות במופע

תחום הזוויות	60°-0°	120°-60°	180°-120°	240°-180°	300°-240°	360°-300°
מתנים סגורים	5,4,1	6,4,1	6,3,1	6,3,2	5,3,2	5,4,2
מתנים פתוחים	6,3,2	5,3,2	5,4,2	5,4,1	6,4,1	6,3,1
המתח $V_{an}$	$\frac{V_{dc}}{3}$	$\frac{2}{3}V_{dc}$	$\frac{V_{dc}}{3}$	$-\frac{V_{dc}}{3}$	$-\frac{2}{3}V_{dc}$	$-\frac{V_{dc}}{3}$
המתח $V_{bn}$	$-\frac{2}{3}V_{dc}$	$-\frac{V_{dc}}{3}$	$\frac{V_{dc}}{3}$	$\frac{2}{3}V_{dc}$	$\frac{V_{dc}}{3}$	$-\frac{V_{dc}}{3}$
המתח $V_{cn}$	$\frac{V_{dc}}{3}$	$-\frac{V_{dc}}{3}$	$-\frac{2}{3}V_{dc}$	$-\frac{V_{dc}}{3}$	$\frac{V_{dc}}{3}$	$\frac{2}{3}V_{dc}$

(f על ידי גל נושא משולש, ומאופיינת באמצעות ארבעה משתנים:  $f_c, A_c, A$  (התדר של הגל  $F_c$ ) ו-1 (התדרים של הגלים  $F_{bs}, F_{cs}, F_{as}$ ).

באמצעות משתנים אלה יוכתב ההרכב הרמוני של מתח מוצא המהפך.

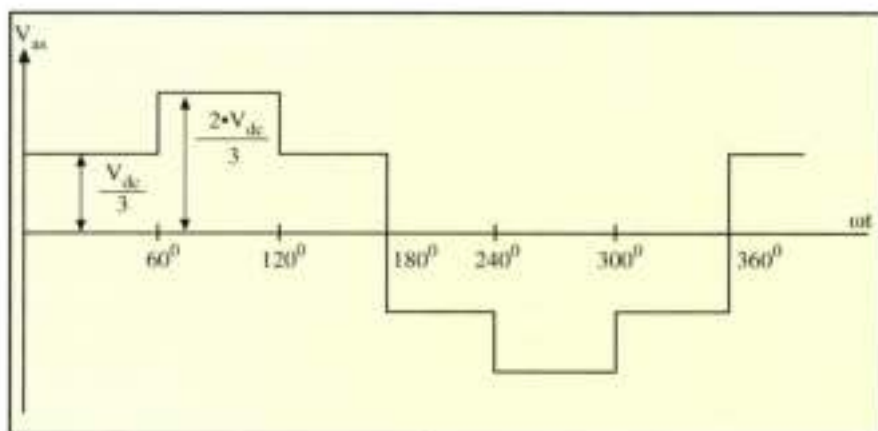
על סמך משתנים אלה יוגדרו הגדלים k ו-M (נטחאות (3) ו-(4), בהתאמה):

$$(3) \quad k = \frac{f_c}{f}$$

$$(4) \quad M = \frac{A}{A_c}$$

בעזרת k ו-M ייקבע ההרכב הרמוני של גל המתח במוצא המהפך.

שיטת המיתוג מוצגת באיור 4 איור 5 ממחיש את הטכניקה של "אפנון רוחב פולס", כאשר הגל המשולש מוחסר מכל אחד משלושת הגלים הסינשוואידלים, והאות שמתקבל מועבר דרך קנקל המייצר את הפולסים בעלי שתי הרמות הלוגיות.



איור 3  
מתח המופע "a" במהפך תלת מופעי בעל תקופת הולכת זרם רציפה בכל מופע של 180° חשמליות

אלה, הנשלטים על ידי יחידת בקרה, ניתן לקבוע את ההרכב הרמוני של גל המתח במוצא המהפך מבחינת אספליטודות ותדרים.

שיטת "אפנון רוחב פולס" מבוססת על מיתוג גל ייחוס סינשוואידלי, המשתנה באופן רציף (אמפליטודה – A ותדר –

פירוק פורייה של גלי המתחים המופעיים במקרה זה הוא:

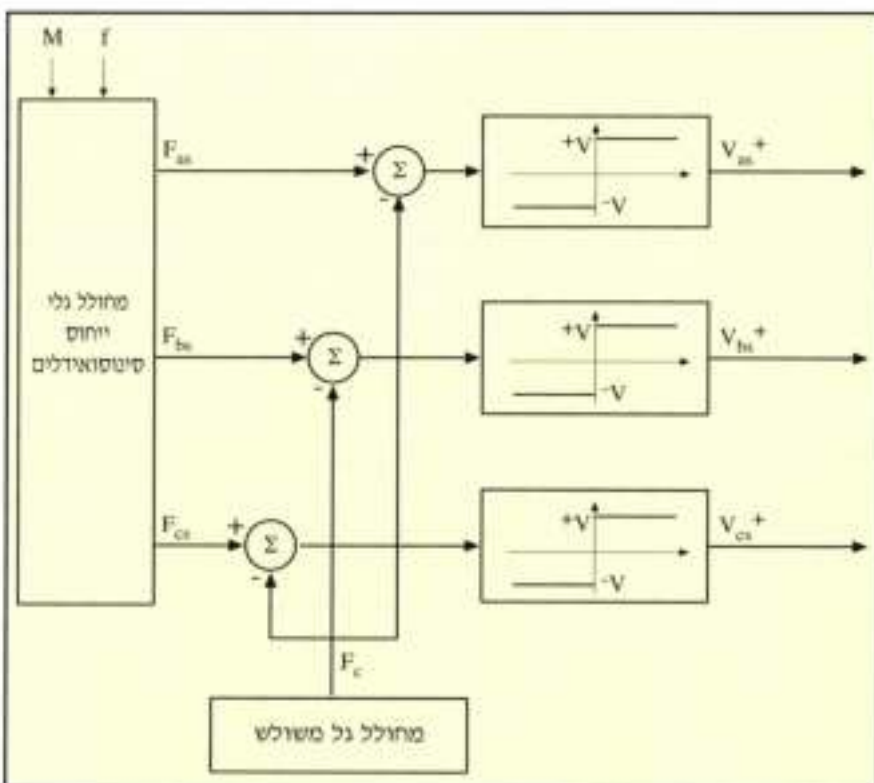
$$V_a = \frac{2 \cdot V_{dc}}{\pi} [\cos(\omega \cdot t + \alpha_1) + \frac{1}{5} \cos(5\omega \cdot t + \alpha_5) - \frac{1}{7} \cos(7\omega \cdot t + \alpha_7) - \frac{1}{11} \cos(11\omega \cdot t + \alpha_{11}) + \frac{1}{13} \cos(13\omega \cdot t + \alpha_{13}) - \dots] \quad (2)$$

- כעבור מופע "a" יש לרשום בנוסחה  $\alpha_1 = (-1) \cdot \alpha_{11} = \alpha_{13}$  (2)
- כעבור מופע "b" יש לרשום בנוסחה  $\alpha_7 = -120^\circ - \alpha_{11} = \alpha_{13}$  (2)
- כעבור מופע "c" יש לרשום בנוסחה  $\alpha_5 = +120^\circ - \alpha_{11} = \alpha_{13}$  (2)

נוסחה (2) דומה לנוסחה (1), וגם היא מצביעה על קיומו של גל סינשוואידלי בתדר היסודי, אך באמפליטודה הנמוכה מהמתח הישר ( $0.64 \cdot V_{dc}$ ) המזין את המהפך, כמו כן מופיעים גלים עליונים לא רצויים מסדר: 5, 7, 11, 13 וכן הלאה.

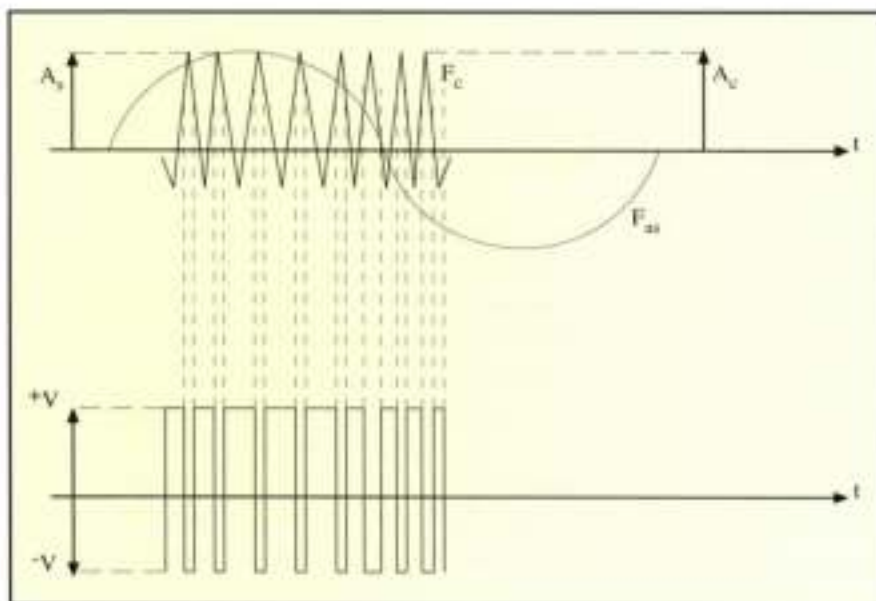
### אהפך העובד בשיטת אפנון רוחב פולס

שיטת "אפנון רוחב פולס" מבוססת על מיתוג מתח מוצא המהפך במשך תקופת הולכה מסוימת. באמצעות מיתוגים



איור 4  
תרשים מלבנים של מערכת בקרת המהפך הפועל בשיטת אפנון רוחב פולס





איור 5  
דיאגרמה המתארת את עקרונותיה של טכניקת גל נושא משולש

גל מתח המוצא בקהפך. מימוש שיטות אלו מורכב יותר משיטות המיתוג בעזרת גל נושא משולש ודורש יכולת חישוב מהירה (מיקרו-פרוססורים).

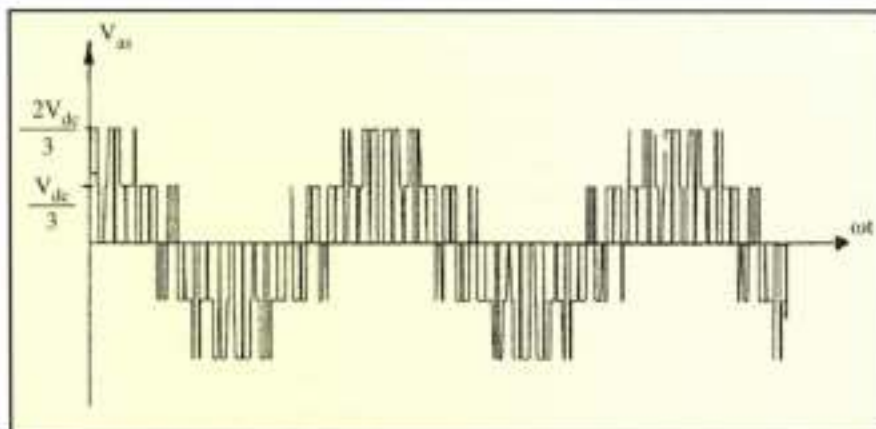
השיטות דומות ומבוססות על קביעת זוויות המיתוג של גל מתח המוצא ממהפך במהלך רבע מחזור, וזאת להבדיל מהמקרה שתואר, שבו זוויות המיתוג נקבעו בהתאם לצורת הגלים. הגל המאופק (סינוסואדלי), והגל הנשא (משולש).

בשיטה הקרויה "מינימום הרמוניות בזרם העומס", קיימים \$N\$ מיתוגים

נוסחה (6) דומה לנוסחאות (1) ו-(2), וגם היא מצביעה על קיומו של גל סינוסי בתדר היסודי וגלים עליונים לא רצויים. במסגרת מאמר זה אין היריעה מאפשרת לפתח את הביטויים המנדורים את מקדמי פירוק פורייה מנוסחה (6): \$A\_{13}, A\_{11}, A\_7, A\_5, A\_1\$ וכן הלאה, אך הגודל של \$A\_1\$ יכול להשתנות בגבולות הבאים:

$$(7) \quad 0 \leq A_1 \leq \frac{2V_{dc}}{\pi}$$

קיימות שתי שיטות מיתוג נוספות שנועדו לשלוט על ההרכב ההרמוני של



איור 6  
המתח במופע "א" במהפך תלת מופעי הפועל בשיטת "אפנון רוחב פולס"

איור 5 מציג את גל הייחוס הסינוסי \$F\_{as}\$, המתאים למופע "א", אשר ממנו מוחסר הגל המשולש \$F\_c\$, וכתוצאה מכך מתקבלות ביציאת המהפך רמות המתחים "+V" ו"-V" בהתאם לתנאים הבאים:

$$(5) \quad \begin{cases} F_{as} > F_c & V_{as}^* = +V \\ F_{as} < F_c & V_{as}^* = -V \\ F_{as} = F_c & -V < V_{as}^* < +V \end{cases}$$

אותות היציאה של המגבלים (באיור 5) קובעים את מצב המתגים SW1 עד SW6 לראי: איור 1, ומכאן:

- מצב המתגים במופע "א":  
במצב שבו \$V\_{as}^\* = +V\$ מתג SW1 סגור ומתג SW2 פתוח.  
במצב שבו \$V\_{as}^\* = -V\$ מתג SW2 סגור ומתג SW1 פתוח.

- מצב המתגים במופע "ב":  
במצב שבו \$V\_{as}^\* = +V\$ מתג SW3 סגור ומתג SW4 פתוח.  
במצב שבו \$V\_{as}^\* = -V\$ מתג SW4 סגור ומתג SW3 פתוח.

- מצב המתגים במופע "ג":  
במצב שבו \$V\_{as}^\* = +V\$ מתג SW5 סגור ומתג SW6 פתוח.  
במצב שבו \$V\_{as}^\* = -V\$ מתג SW6 סגור ומתג SW5 פתוח.

איור 6 מציג את מתח המופע "א" בקהפך תלת מופעי הפועל בשיטת "אפנון רוחב פולס".

פירוק פורייה של המתחים המופעיים במקרה זה הוא:

$$(6) \quad \begin{aligned} V_{ia} = & A_1(\cos(\omega \cdot t + \alpha_1) + \\ & + A_3 \cos(3\omega \cdot t + \alpha_3) + A_7 \cos(7\omega \cdot t + \alpha_7) + \\ & + A_{11} \cos(11\omega \cdot t + \alpha_{11}) + \\ & + A_{13} \cos(13\omega \cdot t + \alpha_{13}) + \dots) \end{aligned}$$

- בעבור מופע "א" יש לרשום בנוסחה (6): \$\alpha\_1 = 0^\circ - 1^\circ\$ \$v\_{ia} = v\_{as}\$

- בעבור מופע "ב" יש לרשום בנוסחה (6): \$\alpha\_1 = -120^\circ - 1^\circ\$ \$v\_{ia} = v\_{bs}\$

- בעבור מופע "ג" יש לרשום בנוסחה (6): \$\alpha\_1 = +120^\circ - 1^\circ\$ \$v\_{ia} = v\_{cs}\$

כי סדר רכיבי הגלים העליונים זהה, אך השוני הוא באמפליטודה של רכיבי הגלים העליון והגל היסודי.

### סיכום

מאמר זה מתאר שלוש שיטות פעולה עיקריות המאפשרות שימוש במהפכים תלת מופעיים לצורכי הזנת מנועים תלת מופעיים ממקור מתח ישר.

בשתי השיטות הראשונות – מהפך העובר בשיטת "120" ומהפך בשיטת "180" – ויסות אמפליטודת הגל היסודי אינה אפשרית ללא שינוי עוצמת מתח ההזנה למהפך.

השיטה השלישית, "אפנון רוחב פולס", היא השיטה הנמישה ביותר (מאפשרת את ויסות אמפליטודת הגל היסודי במתח הזנה קבוע למהפך) למרות מורכבות מעגלי ההצתה שלה. באמצעות נגורות של שיטה זו ניתן לצמצם למינימום את גודלן של ההרמוניות הנבזרות במוצא המהפך.

כיום, הולך וגובר השימוש במהפכים תלת מופעיים הפועלים בשיטת "אפנון רוחב פולס", בייחוד במערכות ההינע למיניקה.

"אפנון רוחב פולס" – כל שלושת המופעים מוזנים כל הזמן, כלומר: במהפך התלת מופעי שלושה מתגים סגורים, ושלושה מתגים פתוחים (ראה איור 1).

בהזנה ממהפך הפועל בשיטת "120" רק שני מופעים מוזנים בכל רגע ורגע, כלומר: במהפך התלת מופעי שני מתגים סגורים, וארבעה מתגים פתוחים (ראה איור 1).

### ■ שליטה על אמפליטודת הגל היסודי ללא שינוי גודל מתח ההזנה $V_{dc}$

שליטה על אמפליטודת הגל היסודי אפשרית רק ממהפך הפועל בשיטת "אפנון רוחב פולס" באמצעות שינויי הגודל M.

בשתי השיטות האחרות (ממהפך הפועל בשיטת "120" ומהפך הפועל בשיטת "180") לא ניתן לשלוט על אמפליטודת הגל היסודי, אלא אם כן יחול שינוי בעוצמת מתח ההזנה  $V_{dc}$ .

### ■ פירוק מורייה של המתח המופעי

בכל שלוש השיטות שתוארו, פירוק מורייה של המתח המופעי מראה,

במשך רבע מחזור. מספר מיתוגים זה מייצג N דרגות חופש שבאמצעותן ניתן לשלוט על אמפליטודת הגל היסודי ולצמצם למינימום את פונקציית המטרה, המציינת את ההרכב ההרמוני של זרם היציאה מהמהפך (גלים עליונים בלבד).

השיטה הקרויה "ביטול הרמוניות" שונה משיטת "מינימום הרמוניות בזרם העומס" רק באופן קביעת זוויות המיתוג של גל מתח המוצא מהמהפך במהלך רבע מחזור. בשיטה זו נקבע כי באמצעות N דרגות חופש הטבעות מ-N מיתוגים במשך רבע מחזור, ניתן לאפס N-1 גלים עליונים של מתח מוצא מהמהפך, ולשלוט על אמפליטודת הגל היסודי.

### השוואה בין שיטות ההזנה ממהפך תלת מופעי

השוואה בין שיטות ההזנה ממהפך תלת מופעי תיעשה בעבור שלוש שיטות ההזנה שנסקרו לעיל, כדלקמן.

### ■ מספר המופעים המוזנים בכל רגע ורגע

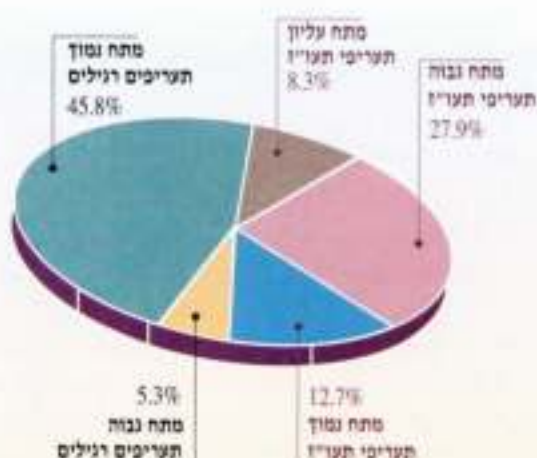
בהזנה ממהפך הפועל בשיטת "180" וכן ממהפך העובר בשיטת

## צריכת החשמל לפי סוג התעריף ומתח האספקה\*

1994  
סה"כ 25,186 מליון קוט"ש



1995  
סה"כ 26,994 מליון קוט"ש



\* מתוך הדין והחשבון הסטטיסטי של חברת החשמל לשנת 1995

# חומרים חדשים בהתקנת כבלים תת-קרקעיים במתח גבוה

מהנדס לאוניד חייקין M.Sc.

בחמש השנים האחרונות קיים מעבר ברור לשימוש רב יותר ברשתות תת-קרקעיות במתח נמוך, במתח גבוה ובמתח עליון, כמסלול העיקרי להולכת חשמל בארץ. מגמה זו גוברת משנה לשנה, למרות העלות הגבוהה יחסית של הרשת התת-קרקעית, וזאת עקב יתרונותיה מההיבט של אמינות האספקה ומההיבט האסתטי.

שוק הכבלים התת-קרקעיים בישראל השתנה לא רק מבחינת הכמויות הגדולות של כבלים ואבזריהם שנרכשו בתקופה האחרונה אלא גם הודות לשימוש בחומרים חדשים ובטכנולוגיות עבודה חדשות. אין ספק שאווירת התחרות בשוק הכבלים הביאה לריענט ולאימוץ טכנולוגיות מתקדמות וחסכוניות יותר, אשר מחייבות את העלאת הרמה המקצועית של העובדים. עם זאת ניתן להבחין בקושי מסוים המלווה את קליטת הטכנולוגיות והחומרים החדשים האלה על ידי חלק מהעובדים העוסקים בתחום זה. הסיבה לכך נעוצה בעיקר בחוסר ידע ובקשיי קליטה והבנה של הטכנולוגיה המתקדמת והחדשנית. מטרתו העיקרית של מאמר זה היא לרענן את הידע בשיטות המקובלות בהתקנת כבלים תת-קרקעיים וכן לעניין את העובדים העוסקים בתכנון, בביצוע ובאחזקת רשתות כבלים תת-קרקעיים בציוד ובחומרים החדשים, באפשרויות השימוש בהם ובשיטות העבודה החדשות.

המאמר יסקור שלושה נושאים חדשנים שנכנסו, או אמורים, להיכנס לשימוש מוגבר בחברת החשמל והם:

- ציוד שקע-תקע – "Cable plug-in system".
- תיבת חיבור (מופה) מיוחדת לתיקון כבל עם בידוד מפוליאתילן מוצלב במתח גבוה – "Repair joint for M.V. cables".
- כבל גמיש למתח גבוה – "Super flexible M.V. cable".

## מבנה

כדי להבין את המשמעות והיתרונות של השימוש בטכנולוגיה החדשה של עבודה בכבלים תת-קרקעיים במתח גבוה, נסקור תחילה את המבנה הבסיסי של כבל מתח גבוה ולאחר מכן את העקרונות של מערכת מגע בסיסית.

## מבנה בסיסי של כבל מתח גבוה

באיור 1 מוצג המבנה הבסיסי של כבל מתח גבוה חנ גידי, המיועד למתח 18/30 ק"ו.

חשוב להבין שלצורך חיבור איכותי של שני כבלים מסוג זה, יש להבטיח את הרציפות של המוליך עצמו וכן את הרציפות של כל אחת מהשכבות המרכיבות את הכבל.

## מערכת מגע בסיסית

ראשית נחזור ונרענן את הידע הקיים בקשר לחלק מהאבזרים הנמצאים בשימוש זה מכבר ברשתות כבלים

תת-קרקעיים. מדובר במערכת מגע בסיסית, אשר משתמשים בה כיום בצורה מוגברת בהתקנה של סופיות ותיבות חיבור (מופות) לכבלים למתח גבוה.

כפי שידוע, ללא תלות באופן ביצוע הבידוד של האבזרים – כיווץ בחום

Heat shrink), או כיווץ "קר" (Cold shrink) או שימוש בחלקים היצוקים מראש (Slip-on fully premolded) – צורת החיבור, כלומר מערכת המגע שלהם, נשארת זהה.

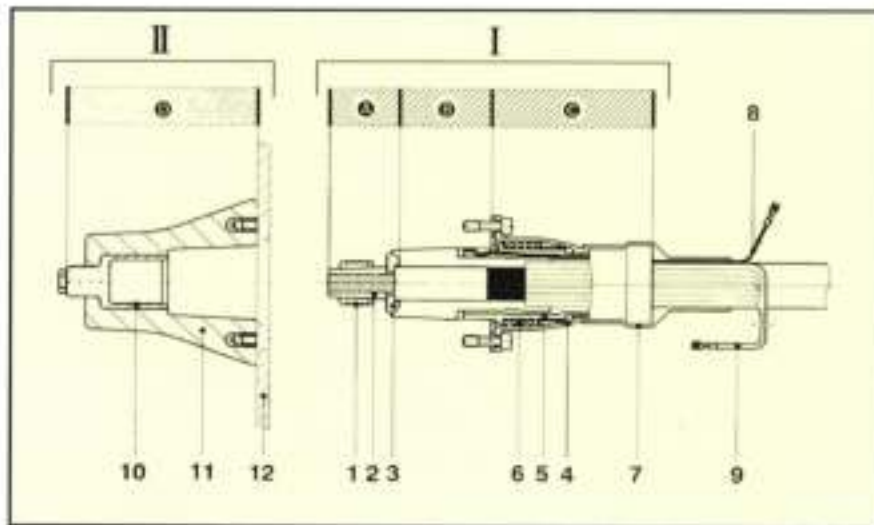
צורת החיבור, בהתקנת סופיות, היא נעל כבל המתחברת לציוד הכוח של



איור 1

מבנה בסיסי של כבל מתח גבוה 18/30 ק"ו חד גידי

חייקין – מחלקת תכנון חשמלי לרשת, הרשת הארצית, אגף השיווק והצרכנות, חברת החשמל



איור 4

**תרשים של מערכת מגע על בסיס שקע-תקע (Cable plug-in)**

- "קונטס" לחיצה מאלומיניום (פרט 2) באיור 4.
- דיסקית נגדית מאלומיניום (פרט 3) באיור 4.

יש צורך לדייק בביצוע ההתקנה של הקונטס מאלומיניום על מוליך הכבל, משום שלפעולה זו יש חשיבות רבה. תוך כדי הכנת הכבל להרכבת הקונטס עליו, יש להקפיד על מידות הורדת בידוד הכבל כפי שמצוין בהוראות העבודה. ביצוע בהתאם להוראות ימנע את בליטת מוליך הכבל מעבר לחלק הצר של הקונטס (ראה איור 5א). במקרה של הרכבה שגויה (ראה איור 5ב) יעבור זרם דרך השטח הקטן

במערכת מגעים איכותית יותר. לפני כמה שנים הוכנסה לראשונה לשימוש בחברת החשמל מערכת מגעים חדשה, אשר נוסתה בחייל והתקבלו עליה חוות דעת טובות מאד. המערכת נקראת מערכת מגע על בסיס שקע-תקע (Cable plug-in system).

כפי שניתן להבחין באיור 4, מערכת מסוג זה מורכבת משני מרכיבים עיקריים:

- תקע ישיר (Cable plug) – I
- שקע (Cable-in socket) – II

**תקע ישיר (Cable plug)**

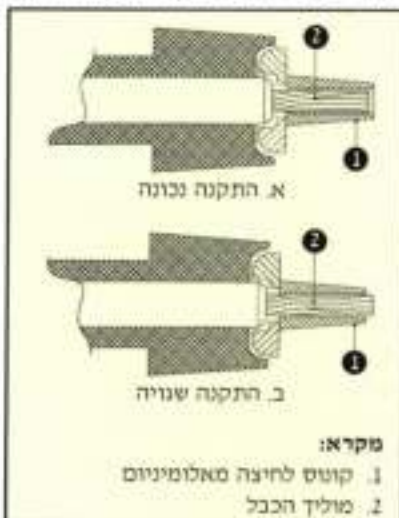
התקע עצמו (פרט I באיור 4) מורכב מהחלקים האלה:

- מערכת המגע (A).
- חלק מבודד שבו שכבה לפיזור השדה החשמלי (B).
- גוף מתכתי (C).

**מערכת המגע (פרט A באיור 4)**

כפי שניתן לראות באיור 4, מערכת המגע החדשה היא בעלת צורה גלילית. יתרונה על פני מערכת מגע "ישטוחה" הוא בכך ששטח המגע של המערכת הגלילית גדול יותר, כך שאפשר להעביר זרמים שעוצמתם גדולה. מערכת המגע הגלילית מורכבת משלושה חלקים:

- טבעת מגע קפיצית מצופה בכסף (פרט I) באיור 4.



מקרא:

- 1. קונטס לחיצה מאלומיניום
- 2. מוליך הכבל

איור 5

**הרכבת קונטס לחיצה על מוליך הכבל**

תחנות טרנספורמציה. באיור 2 מוצג תרשים עקרוני של מערכת מגע מסוג זה.



מקרא:

- 1. ציוד כוח SF<sub>6</sub>
- 2. מבודד (יבושינג'י) של ציוד כוח SF<sub>6</sub>
- 3. מערכת מגע של המבודד
- 4. נעל כבל של הסופית
- 5. בורג חיבור

איור 2

**תרשים עקרוני של מערכת מגע של סופית**

חיבור המוליכים של שני קטעי כבל מתבצע בתיבת חיבור (מופה) באמצעות שרול לחיצה מאלומיניום, מנחושת או, לעתים קרובות, משילוב של שתי המתכות (איור 3).



מקרא:

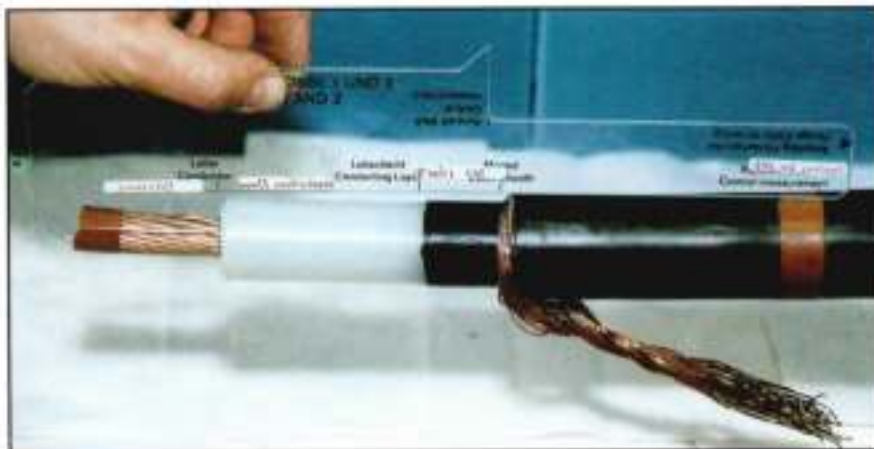
- 1. כבלים
- 2. שרול לחיצה

איור 3

**חיבור כבלים באמצעות שרול לחיצה**

**מערכת מגע על בסיס שקע-תקע (Cable plug-in system)**

מערכות המגע הבסיסיות הן מערכות פשוטות, אוניברסליות ואמינות. אולם, עם שכלול ציוד המתח הנבחר, המאפשר חיבור עומסים גדולים יותר, נוצר צורך

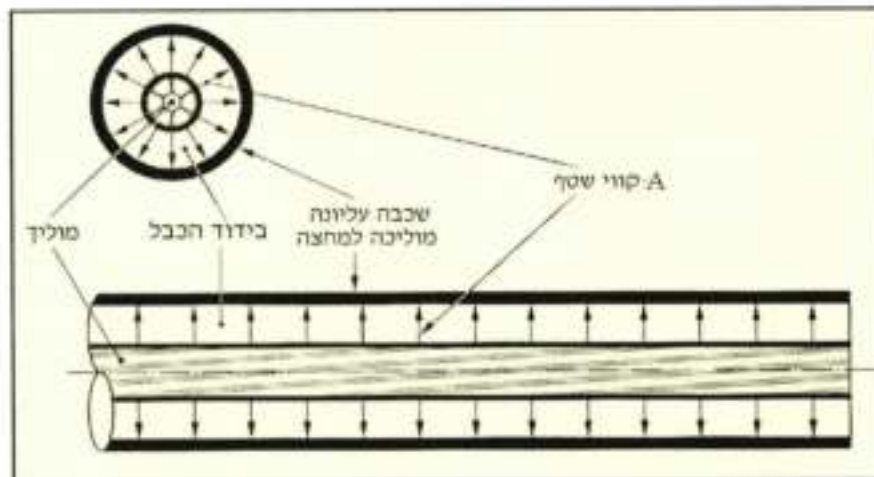


**איור 6**  
בדיקת תקינות הכנת הכבל לקראת חיבורו  
(הבדיקה מבוצעת באמצעות שבלונה מיוחדת)

של קצה המוליך במקום לורום דרך טבעת המגע, דבר שיגרום לכשל של כל המערכת, ואפילו לתוצאות חסרות יותר.

באשר להקפדה על המידות בהכנת הכבל, כדאי לציין שאחד מהיתרונות החשובים של מערכת מגע על בסיס שקע-תקע הוא האפשרות לפקח על תקינות ההרכבה הן בשלב הביניים והן בשלב הסופי, תוך כדי התקנת התקע לשם חיבורו לציוד הכוח.

איור 6 מציג את אופן בדיקת המידות בשלב של הכנת הכבל להתקנה – בדיקת מידת החשיפה של כל שכבה. הבדיקה מתבצעת באמצעות שבלונה מיוחדת המסופקת יחד עם כלי העבודה להרכבת מערכות מסוג זה.



**איור 7**  
השדה החשמלי הרדיאלי בכבל מסוכך

#### החלק המבודד שבו שכבה לפיזור השדה החשמלי (פרט B באיור 4)

כדי להבין את ייעודו של מרכיב זה להלן הסבר עקרוני המתייחס לשדה החשמלי של כבל כוח.

התכנון והמבנה של הכבלים המסוככים, אשר בהם אנו עוסקים, מבוססים באופן עקרוני על שתי תכונות חשמליות:

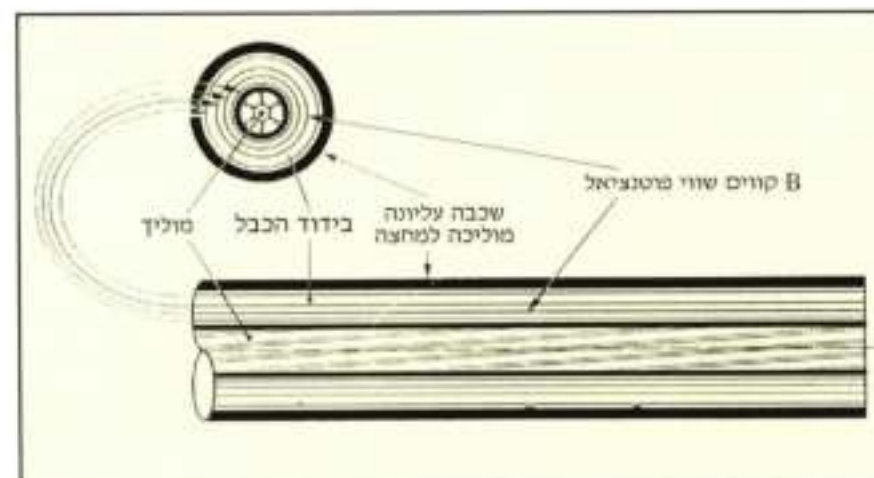
- תכונה רדיאלית, שניתן לייצגה באמצעות קווי שטף (איור 7).
- תכונה אורכית, שניתן לייצגה על ידי קווים שווי פוטנציאל (איור 8).

כדי למנוע כשל של הכבל יש צורך להרכיב על הגיד קונוס המיועד לפיזור השדה החשמלי, אשר מסוקם בקצה השכבה המוליכה למחצה (איור 9).

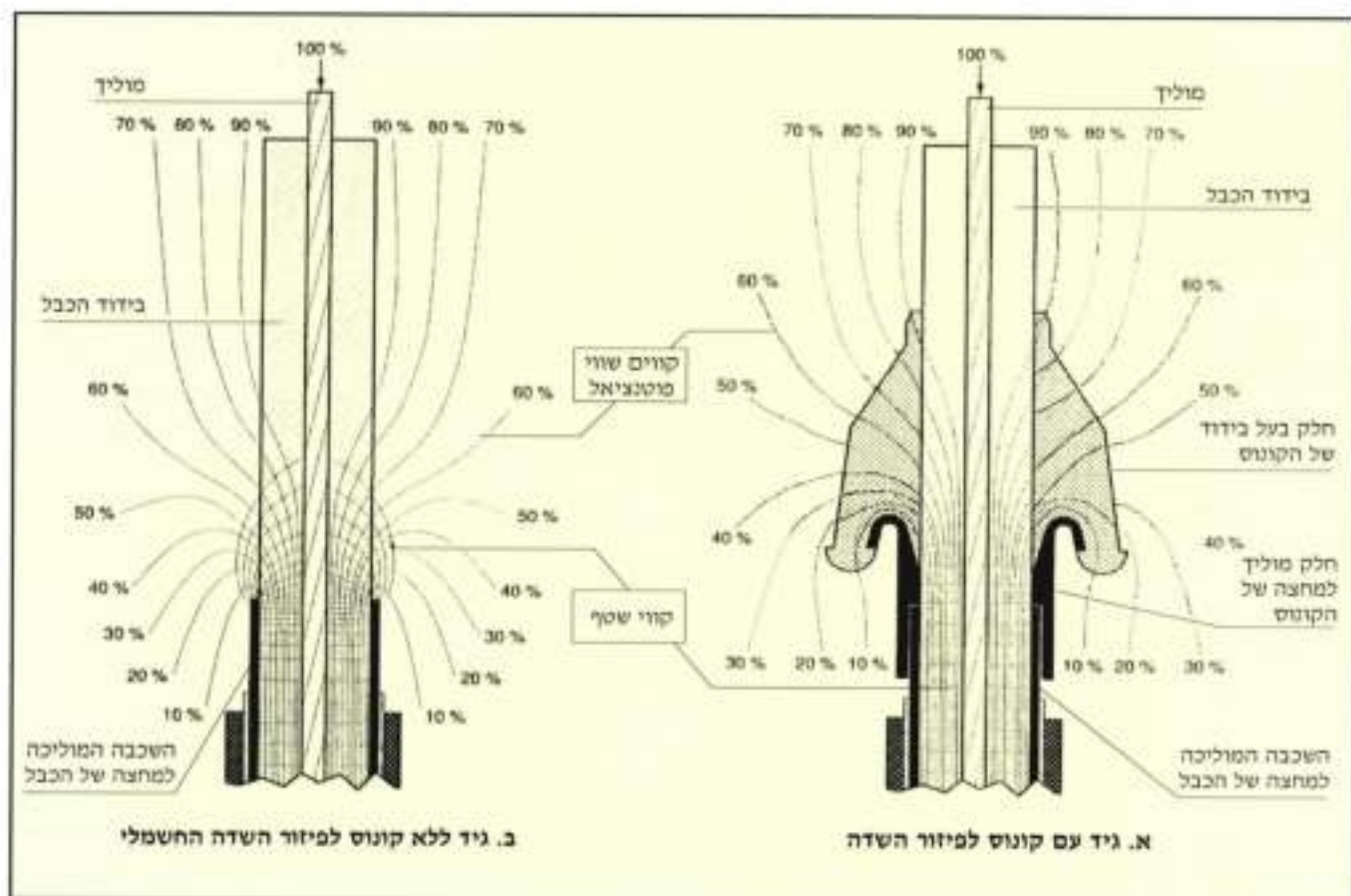
כאשר ציפוי השכבה המוליכה למחצה נפגם, פילוג השדה החשמלי משתנה באופן משמעותי. האוויר האופף את הגיד נהיה דחוס וגם החומר המבודד בכבל נדחס בקירבת האזור הפגום (איור 9).

הקונוס לפיזור השדה החשמלי (Stress relief cone) מיוצר מגומי סיליקון באיכות גבוהה. החלק העליון מבודד והחלק התחתון הוא שכבה מוליכה למחצה.

חיבור הקונוס לכבל מבוצע באופן המבטיח רציפות של השכבה המוליכה למחצה ושל שכבת הבידוד.



**איור 8**  
השדה החשמלי האורכי בכבל מסוכך



איור 9  
השדה החשמלי בכבל מסוכך

**אפשרויות השימוש במערכת מגע על בסיס שקע-תקע**

להלן סקירה על השימוש הייעודי במערכת מגע על בסיס שקע-תקע וכן על שלושה יישומים נוספים, כפי שנטסו בחברת החשמל בלבד.

**תקע של כבל מתח גבוה (איור 10)**

הייעוד העיקרי של האבורים השייכים למערכת מגע על בסיס שקע-תקע (Cable plug-in) הוא חיבור של כבלים תת-קרקעיים במתח גבוה באמצעות תקע (Cable plug) לציוד כוח של מערכות SF<sub>6</sub>. השקע (Plug-in socket) הוא חלק אינטגרלי של ציוד זה.



איור 10  
תקע של כבל מתח גבוה

- ניתן לחבר את מוליך המדידה (פרט 8) באיור 4) למכשיר חייווי, אם יש צורך בכך ואם המערכת אינה מצוידת במכשיר כזה. את מוליך המדידה ניתן לחבר לפס ההארקה של ציוד ה-SF<sub>6</sub>.
- מוליכי סיכוך של הכבל עצמו (פרט 9) באיור 4) מתחברים, בדרך כלל, לפסי ההארקה של ציוד ה-SF<sub>6</sub>. במקרים מסוימים ניתן לחבר את מוליכי הסיכוך לנוף מתכתי של התקע. הסבר על אפשרות זו מופיע בהמשך המאמר.

**השקע (Plug-in socket)**

- השקע (פרט II באיור 4) מורכב מהחלקים האלה:
- מערכת מגע נלילית המותאמת לגודל טבעת המגע של התקע (פרט 10) באיור 4).
- מבדד (11).
- נוף השקע (12).

**הנוף המתכתי של התקע (פרט C באיור 4)**

תפקידו של הנוף המתכתי הוא לאפשר את החיבור המכני של מערכת המגע של התקע למערכת המגע של השקע.

הנוף המתכתי מורכב מהחלקים האלה (ראה איור 4):

- אוגן (Flange) בנוי בצורת "פעמון" (פרט 4) באיור 4).
- שרוול לחיצה מתכתי (5).
- קפיץ לחיצה (6).
- שרוול מתכווץ בחום (7).
- מוליך מדידה (8).
- מוליך סיכוך (9).

הבהרות:

- השרוול המתכווץ בחום (פרט 5 באיור 3) מיועד לאטום את התקע, ולמעשה לאטום את המערכת כולה, לאחר חיבור התקע לשקע.



**איור 13**  
**שקע לבדיקת כבלים**  
(Cable test socket)

ביצוע בדיקות מתח יתר של כבלים למתח גבוה בתחנות משנה.

הכיפה לבדיקת כבלים למתח גבוה מהווה למעשה את השקע (Plug-in socket), שאינו נמצא בתוך ציוד ה-SF<sub>6</sub>, והוא בודד ומבודד כולו. לאחד מהקצוות של הכיפה לבדיקת כבלים מחובר כבל בדיקה שיש לו קשר חשמלי עם מערכת המגע של השקע. לצורך בדיקת מתח יתר הכיפה מתחברת סגירה סופית (Cable plug), המותקנת על הכבל ולאחר מכן כבל הבדיקה מחובר לספק מתח ישר (≈ 70 kV).

### רציפות הסייכות

הדבר המעניין במבנה של המחבר למתח גבוה הוא המגשר המוליך (פרט 4 באיור 12) בין הברגות החיבור, משני צידי המחבר. באמצעות מגשר זה ניתן להבטיח את רציפות הסייכות של שני חלקי הכבלים המחוברים באמצעות המחבר למתח גבוה. במקרה זה, מוליכי הסייכות של הכבל מתחברים לאוגן של הגוף המתכתי של התקע באמצעות סרט הצמדה מתכתי. הקשר החשמלי בין שכבות הסייכות של שני הכבלים המחוברים באמצעות המחבר למתח גבוה מתבצע באופן הבא:

מוליכי הסייכות של כבל אחד (פרט 9) באיור 4) מתחברים אל אוגן הגוף המתכתי של התקע בכבל זה. המשך החיבור המתברגת של התקע אל מערכת המגשר מוליך של המחבר למתח גבוה (פרט 4) באיור 12). המגשר מוליך מתחבר אל מערכת החיבור המתברגת של תקע הכבל השני, ומכאן אל עוגן הגוף המתכתי בתקע השני וממנו אל מוליכי הסייכות של הכבל השני.

### מערכת לבדיקת כבלים למתח גבוה

איור 13 מציג כיפה לבדיקת כבלים למתח גבוה (Cable-testing socket). הכיפה לבדיקת כבלים מאפשרת את

### מחבר (מוספה) למתח גבוה

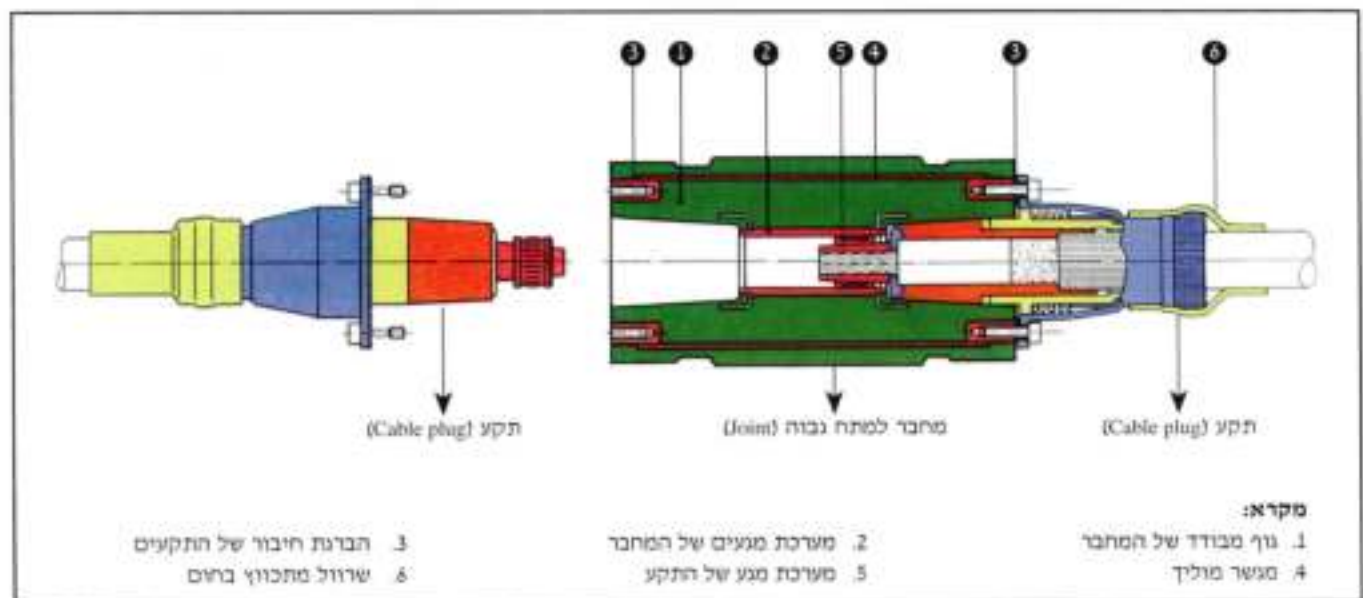
איור 11 מציג מחבר למתח גבוה הבנוי על מערכת מגע על בסיס שקע-תקע.



**איור 11**  
**מחבר למתח גבוה**  
(Cable plug-in system)

ניתן להשתמש במחבר למתח גבוה כתיבת חיבור מהירה לקווי כבלים במיתקנים קבועים, לקווי כבלים להתקנה זמנית, לקווים תת-קרקעיים ולקווים המונחים על פני הקרקע. נציין כי כאשר משתמשים במחבר זה כתיבת חיבור זמנית הוא מהווה ציוד רב שימושי (פרט לקונוס הלחיצה מאלומיניום).

בשרטוט מפורט של מערכת המחבר למתח גבוה (איור 12), ניתן לראות שהמחבר למתח גבוה מהווה למעשה שילוב של שני שקעים (Plug-in socket), בעלי מערכת מגע משותפת, המורכבים על הכבלים.



**איור 12**  
**תתן של מערכת מחבר למתח גבוה (Cable plug-in system)**

**מקרא:**  
1. גוף מבודד של המחבר  
2. מערכת מגעים של המחבר  
3. תברגת חיבור של התקעים  
4. מגשר מוליך  
5. מערכת מגע של התקע  
6. שריון מתכווץ בחים

## מערכת למניעת סכנת הישמול בכבלים הנמצאים תחת מתח

איור 14 מציג כיפה המיועדת לבידוד קצה של "כבל חי", המחובר רק מצד אחד למיתקן חשמל, והקצה השני שלו טמון באדמה ומוכן לחיבור בעתיד. לצורך בידוד כבלים מסוג זה משתמשת לאחרונה חברת החשמל בהתקן מיוחד המתבסס על מערכת מגע על בסיס שקע-תקע (Cable plug-in system). בקצה "החופשי" של כבל המתח הנבנה מתקינים תקע (Cable plug), עליו מתחברת היכיפה.

פריט זה, כמו המריט הקודם, מהווה גם את השקע (Plug-in socket), שאינו חלק אינטגרלי של ציוד SF<sub>6</sub>, אלא בודד ומבודד כולו.



איור 14

מערכת למניעת סכנת הישמול

## אפשרויות להקטנת עלות התיקון של כבלים למתח גבוה בעלי בידוד מבוליאתילן מוצלב (XLPE)

פיתרון לבעיה זו נמצא באזור חדש, אשר הוכנס לאחרונה לשימוש בחברת החשמל.

### תיבת חיבור (מופה) לתיקון של כבלים בעלי בידוד מפוליאתילן מוצלב ללא שריון (Repair joint for M.V. cables)

כידוע, בעת פריצה אופונית בכבל מתח גבוה נפגע, באופן ממוצע, קטע של 100-200 מ"מ מרוץ הכבל.

כשיטות הטיפול הקודמות היו מסלקים את הקטע הפגום ומחברים באמצעות

שתי תיבות חיבור כבל חדש לשני הקצוות החשופים של הכבל הקיים, תרשים של אופן ביצוע התיקון מוצג באיור 15 א.

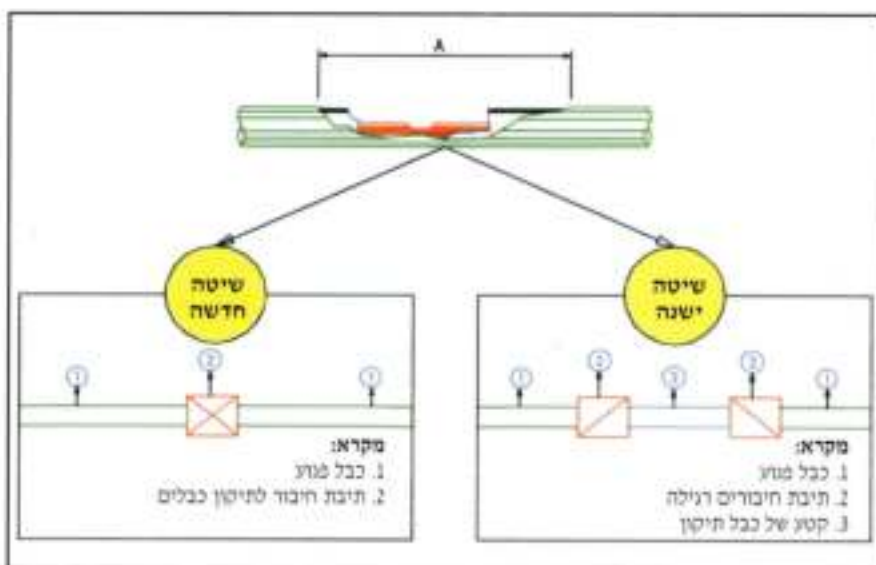
מענה חדשני לבעיה נמצא במיתוח תיבת חיבור מיוחדת, ארוכה במעט מתיבת חיבור רגילה, המשלבת קטע כבל קצר, כגשר על פני הקטע שנפגע והורחק, בשיטה זו (כפי שאפשר לראות באיור 15 ב') און צורך בתוספת קטע כבל (של מספר מטרים) וגם לא בשתי תיבות חיבור.

כיום מייצרים תיבות חיבור מסוג זה לתיקון כבלים בעלי בידוד מפוליאתילן

מוצלב (XLPE) ללא שריון, 24 ק"ו אשר החתך שלהם 150 סמ"ר ו-300 סמ"ר וכמו כן לכבלים 36 ק"ו בעלי חתך של 150 סמ"ר. חשוב לציין כי בכבלים 24 ק"ו ניתן להשתמש בשיטה זאת בתנאי שאורך היפגיעה בכבל "A" (איור 16) לא יהיה גדול מ-450 מ"מ ולכבלים 36 ק"ו – לא יותר מ-350 מ"מ.

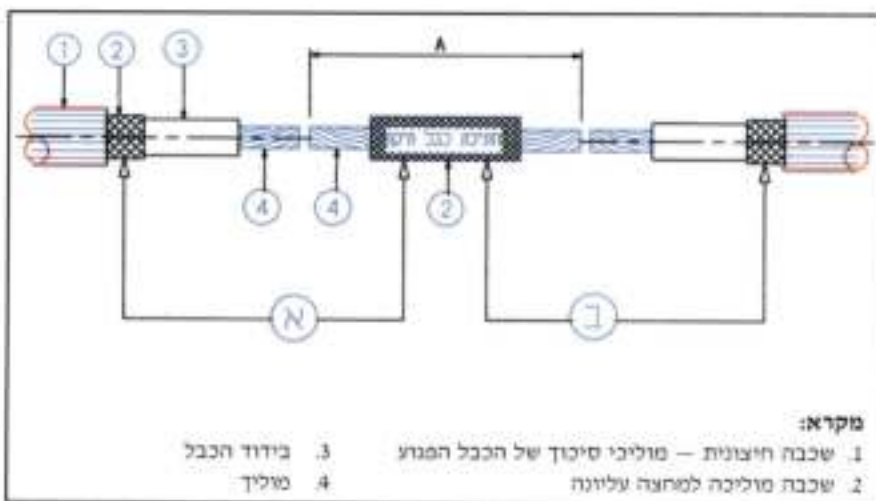
הטכנולוגיה של תיקון הכבל באמצעות תיבת חיבור פשוטה מאד, תרשים עקרוני של עבודה זו מוצג באיור 16.

כפי שניתן לראות באיור 16, חותכים את הקטע הפגוע בנקודת הכשל של הכבל ובמקומו מתקינים קטע של "כבל



איור 15

תרשים תיקון של כבל מתח גבוה בעל בידוד פוליאתילן מוצלב ללא שריון



איור 16

תרשים עקרוני של תיקון כבל באמצעות מופת תיקון





איור 18

מערכת של תיבת חיבור לתיקון של כבל XLPE, 24 ק"ו 300 ממ"ר

תאי השנאים ובין השנאים עצמם בתחנות טרנספורמציה פנימיות וביחוד בתחנות טרנספורמציה זעירות (נת"ז) עם ציוד SF<sub>6</sub>.

הבידוד של הכבל הגמיש (EPR), להבדיל מבידוד הכבל המסורתי בעל בידוד מפוליאתילן מוצלב (XLPE), עשוי מגומי של אתילן-פרופילן באיכות גבוהה, שיחד עם המוליך הגמיש של הכבל, מבטיחים אלסטיות גבוהה. באיור 19 ניתן לראות בבירור את גמישותו של כבל זה. נציין כי רדיוס הכיפוף של כבל בעל בידוד מפוליאתילן מוצלב (XLPE) בעל שטח זהה הוא כ-1 מטר.



איור 19

כבל גמיש למתח גבוה  
18/30 ק"ו 50 ממ"ר

הכבל הגמיש בעל בידוד מ-EPR אינו נחות בתכונותיו החשמליות מהכבל הנמצא כיום בשימוש רגיל. השוני העיקרי של כבל זה בהשוואה לכבל הרגיל הוא בכך שהשכבה המוליכה למחצה העליונה (בניגוד לשכבה

### כבל גמיש למתח גבוה

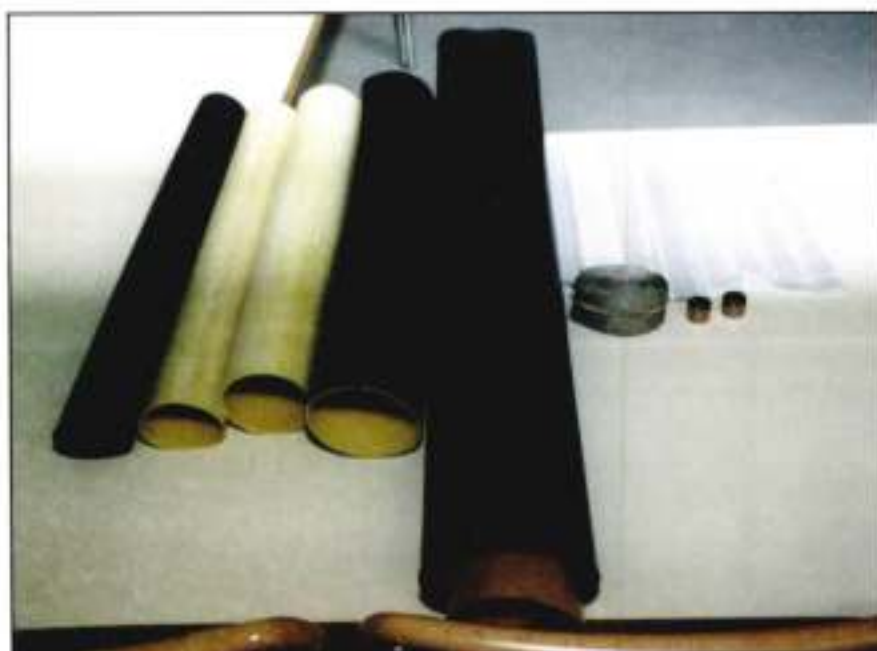
לשנים תנאי השטח מחייבים להשתמש בכבלים למתח גבוה כך שניתן לכופפם תוך יצירת רדיוס כיפוף קטן. במקרים אלה ניתן להשתמש בכבל גמיש למתח גבוה בעל בידוד מ-EPR. כבל מסוג זה אמור להיכנס בקרוב לשימוש מאסיבי בחברת החשמל. בשלב הראשון עיקר השימוש בו יהיה להתקנות מנשרים בין

תיקון, שאורכו 450 מ"מ (במקרה של כבל 24 ק"ו) או שאורכו 350 מ"מ (במקרה של כבל 36 ק"ו). לאחר מכן מחברים את קצוות המוליכים של כבלים אלה באמצעות שרוללי לחיצה.

לאחר ביצוע לחיצה באיזורים "א" ו-"ב" של הכבלים "בוניס" שתי תיבות חיבור רגילות, וזאת באמצעות ציוד הנמצא בערכה של תיבת החיבור המיועדת לתיקון. מהניסיון המועט בעבודות עם תיבות חיבור מסוג זה נראה, כי תהליך הביצוע פשוט בהתייחס לאופן ביצוע העבודה ולא נתגלו בעיות או תלונות בקרב העובדים.

עד הוכיח הנסיון כי טכנולוגיית תיקון הכבל באמצעות תיבת חיבור לתיקון של כבלים חסכונית מבחינת עלות החומרים, מבחינת זמן ביצוע עבודות התיקון והזמן הנדרש לביצוע עבודות העזר (חפירה וכו').

איור 17 מציג מערכת של תיבת חיבור רגילה. כפי שצויין יש צורך בשתי יחידות כאלה לצורך עבודת תיקון. לעומת זאת מערכת של תיבת חיבור לתיקון של כבלים (איור 18) מכילה פחות חלקים בהשוואה לתכולת תיבת החיבור הרגילה ואף קטנה ממנה.



איור 17

מערכת של תיבת חיבור רגילה לכבל XLPE ללא שריון

הרוחבי. פעולה זאת נעשית בוהירות תוך כדי חימום מתמיד של רצועות השכבה המוליכה למחצה, כפי שמוצג באיור 22.

מהאמור לעיל עולה כי הצלחה בהתקנה ובחיבור של כבל גמיש למתח גבוה תלויה, ברוב הטיקרים, במיומנות המקצועית של המבצע. לפיכך מומלץ לאפשר לצוות המבצע להתאמן בתהליך העבודה, לפני ביצוע עבודות בשטח.

הניסיון מראה שאיטון העובד מקנה לו מיומנות רבה יותר, מהירות הביצוע גדלה ואיכות העיבוד של הכבל טובה יותר, וכך ניתן להגיע כמעט למהירות העיבוד של כבל בעל בידוד מפוליאטילן מוצלב (XLPE).

### סיכום

במאמר זה נסקרו שלושה נושאים חדשניים בתחום התקנת כבלים תת-קרקעיים במתח גבוה.

השימוש באבזרים ובציוד שתוארו במאמר מפשט את העבודה ונותן מתרונות ייחודיים המתאימים לאילוצים שונים של מיקום ההתקנה ושל תנאי השטח, אולם הוא מחייב הקפדה על ביצוע העבודה בהתאם להוראות והנחיות היצרנים ובהתאם לנסיון המצטבר.

בחברת החשמל נכתבו הוראות התקנה מנימיות של ציוד ואבזרים מסוג זה, המבוססות על הנחיות והוראות היצרנים ועל הניסיון שנצבר בחברת החשמל במהלך השימוש והתקנות של הציוד האמור.

לאחר חיתוך השכבה המוליכה למחצה מתחילים לחמם את קטע הכבל, המיועד לקילוף. חימום טוב הינו תנאי נוסף לקילוף מוצלח של השכבה המוליכה למחצה.

ניתן להשיג חימום טוב באמצעות להבה פתוחה של מבער או באמצעות אוויר חם המופץ ממאוורר חשמלי (Fan), הדומה למייבש שיער. אם הדבר ניתן, מומלץ להשתמש במאוורר חשמלי המספק חימום טוב, ובו בזמן אינו גורם לנזקים הן לשכבה המוליכה למחצה המעובדת והן לבידוד הכבל. חימום באמצעות מאוורר חשמלי מוצג באיור 21.



איור 21  
חימום השכבה המוליכה למחצה של כבל באמצעות מאוורר חשמלי

תהליך הקילוף מתחיל בקילוף הדרגתי של השכבה המוליכה למחצה מבידוד הכבל, מקצה הכבל ועד לחתך

המוליכה למחצה של כבל בעל בידוד מפוליאטילן מוצלב (XLPE) "מתקלפת" באופן יחסי בקלות לאחר עיבוד תרמו. לכן, מכנים את הכבל בעל שכבה מוליכה למחצה "מתקלפת" בענה המקצועית בשם "בננה".

נוכח תכונות אלה משתמשים לעיבוד כבלים גמישים בשיטות מיוחדות. בראש ובראשונה אין צורך להשתמש בכלים המקובלים לקילוף השכבה המוליכה למחצה וחוזרים ל... סכין.

להלן הנחיות לעיבוד הכבל הגמיש החד ידוי למתח גבוה על סמך הניסיון שנרכש בחברת החשמל.

הורדת המעטה החיצוני אינה מהווה קושי והפעולה דומה לפעולה שנעשית בכבל בעל בידוד מפוליאטילן מוצלב (XLPE). לעומת זאת, קילוף השכבה המוליכה למחצה העליונה דורש זהירות רבה בעת ביצוע הפעולה. להב הסכין הייפנית צריך להיות מכוון למרחק יציאה מזערי (איור 20).



איור 20  
חיתוך שכבה מוליכה למחצה של כבל מתח גבוה גמיש

לאחר מכן, במקום הסימון, בהתאם למידה המתוארת בהוראת העבודה, יש לבצע חיתוך בהיקף הכבל ומטו מספר חיתוכים אורכיים עד סוף הקטע המעובד של הכבל. בדרך כלל היצרן מציע לבצע 3-4 חתכים, אבל הניסיון מראה שלא תמיד די בכך וכי עם הורדת פסים רחבים מהשכבה המוליכה למחצה יורדת גם שכבת בידוד, דבר שאסור שיקרה. לכן מומלץ לבצע 6-8 חתכים וחשוב לבצע פעולה זו בוהירות כדי לא לפגוע בבידוד של הכבל.



איור 22  
תהליך קילוף של שכבה מוליכה למחצה של כבל למתח גבוה גמיש

# ההתייחסות של חברות חשמל בחו"ל לצרכנים הרגישים להפרעות באספקת החשמל

מהנדס בודיס שוורץ

מיתקני צרכנים מסוימים רגישים במיוחד להפרעות חולפות באספקת החשמל, והנזקים העלולים להיגרם להם כתוצאה מהפרעות קצרות אלה, הם לעתים גדולים ביותר. בידיעה שאין דרך טכנית להבטיח אספקת חשמל ללא כל הפרעה, ושאינן הצדקה כלכלית להתאים את משקי החשמל הלאומיים לרמת האמינות הנדרשת על ידי הצרכנים הרגישים ביותר – ראוי לבחון את הדרכים למציאת פתרונות ספציפיים לפי סוג הציוד, רמת רגישותו וההיבטים הטכנו-כלכליים השונים.

מאמר זה מציג את התייחסותן של חברות חשמל בחו"ל לנושא וסוקר גורמי הפרעות סוגי ציוד רגיש, לפי סוג ההפרעה, ומודל של שלבים לגיבוש פתרון מתאים כפי שהם מופיעים בחומר שמורסם על ידי חברות אלה.

## חבוא

במסגרת פעילותה של חברת החשמל לשיפור אמינות האספקה נערכים ביקורים של נציגי החברה במפעלים בכלל, ובמפעלים שבהם קיימים מיתקנים ומתקיימים תהליכים הרגישים במיוחד לאמינות האספקה – בפרט, במהלך הביקורים הושמעה לעתים טענה, שעל פי שיחות עם עמיתים מחו"ל ניתן ללמוד, שמפעלים מקבילים בחו"ל אינם סובלים כלל מנזקים הנגרמים בעקבות הפרעות חולפות ברשת אספקת החשמל בארצותיהם. נציגי המפעלים הישראליים פירשו את הדבר כאילו מערכות האספקה של חברות החשמל בחו"ל נטולות הפרעות מסוג זה.

במטרה לבחון את המצב בארצות מפותחות אחרות, להכירו, ובמידת האפשר גם ללמוד ממנו, נעשתה פנייה לעשרים חברות חשמל החברות, כחברת החשמל הישראלית, ביוניפד (UNIPED) – ארגון חברות החשמל האירופאי – המאגד בתוכו גם חברות חשמל אחדות מארצות שמחוץ לאירופה.

הפנייה התייחסה לשאלת עצם קיומה

מבוסס על הרצאה בסדנה שנערכה בנושא "פתרונות למיתקני לקוחות רגישים לאמינות אספקת החשמל".

בי שוורץ – סגן מנהל המחלקה ליתול הצריכה, אגף השיווק והצרכנות, חברת החשמל

"סוגרת פערים" ועל פי התוכניות תשתיות בעתיד הקרוב לרמה המקובלת באירופה.

כאשר השיפורים מחייבים יותר בדיקות ופתרונות ספציפיים, יש חשיבות יתר להכרה ולהבנה של המגבלות הקיימות במערכות של חברות החשמל, להבנת הבעיות הטכניות במפעלים ובתהליכים השונים ולהכרת הפתרונות האפשריים וההיבטים הכלכליים, וכן גם להסברה, לייעוץ, לשיתוף פעולה וללימוד ממה שקורה בארצות אחרות. עם זאת ברור שכמו באירופה, כך גם אצלנו, לא ניתן לעולם להבטיח אמינות של 100 אחוז ולמנוע באופן מוחלט הפרעות חולפות.

## ההפרעות והיחס אליהן באירופה

עשר החברות שנענו לפנייה שלחו חומר רב ומגוון הכולל פרטים, חווי אספקה, חוברות הסברה וכד'. באופן כללי מצטיירת תמונה ברורה במערכות. בכל הארצות האמורות קיימים כל סוגי ההפסקות וההפרעות החולפות שאנו מכירים: הפסקות חשמל קצרות, שקיעות מתח, גלי מתח יתר, אסימטריה של מתחים, הרמוניות וכד'. כל החברות בחו"ל ציינו כי הן מביאות מידע לצרכנים בנושאים אלה, כולל מידע ספציפי לצרכנים רגישים, אך אינן נושאות באחריות כלשהי עקב הפרעות אלה.

כל החברות ציינו, כמובן, שהן דואגות ומנסות לשמור על רמה גבוהה של אמינות ואיכות באספקת החשמל, ורובן

של בעיית הפסקות החשמל החולפות בארצות השונות ולמודעותן של חברות החשמל לקיומם של צרכנים רגישים להפרעות אלה, לצעדים הננקטים להתמודדות עם ההפרעות ובייחוד לשאלה אם הפעולות מבוצעות על ידי הצרכנים עצמם במיתקניהם, או שהן מבוצעות על ידי חברות החשמל.

עשר מתוך עשרים החברות שאליהן בוצעו הפניות, נענו והשיבו: חברת החשמל האוסטרית (BEWAG), חברת החשמל האיטלקית (ENEL), החברה האירית (RSB), החברה הבריטית (SWEB), תאגיד חברות החשמל בגרמניה (EWE), החברה ההולנדית (REMU), חברת החשמל של פורטוגל (EDP), תאגיד חברות החשמל בפינלנד (Suomen Sähkölaitosyhdistys R.Y), החברה הקנדית (Hydro-Quebec) והחברה השוודית (Stockholm Energi). לא כל החברות שנענו לפנייה השיבו לכל השאלות, ולא כולן באותה רמה של פירוט. עם זאת החומר הרב שהתקבל עם פרסומים נוספים מהעולם הנמצאים ברשותנו מאפשרים להציג תמונה כוללת וממצה, כפי שזה נעשה בהמשך המאמר.

הכרת המצב ולימוד מנסיוןן של חברות חשמל ושל התעשיות והצרכנים הרגישים בארצות מפותחות אחרות, חשובים במסגרת שיתוף הפעולה המתרחב בין חברת החשמל לצרכנים ולמפעלים בישראל, ובייחוד עתה, כאשר התעשייה סתפתחת בקצב מהיר וצריכה לעמוד בתחרות בינלאומית, וכאשר רמת אמינות האספקה בישראל

את רמת האמינות הנדרשת באזור שבו הצרכן מבקש לקבלו.

גם שירותי הייעוץ של חברת החשמל הצרפתית, במסגרת "שירות איכות פלוס" ניתנים רק לאחר בדיקה סוקדמת ובמסגרת הסכם שבו נוטלת על עצמה חברת החשמל את האחריות שהפתרון שיוצע על ידה יתפקד כנדרש. החווה קובע גם את התחייבויות החברה אם הפתרון המוצע לא יענה על דרישות הצרכן ויגרום לו בכך נזקים בלתי צפויים.

להבדיל מאספקת החשמל ברמת אמינות מוגברת – שירות "מערכת פלוס" – שירות שאותו יכולה להציע רק חברת החשמל הצרפתית, הרי את שירותי הייעוץ הניתנים במסגרת "שירות איכות פלוס" מספקים גם חברות ייעוץ פרטיות. כך יכול הצרכן הצרפתי להשוות בין הצעתה של חברת החשמל הצרפתית ובין הצעות אחרות ולבחור את הגורם שייעץ לו בניבוש הפתרונות המתאימים לדרישות האמינות והאיכות של אספקת החשמל הנחוצות לו לצורכי הציוד הרגיש שלו.

## ציוד רגיש להפרעות באספקת החשמל

עמדנו על כך שחברות החשמל בחו"ל מייחדות תשומת לב רבה להסברה ולהפקה של חומר הסברה בכתב, בכל הנוגע לנושאים האלה: אמינות ואיכות של אספקת החשמל, ציוד הרגיש להפרעות באספקת החשמל, פעולות המיועדות למנוע נזקים הנובעים מהפרעות באספקת החשמל (נאותם מקרים שבהם שיעורי הנזק מצדיקים את ההשקעות לשיפור האיכות והאמינות מעבר לסטנדרטים המקובלים), דרכים לניבוש פתרונות המתאימים לצרכן. אף שהדברים ברובם ידועים ומוכרים לו ולרוב אנשי המקצוע, מעניין לחזור ולבדוק נושאים אלה, כפי שהם משתקפים בחומר ההסברה שהתקבל מחברות החשמל בחו"ל.

טבלה 1 מציגה פירוט של סוגי הפרעות קצרות ורשימה של סוגי ציוד הרגישים להפרעות אלה כפי שהם מופיעים בחוברת הסברה שהתקבלה מתאגיד

ספורט שהתקיימו באינטרדיינים שבהם לא התוקנו מערכות ניבוי מתאימות. בעקבות הפרעה קצרה נדרשו עוד דקות רבות עד שמיתקני התאורה חזרו לתפקד במלוא תפוקתם.

נורות הפריקה רגישות גם לעיוותי גל (הרמוניות). נורות הליבון רגישות פחות להפרעות חולפות, אך הן רגישות להפסקות קצרות שמשכן ארוך מחצי שנייה, כמו גם לגלי מתח יתר.

מגענים וממסרים רגישים לשקיעות מתח חולפות וקצרות. מידת הרגישות תלויה בסוג הממסר, אך אין כמעט ממסר או מגען העומד בשקיעת מתח בשיעור של 60 אחוז מהמתח הנקוב, כאשר מתרחשת שקיעת מתח מסוג זה כמעט כל הממסרים והמגענים "נופלים". שרשרת ניתוקים זאת מנתקת את אספקת החשמל למנועים ולעומסים חיונים אחרים, ובכך עלולה לגרום לנזק ניכר.

חברות החשמל בגרמניה. ההפרעות החולפות המוזכרות הן: שקיעות מתח (מוגדרות כשקיעה של המתח בשיעור של יותר מ-10 אחוז ועד 100 אחוז), גלי מתח יתר, עיוותי גל ואסימטריה של מתחים.

לשקיעות מתח בשיעורים ניכרים יש השפעה רבה על סוגי ציוד רבים. ההשפעה על תפקוד המיתקן והנזקים הנגרמים לו גוברים ככל שעוצמת השקיעה גדולה יותר ומשכה ארוך יותר.

לא רק מנועים, ציוד אלקטרוני ומכשירים מתוחכמים רגישים לשקיעות מתח קצרות, המכונות לעתים "הפסקות קצרות" אלא, גם מערכות תאורה. נורות פריקה – נורות נתרן לחץ גבוה, נורות כספית, נורות מטל-הליד וכו' – רגישות במיוחד לשקיעות מתח. די בהפרעה חולפת הנמשכת פחות מחצי שנייה כדי לשבש את פעולתן. (ניזכר בהפסקות הממושכות שנגרמו באירועי

### טבלה 1

ציוד רגיש להפרעות קצרות באספקת החשמל

פירוט ההפרעות	תיאור הציוד					
	אסימטריה של מתחים	עיוותי גל (הרמוניות)	גלי מתח יתר	שקיעות מתח		
				עד 0.5 שניות	0.5-30 שניות	מעל 30 שניות
נורות ליבון			V	V		
נורות פריקה		V		V	V	
מגענים, ממסרים				V	V	
מדחסים				V	V	
חימום דיאלקטרי				V	V	
ליזרים				V	V	
קבלים		V				
מנועים	V	V		V	V	
מישורים ועמעמים		V				
אינטורטור				V	V	
פיקוד סמתי, מחשבים	V	V	V	V	V	

לשקיעות מתח הנמשכות יותר מחמש עשיריות השנייה רגישים גם מדחסים, מיתקני חימום בשיטה המכונה "חימום דיאלקטרי" (חימום בתדר רדיו וחימום בגלי מיקרו), לייזרים ומנועים. לעומתם, אינורטורים וציוד אלקטרוני (פיקוד סיפרתי, מחשבים) נמנים עם הציוד הרגיש גם להפסקות חולפות הנמשכות פחות מחצי שנייה.

ידוע שקבלים רגישים ביותר לעיוותי גל (הרמוניות) וכך גם מיישרים, עמעמים ומנועים.

גלי מתח יתר עלולים לגרום נזק במיוחד לציוד אלקטרוני – פיקוד סיפרתי ומחשבים – וכן למנועים, משום שהבידוד שלהם עלול להיפגע. (הבידוד נועד לעמוד ברמות מתח מוגדרות. ככל שגל המתח נושא אמפליטודה גבוהה יותר ונמשך זמן רב יותר כך גדלה ההסתברות שהבידוד ייפגע).

אסימטריה של מתחים משפיעה במיוחד על מנועים ועלולה לגרום לחימום יתר של מנועים תלת מופעיים. כמו כן היא גורמת לנזקים ולשיבוש פעולתו של הציוד האלקטרוני.

מטרתו של המידע המופיע בטבלה 1 (אשר כאמור מקורו בחוברת הסברה של תאגיד חברות החשמל בנרמניה) הוא להביא להגברת המודעות בקרב צרכני החשמל, לאמור: הפרעות מסוגים אלה קיימים, במידה זו או אחרת, בכל מערכת חשמל. אם צרכן מפעיל ציוד רגיש להפרעות אלו, עליו לדעת שפעולת הציוד עלולה להשתבש ועלולים להיגרם לו נזקים. לפיכך, עליו לשקול ולבדוק, אם כדאי לו לנקוט פעולות ולהשתמש באמצעים נוספים שתכליתם למנוע את השפעת ההפרעות על הציוד הרגיש. מודל לבדיקה ולתהליך קבלת החלטות בנושא זה מוצג בהמשך.

## גורמים להפרעות באספקת החשמל שמקורן במיתקני הצרכן

בתחילת הדברים הוזכרה העובדה שלא כל ההפרעות מקורן ברשת של חברות החשמל וכי קיימים גורמי הפרעה שונים במיתקני הצרכן. יש מקרים שבהם

גורמי ההפרעה שמקורם במיתקן הצרכן יגרמו הפרעה לו, ויש שהם יגרמו להפרעה, דרך הרשת של חברת החשמל, לצרכנים אחרים הניזונים מאותה רשת.

חברות החשמל בעולם מיידעות את הצרכנים בדבר הסוגים השונים של גורמי הפרעה שמקורם במיתקני הצרכן. אנו נעשה זאת כאן בהסתמך על החומר שהתקבל מחו"ל הדבר מיועד להבהרת הנשא כחלק משיתוף הפעולה לצורך השגת שיפורים (אשר מחייב, כאמור, הכרה והבנה הדדיים של הבעיות), ולא כדי להאשים.

חברות החשמל שואפות ופועלות לכך שציוד הפועל במיתקני הצרכנים יפעל בהתאם לחוק ולכללים, ולא יזהם את הרשת של חברת החשמל, ובכך יגרום נזק לצרכנים אחרים הניזונים מהרשת. עם זאת, אמצעי הניטור והבקרה בתחום זה הינם, בדרך כלל, מוגבלים. לכן, במקרים רבים, יתגלו החריגים רק בעקבות פניות ותלונות של הצרכן.

מבחינת הצרכן, ברור שאם מקור ההפרעה במחלקה אחרת הניזונה מהמיתקן שלו עצמו – היינו בציוד אחר שהוא מפעיל – עליו לערוך את בדיקותיו ולקבוע, אם ואיך עליו לנקוט בפעולות מניעה. במקרים רבים יתברר כי כדאי לו לבצע הפרדה בין מערכות החשמל המזינות את הציוד הגורם להפרעות לבין היחידה שבה פועל הציוד הרגיש. לעומת זאת, אם מקור ההפרעה מצוי במיתקני צרכן אחר הניזון מאותה רשת של חברת החשמל, דינה של ההפרעה כדין הפרעה שמקורה ברשת של חברת החשמל. במקרה זה צריכה הפנייה להיעשות אל חברת החשמל, כדי שהיא תפעל למניעת זיהום הרשת שלה, כלומר תפעל למניעת ההפרעות הנגרמות במיתקני הצרכנים האחרים ותפעל לשמירת איכות אספקת החשמל לצרכניה השונים.

פירוט של הפרעות שונות הנגרמות לעתים ממיתקני הצרכן והגורמים האפשריים להן מופיע בטבלה 2. תברות החשמל מפרסמות מידע זה במטרה להגביר את המודעות, לתרום להגברת שיתוף הפעולה שתכליתו שיפור

האמינות והאיכות, ולהקל על הצרכנים, שהרי – כפי שנראה בהמשך – כל פתרון מתחיל באיתור ובניתוח של גורמי ההפרעה.

כך למשל, מיתוג נופי חימום בתורים – אם בהפעלה ראשונה, ואם כתוצאה מפעולה תרמוסטטית – גורם לשקיעות מתח ולהרמוניות. מיתוג של מיתקני תאורה עם נורות פריקה והפעלת עמעמים גורמים לשקיעות מתח, ל"רעשים" ברשת ולהרמוניות. כך גם תנורי קשת.

שקיעות מתח נגרמות לעתים קרובות על ידי מכשירי ריתוך. הרמוניות לא סדירות נגרמות על ידי וסתי מהירות למנועים, ואילו מיישרים למיתקני אלקטרולוזה, ציוד אלקטרוני דומה ועוד, גורמים לגלי מתח יתר ולהרמוניות לא סדירות.

יש להביא בחשבון שיבושים אלה, המוכרים והידועים לנו, כאשר מתכננים מיתקן חדש, כאשר מוסיפים ציוד או כאשר השיבושים מגיעים להיקף המחייב פתרון שיחסן את המיתקן בפניהם. תפקיד חברות החשמל בנושאים אלה, כל עוד ההפרעות אינן נורמות שיבושים למיתקני חברת החשמל או למיתקני צרכנים אחרים, מתמצה בהסברה, ביידוע ובהגברת המודעות, ואנו שמחים לעשות זאת גם כאן.

## שלבי הגיבוש של פתרונות

תכנון ראשוני וכל שינוי הכרוך באפשרות של מניעת הפרעות לציוד ולתהליכים הרגישים להפרעות באספקת החשמל צריכים להיעשות באופן מסודר ולפי שלבים. איור 2 מציג מודל של שלבים לגיבוש הפתרונות הנכונים לצרכנות הרגישה. אימוץ מודל זה יאפשר להימנע מהוצאות מיותרות ומהשקעות בלתי כדאיות ולהשקיע במה שאכן חשוב וכדאי להשקיע – היינו בפתרון האופטימלי.

הנתונים הרלוונטיים לעניין זה הם, מצד אחד, נתוני ההפרעות הקיימות והעלולות לשבש את פעולתו של הציוד הרגיש, ומהצד האחר, הפרמטרים הטכניים של הציוד שאותו עומדים להתקין.

## טבלה 2

גורמים להפרעות באספקת החשמל שמקורן במיתקן הצרכן

המוליכים מתוך התעלמות מהפרמטרים של הרשת גורמת בסופו של דבר לתקלות אשר נזקן עלול להיות ניכר.

כרוד גם שבכל מקרה עלות ההשקעה בשלבי הבחירה והתכנון של המיתקן והציוד, תהיה נמוכה לעומת זו שתידרש בפעולה שתבצע בשלב מאוחר יותר, תחת אילוצים רבים יותר, במטרה להשיג תוצאה דומה. אימוצה של גישה זו, המתייחסת למיתקן ולנתוני הרשת ולקשר ביניהם, מתחייבת כחלק בסיסי בשיתוף הפעולה עם חברת החשמל וכתנאי יסודי להתמודדות נכונה עם ההפרעות, מתוך גיבוש ויישום של הפתרונות המתאימים כאשר אלה נדרשים.

מוכן שאם על פי הנתונים צפוי תפקוד נאות של הציוד – למרות ההפרעות הוא יוכל לתפקד כפי שאנו מצפים ממנו – אזי אין בעיה, וניתן להתקינו ללא בדיקה נוספת, לעומת זאת, אם צפויים שיבושים שימנעו עמידה בדרישות הבסיסיות, או מתחייבת חשיבה נוספת והמשך הבדיקה לגיבוש פתרונות הולמים.

### השלב השני: הערכת הנזק וכדאיות ההשקעה

לא בכל מקרה כדאי לבצע שינויים, שיפורים או תוספות שתכליתם למנוע או למוער את נזקי ההפרעות באספקת החשמל. במקרים שבהם הנזקים הצפויים ככדים, מתברר שגם השקעות נבחרות ביותר כדאיות מההיבט הכלכלי. לעומת זאת, ייתכנו בהחלט מצבים שבהם העלות של כל פתרון אפשרי למניעת ההפרעות נבחרה מעלות הנזקים הצפויים בעקבות ההפרעות. במקרה כזה מוצדק, מבחינה כלכלית, לשאת בהפרעות ובנזקיהן, ולא בהוצאות הנבחרות יותר שבהן כרוך יישום הפתרונות למניעת ההפרעות.

מן הצורך לבחון חלופות – היינו לערוך בדיקות טכנו-כלכליות – מתבקש שלב הבדיקה השני, הערכת עלות הנזקים הצפויים בהתאם לפרמטרים של מערכת אספקת החשמל, של המיתקן ושל הציוד ותפקודו. הערכת הנזקים צריך שתיעשה בשלב זה, הן אם מקור

פירוט הפרעות הנגרמות							תיאור הגורם להפרעות
"רעשים" ברשת	רמתיות לא סדירות	עיוותי גל (רמתיות)	גלי מתח יתר	שקיעות מתח			
				מעל 60 שניות	60-2 שניות	עד 2 שניות	
			V				מיתוג שנאים
V		V		V			מיתוג טרות מריקה ושימוש בעממים
V							מכשירי מיקרוגל
		V		V	V		מיתוג נפי חיסום בתנודים
					V		חיסום דיאלקטרי
V		V			V	V	תנודי קשת
	V	V	V				מיישרים למיתקני אלקטרולוזה
	V	V					מנעים עם וסתי מהירות
					V	V	מכשירי ריתוך

שוניים של הפרעות, וקיימים מפרטים טכניים של יצרנים שונים כמעט בכל סוג של ציוד רגיש. עלינו לבחון את חוסנו של הציוד המיועד (אשר עשוי לכלול כחלק אורגני שלו התקנים המיועדים להתגבר על סוגים שונים של הפרעות) בהתייחס להפרעות הקיימות והצפויות כפי שהן ידועות לנו. בחינה זו תאפשר לנו לתת תשובה לשאלה, האם צפוי שהציוד או המכשיר יתפקדו כנדרש, או שהם למעשה י"לא יספקו את הסחורה".

שלב זה של יצירת בסיס נתונים להחלטה ראשונית ולהמשך הבדיקה על פי הצורך חייבים להיות חלק מן הבסיס התכנוני של מיתקן החשמל חשיבותם של נתונים אלה לתכנונו, לבנייתו ולתפקודו התקין של המפעל הרגיש אינם פחותים מאלה של הפרמטרים המקובלים והמוכרים, כגון העומס, חתכי המוליכים ומערכות הבקרה הדרושות. ההתייחסות התכנונית לעומסים ולחתכים של

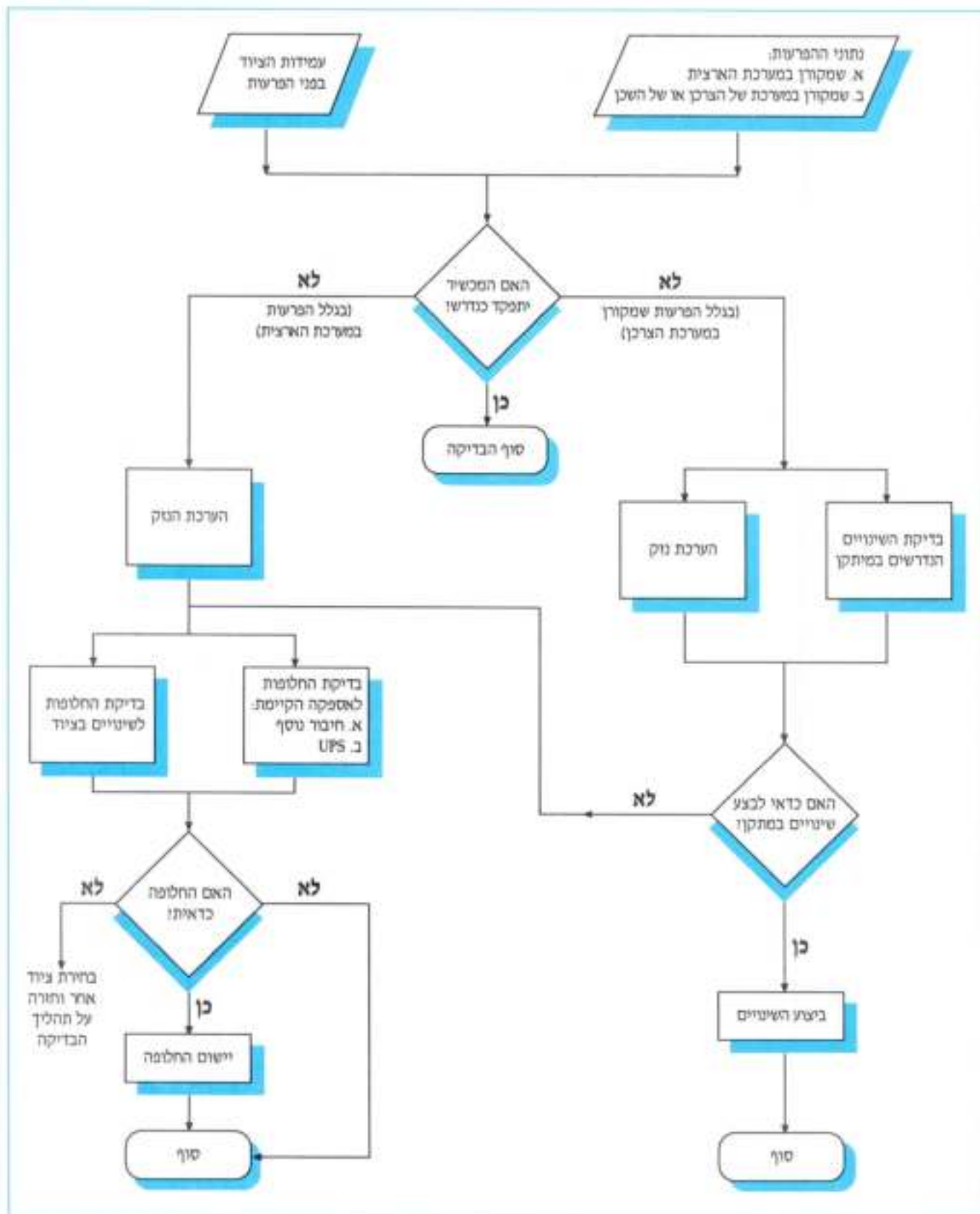
איור 2, המציג את מודל השלבים לגיבוש הפתרונות המתאימים, מתאר משמאל – את מסלול הטיפול אם מקור ההפרעות הוא במערכת של חברת החשמל, ובצדו הימני – את מסלול הטיפול אם מקור ההפרעות הוא במיתקני הצרכן. ייתכן ששלבים אלה יחייבו קבלת שירותי ייעוץ מיועצים חיצוניים בתחום הטכני ובתחום הכלכלי.

### השלב הראשון:

#### איסוף הנתונים הבסיסיים

נתוני ההפרעות יכללו את הפרטים על ההפרעות שמקורן בחברת החשמל ואת הפרטים על ההפרעות שמקורן במערכת של הצרכן עצמו או של צרכן שכן. הפרמטרים הטכניים הרלוונטיים של הציוד לעניין זה הם אותם פרמטרים המתייחסים לעמידותו של הציוד עצמו בפני הפרעות.

קיימים תקנים שונים המחייבים רמות חסינות שונות של ציוד בפני סוגים



איור 2  
שלבים למציאת פתרון בעבור צויד רגיש להפרעות באספקת החשמל

## סיכום

שמירת חשמל בעולם כולו חשובות, מעצם טבען, להפרעות העולות לגרום לשיבושים בתפקודו של הציוד החשמלי במיתקן הצרכן. גורמים שונים, שאין עליהם שליטה, מביאים לידי שיבושים ונזקים, בייחוד לציוד ולתהליכים הרגישים להפרעות. שיקולים כלכליים כלל-משקיים מביאים לכך שמערכות החשמל של חברות החשמל מתוכננות לספק חשמל באמינות ובאיכות הדרושים לרוב הלקוחות. לכן, כל מקרה של צרכנות רגישה צריך להיבחן לנופו, לצורך מציאת הפתרונות המתאימים לאבטחת אספקה אמינה ואיכותית יותר בהתאם לצרכים המיוחדים של הצרכן.

את הנתונים הקיימים ראוי להביא בחשבון מראש – בשלבי תכנון המיתקן ובחירת הציוד. אם לא כך נעשה – יש לאתר את מקור ההפרעות ולמצוא את הפתרונות המתאימים.

תהליכים אלה מחייבים:

- שיתוף פעולה קונסטרוקטיבי בין חברת החשמל לבין צרכניה הרגישים להפרעות באספקה.

- מודעות של כל הגורמים הנוגעים בדבר לתנאים הקיימים, הן במערכות של חברת החשמל והן במערכות של לקוחות החברה.

- הסברה ומתן מידע על חברת החשמל ותכנון ופעולה בהתאם על ידי הלקוחות.

### קוראים יקרים,

מאמר זה הוא אחד מסדרת מאמרים בנושא "פתרונות למיתקני לקוחות הרגישים לאמינות אספקת החשמל", שנערכו על פי ההצאות המוגשות בסדנאות בנושא זה על ידי חברת החשמל בשיתוף התאחדות התעשיינים.

מאמרים נוספים יתפרסמו בחוברות הבאות של "התקע המצדיע".

אפשריים מתייחס לשינויים בציוד הרגיש, אשר יאפשרו לו להיות עמיד יותר בפני הפרעות. מסלול אחר מתייחס לאמצעים נלווים לאספקה הקיימת, כגון קו אספקה נוסף, מערכת אל-פסק סטטית או דינמית וכד'.

גם כאן אנו מגיעים לצומת ההחלטה בהתאם למבחני עלות-תועלת: אם במסגרת החלופות המתאימות נמצא שהפתרון כדאי מבחינה כלכלית – עלותו נמוכה מעלות הנוק הצמוי – יש לנו חלופה נבחרת שאותה ניישם.

אם מתברר שהפתרון המוצע אינו מתאים מבחינה טכנית וכלכלית, קיימות שתי אפשרויות. האחת – לחיות עם ההפרעות ולהשלים עם הנוקים, מתוך ידיעה שאף אם המחיר נבז, הרי עדיין הוא נמוך יותר מהעלות הכרוכה במניעת הנוקים, האפשרות האחרת – לנסות לבחון ולבחור בציוד אחר (של אותו יצרן או של יצרן אחר), שעשוי להיות חסין או מצויד באמצעים נוספים המחסנים אותו במני ההפרעות, או לפחות במני חלקן.

במהלך קבלת ההחלטות יכול להתברר, שציוד שנבחר תחילה על פי מחירו הנמוך מחייב "קנס" נבז עקב הנוקים מההפרעות, ואילו ציוד אחר עשוי להיות כלכלי יותר בשיקול כולל ברור שבחירה במסלול זה מחייבת לחזור על כל תהליך הבדיקה בהתייחס לנתוני הציוד החדש.

נחזור ונדגיש כי מי שעומד להקים מפעל חדש או לרכוש ציוד חדש הרגיש להפרעות באספקת החשמל למפעל קיים, צריך להתייחס מראש לשרשרת הבדיקות הטכנו-כלכליות, כבר בשלבי התכנון ובחירת הציוד. רוב הנתונים והפרמטרים של הציוד – של רשת חברת החשמל ושל מיתקני הצרכן – ידועים מראש, ואת אלה החסרים אפשר להשיג ולהשלים. למרבה הצער, לא תמיד מובאים נתונים אלה בחשבון בעת תכנון המיתקן ובחירת הציוד, ואז כאמור, התוצאה הצפויה בדרך כלל היא של הוצאות נבוהות יותר, שאותן ניתן היה למנוע אילו הייתה קיימת מודעות לנושא ואילו הפעילו מראש תהליכים נכונים של קבלת החלטות.

ההפרעות במיתקני הצרכן עצמן והן אם מקורן במערכת של חברת החשמל.

חשוב שהערכת הנוק תכלול את כל הנוקים – הישירים והעקיפים – הצפויים. נוקים ישירים למערך הייצור של המפעל כוללים אובדן שעות עבודה, אובדן חומרי גלם, בלאי של הציוד וכד'. לא פחות משמעותיים וחשובים הם הנוקים העקיפים: אי עמידה בלוח הזמנים ובהתחייבויות ללקוחות, פגיעה במוניטין של המפעל וכד'. במקרים מסוימים קיימת גם פגיעה במוטיבציה של העובדים, לדוגמה: עובדי האחזקה בענף הפלסטיקה. עובדים אלה חשים תסכול רב עקב הצורך לנקות חזר ונקה את האקסטרוודר לאחר שתהליך הייצור הרציף נפסק שוב ושוב בגלל הפסקות חולפות חוזרות ונשנות באספקת החשמל. זהו נזק עקיף, שאיש אינו רוצה בו, ויש להביאו בחשבון בעת בדיקת כדאיות החלופות.

## השלב השלישי: בחינת החלופות

כאשר מקור ההפרעות הוא במיתקן של הצרכן, יש לבדוק בצד העלות הצפויה של הנוקים את השינויים הנדרשים במיתקן לצורך מניעת הנוק או מזעורו, ואת עלותם. לעתים קרובות השינוי במיתקני הצרכן, כגון הפרדה מבחינה חשמלית בין המערכות הגורמות להפרעה לבין המערכות הכוללות את הציוד הרגיש, הוא הפתרון הזול והכדאי ביותר.

על כל פנים, אם ההשוואה בין עלות הנוקים לעלות השינויים במיתקן מצביעה על כדאיות בביצוע השינויים, יש לבצע את השינויים ובכך מסתיים התהליך. לעומת זאת אם אין כדאיות בביצוע השינויים, נמשך מסלול הבדיקה, כמו במקרה שבו מקור ההפרעות הוא ברשת של חברת החשמל (כמתואר בצדו השמאלי של איור 2).

כאשר מקור ההפרעות הוא ברשת חברת החשמל, או לאחר שמתברר שלא כדאי לבצע שינויים במיתקני הצרכן, יש לבחון את החלופות השונות לפתרון ולהשוות את עלותן לעומת עלות הנוקים. מסלול אחד של פתרונות



# הפסקות חשמל חולפות – היבטים טכניים ופתרונות מעשיים במיתקני הצרכנים

מהנדס נוראני שניב M.Sc.

הפסקות חשמל חולפות הן פגיעה ממשית באמינות אספקת החשמל למקצת לקוחות החשמל, לקוחות המפעילים תהליכי ייצור רציפים או התקנים הרגישים במיוחד לרציפות האספקה. כל הפסקת חשמל, חולפת או ממושכת, עלולה לגרום לנזקים כבדים ללקוחות אלה, אם לא נערכו כראוי להתמודדות עם תופעה זו.

הפסקות חשמל חולפות, הנמשכות פחות מחצי שנייה, מתרחשות במערכותיהן של כל חברות החשמל בעולם. אבל אפשר לנקוט אמצעים טכניים שונים במיתקני הלקוחות כדי למזער את הנזקים הנובעים מהפסקות אלה. בחירה נאותה של האמצעים מחייבת ידע מקצועי מעמיק בכל הקשור להתנהגות החשמלית והמכנית של תהליך הייצור ולמרכיבי מערכת הייצור. כמו כן יש להתחשב בשיקולים כלכליים, היינו בחישובי עלות-תועלת של יישום כל אחד מן האמצעים (ראה פרק בנושא זה במאמרו של בוריס שוורץ (עמ' 35) על יחסן של חברות חשמל בחי"ל להפרעות חולפות).

מאמר זה מתאר בקצרה את הגורמים והסיבות להיווצרות הפסקות החשמל החולפות ודן באמצעים הטכניים העומדים לרשות לקוחות החשמל כדי להיערך בפניהן כראוי.

תשומת לב הקוראים מופנית למאמר "בעיית חיבור חוזר של מנוע השראה" מאת מורנו, פרופ' יהודה נאות ז"ל, אשר פורסם ב"התקע המצדיע" מס' 42 – מרץ 1989 ולמאמר "חיבורים חוזרים ברשתות חברת החשמל והשפעתם על מפעלי תעשייה" מאת מהנדס יוסף בלב, יובל לחיים ארוכים, שפורסם ב"התקע המצדיע" מס' 55 – דצמבר 1993.

## הפסקות חשמל חולפות – גורמים עיקריים

הפסקת חשמל חולפת מוגדרת כירידה בעוצמת המתח האפקטיבי עד לערך של אפס וולט בקירוב למשך זמן של עד חצי שנייה (חיבור חוזר ראשון). הפסקת חשמל היא, בדרך כלל, פועל יוצא מהתרחשות קצרים לאדמה בקווי רשת עיליים במתח נבנה והפעלת מנגנון ההננה של הרשתות, אשר מפסיק את מתח ההזנה לצרכנים לזמן קצר.

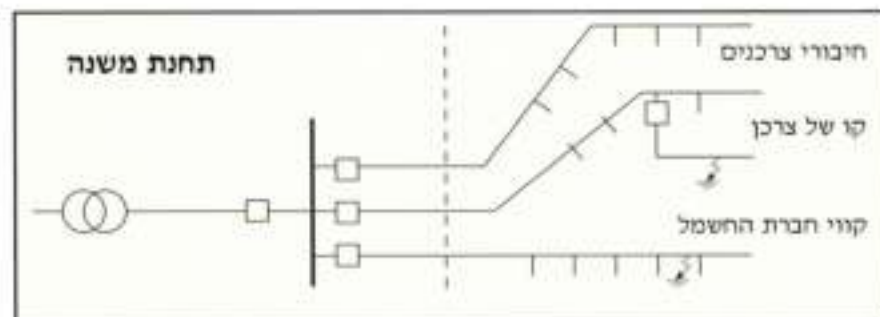
הגורמים העיקריים להופעת קצרים הם: ברקים, רוחות חזקות, ערפילים, גשם, שלג, ברד, זיהום מבודים, פגיעה בקווי הרשת על ידי ענפי עצים, ציפורים, אנשים וחפצים, שרפות וכי (איור 1).

רובן של הפסקות חשמל החולפות נובע מקצרים ברשתות חברת החשמל, אך לעתים הוא נובע גם מקצרים ברשתות עיליות של צרכנים, כגון קיבוצים, מחנות צבא וכי (איור 2).



איור 1

פגיעת שקנאי במוליכי חשמל גורמת להתחשמלות השקנאי ולהפרעה ברשת האספקה (צילום: סליה אורן, באדיבות שמורת החולה – רשות שמורות הטבע)



איור 2

קצר חד מופעי בקווי חברת החשמל או בקווי הצרכן גורם את רוב הפסקות החשמל החולפות

ני שניב – מהנדס מומחה, המחלקה לייעול הצרכן, אגף השיווק והצרכנות, חברת החשמל

## חיבורים חוזרים בקווי מתח גבוה

קווי הרשת של חברת החשמל מוגנים במני זרמי קצר באמצעות מפסקי זרם אוטומטיים מיוחדים. בעת התרחשות הקצר, פועל מנגנון ההגנה של המפסק (בהשגחה של כחצי שנייה, כאשר קיים סליל פטרסון) וגורם למתיחת המפסק האוטומטי ולניתוק מהרשת של שלושת המופעים בקו. עד לניתוק הקו מהרשת זורם בסופע המקוצר (דרך נקודת הקצר) זרם קצר. אם הסיבה להופעת הקצר היא חולפת, אזי, ברוב המקרים, משתקם מאליו בידוד הקו והקצר חולף מעצמו.

כדי להבטיח את המשכיות אספקת החשמל מתבצע בקווי רשת עיליים חיבור חוזר אוטומטי של מפסק הזרם האוטומטי, עד שלוש פעמים, בניסיון להחזיר את המתח לקו. חיבור חוזר ראשון מתבצע בהשהיית זמן של 350-400 מילישניות. אם לאחר החיבור החוזר עדיין קיים הגורם לקצר, הקו נפסק שוב, וחיבור חוזר שני מתבצע לאחר 45-75 שניות. אם לאחר החיבור השני עדיין קיים הגורם לקצר, הקו נפסק פעם נוספת, והחזרת המתח אליו מתבצעת רק לאחר איתור התקלה ותיקונה.

בחלק מהקווים מתבצע חיבור חוזר אוטומטי שלישי בהשהייה של 180 שניות (איור 3).

היתרון הגדול של החיבור החוזר האוטומטי הוא בכך, שברוב המקרים (כ-80%, ראה איור 4), הקצרים בקווי רשת עיליים נובעים מהפרעות חולפות, והחיבור החוזר הראשון מביא לחידוש אספקת החשמל התקינה בתוך זמן קצר מאוד.

## ההשלכות של הפסקות חשמל חולפות על תהליכי "יצור והתקנים חשמליים"

רגישותם של רוב תהליכי הייצור להפסקות חשמל חולפות נמוכה. לכן, ברוב המקרים, לא נגרם בעטיון נזק ניכר לתהליך. עם זאת, קיימים תהליכים, בייחוד תהליכי ייצור רציפים, שכל הפסקת חשמל, ולו גם הקצרה

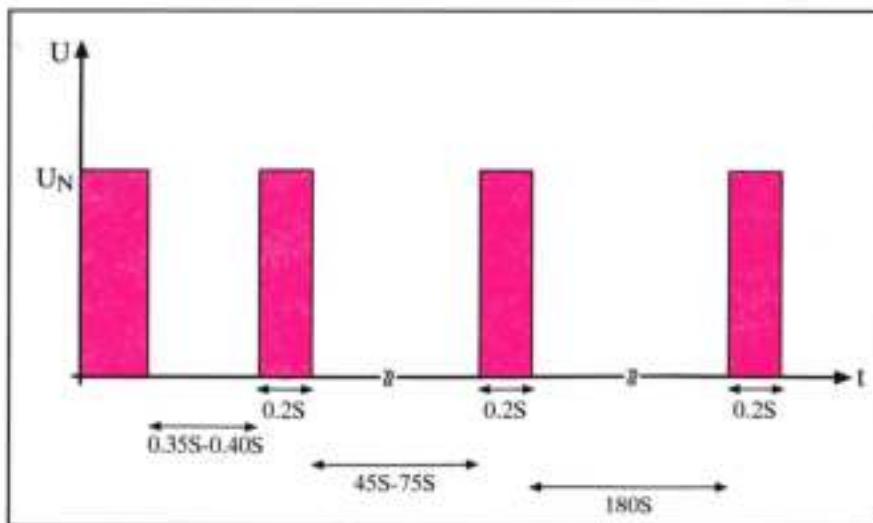
ביותר, גורמת להם נזקים כבדים. תהליכים כאלה מוכרים בתעשיית הזכוכית, בתעשיית הפלסטיקה, בתעשייה הכימית, בתעשיית האלקטרוניקה, (חצאי מוליכים) ועוד.

מההיבט של רגישות להפסקות חשמל חולפות ניתן לסווג את התקני החשמל לשתי קבוצות:

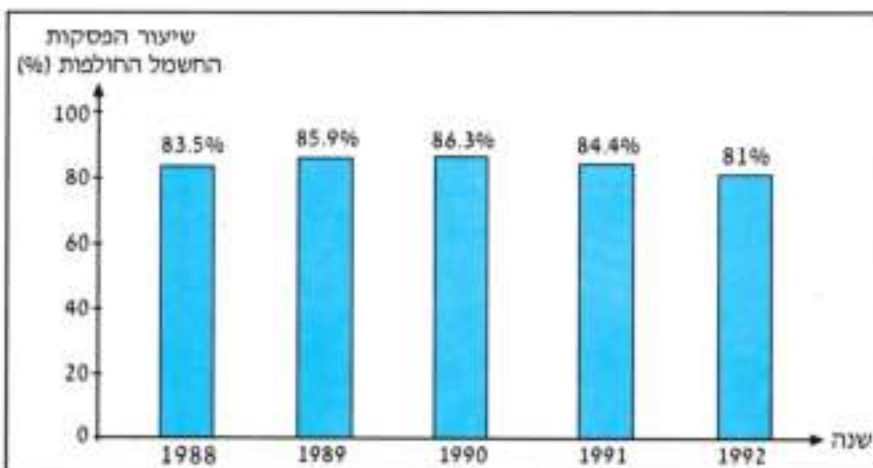
- התקנים רגישים מאוד, שכל הפסקה חולפת גורמת להם שיבוש חסור ואף שיתוק של פעולתם. בין התקנים אלה כלולים התקני פיקוד ובקרה אלקטרוניים ואלקטרומכניים, כגון: מפסקים

אלקטרוניים, וסתי טמפרטורה, בקרים מתוכנתים, מחשבים, ציוד לאגירת נתונים (Datalogers), וסתי מהירות אלקטרוניים, מגענים, נורות פריקה בעוצמה גבוהה וכו'. התקנים אלה מפסיקים לפעול בהיעדר מתח הונה אליהם.

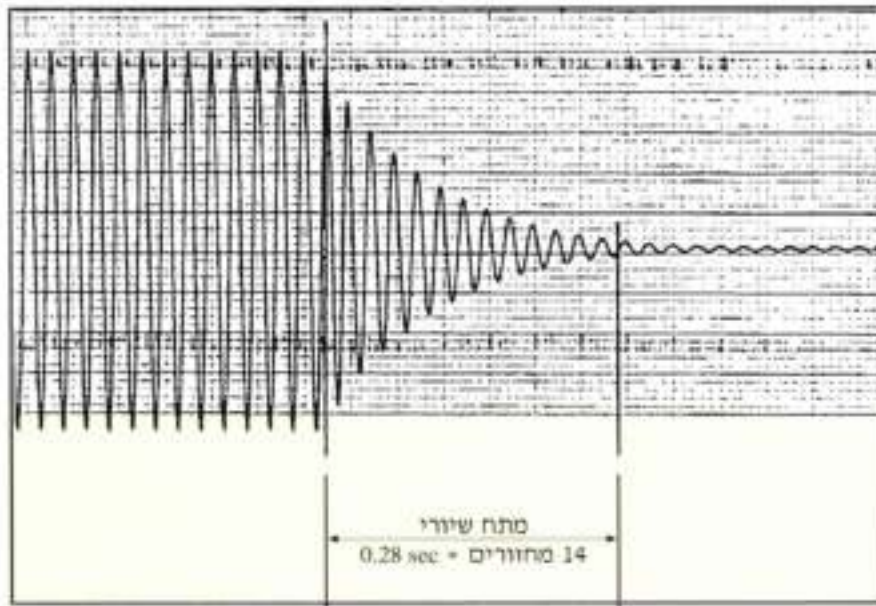
- התקנים בלתי רגישים או בעלי רגישות נמוכה, כגון: תנורי חימום חשמליים ונורות ליבון והלוגן. תנורי חימום אינם מושפעים מהפסקות חשמל חולפות בגלל האינרציה התרמית הגבוהה שלהם. נורות הליבון ונורות ההלוגן אינן מושפעות ממש מהפסקה חולפת.



איור 3 חיבור חוזר אוטומטי בעקבות קצר בקו מתח גבוה עילי



איור 4 שיעור הפסקות החשמל החולפות (באחוזים) במחוז הצפון ביחס לכלל הפסקות החשמל במחוז



איור 5

מתח על הדקי מנוע 5.5 קו"ט לפני הפסקת הזינה ואחריה

אם במהלך העירור העצמי חוזר מתח הזינה, אזי חיבור המנוע לזינה מותנה, בדומה לסינכרון הגרנטור לרשת, בקיום שני תנאים (תנאי הסינכרון):

- גודל המתח השיורי שווה לגודל מתח הזינה.
- בעת החיבור, המופע של המתח השיורי זהה למופע של הזינה.

וקיבוליות המערכת התלת מופעית. נורמים אלה עם האנרגיה הקינטית (האינרציה) של הרוטור והמערכת המונעת מביאים לכך שהמנוע מתנהג כגנרטור לכל דבר. מובן שעם ירידת מהירות הרוטור, קטן העירור העצמי ואיתו קטן גם מתח ההדקים (טבלה 1 וטבלה 2).

טבלה 1

מתח שיורי והסטת מופע של מנוע השראה 200 כ"ס, 550 וולט, במעגל פתוח

עומס מכני גבוה		עומס מכני נמוך		הסטת מופע	
מתח	זמן (מחזור שלם)	מתח	זמן (מחזור שלם)		
%	V	%	V		
82	452	84	462	0.0	0°
67	370	68	375	9.0	90°
60	333	65	357	14.0	180°
57	315	58	320	17.5	270°
54	296	54	300	20.5	360° (מחזור אחד)
44	241	48	262	30.5	שני מחזורים
40	222	41	225	37.5	שלושה מחזורים
37	203	38	207	44.0	ארבעה מחזורים
34	185	34	187	49.5	חמישה מחזורים
30	166	31	169	55.0	שישה מחזורים

מנועי השראה (המנועים הנפוצים ביותר כיום) יכולים להיחשב להתקנים שאינם רגישים להפסקות חשמל חולפות, אם התנעתם מחדש לאחר הפסקת החשמל אינה מסכנת את חי המנוע. נושא זה מהווה במקרים מסוימים בעיה הראויה להתייחסות מיוחדת.

## בעיית החיבור החוזר של מנועי השראה למתח הזינה

קיימים תהליכי ייצור רציפים, שבהם לא ניתן להפסיק את התהליך אפילו לחלקי שנייה, וזאת משום שכל עצירה מחייבת להתחיל מחדש את כל התהליך. פעולה זו כרוכה בהפסד ייצור ובנוקים נוספים אחרים. מנועים המחברים לזינה דרך מנענים או דרך מפסקים אוטומטיים בעלי מספר תרמי ומגנטי, מגיבים במקרה של הפסקת חשמל חולפת בהפסקה הנגרמת מחוסר מתח. בכך מופסק תהליך הייצור.

אחת השיטות הנהוגות כדי להתגבר על תופעה זו היא להחזיק, באופן מלאכותי, את המפסק במצב מחובר לתקופת זמן מסוימת. כך, אם מתח הזינה חוזר בתוך פרק זמן קצוב זה, ימשיך המנוע בעבודתו, ויש סיכוי שהתופעה תסתיים ללא הפרעה לתהליך הייצור. אלא ששיטה זו גורמת לעתים להופעת זרמי מעבר גבוהים (בעת חיבור חוזר של המנוע לזינה לאחר הפסקה קצרה) עד כדי הפעלת הממסר המגנטי, ולכן עלולה לגרום נזק רציני למנוע.

בעת הפסקת החשמל, המנועים ממשיכים לייצר כוח אלקטרומניע (כא"מ) נגדי הדועך עם הזמן בעוצמה ובתדר. כאשר מנועים אחדים סוזנים מאותו פס צבירה, משמשים המנועים הגדולים כגנרטורים והמנועים הקטנים כעומסים. המערכת כולה נשארת מחוברת לזמן מה מאחר שהמנועים מחוברים על ידי הכא"מ הנגדי. מצב זה יימשך עד אשר הכא"מ הנגדי יהיה נמוך ממתח האחזקה של המנועים. קצב דעיכת הכא"מ הנגדי תלוי בגודל ובמבנה של המנוע ובעומס המחובר אליו (איור 5).

הגורמים להופעת הכא"מ הנגדי הם המגנטיות השיורית של בדול המנוע

ביחידת אל-פסק גדולה, שתשרת גם את המיתקנים בעלי החספס הנבון. יחידה זו מתחברת בקביעות למיתקן החשמל ומזינה את כל הציוד החיוני של תהליך הייצור.

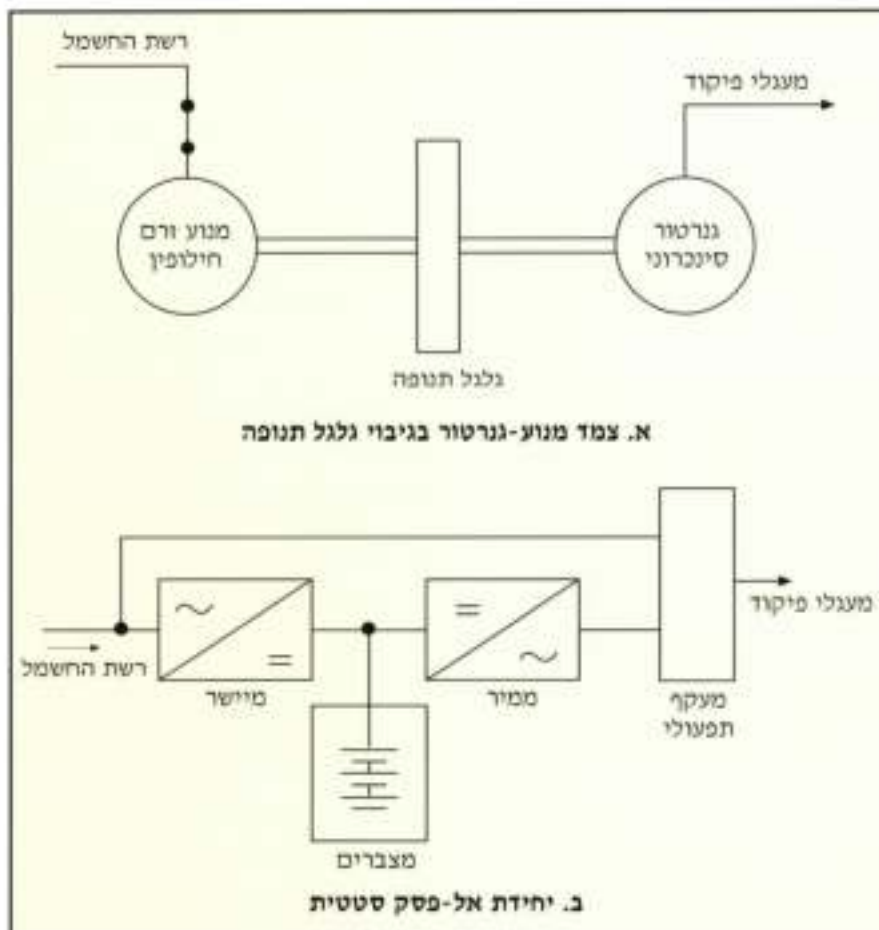
האל-פסק הינו ציוד יקר למדי, ולכן רכישתו מחייבת בדיקה טכנו-כלכלית מעמיקה שבה נבדקת, בין היתר, עלות הנוקים כנגד ההשקעה הדרושה בציוד זה.

בבחירת האל-פסק יש להקפיד על הגודל האופטימלי הנחוץ (תוך התייחסות לפיתוח העתידי של המפעל ולציוד אשר יזון באמצעות האל-פסק) ועל אופן שילובו במערכת אספקת החשמל. כמו כן יש לתת את הדעת לסוג האל-פסק – דינמי או סטטי – אמינותו ושכיחות התקלות בו, וכן לבדוק היטב אם הוא מסוגל לענות על דרישות התהליך, דהיינו להבטיח את אמינות אספקת החשמל בשעת הצורך

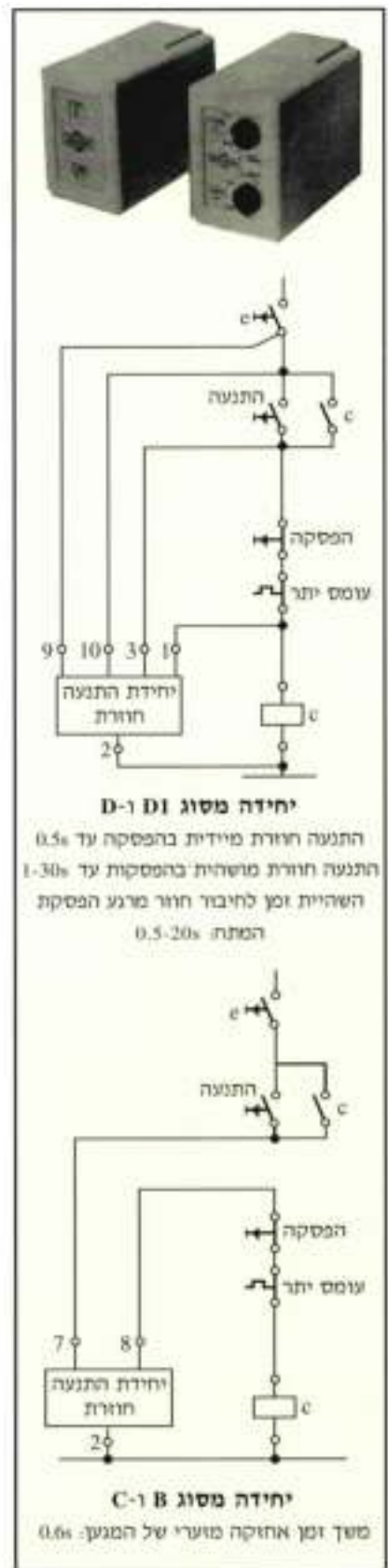
נציין כי ניתן לצרף למעגלי הפיקוד גם מעגלי בקרה בעלי חספס נמוך יחסית, כגון בקרי טמפרטורה, בקרים מתוכנתים, וסתי מהירות קטנים, ולהזינם ביחד ממקור חלופי נפרד.

כיום ניתן להשיג באופן מסחרי וסתי מהירות אלקטרוניים למנועי השראה, המסוגלים להזין את המנועים מיד לאחר הפסקת חשמל חולפת, באופן שלא ייגרם נזק למנועים. יותר מכך, קיימים וסתי מהירות אלקטרוניים השומרים על מהירות המנועים המזוונים דרכם במשך הפסקת החשמל החולפת. הדבר נעשה באמצעות האגרונייה החשמלית האגורה בקבלים, שהם חלק אינטגרלי מהמבנה של וסתיים אלה.

כאשר אף לא אחת מהאפשרויות שהוצגו עד כאן מתאימה למתונה של בעיית הפסקות חשמל חולפות, יש לשקול, כצעד אחרון, אפשרות להשתמש



איור 16  
מקורות הזנה חלופיים



איור 15  
יחידות להתנעה חוזרת למנועים (Hold-In Units)

ציוד, לכל קו ייצור, לכל תהליך ולכל מפעל את האמצעים האופטימליים לפתרון הבעיה לפי שיקולים טכנו-כלכליים הכוללים בין היתר את בחינת עלות הנוקים כנגד ההשקעה הנדרשת למניעתם. למטרה זו מומלץ להיעזר באיש מקצוע מתאים בעל ידע וניסיון מוכח בנושא.

המאפשרים למזער נזקים הנובעים מהפרעות חולפות. מקצתם זולים וקל יחסית ליישום. אחרים – משובכלים ויקרים. לא בכל מקרה כדאי להשקיע משאבים רבים לפתרון הבעיות הקשורות להפסקות חשמל חולפות. יש לשאוף לפתרון אופטימלי לנופו של העניין. דהיינו, להתאים פרטנית לכל

בלי שמערכת הגיבוי תהיה בעצמה מטורד תחזוקתי. מומלץ מאוד להיוועץ במומחה לנושאים אלה בטרם יוחלט ליישם פתרון של התקנת אל-פסק.

באיור 17 מוצגים הפתרונות הטכניים האפשריים למניעת נזקי הפסקות חשמל חולפות. כל האמצעים הטכניים שתוארו לעיל מיושמים כיום בהצלחה בכמה ענפי תעשייה, כגון מפעלי פלסטיקה, מפעלי זכוכית ובהם המפעלים: פלסטופיל, תמה, פניציה, נילית.

### סיכום

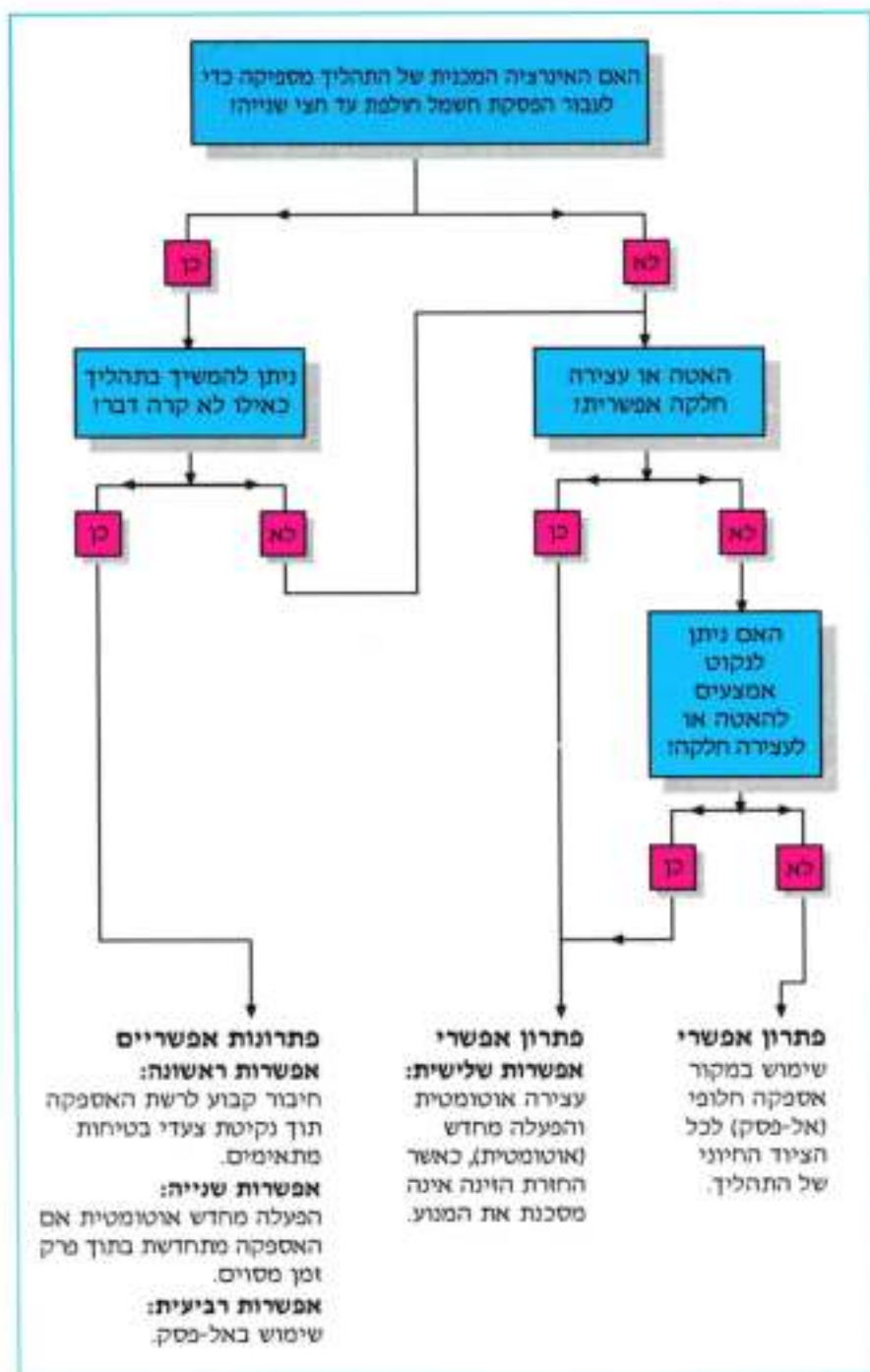
לקוחות מסוימים של חברת החשמל רגישים בייחוד לאיכות האספקה, ובכלל זה כלולים תהליכים וציוד חשמלי הרגישים להפסקות חשמל חולפות.

מאמצי השיפור המתמידים של חברות החשמל במערכותיהן מכוונים לספק חשמל ברמות אמינות ואיכות הנדרשים על ידי רוב הצרכנות, הואיל ומבחינה משקית אין כל הצדקה להשקיע בכלל המערכת לאבטחת האיכות הנדרשת על ידי קבוצה קטנה של צרכנים רגישים (דבר שהיה מביא לסבסודה של צרכנות זו על ידי כלל הלקוחות, שאינם ניוזקים מהפסקות החשמל החולפות).

הגישה המקובלת בארצות התעשייתיות בעולם כיום היא, שבמקביל לשיפורים במערכות של חברות החשמל יש ליישם פתרונות ספציפיים במיתקני הצרכן, וכי הפתרונות הנכונים לרוב הבעיות הנגרמות על ידי הפסקות חולפות ניתנים לביצוע במיתקן הלקוח בלבד.

יצרני ציוד חשמלי בעולם מודעים היטב לבעיות הנובעות מהפרעות באספקת החשמל ועוסקים במיתוח אמצעים המצמצמים את רגישות הציוד להפרעות אלה. מקצת האמצעים מותקנים על ידי היצרן כחלק אינטגרלי של הציוד. אמצעים אחרים מותקנים בנפרד על ידי הלקוח מחוץ לציוד, אם וכאשר הוא מגיע למסקנה שהדבר מוצדק כלכלית. לפיכך, בעת רכישת הציוד יש לבדוק היטב את מידת חסינותו בפני הפרעות חשמל ולקבל החלטות בהתאם.

קיים מגוון של אמצעים טכניים, שרק חלק ממנו נסקר במאמר זה,



איור 17

פתרונות טכניים אפשריים למניעת נזקי הפסקות חשמל חולפות



## איך להוציא מהמזגן יותר - ולשלם פחות

עכשיו תוכל להוציא יותר מהמזגן ולשלם פחות. באמצעות שירות "מידע זורם" תוכל לקבל חוברות מידע בתחומים שונים: עלות השימוש במכשירי חשמל, חימום הבית ודוד חשמל.

**לקבלת החוברות צלצל חינם ל"מידע זורם" טלפון: 177-022-1204**  
והחוברות תשלחנה לביתך ללא תשלום. למוסדות וארגונים המעוניינים בהזמנה מרוכזת, נא לפנות בפקס 03-6888962 ולציין "עבור מידע זורם".

מזגן האוויר שינה את הקיץ שלך. היכולת שלך לשלוט באקלים בתוך הבית והמשרד, להוריד את הטמפרטורה ואת הלחות המעיקה- משפרת את איכות חייד.

כדי לדעת איך להפעיל את המזגן ביעילות, ולהקטין את הוצאותיך, הפיקה עבורך חברת החשמל חוברת מידע מיוחדת.



חברת החשמל

חברת החשמל

