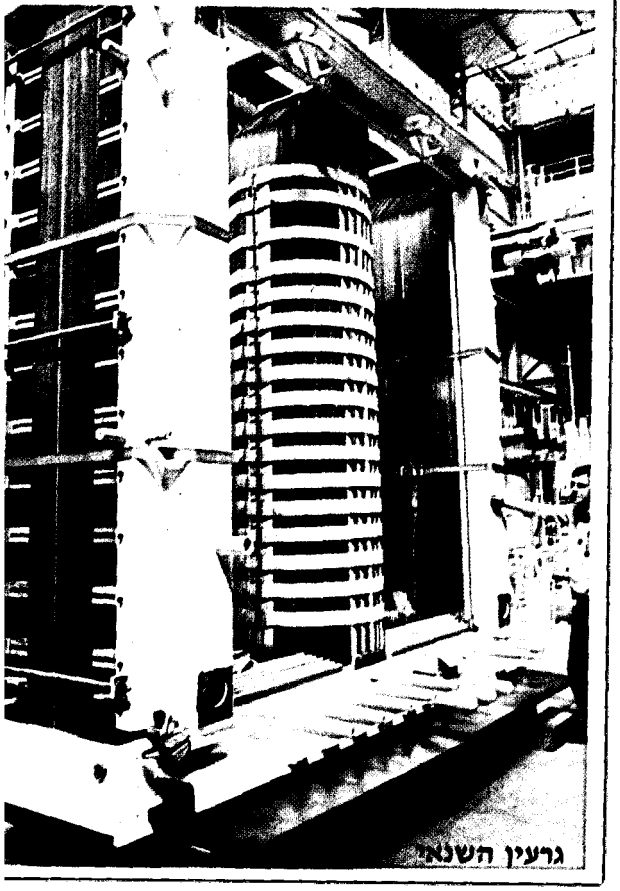
ISSN 0333-6220

התקע המצדיע

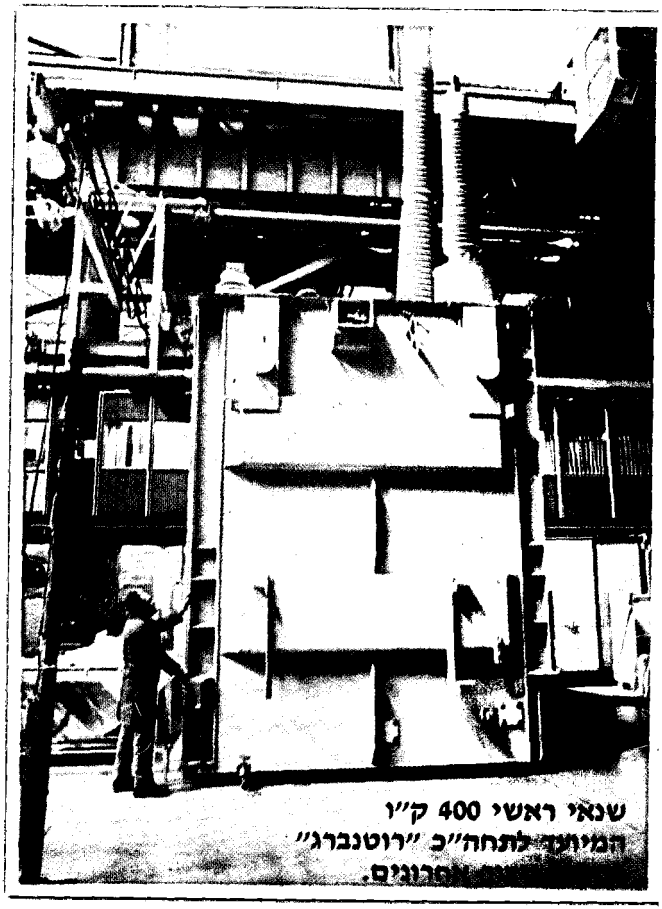
עלון לחשמלאים

בהוצאת

חברת החשמל לישראל בע"מ



גרעין השנאי



שנאי ראשי 400 ק"ו
המיועד לתחה"כ "רוטנברג"
[illegible] מחרוגים.

מס' 39

מרץ 1987

תוכן הענינים

הכנס הארצי השנתי ה־4 לחשמלאים 3
תחרות "צרכן החשמל היעיל" 1986/87 — **א. לייטנר** 5
לקט ידיעות ומידע 7
התקנת גנרטורים למתח נמוך — **י. רוזנקרנץ** 8
מניעת תאונות במתקני־חשמל ובשימוש של ציוד חשמלי — **י. שוירמן** 12
אמינות תיפקוד מתקני חשמל ואלקטרוניקה — **נ. פלג** 19
חיבורים לצרכנים ביתיים, חישוב התשלומים בגינם — **א. הבדלה** 21

מדור שרות פרסומי

הדרכת עובדי הרשת בחברת החשמל — **א. ונגרקו** 23
אגירת אנרגיה באמצעות אויר דחוס — **פ. ודס** 24
האחריות המשפטית של החשמלאי, המתכנן או המבצע עבודות חשמל — **ז. אפיק** 26
הזנת מיתקן ארעי מגנרטור נייד — בתנאי הארקה קשים — **א. כהן** 31
אחזקת תחנות השנאה — **י. א. איציקוביץ** 37
מחוונים לאיתור קצרים ברשתות חשמל — **ש. כץ** 39

תאונת חשמל ולקחה

לקחי השריפה במבנה רב הקומות בגבעתיים — **ו. זיס** 42

עורך:
אורי לייטנר

עורך משנה:
אריה ונגרקו

מערכת:
יוסף בלבל, הירש גינדס, בן ציון גמליאלי,
נתן זלצר, ליאון יבלונובסקי, משה מרגלית,
שמעון מרדיקס, אלי נאוטרה, יוסף נוימן,
זיגמונט ספורן, גרשון פרבר, צבי קולטוצ'ניק.

מינהלה:
חנוך דרור

מוציא לאור:
משה ציטרון

סדר והדפסה:
דפוס "יד החמשה", כפר חב"ד.

כתובת המערכת:
חברת החשמל לישראל בע"מ
ת.ד. 8810 חיפה 31086
טל. 04-548256

בשער: שנאי ראשי 400 ק"ו, מיועד להרכבה בתחה"כ "רוטנברג" ליד אשקלון.

שנאי 400 ק"ו, הראשון בסידרת השנאים המיועדים להרכבה בתחה"כ "רוטנברג". המיוצרים במפעלי חברת "אלקו" ברמת השרון.

נתונים טכניים:

בתמונה מוצגת יחידה חד־פאזית בהספק של 217 מגו"א. 3 יחידות זהות כאלה מהוות סוללה של 650 מגו"א. סוללה זו מעלה את מתח הגנרטור מ־22 ק"ו ל־400 ק"ו ברשת מתח העל. מתח "בדיקת ההלם" לשנאי זה הינו 1,425,000 וולט.

מידות:

אורך — 6.6 מטר, רוחב — 5.8 מטר, גובה — 8.1 מטר, גובה המבדד — 3.5 מטר, משקל — 225 טון.

המערכת אינה אחראית לתוכן המודעות שהן על אחריותם של המפרסמים.

הכנס הארצי השנתי ה־4 לחשמלאים

ב־14.1.1987 התקיים במרכז הקונגרסים שבגני התערוכה בתל־אביב הכנס הארצי ה־4 לחשמלאים.

בכנס השתתפו כ־1500 חשמלאים מכל חלקי הארץ ומכל מגזרי המשק, מהנדסים, הנדסאים, טכנאים, מורים לחשמל, קבלני חשמל, חשמלאים מן השורה וכן סטודנטים ותלמידים במגמות החשמל השונות.

הכנס כלל כרגיל 2 מושבים:

מושב א' — לפנה"צ

— במושב זה שהתקיים באולם המרכזי, הוגשו בפני כל משתתפי הכנס, הרצאות בונשאים כללים שהם בעלי ענין ומכנה משותף לציבור החשמלאים, ברמות השונות ובמיגוון הרחב של עיסוקיהם.

— השתתפו במושב זה המנהל הכללי של חברת החשמל מר **יצחק חופי** שנשא דברי פתיחה וברכה לכנס וכן ה"ה: ד"ר **פנחס גליקשטרן** — המדען הראשי של משרד האנרגיה והתשתית, אינג' **משה כץ**, המהנדס הראשי של חברת החשמל, ואינג' **משה זיסמן**, מנהל אגף הצרכנות בחברת החשמל.

— בכנס זה השתתף לראשונה **מרצה אורח מחו"ל** (גרמניה) Ing. Hans Heinrich Egyptien שהוזמן במיוחד **כאורח הכנס**, הרצאתו בנושא **מניעת סיכוני חשמל תעסוקתיים** שהוכנה על ידו, הוגשה בעברית על ידי המהנדס היועץ אינג' **יוסף שוירמן**.

— חידוש נוסף שהוחל בו לראשונה בכנס ה־4, היה הצגת הזוכים בתחרות **"צרכן החשמל היעיל"** שלווה בהרצאתו של אינג' **משה זיסמן** בנושא ייעול צריכת החשמל של צרכנים גדולים. לזוכים בתחרות הוענקו פרסים ופרסי הערכה כדלקמן:

- **מקום ראשון — התעשיה האוירית לישראל**, נמל התעופה בן־גוריון — פרס בסך 10,000 ש"ח.
- **מקום שני — מרכז רפואי ספיר** — בית חולים מאיר — כפר סבא — פרס בסף 5,000 ש"ח.
- **מקום שלישי** — במקום זה זכו 2 צרכנים:

1) **אורדן תעשיות**, החברה המשותפת ליציקות פלדה — נתניה.

2) **נשר**, מפעלי מלט ישראליים בע"מ, הר־טוב.

לכל אחד מצרכנים אלה הוענק פרס של 2,500 ש"ח.

- כן הוענקו פרסי הערכה לצרכנים הבאים:
  - **אל־אופ**, תעשיות אלקטרו־אופטיקה בע"מ, רחובות
  - **קיבוץ מעוז חיים**
  - **אוניברסיטת תל־אביב**
  - **קיבוץ יפעת**
  - **קיבוץ מסדה.**

צרכנים אלה הוכיחו שכתוצאה ממאמציהם הושגו תוצאות מרשימות בייעול ובחיסכון בצריכת החשמל במתקניהם. על הדרכים להשגת ייעול צריכת החשמל, האמצעים שננקטו והמשאבים שהושקעו הוסבר בקצרה על ידי אינג' **מ. זיסמן**, בעת הצגת הזוכים, כן קויים דיון מיוחד ורחב בכל הקשור בנושא זה במסגרת קבוצת דיון במושב אחה"צ.

(ראה מאמר בנושא בעמוד 5).

מושב ב' — אחה"צ

מושב אחה"צ התפצל ל־7 קבוצות דיון כאשר בכל קבוצת דיון הוגשו הרצאות מקצועיות בנושאים ספציפיים מתחום מקצוע החשמל, כדלקמן:

1. נושאים הקשורים באמינות אספקת החשמל לצרכנים.
2. נושאים הקשורים בחקיקה ובתקינה בנושאי החשמל.
3. נושאים הקשורים בהיבטים התעריפיים של צריכת החשמל.
4. נושאים הקשורים בציוד למתקני חשמל, בביצוע עבודות חשמל ובאיתור תלות ברשתות ובמתקנים.
5. נושאים הקשורים בייצור אנרגיה חלופית לחשמל.
6. נושאים הקשורים בייעול צריכת החשמל.
7. נושאים הקשורים במניעת סיכוני חשמל תעסוקתיים.

בקבוצת הדיון שנושאה היה "מניעת סיכוני חשמל תעסוקתיים" הועלו נושאים ובעיות שונות הקשורות לנושא הרצאתו של המרצה האורח מגרמניה.

תמונות מהכנס

אלוף (מיל.) **יצחק חופי**, מנכ"ל חברת החשמל.

אינג' **משה כץ** המהנדס הראשי, חברת החשמל.

ד"ר **פנחס גליקשטרן** המדען הראשי, משרד האנרגיה והתשתית.

תמונות מהכנס הארצי השנתי ה־4 לחשמלאים – המשך

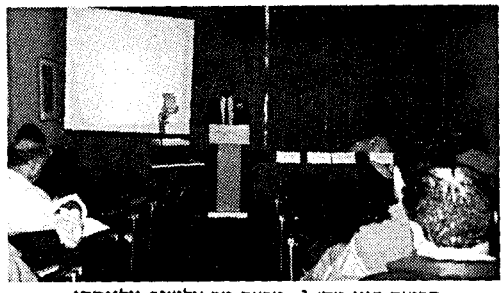
אינג' **ה. אגיפטיין** המרצה האורח מגרמניה.

מנהל אגף הצרכנות אינג' **מ. זיסמן** מעניק את הפרס הראשון לאינג' **מ. פורת** ממונה האנרגיה המפעלי של התעשיה האוירית.

צוות המשיבים ברב־שיח בסיום המושב המרכזי: מימין לשמאל: **ז. ספורן, י. נוימן, ל. יבלונובסקי, ה. גינדס, א. נאוטרה, מ. כץ, מ. זיסמן, א. לייטנר** (יושב־ראש ומנחה), **א. גולינסקי, פ. גליקשטרן, ה. אגיפטיין, י. שוירמן.**

קבוצת דיון מס' 1: מרצה אינג' **אלי נאוטרה.**

קבוצת דיון מס' 2: מרצה אינג' **נחום פלג.**



קבוצת דיון מס' 3: מרצה מר **אליעזר גולינסקי.**

קבוצת דיון מס' 4: מרצה אינג' **לורנס פוטיצ'יו.**

קבוצת דיון מס' 5: מנחה מר **אריה ונגרקו.**

קבוצת דיון מס' 6: מנחה אינג' **ליאון יבלונובסקי.**

קבוצת דיון מס' 7: מנחה אינג' **גרשון פרבר.**

תחרות "צרכן החשמל היעיל" 1986/87

אינג' אורי לייטנר

במאמר זה נעמוד בהרחבה על תהליך בחינת המועמדים שניגשו לתחרות ועל הקריטריונים שלפיהם נבחנו המועמדים. כמו כן נפרט את הלקחים שהופקו מהתחרות ונביא את המסקנות וההמלצות לקראת תחרויות דומות בעתיד.

הקדמה

חברת החשמל מיחסת חשיבות רבה לייעול צריכת החשמל במגזרי המשק השונים. בהמשך לפעולות הרבות של החברה במישור זה, הוחלט לקיים השנה בשיתוף עם משרד האנרגיה והתשתית תחרות על פרס "צרכן החשמל היעיל".

לתחרות שתי מטרות עיקריות:

א. לעודד צרכנים לנקוט צעדים לייעול צריכת החשמל — מניעת ביזבוז, העברת צריכה משעות "פסגה" לשעות "שפל" או "גבע", הקטנת הבי־קוש המירבי ושיפור מקדם ההספק.

ב. למדע את אנשי המקצוע האחראים על ניהול משק החשמל במתקני צריכה, על דרכי פעולה ועל אמצעים לייעול צריכת החשמל במתקנים. זאת על ידי הצגת ההישגים של הצרכנים המשתתפים בתחרות.

הוחלט לשתף בתחרות רק צרכני תעו"ז אשר ממלאים את דרישות התקנות של הרשות הלאומית לאנרגיה (באם חלות עליהם תקנות אלה).

על מנת לאפשר בחינה של מהות הצעדים שננקטו על ידי הצרכן ושל רמת השגיו בתחום ייעול צריכת החשמל במיתקנו, נתבקש הצרכן להגיש עבודה ובה מידע מפורט בהתאם.

תאור התנאים הנדרשים מהצרכן להשתתפות בתחרות, הדרישות לגבי מבנה ותוכן העבודה שהצרכן נדרש להגיש ותנאים מינהליים שונים הקשורים בתחרות נכללו בתקנון התחרות.

הודעות על קיום התחרות התפרסמו בעתונים הגדולים, בנוסף לכך נשלח התקנון בליווי מכתב מתאים לכל צרכני תעו"ז.

תהליך בחינת המועמדים והקריטריונים להערכת המועמדים ולקביעת הזוכים

אחת הבעיות שלא נעלמה מאיתנו עוד בטרם החלה בחינת העבודות, היתה קשורה בחוסר האחידות הצפוי בין הצרכנים במגזרים השונים:

א. לא היה ידוע מראש מספר הצרכנים אשר ישתתפו בתחרות ופילוגם לסקטורים השונים ולכן לא ניתן היה לקבוע מראש חלוקה לקבוצות הומוגניות, יחסית.

ב. לאחר שנסגרה רשימת המשתתפים התברר שאכן המועמדים משתייכים לקבוצות צרכנות מגוונות.

עם זאת, לא ניתן היה לחלקם למספר רב של קבוצות משנה בגלל מספר הצרכנים הקטן בכל קבוצה ולהביא על־ידי כך למיתון ההבדלים הנובעים מגודל ומאופי הצריכה של הצרכנים.

נדגיש שאף אם היינו מחלקים את המועמדים למספר סביר של קבוצות, לא היתה נעלמת לגמרי בעית אי־האחידות בין הצרכנים השונים.

אחת ההצעות שנשקלו היתה לחלק את הצרכנים לשתי קבוצות עיקריות לפי אופי וגודל הצריכה:

א) תעשיה, ב) מבנים ומוסדות.

חלוקה זאת מקובלת גם במשרד האנרגיה והתשתית, אך ההצעה לא התקבלה על־ידי ועדת השיפוט במסגרת התחרות לשנה זו.

לאור האמור לעיל, ניתן להבין שבעיית הבחינה היתה מורכבת מאד. אם זאת, נעשה מאמץ גדול, כמתחייב מהנסיבות, על מנת להבטיח שהקביעה הסופית של הזוכים תהיה משוקללת עד כמה שניתן ותיקח בחשבון את השוני שבין הצרכנים, כאשר הקריטריונים לבחינה הם אבסולוטיים עד כמה שניתן ומנטרלים את השוני הנובע מגודל הצריכה ומאופי הצריכה.

תהליך בחינת המועמדים

בשלב הראשון, נערך בירור ראשוני באגף לשימור אנרגיה במשרד האנרגיה והתשתית לגבי כל אחד מהצרכנים במה שנוגע למילוי כל הדרישות לייעול צריכת החשמל במתקן, החלות עליו בהתאם לתקנות הרשות הלאומית לאנרגיה.

מספר צרכנים אשר לא עמדו בדרישות לא שותפו בתחרות.

בשלב השני, נערכה בדיקה ראשונית של העבודות, אשר כללה ניתוח מעמיק של המידע שנכלל בעבודות שהוגשו על ידי הצרכנים.

לאחר בחינה ראשונית זו והשוואה בין העבודות השונות, נערך מיון אשר "השאיר במירוץ אחר הפרס" את העבודות הבולטות ובעלות הסיכויים לזכיה בפרס כלשהו בתחרות. יצויין כאן שצורת ההגשה של העבודות, מידת הבהירות בהצגת הנתונים, הצעדים שננקטו וההישגים שהושגו, השפיעו במידה מסויימת על הערכת העבודה.

בשלב השלישי, נערכו ביקורים אצל אותם הצרכנים אשר עברו את המיון הראשוני. בביקורים אלה השתתפו מהנדסי צוות הבחינה ונציגים של המחוזות הרלבנטיים. הביקורים איפשרו לקבל מידע מעמיק יותר על הצעדים שננקטו ועל ההשגים ולתחקר את הצרכן באמצעות שאלות מקשות, כדי

אינג' **א. לייטנר** — מנהל המחלקה לייעול הצריכה, אגף הצרכנות, חברת החשמל.

לעמוד **על** מידת המיצוי של הצעדים לייעול ולחיסכון בצריכת **החשמל**.

בשלב הרביעי, על סמך מכלול הנתונים שהיו בידי צוות הבחינה, נכתבו תקצירים וחוות דעת מקצועיות מסכמות על כל אחת מהעבודות שהוגשו לתחרות.

בסיכום שלב זה ניתן ציון בנקודות שבא להעריך את רמת ההישגים של כל צרכן וצרכן, ולדרגו ביחס לרמת ההישגים של יתר הצרכנים.

חוות הדעת והציונים ניתנו בהתאם לקריטריונים שיפורטו בהמשך.

בשלב החמישי, הועברו העבודות בצירוף תקצירים, חוות דעת וציונים של צוות הבחינה לחברי ועדת השיפוט. ועדת השיפוט שמעה את נימוקי צוות הבחינה, בחנה את חוות הדעת והציונים, ולאחר מספר דיונים קבעה את המועמדים העיקריים לזכיה. מועמדים אלה הוזמנו להופיע בפני ועדת השיפוט להצגת העבודות ולמתן הבהרות נוספות. בסיכום שלב זה קבעה ועדת השיפוט את הזוכים בתחרות.

הקריטריונים להערכה ולדירוג העבודות

מידת המיצוי של הפוטנציאל לייעול צריכת החשמל, הניתן למימוש על ידי נקיטת צעדים טכניים ואירגוניים במישורי הפעילות המקובלים לניהול יעיל של משק החשמל במתקן, כדלקמן:

א. תכנון אופטימלי של המערכות והמבנים החדשים מההיבט האנרגתי;
- תכנון נכון של המעטפת החיצונית של המבנים;
- תכנון מערכות צורכות אנרגיה יעילות הניתנות לבקרה ולהפעלה גמישה עם הספקים המותאמים לגודל המתקן;
- ניצול מקורות אנרגיה טבעיים (הארה טבעית, איורור טבעי ואיורור מוגבר בשעות הקרות, אנרגית השמש);
- יישום שיטות ואמצעי בקרת אנרגיה מתוחכמים;
- יישום שיטות לניצול חוזר של אנרגיה שיורית (Heat Recovery).

ב. בדיקת היעילות של המערכות הקיימות במתקן, מעקב אחר פרופיל הצריכה שלהן והכנסת שינויים לשיפורו.

ג. תיפעול ואחזקה נכונים של המערכות והמבנים מההיבט האנרגתי, שיפור פרופיל הצריכה במתקן על־ידי:
- העברת הצריכה משעות הפסגה והגבע לשעות השפל;
- הגבלת הביקוש המירבי;
- שיפור מקדם ההספק;
- ניצול שיטות ואמצעי בקרה הניתנים ליישום במערכות ובמבנים חדשים;
- צימצום הצריכה ומניעת ביזבוז.

ד. הסברה והדרכה לדרג הניהולי, לעובדים ולמשתמשים אחרים במתקן, על מנת להגביר את המודעות לחשיבות ייעול צריכת החשמל ולהשיג על־ידי כך הבנה ושיתוף פעולה מצידם לטובת המפעל ולטובתם הם.

רמת המורכבות של הצעדים הטכניים והאירגוניים שננקטו תוך מתן תשומת לב להיבטים הבאים:

א. המורכבות הטכנית של הצעדים;

ב. ייזום פעולות חדשניות ובלתי שיגרתיות לייעול הצריכה;

ג. קביעת סדר עדיפות נכון בטיפול בייעול צריכת החשמל במוקדי צריכה שונים בהתחשב בגודל הצריכה ובאופי הצריכה, מבלי לפסוח על מוקד צריכה כלשהו;

ד. המורכבות האירגונית של הצעדים הנדרשים כדי לשנות את סדרי הפעילות על מנת להעביר חלק מהצריכה בשעות הפסגה לשעות הגבע והשפל, והנכונות להשקיע את כל המאמצים הנדרשים לנקיטת צעדים אלה;

ה. מרכיב ההוצאות לחשמל בסך כל הוצאות התפעול ו/או הייצור. ההתייחסות לצרכן שהוצאותיו לחשמל מהוות מרכיב נכבד בעלויות הייצור ו/או התיפעול תהיה שונה מההתייחסות לצרכן שהוצאותיו לחשמל מהוות מרכיב שולי בלבד; ברור שמאמציו של הצרכן השני לייעול הצריכה במתקנו ראויים להערכה יותר מאשר מאמצים דומים של הצרכן הראשון. זאת למרות שהצרכן הראשון משיג בדרך כלל חיסכון אבסולוטי גבוה יותר.

יעילות הצעדים שננקטו תוך בדיקת הנקודות הבאות:

א. השינויים שחלו בצריכה ובביקוש החודשיים והשנתיים כולל השוואה בין התפלגות הצריכה לפי משבי"ם (מקבצי שעות הביקוש) לפני ואחרי נקיטת הצעדים;

ב. השינויים שחלו בהיקף הפעילות במתקן והשפעתם על השינויים בצריכה ובביקוש כמפורט בסעיף א' לעיל;

ג. השינוי במשקל הסגולי של ההוצאות לחשמל בהוצאה הכוללת לייצור ו/או לתיפעול;

ד. המשאבים — כספיים/כח־אדם — שעמדו לרשות הצרכן לשם ביצוע הצעדים השונים לייעול צריכת החשמל במתקנו;

ה. כדאיות הצעדים שננקטו: הצגת "עלות — תועלת" תוך ציון זמן החזר ההשקעה.

הידע של האחראים לניהול משק החשמל על עקרונות ושיטות מקובלים **ליעול צריכת החשמל, הרלבנטיים במתקן.**

לקחים ומסקנות

★ העבודות שהוגשו על ידי הצרכנים, רובן ככולן, חסרו נתונים שונים שהגשתם התחייבה מתקנון התחרות. עובדה זאת היקשתה מאד על עבודת צוות הבחינה. יתכן גם שצימצום היקף המידע הנכלל בעבודות ותאור לקוי של צעדים טכניים ואירגוניים שננקטו, היו בעוכריהם של חלק ממשתתפי התחרות.

★ משיחות שקיימנו עם משתתפי התחרות התרשמנו שיש מקום להבהיר לצרכנים את השלבים העיקריים בתהליך בחינת המועמדים ואת הקריטוריונים העיקריים להערכת

המועמדים ולקביעת הזוכים בתחרות. עקב כך, לקראת התחרויות הבאות, אנו נכלול בתקנון התחרות תאור עקרוני של תהליך בחינת המועמדים, ושל הקריטריונים להערכת העבודות שיוגשו ולקביעת הזוכים.

כך למשל, נבהיר שהחיסכון האבסולוטי בקוט"ש ו/או אחוז החיסכון בחשמל אינם קובעים **באופן בלעדי** את רמת ההשגים של הצרכן. הערכת השגיו של הצרכן על ידי צוות הבחינה וועדת השיפוט היא בהתאם **לשורה** של קריטריונים שונים שפורטו לעיל.

בהערכת העבודה לפי קריטריונים אלה, נעשה מאמץ מירבי להתחשב בהבדלים מהותיים בגודל הצריכה ובאופי הצריכה של הצרכנים השונים.

כאן המקום להדגיש שהתחרות היא על פרס "צרכן החשמל היעיל" ולא על פרס "החשמלאי היעיל ביותר". אנו מודעים למאמצים הרבים שמשקיעים חשמלאים בייעול צריכת החשמל במתקניהם תוך התמודדות עם קשיים הנובעים מאילוצים כלכליים, אירגוניים וחברתיים. מאמצים אלה זוכים להערכתנו בשופטנו את העבודות המוגשות, אך אין די בהם כדי לקבוע את הזוכים בתחרות.

אחד הקריטריונים העיקריים לקביעת הזוכים היה מידת המיצוי של הפוטנציאל לייעול צריכת החשמל הקיים במיתקן. קריטריון זה היווה בסיס למאמצינו לתת התייחסות שווה לכל הצרכנים שהגישו את עבודתם במסגרת התחרות ללא תלות בגודל ובסוג הצריכה במתקן.

★ אחד הלקחים שהפקנו במהלך התחרות קשור בידיעה החלקית של חלק מהצרכנים על מיגוון השיטות הניתנות ליישום במסגרת ניהול יעיל של משק החשמל.

הביקורים והשיחות שקיימנו במסגרת התחרות נוצלו להבהרת הנושא לחלק מהצרכנים ולהעלאת רעיונות של צעדים אפשריים נוספים לייעול צריכת החשמל במתקנים הספציפיים. יחד עם זאת, אנו רואים בתחרות רק אחד מהאמצעים להגברת המודעות לחשיבות הניהול היעיל של משק החשמל אצל הצרכנים ויש בהחלט מקום להרחבת הידע בנושא בקרב אנשי המקצוע הרלבנטיים.

לקט ידיעות ומידע

★ הכנס הארצי השנתי ה־5 לחשמלאים יתקיים **ביום רביעי 13.1.1988** במרכז הקונגרסים שבגני התערוכה בתל־אביב.

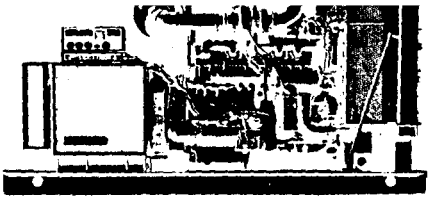
★ התחרות השנתית על **פרס "צרכן החשמל היעיל"** תוכרז בחודש יוני 1987.
כמו אשתקד, מיועדת התחרות גם השנה לצרכני תעו"ז.
המועד האחרון להגשת המועמדות — 31.8.1987.

★ התקנות החדשות **"התקנת גנרטורים למתח נמוך"** פורסמו בקובץ התקנות מס' 5000 ב־26.1.1987.

★ הסדרה מס' 14 של מפגשי מועדון "התקע המצדיע" לחשמלאים באזורים (שההרצאה המרכזית בה היא בנושא "התקנת גנרטורים למתח נמוך עם פרסום התקנות החדשות") נמשכת: לאחר המפגש הראשון שהתקיים באזור רמלה/לוד ב־30.9.86, התקיימו מפגשים נוספים **באזור טבריה** (2.3.87); **באזור נהריה** (10.3.87); **באזור אילת** (17.3.87 — מפגש מורחב שכלל גם הרצאות בנושאים: "שיפור פרופיל הצריכה של מערכות מיזוג אויר מרכזיות", "מניעת סיכוני חשמל תעסוקתיים", "בעיות ופתרונות בנושאי צרכנות טכנית וחל"ב"); **באזור אשקלון** (24.3.87) **ובאזור נתניה** (31.3.87).
המפגשים הבאים שכבר נקבע מועדם יתקיימו לפי המפורט להלן:
אזור חדרה — 6.4.87. **נפת באר־שבע** — 24.5.87.
אזור אשדוד — 29.4.87. **אזור פתח־תקוה** — 1.6.87.
בשאר האזורים יתקיימו המפגשים בתאריכים שעדיין לא נקבעו.
הזמנות נשלחות באמצעות הדואר אל החשמלאים הנכללים בקהילית "התקע המצדיע", בהתאם לאזור מגוריהם.

★ המפגש הארצי ה־3 של מועדון "התקע המצדיע" לצוותי חשמל ואחזקה בבתי מלון יתקיים ביום רביעי 24.6.87 במלון מוריה־פלזה בתל־אביב.

פרטים נוספים ניתן לקבל במערכת "התקע המצדיע".



התקנת גנרטורים למתח נמוך

אינג' יוסף רוזנקרנץ

בחודש ינואר השנה פורסמו תקנות החשמל החדשות בדבר **התקנת גנרטורים למתח נמוך התשמ"ז — 1987**. (קובץ התקנות מס' 5000 מיום 26.1.1987).

התקנות החדשות מתייחסות לנושאים טכניים אשר לא היו מוסדרים עד עתה, באופן ממוסד. מצב זה גרם, לא אחת, לחילוקי דעות בין הצרכנים לבין צוותי חברת החשמל.

מאמר זה נועד להסביר ולפרט מספר נושאים עיקריים מתוך התקנות החדשות.

מקורות ושיטות אספקה חלופיות

מקורות אספקת החשמל החלופיות מתחלקות על פי סוגיהם, לקבוצות הבאות:

א. גנרטורים סיבוביים, סינכרוניים המזינים מיתקנים המחוברים באופן קבוע לרשת חברת החשמל אך עוברים לאספקה חלופית מהגנרטורים כשנפסקת האספקה הרגילה מרשת החשמל.

גנרטורים מקבוצה זו הינם, למעשה, ערכות מנוע־גנרטור כאשר המנוע הוא בדרך כלל, מדגם־שריפה פנימית כגון מנוע דיזל, והגנרטור הוא, על פי רוב, סינכרוני, תלת־מופעי, בעל נקודת כוכב. ערכות גנרטורים מקבוצה זו מהווים את רוב הגנרטורים הקיימים בארץ והם מיועדים לתפקידים הבאים:

(א) אספקה חלופית לחלקי מיתקן חיוניים לשעת דחק, כלומר כשנפסקת האספקה מרשת חברת החשמל.

(ב) אספקה חלופית חלקית למתקנים לצורך הורדת שיא הביקוש.

(ג) אספקה חלופית לצרכנים דתיים בימי שבת וחג.

ב. גנרטורים סיבוביים סינכרוניים או אסינכרוניים המזינים מיתקנים כשהם מחוברים במקביל לרשת חברת החשמל.

גנרטורים מקבוצה זו הינם ערכות מנוע־גרנטור אשר ממירים לאנרגיה חשמלית — אנרגיה חלופית כגון: חום שיורי, אנרגיה סולרית, אנרגית הרוח וכיוצא באלה.

לקבוצה זו משתייכים תחנות כח פרטיות ותעשייתיות אשר מנצלות את החום השיורי של קיטור תהליכי, מים חמים או אנרגיה סולרית.

הגנרטורים המותקנים בתחנות כח אלה הם בדרך כלל גנרטורים סינכרוניים והם מחוברים לרשת מתח גבוה או לרשת מתח עליון של חברת החשמל. לאותה קבוצה משתייכים גם גנרטורים אסינכרוניים המותקנים בתחנות רוח, בתחנות הידרואלקטריות זעירות או בתחנות כח זעירות אחרות, המחוברות אף הן לרשת חברת החשמל.

ג. גנרטורים סיבוביים המזינים, באופן עצמאי מיתקנים, במקומות שאין בהם אספקת חשמל ציבורית.

הגנרטורים מקבוצה זו הם ערכות מנוע־גנרטור והם מותקנים, בדרך כלל, בישובים מרוחקים, במחנות צבא, באתרי בנייה מרוחקים, וכיוצא באלה.

ד. גנרטורים סיבוביים או ממירים סטטיים המזינים מתקנים חיוניים בשיטת אל־פסק.

הגנרטורים מקבוצה זו הינם ערכות מנוע־גנרטור בעלות מקור אנרגיה חשמלי או דיזל והם מזינים, באופן קבוע, מיתקנים חיוניים במיוחד, אשר אינם סובלים הפסקות חשמל — כולל הפסקות קצרות ביותר.

ה. גנרטורים מיוחדים כגון: גנרטורים לריתוך, גנרטורים לתדירות גבוהה וכיוצא באלה.

במסגרת מאמר זה לא נתייחס לגנרטורים מקבוצה זו, אשר התקנות החדשות אינן חלות עליהם.

עברנו בתמצית על רוב מקורות ושיטות האספקה החלופיות במטרה להדגיש כי התקנות החדשות אינן חלות, בשלב זה, על כל סוגי הגנרטורים אלא מתייחסות רק לגנרטורים סיבוביים באספקה חלופית ובאספקה עצמאית, במתח נמוך, המהווים, כאמור, את רובם הגדול של הגנרטורים בארץ.

אספקה חלופית למיתקנים

על פי התקנות החדשות, בניגוד, למה שהיה מקובל עד לזמן האחרון, מותר להזין, באספקה חלופית, חלק ממיתקן הצרכן בעוד שיתר המיתקן נשאר מחובר ומוזן מרשת חברת החשמל. היתר זה מאפשר לצרכן להעלות את רמת אמינות אספקת החשמל למיתקנו מכיוון שהפעלת הגנרטור יכולה להתבצע, במקרה של **חוסר מתח זינה על הדקי המיתקן החיוני עצמו**, ללא קשר במצב קיום או אי קיום מתח הזינה של המיתקן בשלמותו.

יתרון אחר נעוץ בכך שאפשר להפעיל גנרטורים להורדת שיא הביקוש ללא צורך בהפסקת המיתקן כולו.

כמו כן ניתן לבצע בדיקות העמסה של הגנרטורים מבלי להפסיק את המיתקן בשלמותו.

אמצעי בטיחות בהתקנת גנרטורים

בתקנות החדשות הושם דגש מיוחד על אמצעי הבטיחות היחודיים (הספציפיים) הנובעים מהשימוש הבר־זמני, באותו מיתקן, של מקורות אספקה שונים המתקיימים זה לצד זה.

אמצעי הבטיחות מיועדים להשיג את המטרות הבאות:

(א) מניעת מתח חוזר מהגנרטור לכיוון רשת חברת חשמל.

אינג' י. רוזנקרנץ — הרשת הארצית, אגף הצרכנות, חברת החשמל.

(ב) הגנה על בני־אדם בפני חישמול בהתאם לחוק החשמל — הארקות, ושיטות הגנה בפני חישמול במתח עד 1000 וולט[1].
(ג) הגנה על בני־אדם בפני חישמול במקרה של נגיעה ישירה בחלקים חיים כשהמיתקן מנותק לכאורה, מאספקת החשמל.
(ד) מניעת מפגעים בטיחותיים אחרים כגון: פגיעות מכניות, השפעת ברקים וכו׳.

מניעת מתח חוזר

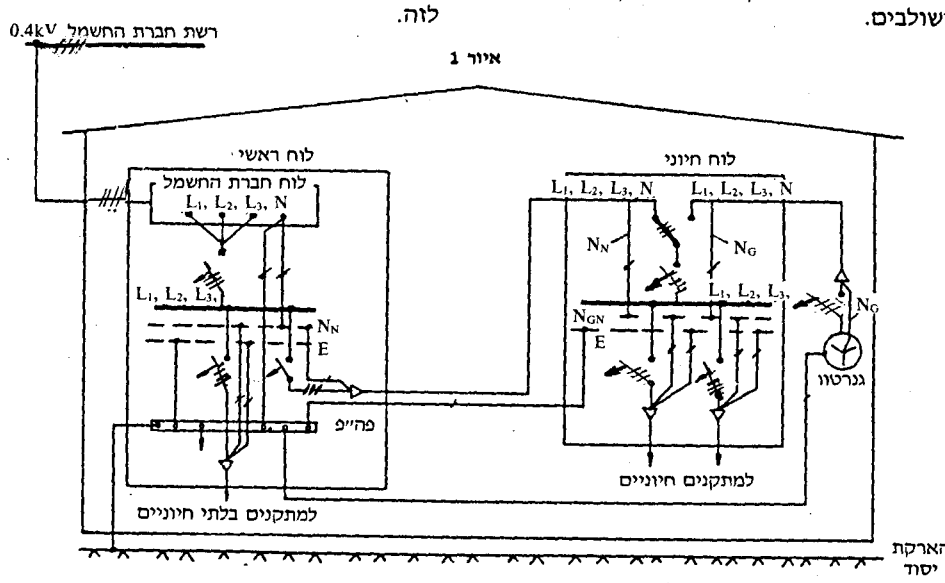
האמצעים למניעת מתח חוזר מהגנרטור לכוון רשת חברת החשמל מתמקדים בדרישות הבאות:
(א) התקנת מפסק מחלף דו קטבי, תלת קטבי, או ארבע־קטבי אשר יפריד באופן בטוח ומוחלט בין הגנרטור לבין רשת חברת החשמל, ויימנע גרירת פוטנציאל האפס בין הגנרטור לבין רשת חברת החשמל.
(ב) אם המפסק המחלף מורכב משתי יחידות — יותקן שולב (חיגור) כפול בין שני חלקיו בכדי למנוע אפשרות ששני המפסקים יהיו מחוברים בו־זמנית אפילו במקרה של תקלה באחד מהשולבים.
(ג) לכל מפסק מחלף אוטומטי יותקנו ממסרי השהיית זמן לכל כיוון פעולה, וזאת כדי להבטיח הפעלתו רק לאחר התיצבות המצב של קיום או אי קיום מתח ברשת.

שיקולים לבחירת קטבי המפסק המחלף

הבחירה בין מפסק מחלף תלת קטבי או ארבע־קטבי ברשת תלת־מופעית קשורה בשיטת ההגנה בפני חישמול של המיתקן ולהלן נביא מספר דוגמאות המתייחסות לכך:

דוגמא "א" — מבנה המוגן בשיטת "האיפוס" כשהמיתקן החיוני והגנרטור מותקנים באותו מבנה (איור 1). במקרה כזה יש להתקין מפסק מחלף תלת קטבי ולבצע את הארקת השיטה של הגנרטור דרך נקודת האפס שבלוח המחלף — לפס השוואת הפוטנציאלים (פה"פ).

פתרון זה הינו, בדרך כלל, בר ביצוע כשהלוח הראשי, לוח הגנרטור והגנרטור עצמו קרובים זה לזה.



יש להתקין שלט בלוח הראשי אשר יזהיר בפני ניתוק ברציפות האפס בין נקודת האפס של הגנרטור לבין נקודת האיפוס של המיתקן, דבר אשר עלול לגרום לכך שהגנרטור יפעל ללא "הארקת שיטה".

כמו כן אין לבצע כל שינוי במיתקן, כגון החלפת מונה חברת החשמל, התקנת מפסק מגן לזרם דלף, או כל שינוי אחר אשר עלול לגרום לפסק ברציפות שבין מוליך האפס של הרשת לבין מוליך האפס של הגנרטור.

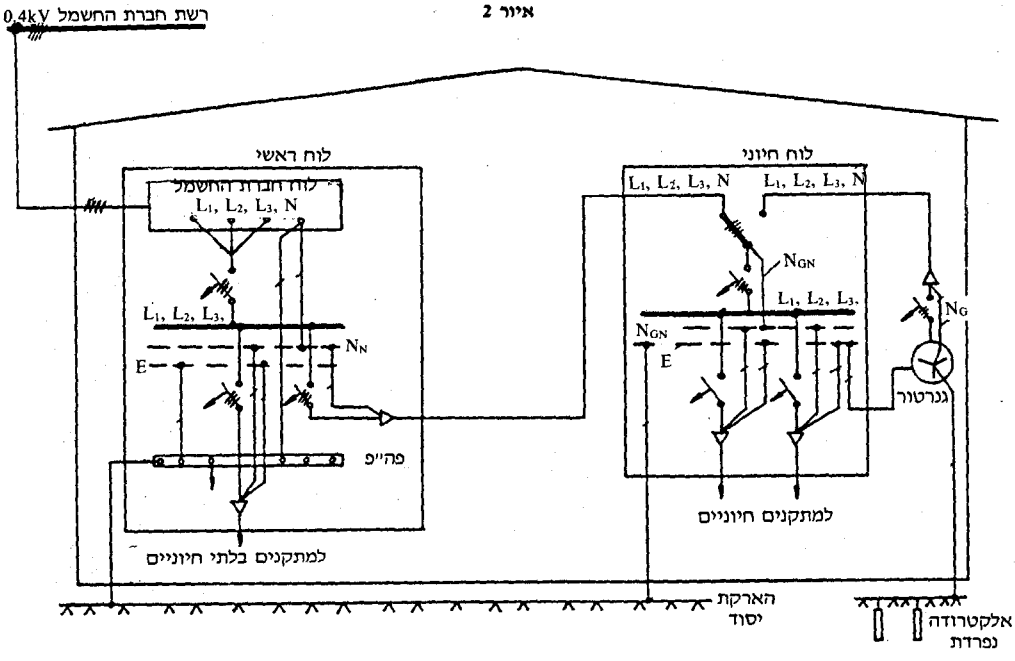
דוגמה "ב" — במקרה שהגנרטור מרוחק מהלוח הראשי מותר להשתמש במפסק מחלף ארבע־קטבי במקום מחלף תלת־קטבי כשהארקת השיטה של הגנרטור מבוצעת בנפרד כמתואר באיור 2.

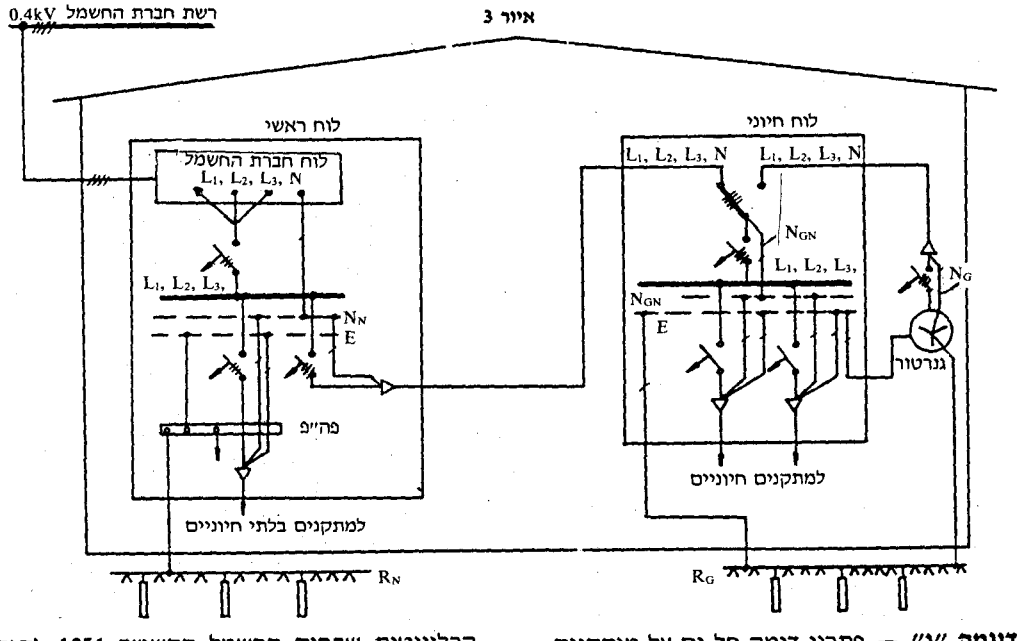
פס האפס של הלוח החיוני יתחבר חליפות, פעם למוליך האפס של החברה ופעם למוליך האפס של הגנרטור — בהתאם למקור האספקה.

פס ההארקה שבלוח המזין מתקנים חיוניים וגוף הגנרטור יחוברו להארקת היסוד או לפס השוואת הפוטנציאלים (פה"פ).

"הארקת השיטה" של הגנרטור תהיה נפרדת מהארקת היסוד של המיתקן בהתאם להוראות חוק החשמל התשי"ד—1954. (קובץ התקנות 4643; "הארקות ושיטות הגנה נגד חישמול במתח עד 1000 וולט" פרק ג׳ ופרק ז׳ סימן א׳.)

1. ק"ת 4643.





דוגמה "ג" — פתרון דומה חל גם על מיתקנים המוגנים בשיטת הארקה כמתואר באיור 3.

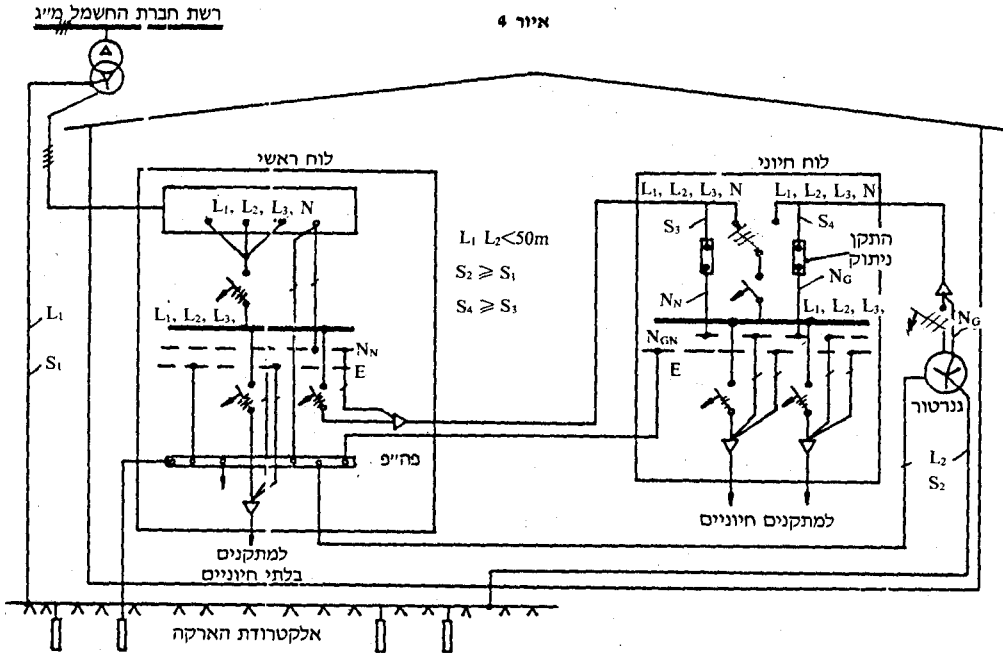
נקודת האפס של הגנרטור (הארקת השיטה), גוף הגנרטור ופס ההארקה של הלוח החיוני יחוברו לאלקטרודה נפרדת(R_G) ולא לאלקטרודה של המיתקן(R_N).

התנגדות הארקה של הגנרטור והתנגדות הארקה של המיתקן יהיו בהתאם להוראות תקנות החשמל הרלוונטית שבחוק החשמל התשי"ד 1954, (קובץ התקנות 4643, פרק ג' ופרק ז' סימן ב').

דוגמה "ד" — התקנות מתירות — במקרים מיוחדים של מתקנים גדולים — להשתמש במפסק מחלף תלת־קטבי גם אם ההגנה בפני חישמול אינה בשיטת "האיפוס".

התנאים לכך מתוארים באיור 4.

איור 4



הדרישות הן:

(א) השנאי המזין את המתקן יהיה בלעדי למתקן זה.

(ב) חתך המוליך להארקת השיטה של הגנרטור (S_2) לא יהיה קטן מחתך המוליך להארקת השיטה של השנאי (S_1).

(ג) אורכם המירבי של מוליכי הארקת השיטה של השנאי (l_1) ושל הגנרטור (l_2) יהיה עד 50 מטר כל אחת.

(ד) החתך המזערי של מוליך האפס של הגנרטור (S_2) יהיה כחתך מוליך האפס של השנאי (S_1) לפחות.

(ה) מוליכי הארקת השיטה של הגנרטור ושל השנאי יהיו נפרדים עד למקום חיבורם אל אלקטרודת הארקה או אל פה"פ או אל פס מתכתי, המחובר בשני מקומות לפחות לאלקטרודת ההארקה; חיבור מוליך ההארקה יהיה בהדק ניפרד.

(ו) במוליכי האפס של השנאי (S_2) ושל הגנרטור (S_4) יותקן לפני החיבור הראשון בהם, אבזר המאפשר ניתוק האפס באמצעות כלים בלבד, מיקום האבזר יאפשר גישה נוחה.

הגנה באמצעות מבטחים

התקנות החדשות בדבר התקנת גנרטורים מתייחסות גם ליתר התקנות שבחוק החשמל ובהקשר לזה יש לשים לב לנושא חשוב ביותר והוא הגנה בפני חישמול באמצעות מבטחים.

המבטחים מיועדים כידוע, בין שהם נתיכים ובין שהם מפסקים אוטומטיים, לנתק את מעגל החשמל, למטרות הבאות:

(א) הגנת המוליכים בפני חימום יתר הנגרם על ידי עומס יתר.

(ב) הגנת המוליכים בפני חימום יתר הנגרם על ידי זרם קצר.

(ג) הגנת בני אדם בפני חישמול באמצעות ניתוק של המיתקן שארע בו קצר — כולל קצר להארקה.

את התפקידים המופיעים בסעיפים (ב) ו־(ג) דלעיל מסוגל המבטח למלא רק בתנאי שבעת הופעת הקצר יתפתח זרם, בעוצמה מספיק גדולה, אשר יגרום להפעלתו בזמן הנדרש (בדרך כלל עד 5 שניות). כשמוזן מיתקן במתח נמוך מרשת חברת החשמל קיים, בצד המתח הגבוה של הרשת, הספק קצר השווה לכ־500 מגו"א.

הודות לכך נחשבת רשת מתח גבוה, מבחינת זרם הקצר בצד המתח הנמוך, כבעלת הספק אינסופי. לכן מוגבל, למעשה, הספק הקצר המירבי בצד המתח הנמוך בהספק הנקוב ובאימפדנס של השנאי בלבד. **לדוגמה** הספק הקצר של שנאי 630 קו"א הינו כ־16 מגו"א (0.01 אוהם).

עוצמת זרם הקצר החד מופעי להארקה בצד המתח הנמוך נקבעת על ידי סך העכבות בלולאת התקלה, ובעיקר על ידי התנגדות אלקטרודת ההארקה ומוליכי הלולאה.

כשמתחלפת האספקה מרשת חברת החשמל לגנרטור, יורד הספק הקצר במיתקן המוזן בצורה קיצונית. לדוגמה — הספק הקצר של גנרטור בעל 100 קו"א הינו 1÷0.7 מגו"א בלבד (כ־0.25 אוהם) בהשוואה ל־16 מגו"א ברשת מתח נמוך המוזנת משנאי בהספק של 630 קו"א. לפיכך אין להזניח את אימפדנס הגנרטור אלא יש להתחשב בו בחישוב זרמי הקצר.

כמו כן, יש לכלול את אימפדנס הגנרטור בחישוב לולאת התקלה ובבחירת המבטחים, לרבות, מפסקי המגן לזרם דלף, המותקנים במעגלים הסופים המוזנים מהגנרטור וזאת כדי להבטיח את קיום תנאי ההגנה בפני חישמול בעת שהמתקן מוזן מן הגנרטור.

(המשך בעמ' 38)

מניעת תאונות במתקני־חשמל ובשימוש של ציוד חשמלי

אינג׳ יוסף שוירמן

נושאים נבחרים מתוך ההרצאה שהוכנה על ידי דיפל. אינג׳ **ה.ה. אגיפטין** — ממלא מקום המנהל הטכני של **האיגוד למכניקה עדינה, מיכשור וחשמל שברפובליקה הפדרלית הגרמנית**, והוגשה על־ידי המהנדס היועץ אינג׳ **יוסף שוירמן** בכנס הארצי השנתי ה־4 לחשמלאים שנערך במרכז הקונגרסים בתל־אביב ב־14.1.87.

מבנה האיגוד

האיגוד למכניקה עדינה, מיכשור וחשמל, קיים כבר למעלה ממאה שנים ומהווה שילוב של מוסד לביטוח תאונות, בעבודה, מכון לרפואה תעסוקתית ומוסד למניעת תאונות.

לאיגוד סמכויות המעוגנות בחוקים הפדרליים הגרמניים, לפיהם חייבים כל המעסיקים בגרמניה לבטח את עובדיהם באיגוד ולהשתתף במימון פעילויותיו.

באגף למכניקה עדינה וחשמל מבוטחים כ־2,000,000 (2 מיליון) עובדים, מהם כ־135,000 עובדי חברות לאספקת חשמל. יתר המבוטחים מועסקים במפעלי תעשייה, חברות קבלניות ועוד.

האיגוד, שמרכזו בקלן, מעסיק, ברחבי הרפובליקה הפדרלית הגרמנית, 500 עובדים. 120 טכנאים באיגוד עוסקים בנושאי חשמל כאשר 80 מהם משמשים כמפקחי חוץ.

ב־1985 טיפל האיגוד ב־125 תאונות מוות של מבוטחי חשמל מהן 8 חישמולים, 27 תאונות עבודה, 80 תאונות דרכים ו־2 מקרים של מחלות מקצועיות.

באיגוד מועסקים מהנדסים, טכנאים, משפטנים ורופאים וכל אלה מכסים את מיגוון הפעילויות הקשורות בביטוח ומניעת תאונות עבודה. ברשות האיגוד בתי חולים ובתי הבראה משלו, כן מקיים האיגוד בית ספר מיוחד (בתנאי פנימייה) להדרכה למניעת תאונות חשמל.

במטה המחלקה לחשמל בקלן, קיימת מעבדת בדיקה משוכללת בעלת סמכויות להענקת תווי־אישור לציוד חשמלי.

כמו כן, עוסקת מחלקה מיוחדת באיגוד במחקר וניתוח של תאונות חשמל. תוצאות המחקרים מהוות בסיס להצעות לתקנים חדשים ולשיפורים במבנה הציוד וקביעת עקרונות לטיפול ולתחזוקה במערכות חשמל.

בהסתמך על ניתוח תאונות העבודה במשך שנים רבות עובדו, על ידי האיגוד, הנחיות טכניות אשר יפורטו להלן. לדעת אנשי האיגוד היו להנחיות אלה תוצאות חיוביות שהתבטאו בירידה במספר תאונות החשמל.

שכיחות תאונות חשמל

קיים קושי בהשוואת נתונים על תאונות חשמל קטלניות בין מדינות שונות. זאת מאחר ושיטות הרישום והדיווח אינן זהות ויתכן, לכן שלא כל התאונות נרשמות וזוכות לטיפול זהה.

ב־20 השנים האחרונות נאספו במדינות שונות, נתונים על תאונות חשמל קטלניות. הנתונים נאספו הודות לשיתוף הפעולה הקיים בין האירגונים הבינלאומיים הבאים:

IEC — הנציבות הבינלאומית לחשמל.

UNIPEDE — האיגוד הבינלאומי של יצרני חשמל.

IVSS — האיגוד הבינלאומי לבטיחות תעסוקתית.

הנתונים מבוססים בעיקר על דיווח סטטיסטי של אירגון הבריאות העולמי.

בטבלה 1 נתונים מספרי מקרי מוות כתוצאה מחישמול למיליון תושבים (אנו הוספנו את הנתונים התואמים של תאונות קטלניות בישראל).

יש לשים לב לירידה המשמעותית בשכיחות התאונות בין השנים 1972—1982. על רקע הנתונים הבינלאומיים נתייחס כאן למצב בגרמניה המערבית כיום. לפי הנתונים הסטטיסטיים הרשמיים נראה כי קיימת ירידה ברורה בשכיחות תאונות החשמל. ניתוח מדויק מראה שהירידה החדה ביותר במספר התאונות היתה בעיקר בתעשייה, באתרי בנייה ובחקלאות. במיתקני חשמל ביתיים היתה ירידה מועטת יחסית, (ראה **טבלה 2**). ירידה זו התרחשה בשעה שבשנים הנדונות עלה השימוש בחשמל במתקני חשמל ביתיים בגרמניה המערבית מ־43 מליון מגוו״ט־שעה ל־86 מליון מגוו״ט־שעה. העליה בצריכת החשמל הביתית כמעט ולא השפיעה על מספר התאונות.

אל נשכח שגם במיגזר התעשייתי היתה בשנים הנ״ל עליה דומה בצריכת החשמל אך במיגזר זה אנו מבחינים בירידה במספר התאונות הקטלניות ובמספר התאונות החמורות המחייבות דיווח לאיגוד.

צעד נוסף לבחינה של תאונות חשמליות בתעשייה, באתרי בנייה ובחקלאות מתואר **בגרף שבאיור 1**. העקומה העליונה מראה את סך־הכל של תאונות החישמול הקטלניות, המרכזית את מספר תאונות החשמל הקטלניות של חשמלאים, והעקומה התחתונה את מספר תאונות החשמל הקטלניות של עובדים אחרים (שאינם חשמלאים).

אנו מבחינים בירידה במספר התאונות בחצי לפחות (מ־3,900 ל־1,400), מה גם שמספר התאונות של חשמלאים גבוה ממספר התאונות של עובדים שאינם חשמלאים.

אינג׳ י. שוירמן — מהנדס יועץ.

טבלה 1
תאונות חשמל קטלניות למליון תושבים. (סימון המדינה לפי סימוני הרכב)

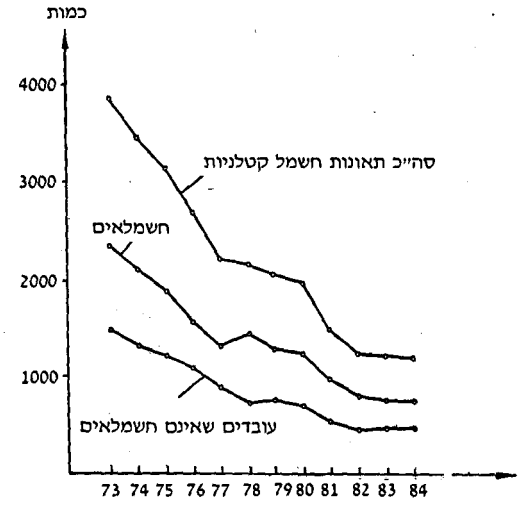
תאונות קטלניות
1 מליון תושבים

המדינה		1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982
אוסטריה	A	4.27	6.37	5.17	4.52	5.59	5.05	3.20	3.73	3.20	3.46	3.06
בלגיה	B	3.40	2.97	3.17	3.98	2.14	3.46	2.64	—	—	—	—
דנמרק	DK	2.20	2.39	1.58	0.99	1.38	0.79	0.59	0.59	1.17	0.78	1.37
פינלנד	SF	5.41	3.22	1.72	2.54	1.69	2.32	1.05	1.47	2.92	—	—
צרפת	F	3.32	3.97	3.27	3.28	3.08	3.37	3.11	3.09	2.78	3.29	3.12
גרמניה	D	4.32	4.36	4.11	3.57	3.33	2.88	2.79	2.51	2.70	2.43	2.55
אנגליה	GB	2.67	2.59	2.52	1.93	2.49	2.11	1.97	1.72	1.95	1.42	1.85
הונגריה	H	9.02	6.04	6.60	7.90	6.34	6.02	5.25	6.45	7.94	6.82	7.66
אירלנד	IRL	4.65	2.62	3.88	1.60	4.11	3.47	2.80	2.37	2.06	2.62	2.01
איטליה	I	5.73	6.74	6.36	6.05	5.86	5.76	4.92	5.23	4.69	—	—
הולנד	NL	1.58	0.89	1.33	1.32	1.31	1.25	1.29	1.00	0.71	0.63	0.42
נורבגיה	N	3.05	1.77	2.78	1.74	1.74	1.73	0.98	0.98	0.98	0.73	1.94
ספרד	E	5.77	6.65	7.49	5.65	6.46	4.70	4.41	4.54	—	—	—
שבדיה	S	2.71	1.84	2.70	2.69	2.31	1.45	2.17	1.69	1.80	1.44	0.96
שוויץ	CH	5.30	4.58	3.43	4.25	2.85	3.97	2.21	3.65	3.65	2.47	—
ישראל	IL	**6.10**	**5.20**	**7.14**	**3.80**	**3.80**	**3.20**	**4.10**	**5.30**	**3.10**	**4.52**	**3.30**
אוסטרליה	AUS	7.64	7.16	7.72	6.15	5.96	4.98	5.61	5.96	5.27	5.72	—
קנדה	CND	3.25	3.67	4.14	3.46	2.99	4.03	2.90	3.30	2.76	2.97	—
יפן	J	2.76	2.55	2.26	1.89	1.52	1.56	1.50	1.18	0.95	0.87	—
ניו זילנד	NZ	5.48	5.03	4.19	7.12	7.64	2.87	3.17	5.81	4.44	5.03	4.11
ארה"ב	USA	5.21	5.46	5.47	5.74	4.85	5.47	4.51	4.65	—	—	—

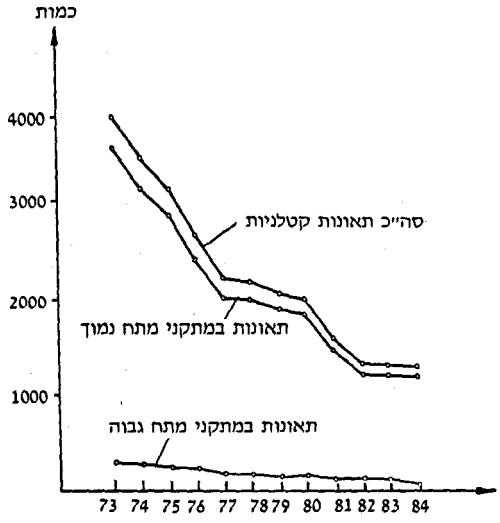
טבלה 2
התפתחות תאונות חשמל קטלניות בגרמניה המערבית

שנה	תושבים	תצרוכת חשמל במליוני קוט"ש		תאונות קטלניות				תאונות קטלניות ל-10 מיל. תושבים לכל מליון קוט"ש שימוש
		סה"כ	במתקנים ביתיים	סה"כ	במתקנים ביתיים	בתעשייה	בחקלאות	
1949	49,198,000	—	1,350	317	—	—	—	—
1955	52,382,000	79,572	6,364	308	—	—	—	0.74
1960	55,433,000	122,382	12,949	304	—	—	—	0.44
1965	59,012,000	181,358	23,884	289	—	—	—	0.27
1970	60,651,000	256,679	43,075	256	87	67	102	0.16
1975	61,829,000	319,400	67,810	221	87	46	88	0.11
1980	61,658,000	374,500	85,551	166	61	45	60	0.071

איור 1
תאונות חשמל קטלניות בשנים 84-1973.
(גרמניה המערבית)



איור 2
תאונות חשמל קטלניות בשנים 84-1973.
(גרמניה המערבית) חלוקה לפי מתח נמוך וגבוה.



בגרף שבאיור 2 אנו רואים התפתחות זו לפי רמות מתחים: מתך נמוך (עד 1,000 וולט) ומתח גבוה (מעל 1,000 וולט). בטבלה זו מבחינים בירידה משמעותית בשנות השבעים ולאחר מכן נמשך קו אופקי כמעט. פרושו של דבר שהושג ערך גבולי מסויים ויש צורך בפעולות נוספות על מנת לרדת מתחת לערך זה.

בשנות השישים ערך המכון לחקר תאונות חשמל בגרמניה המערבית מחקר מקיף ונבדקו 50,000 דו"חות של תאונות חשמל מבחינה רפואית וחשמלית. המסקנות הצביעו בברור על הגורמים העיקריים לתאונות החשמל.

הגורמים העיקריים לתאונות חשמל

- אי התאמה של ציוד למקום ההתקנה ולצרכים התפעוליים כגון: באתרי בניה, במספנות ובתעשיה הכבדה.
- חוסר מודעות של עובדים לסיכוני חשמל.

לגבי הפעולות הקשורות בעבודה במתקני חשמל התבררו נקודות התורפה הבאות:

— התהוות קצרים וקשתות חשמליות בלוחות מתח נמוך בזמן החלפת נתיכים כתוצאה מליכלוך ושאריות של מוליכי חשמל הנופלים על חלקים חיים בלתי מבודדים בעת טיפול בלוחות חשמל.
— מגע מקרי בחלקים חיים בזמן טיפול בציוד הממוקם בסמוך לאביזרים המחוברים למתח. תופעה זו שכיחה בזמן כיוונון של ממסרי זמן, יתרות זרם, תרמוסטטים וכו' וכן תוך טיפול בלוחות בקרה.
— חוסר הקפדה על חמשת עקרונות הבטיחות אותם יש לקיים לפי הסדר הבא:

1. ניתוק הזרם.
2. מניעת חיבור חוזר של הזרם (כגון על ידי נעילת מפסקים).
3. בדיקת העדר מתח.
4. הארקה וקיצור.
5. כיסוי והגנת חלקים חיים בסמוך לאזור העבודה.

— העדר מודעות של בעלי המקצוע לסכנות (אדישות כתוצאה משיגרה).
— עלייה בצפיפות האספקה (יותר הספק חשמלי לנפח נתון, עליה בהספקי זרם הקצר).
— העליה הכללית הניכרת בשימוש בחשמל בגרמניה המערבית.

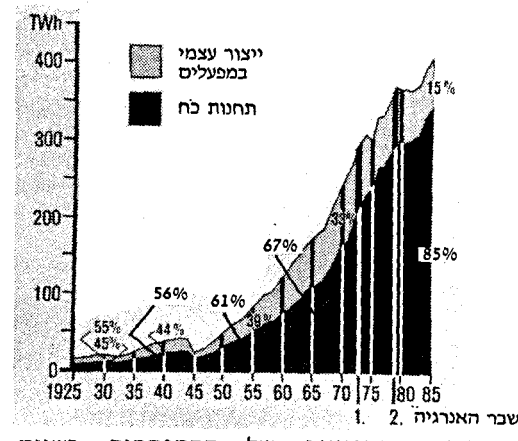
להלן פרוט הצעדים שבאמצעותם הצליחו להפחית את מספר תאונות החשמל, למרות העליה המתמדת בצריכת החשמל בתעשיה ובמלאכה.

אמצעי מיגון בזמן עבודה במערכות חשמל בקרבת מתקנים חיים ועבודה במתקנים חיים

החקירה היסודית של תאונות חשמל הצביעה כבר בסוף שנות השישים על עליה בתאונות החשמל שהתרחשו בזמן העבודה בלוחות חשמל ובמערכות חשמל. במיוחד יש לציין את העליה בתאונות בזמן עבודה בקרבת חלקים חיים. הנתח של תאונות בלוחות חשמל מתוך כלל התאונות במתח נמוך עלה מ־3.6% בשנת 1969 ל־18.7% ב־1975.

תופעה מצערת זו הביאה את הגורמים המובילים במניעת תאונות ובמוסדות התקינה, לבדיקה מחודשת של הצעדים לשיפור המצב על ידי אמצעי בטיחות נוספים.

איור 3
עלית השימוש באנרגיה בגרמניה המערבית



אחד המאפיינים של ההתפתחות בשנים האחרונות הוא עלית העומס במתקני הצריכה; העומס החשמלי על יחידת נפח בלוחות, גדל לאין שיעור בהשוואה לתכנון המקורי.

איור 3 מראה את שיעור עלית השימוש בחשמל בגרמניה שעלה פי 4 מאז 1960. בישראל היתה העליה פי 8 מאז 1960.

גם במערכות החלוקה עלה ההספק בהתאם, וכתוצאה מכך גדל היקף הסיכונים כתוצאה מקצרים.

הגנה חלקית בפני מגע

מחקרי האיגוד מראים שיותר מ־70% מכלל התקלות במתקני מתח נמוך, מלוות בקשת חשמלית (קצר) וכפועל יוצא — כוויות ועוורון זמני.

28% מהתאונות הן של מעבר זרם דרך גוף הנפגע הגורמות לעיתים למוות.

בשאלונים לחקר תאונות אנו מוצאים כי הסיבות העיקריות לתאונה הן:

- אי כיסוי של חלקים חיים בסמיכות למקום העבודה.
- חוסר תשומת לב של הנפגע.

שני גורמים אלה קשורים קשר אמיץ למבנה הלוחות.

ההתפתחות במבנה הלוחות למתח נמוך בשנים 1950—1970 היתה בעיקר לכיוון מיזעור האביזרים בפרט, והלוחות בכלל, וכן להקטנת המרחקים בין פריטי הציוד בתוך הלוחות.

הנטייה למיזעור, התפתחות צריכת החשמל וסיבות כלכליות נוספות הביאו להקטנת המימדים של הלוחות תוך הגדלה של הקרביים הטכניים שלהם. אנו מבחינים בעליית צפיפות עומס וכפועל יוצא — בצפיפות יתר של הציוד.

המבנה הפנימי של הלוחות בהם האביזרים מורכבים בצפיפות אינו מאפשר כיסוי והגנה על אלמנטים חיים בזמן טיפול בלוח.

התאונות בלוחות נגרמות, בנוסף לגורם האנושי, גם בגלל המרחקים הקטנים בין חלקים חיים, העדר בידוד נאות בין חלקים אלה לבין חלקים חיים אחרים או לבין המעטפת המתכתית של הלוח, הפרדה לקויה בין קבוצות של מעגלים וחוסר האפשרות לכסות חלקים חיים סמוכים למקום העבודה.

כאן המקום לגעת בנקודה חשובה אותה אנו מוצאים בתקנות של ארצות רבות:

לפי התקנות יש להגן על כל החלקים החיים נגד מגע ישיר על ידי בידוד או מיקום או על ידי התקנים מיוחדים. כמו כן יש לנקוט באמצעים נוספים למניעת תוצאות של מגע ישיר, כגון התקנת מפסקי מגן הפועלים בזרם דלף.

בכל אותם המקומות בהם הטיפול במערכות וציוד חשמלי נמצא בידי חשמלאי מומחה ניתן לוותר, בתנאים מסויימים, על ההגנה המלאה נגד מגע ישיר. כל זאת אמור לגבי חדרי חשמל סגורים וכן לגבי עבודה "תחת־מתח".

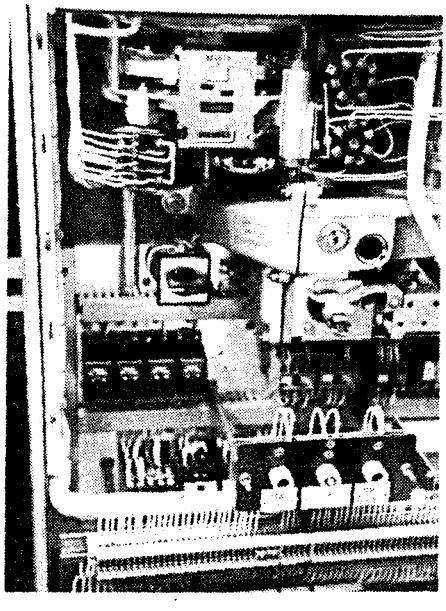
השקפה זו נובעת מן ההנחה שחשמלאי מומחה בעל נסיון, כישורים וידע, מתנהג בצורה נאותה בהתאם למצב בשטח ויודע להישמר מן הסכנות.

למרות שהשקפה זו מקובלת בחוגי המקצוע ומקבלת ביטוי בתקנות רשמיות (גם בישראל) מתעוררות ספיקות לגבי נכונות גישה זו.

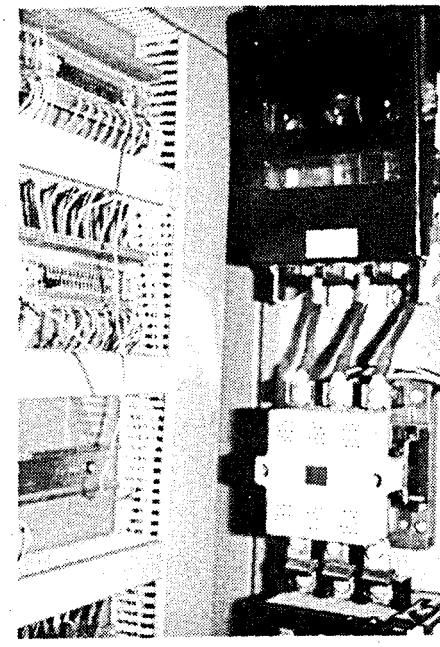
בניתוח מפורט של תאונות במתקני מתח נמוך אנו מוצאים, במקרים רבים, שלא היתה כל אפשרות למנוע את התאונה למרות ידע מקצועי, כיסויים, הגנה אישית ואמצעי מיגון אחרים.

תוך התבוננות על הנעשה בתוך לוחות נבחין לא פעם שהתפעול של מפסקים אוטומטיים זעירים ולחצני שחרור (RESET) של יתרות זרם, נעשה בקרבה מידית של חלקים ואביזרים חיים וגלויים. **בתמונה 4** ניתן לראות מצב כזה.

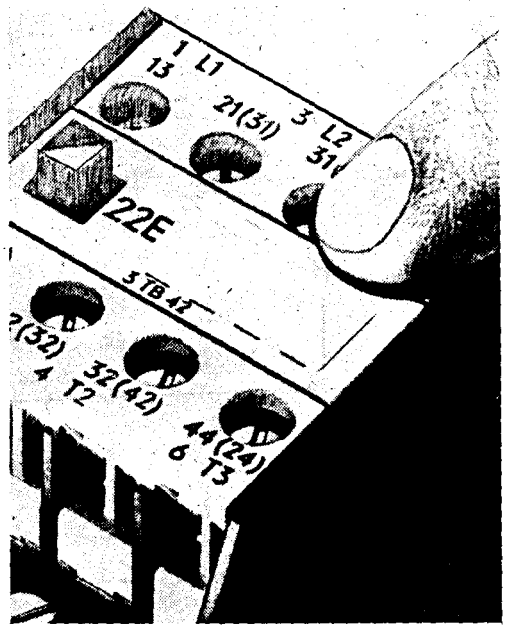
תמונה 4



תמונה 5



תמונה 6



בתמונה 5 נראה מצב דומה: משמאל למנתק הנתיכים נמצאים נתיכים ומהדקים של מערכת בקרה אלקטרונית הפועלת במתח נמוך. החשמלאי הצריך להחליף נתיך במנתק, חשוף לסיכון בגלל הקירבה לחלקים חיים של המעגל השני.

כל טיפול במערכת — ובמקרה שלפנינו שינוי בויסות הטמפרטורה — כרוך בסיכון ניכר, בגלל הקירבה של המערכת לחלקים חיים.

עובדות כאלה וניתוח מעמיק של תאונות חשמל הביאו, עוד בשנת 1979, להחלטה על הכללת הדרישות הבאות בהוראות למניעת תאונות:

- מערכות וציוד חשמלי יהיו בנויים באופן מתאים המאפשר תפעול ואחזקה כאשר מבטלים, זמנית, את ההגנות נגד מגע ישיר.

להשגת יעד זה יש:

— לאפשר מצב שבו לא יגיע מתח לכל החלקים/אביזרים הפעילים, או לחלופין:

— לאפשר הגנה זמנית נגד מגע ישיר בהתחשב במתח, אופי השימוש, התדרים ומיקום הציוד.

— לציוד חשמלי המופעל בתחומים בהם לא נדרש, בדרך כלל, מיגון נגד מגע ישיר או שהגנה כזו אינה אפשרית, חובה להגן על חלקים חיים סמוכים בהגנה חלקית נגד מגע ישיר.

נציגי מוסד התקינה של גרמניה בשיתוף מהנדסי האיגוד לבטיחות טיפלו בנושא מאז 1979 והמלצותיהם קבלו תוקף של תקן רשמי (VDE 106/100) בשנת 1983.

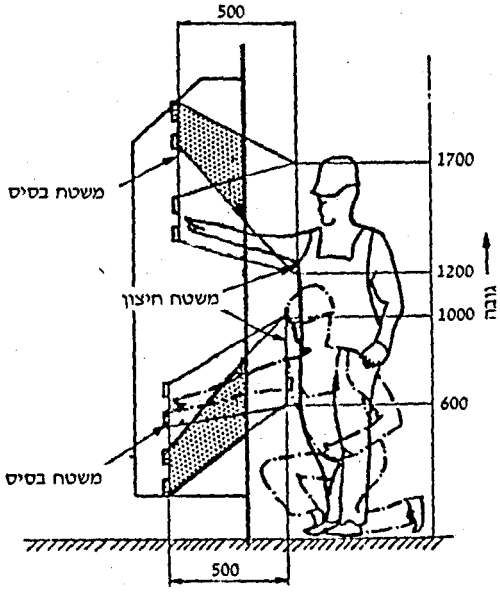
יש לציין שדרישות הבטיחות של התקן אומצו על ידי מפעלים בעלי תודעה טכנולוגית מתקדמת.

המושג "הגנה חלקית בפני מגע ישיר" המפורט בתקן הנ"ל מתואר **בתמונה 6**.

במילים אחרות — ההדקים למשל, בנויים בצורה משוקעת כך שאין אפשרות לגעת באצבע בחלק חי גם כשנוגעים בציוד עצמו.

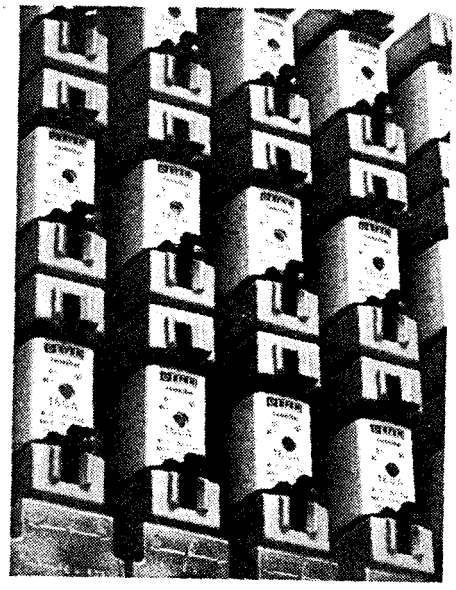
הוראה נוספת מגדירה את האזורים החייבים להיות מוגנים בלוחות מתח נמוך (ראה איור 7).

איור 7
נפחים מוגנים בלוחות חשמל



תמונה 8

תמונה 9



בתמונות 8 ו־9 ניתן לראות דוגמאות של לוחות וציוד הבנויים בצורה מוגנת לפי התקן החדש. על האזורים הגלויים בין הציוד ועל פסי צבירה אפשר להגן על ידי כיסויים גמישים.

באמצעות הטכניקה המתוארת הצליחו להפחית את מספר התאונות בלוחות ומערכות מתח נמוך. אבל בשטח מאד ספציפי — נתיכים בעלי כושר ניתוק גובה (HRC) — היה צורך בפיתוח אמצעים מיוחדים להגנת העובד. הכוונה בעיקר לסוג הנתיכים בעלי סכינים המורכבים בלסתות בלוחות חלוקה.

מאז התפתחות תעשיית החשמל שימשו נתיכים אלה לניתוק של מעגלים חשמליים במקרים של יתרת זרם. במשך שנים ארוכות הוכיחה שיטה זו עצמה כיעילה וככלכלית. ברם, התברר כי ניתוק של מעגל זרם ישר בעוצמה של 15 אמפר ויותר, מלווה בקשת חשמלית הגורמת לשריפת מגעות ומהווה סיכון למפעיל. עם עלית צפיפות העומס נעשו התוצאות של תאונות כתוצאה מקשת חשמלית, לחמורות יותר ויותר. נפגעו ונשרפו חלקי פנים, גוף עליון, ידיים וזרועות. לכן היה הכרח לנקוט אמצעי בטיחות מיוחדים לפתרון בעיה חמורה זו.

אמצעים טכניים, נוהליים ואישיים לעבודה בציוד "תחת מתח"

הסבר לפעולה בנתיכים בעלי כושר ניתוק גבוה

החלפת נתיך נחשבת בגרמניה לעבודה "תחת מתח", (עבודה במתקן חי).

- עבודה זו מותרת לביצוע רק על ידי חשמלאים בעלי רשיון (או בהשגחת חשמלאי).
- הוחלט להקפיד כי מבנה הלוחות יאפשר החלפת הנתיכים ללא סיכון העובד ומבלי לגרום לקצרים זלקשת חשמלית.
- נקבעו נוהלי הפעלה נכונה של אמצעי מיתוג הכוללים נתיכים.
- הוגדרו דרישות משלימות להתקני נתיכים בעלי כושר ניתוק גבוה:
  - תוספת של תאי כיבוי על מנת לאפשר הפסקה תחת עומס.
  - הוספת ציר סיבוב קבוע בכדי להבטיח את הכניסה הנכונה של הנתיך ללסתות לשם הבטחת המגע הנאות.

בנוסף לדרישות הללו — המיועדות למתקני מתח נמוך אשר מתופעלים על ידי בעלי מקצוע מיומנים, קיים צורך לאמצעים נוספים לתפעול נאות תוך אבטחת בטיחות מירבית:

לאחר הניתוק יש להבטיח הגנה מלאה נגד מגע מקרי.

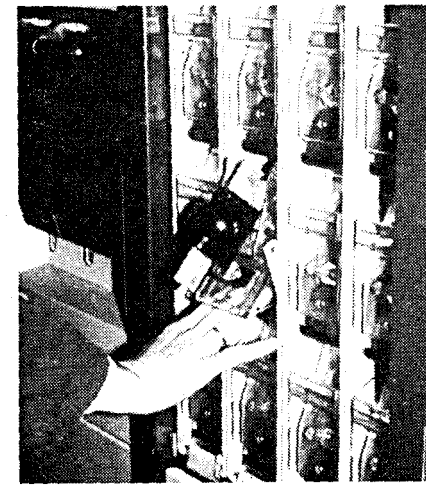
תמונה 10 מראה מנתק נתיכים עם מערכת מיגון.

על המערכת להיות בעלת התכונות הבאות:

- ניתוק בו־זמני של המעגל משני צידי הנתיך על מנת לשפר את תכונות כיבוי הקשת על ידי פיצולה לשתי קשתות.
- למטרת החיבור והניתוק חייבת להיות מערכת תפעול הכוללת אוגר כח, כך שמהירות פעולות המיתוג תהיה בלתי תלויה במהירות התפעול הידנית.
- כמו כן יש לבחור באביזרים עתירי בטיחות כמו נתיכים מבודדים למניעת פריצות וחישמול.

קל מאד לטפל בנושאים אלה מסביב לשולחן הדיונים או בהרצאות, אבל יותר קשה לממש את הדרישות בפועל. לכן מומלץ כי מתקנים קיימים ימשיכו לפעול כפי שהינם אך במתקנים חדשים יש לבצע השיפורים צעד אחר צעד עד להשגת היעדים הדרושים.

תמונה 10



תמונה 11

גם במתקנים קיימים ניתן לבצע שיפורים מסויימים על ידי תוספת ציוד אך בדרך כלל, את רוב המתקנים הקיימים יש להמשיך לתפעל כפי שהם בעזרת הצוות הקיים.

כל מי שהתנסה בתוצאות של קצר וקשת חשמליים או מי שראה ניסוי קצר, יהיה מודע לצורך בשימוש בציוד מגן נאות לעבודה במתקנים חיים ו/או בקרבתם. בעבודות אלה נכללת גם הפעולה של החלפת נתיכים — פעולה החייבת להתבצע על ידי בעלי מקצוע מיומנים בעלי הכשרה מתאימה.

לעבודות הנ"ל הכרחי להשתמש בציוד מגן — כובעי מגן, כיסוי שקוף לפנים ולעיניים והתקנים מיוחדים לשליפה ולהכנסה של נתיכים בעלי כושר ניתוק גבוה.

בתמונה 11 נראה התקן להחלפת נתיכים בעלי כושר ניתוק גבוה עם שרוול מגן נגד קצר/שריפה.

ההתקן מורכב מידית שליפה תקנית בתוספת שרוול מחומר מובדד וחסין אש להגנת ידו של החשמלאי עד למרפק.

רצוי להשתמש בביגוד חסין אש מתאים העשוי כותנה או בד מעורב 35% כותנה ו־65 פוליאסטר. אמצעי המיגון האישיים, השיפורים בציוד וכן הוראות הבטיחות בעבודה במערכות ולוחות מתח נמוך מהווים פתרון ביניים בלבד.

הירידה במספר התאונות הינה תוצאה של החדרת טכניקות חדשות ושינוי דפוסי ההתנהגות של העובדים. בנושא זה הצליחו בגרמניה להחדיר את עקרונות הבטיחות המשופרים אשר תארנו כאן, הן בתעשיה והן אצל יצרני הציוד.

כאשר קיימת זהות אינטרסים בין בטיחות המפעל לבין בטיחות העובד, קל מאד לרכוש אמון ושיתוף פעולה בין בעלי המקצוע לבין הנהלת המפעלים.

לסיכום נחזור על עקרונות הבטיחות נשוא המאמר:

א. חמשת "כללי הבטיחות": כללים אלה יש לקיים לפני ביצוע כל עבודה במתקן חשמלי.

1. **ניתוק הזרם** — ניתוק מקור אספקת הזרם.
2. **מניעת חיבור חוזר** — על ידי נעילה או כל התקן אחר המונע הופעת מתח מכל כיוון שהוא.
3. **בדיקת העדר מתח** — בדיקת העדר מתח בכל האביזרים בהם עומדים לבצע את העבודה. יש לודא שמכשיר הבדיקה עצמו יהיה תקין!
4. **הארקה וקיצור** — לגשר את מוליכי ההזנה (המנותקים!) להארקה ולקצר בין הפאזות.
5. **כיסוי והגנת חלקים חיים בסמוך לאזור העבודה** — יש לכסות חלקים ואביזרים חיים במתקן או בלוח בו מתבצעת העבודה, באמצעות כיסוי מבודד על מנת למנוע מגע מקרי בזמן העבודה.

ב. שימוש באביזרים המוגנים בפני מגע יד/אצבע:

יש להשתמש אך ורק באביזרים אשר ההדקים שלהם אינם חשופים וכל החיבורים, המגעים, המהדקים וכו' מוגנים בפני מגע מקרי.

ג. שימוש בנתיכים בעלי כושר ניתוק גובה (HRC) תקניים

יש להשתמש אך ורק בנתיכים ובסיסים המוגנים בפני מגע גם במצב פתוח (לאחר הוצאת הנתיך מהלסתות). על הבסיס להיות בנוי בצורה אשר מבטיחה חיבור וניתוק הכניסה והיציאה של הנתיך בר־זמנית.

ד. שימוש באמצעי בטיחות מתאימים ונאותים להחלפת נתיכי HRC

יש להשתמש אך ורק בהתקן (שרוול) מוגן בפני שריפה וקשתות בזמן החלפת נתיכי HRC.

ה. הדרכה וחינוך לבטיחות

יש להסביר את כללי הבטיחות ולהחדיר לתודעת העובדים והאחראים את נהלי "חמשת כללי הבטיחות".

אמינות תיפקוד מתקני חשמל ואלקטרוניקה

אינג' **נחום פלג**

לא לחינם הרשיתי לעצמי להכתיר את כותרת מאמר זה במילים "אמינות תיפקוד מתקני חשמל ואלקטרוניקה" במקום הנוסח המקובל של "אמינות האספקה" — כוונתי, במסגרת מאמר זה, להתייחס למגוון רחב של אספקטים הקשורים בתפעול אמין של מערכות חשמל ואלקטרוניקה בשטחים שונים — החל מהאמינות מצד אספקת הכח (כולל מניעת הפסקות, "נקיון" האספקה, יציבותה, מניעת מתחי־פסגה רגעיים וכו'), דרך מערכת חלוקת האספקה וכלה בצד הציוד המוזן (כולל ציוד הרגיש להפרעות בתדרים גבוהים, שיאי מתח והפסקות — ולו גם קצרות ביותר).

הבעיה היא שמבחינה מעשית, כאשר באים לטפל במערכות מורכבות כגון מחשבים, פיקוד ובקרה ואפילו תאורת בטחון, אנו נתקלים, לעתים קרובות, במצב שבו מספר רב (יחסית) של מומחים מטפלים, כל אחד, בשטח המקצועי "שלו" ללא כל קשר או מודעות למה שעושה עמיתו, המומחה האחר המתחבר, בסופו של דבר לאותה מערכת. התוצאה היא שיש מקרים בהם שני מומחים (או יותר) מטפלים באותה בעיה (ופותרים אותה בצורות שונות) או — מה שקורה לעתים קרובות יותר — כל מומחה "זורק" את הבעיה למגרש של השני וכתוצאה מחוסר התאום נופלת הבעיה בין הכסאות. תוצאותיה של מגמה זו היא מערכת הסובלת מתיפקוד לקוי.

במסגרת מאמר זה ננסה לעקוב אחר מספר בעיות, לנתחן ולראות לאיזה מסקנות נוכל להגיע.

אספקת החשמל

אספקת החשמל שעליה מסתמכים כמקור הבסיסי ביותר היא, כמובן, אספקת חברת החשמל, אמינותו של מקור אספקה זה מותנה בגורמים שונים — חלקם מחוץ לשליטת החברה וחלקם בשליטתה.

בין הגורמים שהם מחוץ לשליטת חברת החשמל ניתן לציין: קריעת מוליכי רשת כתוצאה מפגיעות חיצוניות, שבירת מבדדים וכו' ובין הגורמים בשליטת החברה יש לראות את התחזוקה המונעת והסלקטיביות הנאותה בין מערכות ההגנה השונות. בנוסף לכך קיימות תופעות שהן בין "יש חשמל" לבין "אין חשמל" הכוללות מצבים של אי־יציבות המתח והתדר וכן זיהום האספקה על ידי גלים עליונים משמעותיים.

כאשר מדובר במתקנים חיוניים הרי שמטבע הדברים לא נהוג לסמוך על מקור אספקה יחיד — ויהיה אמין ככל שיהיה — אלא דואגים להתקנת מקור אספקה חלופית (אחד או יותר) בצורת גנרטור ו/או מערכת אל־פסק סטטית או מסתובבת — וזאת על מנת להבטיח את רציפות האספקה. כאן, אולי המקור להעיר כי אם, למשל, קיימת תקלה בלוח החלוקה (חבור רופף או פתוח או קצר) הרי שכל ההשקעה בהתקנת אספקות חלופיות היתה לחינם הואיל והמתקן החיוני לא יקבל את אספקתו.

המסקנה הראשונה שלנו היא, לכן, פשוטה ביותר — **גם המתקן המתוחכם ביותר עלול לאכזב אם לא יתוחזק באופן שוטף בצורה נאותה ושיטתית** כך שלא יתהווה בו מצב של חיבור רופף, פסק או ירידה ברמת הבידוד.

מכאן ניתן להגיע **למסקנה שניה — המערכת חייבת להיות מוגנת בפני לחות** (כולל התעבות) **וכן בפני חדירת חרקים ומכרסמים למיניהם** העלולים לכרסם בבידוד או לזהמו על ידי הפרשות או בניית קינים.

לא כאן המקום להכנס לסבך הבעיות המתייחסות להתקנת גנרטורים ומערכות אל־פסק. בנושא זה כבר נכתב ונאמר רבות, אך במסגרת הנוכחית ראוי להתייחס לנקודה אחת אשר, משום מה, לא תמיד מייחסים לה את החשיבות המתאימה והיא בעיית צורת החיבור של העומסים בנקודת המעבר למקור האספקה החלופי.

נתקלתי כבר במקרים שבהם, בזמן העברת העומס למקור החלופי (שהוא, בדרך כלל, קטן בהספקו מהמקור הראשי), "במכה אחת" גרמה להשמטת (Trip) המפסק האוטומטי הראשי של המקור החלופי. מצב זה עלול להתרחש אם המפעיל אינו מודע לעובדה שיש, במקרה כזה, לחבר את העומסים באופן הדרגתי ולא לגרום לזרם התנעה (Inrush Current) של המפסק האוטומטי הראשי של המקור החלופי. מצב זה עלול להתרחש עם המפעיל אינו מודע לעובדה שיש, במקרה כזה, לחבר את העומסים באופן הדרגתי ולא לגרום לזרם התנעה העולה על המותר. דבר זה מביא אותנו **למסקנה השלישית — רצוי שחיבור העומסים במתקן כזה יהיה הדרגתי, בצורה אוטומטית וללא תלות במיומנותו של המפעיל המקרי הנמצא במקום בעת האירוע.** יחד עם זאת אין לשכוח כי במערכת עשוי להמצא ציוד או מיכשור שאינו יכול לסבול הפסקות, ולו גם קצרות ביותר כגון מחשבים, בקרים, מתקני תקשורת ואפילו תאורת בטחון המורכבת מנורות כספית או נתרן הנזקקות לזמן רב יחסית (דקות רבות ויקרות) עד שהן מפיקות את אותה עוצמת האור לאחר שכבו (ובינתיים תאורת הבטחון אינה מתפקדת!).

בנוסף לכך עלינו להיות ערים לעובדה כי קיימות תופעות מעבר הנגרמות על ידי הפסקה או חיבור של מיכשור חשמלי — בייחוד אם במתקן קיימים גם קבלים — הגומרים לעליות מתח גבוהות וקצרות (Voltage Spikes) שתוצאותיהן גורמות, לא פעם, לפריצה של בידוד. ומכאן אנו מגיעים **למסקנה הרביעית — במקומות קריטיים וליד ציוד עדין ורגיש (בייחוד אלקטרוני) יש להרכיב התקנים למניעת מתחי־יתר מסוכנים.** מתחי יתר כאלה עלולים להופיע גם כתוצאה מתופעות אטמוספריות.

אינג' נ. פלג — מהנדס יועץ,

מערכת החלוקה

כפי שכבר נאמר קודם הרי גם מספר אין־סופי של אספקות חילופיות לא יעזור אם קיימת תקלה כלשהי במערכת החלוקה והתמסורת שבין מקורות האספקה לבין המיכשור החיוני. עובדה זו מביאה אותנו **למסקנה חמישית — לא די בהתקנת מערכות אספקה חלופיות אלא יש להתקין גם מערכות חלוקה חלופיות.** מערכות חלופיות אלו חייבות להמצא **בקביעות** במצב "חי" (תחת מתח) עם התראה נאותה למקרה של תקלה בהן — אחרת עלול לקרות מה שכבר קרה לא פעם — העברת האספקה למערכת חלופית לא הביאה את האספקה המיוחלת מאחר והייתה בה תקלה לא ידועה שלכן גם לא טופלה בזמן. כמו כן רצוי שתוואי האספקה החלופית לא יהיה זהה, עד כמה שאפשר, לזה של המערכת הראשית וזאת על מנת להקטין את הסבירות שפגיעה או תקלה בתוואי אחד תגרום לפגיעה גם בשני.

הניסיון מראה כי רוב התקלות (למעלה מ־95%) במתקני חשמל מתחילות בירידה ברמת הבידוד בין אחד המופעים (פאזות) לבין הגוף (ההארקה). דבר זה נכון גם לגבי לוחות חלוקה וגם לגבי מיכשור וציוד. הסיבה לכך היא פשוטה — בין הגוף לבין המוליך קיימת, בדרך כלל, שכבת בידוד **אחת** בלבד בעוד שבין שני מוליכים קיימות **שתי** שכבות בידוד (אחת לכל מוליך). כתוצאה מכך הסבירות של התחלת התקלה בין שני מוליכים שונים נמוכה יותר בהשוואה לסבירות של התחלת תקלה בין מוליך לגוף. לאחר שרמת הבידוד בין מוליך לגוף יורדת אל מתחת לרמה מסויימת מגיע הרגע שמתחילה זליגה מתמדת ההולכת וגוברת כתוצאה מהתחממות הבידוד והתרכזותו. התוצאה הסופית של תהליך זה היא, בדרך כלל, התפחמות המוליך, קצר ונזק משמעותי במקום הקצר. רק בשלב זה נכנסת לפעולה מערכת ההגנה. בפני יתרת זרם המפסיקה את האירוע. לכאורה עומד לרשותנו אמצעי היכול "להרגיש" בזרם הדלף כאשר זרם זה עדיין זעום ולמנוע את התפתחות הקצר. כוונתי למפסק המגן הפועל בזרם דלף לאדמה ("מפסק פחת" או "מפסק דיפרנציאלי"). מפסק זה אכן יחוש בתקלה זמן רב לפני ההגנה הקונבנציונלית לעומס יתר או קצר. מכשיר כזה יבצע את תפקידו **ויפסיק** את האספקה וזה בדיוק מה שברצוננו **למנוע** כאשר אנו מתייחסים למערכות חיוניות.

מכאן **מסקנה ששית — אין להגן באמצעות מספק מגן הפועל בזרם דלף לאדמה על מערכות המחייבות אמינות אספקה גבוהה** הואיל ואז נקבל את התוצאה ההפוכה.

הטכנולוגיה החדישה, שמצאה את בטויה גם בתקינה הבין־לאומית וגם בתקינה המקומית, מצאה את הפתרון לבעיה הנ"ל — פתרון אשר יישומו פותר לנו, דרך אגב, גם בעיה נוספת אשר עליה נצביע בשלב מאוחר יותר. הפתרון הוא בהתקנת מערכת ללא הארקת־שיטה (מה שמקובל לקרוא "מערכת צפה") והידועה בעולם כשיטת IT. מערכת זו מוזנת באמצעות שנאי מבדל וחייבת לכלול משגוח (מוניטור) הבודק ברציפות את רמת הבידוד בין מערכת החשמל (כולל המיכשור המוזן ממנה) לבין ההארקה. במדה ורמת הבידוד יורדת **מתחת** לסף מסויים מתקבלת התראה קולית וחזותית. בדרך כלל מתקבלת ההתראה כאשר התנגדות הבידוד היא עדיין בסדר גודל של עשרות אלפי אוהם — דהיינו הרבה לפני שבמערכת בעלת הארקת שיטה היתה מתחילה זליגה משמעותית לאדמה — וזאת **ללא** הפסקת האספקה באופן אוטומטי. חשמלאי מיומן יוכל לאתר את התקלה ולתקנה עוד בטרם נגרם נזק חמור.

כאן אתייחס לבונוס הנוסף של האספקה בשיטת ה־IT. אחת הבעיות הרציניות שעלינו להתמודד עמן היא הבעיה של זיהום הרשתות הנובעת מהשימוש ההולך וגדל ברכיבים אלקטרוניים כגון תיריס־טורים וחצאי־מוליכים. מאחר ובמערכות IT מתקינים שנאי מבדל הרי שאנו מקבלים סינון משמעותי של גלים עליונים המהווים את זיהום הרשת.

מסקנה שביעית — מערכות חיוניות יש להזין ללא הארקת שיטה ("צפה") גם על מנת להגביר את אמינותן וגם על מנת להקטין חדירת גלים עליונים דרך הרשת.

בנקודה זו ברצוני להמליץ כי בעת תכנון מערכות "צפות" תלת־מופעיות יישקלו היתרונות של התקנת שנאים תלת־מופעיים בעלי חיבור משולש בראשוני וכוכב במשני. פתרון זה הוא האופטימלי מאחר והוא מאזן את העומסים החד־מופעיים כלפי הצד הראשוני וגם מקטין את חדירת הזיהום מהצד הראשוני (כיון שאינו מתחבר למוליך האפס שהוא, כידוע, אחד המקורות הראשיים להולכת הגלים העליונים).

מערכת ומיכשור המופעלים לעיתים נדירות

אם נסקור מתקני חשמל גדולים נמצא, מפעם לפעם, חלקי מערכות ומכשירים המופעלים לעיתים רחוקות בלבד. בין המתקנים מסוג זה ניתן לכלול משאבות טבולות לכבוי אש, גנרטורים לשעת חרום (בעיקר מהסוג הנגרר), סירנות חשמליות וכו'. מאחר וציוד זה הוא, בדרך כלל, מודמם קיימות, לא פעם, הפתעות לא נעימות כאשר מתעורר הצורך בהפעלתם (ביחוד בתנאי חרום) היות ובמשך הזמן ספג בידודם לחות שגרמה לירידה ברמת הבידוד וחיבורם למתח אינו מתבטא בהפעלתם אלא בקצר.

בכדי למנוע הפתעות מסוג זה, ניתן, גם כשהציוד אינו פועל, לחבר אליו משגוח (מוניטור) אשר יתריע אם רמת בידוד הציוד תרד מתחת לסף מסויים. עם קבלת ההתראה ניתן לנקוט באמצעים להחזרת רמת הבידוד לערכים הנדרשים, אם על ידי יבוש בזרם ישר במתח נמוך או באמצעות הפעלת גופי חימום מתאימים בעלי מנגנון להזרמת אויר יבש.

מסקנה שמינית — ציוד חיוני מושבת או המופעל לעיתים נדירות חייב בבקרה שוטפת של רמת בידודו.

סיכום

אמינות התיפקוד של מתקני החשמל והאלקטרוניקה אינה תלויה בגורם אחד ויחיד אלא מהווה צרוף של מספר פתרונות טכניים החייבים להיות משולבים בגורם שאינו חשוב פחות מכל אחד מהם — והוא הגורם האנושי בתכנון ובתפעול. רק המכלול של כל הגורמים הללו הוא אשר יקבע, בסופו של דבר, את אמינות התיפקוד של המערכת בכללותה. במילים אחרות — חוזקה של השרשרת תלוי בחוזקה של החוליה החלשה ביותר שלה ולכן כל מה שניתן לעשות, באופן סביר, להגברת האמינות יש לעשות.

חיבורים לצרכנים ביתיים

— חישוב התשלומים בגינם, בהתייחס לחיבורים חדשים ולהגדלות של חיבורים קיימים

אהרון הבדלה — כלכלן

הזמנה לחיבור חדש או שינוי בחיבור קיים, מתקבלת במשרדי חברת החשמל בהתאם לכללים בדבר תשלומים למערכת אספקת החשמל של חברת החשמל לישראל בע"מ. כללים אלה מאושרים על ידי שר האנרגיה והתשתית.

על פי כללים אלה, התשלומים עבור הזמנה מתחלקים לשני מרכיבים עיקריים.

א. תשלום עבור חיבור יחידות לרשת — אינו קשור ישירות להוצאות ביצוע החיבור.

ב. תשלום עבור התקנת קו החיבור — קשור ישירות להוצאות ביצוע החיבור.

תשלום עבור חיבור יחידות לרשת

התשלום עבור חיבור יחידות לרשת מחושב על ידי הכפלת מספר היחידות המוזמנות (לאחר הפחתת מספר היחידות הקיימות) במחיר ליחידה, לפי סוג הרשת המתאים.

היחידה

היחידה מוגדרת בהתאם לגודל החיבור, לפי מספר האמפרים מתוך סך כל האמפרים המהווים את עוצמת הזרם הנומינלית.

בחיבורים עד 3×25 אמפר כל 8⅓ אמפר שווים יח' אחת.

ובחיבורים גדולים יותר ועד 3×500 אמפר כל 6⅔ אמפר "שווים" יחידה אחת.

להלן מספר היחידות בהתאם לגדלי החיבורים עד 3×50 אמפר:

גודל החיבור	מס' יחידות
1×25 אמפר	3.0 יח'
1×35 אמפר	4.2 יח'
3×25 אמפר	9.0 יח'
3×35 אמפר	15.7 יח'
3×50 אמפר	22.5 יח'

סוג הרשת

במערכת החלוקה קיימות;

— **רשתות במתח נמוך** — עיליות או בכבלים תת־קרקעיים.

— **שנאים** — על עמודים או בתוך מבנים.

— **רשתות במתח גבוה** — עיליות או בכבלים תת־קרקעיים.

בהתאם להרכבים השונים נקבעים סוגי הרשת.

ברשת שכל רכיביה הם עיליים המחיר ליחידה הוא הנמוך ואילו ברשת שכל רכיביה היא תת־קרקעיים המחיר הוא הגבוה. לדוגמא — על פי מחירי פברואר 1987 ברשת העילית (סוג א') המחיר הוא 97.01 ש"ח/יח' ואילו ברשת תת־קרקעית (סוג ז') המחיר הוא 188.16 ש"ח/יח'.

תשלום עבור התקנת קו חיבור

הגדרת קו החיבור

קו החיבור הינו הקו המקשר בין הרשת הקיימת או זו שתוקם, לבין מתקן החשמל הפרטי. בצורה סכמתית קו החיבור מורכב מכמה מרכיבים:

א. קו חיבור חיצוני בכבל עילי או בכבל תת־קרקעי.

ב. אבטחה ראשית לבניין ולקוי הזנה.

ג. קוי הזנה.

ד. הסתעפויות בקומות כולל אבטחות לצרכנים הבודדים והמשך ללוחות המונים.

ה. סטיות/שינויים מסטנדרטים בהתאם לדרישת המזמין.

מערכת התשלומים לקוי החיבור

עבור כל סוג/גודל עבודה המתבצעת בבנין בהתאם למרכיבים השונים המוזכרים לעיל נקבע התשלום עבור כל הזמנה. בבנינים למגורים חדשים שנבנים בהתאם לסטנדרטים קבועים וקיימים התשלום עבור המרכיבים ב'—ד' אוחד למחיר אחד עבור הבנין כולו.

התיחסות התשלומים עבור הגדלת חיבורים למועד ביצוע קו החיבור בבנין — בעבר

א. חיבורים בבנינים שהוזמנו אחרי שנת 1977

עקב השינויים הטכנולוגיים שהופעלו בשנת 1977 שמשמעותם היתה קביעת "חיבור מוגדר" לצרכן ביתי, ניתן להזמין הגדלת חיבור ל־1 × 35 אמפר, בבנינים כאלה, עם תשלום נמוך יחסית (דוגמא ג'). שינוי לחיבורים גדולים יותר מחייב תכנון ותשלום בהתאם.

ב. חיבורים בבנינים שהוזמנו לפני שנת 1977

בבנינים אלה יש לתכנן את ביצוע הגדלת החיבורים בכל גודל. התשלום יתבסס על העבודות המתוכננות לביצוע עקב ההזמנה להגדלת החיבור. העבודות המתוכננות יכולות להית בכל מרכיב של קו החיבור (כמפורט בסעיף "הגדרת קו החיבור").

סדרי תשלומים ומועדים

עם הגשת ההזמנה נדרש תשלום של כ־10% מההערכה הראשונית של החברה, במועד זה, מהתשלום הכולל עבור ההזמנה.

א. הבדלה — כלכלן, ראש מדור בכיר במחלקה למחקר, אגף הצרכנות, חברת החשמל.

כל תשלום שמשולם יהיה צמוד לאותו סוג עבודה עבורו שולם ולכן יהיה פטור מהתיקרות.

לא יאוחר משלושה חודשים לפני תחילת ביצוע העבודות הכרוכות בחיבור המבוקש, תשלח למזמין הודעה בדבר השלמת התשלום בהתאם לתכנון שבוצע עבור הזמנה זאת.

דוגמאות (במחירי פברואר 1987 — ללא מ.ע.מ.)

דוגמא א' — הזמנת חיבור בגודל 1×25 אמפר לבנין חד משפחתי עם חיבור עילי.

דוגמא ב' — הזמנת חיבור בגודל 3×25 אמפר לבנין חד־משפחתי עם כבל תת־קרקעי וחפירה באורך של 35 מטר.

דוגמא ג' — הגדלת חיבור ל־1×35 אמפר בבנין קיים שהוזמן אחרי שנת 1977.

דוגמא ד' — הגדלת חיבור ל־3×25 אמפר בבנין קיים.

דוגמא ה' — הגדלת חיבור ל־3×25 אמפר בבנין קיים.

דוגמא ו' — הגדלת חיבור ל־3×50 אמפר בבנין קיים.

דוגמא א'

חישוב תשלום עבור הזמנת חיבור בגודל 1×25 אמפר לבנין חד־משפחתי עם כבל עילי, הרשת כולה עילית.

● **עבור חיבור יחידות לרשת מסוג א':**
(1×25 אמפר) 3 יחידות
× (מחיר ליח') — 97.01 ש"ח **291.03** ש"ח

● **עבור קו החיבור:**
— כבל עילי — 560.91 ש"ח
— חיבור פנימי (מהאבטחות ועד לוח המונה) — 358.57 ש"ח **919.48** ש"ח
סה"כ **1,210.51** ש"ח

דוגמא ב'

חישוב תשלום עבור הזמנת חיבור בגודל 3×25 אמפר לבנין חד־משפחתי עם כבל תת־קרקעי וחפירה באדמה באורך של 35 מ', הרשת למתח נמוך תת־קרקעית,

● **עבור חיבור יחידות לרשת מסוג ב':**
(3×25 אמפר) 9 יחידות
× (מחיר ליח') — 120.69 ש"ח **1,086.21** ש"ח

● **עבור קו החיבור:**
— כבל תת־קרקעי כולל חפירה — 2,208.94 ש"ח
— חיבור פנימי — 358.57 ש"ח
— תוספת עבור חיבור 3×25 אמפר — 107.73 ש"ח **2,675.24** ש"ח
סה"כ **3,761.45** ש"ח

דוגמא ג'

חישוב תשלום עבור הגדלת חיבור בגודל מ־1×25 אמפר ל־1×35 אמפר בבנין קיים שהוזמן אחרי 1977 (הותקן בו חיבור מוגבר). הרשת כולה עילית.

עבור חיבור תוספת יחידות לרשת מסוג א':
(4.2-3.0) 1.2 יחידות
× (מחיר ליח') — 97.01 ש"ח **116.41** ש"ח

● **עבור קו החיבור:**
— החלפת נתיך — **38.20** ש"ח
סה"כ **154.61** ש"ח

דוגמא ד'

חישוב תשלום, להגדלת חיבור מ־1×25 אמפר ל־3×25 אמפר בבנין קיים. הרשת כולה עילית.

לאחר התכנון התברר שיש להתקין מחדש את קטע קו החיבור מהאבטחה עבור הצרכן ועד ללוח המונה.

● **עבור חיבור תוספת יחידות לרשת מסוג א':**
(9-3) 6 יחידות
× (מחיר ליח') — 97.01 ש"ח **582.06** ש"ח

● **עבור קו החיבור:**
— פירוק חיבור קיים — 152.80 ש"ח
— התקנת חיבור חדש כמפורט — 466.29 ש"ח **619.09** ש"ח
סה"כ **1,201.15** ש"ח

דוגמא ה'

חישוב תשלום עבור הגדלת חיבור מ־1×25 אמפר ל־3×25 אמפר בבנין קיים. הרשת כולה עילית.

לאחר התכנון התברר שיש להתקין קו הזנה נפרד באורך 3 קומות, מקומות הכניסה עד לקומה בה מוזמן שינוי החיבור. באותה קומה יש להתקין קטע קו חיבור מהאבטחה עבור הצרכן ועד ללוח המונה.

● **עבור חיבור תוספת יחידות לרשת מסוג א':**
(9-3) 6 יחידות
× (מחיר ליח') — 97.01 ש"ח **582.06** ש"ח

● **עבור קו החיבור:**
— פירוק חיבור קיים — 152.80 ש"ח
— התקנת קו הזנה חדש — 1,725.33 ש"ח
— התקנת חיבור חדש בקומה — 466.29 ש"ח **2,344.42** ש"ח
סה"כ **2,926.48** ש"ח

דוגמא ו'

חישוב תשלום, להגדלת חיבור מ־1×25 אמפר ל־3×50 אמפר בבנין קיים. הרשת כולה תת־קרקעית.

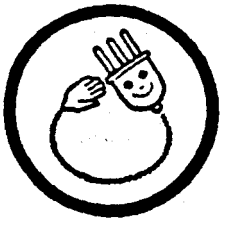
לאחר התכנון התברר שיש להתקין, כבל תת־קרקעי חדש בחפירה חדשה באורך של 20 מ', להתקין אבטחה ראשית חדשה לבנין בתוך ארגז פלסטי שיותקן לשם כך, להתקין קו הזנה באורך 3 קומות, ולבסוף להתקין את קטע קו החיבור בקומה מהאבטחה עד לוח המונה.

● **עבור חיבור תוספת יחידות לרשת מסוג ז':**
(22.5-3.0) 19.5 יחידות
× (מחיר ליח') — 188.16 ש"ח **3,669.12** ש"ח

● **עבור קו החיבור:**
— פירוק חיבור קיים — 152.80 ש"ח
— התקנת כבל תת־קרקעי כולל חפירה — 1,826.14 ש"ח
— התקנת אבטחה ראשית בארגז פלסטי — 501.30 ש"ח
— התקנת קו הזנה חדש — 1,725.33 ש"ח
— התקנת חיבור חדש בקומה — 466.29 ש"ח **4,671.86** ש"ח
סה"כ **8,340.98** ש"ח

מדור שרות פרסומי לקוראים

"התקע המצדיע" מס' 39



למעוניינים במידע נוסף!

כדי לקבל מידע נוסף:

1. **סמן בתלוש השרות הפרסומי את מספרי המודעות בהן יש לך ענין במידע נוסף.**
2. **מלא את שמך וכתובתך, בכתב יד ברור.**
3. **שלח את תלוש השרות הפרסומי (בשלמותו) או העתק ממנו, לפי כתובת המערכת: מערכת "התקע המצדיע" ת.ד. 8810 חיפה 31086.**

הפרטים יישלחו למפרסם המודעה, אשר ימציא לך מידע נוסף הנמצא ברשותו.

תלוש שירות פרסומי למידע נוסף

לכב' מערכת "התקע המצדיע"
ת.ד. 8810 חיפה 31086.

שם החשמלאי: .....

המען לתשובות: ..... רחוב/שכונה ..... מספר

ישוב: ..... מיקוד: .....

הואיל נא לסמן עיגול סביב מספרי המודעות, בהן יש לך ענין במידע נוסף

39/ 1	39/ 2	39/ 3	39/ 4	39/ 5	39/ 6	39/ 7	39/ 8	39/ 9	39/10	39/11
39/12	39/13	39/14	39/15	39/16	39/17	39/18	39/19	39/20	39/21	39/22
39/23	39/24	39/25	39/26	39/27	39/28					

הודעה למערכת: .....

.....

גזור ושלח!

התלוש למידע נוסף יענה עד יום 30.6.87. לאחר תאריך זה יש להפנות את בקשות המידע ישירות לחברות המפרסמות.

לך על בטוח

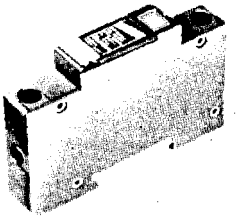
הגן על ציודך בפני מתחי יתר וברקים!

חשוב לחשמלאי הראשי במפעל!

DEHN

מתח יתר? - דֶהן מגן!

מגן מתח יתר וברק
VM 280 10 KA

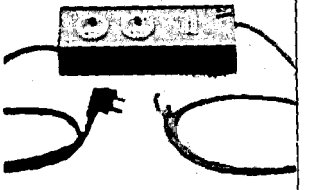


הגנה על אספקות חשמל לפסי צבירה.

מפרץ מוגן התפוצצות
ExPS

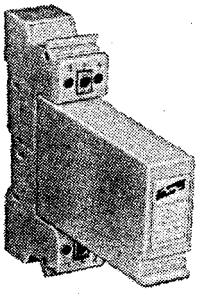
מפרץ אמין למניעת ניצוצות באטמוספרות נפיצות.

הגנה למסופים ולמערכות מחשבים CS



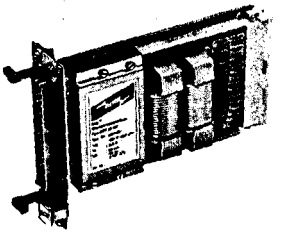
הגנה משולבת - מגינה בפני מתחי־יתר בקווי DATA (תקשורת V_{11}, V_{24}, RS 232) ורשת החשמל.

בליצדוקטור
BLITZDUCTOR KT



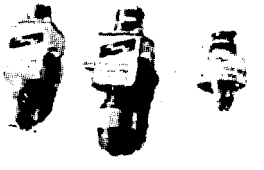
מגוון התקנים להגנה עדינה (1.3 x Un) על קוי תקשורת מחשבים, מסופים, טלקס וכו'.

מגן מתח יתר
BEE



הגנה על מחשבים מסופים, מרכזיות טלפונים, וכו', בפני מתחי יתר לאדמה ובין זוגות הקווים (50KA).

הגנה UGK ל־
COAX CABLES Ω



הספק שידור עד 5 KW.

זכור, הנזק העקיף יכול להיות חמור יותר מהנזק הראשוני לציוד!

אנו לשרותך במידע ויעוץ

הנדסה אלקטרומכנית חיפה בע"מ

יצרני לוחות וציוד מיתוג חשמלי לתעשיה ולבנין

מקבוצת קצנשטיין אדלר

שים לב! משרדינו החדשים:

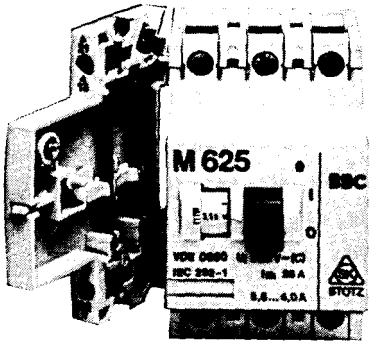
רח' המוסכים 22, ת.ד. 20033 דואר משרד הרישוי, מפרץ חיפה 26121, טל' 740113, 727174/5, 04-721934

DEHN+SOHNE נציגות בלעדית: די.אס.בי. הנדסה בע"מ.

פרסום אל בע"מ - חיפה

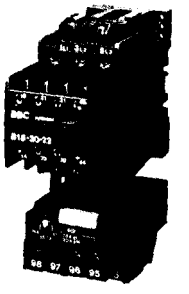
מערכות בקרה ומיתוג חשמלי

BBC
BROWN BOVERI



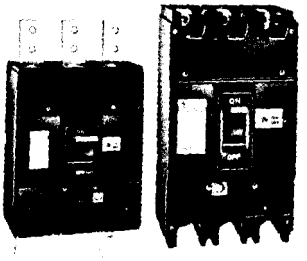
הגנות למנועים סדרת M625

★ התקנה מודולרית בלוח
★ הגנה מגנטית וטרמית
★ כוונון טרמי 25A ← α1
★ אמינות גבוהה ביותר
★ אביזרי עזר: סליל מתח, סליל עבודה, מגעי עזר,
קופסת אטימה - IP56



מגענים דגם B יתרות זרם דגם T

★ אפשרות לקוטב רביעי בהרכבה מהירה לכל המגענים
★ הרכבה נוחה של מגעי עזר וממסרי השהייה פניאומטיים
★ אחזקה נוחה (החלפת סליל ומגעים ראשיים מהירה)
★ יתרת זרם בהרכבה מהירה. תחומי כיוונון רבים.
★ חגור מכני.



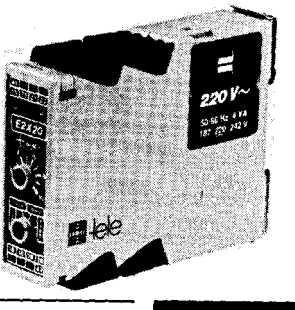
מנתקי הספק אוטומטיים 3200A ← 16

★ הגנה מגנטית וטרמית קבועה או מתכוננת
★ כושר ניתוק גבוה.
★ "CONTACT EYE" לבקרה על מצב מכני אמיתי של המגעים OFF-ON
★ אביזרי עזר: מגע עזר, סליל עבודה, ידית מצמד, מנוע, חגור מכני ועוד
★ מנתקים אוטמ' באוויר 6300A-250 כושר ניתוק 50 - 120 K A rms
כולל מער' הגנה וכוונונים אלקטרוניים

TERASAKI

קוצבי זמן אלקטרוניים ובקרים תעשייתיים

★ השהייה בהפעלה, בניתוק, מחזורי, ניגוב ועוד
★ כל סוגי המתחים
★ כל סוגי הזמנים
★ בקר מתח וזרם
★ ממסר חוסר והפוך פזה



lele

שלמה כהנא סוכנות בע"מ

סוכנויות יבוא ושיווק לציוד חשמלי ואלקטרוני

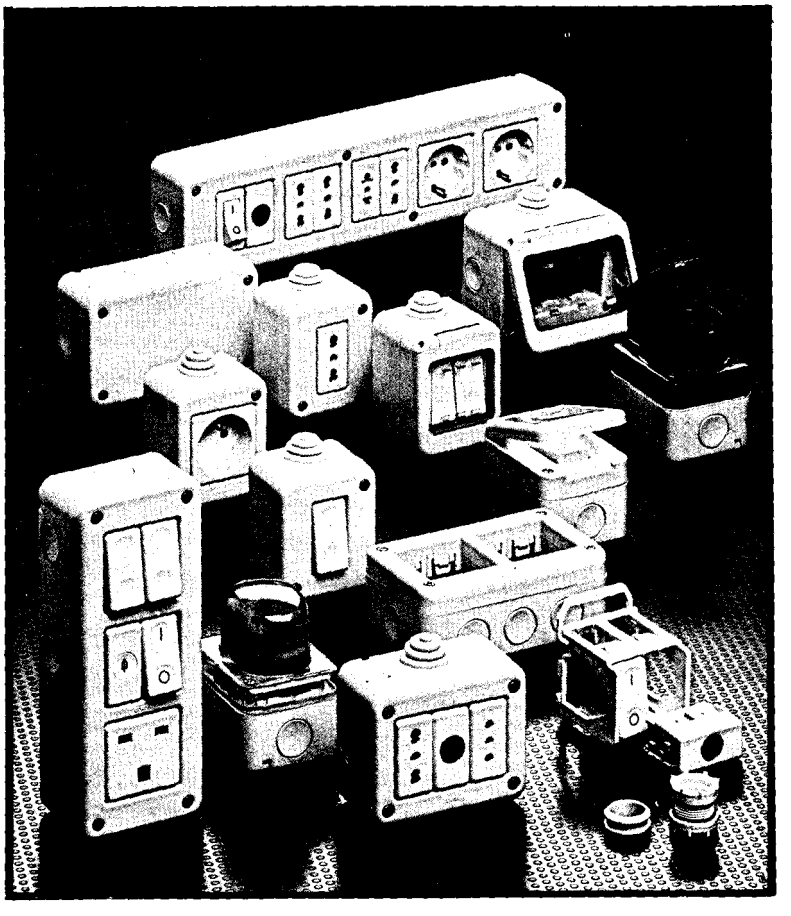
נחלת בנימין 72-70 תל אביב טלפון: 03-660747

KAHANE 1939

המודולריים של GEWISS

GEWISS

סדרת 9000 על הטיח



סדרה חדשנית של מפסקים, לחצנים, שקעים, עמעמים, נוריות סימון, פעמונים, זמזמים וכל שאר האביזרים החשמליים –

הכל ביחידות מודולריות הניתנות להרכבה עצמית להתאמה, עה"ט, משוריין אטום IP557, ועל גבי תעלות ולוחות חשמל.

התקנה נוחה, בטיחות מירבית, בעיצוב יפיפה וגימור מושלם.

סדרת 9000 מאושרת ע"י מכון התקנים הישראלי.

לקבלת קטלוג מפורט **והדגמה** פנה ל־

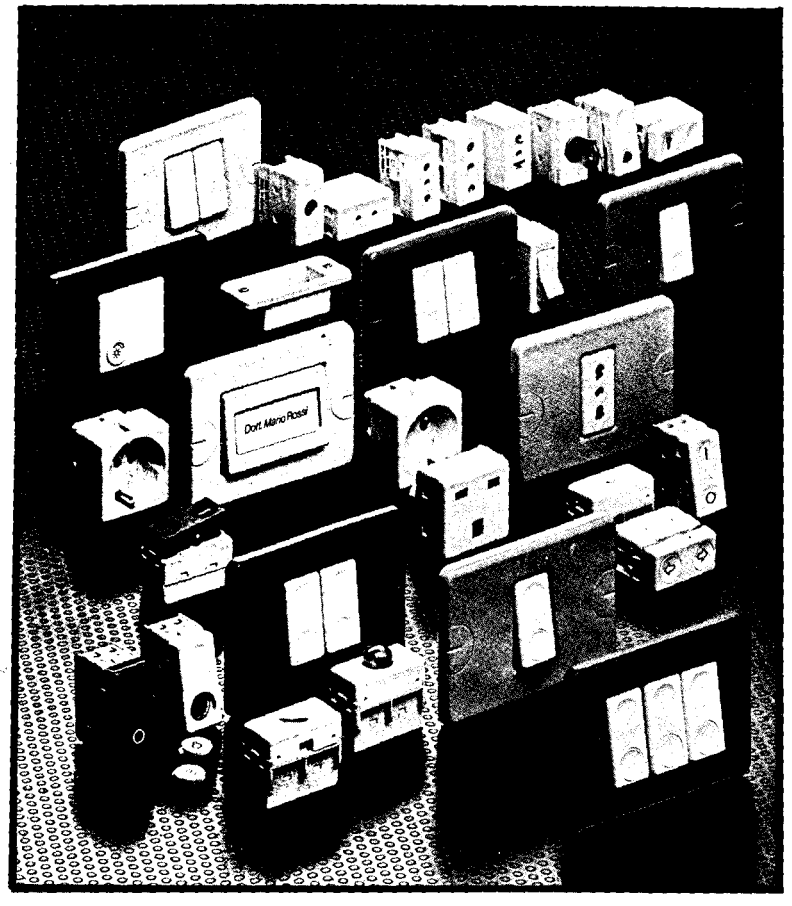
חברת זאב שמעון בע"מ

שד' ושינגטון 18 ת"א, 66086, טל': 03־834111

המודולריים של GEWISS

GEWISS

סדרת 9000 תחת הטיח



סדרה חדשנית של מפסקים, לחצנים, שקעים, עמעמים, נוריות סימון, פעמונים. זמזמים וכל שאר האביזרים החשמליים —

הכל ביחידות מודולריות הנתנות להרכבה עצמית בכל שילוב אפשרי במסגרות בצבעים שנהב, חום, אפור, אדום, ירוק, בורדו, תכלת וורוד.

התקנה נוחה, בטיחות מירבית, בעיצוב יפיפה וגימור מושלם — פאר תוצרת איטליה.

סדרת 9000 מאושרת ע"י מכון התקנים הישראלי.

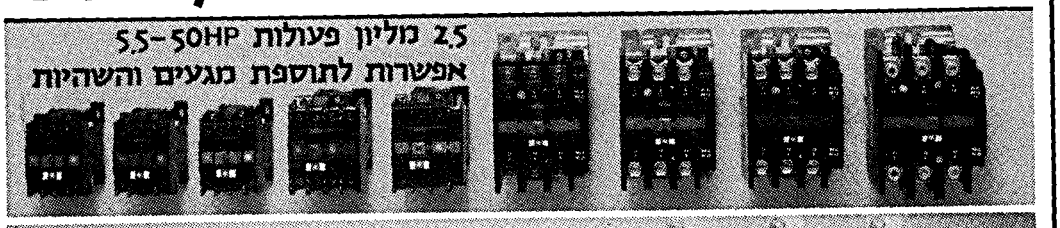
לקבלת קטלוג מפורט והדגמה פנה ל־

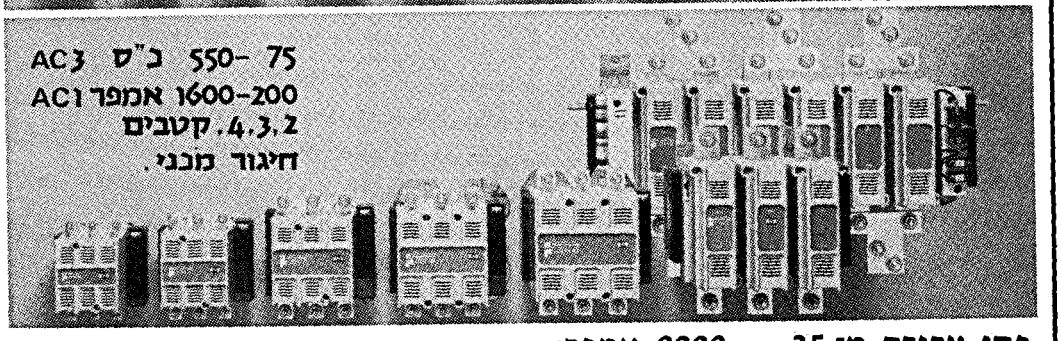
חברת זאב שמעון בע"מ

שד' ושינגטון 18 ת"א, 66086, טל': 03-834111

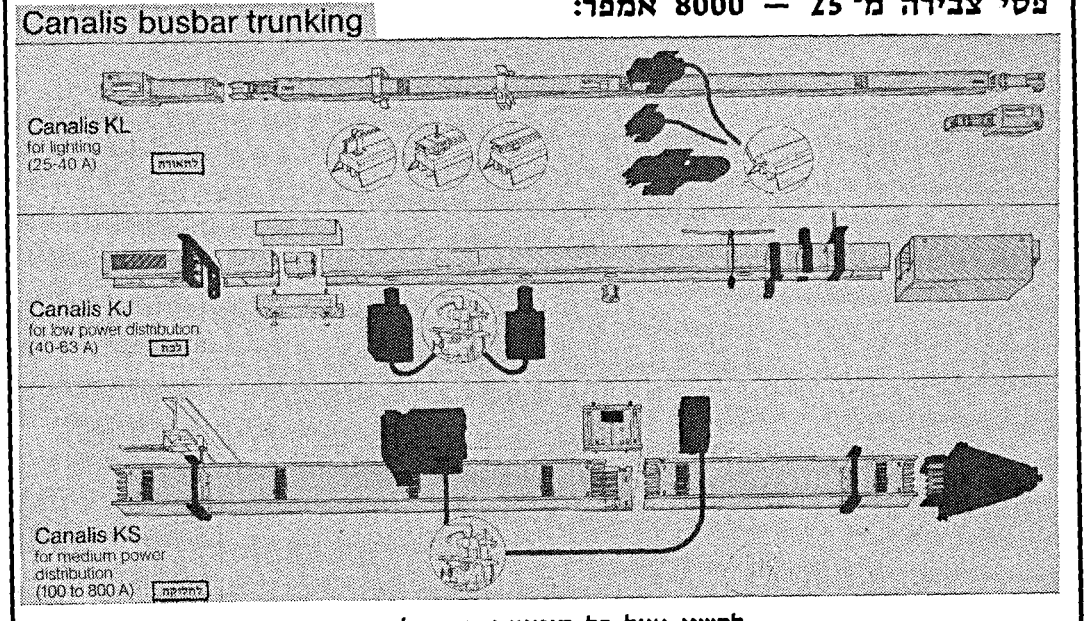
מיוצג בארץ ע"י

מגענים LC1D/LC1F





פסי צבירה מ- 25 — 8000 אמפר:



להשיג אצל כל סיטונאי החשמל בארץ או ישירות דרכנו:

ציוד חשמל בע"מ

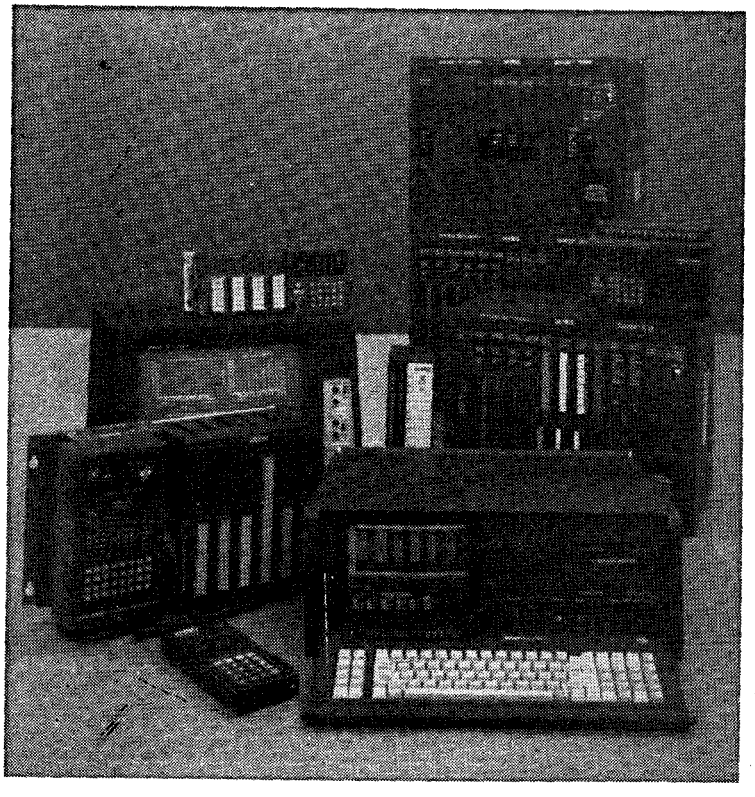
רח' הבטחון מס' 6 קרית מטלון
אזור התעשיה פ"ת, טל. 03-9234467
ת.ד. 4014, קרית אריה, פ"ת, מיקוד 49130

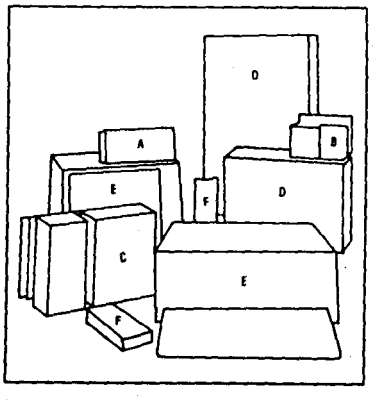
GENERAL ELECTRIC

לכל יישום בפיקוד ובקרה,
בקרי G.E. הם הבחירה!!!

ג'נרל מהנדסים בע"מ

הרצליה ב' ת.ד. 557 מיקוד 46105 טלפון 052-552233





(E) Workmaster,™ Workmaster™ Plus industrial computers:

מחשב IBM תעשיתי, משמש
לתכנות כל בקרי G.E.
בתוספת צג גראפי משמש
כעמדת מפעיל מתוחכמת.
בצרוף תוכנה מתאימה מבצע
איסוף וניתוח נתוני ייצור

(F) New GENIUS™ I/O system:

כרטיסי כניסה ויציאה
דיסקרטיים ואנלוגיים
מותקנים בשטח בצורה
עצמאית וקשורים אל הבקר
בכבל תקשורת. כל נקודה
ניתנת לבחירה ككניסה או יציאה.
הכרטיסים מבצעים
(בצורה רציפה) בדיקת
נתקים וקצרים על קווי
ה-I/O.
נקודות היציאה מצוידות
בניתוק זרם אלקטרוני
המתחבר אוטומטית עם
העלמות סיבת הקצר.

(A) Series One™ Programmable Controller:

בקר מודולרי לאפליקציות
קטנות.
0.7/1.7K זכרון עד-I/O 168
כניסות אנלוגיות.

(B) New Series One™ Junior micro PC:

בקר קטן הכולל I/O 24
ומונה מהיר ל-2KHZ, ניתן
להרחבה עד-I/O 64 0.7K
זכרון.

(C) Series Three™ PC:

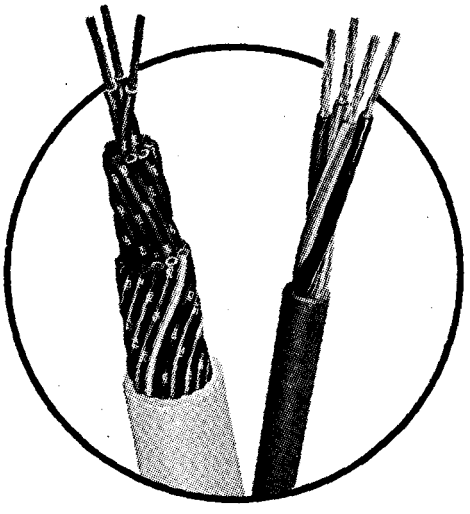
בקר בינוני 4Kזכרון
עד I/O 400, נתונים
אנלוגיים, פונקציות
מתוחכמות.

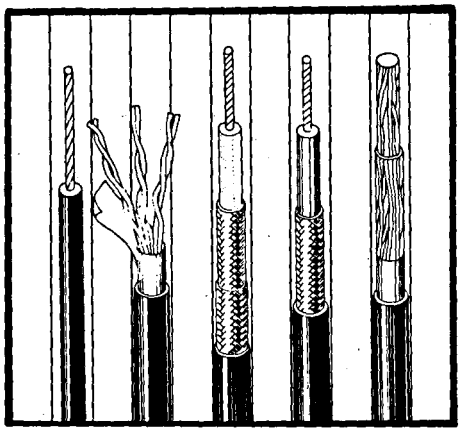
(D) Series Six™ PC family:

בקר מודולרי למשימות בקרה
גדולות כולל בקרת תהליכים,
עד I/O 4000, 58 פונ'
תוכנה מתוחכמות, כולל
כרטיסי BASIC וחוגי PID
מקומיים.

GENERAL ELECTRIC

כל סוגי הכבלים
תחת קורת גג אחת





כבלים מכל הסוגים ובמלאי שוטף:

- כבלי מתח גבוה XLPE
- כבלים חסיני אש PYPOELODOR
- כבלי פיקוד ממוספרים רב — גידיים OZJ
- כבלי סיליקון לטמפרטורות גבוהות BIHF
- כבלים לתנאי שטח קשים ולסביבה בעיתית YPUR
- כבלי אלקטרוניקה, מיכשור, מחשבים, קואקסים וכבלים מסוככים בסיכוכים שונים.
- כבלי טלויזיה TV תקניים T1 וכבלי במבו (BAMBOO) למערכות טלויזיה במעגל סגור.

ניתן לקבל יעוץ בנושא כבלים למיניהם
סוכנים בלעדיים של:

■ SAB ■ CONZEN ■ EHLERSKABEL ■ NKF

מפיצים בלעדיים של חברת "תרמופיל"

י. קשטן חומרי חשמל בע"מ

אלנבי 121, ת"א, 61007, ת.ד. 802, טל. 613208, 623854, 613925

מח' מכירות: קיבוץ גלויות 24, ת.א., טל: 810958, 835025, 829469, טלקס: 341292 ASTF IL

פרסום א.ל. בע"מ - הופה

חשמלאי!

רשת החשמל במפעל שלך צריכה

"טסטר" מסוג חדש

"דו"ח צריכת חשמל ממוחשב" של גד מהנדסים בע"מ

זוהי מהפיכה ביעול ובחסכון.

כל שעליך לעשות הוא לתת לגד מהנדסים בע"מ העתק מחשבון החשמל של המפעל ובתמורה תקבל דו"ח חדשי ממוחשב הכולל:

1. בדיקת נכונות חשבון החשמל.
2. התפלגויות צריכה ותשלום לפי פסגה, גבע, שפל, שיא ביקוש ומקדם הספק.
3. הצגה גרפית הממחישה את מגמת הצריכה במפעל.
4. ניתוח וייעוץ הנדסי ופיננסי, מתן דגשים על מגמות צריכה וביקוש עיקריות.
5. התראה על סטיות המחייבות נקיטת צעדים.
6. השוואה לחודש קודם ולחודש מקביל בשנה שעברה.

השתכלל וחסוך אלפי דולרים בחודש!

טלפן עוד היום ונציג גד מהנדסים בע"מ ישמח להיפגש איתך לייעוץ מקצועי ובלתי מחייב.

גד מהנדסים, הבילויים 44 רמת-גן
טל': 03-768853

בין לקוחותינו נמנים:
תדיראן, מכון ויצמן, תעשיות רוגוזין, מגדל שלום, מלונות דן, קיבוצים, בנק דיסקונט, רשות שדות התעופה, מפעלי גרנות.

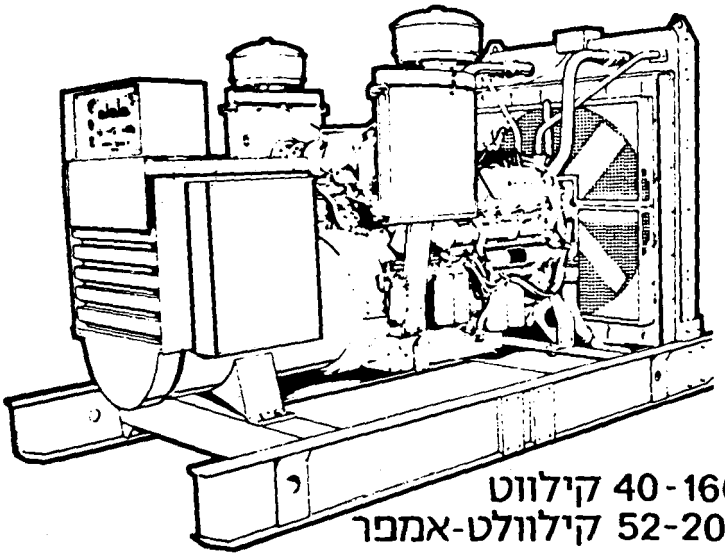
גד מהנדסים בע"מ
רח' הבילויים 44, רמת גן; טל. 03-768853

Call Company מהפכה בתקשורת

החברה הישראלית לטרקטורים וציוד בע"מ
THE ISRAEL TRACTORS & EQUIPMENT CO. LTD.

מפיצי
CATERPILLAR®
בישראל

קטרפילר
דיזל גנרטורים



עם או בלי
התנעה
אוטומטית
מלאה.

CATERPILLAR
Standby Electric Set

הספקים: 1600-40 קילווט
2000-52 קילוולט-אמפר

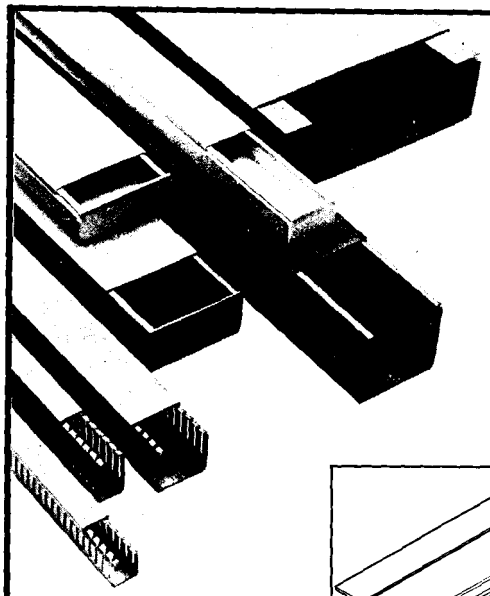
לתעשיה, מפעלים, בתי מלון,
בתי חולים, בתים רב קומתיים.

משרד ראשי:
אזור תעשיה חדש, חולון,
רח' המנור 8, טל. 807722.

סניף צפון:
קרית ביאליק, אזור התעשיה, ת.ד. 1191,
רח' החרושת פינת רח' המסגר, טל. 761477.

סניף באר שבע: אזור תעשיה עמק שרה, ת.ד. 104, טל. 73810 (057)

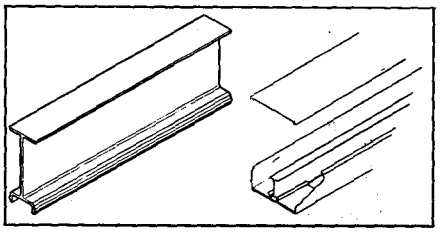
CATERPILLAR, CAT and ⊞ are trademarks of Caterpillar Inc.



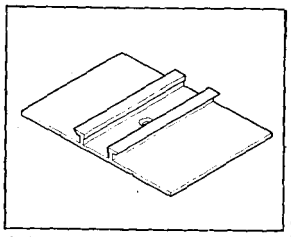
פלגל
תעשיות מוצרים
פלסטיים

חפצי בה
ד.נ. גלבוע 19135
טלפון: 065 31094-5
טלקס: 46381
משרד תל אביב
טלפון: 03 253405-6

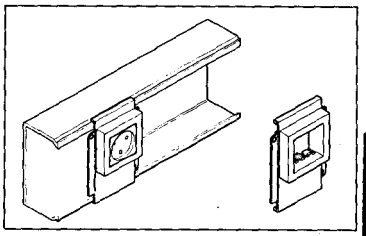
מחיצה לתעלות



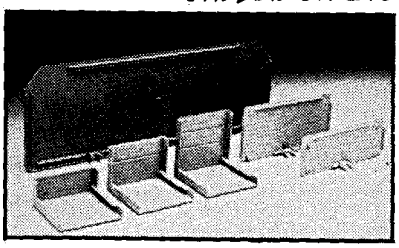
בסיס למחיצה ולציוד

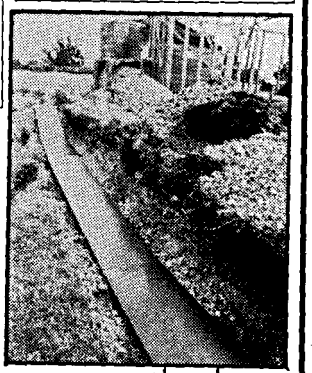


מתאם לשקעים וציוד עזר

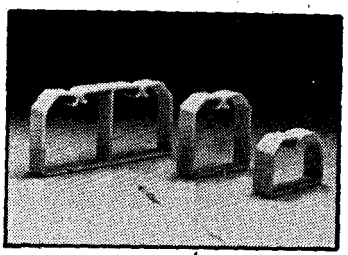


סופיות לתעלות

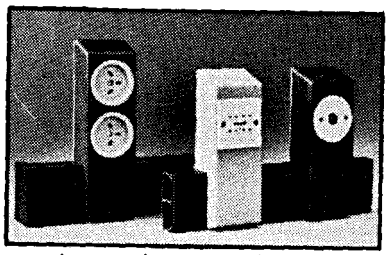




מגן לכבלים
תת קרקעיים



מחזיק כבלים



תעלות פלסטיות לחשמל,
תקשורת ומחשבים

תעלות ופרופילים

חשמל • בקרה • תקשורת • מחשבים

פרסום אלי בע"מ - חיפה

הורדי בע"מ
יבואני ציוד חשמל

סלמה 136 ת"א 66032
טל. 383518

מפסקי זרם פקט			TELUX
		AC1	AC3
סידרה	M-1	16A	פיקוד
סידרה	N-2	25A 40A	10HP 12HP
סידרה	N-4	60A 100A	20HP 30HP
סידרה	N-6	160A 250A	

שעוני מיתוג - מוני שעות פעולה		PALLADIN
זמן מחזור	אפשרות מיתוג	
שעון יום + שעה	כל 15 דקות + 37.5 שניות	
שעון יום + יום	כל 15 דקות + 30 דקות	
שעון שבוע + יום	כל 2 שעות + 30 דקות	
שעון שבוע + שעתיים	כל 2 שעות + 150 שניות	
שעון יומי	כל 15 דקות	

מונה שעות דיגיטלי: מלבני, מרובע, מודולרי - 6 ספרות

ממסרי השהיה מודולרים	BROYCE
ממסר כפתור בורר סקלות 60 שניות ÷ 60 דקות	
וכפתור וויסות 5-100%	
ממסר עד 10 שעות, מגע מידי + מגע מושהה	
ממסר השהיה בניתוק עד 180 שניות	
ממסר בקר זרם	
ממסר בקר מתח, ממסר בקר תדירות	

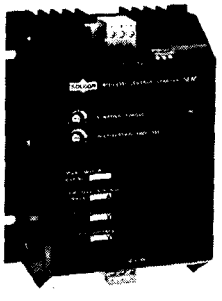
לוחות הורדי תלמי בע"מ
ייצור לוחות חשמל, פיקוד וחלוקה

חכמי ישראל 10 ת"א
טל' במפעל 380372
טל' במשרד 379266

SOLCON

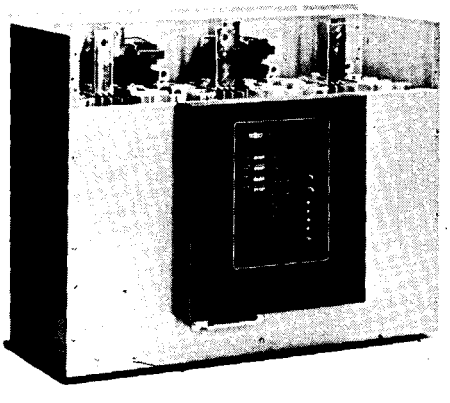
SEM

חדש!



מתנע אלקטרוני חדשני, זול במחיר,
קטן מימדים, פשוט ונוח להתקנה ותפעול.
התחליף המודרני למתנעי כוכב משולש.
(חבור המנוע בכבל 3 גידים)
ניתן לאספקה בתאי GK-W להתקנה על הקיר.

לאספקה מהמלאי



חדש!

RVS עד 400 כ"ם

★ התנעה בחוג סגור עם בקרת זרם.
★ הגנות משוכללות למנוע ולמתנע
כולל מערכת בדיקה עצמית לפני ההתנעה.
★ ידע ונסיון רב בהתנעות אלקטרוניות
בשמושים ואופיינים שונים.

פנה אלינו לקבלת מידע ויעוץ נוספים.

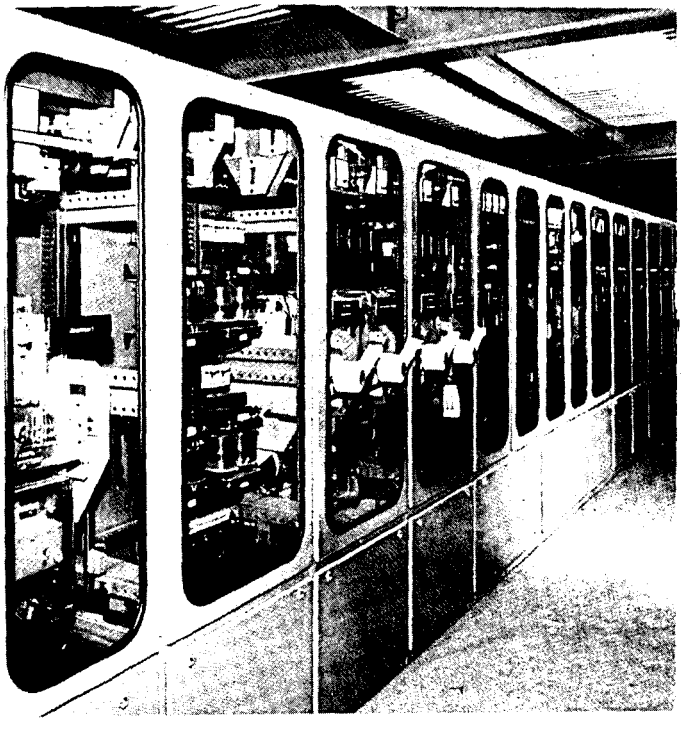
קצנשטיין אדלר - השם מחייב

דרך פתח-תקוה 37, תל-אביב. טל': 03-614668

קבוצת קצנשטיין אדלר

עוד צעד

הבקר הקומפ
- עיבוד של סיב
- כניסות/יציאו
- קלט במהירות
- שעון זמן אמת



על צ
אפע

ניתן

קבוצת קצנשטיין אדלר

אנו תמיד קרובים אליך:

קצנשטיין אדלר תעש
קצנשטיין אדלר ושות'
א. הנדל-קצנשטיין אד
הנדסה אלקטרומכנית
ה.א.מ. שיווק בע"מ
לוחות והנדסת חשמל

מלאי חלפים | בקרת איכות | שרות | ייצור | תכנון | אמינות | אחריות | איכות

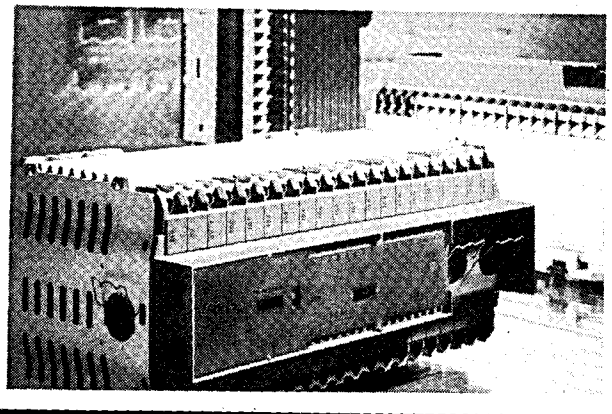
...ידימה... בקרים מתוכנתים PS3

...וי הכולל בתוכו את מירב האפשרויות הטכנולוגיות החדישות

- ...בתים ומילים
- ...נולוגיות
- ...והה 10KHZ
- ...לוח שנה

- פונקציות אריטמטיות +, -, X, :
- תיכנות באמצעות PC
- תיכנון ערוץ נתונים עם מבט אל העתיד

להעברת נתונים מהירה במרחקים ארוכים באמצעות מימשק RS 485 אל רשת הנתונים I.B.M



...ד קלוקנר מלד
...ר תמיד לסמוך

...ים קבלת מידע נוסף
...פנות למשרדינו הטכניים

...(1975) בע"מ	תל-אביב	טל. 03-614668
...ע"מ	תל-אביב	טל. 03-614668
...ר בע"מ (התקנות)	תל-אביב	טל. 03-614776
...יפה בע"מ	חיפה	טל. 04-727174
	חיפה	טל. 04-727174
...ר-סבא בע"מ	כפר-סבא	טל. 052-24003

קצנשטיין אדלר תעשיות (סניף אשקלון)	אשקלון	טל. 051-26719
ק.מ.ק. הנדסת חשמל בע"מ	ירושלים	טל. 02-536332
ק.א. אלקטרומכניקה באר-שבע בע"מ	באר-שבע	טל. 057-35916
טקסל אלקטרוניקה בע"מ	תל-אביב	טל. 03-622341
סולקון תעשיות בע"מ	תל-אביב	טל. 03-614668
אסטרגל בע"מ	תל-אביב	טל. 03-623421

"אוריון" "ORION"

קבלן רשום

חשמל לתעשיה, מבנים ורשת

ביצוע, אחזקה, תכנון ופקוח

מערכות — אזעקה, גילוי אש, אינטרקום, מחשבים ותקשורת

טבריה — ת.ד. 457, רח' אילת 1

טל. במשרד 06-792455
טל. בבית 06-792456
06-721662

למידע נוסף סמן 39/14

ברק כ"ח בע"מ

ייצור שנאים (טרנספורמטורים)
בהסכם ידע עם
BENMAT CO L.L.C NEW YORK U.S.A

★ שנאים (טרנספורמטורים) חד פאזי ותלת פאזי להרכבה בלוחות חשמל ומתקני חשמל.
★ שנאי אוטוטרפו להתנעת מנועים חשמליים עד 200 HP כח סוס ~ 3.
★ משנה זרם לאמפרמטר להרכבה בלוחות חשמל.
★ שנאים להפעלת מכשירי חשמל אמריקאים 230/115 V.
★ שנאים למערכות לפי דרישת המזמין בכל המתחים האפשריים ☆ לפיקוד ☆ בקרה ☆ מעליות.

מיוצר לפי דרישת מת"י, ת"י — 899

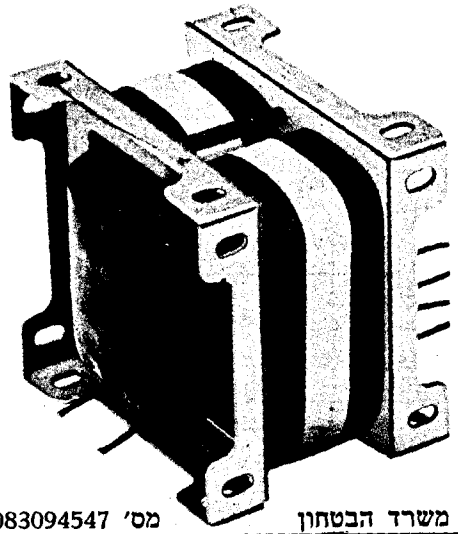
ברק כ"ח

ייצור טרנספורמטורים (שנאים)

רח' רוויגו 8. פינת שד' הר ציון 91

תל-אביב

או בחנויות חומרי חשמל



ספק משרד הבטחון מס' 0083094547

שד' הר ציון 91 (סמטת רוויגו 8)

טל: 03-377692 ת"א

בדקן כבל

בדיקת כבלים
קביעת מקומם בשטח
אתור מקום התקלה

מרקו אלקלעי - מהנדס חשמל

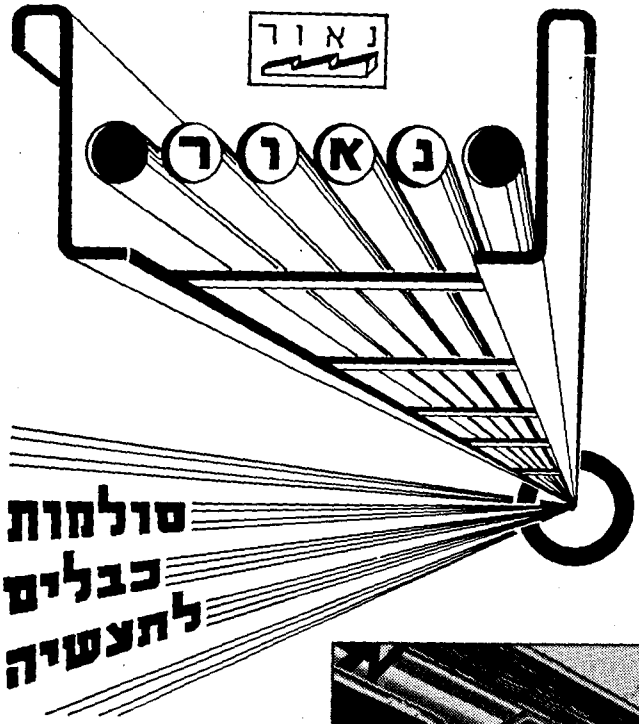
ת.ד. 27154, יפו 61271

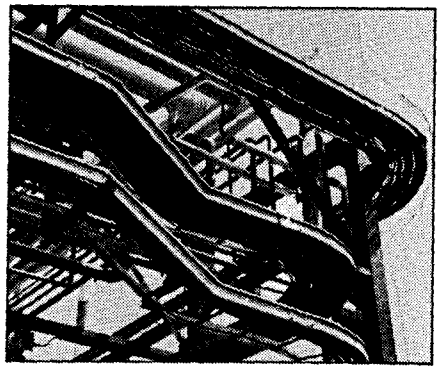
טלפון: 821661

למידע נוסף סמן 39/15

למידע נוסף סמן 39/16

יצור אספקה והתקנה של סולמות כבלים מודולריים לתעשיה





אנו מציעים:

1. פתרון לכל תוואי - סולם כבלים מודולרי
2. מגוון רחב של מידות ופניות שונות
3. חוזק מיכני מותאם לעומסים עד 200 ק"ג למ'.
4. ציפוי אבץ חם 77 מיקרון או צבע לפי דרישה.

אחריות 10 שנים לציפוי.

אספקה מהירה

בדבר מידע נוסף וקטלוג הזמנות נא לפנות למשרדינו:

NAOR LTD. **נאור בע"מ**

ELECTRICAL CONTRACTORS קבלני חשמל לתעשיה

מפרץ חיפה, רח' חלוצי התעשיה 79, ת.ד. 10256, טל. 724834, 04-724528 P.OB. 10256 HAIFA-BAY TEL.

פרסום אלי בע"מ - חיפה

מפסקי גבול

AT0

Klockner MOELLER

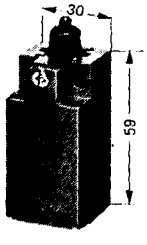
IP 65

בדוד כפול

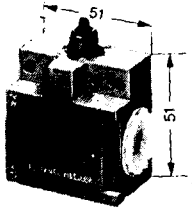
לפי תקן DIN EN 50047

★ בטחון - מיתוג

★ חווט מהיר



מודול בסיסי AT0.../I/S



מודול בסיסי AT0.../IA/S

להשיג אצל כל סיטונאי החשמל

קבוצת קצנשטיין אדלר

דרך פתח-תקוה 37, תל-אביב. טל: 03-614668.

בתנאי הארקה קשים

כגון: במיתקן ארעי הנזון מגנרטור נייד

הזנה

בלתי מאורקת

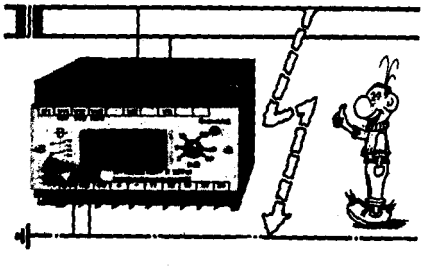
עם ISOMETER* של BENDER

המבטיחה:

- המשך עבודה רציפה — בתקלת קצר להארקה
- עבודה אמינה — למחשב, בקר ומע' פיקוד
- שימוש בטוח ותיקני — בגנרטור נייד, בתנאי הארקה קשים
- הגנה מפני התחשמלות
- הגנה מפני שריפה והתפוצצות

פקוח מתמיד על תקינות הבידוד במנועים הנמצאים בכוננות או בסביבה לחה.

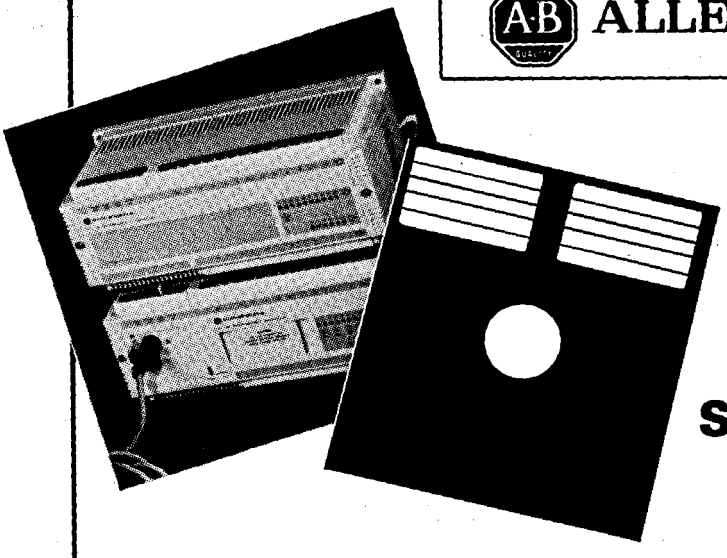
אורי כהן
שוב לשרותכם
במען החדש



* איזומטר = משגוח לרמת הבידוד עפ"י חוק החשמל:
— הארקות ושיטות הגנה מפני חשמול סעיף 11
— התקנת גנרטורים למתח נמוך סעיף 15.

אליב יעוץ ושווק בע"מ, רח' לוי אשכול 78, קיראון.
ת.ד. 994, קיראון 55109. טל' 03-343506 פרטי 03-347528

ALLEN-BRADLEY



... ומפתיעים!

חבילות תוכנה לבקר SLC-100

PCIS

תוכנה לתיכנות בקרים זעירים ממשפחת SLC-100 תוך שימוש במחשב IBM/PC או תואמיו.
התוכנה מאפשרת בניית דיאגרמת סולם על מסך המחשב, הוספת הסברים לכל שורה ולכל אלמנט, טעינה וקליטה מהבקר הזעיר.
ניתן לבצע ON-LINE MONITORING של התוכנה בבקר עצמו. כמו כן ניתן להפיק דוחות דוקומנטציה מפורטים של דיאגרמת הסולם בבקר כולל CROSS REFERENCE.

WIZCON

תוכנה גרפית המשמשת ממשק גרפי למפעילי התהליכים השונים ברצפת המפעל. ניתן לצייר את התהליך הרצוי ולקשר בין הנקודות השונות לנקודות המתוכנתות בבקר המתוכנת ולקבלת דוחות ייצור ודוחות תקלות.

התוכנה פותחה בארץ וכל הסברי התפעול הם בעברית.
תוכנת WIZCON מאפשרת לקשר בין מספר בקרים הפועלים בתהליכים שונים.

קונטאל
הנדסת מיכשור ובקרה בע"מ
CONTEL
CONTROL & INSTRUMENTATION ENGINEERING LTD

תל־אביב, רח' תוצרת הארץ 10, ת"ד 36005
ת"א 61360, טל' 03-254162 (10 קווים),
טלקס: 32336, פקסימיליה 03-258678.

אנו מרחיבים...
את אפשרויות
הבקר
SLC-100

1745-E106 יחידת הרחבה לכניסות אנאלוגיות.
בכל יחידה ארבע כניסות לסיגנלי כניסה 4-20MA,
0-10V.

1745-PCK יחידת ממשק לחיבור הבקר המתוכנת למחשב
IBM/PC או תואמיו. התאום מתבצע לפרוטוקול
תקשורת סטנדרטי RS232.
היחידה מאפשרת תקשורת עד למרחק של 1.5 ק"מ.

1745-TCAT ממשק מפעיל מכונה מקומי, המשמש לתצוגה
ספרתית של יחידות זמן, יחידות מניה, ותנאים לוגיים.

תל־אביב, רח' תוצרת הארץ 10, ת"ד 36005
ת"א 61360, טל' 03-254162 (10 קווים),
טלקס: 32336, פקסימיליה 03-258678.

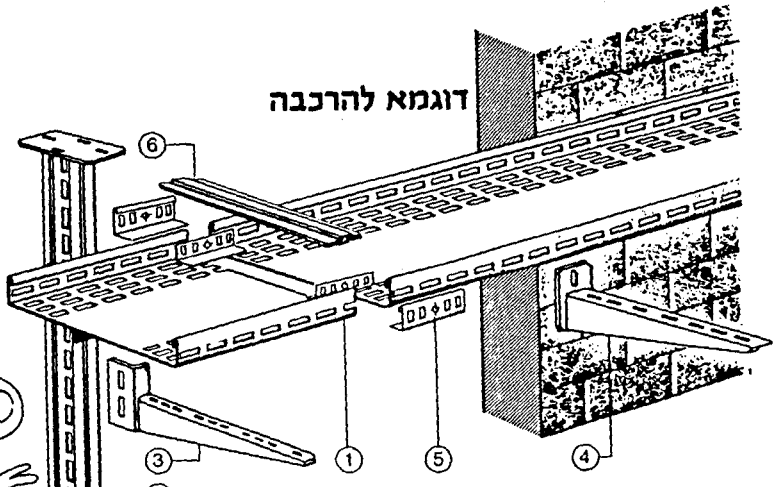
קונטאל
הנדסת מיכשור ובקרה בע"מ
CONTEL
CONTROL & INSTRUMENTATION ENGINEERING LTD

לירד שיווק בע"מ

ת.ד. 609 נצרת עילית, טל. 06-574434

תעלות וסולמות כבלים MFK

דוגמא להרכבה



בכבלים
שבתעלות לירד
אני לא נוגע...
— מואר וקריר
שם מדי....!

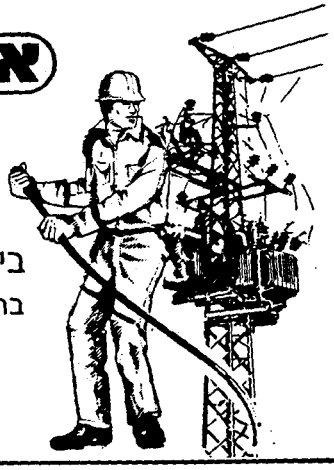
תאור החלקים:

1 תעלת כבלים
2 תומך תלוי
3 משען לתומך תלוי
4 משען קיר
5 חיבור הניתן לכיפוף
6 פלטה לחיבור עליון

החל מינואר 86' קיים במלאי.

איינור אלקטריק

שרות וביצוע
עבודות חשמל בע"מ
ביצוע עבודות חשמל בתעשיה
בתי קרור, מכוני תערובת, בתי אריזה



נצרת עילית, אזור תעשיה ב', רח' העמל 3
ת.ד. 609, טל. 06-574434

הפקה: מע"ד, א.מ. פרסום

חשמלאי!

רשת החשמל במפעל שלך

צריכה "טסטר" מסוג חדש

"דו"ח צריכת חשמל ממוחשב" של גד מהנדסים בע"מ

זוהי מהפיכה ביעול ובחסכון.

כל שעליך לעשות הוא לתת לגד מהנדסים בע"מ העתק מחשבון החשמל של המפעל
ובתמורה תקבל דו"ח חדשי ממוחשב הכולל:

1. בדיקת נכונות חשבון החשמל.
2. התפלגויות צריכה ותשלום לפי פסגה, גבע, שפל, שיא ביקוש ומקדם הספק.
3. הצגה גרפית הממחישה את מגמת הצריכה במפעל.
4. ניתוח וייעוץ הנדסי ופיננסי, מתן דגשים על מגמות צריכה וביקוש עיקריות.
5. התראה על סטיות המחייבות נקיטת צעדים.
6. השוואה לחודש קודם ולחודש מקביל בשנה שעברה.

השתכלל וחסוך אלפי דולרים בחודש!

טלפן עוד היום ונציג גד מהנדסים בע"מ ישמח להיפגש איתך
לייעוץ מקצועי ובלתי מחייב.

גד מהנדסים, הבילויים 44 רמת-גן
טל': 03-768853

בין לקוחותינו נמנים:
תדיראן, מכון ויצמן, תעשיות רוגוזין, מגדל שלום,
מלונות דן, קיבוצים, בנק דיסקונט, רשות שדות
התעופה, מפעלי גרנות.

גד מהנדסים בע"מ
רח' הבילויים 44, רמת גן; טל. 03-768853

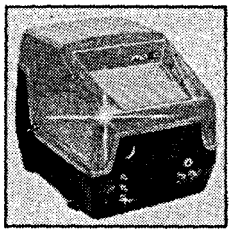
מס פוגט גלץ

בית הגנרטור מזה

mase

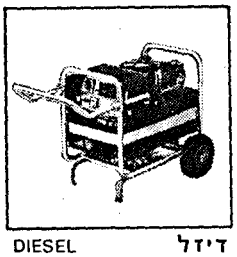
GENERATORS

גאה להציג
את היהלום שבכתר

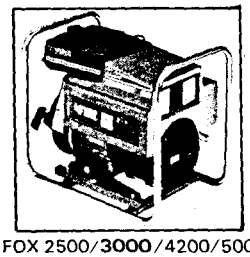


MARINER 3500/6000/12000

Multiwork®



DIESEL דיזל



FOX 2500/3000/4200/5000

דיזל שקט ואוטומטי
SILENT 7600

הפתרון המושלם!

לחשמלאי להארקת יסוד!

גם ריתוך: A.C. - D.C. 130-170 Amp
גם חשמל: 2000-3000 Watt - 220V/50 ∿

המבחר הגדול בארץ לגנרטורים ניידים, גודל קטן ובינוני.
לפיקניק, לבעלי מקצוע, לריתוך. מיוחדים לרכב וקרוואנים.
גנרטורים ימיים, גנרטורים אוטומטיים לחרום למקלטים, בנקים וכו'.
מבחר גנרטורים שקטים במיוחד, בנזין ודיזל.

חדש: דיזלים אוטומטיים למעליות ברבי-קומות 10,KVA ÷ 35,KVA

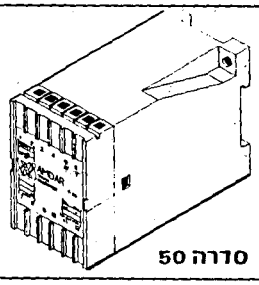
"בית הגנרטור"

ניתן להשיג:
רח' השפלה 1, תל־אביב, טל. 03-377793
פינת דרך פ"ת 42 (ע"י התחנה המרכזית)
או בבית: משה תמיר, צהלה, טל. 03-490174-5

פרסום אלי בע"מ — חיפה

„אמדר" אלקטרוניקה ובקרה בע"מ

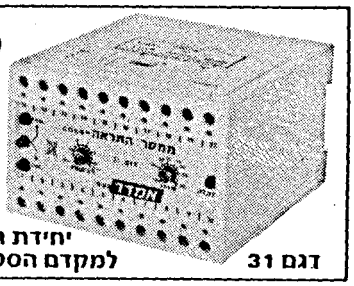
מתמרי זרם מתח ותדירות



סדרה 50

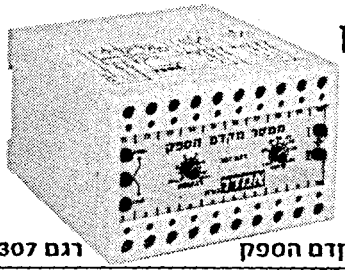
ממסר מקדם הספק לבקר מתוכנת דגם 309

cos ø



יחידת התרעה למקדם הספק

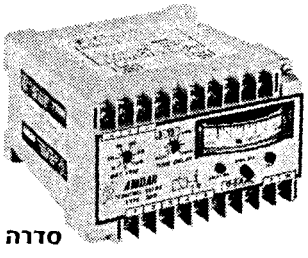
דגם 31



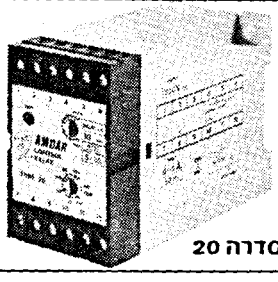
בקר מקדם הספק

דגם 307

ממסרי בקרה לזרם ומתח

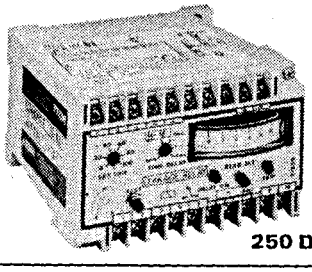


סדרה 200

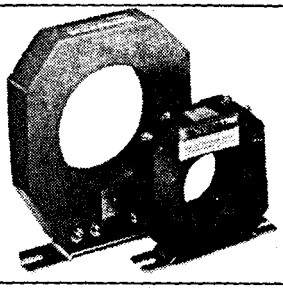


סדרה 20

ממסר זליגה לתעשיה



דגם 250



דגם C.T.55
דגם C.T.110

רח' בר-כוכבא 8 – ת.ד. 806 – בני ברק 51261 טלפון 786095 , 03-701548

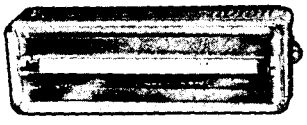
הכל על תאורת החרום

אצלנו אין הפסקות חשמל!!!

כשעוסקים בנושאי בטיחות, אי אפשר להתעלם מנושא מרכזי והוא תאורת חרום.
תאורת חרום פרושה תאורה אלטרנטיבית לתאורה הרגילה, הפועלת באופן אוטומטי כאשר נפסק החשמל מסיבות של תקלה, קצר, או נתוק הזרם במקרה שריפה או פיגוע.
אנו מבחינים בשני סוגים עיקריים של תאורה :

יציאה

א. תאורת הכוונה הכוללת שילוט.
תאורה זו פועלת גם כאשר יש חשמל ולחילופין, מיד בהפסקתו.



ב. תאורת התמצאות המיועדת להארת חדרי מדרגות, שטחים ציבוריים ודרכי מילוט.

יתרונות תאורת החרום:

1. אין צורך באינסטלציה חשמלית (היחידה ניתנת להרכבה בכל מקום בו נדרשת תאורה ומתחברת לרשת החשמל הרגילה).
2. התקנה קלה ופשוטה על התקרה או הקיר.
3. היחידה כוללת מצברי ניקל קדמיום יבשים להחלוטין ללא כל טפול ואחזקה.
4. היחידה כוללת מטען אלקטרוני לטעינה חוזרת (מיד עם החזרת הספקת החשמל).

ציוד נוסף שברשותנו:

1. מבחר רב של יחידות כולל יחידות דו־תכליתיות עם שילוט לפי תקן מכבי אש והמשטרה. וכן יחידות להתקנה בפלורטנטים קיימים 65—20 ווט.
2. יחידות ניידות לבית ולתעשיה וכן ציוד מוגן התפוצצות.
3. מכשיר אל פסק להספקה שוטפת של חשמל לציוד בטיחות ומחשבים, קשר וכו'.
4. גנרטורים ניידים וקבועים, בנזין ודיזל מ־0.6 ק"ווט — 90 ק"ווט.
5. זרקורים נטענים לשמירה ונטרול, כולל מוגן מים.

ומה דורש התקן ? (מתוך קובץ התקנות 4111 תכנון הבניה מיום 17.4.80).

א. שלטים
לשלטים תותקן תאורה מרשת החשמל של הבנין וממקור חשמל רזרבי אמין.

ב. תאורת התמצאות
בפרוזדורים, חדרי מדרגות יותקנו גופי תאורת התמצאות. גופים אינדיוידואלים הנטענים ומופעלים אוטומטית ויופעלו למשך זמן לא פחות מ־60 דקות.

ולכן אתם בתעשיה, אולם, מלון, מועדון ובתים רבי־קומות בדקו מה קורה אצלכם והקדימו פתרון לבעיה.

אחריות מלאה, יעוץ, הדרכה והתקנה ע"י

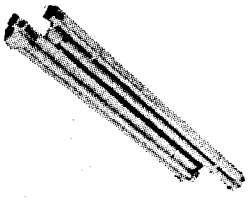
חברת צבמ"ד 85 בע"מ — ציוד חשמלי

רח' חפץ חיים 10 נחלת יצחק, ת"א, טל. 03-219852

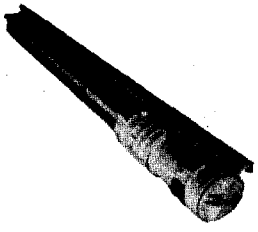
י. קשטן חומרי חשמל בע"מ

אלנבי 121, ת"א, 61007, ת.ה. 802, טל. 613208, 623854, 613925.
מח' מכירות: קיבוץ גלויות 24, ת.א., טל: 810958, 835025, 829469, טלקס: 341292 ASTR IL

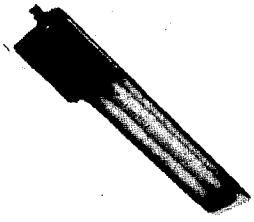
...ויקטור יספק לך את מיתקני התאורה המתאימים



"רגינט"
גוף פלורסנט יחיד וכפול Type N.
תקן מכון הבטיחות האנגלי ואישור לביטוח מס' Ex 81284 N II T3 אטומים IP 65. דף קטלוגי L682.



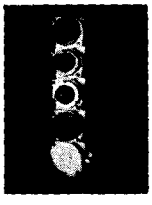
גוף פלורסנט נגד התפוצצות ותנאי מזג אויר קשים.
דגם רשום בארה"ב תקן UL מספר 844.
תואם לדרישות התקן האמרקאי: Class 1, Divisions 1 and 2, Groups C and D, Class II and Class III Locations



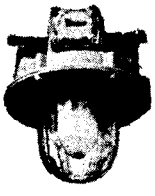
"אקסקליבור"
גוף פלורסנט כפול, Type E, תקן מכון הבטיחות האנגלי ואישור לביטוח Ex 84369.
דרגה: Ex Ed IIC T4. Ex: 84369. אטימות I.P. 67.

"וייקונט"
גוף פלורסנט כפול או יחיד, Type D, תקן מכון הבטיחות האנגלי ואישור לביטוח מס' Ex 841001.
דרגה: EEx Ed IIB T5 אטימות: I.P. 67 דף קטלוגי L630/6

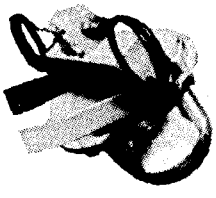
"ספטר"
"D" Type. מערכת תאורת יד ניידת. תקן מכון הבטיחות האנגלי ואישור לביטוח מס': Ex 76200/1 Ex D II B T3.
דרגת אטימות I.P. 66. דף קטלוג L635 L641-1.



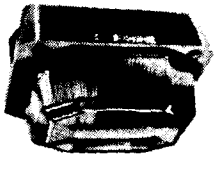
מערכת נורות סימון
"D" Type. תקן מכון הבטיחות האנגלי ואישור לביטוח מס': Ex: 76130 Ex D II B T4. דף קטלוגי L634/1.



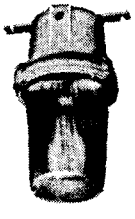
"טיטן"
Type D. גוף תאורה מתאים לנורות נתרן W 70, נורות כספית W 80, W 125. נורת ליבון W 200 ונורת כספית W 160 ללא משנק. הדגם ניתן לאספקה גם כגוף תאורה מהבהב.
תקן מכון הבטיחות האנגלי: Ex 80059 Ex D II B T3 אטימות I.P. 66. דרגת L637/3.



"טיטן"
Type D. גוף תאורה מתאים לנורות כספית W 250, W 400. נורות נתרן W 250, W 400. או W 500 ליבון, קיים גם דגם לתאורת הצפה. תקן מכון הבטיחות האנגלי ואישור לביטוח מס' Ex 80203 Ex D II B T3. דרגת אטימות I.P. 66 דף קטלוגי L638/2

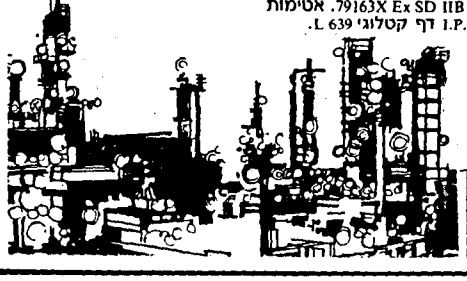


"בלקהד"
גוף תאורה דגם "אוניה" מתאים לנורת נתרן W 70, נורת כספית W 80 ונורת ליבון עד W 150. מתאים לאזור Zone 2 קיים גם דגם עם זכוכית צבעונית למינחתי הליקופטרים. דף קטלוג L673/L677.



"מונרק"
מתאים לאזור Zone 2, גוף תאורה לנורת נתרן W 70 נורת כספית W 80, W 125. או W 160 ללא משנק, נורת ליבון W 200. תקן מכון הבטיחות האנגלי ואישור לביטוח מס': Ex: 76084/B N II T4. דרגת אטימות I.P. 67 דף קטלוג L681.

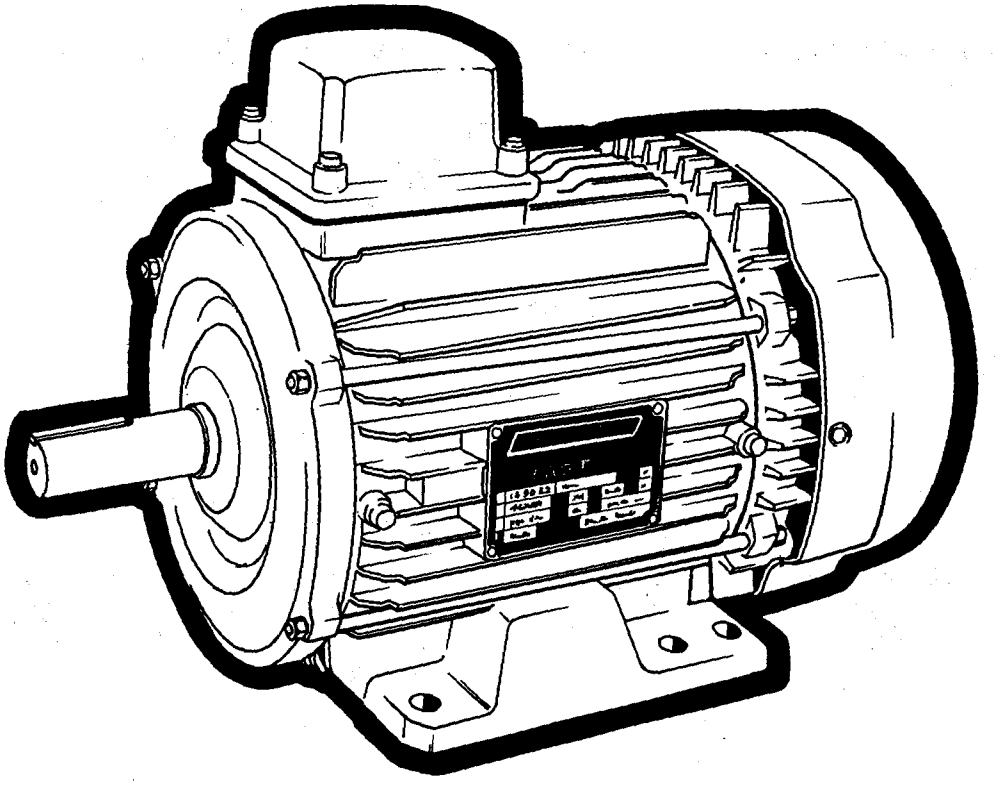
"וייקונט"
גוף לתאורת חרום Type D.
גוף פלורסנט עם מערכת חרום D.C.. תקן מכון הבטיחות האנגלי, ואישור לבטוח מס': Ex: 79163X Ex SD IIB T6. אטימות I.P. 56 דף קטלוגי L 639.



הגד מהם התנאים....

Victor LIGHTING

ליפוף ותיקון מנועי חשמל



- ליפוף ושיפוץ מנועי זרם חילופין (A.C.) בכל הגדלים.
- ליפוף ושיפוץ מנועי זרם ישר (D.C.) וגנרטורים.
- ליפוף ושיפוץ מנועים אנכיים בעלי ציר חלול למשאבות מים.
- התקנה ואחזקת מערכות חשמל ופיקוד בתעשיה ועגורני בנין.
- ליפוף ושיפוץ משאבות טבילה ומשאבות מים.
- התקנה ואחזקת מערכות חשמל ופיקוד באניות.

LEROY SOMER®
שרות מוסמך
יעוץ ומכירה
של מנועי חשמל
A.C.-D.C.
משאבות, ממירים וציוד חשמלי.

אלקטרומכניק

(1984) מ.ש. בע"מ

רח' חלץ 10 (גשר פז) חיפה
ת.ד. 2636 חיפה, טל. 04-644238

פרסום א.ל.ב.ע.מ - חיפה

הדרכת עובדי הרשת בחברת החשמל

הדרכת עובדי הרשת (העילית והתת־קרקעית), החל״ב (החיבורים לבתים) וההשגחה, נהוגה בחברת החשמל מזה עשרות שנים ולא בכדי התאפיינה עבודתם ברמה המקצועית הגבוהה של הביצועים.

כבר לפני למעלה מ־20 שנה הוקמו מתקני־אימון מיוחדים לעבודות עמ״ח (עבודה במתקנים חיים) ברשתות.

לאחרונה, ובעיקר לאחר כניסתו של המנכ״ל הנוכחי מר יצחק חופי לתפקידו, קיבל נושא ההדרכה בחברת החשמל תנופה רצינית ובמסגרת זאת הוקמה במחלקת ההדרכה הארצית מגמה למקצועות רשת חל״ב, רת״ק והשגחה.

המהנדס אלכסנדר ברויאר מי שהיה ממונה הבטיחות במרחב הדרום של חברת החשמל, מונה כמנהל המגמה בתחילת שנת 1986 והחל בבניה שיטתית של תוכנית הלימודים והתשתית האירגונית. בית הספר הממוקם בתחום הקאונטרי קלאב בת״א כולל כיתות לימוד, חדרי מגורים (הלימודים של מרבית הקורסים הם בתנאי פנימיה) שטח של כ־20 דונם בו מתרגלים החניכים הלכה למעשה עבודות רשת בתנאי־שדה.

הקורס הראשון בו השתתפו 16 עובדי־רשת מכל מחוזות החברה נמשך 10 שבועות, כלל 360 שעות לימוד ובכלל זה תירגול ואימונים מעשיים.

הקורסים כוללים מיגוון של נושאים המתחלקים ל־3 קבוצות:

1. מקצועות רקע (מתמטיקה, פיסיקה, תורת החשמל, תורת החומרים, בקרת איכות).
2. מקצועות עיקריים (מבנה ותכנון רשתות, עבודות רשת ותחזוקה, ביסוס עמודים, חיבורים לבתים, בטיחות בעבודה, הארקות, עבודות הרמה).
3. מינהל ואירגון עבודה.

כמו כן נלמדים בקורס נושאים כלליים כמו פיתוח כח אדם, תעריפי החשמל, תהליכי הזמנת חיבורים וכו׳.

כל המרצים בקורסים הינם אנשי חברת החשמל, כל אחד בתחום מומחיותו.

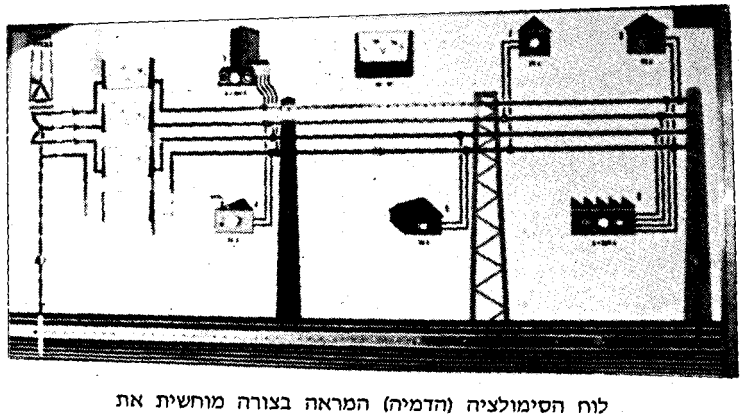
תוכנית הלימודים מקבלת את אישורה של ועדת היגוי בראשותו של מנהל אגף הצרכנות בחברה המהנדס משה זיסמן הממונה על הרשת האר־צית.

בנוסף לרשתות שהוקמו לשם תירגול והדגמות בשטח האימונים, פותח והוקם באחד מחדרי ביה״ס לוח סימולציה אלקטרוני המראה בצורה מוחשית את מרכיבי הרשת ואת זרימת החשמל בהם לרבות אירועים אופיינים כגון קצרים מסוגים שונים ותקלות אופייניות.

שמעו של ביה״ס הגיע לגופים ומוסדות שונים שגילו בו התענינות אם מתוך כוונה לשלוח עובדים לקורסים המתקיימים בו ואם כדי ללמוד מהנסיון שנרכש בתחום זה בחברת החשמל תוך כוונה להקים מתקני הדרכה דומים אצלם.

בשלב זה, מערכת ההדרכה של חברת החשמל איננה ערוכה עדיין לקלוט חשמלאים שאינם עובדי החברה אם כי לא מן הנמנע שבעתיד יתאפשר הדבר בצורה כלשהי. אז, יוכלו אולי להנות גם חשמלאי קיבוצים, חשמלאי צה״ל וכו׳ (אשר מבצעים עבודות ברשתות עיליות ותת־קרקעיות במתח נמוך ולעתים אף במתח גבוה) — מהתשתית וממתקני ההדרכה של חברת החשמל.

(אריה ונגרקו)



לוח הסימולציה (הדמיה) המראה בצורה מוחשית את מרכיבי הרשת, זרימת האנרגיה, ואירועים אופיניים, כגון: קצרים או תקלות אחרות.

אגירת אנרגיה באמצעות אויר דחוס

אינג' **פטר ודס**

שיטת אגירת האנרגיה באמצעות אויר דחוס הינה אחת מהשיטות הטכנולוגיות שפיתוחן הואץ לאחר משבר האנרגיה ב־1973. מאמר זה דן בקצרה בהיבטים הכלכלים השונים הקשורים ביישום השיטה וסוקר את אופן פעולתו של מתקן חדשני זה.

מבוא

על מנת שטכנולוגיה חדשה, כשלהי תשלב בתוכניות הפיתוח לייצור חשמל דרוש קיומן של שלושה תנאים:

(א) יתכנות הנדסית.

(ב) כדאיות כלכלית.

(ג) מוכחות טכנולוגית.

רוב הטכנולוגיות החדשות ליצור אנרגיה שפיתוחן קיבל תנופה לאחר שנת 1973, עם פרוץ משבר האנרגיה, נבלמו כבר בשלב (ב), הנ"ל.

טכנולוגית אגירת האנרגיה באמצעות אויר דחוס היא בין טכנולוגיות האנרגיה החדשות, הבודדות, שהצליחה לעבור שלב זה ונמצאת היום בעיצומו של תהליך המוכחות הטכנולוגית.

העלות של מתקן כוח מורכב משני מרכיבים עיקריים:

עלות ההון ועלויות משתנות (הכוללות הוצאות תפעול + דלק).

בתחילת משבר האנרגיה עלו מחירי הדלק בצורה תלולה ובמקביל ירדה הריבית, כך שנוצר עידוד להקמת מפעלים עתירי הון החוסכים עד כמה שיותר בשימוש בדלק.

בשנים האחרונות ובמיוחד בחודשים האחרונים עם ירידת מחירי הדלק ועליית הריבית (כיום 12% דולרית לשנה) נוצר מצב שמתקנים עתירי הון אינם כדאים יותר.

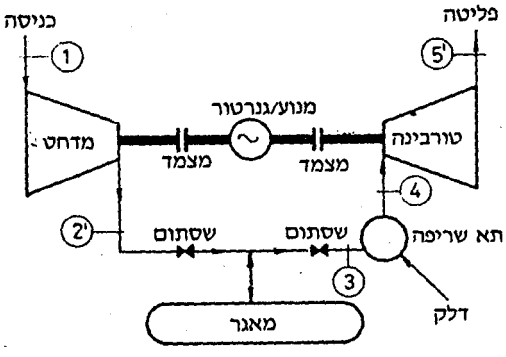
מבין טכנולוגיות אגירת אנרגיה הקיימות רק אחת הצליחה עד היום להשתלב כטכנולוגיה בעלת פוטנציאל יצור של מאות מגוו"ט, כנדרש במשק החשמל: זוהי טכנולוגית האגירה השאובה, בה שואבים מים למאגר גבוה בשעות שפל בביקוש ומשחררים אותם דרך טורבינה הידרואלקטרית בשעות שיא בביקוש העומס.

ב־1978 הקימה חברת החשמל של צפון מערב גרמניה (NWK) לראשונה בעולם מתקן אגירת אנרגיה מסוג שונה: מתקן אגירה באמצעות אויר דחוס. מ־1978 ועד היום מופעל המתקן, שהספקו המותקן הוא 300MW, באמינות תפעולית גבוהה ביותר.

עקרון פעולת המתקן

מתקן אגירת האנרגיה באמצעות אויר דחוס מורכב מטורבינת גז (עם שינויים קלים) וממאגר תת־קרקעי לאגירת האויר. (ראה איור 1).

איור 1



המדחס והטורבינה ממוקמים על אותו ציר אך מופרדים על ידי מצמדים וביניהם ממוקם הגנרטור שמופעל כמנוע בשלב הטעינה. התהליך הוא כדלקמן: בשעות שפל בביקוש מופעל המדחס על ידי המנוע/גנרטור המוזן מהרשת.

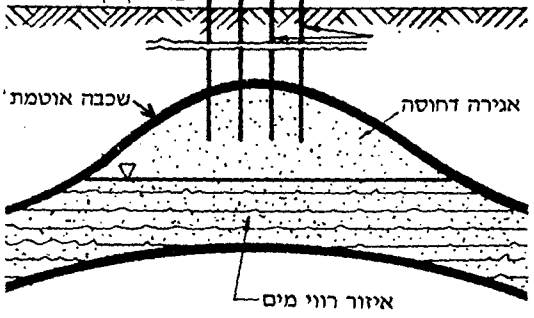
האויר הדחוס מוחדר למאגר תת קרקעי. בשעות שיא בביקוש משחררים את האויר מהמאגר, אשר מועבר דרך תא שריפה שם מוזרק דלק ונוצרת תערובת של גזי שריפה המתפשטים בטורבינה ומפעילים את הגנרטור. בעזרת המצמדים נוצר מצב בו הטורבינה והמדחס אינם מופעלים לעולם בעת ובעונה אחת. זהו היתרון העיקרי של מתקן אויר דחוס ביחס לטורבינת גז, שכן בטורבינת גז כ־65% מהאנרגיה המתקבלת על גל הטורבינה משריפת דלק יקר (סולר) מועברת להפעלת המדחס ואילו במתקן אויר דחוס המדחס מופעל על ידי המנוע בשעות שפל בהן מחיר החשמל הוא זול יחסית וכל האנרגיה המתקבלת משריפת הדלק זמינה על גל הגנרטור.

מבנה המאגר התת־קרקעי לאויר הדחוס

המאגר התת־קרקעי לאגירת אויר יכול להיות כל חלל אטום, או מבנה גיאולוגי של סביבה נקבובית בצורה של כיפה, שהיא אטומה מלמעלה ומהצדדים ורוויה במים; אקוויפר (מי־תהום) (ראה איור 2).

אינג' **פ. ודס** — מחלקת פיתוח מקורות אנרגיה ומערכות כוח וחום, אגף מחקר ופיתוח, חברת החשמל.

איור 2



זהו המבנה האופייני בו מוצאים מאגרי נפט או גז טבעי. מבנים גיאולוגים רבים מהסוג שהזכרנו קיימים בעולם בכלל ובארץ בפרט.

האויר המוזרם למבנה כזה ירחיק את המים ויתפוס את חלקו העליון של המבנה הכיפתי. קיימת חשיבות מיוחדת לכך שהסביבה הנקבובית אליה יוזרם האויר תהיה בעלת חדירות גבוהה, על מנת לצמצם עד כמה שאפשר את הפסדי הלחץ. יש לציין שמדינת ישראל התברכה באתרים מעולים מבחינה זו, למשל החדירות בחלק מהאתרים הקיימים בארץ מגיעה ל־darcy 100—20 לעומת darcy 0.2—0.1 במבנים דומים בארה"ב.

אטימות בפני דליפת אויר

שאלה ראשונה שנשאלת תמיד בהתייחס למוכחות של מאגר מהסוג הזה היא שאלת דליפת האויר או האם ניתן לצפות שנמצא מבנה תת־קרקעי אטום לחלוטין מפני בריחת אויר. ראשית, קיומם של מבנים אטומים מוכחת מעצם הקיום של מאגרי גז טבעיים שם נשמר הגז, ולא דלף, במשך אלפי שנים. יתרה מזו כתוצאה מצרכים דומים של שיא ושפל בביקוש, הקימו חברות הגז מאגרים טבעיים ומלאכותיים של גז באותה טכנולוגיה.

הטכנולוגיה של אגירת גז עונתית (אגירה בעונת הקיץ ופריקה בעונת החורף) היא טכנולוגיה שמרנית הקיימת כבר 70 שנה. אין צורך להוסיף עד כמה חמורים התקנים בדרישות אטימות כאשר מדובר בגז המוחזק ב־ 204 atm שיכול בקלות להתפוצץ אם יובא במגע עם האויר. ולמרות זאת הוקמו משנת 1915 מאגרי גז רבים.

רק בארה"ב וקנדה קיימים כיום 419 מאגרי גז בעלי נפח כולל של 220,000 מיליוני m^3. כ־18% מתוכם הם מאגרים באקוויפר.

תחזית לעתיד

עקב ההצלחה התפעולית של המתקן שפועל במערב גרמניה (בהונטורף) ועקב העובדה שטכנולוגית טורבינת הגז מחד ואגירת הגז מאידך הן טכנולוגיות מוכחות קיבלה טכנולוגית האגירה באמצעות אויר דחוס תנופה אדירה וכיום נמצאים בהקמה בעולם 4 מתקנים נוספים, ואחרים נמצאים בתכנון.

המתקנים שבהקמה הם:

באיטליה — ENEL - Sesta - 25 MW
בבריה"מ — Donbas - Ukraina - 1050 MW
בארה"ב — מתקן הדגמה — EPRI - Pittsfield Illinois

היתרון הבולט של מתקן אגירת אנרגיה באמצעות אויר דחוס ביחס למתקן אגירה שאובה הוא בעלות ההון הנמוכה של אגירת אויר דחוס ($\frac{\$}{kW}$ 500—250) לעומת אגירה שאובה ($\frac{\$}{kW}$ 790—650) וזמן ההקמה הקצר 3.5—2.5 שנים באויר דחוס לעומת 10—7 שנים באגירה שאובה. כתוצאה מהיתרונות האלה נבדקת באגף המחקר בחברת החשמל אפשרות היישום של טכנולוגית אגירת אנרגיה באמצעות אויר דחוס בישראל. אם תוצאות הבדיקה תהיינה חיוביות יתכן כי בעתיד נוכל להציע לשלב מתקן כזה בתכניות הפיתוח של חברת החשמל.

חברת החשמל לישראל
אגף הצרכנות

חברת החשמל לישראל מודיעה על תחרות:
"צרכן החשמל היעיל"

★ בתחרות רשאים להשתתף צרכני חשמל המשלמים לפי תעו"ז (תעריף לפי עומס המערכת וזמן הצריכה) ושיוכיחו כי ביצעו שינויים טכנולוגיים/ארגוניים שהביאו לשיפור ולייעול פרופיל צריכת החשמל שלהם.
★ לצרכנים שיזכו בשלושת המקומות הראשונים יוענקו פרסים כספיים.
★ המועד האחרון להגשת המועמדות לתחרות הוא 31.8.87.
★ את תקנון התחרות ניתן לקבל במחלקות הטכניות במחוזות החברה או במשרדי המחלקה לייעול הצריכה:
בחיפה — שד' ההגנה 2, בנין "אגד" (התחנה המרכזית"), קומה 11, טל' 04-548416 או 04-548436.
בת"א — רח' החשמל 25.

השתמש בחשמל בתבונה

האחריות המשפטית של החשמלאי, המתכנן או המבצע עבודות חשמל*

עו"ד זאב אפיק

מבוא

בבואנו לתאר את החשמל אנו מתקשים בסיווגו במסגרת המונחים המוכרים לנו — וגם אם נכנה את החשמל במינוח הצרכני המקובל של "מצרך", קשה לחלוק על כך שהחשמל שונה באופן מהותי ובסיסי ממצרכים אחרים כגון מכוניות, מקררים או טלויזיות. ההבדל בין חשמל ומצרכים אחרים הוא בכך שאין אפשרות להחיל על החשמל את הכללים במשפט האזרחי העוסקים "במצרך פגום" — ועל אף שאין אנו מדברים על "חשמל פגום", כולנו מודעים לכך שהחשמל הוא מצרך מיוחד ויוצא דופן. לכן לא מקרה הוא שהחשמל זכה לטיפול מיוחד בחוק החשמל, התשי"ד—1954[1] (להלן — החוק), בעוד שמצרכים רבים וחשובים אחרים שאנו משתמשים בהם יום יום לא זכו להתייחסות דומה של המחוקק.

בענין ביצוע עבודות חשמל על ידי אדם חסר כישורים מתאימים לשון החוק ברורה, וקשה לחלוק על כך שהדבר אסור באיסור מוחלט. אך כמו במספר תחומים אחרים גם כאן לא תמיד קיים "מיתאם מלא" בין הוראות החוק ובין מה שקורה בשטח — והואיל ובתוך עמנו אנו יושבים, מן המפורסמות הוא שאנשים רבים החסרים כישורים של ממש לבצע עבודות חשמל מבצעים בפועל עבודות כאמור — ואין צריך להתאמץ הרבה כדי "לגלות" אדם שמעולם לא למד והתמחה בביצוע עבודות חשמל מחליף תקע של מכשיר חשמלי שהתקלקל או מתקן בית נורה שניזוק אגב שימוש. ביצוע עבודות בדרך המתוארת — וכן הפרת חובה של החוק או תקנות שהותקנו מכוחו על־ידי חשמלאי, מתכנן או מבצע של מתקן חשמלי יש לה תוצאות שעליהן נעמוד בהמשך.

החשמל כדבר מסוכן

באנגליה מקובל מזה שנים רבות כי החשמל הוא דבר מסוכן, וכתוצאה מכך קיימת חובה מוגברת על אלה המופקדים על הנושא — ובמקרה נשוא הדיון חשמלאי, מתכנן או מבצע של מיתקן חשמלי — לנהוג בזהירות ולמנוע נזקים כתוצאה מטיפול לא נכון במיתקן חשמלי. אחריות זו דומה לאחריות הקיימת לגבי גז, חומרי בעירה וחומרי נפט, אשר גם הם נחשבים כמסוכנים — ומחייבים טיפול זהיר במיוחד ואמצעי בטיחות מוגברים[2].

גם בישראל הלכו בתי המשפט בעקבות ההלכות האנגליות בקובעם כי, להבדיל מגורמים המסכנים חיי אדם, כאשר משתמשים בהם באופן רשלני, קיימים דברים המסוכנים לשכעצמם — ומהווים סכנה גם אם נוקטים באמצעי זהירות מעולים ביותר בעת השימוש בהם. על דברים אלה נמנים אש, חמרי נפץ, גז וחשמל[3]. כלומר חשמל משמש כאחת הדוגמאות לדברים שהם מסוכנים בעצם טבעם, והדורשים נקיטת אמצעי הגנה מעולים כדי למנוע מבני אדם לבוא עמם במגע.

דוגמא נוספת לדבר המסוכן מעצם טבעו יכול לשמש המקרה בו הונחו נפצים ללא שמירה מתאימה כשתוצאה ממשחק בהם נגרם נזק לילד. בית המשפט קבע בצורה חד־משמעית כי הנתבע שהזניח את נושא שמירת הנפצים אחראי לנזק, למרות שהניזוק או גורם נוסף תרמו חלקית באשמתם לתוצאה המזיקה — וזאת כל עוד לא נותק הקשר הסיבתי בין פעולתו או מחדלו של מי שהתרשל בשמירת הנפצים ובין התוצאה המזיקה[4]. ללמדך שעצם יצירת הסכנה כתוצאה מאי שמירה או טיפול לא נכון בחומרים מסוכנים, עשויה להעמיד כנגד האחראי המתרשל תביעה בנזיקין — וזאת על אף שהסתבר כי המתרשל אינו דווקא הגורם הבלעדי לנזק שנגרם. הדבר מרמז כמובן עד כמה התייחסו בתי המשפט בחומרה לנושא של "דברים מסוכנים", והדגישו את חובת הזהירות המוגברת הקשורה בהם. בהיות החשמל דבר מסוכן מעצם טבעו, אין להמנע ממסקנה שהאחריות של חשמלאי, מתכנן או מבצע של מיתקן חשמלי היא אחריות מוגברת — ואלה חייבים בזהירות ברמה גבוהה כלפי ניזוקים העשויים להפגע כתוצאה מכך שלא נהגו ברמת מיומנות מתקבלת על הדעת בהתחשב בנסיבות הענין. לאור אחריות מוגברת זו בנושא החשמל אנו חייבים לבחון גם את האחריות של חשמלאי, מתכנן או מבצע של מיתקן חשמלי.

חובות המוטלות על עוסק בעבודות חשמל

בחוק החשמל ובתקנות שהותקנו מכוחו הוטלו חובות רבות ומגוונות על חשמלאי, מתכנן או מבצע של מיתקן חשמלי. כך למשל נקבע בסעיף 4 לחוק, כי לאדם אסור להתקין מיתקן חשמלי או לעשות בו שינוי יסודי ללא היתר בכתב מטעם מנהל עניני החשמל — ובסעיף 6 לחוק נקבע כי לאדם אסור לעסוק בביצוע עבודות חשמל ללא רשיון של מנהל עניני החשמל. בתקנה 5 לתקנות החשמל (עבודה במיתקנים חשמליים חיים), התשכ"ז—1967[5] נקבע כי אסור לאדם לבצע עבודה במיתקן חי אלא אם הוא בעל רשיון לעסוק בביצוע עבודות חשמל מסוג חשמלאי מסוייג או חשמלאי מוסמך לפחות — והוא הוכשר לעסוק בעבודה בפיקוחו של בעל רשיון מסוג חשמלאי — מהנדס — ובתקנה 8 לאותן תקנות נקבע כי חובה המוטלת על פי התקנות יראו אותה כמוטלת

עו"ד ז. אפיק — היועץ המשפטי של משרד האנרגיה והתשתית

* מבוסס על דברים שנאמרו בזמנו ביום עיון "התקע המצדיע" בעל פה, שאורגן על ידי חברת החשמל לישראל, ופורסמו בעלון "התקע המצדיע" מס' 25 — אפריל 1981. עתה מפורסם המאמר שניתן בצורה מעודכנת.

על נותן ההוראה לביצוע עבודה במיתקן חי, על מבצע העבודה ועל בעל המיתקן. בתקנה 2 לתקנות החשמל (מעגלים סופיים הניזונים במתח נמוך), ה'תשמ"ה — 1984[6] נקבע כי לא יתקין אדם, לא ישנה ולא יבדוק מעגל סופי אלא אם הוא חשמלאי. בתקנה 3 (א) תקנות החשמל (התקנת גנרטורים למתח נמוך), התשמ"ז — 1987[7], נקבע כי לא יתכנן אדם, לא יתקין, לא יבדוק ולא יתקן מיתקן חשמלי, אלא אם כן הוא חשמלאי.

פועל יוצא מההוראות המאוזכרות הוא כי חשמל אינו דבר שכל דיכפין רשאי לעסוק בו על פי מיטב הבנתו וידיעתו, וכדי לזכות בתואר חשמלאי יש צורך בכישורים מיוחדים. ואמנם בתקנות החשמל (רשיונות), התשמ"ה — 1985[8] נקבע מה הכישורים הנדרשים מהסוגים השונים של חשמלאיים — ואיזה עבודות רשאי לבצע כל חשמלאי, מיותר להרחיב את הדיבור על כך שמי שמבצע עבודות חשמל ללא רשיון, או חשמלאי המבצע עבודות שאינן כלולות ברשיון שלו, אינם נוהגים כדין, על כל מה שמשתמע מכך.

בשנים האחרונות אנו עדים לתופעה של ריבוי חקיקת המשנה בנושא החשמל וכדוגמא ברצוני לאזכר את תקנות החשמל (הארקות יסוד), התשמ"א — 1981[9], אשר בהם נקבעו כללים מפורטים ביותר כיצד יש להתקין הארקת יסוד — וכן את תקנות החשמל (העמסה והגנה של מוליכים מבודדים פוליוויניל — כלוריד במתח עד 1000 וולט), התשמ"ב — 1982[10], בהם נקבע כיצד יש להתקין מוליך חי של חשמל — ומהן שיטות ההגנה שיש לנקוט במקרה כאמור. במסגרת זו אין בכוונתי להכנס לפירוש של ההוראות הטכניות באותן תקנות, ואסתפק בכך שבמקרים בהם מבוצעות עבודות חשמל שלא כמתחייב מהוראות התקנות נוטלים החשמלאי, המתכנן או המבצע של העבודות אחריות כבדה על עצמם — ולפעילותם עשויה להיות השלכה הן בתחום המשפט הפלילי והן בתחום המשפט האזרחי.

החוק והתקנות שהותקנו מכוחו באים להבטיח שטיפול בחשמל יעשה בצורה מבוקרת ועל פי כללים מוגדרים, כאשר המטרה להגן על צד תמים ולמנוע ממנו נזקים ופגיעות כתוצאה מטיפול לא מקצועי של חשמלאי, מתכנן או מבצע של עבודות חשמל. אולם אין להתעלם מכך כי גם החשמלאי, המתכנן או המבצע של עבודות חשמל עשויים להפגע כתוצאה מטיפול לא מקצועי בחשמל — וכדי להגן עליהם הציע לאחרונה משרד העבודה והרווחה להתקין תקנות לפי פקודת הבטיחות בעבודה התשמ"ו — 1986[11], בהן יקבע כיצד צריך לבצע עבודות חשמל בצורה בטוחה. לא יכולתי להתעלם מאספקט בטיחותי זה של הנושא, אך במסגרת זו לא אוכל לגלוש לדיון בענין האמור.

אחריות מכוח המשפט הפלילי

אדם חסר כישורים המבצע עבודות חשמל וכן חשמלאי, מתכנן או מבצע של מיתקן חשמלי שאינם ממלאים אחר הוראות החוק והתקנות שהותקנו מכוחו מעמיסים על עצמם אחריות מכוח המשפט הפלילי. בענין זה נקבע כי מי שעובר על הוראה מהוראות החוק דינו — מאסר שנה אחת או קנס בשיעור מתאים, או שני העונשין כאחד. לגבי הפרה של הוראה המעוגנת בתקנות, קיימת הוראה כללית בסעיף 16 לפקודת הפרשנות (נוסח חדש)[12], לפיה ניתן לקבוע בתקנות כי העובר על הוראה מהוראותיהן יהא צפוי למאסר או לקנס או לשני העונשים כאחד — ובלבד שתקופת המאסר לא תעלה על 6 חודשים.

על פי סעיף 61 לחוק העונשין, התשל"ז — 1977[13], רשאי בית המשפט במקרה שנקבע לעבירה עונש מאסר להטיל בנוסף לעונש האמור גם קנס כספי ההולם את תקופת המאסר, כאשר עדכון הקנס בהתחשב בשינויים שחלו במדד מאז שנקבע הקנס לאחרונה הם בסמכות שר המשפטים, מכוח הסמכות האמורה נהוג לעדכן את הקנסות כאמור מידי זמן כדי למנוע שחיקתם — ולהבטיח שגובה הקנסות יהיה ריאלי ומרתיע.

ניתנה האמת להאמר כי עד היום נעשה שימוש מועט בלבד במשפט הפלילי לצורך הבאת עבריינים על הוראות החוק והתקנות לפיו לדין. ולא רק זאת אלא שדווקא במקרים החמורים בהם קופחו חיי אדם כתוצאה מאי מילוי הוראות החוק והתקנות הובאו העבריינים לדין מכוח ההוראות הכלליות של החוק הפלילי העוסקות בהריגה — וזאת ללא התבַּסְסות על הוראות העונשין המיוחדות של החוק. כוונתי היא לשני מקרים אלה:

★ **ראשית** המקרה של חשמלאי בכיר אשר הועסק כמנהל המחלקה לעבודות חוץ בחברה גדולה בארץ, ואשר אמור היה לפקח על קבוצת עובדים שנשלחה לעבוד בתחנת טרנספורמציה המותקנת בשטחה של חברה תעשיתית בארץ. כתוצאה מאי ניתוק מלא של הטרנספורמטורים חדר זרם למקום שבו הועסקו הפועלים, ואחד מהם התפחם. בית המשפט קבע כי החשמלאי, שכאמור היה בעל נסיון עתיר, התייחס בפחות מדי זהירות לסכנה התמידית והאיומה שעשוי זרם החשמל לגרום, ועל יסוד קביעה זו הרשיעו בעבירה של גרימת מוות מתוך חוסר זהירות בניגוד לסעיף 218 לפקודת החוק הפלילי 1936 (סעיף 304 לחוק העונשין, התשל"ז — 1977). העונש שהוטל עליו היה קנס של — 5,000 ל"י או 5 חודשי מאסר תמורתם — וכן שנת מאסר אחת שהפעלתה הותנתה בכך שהחשמלאי לא יעבור תוך תקופה של שנתיים על עבירה דומה נוספת שבגינה הורשע בדין[14].

★ **ושנית** מקרה שנדון בשנת 1958, המתייחס לחשמלאי מנוסה שעסק מטעם חברה מסויימת בתיקון "אוטומט" של איוורור. לצורך ביצוע העבודה נעזר בחשמלאי עוזר אשר בעת ביצוע העבודה נגע ב"מפסק הזרם" שהיה מותקן בקופסת מתכת ליד האוטומט — וכתוצאה מכך התפחם העוזר ומת. גם כאן הובא החשמלאי לדין פלילי באשמה של גרימת מותו של אדם מתוך רשלנות על פי סעיף 218 לפקודת החוק הפלילי 1936 — ונידון ל-3 חודשי מאסר על תנאי — ולקנס בסכום 300 ל"י או חודש מאסר תמורתו[15].

העובדה שבמהלך השנים האחרונות הגיעו לבית המשפט רק תיקים מועטים המתייחסים לעבריינים על חוק החשמל — מאמתת את ההנחה כי השימוש

בדין פלילי לצורך הבטחת מילוי החובות המוטלות על החשמלאי, מתכנן או מבצע של מיתקן חשמלי על פי החוק הוא סלקטיבי ביותר — והדבר נעשה אך ורק במקרים קיצוניים וחריגים. כמובן שניתן להתווכח על כך אם טוב עושים הרשויות הממונות על החוק בהמעיטן בשימוש בהוראות העונשין של החוק; אולם במצב הקיים לא נראה לי כי צפוי שינוי מרחיק לכת במדיניות, זאת בעיקר מאחר והוראות עונשין מטרתן להרתיע, ואין כל כוונה ויכולת להביא את כל העבריינים על הוראות החוק לדין. בנושא האמור נצטרך כנראה להסתפק גם להבא בכך שקיים מכשיר הולם שבעזרתו ניתן להביא עבריינים על הוראות החוק לדין פלילי, אולם עושים בו שימוש רק במקרים חריגים וחמורים.

אחריות מכוח המשפט האזרחי

אמצעי לאכוף הוראות החוק קיים גם מכוח המשפט האזרחי. בענין זה יודגש כי האחריות של חשמלאי, מתכנן או מבצע של מיתקן חשמלי בתחום המשפט האזרחי מעוגנת בדיני הנזיקין — ואי מילוי החובה המוטלת עליהם עשויה להעמיד לניזוק עילה בגין רשלנות או הפרת חובה חקוקה.

• רשלנות

כבר קודם לכן נמצאנו למדים כי החשמל סווג כדבר המסוכן מעצם טבעו ולכן חייב החשמלאי, המתכנן או המבצע של מיתקן חשמלי לנהוג בזהירות סבירה בעת טיפלו במיתקן כאמור, ואי עמידה ברמת הזהירות הנדרשת מעמידה לניזוק עילה בנזיקין בהתבסס על העוולה של רשלנות[16]. בענין זה הלכה פסוקה ומקובלת כי התרשלות קיימת במקרה בו עשה אדם מעשה שאדם סביר ונבון לא היה עושה באותן נסיבות, או שלא עשה מעשה שאדם סביר ונבון היה עושה באותן נסיבות, או שבמשלח יד פלוני לא השתמש במיומנות או לא נקט מידת זהירות סבירה. בנושא הרשלנות קיימת פסיקה ענפה ביותר, אולם דבר אחד מקובל על כולם — והוא שזו "עוולת מסגרת" שניתן לכלול בה עולם ומלואו — ולכן אין אפשרות לקבוע מראש את היקף התחולה והאחריות שיוטלו על פי העוולה.

היסודות הדרושים כדי להעמיד תביעה על יסוד העוולה של רשלנות הן ראשית, קיום חובה על החשמלאי, מתכנן או מבצע של מיתקן חשמלי לנהוג זהירות ולמנוע נזק. שנית, הפרת אותה חובה על ידי חשמלאי, המתכנן או המבצע של מיתקן חשמלי. ושלישית, גרימת נזק כתוצאה מההפרה. לשון אחר, יסוד הכרחי של עוולת הרשלנות מצד החשמלאי, המתכנן או המבצע של מיתקן חשמלי הוא שקיימת חובת זהירות בינם ובין הניזוק — ובענין זה כבר נאמר כי הרשלנות היא "פונקציה" של חובת הזהירות — ואין רשלנות אלא אם כן הנפגע הוא "בעל חובה"; דהיינו, אדם אשר לו חב החשמלאי, המתכנן או המבצע של מיתקן חשמלי את חובת הזהירות.

התנהגות רשלנית של חשמלאי, מתכנן או מבצע של מיתקן חשמלי יכולה להיות הן תוצאה של מעשה (Act) והן תוצאה של מחדל (Omission), אם כי אין ספק בכך שהחובה לפעול כדי למנוע נזק מצומצמת לאין שיעור מהחובה להמנע מלהזיק. רשלנות קיימת איפוא גם במקרה בו לא נעשתה פעולה שהחשמלאי, מתכנן או מבצע של מיתקן חשמלי סבירים היו עושים כדי למנוע את הנזק — וגם כאשר היה כשלון שלהם לעשות פעולות הנחוצות כדי למנוע נזק. מה סביר לעשות בנסיבות הענין — ומה אינו סביר לעשות, היא שאלה הקשורה בנסיבות של כל מקרה ומקרה — ואין לקבוע בה מסמרות. על כל פנים שאלת הסבירות ושאלת הנוהג הן שתי שאלות נפרדות זו מזו — ודבר שהוא נהוג, נפוץ ומקובל אינו בהכרח גם סביר[17]. לכן בדרך כלל אין חשמלאי, מתכנן או מבצע של מיתקן חשמלי יכולים להשמע בטענה שהם נהגו בדרך שנוהגים אחרים, ואין לדרוש מהם יותר מאשר מקובל ורגיל אצל אחרים[18].

וכדי שהדברים לא ישארו תיאורטיים יתר על המידה ברצוני להדגיש כי במקרה בו חשמלאי, מתכנן או מבצע של מיתקן חשמלי משתמשים בצינור חשמל לשם העברת קו טלפון[19], או במקרה בו הם עושים שימוש לא נכון בחוטים מצבעים שונים למטרות שהחוטים אינם מיועדים להם, או במקרה בו הם מוסיפים קווים נוספים לצינורות המיועדים למעגל סגור — הם חושפים את עצמם לסיכון שבמקרה של אירוע נזקי יקבע בית המשפט כי הם התרשלו — ולא נהגו כפי שחשמלאי סביר היה נוהג בנסיבות הענין.

בענין זה אין לשכוח כי בהיות החשמל דבר מסוכן, חלה אחריות מוגברת על החשמלאי, המתכנן או המבצע של מיתקן חשמלי וכך יתייחס גם בית המשפט לענין. בהתאם לעקרון האמור בחן בית המשפט מקרה של אדם שנפל מסולם לאחר שקיבל מכת חשמל בעת שנגע בחלק בלתי מבודד של חוט חשמל אשר חברת החשמל והשירות הציבורי לירושלים בע"מ התקינו על קיר הבית שבו התגורר המנוח — וקביעתו החד־משמעית שבמקרה של תאונת חשמל ההנחה היא שעדות המצביעה על רשלנות קיימת שעה שהמסקנה העולה מהעדויות מתיישבת יותר עם קיומה של רשלנות מצד הנתבע מאשר עם העדר רשלנות[20].

• הפרת חובה חקוקה

אי מילוי הוראות החוק או התקנות על ידי חשמלאי, מתכנן או מבצע של מיתקן חשמלי יכול ותעמיד לניזוק עילה בנזיקין בגין הפרת חובה חקוקה[21]. האלמנטים לביסוס העוולה של הפרת חובה חקוקה הם ראשית, קיום חובה המוטלת על פי חיקוק לטובת הניזוק. שנית, הפרת אותה חובה. שלישית, גרימת נזק. רביעית, שהחיקוק שהופר — ובמקרה נשוא הדיון הוראות החוק והתקנות שהותקנו לפיו — נועד להגנתו של התובע שניזוק. חמישית, שהנזק שנגרם הוא נזק מאותו סוג שהמחוקק התכוון למנוע בחיקוק שהופר. ושישית, שהחיקוק שהופר אינו מעניק בעצמו תרופה במקרה של הפרה[22].

גם העוולה של הפרת חובה חקוקה חלה על כל מקרה שבו נמצאים אנשים ביחסי קירבה או שכנות מספיקים כדי לחייב את האחד לנהוג בזהירות סבירה כלפי רעהו, על מנת שלא לגרום לו נזק במהלך הרגיל של הענינים. גורם נוסף שאותו חייב הניזוק

להוכיח הוא שהחיקוק שהופר, ובמקרה נשוא הדיון החוק או התקנות שהותקנו על פיו, נועדו להגנתו של הניזוק — והנזק שנגרם הוא מאותו סוג שהמחוקק התכוון למנוע בחיקוק שהופר. הוכחה כגון זו קשורה בפרשנות של החיקוק שהופר — אולם בענין זה נתנו בתי המשפט פירוש "גמיש" לחיקוקים שונים — ובהיות העוולה של הפרת חובה חקוקה עוולת מסגרת גמישה היא ניתנת להחלה גם על חיקוקים נוספים שיופרו, זאת בהתחשב בנסיבות של כל מקרה ומקרה.

בישראל קיבלה העוולה של הפרת חובה חקוקה מימד חדש ודחיפה מירבית בהקשר לנושא ההגנה על מועסקים שנפגעו במהלך העבודה כתוצאה מאי מילוי הוראות הבטיחות על ידי המעביד, וכן במקרים של הפרת תקנות התעבורה שכתוצאה מהן נפגע אדם. בתחומים אחרים קמצו בתי המשפט את ידם — ונמנעו מלהרחיב את העוולה, על אף שבארצות אחרות הורחבה תחולת העוולה[23]. אולם בהיות העוולה של הפרת חובה עוולת מסגרת גמישה הניתנת להרחבה, ניתן בהחלט לצפות שבתי המשפט ימצאו בעתיד לנכון להחיל את העוולה גם על מקרים בהם ניזוק אדם כתוצאה מאי מילוי הוראות החוק או התקנות שהותקנו על פיו על ידי חשמלאי, מתכנן או מבצע של מיתקן כאשר הם אינם ממלאים אחר הוראות החוק והתקנות שהותקנו לפיו ככתבן וכלשונן.

הפרת חובה חקוקה כיוצרת חזקת רשלנות

לעיתים יוצרת הפרת חובה חקוקה "חזקת רשלנות". ההגיון העומד מאחורי תיאוריה זו הוא שהמחוקק דיבר בלשון בני־אדם — ואם המזיק — ובמקרה שלנו החשמלאי, המתכנן או המבצע של מיתקן חשמלי, לא מילאו אחר החובה שהוטלה עליהם בחיקוק שהופר, יש להניח שהם לא נהגו כפי שאדם סביר היה נוהג בנסיבות הענין — והדבר יוצר חזקה שהם התרשלו במילוי חובתם. כלומר ההפרה של החיקוק מתפרשת כראיה לכאורה שלא נהגו בדרך סבירה.

"חזקת הרשלנות" כאמור הופעלה במקרים מסויימים[24] — ולא מן הנמנע כי בעתיד תוחל חזקה דומה גם על חשמלאי, מתכנן או מבצע של מיתקן חשמלי, שלא מילאו אחר דרישות החוק או התקנות שהותקנו על פיו. במקרה בו מוצא בית המשפט לנכון להפעיל את "חזקת הרשלנות" מקל הדבר על נטל ההוכחה הרובץ על התובע "הניזוק" — והנתבע "המזיק" הוא שחייב להוכיח כי לא התרשל במילוי הוראות החיקוק שלגביו טוענים כי הופר. מובן שזהו יתרון שאין לזלזל בו — וגם הוא מדגיש את החשיבות שבה ראו בתי המשפט בהקפדה על מילוי חובות המוטלות בחיקוקים השונים — ובכלל זה החוק והתקנות שהותקנו לפיו.

צירוף עוולת הרשלנות והעוולה של הפרת חובה חקוקה כעילות תביעה חלופיות

לאחרונה גובר השימוש בפרקטיקה של צירוף עוולת הרשלנות והעוולה של הפרת חובה חקוקה כעילות תביעה חילופיות, במקרה בו נגרם נזק אשר ניתן לשייך אותו הן לעוולת הרשלנות והן לעוולה של הפרת חובה חקוקה. יתכן והדבר של צירוף העוולות כעילות תביעה חילופיות נובע בין היתר מכך שלעיתים אין זה קל להוכיח שנזק מסויים הוא תוצאה של רשלנות או של הפרת חובה חקוקה — והתובע הניזוק מעדיף לצרף את העוולות על מנת שבית המשפט יקבע לאחר שמיעת הראיות לפי איזה עוולה זכאי התובע לסעד. מכל מקום אין ספק בכך שהחלת פרקטיקה זו של צירוף עוולת הרשלנות והעוולה של הפרת חובה חקוקה בתביעות הנובעות "מנזקי חשמל", תוצאתה תהיה הגברת היקף החבות האזרחית של חשמלאי, מתכנן או מבצע של מיתקן חשמל.

האזחריות של חברת החשמל לגבי מעשים או מחדלים מצד החשמלי, מתכנן או מבצע של מיתקן חשמלי

בסעיפים 1 ו־6 לכללים לאספקת חשמל של חברת החשמל לישראל בע"מ שהותקנו מכוח סעיף 25 של התוספת לפקודת זכיונות החשמל[25], נקבעו הוראות לענין בדיקת מתקני חשמל על ידי החברה. בסעיף 1 לכללים נקבע כי אספקת חשמל על ידי החברה תינתן לאחר שהמיתקן נבדק על ידי החברה או על ידי בעל רשיון על פי החוק שהורשה לכך על ידי החברה — ובסעיף 6 לכללים נקבע כי על הצרכנים של החברה לשמור ולקיים את הוראות החוק והתקנות על פיו — וכי החברה רשאית לבדוק את המיתקנים של הצרכן בין לפני אספקת החשמל ובין לאחר מכן. עבור בדיקה כאמור גובה חברת החשמל אגרה, אולם בכללים נקבע במפורש כי אין החברה מקבלת על עצמה אחריות כלשהי לגבי טיבו ובטיחותו של מיתקן שנבדק או לגבי נזק שנגרם כתוצאה מליקוי במיתקן או מאופן השימוש בו או עקב שימוש בלתי נכון בו.

יתכן ומכוח ההוראות המאוזכרות ניתן לטעון כי במקרה בו חשמלאי, מתכנן או מבצע של מיתקן חשמלי לא עמדו בחובות המוטלות עליהם על פי החוק והתקנות שהותקנו לפיו — וכתוצאה מכך נגרם נזק, אחראית גם חברת החשמל לישראל באחריות שילוחית למעשים הנזקיים, משום שלא בדקה כראוי את המיתקן או לא איתרה בעוד מועד את הפגם — וסיפקה חשמל אליו על אף מצבו הבטיחותי הלא תקין. נושא זה אינו נקי מספקות, אולם דעתי היא שאין הבדיקה הנערכת על ידי חברת החשמל על פי הכללים מעבירה את האחריות לפגמים וליקויים במיתקן לחברה — הואיל והחברה אינה בודקת בדיקה מלאה את המיתקן בטרם חיבורו לרשת — ולכן מובן שבבדיקה זו היא תתקשה לאתר פגמים נסתרים במערכת. זו גם הסיבה שנקבע בכללים לאספקת חשמל של חברת החשמל שהיא משוחררת מאחריות לנזקים מפגמים או ליקויים במיתקנים שנבדקו על ידה.

בנוסף לכך אין להתעלם מכך שהאחריות הראשונית והעיקרית בנושא מוטלת על פי החוק והתקנות שהותקנו לפיו על החשמלאי, המתכנן או המבצע של מיתקן חשמלי, וזו אינה מועברת לחברת החשמל לישראל רק בשל בדיקה שנערכה על ידה.

בענין נשוא הדיון לא הוגשה נגד חברת החשמל תביעה כלשהי, אולם הדעת נותנת שעילה בענין האמור קיימת רק במקרה הקיצוני בו הפגם במיתקן שגרם את הנזק היה גלוי עד כדי כך כי חיבור המיתקן לרשת החשמל או אי ניתוקו מרשת החשמל מהווים רשלנות ברורה מצד חברת החשמל, לעומת זאת, במקרים בהם הפגם נסתר, קשה לבוא בטענות אל חברת החשמל, הואיל והבדיקה הנערכת על ידה אינה מאפשרת מעצם טבעה, לגלות פגמים נסתרים — וממילא אין הגיון לגלגל עליה אחריות לפגמים כאמור שאותם לא הייתה מסוגלת לגלות בבדיקה סבירה. ימים יגידו כיצד יתייחסו בתי המשפט לסוגיה המאוזכרת, אולם בשלב זה קשה להציע לחשמלאי, מתכנן או מבצע של מיתקן חשמלי לסמוך על הבדיקה של חברת החשמל, מאחר ולכל הדעות האחריות הראשונית והעיקרית בנושא היא עליו.

סוף דבר

האחריות המשפטית המוטלת על חשמלאי, מתכנן או מבצע של מיתקן חשמלי היא חמורה — ובמקרה בו אלה אינם ממלאים חובתם, ניתן לפעול כנגדם הן במישור הפלילי והן במישור האזרחי. ההבדל העיקרי בין האחריות במישור האזרחי הוא בכך שבמקרה הראשון ניתן לפעול כנגד החשמלאי, מתכנן או מבצע של מתקן חשמלי גם בלא שנגרם נזק כתוצאה מאי מילוי הוראות החוק או התקנות שהותקנו מכוחו, בעוד שבמקרה השני תנאי מוקדם לתחולת האחריות הוא ארוע הנזק. יחד עם זאת ראוי להדגיש כי פעולה באחד המישורים אינה פוטרת את החשמלאי, המתכנן או המבצע של מיתקן חשמלי מאחריות במישור האחר.

במהלך הדברים שמתי דגש על האחריות בתחום המשפטי האזרחי, הואיל ואינני מאמין כי המערכת הפלילית מסוגלת לפעול כנגד כל אדם המבצע עבודות חשמל ללא רשיון, או בצורה שאינה תואמת את הרשיון שניתן לו, או את ההוראות שנקבעו בחוק ובתקנות שהותקנו לפיו. אולם אדם כגון זה חייב להיות מודע לכך שהאחריות האזרחית המוטלת עליו היא חמורה, ובמקרה שבו ינזק מישהו כתוצאה ממעשיו או צורת עבודתו הוא יהא חשוף לתביעות אזרחיות מצד הניזוקים; כל זאת בנוסף להיות חשוף לסיכון שיוגש נגדו אישום פלילי בשל הפרת הוראות החוק או תקנות שהותקנו מכוחו.

ואסיים בכך שלמרות האחריות המוטלת על חשמלאי, מתכנן או מבצע של מיתקן חשמלי אין הדבר כרוך במטלות שהוא אינו מסוגל לעמוד בהן, בתנאי שיפעל בצורה נבונה מתוכננת, מבוקרת ומפוקחת — ואם כך יעשה יווכח לדעת כי הוא מסוגל למלא אחר דרישות החוק והתקנות שהותקנו מכוחו.

מובאות

1. ס"ח 164, התשי"ד, עמ' 190; ספר חוקים 232, התשי"ז, עמ' 140.
2. צ'ארלסוורט — על הרשלנות (מהדורה שישית), סעיפים 556 — 569.
3. ע"א 225/53, קורנשטיין נגד חברת החשמל והשרות הציבורי לירושלים בע"מ, פס"ד ט' (3) עמ' 1816, 1819.
4. ע"א 333/56, סולל בונה בע"מ נגד מאיר נדיה ודוד בן יחזקאל, פס"ד י"ב (1), עמ' 619.
5. ק"ת 1949, התשכ"ז, עמ' 266; ק"ח 3410, התשל"ו, עמ' 198.
6. ק"ת 4731, התשמ"ה, עמ' 351.
7. ק"ת 5000, התשמ"ז, עמ' 345.
8. ק"ח 4778, התשמ"ה, עמ' 878.
9. ק"ת 4271, התשמ"א, עמ' 1504.
10. ק"ת 4350, התשמ"ב, עמ' 982.
11. דיני מדינת ישראל, נוסח חדש מס' 16, התש"ל, עמ' 337, ק"ת 4940, התשמ"ו.
12. דיני מדינת ישראל, נוסח חדש מס' 1, התשי"ד, עמ' 2.
13. ס"ח 864, התשל"ז, עמ' 224; ס"ח 1119, התשמ"ד, עמ' 156.
14. ע"פ 876/76, שלמה וינגרטן נגד מדינת ישראל, פס"ד ל"ב (2), עמ' 36.
15. ע"פ 59/58, משה אדלר נ' היועץ המשפטי לממשלה, פס"ד י"ב (3), עמ' 1993.
16. סעיפים 35 — 36 לפקודת הנזיקין (נוסח חדש).
17. ע"א 363/59, גשר הזיו נ' אסתר פיבוש, פס"ד ט"ו (1), עמ' 469.
18. המרצה 119/62, ארמנדו נסים נ' ירדניה חברה לביטוח ואח', פס"ד י"ז (1), עמ' 683.
19. כגון המקרה שהוצג בזמנו בתכנית "כלבוטק" בטלויזיה, בו הועברו קווים של אינטרקום בתוך צינורות חשמל — וכתוצאה ממגע בין חוטי החשמל וטלפון ניזוק אדם שהשתמש במערכת האינטרקום.
20. ע"א 225/53, קורנשטיין נ' חברת החשמל והשירות הציבורי לירושלים בע"מ, פס"ד ט (3), עמ' 1816.
21. סעיף 63 לפקודת הנזקין (נוסח חדש).
22. בענין נשוא הדיון אין חולק על כך שהוראות החוק והתקנות שהותקנו לפיו אינן מעניקות תרופה אזרחית במקרה של הפרת התחייבויות על ידי חשמלאי, מתכנן או מבצע של מיתקן חשמלי.
23. למשל בארצות הברית נפסק כי יצרן אחראי לנזקים שנגרמו כתוצאה מאספקת מזון פגום בעוולה של הפרת חובת תקוקה.
24. כגון המקרה בו נהג המזיק במהירות בשטח בנוי, או סטה מהכביש ללא סיבה מספקת וגרם נזק.
25. י"פ, 2552, התשל"ט, עמ' 1888.

הזנת מיתקן ארעי מגנרטור נייד בתנאי הארקה קשים

אינג' אורי כהן

בתקנות החדשות בדבר השימוש בגנרטורים, שפורסמו ב־26.1.1987 (קובץ התקנות 5000) "מסתתרת" תקנה חשובה (15), המגדירה את אמצעי ההגנה למיתקנים בהם לא ניתן להשיג התנגדות נמוכה בין אלקטרודת ההארקה לבין המסה הכללית של האדמה כנדרש לגבי הארקת שיטה.

במקרים, בהם התנגדות זו גדולה מהמותר, תיווצר סכנה מוגברת לאדם העומד על הקרקע ונוגע במיתקן. לתקנה זו, הדנה בזינת מיתקן ארעי באספקה עצמאית[1] מגנרטור נייד, משמעות רבה לגבי כל מיתקן הפועל בתנאי הארקה קשים.

בהמשך תוצג חשיבות שיטת הזינה הבלתי מוארקת הנזכרת בתקנה 15. נעמוד על יתרונותיה, חסרונותיה, התנאים להפעלתה ונוחות יישומה.

הנטיה הטבעית היא להשתמש גם במיתקנים אלו בזינה מאורקת. למקרה זה מוגדרים בתקנות[2] חוק החשמל שני סוגי הארקות — **הארקת שיטה** (תקנת 22) **והארקת הגנה** (תקנה 60). ההתנגדות המירבית בין אלקטרודת ההארקה למסה הכללית של האדמה, הנדרשת משתי הארקות אלו, אסור שתעלה על 5Ω!! בזינה בלתי מוארקת — לעומת זאת — אין להתנגדות אלקטרודת ההארקה משמעות גדולה, מאחר ולזרם אין מעגל סגור לזרום דרכו במקרה של תקלה ראשונה. כל שעלינו להבטיח הוא שלא יווצר מתח המסוכן לחיי אדם (50V או יותר) בין גופי המתכת הנגישים לבין האדמה. בהמשך נראה שבזינה בלתי מוארקת לא יווצר מתח מסוכן גם כשהתנגדות אלקטרודת ההארקה למסה הכללית של האדמה מגיעה אפילו לכ־1000Ω — ובהרבה מיקרים אף ליותר מכך.

המתקנים שבהם קשה להשיג הארקה נאותה

ראשית כדאי שנגדיר לעצמנו שהמיתקנים בהם מדובר הם אלה שבהם קשה להשיג הארקה נאותה כגון:

א. מיתקנים ארעיים, המותקנים לתקופה בינונית או ארוכה, כגון אתרי בניה, מנופים, מגדלי קידוח, מחנות צבא ועבודה, התנחלויות ודומיהם — במיוחד בתקופה ההתחלתית שלהם.

ב. מיתקנים ארעיים, המותקנים לזמן קצר יחסית, כגון: התרפסות מהירה של יחידה צבאית, מיתקני חציבה ומסועים, תאורת חרום לשרותי ההצלה וכו'.

ג. מיתקנים ניידים, המופעלים תוך כדי תנועה מעל כלי רכב או ספינות.

ד. מיתקנים קבועים, הממוקמים באזורים צחיחים או סלעיים במיוחד בהם התקנת אלקטרודת הארקה בעלת התנגדות נמוכה, קשה במיוחד.

ציוד המסווג בקבוצה ב' והמועבר בתכיפות מקום למקום מותקן,בדרך כלל, בחופזה. מעשית לא ניתן להתקין, במקרים כאלה, אלקטרודה נאותה במסגרת הזמן המהיר הנדרש להפעלת המיתקן.

הבעיות המקשות על ביצועה של הארקה טובה ואמינה

— הצורך בהחדרת האלקטרודה לעומק של מטרים רבים.
— הזמן הרב הנדרש להחדרת האלקטרודה לאדמה.
— החדרה לעומק מחייבת שימוש במיכשור מיוחד.
— ההתנגדות אינה קבועה (משתנה כל הזמן).
— כמעט שלא ניתן לוודא בכל עת את ערכה האמיתי של ההתנגדות.
— קיימים קשיים בהוצאת האלקטרודה שהוחדרה לעומק רב לאדמה, מעשית, אין אפשרות לשליפה ושימוש מחודש באלקטרודה ויש להפקירה לחלוטין (Total Loss).

גם כשאלקטרודת ההארקה מתוכננת באופן המבטיח התנגדות נמוכה דיה, לא נוכל להיות בטוחים שבלחץ התנאים והנסיבות בוצעה ההתקנה כמתוכנן.

ההתנגדות של אלקטרודת ההארקה

מרבית אמצעי הבטיחות וההגנה למיתקנים חשמליים המופעלים בזינה מוארקת, מתבססים על ההתנגדות הנמוכה של אלקטרודת ההארקה. בתנאי הארץ מהווים תנאי הקרקע והאקלים מיכשול רציני בנסיון להשגת התנגדות הארקה נמוכה. העובדה, שההתנגדות הסגולית בחצי המטר העליון במעטפת האדמה גבוהה ביותר, מקשה על המצב עוד יותר. החדרת מוט ההארקה לעומק הקטן משני מטרים היא בניגוד לתקנות, ואף עומק זה, אינו מבטיח, במרבית אזורי הארץ, התנגדות נמוכה מכמה מאות אוהם. מוט ההארקה, המוחדר "לעומק סימלי", זה משמש לכל היותר כ"הארקת המַצְפּוּן".

מאחר "ובתוך עמנו אנו חיים", מוכרים לכולנו תנאי העבודה והתיפעול של ציוד מסוג זה, אני בטוח שהקוראים יצטרפו לדעתי, שועדת ההוראות ראויה

1. אספקה עצמאית מוגדרת כאספקה מגנרטור למיתקן שאין לו כל קשר חשמלי לרשת של חברת החשמל.
2. קובץ תקנות החשמל 4643 (הארקות ושיטות הגנה בפני חישמול במתח עד 1000v וולט), התשמ"ד — 1984.

אינג' א. כהן — מהנדס יועץ

למלוא המחמאות על הכנת תקנות אלו, ובמיוחד על הפתרון האלגנטי שניתן לבעיה, שכה רבים התלבטו בה.

התנגדות זו שאנו דנים בה תלויה בגורמים רבים[3] — חלקם בלתי יציבים — ואינה מהווה ערך קבוע כלל ועיקר. כולנו יודעים, שההתנגדות משתנה באופן קיצוני בין החורף לקיץ, אך זו עלולה להשתנות גם באופן משמעותי תוך ימים, ולעתים אף בין היום ללילה. יתרה מכך, מדידת התנגדות המעבר לאדמה מחייבת שיטות מדידה מורכבות, ציוד מיוחד ומיומנות רבה.

במיתקנים ארעיים או ניידים, שבהם אין מודדים את התנגדות ההארקה, קיים ספק באם האלקטרודה בכלל עונה לדרישות. לעומת זאת, חשיבותה של ההזנה הבלתי מוארקת, נעוצה בעובדה שההגנה שהיא מקנה אינה קשורה לנאותות ההארקה.

השוואת הסכנות למשתמש במתקן המוגן בהארקת שיטה ובין מתקן המוגן בשיטה בלתי מוארקת

על מנת להמחיש את ההבדל בסכנות הטמונות לחיי המשתמש במיתקן, המוגן בהארקת שיטה (עם או בלי מפסק מגן המופעל בזרם דלף) ושהתנגדות אלקטרודת ההארקה בו עולה על הנדרש בתקנות, לבין אלו הקיימות במיתקן המוזן בשיטה בלתי מוארקת באותם תנאים — ננתח תקלה אופיינית. בדוגמא נתייחס לגנרטור תלת־מופעי, המזין באספקה עצמאית מתקן, שכל גופי המתכת שבו מחוברים למוליך הגנה. מוליך זה מוארק באמצעות אלקטרודה, שהתנגדותה כלפי האדמה תהיה, נאמר, כמה עשרות אוהם. **התקלה:** קצר בעל התנגדות מסויימת בין מוליך "חי" לבין האדמה. תנאי תקלה אלו שכיחים למדי ומתקיימים כאשר:

— כבל הפרוס בשטח נמחץ ובידודו נפגע.
— למיתקן מחובר מכשיר פגום שבו נגרם קצר לגוף המתכתי שלו והגוף מחובר לאדמה.
— קצר לגוף, בתוך קרון, המוארק באלקטרודה נפרדת, כאשר במוליך ההארקה, המקשר בינו ובין הגנרטור, קיים נתק. (רק במיתקנים מיוחדים קיים ציוד מיוחד הבודק כל הזמן את רציפותו של מוליך ההגנה).

נשווה איפוא, את הסכנות במקרים של תקלות כנ"ל בשיטות התקנה שונות:

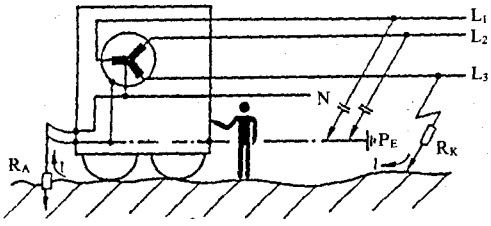
1. בהזנה מוארקת

א. הגנה על ידי הארקה ללא מפסק מגן המופעל בזרם דלף

בשיטה זו מחוברת נקודת הכוכב למוליך ההארקה.

הזרם שיזרום במקרה זה דרך אלקטרודת ההארקה לא יהיה בעל עוצמה מספקת כדי להפעיל את אמצעי ההגנה. המתח שיתפתח על מוט ההארקה שווה למתח שיתפתח בין גוף הגנרטור לבין האדמה, ויהיה, במקרה זה, המתח המופעי המלא של הגנרטור (230V). מעשית יתהווה המתח המלא הזה בכל התנגדות של אלקטרודת ההארקה, כך שאדם הבא לטפל בגנרטור ונוגע בו ייפגע ללא ספק. משום כך נקבע בתקנות, שהתנגדות אלקטרודת ההארקה, המשמשת כהארקת שיטה, הגנה או איפוס, תהיה נמוכה עד כדי כך שתבטיח את הפעלתם של אמצעי ההגנה, בעוד מועד, ואת הפסקת הזינה, בזמן.

איור 1
הזנה מוארקת — מחייבת התנגדות של עד 5Ω בין אלקטרודת ההארקה לבין האדמה.



ב. הגנה על ידי הארקת שיטה עם מפסק מגן המופעל בזרם דלף

מפסק מגן המופעל בזרם דלף, הינו כידוע אמצעי הגנה בעל רגישות גבוהה יחסית. בשל רגישות גבוהה זו משופרת ללא ספק בטיחותו של המיתקן. זאת בתנאי שהתנגדות אלקטרודת ההארקה תהיה נמוכה דיה כדי שתאפשר את הפעלתו במקרה של תקלה.

המיגבלה הגדולה של מפסקי המגן המופעלים בזרם דלף נובעת לעיתים מתגובתם המהירה מדי. בשל רגישות יתר מופסק המיתקן, לעיתים, ללא הצדקה, אם כתוצאה מתופעות־מעבר קצרות או מסיבות אחרות שאינן נובעות מזליגה, כגון:

(1) זעזועים מכניים.
(2) ברקים והפרעות אלקטרומגנטיות.
(3) הפעלת מיכשור הכולל קבלי סינון.
(4) גלים עליונים.

הפסקות סרק אלו, אינן מאפשרות במקרים רבים לעבוד בצורה סדירה, וגורמות לכך שבמיתקנים רבים מגושר מפסק המגן המופעל בזרם דלף והמיתקן נשאר למעשה ללא כל הגנה. ועדת ההוראות שהיתה ערה לבעיה, דרשה שמפסק ההגנה המשמש כהגנה בלעדית במיתקן ארעי, או כשההתנגדות הארקת היסוד אינה עומדת בדרישות לגבי הארקת הגנה יפעל בזרם שאינו קטן מ־300mA! (תקנה 64 בתקנות ההארקה)[2].

בתקנה 70 באותן תקנות מוגדרת ההתנגדות המירבית, שבין אלקטרודת ההארקה של המיתקן ובין המסה הכללית של האדמה, המותרת בתנאים אלו בהתאם לנוסחה (1).

(1)

$$R\ (\text{אוהם}) = \frac{50\ \text{וולט}}{\text{זרם ההפעלה הנקוב של מפסק המגן (אמפרים)}}$$

3. ראה מאמרו של אינג' **א.י. איציקוביץ** — "הארקה באמצעות מערכת אלקטרודות לאדמה" — "התקע המצדיעי" מס' 31 — מרץ 1984.

כשנציב את הערכים שבנוסחה (1) נקבל: שעבור מפסק מגן המופעל בזרם דלף בעל זרם הפעלה נקוב של 0.3 אמפר — אסור שההתנגדות המירבית של האלקטרודה תעלה על 165 Ω. התנגדות זו קשה להשגה ברוב חלקי הארץ גם — כשמוט האלקטרודה מוחדר לעומק העולה על 2 מטר (העומק המינימלי הנדרש בתקנות[2], בסעיף 19).

מיגבלה נוספת הקיימת לגבי יעילותם של מפסקי המגן המופעלים בזרם דלף נובעת ממקום התקנתם:

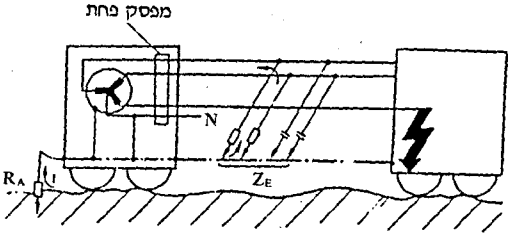
— מפסקים כאלו, המותקנים על הגנרטור נתונים לרעידות חזקות ואמינותם נפגמת בשל כך במשך הזמן, הואיל ופעולתם מבוססת בדרך כלל על מנגנון מיכני אשר עלול להפגם.

במקרים רבים אחרים עלול להיווצר מצב, שזרם הדלף הזורם דרך הפגם יהיה גבוה מזרם ההפעלה הנקוב של מפסק המגן המופעל בזרם דלף. תופעה זו נגרמת כשזרם התקלה מתקזז בחלקו על ידי דליפות במופעים האחרים — "התקינים" (ראה איור 2).

— מאידך, אם יותקן מפסק המגן המופעל בזרם דלף בכניסה למיתקן הצריכה, הרי לא תהיה הגנה בפני תקלה בגנרטור או בכבלי הזינה.

איור 2

הזנה מוארקת עם מפסק מגן המופעל בזרם דלף — מוט ההארקה חייב להיות בעומק של 2 מ' לפחות והתנגדותו כלפי האדמה קטנה מ־150Ω, ההגנה מוגבלת — הניתוק מיידי.

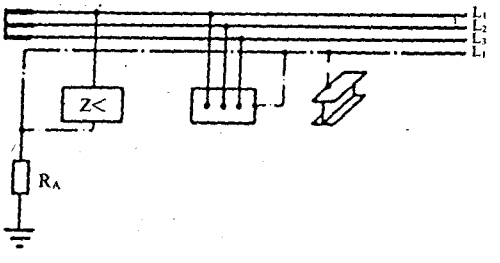


2. שיטת הזנה בלתי מוארקת

שיטת הזינה הבלתי מוארקת[4] קרויה גם "זינה מבודדת" או "זינה צפה", ובתקנים הזרים היא נקראת: "זינה בשיטת IT". בשיטה זו אין גישור בין הרשת (המופעים או האפס) לבין ההארקה. (ראה איור 3).

איור 3

תרשים עקרוני של רשת בלתי מוארקת (IT)



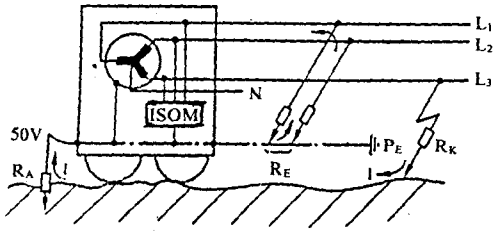
ההגנה בשיטה זו מבוססת על העובדה, שבתקלה ראשונה בבידוד כלפי הגוף (ההארקה) לא נסגר מעגל, ולכן לא זורם זרם. במצב זה אין סכנה לחיי אדם ואין חובה לנתק את המעגל, אך על המפעיל לדעת שנוצר מצב תקלה ושיש לתקנו בהקדם.

השיטה מבוססת על כך, שהתנגדות הבידוד בין המיתקן החשמלי ובין הארקת ההגנה תהיה תקינה, שאם לא כן תיהפך הזינה למוארקת, עם כל החסרונות והסכנות שמנינו לעיל. משום כך, מותנה, בתקנות הארקות[2] השימוש בהזנה בלתי מוארקת, בקיומו של **משגוח (Monitor)** שישגיח ברציפות על רמת הבידוד במיתקן (Isometer)[5], ויתריע כאשר התנגדות הבידוד יורדת מתחת לרמה המותרת. התנגדות זו היא ההתנגדות השקולה של מקור האספקה, של מיתקן החלוקה ושל המכשירים המוזנים ממנו. משנתקבלה התראה על מצב בידוד לקוי יש, כמובן, לתקנו בהקדם.

נחזור עתה לדוגמה ולתקלה שניתחנו לעיל: ברצוננו להראות, עד לאיזה ערכים יכולה ההתנגדות, שבין אלקטרודת ההארקה ובין האדמה, לעלות מבלי שיווצר מתח הגבוה מ־50V, העלול לסכן אדם העומד על הקרקע ונוגע בגנרטור. תנאי זה דומה לתנאי הנדרש ממפסק המגן המופעל בזרם דלף. (ראה איור 4).

איור 4

הזנה בלתי מוארקת — מותר לוותר בכלל על האלקטרודה. גם כשהתנגדותה גבוהה לא יווצר מתח מסוכן. בהגנה מלאה — אין חובת ניתוק או הדממה.



בזינה בלתי מוארקת, כשנוצר קצר בין מוליך "חי" לאדמה, יכול לזרום דרך האלקטרודה זרם, רק במידה וקיימות במיתקן דליפות נוספות.

את הזרם שיזרום בתקלה כזו דרך אלקטרודה שהתנגדותה R_A, ניתן להגדיר בעזרת הנוסחאות:

$$I_A \leq \frac{50V}{R_A} = \frac{\text{מתקן מסוכן על האלקטרודה}}{\text{התנגדות האלקטרודה}} \qquad (2)$$

4. ראה הסברים לשיטה גם במאמריו של אינג' נ. פלג ב"התקע המצדיע" מס' 30 — דצמבר 1983, ובחוברת 35 נובמבר 1985, וכן במאמר "הרשת המבודדת — יתרונות ויישום" מפרי עטו של המחבר ב"התקע המצדיע" מס' 31 — מרץ 1984.
5. ISOMETER — הוא קיצור של ISOLATION METER (מד רמת־בידוד).

$$I_A = \frac{\text{מתח בין מופעי}}{R_A+R_E+R_K} \qquad (3)$$

כאשר:

R_E = ההתנגדות השקולה של הדליפות הנוספות, שבין שאר המופעים — "התקינים" — לבין מוליך ההגנה.

R_A = התנגדות המעבר שבין האלקטרודה למסה הכללית של האדמה.

R_K = התנגדות הפגם שבין מוליך "חי" לאדמה.

כשלוקחים בחשבון את המקרה הגרוע ביותר, שבו $R_K=0$ זאת אומרת קצר מלא, ומציבים נוסחה (2) בנוסחה (3) מתקבל התנאי:

$$\frac{R_E}{R_A} \geqslant \frac{\text{מתח בין מופעי} - \text{מתח מסוכן}}{\text{מתח מסוכן}} \qquad (4)$$

זהו היחס בין ההתנגדות המירבית של האלקטרודה לבין סף ההתראה, בהנחה שהמתקן היה תקין לפני היווצרות הקצר לאדמה, זאת אומרת שהתנגדות הבידוד השקולה נשמרת מעל סף ההתראה R_E.

עבור מתח רשת בין מופעי של 400V ובשינוי צורה תראה הנוסחה כך:

$$R_A \leqslant \frac{RE}{7} \qquad (5)$$

אם נציב בנוסחה (5) את הערך הנמוך ביותר של סף ההתראה, המותר על פי התקנות החדשות[1] (22kΩ), נמצא שהתנגדות האלקטרודה יכולה לעלות עד לכ־3000Ω מבלי שהמתח בין גוף הגנרטור והאדמה יעלה על 50V.

במיתקנים בהם נשמרת רמת בידוד גבוהה והמשגוח (האיזומטר) מכויל לתת התראה למשל בכ־100kΩ. נמצא שלא יווצר מתח מסוכן כל עוד התנגדות האלקטרודה לא תעלה על 15kΩ!! — זאת בהשוואה ל־5Ω הנדרשים בהזנה מוארקת!

המקדם "7" שחישבנו בנוסחה 5 מבוסס כאמור על מתח בין מופעי של 400V. במיתקן חד־מופעי, במתח של 230V ישתנה היחס והמקדם יהיה ל־3.6 התנגדות האלקטרודה יכולה להגיע באותם תנאים אפילו לכ־6kΩ.

אין קושי ליישם ערכי התנגדות בסדרי גודל זה בכל האזורים וכמעט בכל תנאי;

ברור, שבתנאים אלו, שיטת הזינה המבודדת (הבלתי מאורקת) הינה בטוחה בהרבה מהזינה המוארקת עם הגנה בכל שיטה שהיא.

יתרונה של הזינה הבלתי מאורקת

ליקוי ראשון בבידוד מביא את הרשת למצב של "זינה מוארקת" כאילו היה המיתקן מוארק מראש בהארקת שיטה. במילים אחרות, בזינה בלתי מוארקת קיימת דרגת הגנה אחת גבוהה יותר מאשר בזינה מוארקת. משום כך לא קיימת בה הדרישה שיתבצע ניתוק מיידי של המעגל הפגום, כפי שנדרש כשהרשת מוארקת. כשדרגת הגנה נוספת זו מתבטלת, כתוצאה מתקלה ראשונה, חשוב שתתקבל על כך, **מיד**, התראה ויש לשאוף לכך שהתקלה תתוקן בזמן הקצר ביותר האפשרי.

לעומת זאת חשוב, לעיתים, להבטיח שהמיתקן ימשיך לעבוד בכל תנאי גם במקרה של קצר ראשון לגוף. זהו כאמור יתרונה העיקרי של הזינה הבלתי מוארקת שבה מותר להסתפק, במקרה כזה, בהתראה בלבד ולא נדרש להפסיק מיד את פעולת המיתקן.

במיתקנים צבאיים ואזרחים כאלה, לא ניתן, במיקרים מסויימים, לבצע הדממה מיידית לצורך תיקון מאחר ועלול להיגרם נזק כבד או אסון כתוצאה מהפסקה פתאומית בלתי מבוקרת. הסיכון שתיווצר תקלה שניה תוך זמן קצר (במופע אחר), הינו נמוך ביותר, ואז, יש להניח יהוו הנתיכים הגנה מספקת. באותם מיתקנים בהם קיים חשש שמא התקלה הראשונה לא תתוקן למרות ההתראה ורוצים להבטיח ניתוק מיידי **בליקוי השני**, יכול מפסק מגן המופעל בזרם דלף בעל רגישות נמוכה מ־300 mA, לשמש עבורם כהגנה נוספת. קיימת כמובן גם האפשרות לנצל את מגעי המשגוח להדממת הגנרטור. באתרי בניה **חייבים**, לדעתי, להשתמש באחד משני אמצעים אלו.

גודלם הרצוי של רשתות בלתי מוארקות

את היקפן של רשתות בלתי מוארקות יש לעיתים להגביל (או לפצל לרשתות משנה) בשל המיגבלות הטכניות הבאות: —

1. התנגדות הבידוד השקולה של המתקן עומדת, כידוע, ביחס הפוך למספר הצרכנים המחוברים במקביל. גם כאשר לכל אביזר בנפרד קיימת התנגדות בידוד גבוהה, עלולה ההתנגדות השקולה של כל האבזרים, במיתקן נרחב, להיות נמוכה מסף ההתראה.
2. קיבוליות קווי הזינה גדלים עם היקף הרשת. מעשית, מתחילה הקיבוליות להוות גורם רק כשאורך כבלי החשמל מגיע למספר קילומטרים. חישובים ניסוים בשטח מראים, שהתמונה הכללית במקרים נדירים אלה אינה שונה בהרבה. אף כשהקיבוליות מתקרבת לכ־1μF בכל מופע, לא יחרוג המתח הנוצר על אלקטרודה, כשהתנגדותה מגיעה לכ־1000Ω, מעבר למותר.

התנאים לשימוש בשיטת הזינה הבלתי מוארקת

השימוש בשיטת הזינה הבלתי מוארקת מותנה בקיום הדרישות בסעיף 11 שבתקנות ההארקה[2] המצוטטות להלן:

1. ק"ת 5000 — ינואר 1987

שיטה בלתי מוארקת

11. (א) מותרת שיטה בלתי מוארקת בתנאי שתצוייד במקור הזינה במערכת שתפקח על הבידוד במיתקן ותפעיל אזעקה כשרמת הבידוד יורדת מתחת לנדרש.

(ב) ציינה המערכת האמורה בתקנת משנה (א) שהבידוד של המיתקן לקוי, יוחזר הבידוד מיד למצב תקין.

(ג) מערכת כאמור בתקנת משנה (א) תהיה בפיקוחו של חשמלאי שיבדוק את אמינותה לעיתים מזומנות: תוצאות הבדיקה יירשמו ויישמרו בידי בעל המיתקן או מחזיקו.

ובדרישות סעיף 15 בתקנות החשמל (התקנת גנרטורים למתח נמוך:) ק"ת 5000 — ינואר 1987

שיטה בלתי מוארקת במיתקן ארעי הניזון מגנרטור ארעי

15. במקרה של זינת מיתקן ארעי באספקה עצמאית מגנרטור ארעי מותר שהזינה תהיה בלתי מוארקת כאשר בגנרטור ובמיתקן מתקיימות הוראות תקנות החשמל (הארקות ושיטות הגנה בפני חישמול במתח עד 1000 וולט), התשמ"ד–1984[7], המתיחסות לשיטה בלתי מוארקת או מתקיימות דרישות אלה:

(1) כל גופי המתכת החייבים בהארקת הגנה, כולל גוף הגנרטור, יחוברו למוליך הגנה הכלול בתוך כבלי הזינה: מותר שמוליך ההגנה יהיה מוארק.

(2) חתכי מוליכי ההגנה יהיו שווים לפחות לחתכי מוליכי ההארקה כנדרש בתקנות החשמל (ההארקות ושיטות ההגנה בפני חישמול במתח עד 1000 וולט), התשמ"ד–1984;

(3) כאשר התנגדות הבידוד בין מוליך ההגנה לבין המיתקן החשמלי ירדה מתחת ל־22 קילואום תינתן אתראה חזותית וקולית;

(4) הראו חישוב או ניסוי שמתח התקלה לאורך מוליך ההגנה אינו יכול לעלות על 50 וולט למשך יותר מ־5 שניות, לא תידרש התראה כאמור בפסקה (3);

(5) נתקיימו התנאים של פסקה (4), לא יעלה סכום האורכים של הכבלים על 250 מטר.

ראוי להדגיש שאין מדובר כאן בשיטת "הפרד מגן" אשר מוגבלת להזנת צרכן אחד ויחיד, בעל זרם קיבולי פעוט וזרם מירבי נקוב של 16A. בשיטת הזינה הבלתי מוארקת, מספר הצרכנים שמותר להזין בו זמנית, והספק המתקן של כל אחד מהם אינו מוגבל מבחינה חוקית!

הסבת גנרטור לזינה בלתי מוארקת

הסבת הגנרטור לזינה בלתי מוארקת הינו פשוט ביותר:

(1) יש לגשר את כל גופי המתכת הנגישים באמצעות מוליך הגנה. בעזרת מוליך ההגנה, משיגים השוואת פוטנציאלים של גופים מתכתיים שניתן לגעת בהם בו זמנית או תוך עמידה על הקרקע, ושל גופים הבאים במגע עם האדמה.

(2) יש לנתק את החיבור המגשר בין מוליך האפס או נקודת הכוכב לבין האלקטרודה, מוליך ההגנה וגופי המתכת.

(3) יש להתקין במקור הזינה (הגנרטור) משגוח (איזומטר) מתאים שישגיח ברציפות על רמת הבידוד במיתקן ויפעיל התראה חזותית וקולית כאשר התנגדות הבידוד תרד מתחת לסף ההתראה (לפחות 22kΩ).

ההתראה אמורה להיות חזקה דיה כדי שתפנה את תשומת הלב לכל ליקוי שמהתהווה במתקן. מותר לותר על ההתראה זו במיתקנים בהם מגעי האיזומטר משמשים להפסקת הזינה או להדממת הגנרטור עם היווצרותו של ליקוי ראשון בבידוד.

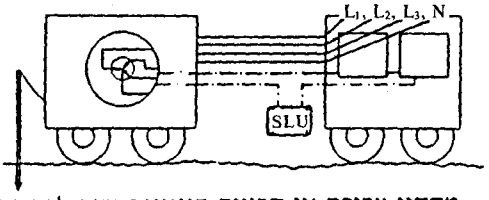
בכל רשת מבודדת מותר להתקין משגוח (איזומטר) **אחד** ורק אחד!

את תקינות המשגוח יש לבדוק מפעם לפעם בעזרת לחצן הבדיקה, כפי שנדרש גם במפסק מגן המופעל בזרם דלף.

האיזומטר מקנה יתרון עקיף, כך, שבעזרתו ניתן לפקח על טיב הבידוד בגנרטור ובמיתקן גם כשאינם בפעולה (ללא מתח), ולודא שרמת הבידוד של ציוד הכוננות והציוד הנמצא באחסנה יישמרו ברמת אמינות גבוהה על־מנת לאפשר את השימוש בהם בעת הצורך — וזאת על ידי הזנתו הזמנית של המשגוח ממקור אחר.

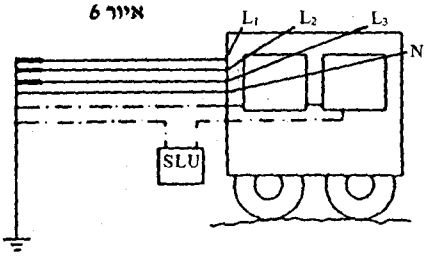
כאשר מיתקן הצריכה מתחבר לגנרטור באמצעות כבל "ומַחְבָּרִים", חשוב לוודא שמוליך ההגנה ביניהם יהיה תקין כל הזמן. הדרישה בתקנות, שמוליך ההגנה יכלל בכבל ההזנה נועדה להקטין במידה רבה את הסיכון של פגיעה בו. גם רעידות ומספר רב של פעולות חיבור והפסקה עלולים לגרום במשך הזמן לנתק במוליך ההגנה, תקלה זו ניתנת לגילוי מיד רק בעזרת מכשיר המפקח ברציפות על שלמות לולאת מוליך ההגנה, תקינות מוליך ההגנה חיונית כמובן, בכל מיתקן ללא קשר אם הוא פועל בהזנה מוארקת או בלתי מוארקת. (איור 5).

איור 5
בדיקת רציפות לולאת מוליך ההגנה.



מתקני צריכה או קרונות הניזונים מעת לעת גם מרשת חברת החשמל "יבנו" באותה עת מאמצעי ההגנה המקומיים המבוססים על ההתנגדות הנמוכה של המתקן הקבוע, אליו הם מתחברים. (ראה איור 6).

איור 6

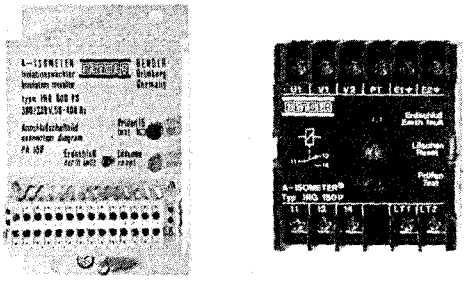


מבנה המשגוח (האיזומטר)

במיתקנים בהם אנו דנים, קיימים תנאי עבודה מיכניים וחשמליים קשים ביותר. התנאים המיכניים מתבטאים ברעידות חזקות, מכות וזעזועים, ולרוב גם תנאי אבק, ליכלוך ולחות גבוהים. יש לבחור באיזומטר הבנוי (ונבדק), בצורה המאפשרת לו עמידה בתנאים הנדרשים. על פי הצורך ייכללו באיזומטר גם האמצעים המיכניים הבאים: חיזוק הרכיבים הפנימיים, אטימה וטבילה בחומרים מיוחדים, ולפעמים אף יציקה מלאה במבנה מתכתי. בדגמים מסויימים ניתן להוסיף למכשיר מחוונים, המציגים את התנגדות הבידוד והבאים להקל על אנשי התחזוקה באיתור פגמים, אף הם מוגנים בפני רעידות ולחות.

מבחינה חשמלית, אסור שהמשגוח (תמונה 7) יושפע מהפרעות חשמליות הנוצרות במיתקן או בסביבתו, כגון: הקיבוליות, שינויים ברמת המתח, רכיבי הזרם הישר, ובמיוחד גלים עליונים הנוצרים בגנרטור.

תמונה 7
משגוח (איזומטר)



סיכום

במיתקנים ארעיים רבים לא ניתן להשיג את רמת התנגדות אלקטרודת ההארקה הנדרשת בתקנות (עד 5Ω). במיתקנים אלה השימוש בזינה בלתי מוארקת מהווה פתרון תקני ובטוח, המונע בעת תקלת קצר, סכנה לאדם העומד על הקרקע ונוגע במיתקן. בשיטת זינה זו מותר שהתנגדות אלקטרודת ההארקה תגיע אף לכ־1000Ω. בשל כך הונהגה בארצות רבות החובה, להשתמש בצורת זינה זו בכל מיתקן ארעי — צבאי כאזרחי — הניזון מגנרטור עצמאי.

הבטיחות הגבוהה ויתרונה העיקרי של הזינה המבודדת, המונעת את הצורך להפסיק את המיתקן בקצר ראשון לגוף ומאפשרת להמשיך להשתמש במתקן בתיפקוד מלא, מהווים יתרונות שאינם ניתנים ליישום בכל שיטת זינה אחרת.

כדי להבטיח שהזינה תישאר בלתי מוארקת, נדרש בחוק להתקין מכשיר מיוחד — משגוח (איזומטר) — שישגיח כל הזמן על רמת הבידוד כלפי ההארקה. על המשגוח לתת התראה, כאשר התנגדות הבידוד במיתקן יורדת מתחת ל־22kΩ. המשגוחים פשוטים להתקנה, נוחים לתיפעול, קטנים בממדיהם ועלותם נמוכה. לעומת זאת תרומתם לבטיחות ולאמינות המיתקן המוזן בשיטה זו, גבוהה ביותר.

מדוע אתם מודאגים כל כך?...
...אני רק בודק את הכבל.

אחזקת תחנות השנאה

אינג' יצחק אורל איציקוביץ

תחנת השנאה מהווה חלק חשוב מאוד במערכת אספקת החשמל. תקלה כל שהיא בתחנת השנאה עלולה לשתק את אספקת החשמל לתקופה ממושכת, ולגרום בכך לנזקים מרובים. משום כך — אחזקת תחנות השנאה היא חשובה ואף חיונית.

שיטות האחזקה של תחנות השנאה

★ **אחזקת תקלה**

בשיטת זו לא ניתנים למתקן ולרכיביו טיפול ואחזקה כלשהם, כל זמן שהמתקן פעיל ותקין. המתקן מנוצל עד גבול יכולתו. במקרה של תקלה בחלק או ברכיב כל שהוא, מחליפים אותו, לפי שיקול דעתו של המתחזק. אם התקלה מורכבת יותר — מופסקת פעולת המתקן בכלל.

שיטה זו מיושמת בעיקר בציוד, אשר ממילא עומדים להוציאו משימוש ומניחים לו "לגמור שעות" (לסיים את "חייו"), וכן בציוד, שהפסקת פעולתו במקרה תקלה לא תגרום כל נזק למתקן בכללותו.

★ **אחזקת חירום**

קורה שבמתקן כלשהו מופיעה תקלה פתאומית, למרות שנערכת במתקן אחזקה תקופתית ובדיקות לאיתור מוקדם של תקלות.

אם אירעה במתקן תקלה פתאומית, יש לטפל בה ביסודיות: לאתר את מקור התקלה, לתקן אותה ולמנוע את הישנותה. טיפול זה צריך להיעשות על ידי איש מיומן בעל ידע מתאים, המסוגל לבדוק השלכות אפשריות של התקלה על פעולתן של מערכות אחרות. במיוחד יש להקפיד על רישום מדויק של פרטי כל תקלה או הפרעה בפעולת המתקן.

★ **אחזקה מונעת**

השיטה הנפוצה כיום לאחזקת תחנות משנה היא "אחזקה מונעת". בשיטה זו בודקים כל חלק וכל רכיב בתחנה באופן מפורט ומדוקדק, לפי תכנית תקופתית. יתרונה הגדול של שיטת ה"אחזקה המונעת" היא איתור מוקדם של נקודות תורפה וליקויים במתקן, עוד לפני שהתקלה עצמה מתרחשת וגורמת נזקים למתקן. פעולות האחזקה נעשות על פי תוכנית מוכנה מראש המפרטת כל סוג בדיקה וכל פריט שיש לבדוק, גם אם בין בדיקה תקופתית אחת לבין הבדיקה התקופתית שבאה אחריה לא אירעה בתחנה תקלה כלשהי.

לפני ביצוע פעולות האחזקה יש להכין נוהל תיאום, אשר לפיו תימסרנה הודעות על בדיקת המתקן לכל הגורמים הניזונים מהתחנה. יפורטו שעת התחלת הבדיקה (שעת ניתוק הזרם) ומשך הזמן המשוער של הבדיקה. ההודעות תישלחנה רק לאחר שהאחראי על ביצוע העבודה יוודע אישית, שנמצאים ברשותו כל האבזרים, חלקי החילוף, חומרי הניקוי, מכשירי המדידה וכוי הקשורים בעבודה. בעת ביצוע פעולות האחזקה חייב להיות נוכח במקום האחראי על התפעול, בהסתמך על גיבויו של מהנדס החשמל במפעל. פיקוחו צריך להיות צמוד להוראות הטכניות ולהוראות הבטיחות.

פעולת האחזקה:

א. טיפול כללי

הטיפול הכללי כולל: ניקוי כל תא ותא בציוד; כולל השטחים בתוך התא; ניקוי תעלות כבלים; ניקוי חלודה ותיקוני צבע במקרה הצורך; חיזוק ברגים ואומים בנקודות החיבור ולכל מרכיבי התאים; החלפת ברגים, אומים, מוליכים ומהדקי חיבור פגומים.

כמו כן: בדיקת תקינות מערך התאורה, בדיקת תאורת חירום (יש לדאוג להפסקת תאורת החירום בגמר הטיפול בה) בדיקה, תיקון, חידוש או החלפת שלטים או סימנים של כבלים, מהדקים, שלטי אזהרה וכו', בדיקת צירי הדלתות, מערכת הנעילה של הדלתות, צירי הרשתות, אטימות הדלתות ותיקון הליקויים.

ב. טיפול בתאי מתח גבוה:

הוצאת נתיכים, ניקוי הנתיכים, שימון תושבות הנתיכים בשכבה דקה והחזרתם למקומם.

יש לבדוק:

אם יש פגיעות בכבלים (בגלל עבודות חפירה בשטח, סחף אדמה וכד');

אם יש ליקויים בתיבות חיבור או בסגירות סופיות של כבלים;

אם יש פגם או סדק או באחד או יותר מהמבדדים (עקב פגם פנימי שאינו נראה), סדקים אלו נובעים מהתרחבות המבדדים ושינוי במבנה החומר שלהם, עקב התיישנות החומר.

יש לנקות את המבדדים ואת מגעי המנתקים בעזרת טריכלור אתילן, ואחר כך לייבשם היטב, יש לשמן את מערכת ההפעלה של המנתקים בנקודות של סיבוב, של חיכוך, של לחץ וכו'. יש לבדוק את המגעים הנעים של המנתק, הכוללים את מגעי העזר לניתוק הקשת — האם הם מקבילים ונמצאים בדיוק מול המגעים הקבועים, ולהתאימם במקרה הצורך. יש לוודא שילוב מושלם של המגעים בפתיחה ובסגירה. יש לוודא פעולה תקינה של המערכת המכנית, המופעלת בעזרת לחיצה על זרוע המערכת, באמצעות מוט ארוך. אין להשתמש במוט קצר, מפני שהוא מסכן את ידו של המפעיל.

אינג' י.א. איציקוביץ — ראש מדור, מחלקת תכנון רשת, מחוז הצפון, חברת החשמל.

בסיום כל הפעולות יש להפעיל את המנתק מספר פעמים ולבדוק אם פעולתו תקינה. לאחר מכן יש להשאירו פתוח. גם בשאר שלבי הטיפול ישאר המנתק פתוח.

ג. טיפול בשנאים

יש להבטיח גישה חופשית לכלי רכב לצורך החלפת שנאי. יש לבדוק את מצב הצבע, את מצב החיבורים של מהדקי המוצא לשנאי, את גובה פני השמן, את שלמות הקונסרבטור (האם קיימת נזילת שמן), יש לבדוק את מצב הסיליקה־ג'ל והשמן, את מצב "נושם האוויר", את שלמות מגיני הברק (או קרני הפריקה), את שלמות הממברנה של שסתום הביטחון ואת מצב ידית מחלף הדרגות.

כמו כן, יש לבדוק באם אין רעשים חורגים ואם המתח בין המופעים (פאזות) וכן המתח בין כל מופע להארקה — תקינים.

ד. טיפול במערכות מתח נמוך

יש לבדוק באם קיימת שריפת מוליכים במקום שהתרחש הקצר או החיבור לאדמה, האם כל הציוד (מפסקים, נתיכים, נורות, פסי צבירה וכו'), תקין והאם הקצרים לא נגרמו בגלל בידוד לקוי עקב התחממות יתר חדירת מים או הרס בידוד כתוצאה מנזילות שמן מהשנאי וכו'. כן יש לבדוק את תקינות מערכת ההגנה ובכלל זה יש לבדוק גם את הנוריות והמכסים ובאם יש צורך — להחליפם באחרים.

ה. טיפול במערכת ההארקה

טיפול זה כולל ניקוי, בדיקה וחיזוק של החיבורים לאלקטרודות ההארקה ושל החיבורים לפסי ההארקה; יש לבדוק את רציפות ההארקה לכל אורך התחנה, את ערכה של התנגדות ההארקה ואת חיבור ההארקה לרשת גדר התחנה. יש להחליף מהדקים פגומים או חלודים.

ו. טיפול בציוד עזר ובציוד בטיחות ועזרה ראשונה

יש להבטיח את הקיום, את השלמות ואת התקינות של הציוד הנ"ל בתחנה. יש להבטיח קיומם של שטיחי גומי בכל מקום בתחנה שבו הדבר דרוש, וכן לדאוג לאמצעי כיבוי שרפה, (מטפים, צינורות וכו') כפפות גומי, ציוד מערכת מקצרים, מוט בדיקת מתח, ציוד לעזרה ראשונה וכו'. אין להשאיר בתחנת ההשנאה ציוד, אשר נקבע שאינו תקין, או שיש חשש כלשהו לתקינותו.

ז. טיפול במבנה

יש לבדוק את מצב הקירות, את מצב הרצפה ואת מצב הגג של התחנה. יש לבדוק אם לא אירע סחף אדמה סביב לתחנה, המאפשר לבעלי חיים להכנס לתחנה. יש לבדוק אם אין דליפת מים בעת גשמים חזקים וחדירת מים דרך תעלות כבלים.

בסיום כל העבודות והתיקונים בתחנה — יש לוודא שכל העובדים שאינם קשורות ישירות בתיפקוד תחנת ההשנאה, יצאו מתחומה.

התקנת גנרטורים למתח נמוך

(המשך מעמ' 11)

ערך אימפדנס הגנרטור — X''d. (Subtransient Reactance) תלוי בסוג הגנרטור והוא מגיע במונחים יחסיים עד כדי 15% — 10%.

במקרים מיוחדים כשהגנרטור מותקן במרחק גדול מן המתקן המוזן או כאשר הקשר בין הגנרטור לבין המתקן נעשה באמצעות קווי מתח גבוה (בהשנאה כפולה) יש לקחת בחשבון בחישוב לולאת התקלה את מיכלול האימפדנסים בסדרה החיובית (Z_1) השלילית (Z_2) והאפס (Z_0) וכן את התנגדות ההארקה של הגנרטור (R_E) הקצר החד־מופעי לאדמה במקרה הנ"ל יהיה:

$$I_0 = \frac{\sqrt{3}\cdot U}{Z_1+Z_2+Z_3+3R_E}$$

הדממת הגנטור

הוראת בטיחות אחרת אשר באה לידי ביטוי בתקנות החדשות היא האפשרות להדממת הגנרטור. קיומן של שני מקורות לאספקת החשמל במיתקן, אחד לצידו של השני, עלולה להוות סכנה למטפלים במיתקנים אלה או לאחרים אשר, מסיבות כל שהן, עשויים לגעת בחלקים חיים. מדובר בעיקר במכבי־אש הבאים לכבות שריפה במבנה ודואגים לנתק את אספקת החשמל כדי למנוע סכנת התחשמלות.

גנרטור המופעל אוטומטית מתוכנן להתחיל לפעול במקרה של הפסקת האספקה — כולל הפסקה יזומה לצרכי כיבוי ועל ידי כך הוא עלול לגרום לתאונות. לפיכך דורשות התקנות התקנת אמצעי הדממה בכניסה למבנים שבהם קיימים גנרטורים אשר יאפשרו בשעת הצורך, למנוע את ההפעלה האטומטית של הגנרטור או לדומם אותו. התקני ההדממה יכולים להיות לחצנים המחוברים במעגלי הפיקוד של הגנרטורים או במעגל הזינה של שסתומי דלק חשמליים — אם קיימים כאלה, והם חייבים להיות מותקנים בצורה בולטת לעין.

סיכום

סקרנו בקצרה מספר נושאים עקרוניים הבאים לידי ביטוי בתקנות החדשות בדבר התקנת גנרטורים. התקנות כוללות גם הוראות אחרות, לא פחות חשובות, המתייחסות לגנרטורים באספקה עצמאית, לגנרטורים ארעיים, להתקנת ערכות גנרטורים, לבדיקת הגנרטורים ולרישויים.

פרסום התקנות החדשות על־ידי משרד האנרגיה והתשתית, וההבהרות הטכניות וההסברים לתקנות החדשות שחברת החשמל יוזמת במסגרות שונות, יתרמו ללא ספק לשיפור אמינות אספקת החשמל במדינת ישראל ולהמשך מגמת הירידה המסתמנת, במספר התאונות במיתקני החשמל.

מחוונים לאיתור קצרים ברשתות חשמל

שלמה כץ, הנדסאי

חברת החשמל, כספק עיקרי של אנרגיה חשמלית בישראל, מייחסת חשיבות רבה לכל נושא אמינות האספקה ובכלל זה אספקה רציפה במינימום הפסקות.

האפשרות לצמצם את הזמן הנדרש לאיתור תקלות ברשתות הנגרמות בגין קצרים, אם בקווים עליים ואם ברשתות תת־קרקעיות במתח גבוה או במתח נמוך מהווה גורם נכבד בהשגת רציפות האספקה, המתבטאת גם בהקטנה של זמן קיום התקלה דבר אשר לעתים קרובות יש לו משקל רב בעיקר כאשר מדובר בהפסקה של פס ייצור במפעל וכו׳.

אמצעי תפעול פשוט וזול שבאמצעותו ניתן בצורה מהירה למדי לאתר את מקום הקצר החשמלי ברשת הינו, המחוון.

המחוון מהו?

המחוון הינו מכשיר בעל מנגנון מכני פשוט למדי המופעל באמצעות שדה מגנטי הנוצר עקב הזרם החשמלי העובר במוליך עליו מורכב המחוון.

קיימים מספר סוגים של מחוונים, כפי שיפורט בהמשך — אולם כל המחוונים מכוילים לזרם עבודה נקוב. כאשר מתרחש קצר על הקו, עליו מורכב המחוון, יעבור דרך קו זה זרם קצר, הגדול מן הזרם הנקוב לו מיועד המחוון. זרם קצר זה יגרום להיווצרות שדה מגנטי מוגבר אשר יגרום להפעלת מנגנון מכני המפעיל את התצוגה במחוון ומורה על קיום תקלה בקו עליו הוא מורכב.

סוגי המחוונים

כללית ניתן לחלק את המחוונים ל־3 קבוצות עיקריות — ובהם דן מאמר זה (בשער האחורי של עלון ״התקע המצדיע״ 37 מוצגים מספר סוגי מחוונים המקובלים בשימוש).

קבוצה א. מחוונים שהתצוגה על קיום תקלה היא באמצעות שינוי בצבעו של הנוזל הנמצא בתוך המחוון. (תמונה 1).

קבוצה ב. מחוונים שהתצוגה על קיום תקלה מתבצעת על־ידי ״נפילה״ מכנית של דגלון. (תמונות 2 ו־3).

קבוצה ג. מחוונים שהתצוגה על קיום תקלה מתבצעת באמצעות יחידה אלקטרונית המפעילה נורית היבהוב והבזק. (תמונה 4).

הנתונים החשמליים של המחוון

בחירת המחוון המתאים מותנית בהתאמתו לזרם העבודה הנקוב (I_N) של הקו עליו מותקן המחוון וזרם הקצר (I_K) הצפוי להתפתח על קו זה במקרה של תקלה.

תחומי הגדלים המקובלים של זרמי הקצר המפעילים את המחוונים נע בין 100A לבין 2000A.

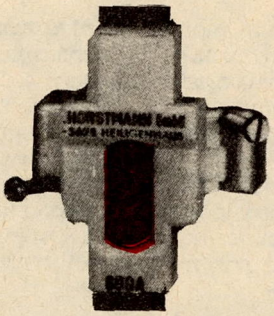
במסגרת מאמר זה נתייחס רק ל־4 דגמים המהווים בעצם מדגם מייצג לכל סוגי המחוונים הידועים לנו כיום.

פרטים טכניים על 4 סוגי המחוונים, מקומות ייעודיים להתקנתם ודרך פעולת התצוגה בעת קיום תקלה

מחוון מקבוצה א׳ (תמונה 1)

מחוון זה מיועד להרכבה הן על פסי צבירה עגולים והן על פסי צבירה שטוחים, ניתן להתקינו גם בקווי הזנה משניים למנועים, לוחות חלוקה משניים וכו׳. זרמי הקצר שיפעילו סוגי מחוונים אלה נע בין 200A לבין 1000A ובהתאם לכך יש לבחור את הקו בעל זרם הקצר הצפוי בתחומים אלה — ועליו יש להתקין את המחוון.

תמונה 1



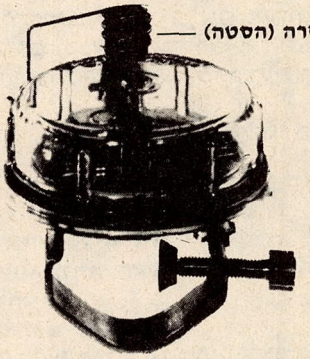
ההפעלה עצמה באה לביטוי ב״זריקת״ כדור ברזל שנמצא באופן רגיל בתחתית שפופרת הזכוכית של המחוון, השפופרת ממולאת בגרגרי צבע שאינו נמס בתוך נוזל מיוחד — כאשר נוצר שדה מגנטי מוגבר עקב זרם קצר הזורם בקו ״נזרק״ כאמור ״כדור הברזל״ מתחתית השפופרת לחלקה העליון, וגורם בכך לעירבוב הצבע בתוך הנוזל. הצבע מתפשט בתוך הנוזל ומושהה שם למשך 4 — 6 שעות עד שהמצב חוזר לקדמותו — כלומר המחוון מוכן לפעולה מחודשת.

ההנחה היא, שאם התרחש בקו קצר חולף בלבד, נשארת עדיין ״התצוגה הצבעונית״ המורה על התרחשות קצר בקו זה — במשך זמן זה של 4 — 6 שעות, ניתנת שהות מספקת לגלות את קיומה ולאתר את מקומה של התקלה החולפת.

ש. כץ — הנדסאי, מעבדת חשמל למחקר ולפיתוח, מעבדות ובקרת איכות, חברת החשמל.

מחוון מקבוצה ב' (תמונה 2) גם מחוון זה מיועד להתקנה באותם מקומות ובאותם סוגי פסי צבירה, אולם זרמי ההפעלה של סוגי מחוון זה נעים בין 200A ל־500A בלבד.

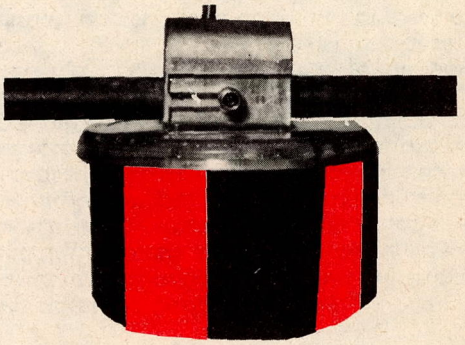
תמונה 2



מנגנון התצוגה הוא מיכני ומושפע אף הוא מזרם הקצר הגורם להפעלת דגלון המשנה את צבעו מצבע נאוטרלי לצבע אדום זרחני — התצוגה המצביעה על קיום תקלה תשאר קבועה עד להסטתו (ידנית!) של מגנט קבוע המותקן לצורך זה על המחוון. הסתתו של המגנט הקבוע גורמת גם לדריכה מחודשת של המחוון ומכינה אותו לפעולה מחודשת.

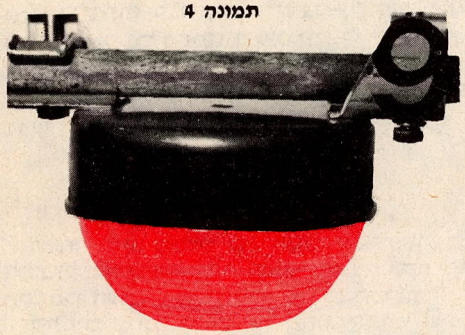
מחוון מקבוצה ב' (תמונה 3) מחוון זה מיועד לתליה על קווים עליים בחתך של 5 — 18 ממ"ר (משקלו של המחוון כ־400 גרם). זרם ההפעלה (זרם הקצר!) נע בסוגים אלה בין 300A — ל2000A. התצוגה מופעלת בצורה דומה לזו שבמחוון שבתמונה 2, גם דריכת המחוון לשם הכנתו לפעולה מחודשת דומה לזו שבמחוון ההוא. ההבדל ביניהם הוא בכך שבמחוון זה הדריכה היא באמצעות סיבוב של מוט הגורם להסתת מגנט קבוע — ולא בצורה ישירה כפי שנעשה במחוון מן הסוג הקודם, וניתן להעשות תחת מתח.

תמונה 3



מחוון מקבוצה ג' (תמונה 4) מחוון מסוג זה מיועד גם כן להתקנה על קווים עליים בחתך 8 — 20 ממ"ר. משקלו כ־500 גרם (יש לקחת בחשבון את חוזק הקו — היות שהמחוון תלוי עליו). ניתן לתלות מחוון זה על קו הנמצא תחת מתח, באמצעות מוט הארכה מבודד המיועד במיוחד למטרה זו. התצוגה היא באמצעות נורית הבזק המופעלת על ידי יחידה אלקטרונית הבנויה בתוך המחוון והמוזנת מ־2 סוללות ליטיום פנימיות.

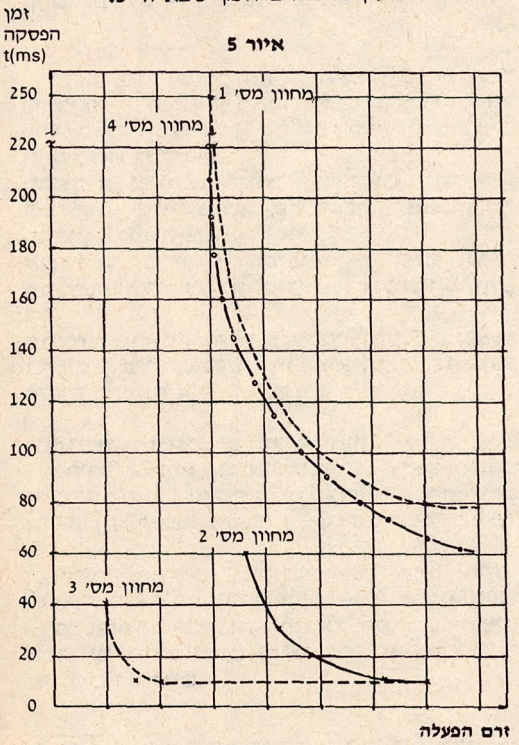
תמונה 4



המחוון מופעל בזרמי קצר שבין 100A לבין 1000A. והגורמים להופעת הבזקים בנורית למשך 0.5 — 2 שעות (בהתאם לדרישות המזמין). הדריכה מתחדשת מעצמה בצורה אוטומטית עם החזרת הקו לתקינותו.

תיאור תחומי הפעולה של ארבעת סוגי המחוונים מתוארים בעקומות זרם וזמן **שבאיור 5.**

איור 5



היתרונות של המחוונים כמאתרי קצרים חשמליים ברשתות

— מחיר נמוך.
— פעולה מכנית פשוטה — המבטיחה אמינות ואורך חיים.
— התקנה פשוטה שאינה מצריכה כלי עבודה מיוחדים או מיומנות ספציפית.
— התצוגה המצביעה על קיום קצר היא ברורה וחד משמעית.
— זמן התגובה של המכשיר הוא קצר יחסית (בין 30 — 100 מילישניות).

ההבדלים בין איתור תקלות בשיטה המסורתית לבין איתור התקלה ברשתות בה מותקנים מחוונים

איתור תקלות בשיטה הרגילה (ללא מחוונים)

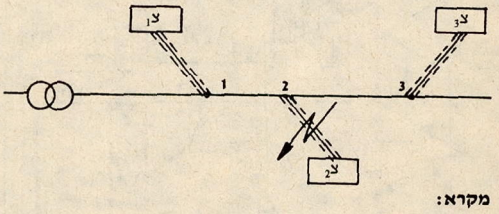
א. ברשתות עליות במתח נמוך ובמתח גבוה האיתור הוא בדרך כלל ויזואלי.

ב. ברשתות ובחיבורים תת־קרקעיים במתח נמוך השיטה המקובלת כיום לאיתור תקלות היא כדלקמן:

מנתקים את המתח לקו הראשי ממקור האספקה, לאחר מכן מנתקים בשלב א' צרכן החשוד בקיום תקלה ומחברים חזרה את ההזנה לקו. באם התקלה חלפה, סימן שניתקנו את הצרכן שאצלו התרחשה התקלה. באם הקצר ממשיך, מנתקים שוב את הקו הראשי ומנתקים צרכן אחר (הצרכן הראשון מחובר כעת לקו ההספקה) וכך הלאה עד שמאתרים את הצרכן אשר אצלו קיימת התקלה שגרמה לקצר.

באיור 6, מתואר תרשים חד־קוי של קו אספקה המוזן ממקור אספקה (שנאי) ו־3 צרכנים המחוברים על קו זה. צרכן (1), צרכן (2), וצרכן (3). התקלה נמצאת אמנם אצל צרכן (2) אולם היות שהתקלה היא בכבל תת־קרקעי ואינה נראית לעין — הרי בתחילה ניתקנו את צרכן (1) ורק לאחר חיבור הקו חזרה נראה שהקצר עדיין קיים, מנסים לכן לנתק צרכנים נוספים עד שמגיעים לצרכן (2) שעם ניתוקו, מסתלק מהקו גורם הקצר (בגין התקלה הקיימת אצל צרכן זה).

איור 6



מקרא:

— קצר בכבל
— כבל תת־קרקעי
צ1, צ2, צ3 — צרכנים

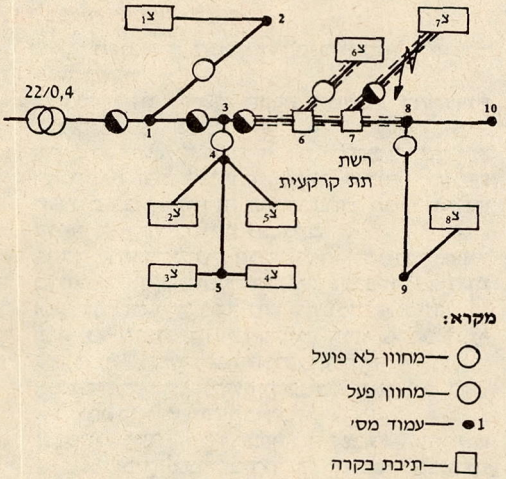
לעתים ניתן בדרך האיתור המתואר לעיל לאתר את מקום התקלה בצורה די מהירה (וזאת כאשר התקלה נמצאת אצל צרכן המנותק לראשונה מקו ההזנה).

אולם, במקרה של רשת אספקה מסועפת ומספר רב של צרכנים המוזנים ברשת תת־קרקעית — הרי איתור התקלה במערכת זו הוא דבר מסובך למדי ואורך זמן רב יחסית — דבר שיכול לגרום לנזקים חמורים הן למוליכים במסלול זרם הקצר והן לייצור השוטף של צרכן זה או אחר באם במדובר במפעל וכו'.

איתור תקלות באמצעות מחוונים

באיור 7 מתוארת רשת מסועפת המורכבת הן מרשת עילית והן מרשת תת־קרקעית המזינה מספר רב של צרכנים שונים מצרכן (1) ועד צרכן (8). על הרשת התת־קרקעית (המוסתרת מן העין) הותקנו מחוונים לאיתור מהיר של תקלות ברשת זו.

איור 7



תאור האיתור של תקלה ברשת זו

נניח שקיים קצר ברשת התת־קרקעית של צרכן מס' (7). אנו רואים כי לאורך קו ההזנה הן האוירי והן התת־קרקעי, וכן על כל ההסתעפויות התת־קרקעיות לצרכנים, מותקנים מחוונים. כאשר קרתה התקלה אצל צרכן (7), כל המחוונים לאורך מסלול זרם התקלה (זרם הקצר — I_K) פעלו והאיתור הוא מהיר ביותר היות שהפעולה שיש לבצע בכדי לאתר את מקום התקלה היא פשוט לעקוב אחר סימני התצוגה של המחוונים ולנתק את הצרכן האחרון בהסתעפות.

היתרון הגדול של שיטה זו הוא בכך שבנוסף לקיצור המשמעותי בזמן איתור התקלה הגורמת לקצר, לא ינותקו צרכנים אשר אצלם המחוון לא פעל ולא תנותק האספקה לאותם צרכנים שאין להם ולא כלום עם התקלה שגרמה לקצר בקו.

תאונת חשמל ורקחה

לקחי השריפה במבנה רב הקומות ברח' הרצוג 23, גבעתיים

אינג' ויקטור זיס

השריפה שפרצה בשבת 3.1.87 במבנה מגורים רב הקומות (11) ברח' הרצוג 23 בגבעתיים ושבה נספו 4 בני משפחה אחת ראויה לניתוח מעמיק על מנת למנוע, בעתיד, שגיאות הנדסיות דומות, העלולות לגרום לאסונות נוספים.

מתקני החשמל במבנה

להלן העובדות הטכניות המתיחסות למתקני החשמל במבנה:

א. המבנה ניזון מרשת חברת החשמל באמצעות חיבור 3×250 אמפר.

ב. החיבור כלל את לוח חברת החשמל, אבטחה ראשית ואבטחות עבור קווי הזינה לקומות השונות בבנין. לוח זה מותקן בחדר המדרגות בין קומת הקרקע לקומת הביניים.

ג. בנוסף לחיבור לרשת החשמל, היה המבנה מצויד בדיזלגנרטור לאספקה חלופית למטרות צבוריות (מעליות, תאורת חדר מדרגות וכיוצא בזה).

ד. עבור כל קומת מגורים הותקן ארון עץ המשותף למערכות החשמל והאלקטרוניקה (טלפונים, אנטנה מרכזית, תקשורת פנים). הארונות כללו את אביזרי החשמל הבאים: —

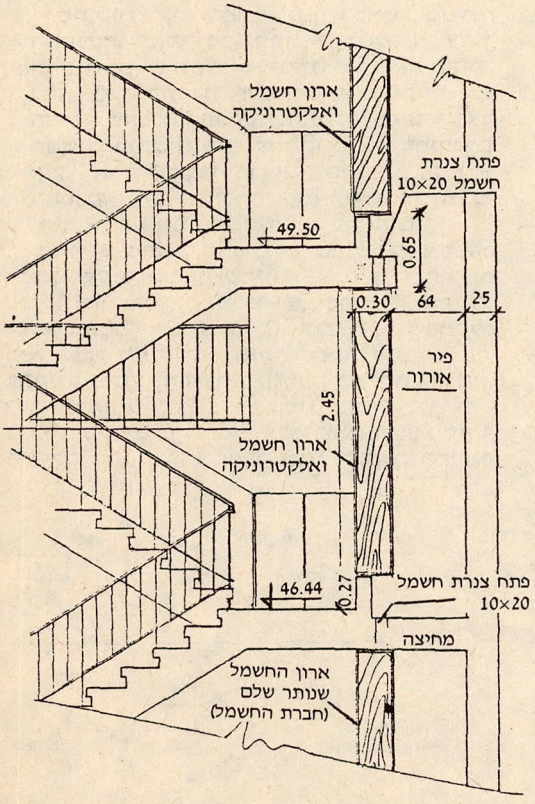
1) קווי זינה של חברת החשמל העשויים ממוליכים בעלי בידוד פי. וי. סי. בצנורות פלסטיים כבים מאליהם.
2) נתיכים קומתיים של חברת החשמל.
3) לוחות מעץ עבור מוני חברת החשמל.
4) מונים של חברת החשמל.
5) לוחות החשמל של הצרכנים עם נתיכים בעלי אלמנט ניתך חליף (נתיכים אנגליים) — בחלק מהדירות היו לוחות אלה מעץ.

לאחר השריפה התגלו הממצאים הבאים:

א. כל 11 ארונות העץ הקומתיים והמשותפים למערכות החשמל והאלקטרוניקה (טלפון, אנטנה מרכזית, תקשורת פנים) נאכלו כליל בשריפה.

ב. קוי ההזנה של חברת החשמל בוטנו והותקנו בהתאם לדרישות תקנת משנה 94(ג) של תקנות החשמל (התקנת מובילים) — תשכ"ו 1965[1],

איור 1
חתך חדר המדרגות
(מידות ביצוע)



המתייחסת למניעת התפשטות אש באמצעות קווי חשמל. (איור 1) — במעברים שבין הקומות.

אינג' **ו. זיס** — מנהל עניני החשמל, משרד האנרגיה והתשתית

ג. כל הארונות היו שקועים ב"פיר" ללא תקרות מפרידות ביניהם. המרחק האנכי באויר בין ארון לארון היה כ־65 ס"מ.
מידות כל ארון היו: גובה — 2.45 מ', רוחב 2.00 מ', עומק 0.30 מ'. חישוב נפח ארון (ללא מחיצות וחיזוקים) ובהנחה שעובי דפנות הארון הוא 2 ס"מ, היה כדלקמן:
$2 \times (2.45 + 2.00 + 2.45 \times 0.30$
$\times 0.02 = 0.25$ מ'^{3}
נפח כל הארונות = 2.75 מ'^{3} + 11×0.25 מ'^{3}.
משקל כל הארונות, בהנחה שהמשקל הסגולי של עץ הוא 0.75 טון/מ'^{3} = 2000 ק"ג.
[2000 ק"ג = 2 טון = 2.75 × 0.75.]
ערך קלורי של 1 ק"ג עץ הוא כ־4000 קילו־קלוריות. לכן, תוך כדי שריפת כל ארונות העץ, נפלטו 8,000,000 קילוקלוריות או 9300 קוט"ש. לאור העובדה שהשריפה במקום נמשכה כ־1 שעה. דומה האפקט שלה להפעלת תנור תעשייתי בהספק של למעלה מ־9000 קו"ט!

ד. במפלס הביניים שבין קומות הקרקע לקומת הביניים נותר ארון חשמל אחד שלם (עם לוח של חברת החשמל). כיוון שבעת הבניה — ובניגוד למתוכנן — הושלמה מעליו בקטע של הפיר יציקת גג, כהמשך של מפלס הביניים, יציקה זו גרמה להפרדתו התרמית המוחלטת מהפיר. קטע גג זה הכיל את שאריות הבעירה שהתרחשה מעליו (ראה איור 1). בהתאם לתכנון נועד הפיר הצמוד לחדר המדרגות לצרכי אוורור מאחר וחדר המדרגות ממוקם במרכז המבנה ואינו מאוורר ישירות. לצורך זה תוכנן להתקין בכל מפלס ביניים בחדר המדרגות, בחלק הגובל בפיר, קיר בעובי 10 ס"מ כאשר בחלק העליון הצמוד לתקרה, תוכנן להתקין חלון רפפה במידות 2 × 0.6 מ'. הקיר ופתח האוורור לא בוצעו. במקום זאת הוחלט, כנראה בשעת הביצוע, לנצל את המקום עבור ארוונת החשמל והאלקטרוניקה. הארונות בוצעו לפי מידות המפורטות בסעיף ג' של המימצאים כך שהשלימו את הקיר החסר. את תוכניות החשמל המקוריות לא ניתן היה לאתר.

ה. מוקד השריפה נמצא בין קומות הביניים לקומת המגורים הראשונה במקום שבו היה מותקן ארון חשמל בחדר המדרגות בתוך מוקד השריפה נמצאו סימנים אופייניים להתכת הנחושת של מוליכי החשמל.

ו. שעונים חשמליים במספר דירות נעצרו בשעה 5.20 לערך וזאת השעה המשוערת שבה נפגעו כל קוי ההזנה של חברת החשמל העוברים דרך מוקד השריפה.

ז. במקום השריפה לא התגלו כל סימני פצוצים או בעירת חומר מאיץ.

מסקנות

א. השריפה פרצה כתוצאה מהתלקחות של אחד מלוחות הצרכנים שהיה עשוי מחומר דליק. הלוח הדליק יכול היה להתלקח כתוצאה מן הסיבות הבאות: —
1) התחממות יתרה כתוצאה מהתרופפות אחד המגעים.
2) חיבור עומס יתר, סילוף נתיכים וכתוצאה מכך התחממות יתר.

ב. במקום לא בוצע כל מעשה הצתה בזדון.

ג. השריפה הגיעה לממדים הגדולים כתוצאה מחוסר הפרדות המונעות התפשטות אש מארון עץ אחד למשנהו (פרט להפרדה המוזכרת בסעיף ד' של הממצאים). יש לציין שרוב השריפות המתלקחות בארון חשמל מצטמצמות בנזק לארון בודד בלבד וזאת הודות לנקיטת צעדים שנועדו למנוע התפשטות אש בין הקומות ברוב הבנינים.

ד. ארונות העץ עבור שרותי החשמל והאלקטרוניקה הורכבו תוך כדי הבניה, לפני שאנשי חברת החשמל באו להרכיב את קוי החיבור על כל אביזריהם. ולכן הם לא יכלו להבחין בקיום של גורם כל שהוא העלול להוות סכנה להתפשטות האש מארון אחד לשני. הדבר נכון גם לגבי בודקי חברת החשמל אשר באו לבדוק את מתקני הצרכנים.

על סמך הממצאים והמסקנות מומלץ:

א. דרושה הקפדה מיוחדת למניעת התפשטות האש ממכלול דליק אחד למשנהו.

ב. יש להתקין מחיצות מחומר בלתי דליק בין ארונות חשמל מעץ ובין ארונות העץ לשרותים אחרים באותה קומה על מנת להקטין את ממדי השריפה האפשרית בכל קומה וקומה.

ג. אין צורך לשנות את תקנות החשמל (כללים להתקנת לוחות במתח נמוך) — תשל"ו 1976[2] ואת תקנות החשמל (כללים להתקנת לוחות במתח נמוך (תקון) — התשמ"ו 1986[3], האוסרות התקנת לוחות צרכנים העשויים מחומר דליק כגון עץ ודורשות התקנת מפסקי זרם אוטומטיים להגנת מעגלי צרכנים ביתיים.

ד. תקנת משנה 10(ג) של תקנות החשמל (כללים להתקנת לוחות במתח נמוך) מתירה אמנם התקנת לוחות על קירות מחומר דליק (ובעקיפין את השמוש בארון עץ), אך אין סיכון בלתי מתקבל על הדעת להתפתחות שריפה בארונות עץ שבהם מותקנים לוחות חשמל מודרניים, בלתי דליקים או כבים מאליהם עם מפסקי זרם אוטומטיים המונעים סילוף נתיכים (אחת הסיבות להתחממות יתר של מוליכי חשמל).

ה. אין צורך לדרוש התקנת ארונות חשמל מחומר בלתי דליק כאשר נוקטים באמצעי זהירות המפורטים בסעיפים א, ב, ג, ד של ההמלצות דלעיל. יש לציין שארונות העץ הינם זולים ונוחים להרכבת אביזרי חשמל מסוגים שונים.

ו. לאור השימוש בדגמים שונים של המונים, אין לדרוש התקנת לוחות מונים שלא מעץ.

ז. המערכות הטכניות, לרבות מערכות החשמל, חייבות להיות מותקנות בהתאם לתכניות המתכננים ומאושרות על ידי הרשויות המוסמכות הנוגעות לדבר.

1. ק"ת 1809.
2. ק"ת 3531.
3. ק"ת 4964.

צרכני תעו"ז שהשתתפו בתחרות
צרכן החשמל היעיל 1986/7

3 אורדן תעשיות-יציקות פלדה-נתניה
מפעלי פלדה מאוחדים-קרית הפלדה
3 נשר-מפעלי מלט ישראל"ים-הר-טוב

אל אופ-תעשיות אלקטרו אופטיקה-רחובות
1 התעשיה האוירית לישראל-נתב"ג
צנורות המזרח התיכון-צריפין

ת.מ.מ.(חוטים מוליכים)-נתיבות
פקר-אריזות תעשיתיות-קרית מלאכי
ציקלון מוצרי תעופה-כרמיאל

אוניברסיטת תל-אביב-רמת אביב

קיבוץ אלונים
קיבוץ יפעת
קיבוץ מסדה
קיבוץ מעוז חיים
קיבוץ משמר העמק
קיבוץ ניר יצחק

בית החולים האוניברסיטאי
של הדסה-קרית הדסה
2 מרכז רפואי ספיר
בית חולים מאיר-כפר סבא

החברה לניהול
של דיזנגוף סנטר-תל-אביב
מגדל המגינים-בנק לאומי
הנהלה אזורית צפון-חיפה